HYDROLOGICKÉ DNI 2005

Bratislava, 21.-23. september 2005

HYDROLÓGIA PRE INTEGROVANÝ MANAŽMENT VODNÝCH ZDROJOV



PREDHOVOR

Hydrologické dni sú tradičným spoločným podujatím slovenských a českých hydrológov s dlhoročnou tradíciou siahajúcou do roku 1980, teda do čias spoločného štátu. Je pozitívne, že táto tradícia preukázala svoju oprávnenosť i po vzniku našich dvoch samostatných republík a tieto naše spoločné stretnutia sú vítaným a prospešným príspevkom ku rozvoju hydrológie.

Cyklus organizácie tohto podujatia je päťročný a preto sa stretávame po šiesty raz. Iste bude zaujímavé pripomenúť si históriu doterajších stretnutí:

1. Hydrologické dni 1980 sa konali v Brne na Brnenskej priehrade;
2. Hydrologické dni 1985 sa konali na Zemplínskej Šírave;
3. Hydrologické dni 1990 sa konali v Českých Budejoviciach;
4. Hydrologické dni 1996 sa konali v Starej Lesnej vo Vysokých Tatrách;
5. Hydrologické dni 2000 sa konali v Plzni;
6. Hydrologické dni 2005 sa konajú v Bratislave.

Začiatok 21. storočia je spojený s významnými výzvami pre všetky pre všetky činnosti súvisiace s vodou. V ich kontexte konferencia tradične poskytuje príležitosť:

- udržiavať spoluprácu medzi hydrológmi obidvoch krajín a úspešne v nej pokračovať;
- prezentovať významné výsledky dosiahnuté v uplynulom období v obidvoch republikách;
- zamyslieť sa nad celým radom aktuálnych hydrologických a vodohospodárskych problémov;
- formulovať pozície a stanoviská hydrologickej obce;
- načrtnúť vízie pre ďalší rozvoj vednej disciplíny.

Pre tieto Hydrologické dni sme zvolili tému *Hydrológia pre integrovaný manažment vodných zdrojov*. Táto téma je bezosporu aktuálna a jej zabezpečenie v duchu zásad udržateľnosti je prioritou nielen pre vodné hospodárstvo, ale i pre vedeckú a operatívnu hydrológiu a hydrologickú výchovu a vzdelávanie. Týmto výberom sme cielene chceli vytvoriť podmienky pre stretnutie hydrológov a vodných hospodárov. Veď už v predhovore zborníka z 1. Hydrologických dní v roku 1980 autor napísal, že „nevieme o hydrológii, či je slúžkou alebo kráľovnou vodného hospodárstva“. Oba obory sú natoľko previazané, že ich vzájomná spolupráca a prelínanie sú nevyhnutným a jedine možným prístupom.

Čas beží svojim tempom a či chceme alebo nie, po dvadsiatich piatich rokoch nevyhnutne dochádza ku generačnej výmene. Príslušníci generácie zakladateľov tejto tradície sú už väčšinou mimo aktívneho pracovného pomeru a sme radi, že napriek tomu mnohí z nich prišli medzi nás. V dobách spoločného štátu boli pracovné i osobné kontakty českých a slovenských hydrológov zaiste častejšie a bližšie ako je tomu dnes. Vyvstáva teda otázka, či sa nájdu ďalší aktívni pokračovatelia, ktorých myšlienka Hydrologických dní osloví a inšpiruje ku pokračovaniu tradície. Sme presvedčení, že Hydrologické dni 2005 budú úspešné a preto zároveň i dúfame, že sa pri podobnej príležitosti stretneme i v budúcnosti. Bude to o päť rokov?

Pavol Miklánek
predseda SVH

PŘEDMLUVA

Od posledních Hydrologických dnů (HD), které se konaly v České republice v Plzni uplynulo pět let. Podle dodržované dohody o střídavém konání tohoto pravidelného shromáždění českých a slovenských hydrologů připadlo uspořádání v pořadí již VI. HD Slovenské republice.

Jednou z příčin, proč byla při výběru místa zasedání k tomu zvolena přímo metropole - Bratislava, je skutečnost, že jde o první HD ve 21. století. K této čestné volbě to však nebyl jediný důvod. Přispěla k tomu mimo jiné i dvě významná jubilea, která mají vztah k hydrologii. V roce 2005 uplyne 60 let od založení Organizace spojených národů pro vzdělání, vědu a kulturu (UNESCO), která se stala světovým hegemonem pro Mezinárodní hydrologický program (MHP). Je to také rok 130. výročí založení Hydrografické komise pro Království české, na níž navázaly v různých etapách svého vývoje hydrologické složky na území obou dnešních republik.

Národní výbory pro MHP v ČR a SR dospěly společně k názoru, že vedle místa konání dalším nejlepším uctěním těchto pozoruhodných událostí z minulosti nebudou ani tak oslavy, jako spíše dvě pracovně pojatá zamyšlení, která by nevybočila z obligátního poslání HD. V prvé řadě se chtělo aspoň stručně nastínit, jaké přínosy charakterizují vývoj a k jakému posunu v úrovni slovenské a české hydrologie došlo na počátku 21. století, tzn. v mezidobí uplynulých pěti let od posledních HD. Druhým logicky návazným záměrem bylo osvětlit v rámci konferenční polemiky jakými směry by se měla ubírat hydrologie s uvážením aktuálních potřeb dalšího udržitelného socioekonomického rozvoje obou republik.

Silným impulzem, který začal působit výrazně na hydrologické a vodohospodářské aktivity v mezidobí před VI. HD byl vstup ČR a SR do Evropské unie. S tím související aplikace Rámcové směrnice EU o vodě, kterou vydal Evropský parlament, navozuje důslednou kvantifikaci charakteristických objemových a jakostních stavů vodních zdrojů, integrované a trvale udržitelné hospodaření s vodou, holistické hodnocení jakýchkoliv zásahů do hydrosféry a maximálně efektivní ochranu životního prostředí před škodlivými účinky povodní a sucha, jakož i nežádoucími antropogenními vlivy. Pro hydrologii z toho vyplývá potřeba intenzivního rozvoje metod a technologií u monitorovacích a bilančních postupů, prohlubování hydrometeorologického modelování odtokového procesu, zejména, pokud jde o simulaci limitních stavů jeho složek a hodnocení na nepozorovaných povodích. V neposlední řadě jde také o interdisciplinárně pojaté řešení změn v oběhu vody. Především proto zvolil Vědecký a organizační výbor VI. HD za ústřední téma konference budoucí hydrologický vývoj pod názvem „Hydrologie pro integrovaný management vodních zdrojů“

Další nadnormální tlak na hydrologii vyvolaly povodňové pohromy, které postihly obě republiky. Extrémnost, frekvence výskytu, mimořádně krátká následnost povodňových jevů a enormní výše způsobených škod v posledním desetiletí vedou některé kruhy k závěrům, že nastala doba. „povodňového neklidu“. Mnozí specialisté vnímají tyto extrémní fáze v oběhu vody v širších geofyzikálních a ekologických souvislostech a hovoří o „zvýšené fluktuaci přírodních disturbancí“. Zahrnují do toho vedle povodní i ostatní druhy pohrom, jako jsou např, seismické otřesy, činnost vulkánů, horké vlny, sucho aj. Návazné otázky adresované hydrologům se týkají účinku globálních vlivů, zejména změny klimatu na vznik hydrologických extrémů, poznání jejich mechanizmu, prodlužování časového předstihu předpovědí a varování, rozšiřování počtu hydrometeorologických modelových aplikací atp. Některé odpovědi na takové žádosti nelze zatím však uzavřít. Organizátoři VI. HD pevně doufají, že právě příspěvky na této konferenci pomohou k objasňování mnohých těchto otevřených problémů.

Výrazně charakteristická v mezidobí byla i penetrace ekologických aspektů do klasických postupů při řešení problémů s vodou. Dá se říci , že mezi vodohospodáři a ekology ubývá konfliktních střetů a nahrazuje je konstruktivní polemika se snahou hledat optimalizační řešení a zprůkazňovat argumentaci. Důležitá role často i arbitrážní povahy připadá hydrologům. Např. zkoumání hydroekologických procesů na experimentálních povodích, studie udržitelného režimu odběrů ze zvodní, aby nedocházelo k většímu úbytku vody, než který je příroda schopna doplnit atp. Rozvoj experimentální hydrologie se stává podle posledních futurologických studií MHP UNESCO („Hydrology 2020“) jednou z neodmyslitelných součástí moderní péče o vodní zdroje. Mnohé příspěvky, které odezní na VI. HD tento názor podporují.

S vědomím všech naznačených okolností a jiných aktuálních tlaků na hydrologický vývoj v ČR a SR upravil Vědecký a organizační výbor VI. HD tradiční strukturu programu do sedmi tématických okruhů:

1. Hydrologická služba, organizačně-technické zabezpečení a výzkum
2. Nové modelovací nástroje v hydrologii
3. Moderní monitoring hydrometeorologických procesů
4. Nestacionarita přírodního prostředí a hydrologické procesy
5. Hydrologické extrémy
6. Integrovaný manažment povodí.

Celkově bylo přijato 80 příspěvků, které připravilo 163 autorů z různých pracovišť v ČR a SR, které se zabývají problematikou vody. Všechny schválené příspěvky jsou zveřejněny v plném znění v tomto Sborníku interpretovaném na CD ROM.

Nyní jde již jen o to, aby tento arzenál myšlenek, poznatků, zkušeností a diskusních podnětů nalezl brzy své realizátory a uživatele.

Ing. Josef Hladný, CSc.
Český národní výbor pro MHP

ÚVOD

Slovenský výbor pre hydrológiu (SVH) a Český výbor pre hydrológiu (ČVH), v spolupráci s hlavnými hydrologickými pracoviskami oboch republík, najmä so Slovenským hydrometeorologickým ústavom v Bratislave a pod záštitou p. László Miklósa, ministra životného prostredia SR, usporiadali v dňoch 21.-23. septembra 2005 v Bratislave už šieste spoločné stretnutie hydrológov a vodohospodárov oboch krajín.

Konferencie nazvané Hydrologické dni sa konajú pravidelne v päťročnom cykle od roku 1980 na základe trvalej dohody, ku ktorej dospeli hydrológovia pri príležitosti 100ročného jubilea hydrológie na území Československa. Začiatok 21. storočia je vhodnou príležitosťou ku spoločnému zamysleniu sa nad doterajším vývojom hydrológie v oboch blízkych krajinách a ku formulácii nových cieľov.

CIELE KONFERENCIE

Rozvoj hydrológie historicky vždy úzko súvisel s ochranou pred extrémnymi hydrologickými javmi a nutnosťou zabezpečovať dostatok kvalitnej vody. K týmto skutočnostiam sa v súčasnosti celosvetovo pridružili požiadavky integrovaného hospodárenia s vodou v povodiach v duchu zásad udržateľnosti a v našom regióne tiež potreba dosiahnuť dobrý ekologický stav vôd v zmysle Rámcovej smernice o vode EÚ (RS EÚ).

S dynamickým vývojom poznania zložitých väzieb procesov, ktoré tvoria hydrologický cyklus, sa preto v súčasnosti celosvetovo dostávajú do popredia záujmu hydrológov a vodohospodárov aj otázky vplyvu meniaceho sa prostredia na hydrologické procesy a úlohy integrovaného hospodárenia s vodou v nestacionárnych podmienkach, pre ktoré doposiaľ nie sú dostatočne vyvinuté zodpovedajúce metodické nástroje.

Vstupom našich krajín do EÚ pribudla pre hydrológov a vodohospodárov v tomto priestore veľmi dôležitá úloha - poskytnúť vstupy, podklady a hľadať nástroje pre implementáciu Rámcovej smernice o vode a pre vodné plánovanie.

V záujme zvýšenia podielu mladej generácie hydrológov na riešení súčasných problémov sa v rámci Hydrologických dní konali aj každoročné konferencie mladých hydrológov a mladých vodohospodárov spojené s ocenením najlepších prác.

VEDECKÝ VÝBOR

Nacházel Karel, ČVUT Praha, predseda
Szolgay Ján, STU Bratislava, predseda
Majerčáková Oľga, SHMÚ Bratislava, tajomníčka

Bačík Martin, SVP OZ Bratislava
Buchtele Jozef, UH AV ČR Praha
Číslerová Milena, ČVUT Praha
Fendeková Miriam, UK Bratislava
Hajtášová Katarína SHMÚ Bratislava
Hladný Jozef, ČHMÚ Praha
Hlavčová Kamila, STU Bratislava
Holko Ladislav, EHZ ÚH SAV Bratislava
Holubová Katarína, VÚVH Bratislava
Janeček Miloslav, VÚMDP Praha- Zbraslav
Kašpárek Ladislav, VÚV Praha
Kohnová Silvia, STU Bratislava
Kovář Pavel, ČZU Praha
Kremsa Jiři, SP Povodie Labe Hradec Králové
Kullman Eugen, SHMÚ Bratislava
Kubát Ján, ČHMÚ Praha
Miklánek Pavol, ÚH SAV Bratislava
Novák Viliam, ÚH SAV Bratislava
Pekárová Pavla, ÚH SAV Bratislava
Rieder Mark, ČHMÚ Praha
Řičicová Pavla, ČHMÚ Praha
Rončák Peter, SHMÚ Bratislava
Starý Miloš, VUT Brno
Supek Marian, MŽP SR Bratislava
Štekauerová Vlasta, ÚH SAV, Bratislava
Šútor Július, ÚH SAV, Bratislava
Tesař Miroslav, ÚH AV ČR Praha
Vogel Tomáš, ČVUT Praha

ORGANIZAČNÝ VÝBOR

Rončák Peter, SHMÚ Bratislava, predseda
Babiaková Gabriela, SHMÚ Bratislava, tajomníčka

Abaffy Dušan, MŽP SR, Bratislava
Halmová Dana, ÚH SAV Bratislava
Holčík Vladimír, VVB Bratislava
Makeľ Michal, GWP Slovensko
Pukančíková Katarína, SHMÚ Bratislava
Soukalová Eva, ČHMÚ Brno
Wendlová Valéria, SHMÚ Bratislava

TEMATICKÉ OKRUHY KONFERENCIE

1. ***Hydrologická služba, organizačno-technické zabezpečenie a výskum***
   Konvenori: Hladný, Kubát, Rončák, Majerčáková
2. ***Nové modelovacie nástroje v hydrológii***
   Konvenori: Holubová, Starý, Štekauerová, Vogel
3. ***Moderný monitoring hydrometeorologických procesov***
   Konvenori: Janeček, Holko, Novák, Tesař
4. ***Nestacionarita prírodného prostredia a hydrologické procesy***
   Konvenori: Buchtele, Hlavčová, Kašpárek, Pekárová
5. ***Hydrologické extrémy***
   Konvenori: Hajtášová, Kohnová, Kovář, Řičicová
6. ***Integrovaný manažment povodí***
   Konvenori: Bačík, Fendeková, Kremsa, Rieder

HYDROLOGICKÁ SLUŽBA, ORGANIZAČNO-TECHNICKÉ ZABEZPEČENIE A VÝSKUM

Březková L., Soukalová E.
Předpovědní hydrologická služba na ČHMÚ Brno 9

Čekal R., Hladný J.
Hydrosynoptická analýza povodňových situací v povodí horní Ohře 16

Daňhelka J.
Nejistota operativních hydrologických předpovědí v závislosti na vstupující předpovědi srážek v povodí Labe 29

Hrušková K., Kyselová D.
K metódam hodnotenia zásob vody v snehovej pokrývke 35

Ivančo J., Pavelková D., Mati R.
Ťažké kovy v povrchových vodách na východoslovenskej nížine 43

Kříž H.
Hodnocení účasti hydrologických vědných oboru na veřejné soutěži ve výskumu a vývoji GA ČR 55

Kulasová A., Bubeníčková L., Hancvencl R., Hlaváček J.
Kvalita vody při zvýšeném odtoku z povodí Uhlířská a Jezdecká v Jizerských horách 59

Lešková D., Babiaková G.
Hydroprognózna služba Slovenskej republiky a jej rozvoj 67

Miklánek P., Hladný J.
Voda a jej interakcie:Ohrozené systémy a spoločenské výzvy 73

Rončák P.
Súčasnosť a perspektíva služby Slovenského hydrometeorologického ústavu a podpora výskumu a vývoja 81

Řičicová P., Daňhelka J.
Hydroprognózní služba České republiky a její rozvoj 86

Szolgay J., Novák V.
Postgraduálne štúdium hydrológie v SR 93

Šipikalová H., Holko L., Hrušková K., Liová S., Demeterová B.
Odtok na území Slovenska 101

Šipikalová H., Hrušková K., Podolinská J., Škoda P., Velčická L.
Nové spracovanie hydrologických charakteristík na slovenských tokoch 108

Škoda P., Šipikalová H., Demeterová B., Gápelová V., Danáčová Z.
Priemerné mesačné prietoky na slovensku za obdobie 1961-2000 116

PŘEDPOVĚDNÍ HYDROLOGICKÁ SLUŽBA NA ČHMÚ BRNO

Lucie Březková, Eva Soukalová

Od roku 2001 se na pobočce ČHMÚ Brno používá srážkoodtokový model HYDROG, který slouží k simulaci, předpovědi a operativnímu řízení odtoků vody z povodí. Model se v současné době operativně provozuje v povodí Svratky (3 939 km^2), Dyje (4 527 km^2) a Jihlavy (2 998 km^2). Vstupními daty do modelu jsou údaje o průtocích, řízených odtocích z vodních nádrží a srážkách, v zimě pak i údaje o teplotách a výšce sněhové pokrývky. Pro operativní provoz se každodenně využívají rovněž radarové odhady srážek, které zahušťují a v případě poruchy přenosů kompletně nahrazují síť přenosových srážkoměrných stanic. Model slouží nejen k operativní předpovědi průtoků, ale využívá se i pro simulace různých odtokových situací (např. simulace tání zásob sněhu v povodí a ověření kapacit nádrží), které by mohly v blízké době nastat. V současné době se model testuje na předpovídání přívalových povodní s využitím některých typů extrapolace radarového echa.

Klíčová slova: srážkoodtokový model 1, předpověď průtoků 2, srážkoměrná stanice 3, radarový odhad srážek 4, simulace průtoků 5

Since 2001, the Brno CHMI Regional Office uses the rainfall-runoff HYDROG model, which serves for the simulation, forecasting and operative direction of water runoffs from the catchment. The model is at the present time operatively run in the catchments of the Svratka river (3 939 km^2), Dyje river (4 527 km^2) and Jihlava river (2 998 km^2). The input data for the model are data on discharge, directed runoffs from reservoirs, and precipitation, and also in winter data on temperatures and the height of the snow cover. For operative running, there is a daily use of radar precipitation estimates, which improve and in the case of faults in relay completely replace the network of relay precipitation-metering stations. The model serves not only for the operative discharge forecast, but is also used for the simulation of various runoff situations (e.g. the simulation of snowmelt in the catchment and verification of reservoir capacities), which could occur in the near time. At the present time the model is being tested for the forecasting of flash floods with the utilisation of some types of extrapolation of the radar echo.

Key word: rainfall-runoff mode l, discharge forecast 2, raingauge 3, radar precipitation estimate 4, simulation of runoff 5

ÚVOD

Významné povodně z konce devadesátých let – zejména povodeň v červenci 1997 na Moravě, urychlily rozhodnutí zavést hydrologické předpovědi pomocí matematických modelů ve větším měřítku i na regionálních předpovědních pracovištích poboček ČHMÚ. Vlastní práce při kalibraci modelů probíhaly formou spolupráce mezi vybranými firmami a pracovníky ČHMÚ, kteří se soustředili především na přípravu datových podkladů a pak na verifikaci a testování modelů v reálném provozu. Tyto náročné úkoly probíhaly v rámci grantových projektů – Extrémní hydrologické jevy v povodích, Výzkum metod a rozvoj předpovědních modelů pro potřeby povodňové ochrany a Výzkum vztahů mezi meteorologickými příčinami vývoje silných srážek a hydrologickou odezvou povodí.V povodí Moravy se pro předpovědi začal využívat model HYDROG [Starý, 1991-2005].

Srážkoodtokový model HYDROG byl nasazen nejprve v povodí Svitavy (2001), dále v celém povodí Svratky (2002), v povodí Dyje po novomlýnské nádrže (2003) a v povodí Jihlavy (2005) – viz. obr.1.

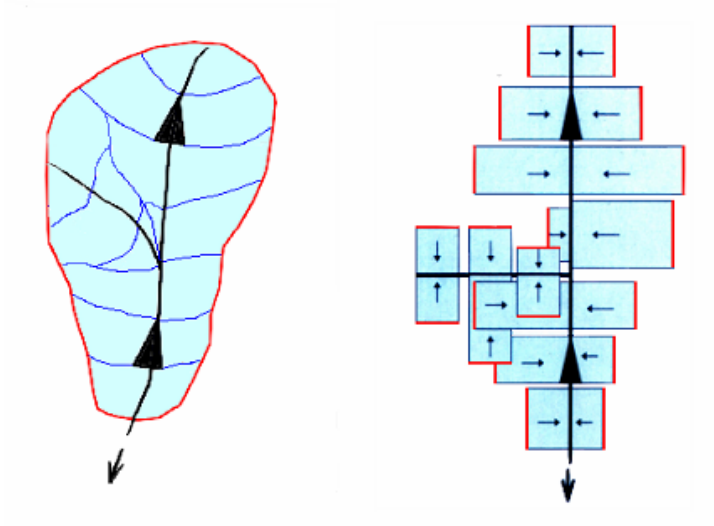


Obr. 1 Přehled povodí, kde se používá předpovědní model HYDROG (ČHMÚ P-Brno)

Fig.1 Map of catchments where HYDROG modelling system is used (CHMI – regional office Brno)

POPIS MODELU HYDROG

HYDROG [Starý, 1991-2001] slouží k simulaci, předpovědi a operativnímu řízení odtoků vody z povodí. Vstupními daty do modelu jsou údaje o průtocích, řízených odtocích z vodních nádrží a srážkách, v zimě pak i údaje o teplotách a výšce sněhové pokrývky.



Obr. 2 Princip schematizace povodí modelem HYDROG

Fig. 2 The principle of catchment schematisation of the HYDROG model

Program pracuje se schematizovaným povodím, kdy se reálné povodí nahradí orientovaným ohodnoceným grafem – viz. obr 2. Říční síť je rozdělena na úseky a k nim příslušející subpovodí (v HYDROGU se definuji jako zavěšené plochy). Každému úseku a každé zavěšené ploše jsou přiřazeny příslušné atributy (např. délka, průměrný sklon, tvar koryta pro úseky, velikost, průměrný sklon, typ povrchu pro zavěšené plochy). Z principu schematizace vyplývá, že model se snaží co nejvíce přiblížit reálnému tvaru povodí.

Povrchový odtok z povodí je rozdělen na plošný odtok ze zavěšených ploch a koncentrovaný odtok v říční síti a je řešen kinematickou vlnovou aproximací Saint-Venantových rovnic pro neustálené proudění. Pro numerické řešeni rovnic popisujících tok vody úseky koryt toků a po zavěšených plochách je použita jednokroková explicitní diferenční metoda. Podzemní odtok se počítá podle koncepčního regresního modelu, kdy se v povodí uvažuje jedna podzemní nádrž – velikost odtoku z této nádrže je pak rozpočítána v každém časovém kroku v poměru velikostí zavěšených ploch na velikost podzemních odtoků z těchto ploch. Základní rovnice nádrží jsou řešeny metodou Runge-Kutta IV. řádu.

Vzhledem ke způsobu schematizace je HYDROG schopen velmi dobře postihnout prostorové rozložení srážky nad povodím. Obecně platí, že každé zavěšené ploše jsou přiřazeny dvě hodnoty intenzity srážky (pro její horní a dolní část). Vzhledem k tomu, že velikost zavěšených ploch se pro středně velká a velká povodí (řádově stovky až tisíce km^2) pohybuje kolem 1-7 km^2, je zřejmé, že srážky mohou být prostorově velmi jemně „prokresleny“ např. s využitím radarových odhadů srážek, jak je uvedeno [Šálek 2004].

OPERATIVNÍ PROVOZ

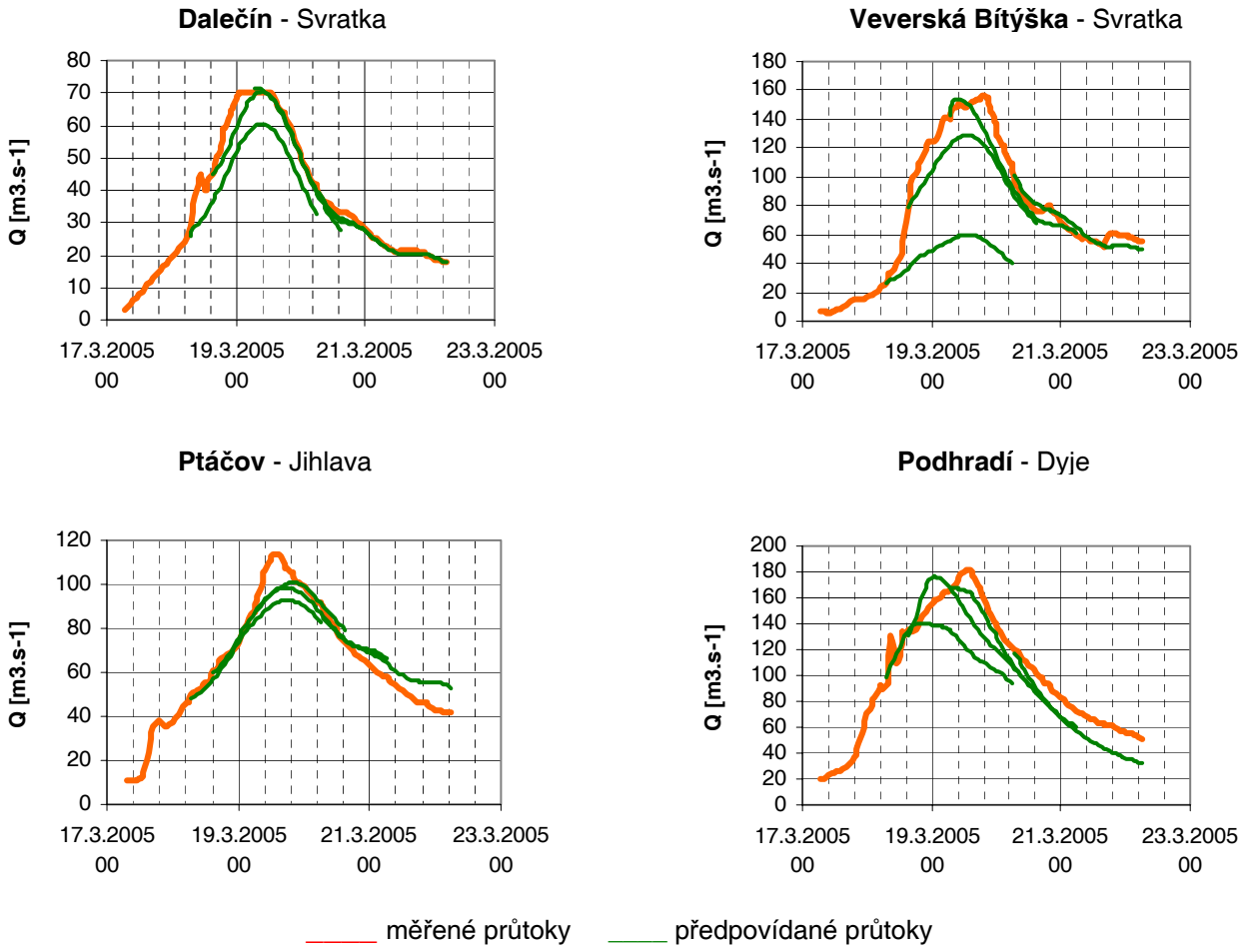
HYDROG se denně používá k výpočtu předpovědi průtoků ve vybraných profilech. Pro operativní provoz do modelu vstupují měřená hodinová data ze sítě vodoměrných stanic, srážkoměrných (v zimě i teploměrných) stanic, fiktivních srážkoměrných stanic (srážky simulované z radaru) a předpokládané hodnoty řízených odtoků z nádrží a předpovídané hodnoty srážek ve formě 6ti hodinových úhrnů, resp. teplot (v 0, 6, 12 a 18h UTC) – výstupy z numerického modelu ALADIN. Pro přípravu dat vstupních dat do modelu se využívá program Aquabase, který slouží pro zpracování, kontrolu a opravy datových řad, umožňuje také automatické vstupy předpovědi hodinových srážek a teplot a přepokládané odtoky z nádrží.

Při vlastním výpočtu se spouští algoritmus určený pro předpovědi průtoku vody ve vybraných profilech říční sítě. Po zadání vstupních údajů je spuštěna simulace chování systému v minulém období. Přitom jako počáteční podmínku simulace je pro toky vhodné uvažovat ustálené proudění. Simulace je ukončena v přítomnosti, tj. v aktuálním čase. Operátor může v tomto okamžiku provést korekci dat podle aktuálního měření na všech nádržích a měřených profilech.

Předpověď průtoků s dobou předstihu 24 a 48 hodin, což je limitováno kvantifikovanou předpovědí srážek, je připravena do 10:00 hodin, předpověď je předávána na dispečink Povodí Moravy, s.p. a je uveřejňována na webových stránkách ČHMÚ. Model provozují na P-Brno čtyři zaškolení pracovníci.

Aplikace modelu HYDROG při tání sněhové pokrývky – březen 2005

HYDROG byl poprvé při mimořádné odtokové situaci použit v březnu 2005, kdy došlo k výraznému vzestupu průtoků vlivem tání sněhové pokrývky. V povodí Svratky, Jihlavy a Dyje byly překročeny ve vodoměrných stanicích 3 stupně povodňové aktivity. Předpověď průtoků byla počítána k 18.3. 6h, 18.3. 15h, 19.3. 6h a 20.3. 6h. Ukázky operativních předpovědí na 48h v profilech Dalečín (Svratka, přítok do nádrže Vír), Veverská Bítýška (Svratka, přítok do nádrže Brno), Podhradí (Dyje, přítok do nádrže Vranov) a Ptáčov (Jihlava, přítok do nádrže Dalešice) jsou uvedeny na obr. 3.



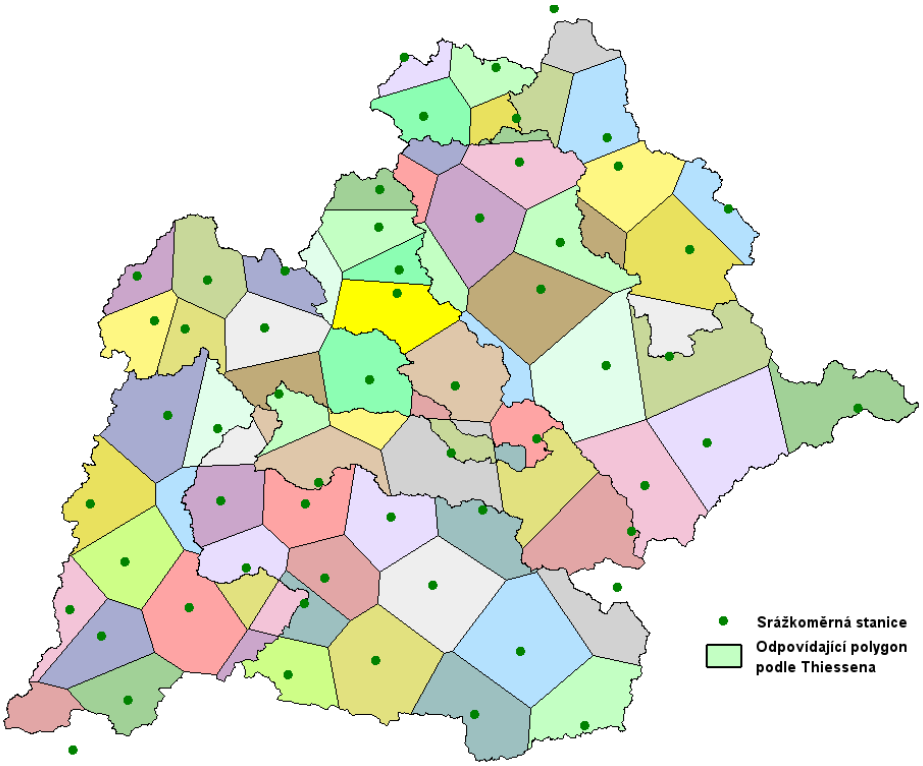
Obr.3 Ukázky operativních předpovědí z povodňové epizody způsobené táním sněhové pokrývky v březnu 2005

Fig. 3 Demonstrations of operative forecast from a flood episode caused by the melting of snow in March 2005

Předpověď průtoků byla poměrně spolehlivá a závisela zejména na přesnosti předpovídaných teplot, srážkové úhrny v tomto období nebyly významné. Pomocí modelu bylo rovněž vypočteno plnění Brněnské nádrže na řece Svratce a byla stanovena doba, kdy se nádrž naplní a voda začne přepadat přes bezpečnostní přeliv.

Náhradní síť fiktivních srážkoměrných stanic

Pro případ poruchy přenosu dat ze srážkoměrných stanic byla vytvořena ***náhradní síť fiktivních srážkoměrných stanic*** (viz. Obr. 4). Fiktivní stanice jsou zvoleny v místech skutečných srážkoměrů a jsou srážkové úhrny v nich počítány jako plošné průměry radarových kvantitativních úhrnů srážek (kombinovaná informace radar+srážkoměr – viz. [Šálek et al., 2004]). Tento postup byl zvolen vzhledem ke snadné implementaci náhradních dat do modelu v případě poruchy srážkoměru. Praxe ukazuje, že pro letní období se tyto plošné radarové odhady srážek jeví pro hydrologické modelování jako vhodnější místo klasické sítě srážkoměrných stanic, protože alespoň částečně postihnou i konvektivní jevy, které bývají značně lokálního charakteru. Radarové odhady srážek však mohou být zejména v chladnější polovině roku zatíženy značnou chybou vyplývající z různé fáze srážek.



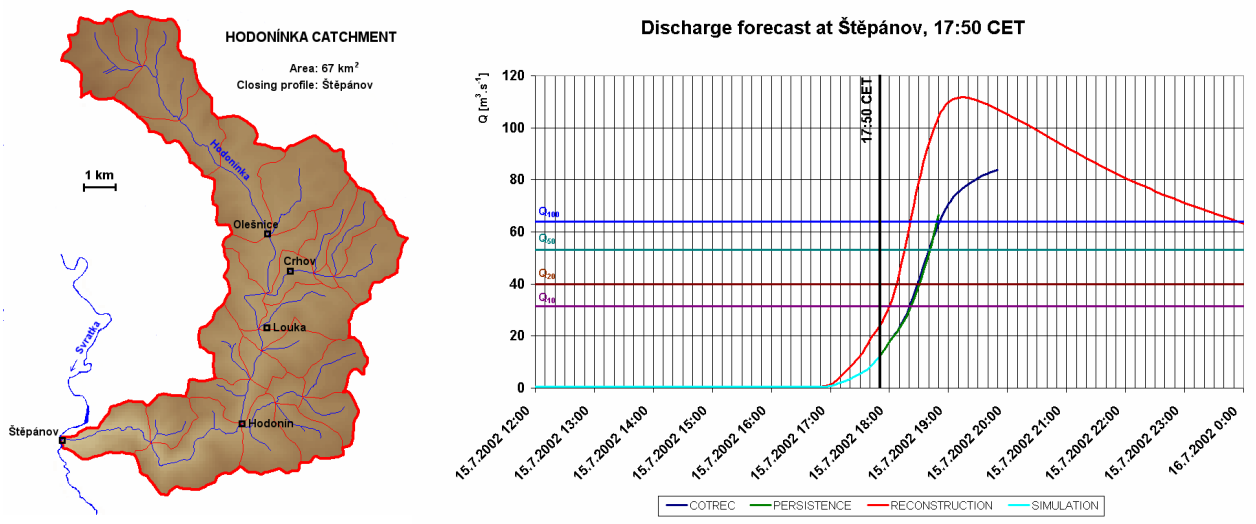
Obr. 4 Náhradní síť fiktivních srážkoměrných stanic
Fig. 4 Alternative nework of fictive raingauges

TESTOVÁNÍ PŘEDPOVÍDÁNÍ PŘÍVALOVÝCH POVODNÍ

V současné době se model testuje na předpovídání přívalových povodní. Jelikož přívalové srážky s délkou trvání často jen desítky minut jsou velmi obtížně předvídatelné pomocí numerických modelů předpovědi počasí nebo synoptickou metodou, zbývá pro předpověď těchto srážek srážek použít hodnoty odvozené z extrapolovaného radarového echa, neboť jiný zdroj předpovídaných srážek není pro tyto účely v podstatě k dispozici. Zároveň je nutné mít na paměti omezení plynoucí z formální extrapolace, vývoj konvektivního systému je často velmi nelineární. Byly testovány dvě metody - metoda COTREC [Novák et al., 2002, Novák, 2005] s extrapolací na dobu 2h a PERSISTENCE, kdy se předpokládá, že srážková činnost se nad povodím nemění po dobu 1h. Uvažuje se tedy systém, který by slučoval v (téměř) reálném čase operativní meteorologickou a hydrologickou informaci. Měřené i předpovídané odhady srážek by vstupovaly do hydrologického modelu a sledovala by se okamžitá odezva daného povodí. Radarové měření se opakuje každých 10 minut, data jsou dostupná v 2-3 minutě po skončení měření. Výpočet modelem HYDROG trvá řádově sekundy.

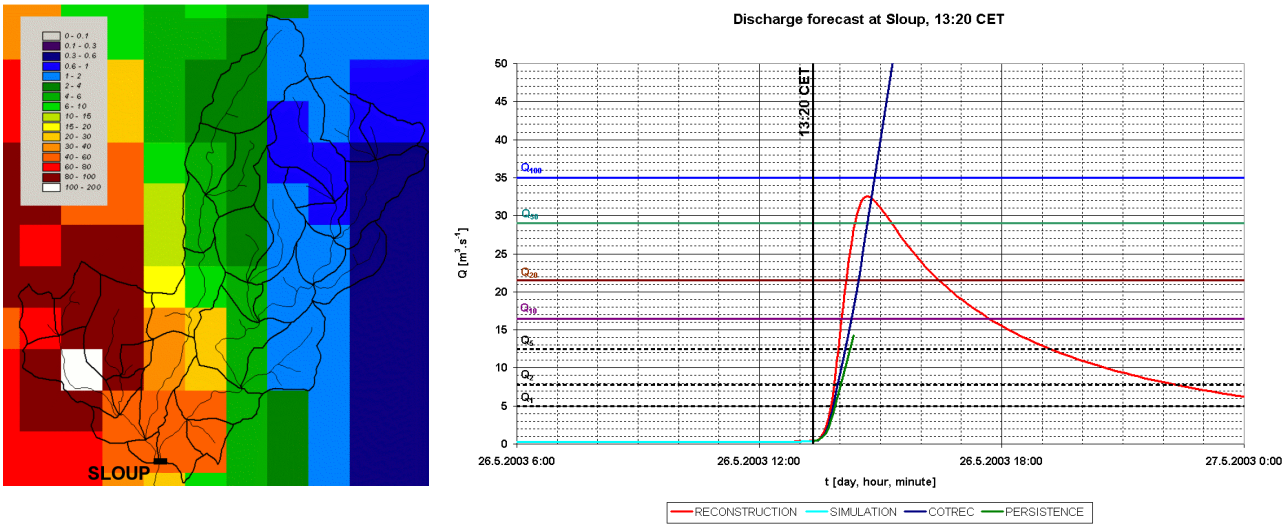
Účelem testu bylo vyzkoušet praktické možnosti a omezení výše naznačeného systému. Byly testovány dvě situace – katastrofální povodeň v povodí Hodonínky (15.7.2002, plocha povodí 69 km^2) a povodeň v povodí Sloupského potoka (26.5.2003, plocha povodí 50 km^2). V obou případech byla situace monitorována v závěrovém profilu, výsledky jsou uvedeny na obr. 5 a 6. Z výsledků vyplývá, že v povodí Hodonínky by bylo možné varovat obyvatele v obci Štěpánov (závěrový profil) přibližně 50 minut před kulminací, ve výše položených obcích však varování nebylo možné provést, protože průtoky zde v té době již kulminovaly. V povodí Sloupského potoka by bylo možné varovat obec Sloup asi 1 h před kulminací.

Uvedený systém je zatížený značnou mírou nejistoty a v operativním provozu by zřejmě vykazoval nezanedbatelné množství falešných alarmů. Přesto výsledky naznačují, že v některých případech by mohl sloužit (vedle operativních radarových snímků, map nasycenosti povodí apod.) jako další z prostředků varovného systému pro přívalové povodně.



Obr. 5 Možnosti předpovědi přívalové povodně v povodí říčky Hodonínka. Mapa povodí s vyznačením povodní zasažených obcí a hydrogram se srovnáním rekonstruovaného a simulovaného průběhu povodňové vlny.

Fig. 5 Possibilities of forecast of flash flood in the catchment of the Hodonínka stream. The map of the catchment with marked out communities affected by flood and the flood hydrograph with real and simulated flood wave.



Obr. 6 Možnosti předpovědi přívalové povodně v povodí Sloupského potoka. Mapa povodí s ukázkou radarem naměřených srážek (hodinový úhrn v mm, rozlišení 1x1km) a hydrogram se srovnáním rekonstruovaného a simulovaného průběhu povodňové vlny

Fig. 6 Possibilities of forecast of flash flood in the catchment of the Sloupský stream. The map of the catchment, where the radar measured precipitation is shown (hourly precipitation in mm, resolution 1x1 km) and hydrograph with real and simulated flood wave

ZÁVĚR

Hydrologické modely jsou dnes běžnou součástí hydroprognózních pracovišť. Model HYDROG se používá na brněnské pobočce ČHMÚ k operativní předpovědi průtoků již čtyři roky. Jako vstupní data se v operativním provozu nepoužívají pouze údaje ze sítě srážkoměrných stanic, ale také radarové odhady srážek. Model se dále využívá se i pro simulace různých odtokových situací (např. simulace tání zásob sněhu v povodí a ověření kapacit nádrží). V současné době se model testuje na předpovídání přívalových povodní s využitím některých typů extrapolace radarového echa.

Literatura

Novák P., Walder J., Kráčmar J. (2002): The First Attempts At The Radar Echo Prediction In The Czech Weather Radar Network, ERAD Publication Series, Vol 1, 55-58.

Novák P. (2004): Czech weather radar data utilization for precipitation nowcasting, In: ERAD 2004 proceedings, ERAD publication series, Vol. 2, 459-463.

Šálek, M., Novák, P, Seo, D-J. (2004): Operational application of combined radar and raingauges precipitation estimation at the CHMI. ERAD 2004 proceedings, ERAD publication series, Vol. 2, 16-20.

Starý,M., Program HYDROG, Táborská 110, Brno 615 00, 1991-2005.

Autoři

Lucie Březková, Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 43, 616 67 Brno, lucie.brezkova@chmi.cz

Eva Soukalová, Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 43, 616 67 Brno, eva.soukalova@chmi.cz

HYDROSYNOPTICKÁ ANALÝZA POVODŇOVÝCH SITUACÍ V POVODÍ HORNÍ OHŘE

Radek Čekal, Josef Hladný

Analýzou sledů a přestaveb příčinných cirkulačních podmínek a odpovídajících srážek naměřených na ploše povodí horní Ohře po Karlovy Vary byly identifikovány jejich nejvíce nebezpečné typy pro vznik povodňových situací v této oblasti. Následně byl posouzen u letních výskytů velkých vod i vliv dynamických atmosférických faktorů, vyvolaného srážkového pole a odtokové odezvy v říční síti na podobný tvar a průběh povodňových vln v závěrovém profilu povodí. Jako vstupní soubor byly použity vlny z profilu Karlovy Vary za období 1959 – 2002. Ze synoptické analýzy vyplynulo, že na tvar letních průtokových vln má signifikantní vliv směr postupu příčinné tlakové níže.

Klíčová slova: Sled typů povětrnostních situací, trajektorie středu tlakové níže, typizace povodňových vln

Hydro-synoptic analysis of flood situations in the Upper Ohře catchment. *Analysis of daily precipitation totals measured in the Upper Ohře river catchment in the Czech territory, and the sequence and reconfiguration of the causal circulation conditions occurring prior to culmination discharges has helped to identify the conditions that pose the greatest flood risk for the catchment. We have then assessed the effect of dynamic atmospheric factors, the resulting precipitation field, and the runoff response in the river network on the similarity of the shape and variation over time of flood waves at the last site in the catchment. The input set of data included that on summer (May to October) flood waves observed at the Karlovy Vary site between 1959 and 2002. Synoptic analysis has revealed that the direction of movement of the causal pressure lows influence the shape of summer flood waves.*

Key words: Flood efficiency of weather situation types, trajectory of the cyclone centre, types of flood waves

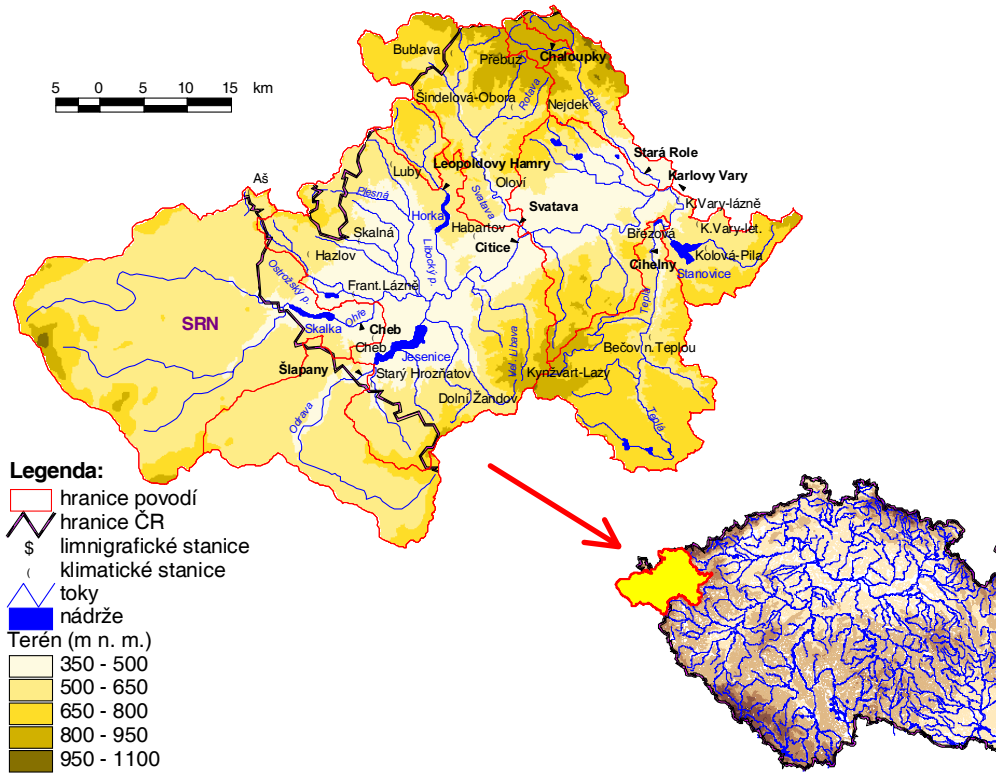
---

1. ÚVOD

Příspěvek se zabývá hydrosynoptickou analýzou povodní, které se vyskytly v období let 1959 – 2002 nad prahovým kulminačním průtokem 100 $m^3.s^{-1}$ (1/2-letý průtok) v českém povodí horní Ohře v profilu Karlovy Vary, viz obr. 1. Cílem bylo objasnit mechanismus vzniku a vývoje průtokových vln v tomto povodí, které je z hlediska povodňové ochrany důležité pro vývoj povodňové situace v Podkrušnohoří. Konkrétně šlo o vyšetření vztahů mezi příčinnými cirkulačními podmínkami v atmosféře, časovým a prostorovým rozdělením vyvolaných srážek ve fyzickogeografických poměrech daného povodí a odtokovou odezvou v příslušné říční síti. Tento fázový triplet vývoje povodňové události byl nazván jako hydrosynoptické kontinuum.

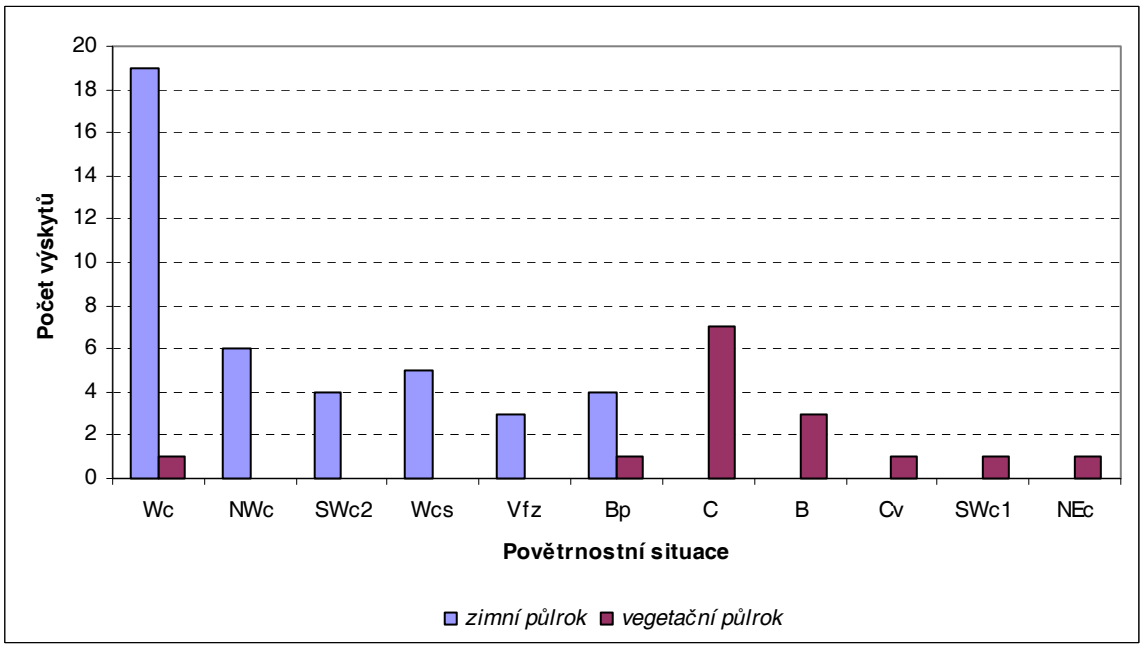
2. VLIV ATMOSFÉRICKÉ CIRKULACE NA VZNIK POVODNÍ

Z celkového počtu 28 klasifikovaných meteorologických situací, které obsahuje permanentně aktualizovaný *Katalog povětrnostních situací* [viz zkratky a názvy situací v publikaci *Brádka et al.,* 1961] bylo identifikováno jejich 11 typů, které mohou být za určitých okolností příčinou vzniku povodní anebo rozvodnění v povodí. Z toho jen dva typy (Wc a Bp) mohou způsobit povodeň jak v letním, tak i v zimním půlroce. Ostatní jsou svým výskytem vázány výlučně na jednu z obou těchto sezón, viz obr. 2.



Obrázek 1: *Povodí horní Ohře a jeho pozice na území České republiky*

Figure 1: *The upper part of the Ohře river catchment and its position in the Czech Rebublic*

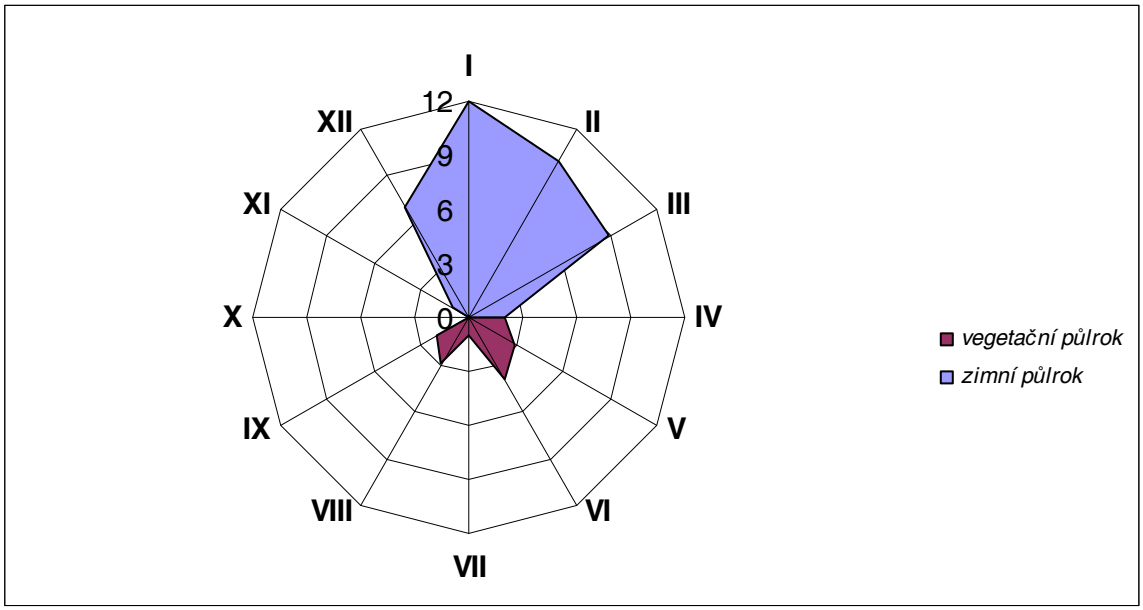


Obrázek 2: *Četnost výskytů příčinných povětrnostních situací v povodí horní Ohře za období 1959 - 2002*

Figure 2: *Flood causing synoptic situations for Upper Ohře river (period 1959 – 2002)*

2.1 Sezonalita výskytu povodňových situací

Z celkového souboru 56 průtokových vln se jich vyskytlo 41 v zimním (listopad – duben) a 15 v letním (květen – říjen) pololetí hydrologického roku.



Obrázek 3: Sezonalita výskytu povodní v povodí horní Ohře v Karlových Varech za období 1959 - 2002

Figure 3: Flood seasonality of Ohře river in Karlovy Vary (for period 1959 – 2002)

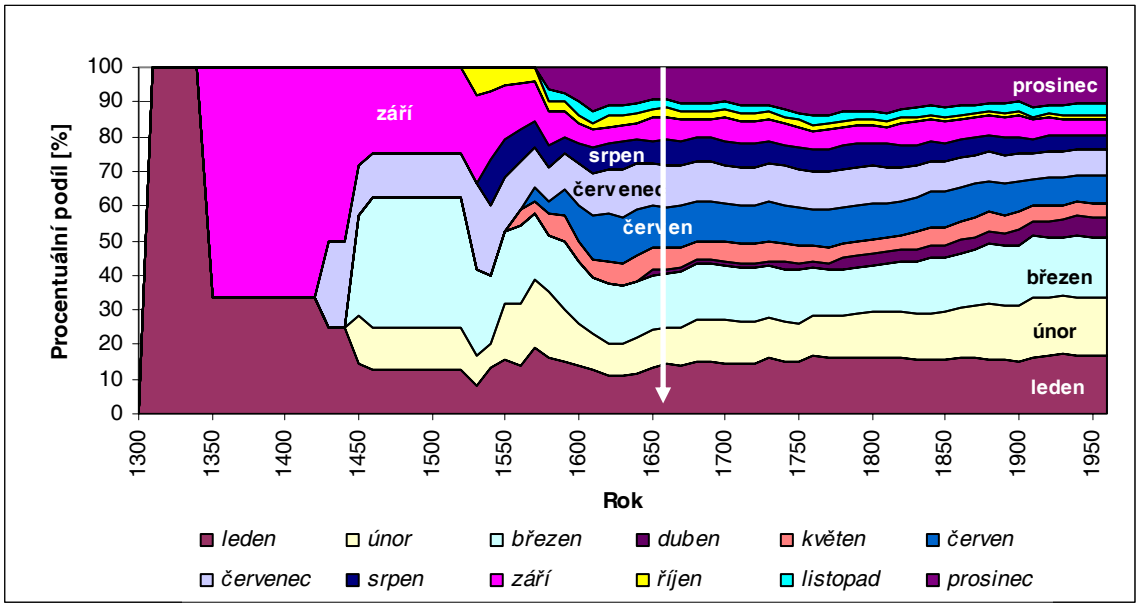
Zimní povodně se ponejvíce vyskytují v povodí horní Ohře v lednu, únoru a březnu, viz obr. 3. Největší frekvenci v březnu zapříčiňuje typické sezónní střídání vzduchových hmot, čímž se zvyšuje pravděpodobnost spadu dešťových srážek a tání sněhu i ve vyšších horských polohách.

Dominující zimní asymetrie ve výskytu povodní oproti letním případům je zřejmá i v dlouhodobém měřítku. Svědčí o tom výsledky retrospektivní analýzy časové řady narativních údajů o výskytu povodní od roku 1310, viz obr. 4, [*Kynčil*, 1979]. U této řady lze pozorovat (v jejím věrohodnějším úseku od roku 1650) sice mírnou tendenci k narůstání výskytu zimních a jarních povodní na úkor letních případů. Při omezené vypovídající schopnosti proxy dat zůstává však toto zjištění zatím na úrovni hypotézy, jejíž platnost by bylo třeba prověřit speciálním dalším výzkumem.

Zimní sezonální složka, která u 75 % výskytů všech povodní (při jiné prahové hodnotě průtoku může být poněkud odlišná) je již tak vysoká, že přichází do úvahy její využití pro adaptabilní způsob hospodaření s vodou v nádržích.

2.2 Mechanismus vzniku letních a zimních povodní

V zimním období je povodí Ohře, které je protáhlého tvaru s páteřním tokem orientovaným v mírně severovýchodním směru, srážkově dávkováno při převažujících zonálních situacích ze západního, jihozápadního i severozápadního sektoru, směrem po toku. Při tomto vývoji intenzita narůstání extremity kulminací průtokových vln v páteřním toku zesiluje v důsledku interferenčních účinků vln z přítoků. Rychlému zvětšování průtoků v důsledku dešťových srážek brání poněkud retenční kapacita sněhové pokrývky zejména v horských polohách. Z toho vyplývá, že na počáteční vývoj zimních povodní mají rozhodující vliv především sněhové zásoby v podhůří, kde výška sněhové pokrývky bývá obvykle nižší a tím menší i její retenční účinek.



Obrázek 4: *Vývoj podílu jednotlivých měsíců s výskytem povodní na Ohři za období let 1310 - 1960*

Figure 4: *Flood seasonality of Ohře river in Karlovy Vary (for period 1310 - 1960)*

Mechanismus letních průtokových vln vytvářejí povětrnostní situace s více meridionální směrovou složkou. Uplatňuje se při nich proto výrazněji srážkový stín anebo návětrný efekt Krušných hor. Výrazně menší výskyt situací přicházejících z jižního sektoru v povodí Ohře je patrně způsoben vlivem Alp. To však neznamená, že by se nemohly v letním období vyskytnout v povodí Ohře extrémní povodně (viz např. povodeň v roce 1890, 1926, 1954, aj.). Dochází k tomu zejména při situacích s retrográdním pohybem cyklony, [*Kakos,* 2005]. Při výjimečně kolmém směru proudění od jihu na hradbu Krušných hor se výrazně projevují návětrné efekty zejména v důsledku poměrně větší plochy svahů s jižní složkou expozice. Severně orientována složka proudění způsobuje intenzivnější srážky zejména v hřebenových partiích Krušných hor.

U ostatních situací dochází k relativně častějšímu srážkovému dávkování proti směru páteřního toku. Tím se interferenční účinek na extremitu průtokových vln zmenšuje.

2.3 Určení příčinné meteorologické situace a jejího časového předstihu

Průměrné trvání povodňové synoptické situace se v povodí horní Ohře pohybuje okolo 2,7 dne. Je tedy u povodní v zimním půlroce přibližně o jednu třetinu a u letních pak o jednu čtvrtinu kratší než je průměrná dlouhodobá hodnota průběžných synoptických situací v délce 4,1 dne, vypočtená na základě všech jejich typů [*ČHMÚ*, 1967]. Z toho vyplývá, že u převážné většiny (v použitém souboru 90 %) povodňových případů dochází v průběhu uvažované 5-denní předkulminační fáze (od D-5 až po den kulminace D) minimálně k jedné přestavbě potenciálních typů meteorologických situací na jiný následný typ.

Pouze cca u 10 % povodňových výskytů si zachovávají atmosférické řídící útvary (tlakové níže – cyklóny a tlakové výše – anticyklóny) zhruba stacionární polohu a směr proudění. Pokud mají tyto situace dostatečný přísun vlhkého vzduchu a mohou se srážkově vyvinout, jsou nebezpečné v oblasti zájmového povodí svými déletrvajícími dešti.

Směrem k datu kulminace odtokové odezvy musí vliv kauzality atmosférických cirkulací na vznik průtokové vlny přibývat a obráceně, neurčitost ve změnách atmosférických procesů daná počtem možných kombinací jejich vyskytujících se typů, by měla zase ubývat. To znamená, že den, kdy se vyskytuje v průměru za celé referenční období spektrum možných typů situací v nejmenším rozsahu čili v jejich nejmenším počtu, lze chápat, že jsou to situace příčinné, které se podílejí s největší pravděpodobností na vzniku povodňové události. V povodí horní Ohře se vyskytuje nejmenší počet možných příčinných povětrnostních typů v den D-2.

2.4 Genetický kód hydrosynoptického vývoje povodní v povodí horní Ohře

Spektra typů možných situací, připadající na každý den předkulminační a pokulminační fáze všech povodňových případů, vytvářejí jakýsi genetický kód povodně (viz tab. 1 a 2), z něhož lze vyčíst vedle zmíněného časového předstihu příčinných cirkulačních podmínek dále, že:

- neurčitost cirkulačních poměrů v atmosféře začne opět narůstat již v průběhu zpoždění kulminace odtokové odezvy oproti výskytu příčinné meteorologické situace,
- neurčitost vývoje v atmosféře v pokulminační fázi má tendenci se vrátit do stavu před počátkem nástupních procesů, které vedly ke vzniku povodňové události,
- příčinné situace v průběhu časového předstihu vykazují určitý rozptyl podle jejich typu,
- vývojový sled situací se postupně uskutečňuje pouze z jejich určitého vymezeného počtu.

Tabulka 1: Genetický kód zimních povodňových situací za období 1959 - 2002

Table 1: Type of synoptic situation for days before and after the peak flow

Počet	Typ povětrnostní situace vyskytující se ve dnech											
	D - 9	D - 8	D - 7	D - 6	D - 5	D - 4	D - 3	D - 2	D - 1	D	D + 1	D + 2
1	A	A	A	A	A	A	B	Bp	Ap_2	A	A	A
2	B	B	Ap2	Ap2	Bp	Ap_2	Bp	NWa	Bp	B	Ap_1	Ap_1
3	Bp	Bp	Bp	Bp	Nc	B	Nc	NWc	NWa	Bp	Ap_2	Ap_2
4	Nc	Nc	Nc	Nc	NWa	Bp	NEc	SWa	NWc	Nc	B	B
5	NEc	NEc	NWa	NWa	NWc	Nc	NWc	SWc_2	SWa	NWa	Bp	Bp
6	NWc	NWc	NWc	NWc	SEa	NEc	SWa	Vfz	SWc_1	NWc	Nc	C
7	SEa	SEa	SEa	SEc	SWa	NWc	SWc_2	Wc	SWc_2	SWc_1	NEa	Ea
8	SEc	SEc	SEc	SWa	SWc_1	SEa	Vfz	Wcs	Vfz	SWc_2	NEc	Nc
9	SWa	SWa	SWa	SWc_1	SWc_2	SWa	Wa		Wc	Vfz	NWa	NEa
10	SWc_1	SWc_1	SWc_1	SWc_2	Vfz	SWc_1	Wc		Wcs	Wa	NWc	NEc
11	SWc_2	SWc_2	SWc_2	SWc_3	Wa	SWc_2	Wcs			Wc	Sa	NWa
12	SWc_3	SWc_3	SWc_3	Vfz	Wc	Vfz				Wcs	SWc_1	NWc
13	Vfz	Vfz	Vfz	Wa	Wcs	Wa					SWc_2	Sa
14	Wa	Wa	Wa	Wc		Wc					Vfz	SEc
15	Wc	Wc	Wc	Wcs		Wcs					Wa	SWa
16	Wcs	Wcs	Wcs								Wc	SWc_2
17											Wcs	SWc_3
18												Vfz
19												Wa
20												Wc
21												Wcs
Σ	16	16	16	15	13	15	11	8	10	12	17	21

V genetickém kódu byla zjištěna vedle D-2 také existence podružného dalšího minima výskytu povětrnostních situací a to v den D-5 u zimních povodňových vln a v den D-7 u letných vln. Zjištěné typy povětrnostních situací připadající na tyto dny by měly mít rovněž určitý vliv na meteorologický vývoj v předkulminační fázi povodňových případů. Je to zajímavý podnět pro další návazný výzkum.

V zimní polovině roku se v referenčním období 1959 – 2002 se podílelo na vzniku povodňových epizod celkem šest typů povětrnostních situací, z nichž největší podíl na frekvenci výskytu povodní připadal situaci typu Wc. Nejvyšší srážkové úhrny v příčinný den byly dosahovány u situací typu Vfz a nejrychlejší odtávání sněhové pokrývky probíhalo v průběhu situace typu SWc_2. Celkově nejvyšší dvoudenní průměrné srážkové úhrny v povodí a tedy i potenciálně největší odtoková odezva v zimním půlroce v povodí horní Ohře byla zjištěna u povodní s příčinnou situací typu Vfz, které předcházela situace Wc.

Tabulka 2: *Genetický kód letních povodňových situací za období 1959 - 2002*

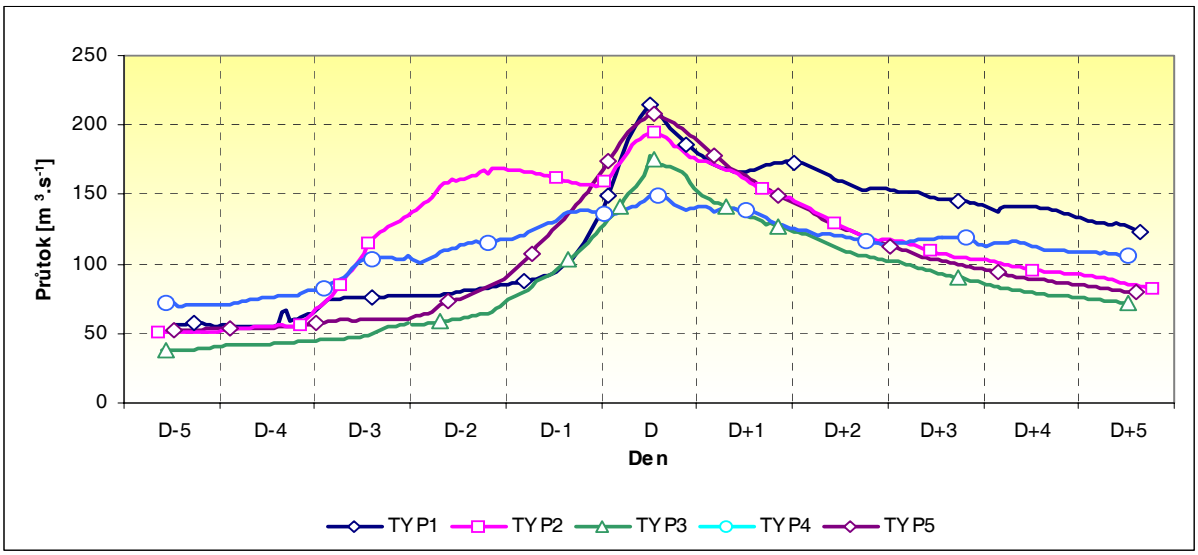
Table 2: *Type of synoptic situation for days before and after the peak flow*

Počet	Typ povětrnostní situace vyskytující se ve dnech											
	D - 9	D - 8	D - 7	D - 6	D - 5	D - 4	D - 3	D - 2	D - 1	D	D + 1	D + 2
1	Ap_3	Ap_3	Bp	Ap_2	Ap_1	B	B	B	B	B	A	A
2	B	Bp	C	Bp	Ap_2	C	C	C	Bp	Bp	B	B
3	C	C	Sa	C	B	Ec	Nc	NEc	C	C	Bp	Bp
4	Ea	Sa	SWc_1	Ec	Bp	Nc	SEc	SWc_1	Cv	Cv	C	C
5	Ec	SWc_1	SWc_3	Sa	C	Sa	SWa	Wc	NEc	Nc	Nc	Nc
6	Sa	SWc_3	Wal	SWc_1	Ec	SEc	SWc_2		SWc_1	NEc	NEc	NEc
7	SWc_1	Wal	Wcs	SWc_3	Nc	SWa	Wal			SWc_1		NWc
8	SWc_3	Wcs		Wal	Sa	SWc_2	Wc					SWc_1
9	Vfz			Wcs	SEc	Wal						Wc
10	Wal				SWa	Wc						
11	Wcs				Wal							
12					Wc							
Σ	11	8	7	9	12	10	8	5	6	7	6	9

V letní polovině roku se podílelo na vzniku povodní celkem sedm typů povětrnostních situací. Nejvíce byly zastoupeny situace typů C a B. Průměrně nejvyšší denní srážkové úhrny v povodí v příčinný den byly zjištěny u situace typu SWc_1. Nejvyšší dvoudenní průměrné srážkové úhrny v povodí a povodňově „nejnebezpečnější“ ve vegetační části roku byl v zájmovém povodí sled synoptických situací typu C ukončených příčinnou situací SWc_1.

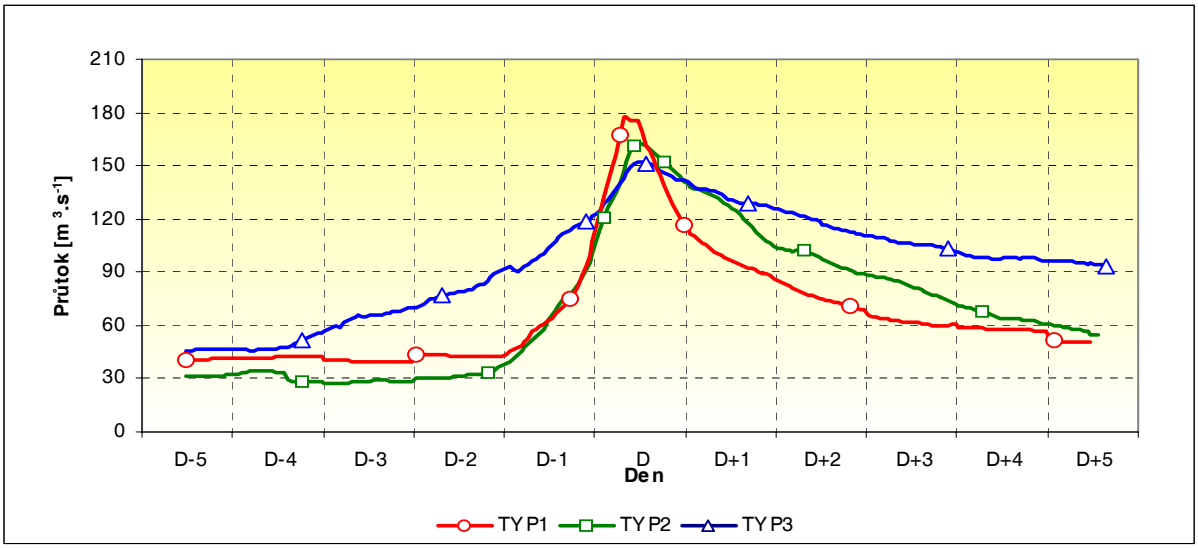
3. KATEGORIZACE ZIMNÍCH A LETNÍCH POVODŇOVÝCH VLN

Dalším cílem bylo zjistit, zda danému typu příčinné synoptické situace odpovídá určitý typ průtokových vln. Kategorizace se prováděla na základě vizuálního porovnání společných znaků jednotlivých průtokových případů. Komformní vlny byly pak seřazeny podle osy procházející jejich kulminací. Typová kategorie vznikla zprůměrováním pořadnic takto vzniklého souboru vln. Soubor průtokových vln u zimních rozvodnění byl rozdělen na pět základních typů a u letních situací na tři, viz obr. 5 a 6.



Obrázek 5: *Průběh jednotlivých typů zimních povodňových vln*

Figure 5: *Courses of winter floods of Ohře river in Karlovy Vary (for period 1959 –2002)*

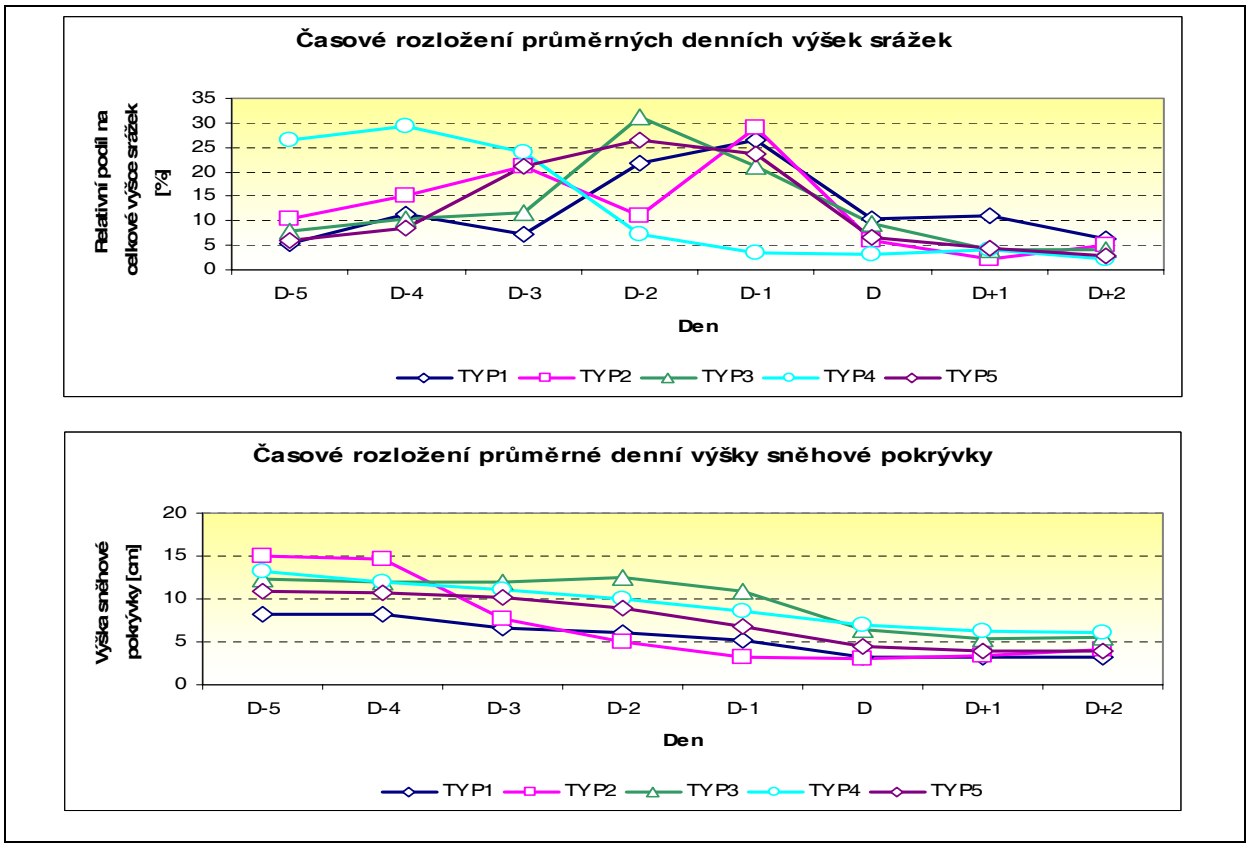


Obrázek 6: *Průběh jednotlivých typů letních povodňových vln*

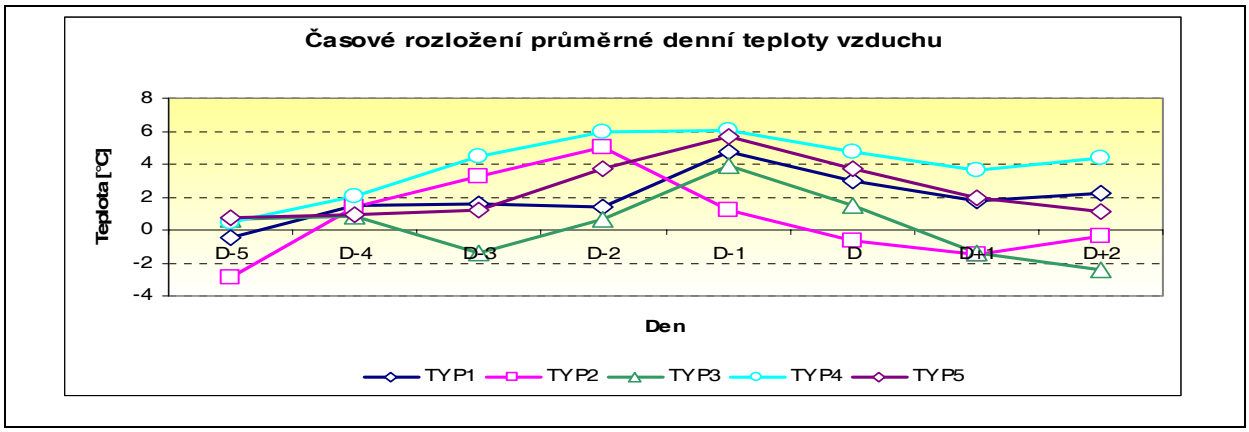
Figure 6: *Courses of summer floods of Ohře river in Karlovy Vary (for period 1959 –2002)*

K odvozeným kategoriím průtokových vln byly přidruženy průměrné typové modely časoprostorového rozložení srážek, u zimních pak i výšky sněhové pokrývky, jakož i průměrné denní teploty vzduchu na ploše zájmového povodí ve dnech D-5 až D+2, viz obr. 7 a 8. Získané poznatky mají význam pro regionalizaci krajiny podle jejího povodňového zatížení.

Sezonální porovnání průměrného průběhu odvozeného ze všech typových vln a průměrných příčinných srážek naznačuje, že retenční kapacita povodí horní Ohře je v letním období větší než v období zimním.

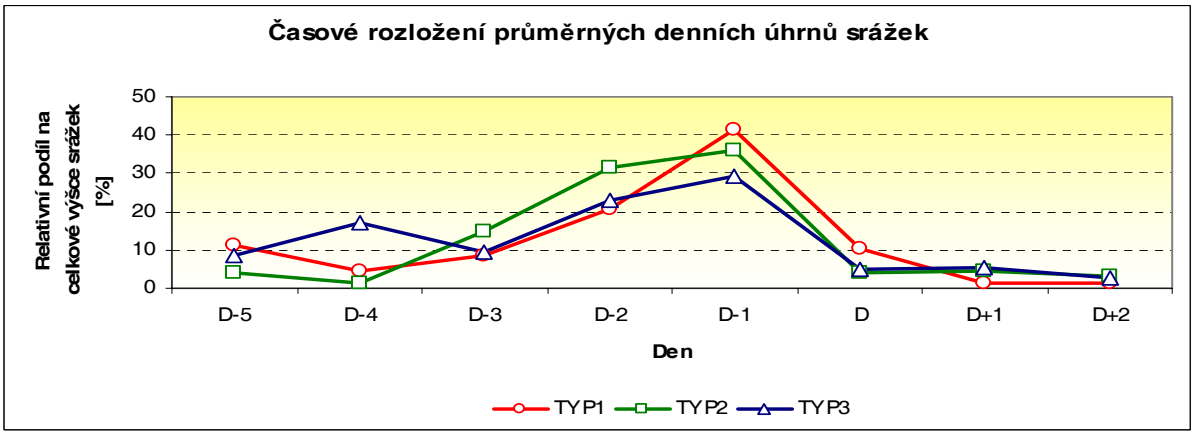


Obrázek 7



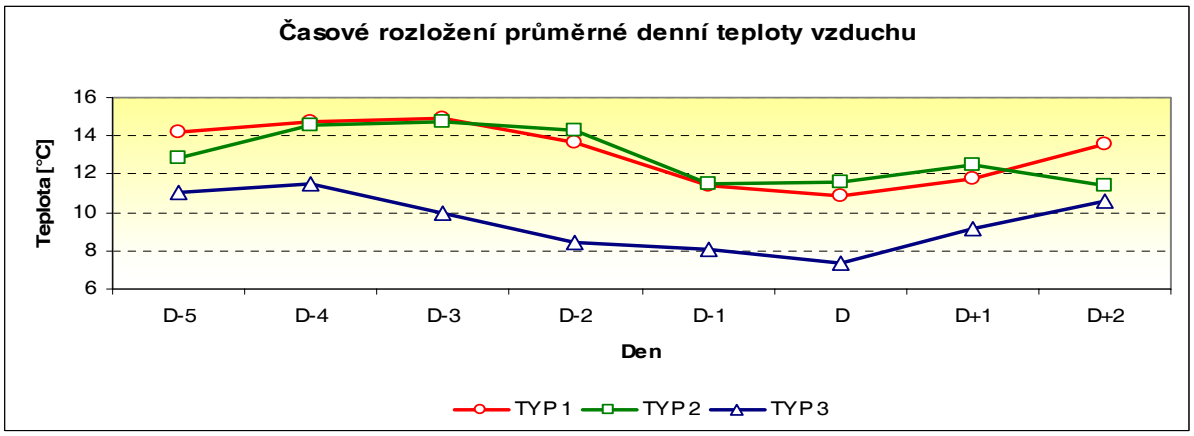
Obrázek 7: *Typové modely časoprostorového rozložení srážek, výšky sněhové pokrývky a teploty vzduchu u zimních povodňových vln*

Figure 7: *Temporal course of precipitation, snow cover and air temperature for particular flood types of winter floods*



Obrázek 8: *Typové modely časoprostorového rozložení srážek u letních typů povodňových vln*

Figure 8: *Temporal course of precipitation for particular flood types of summer floods*



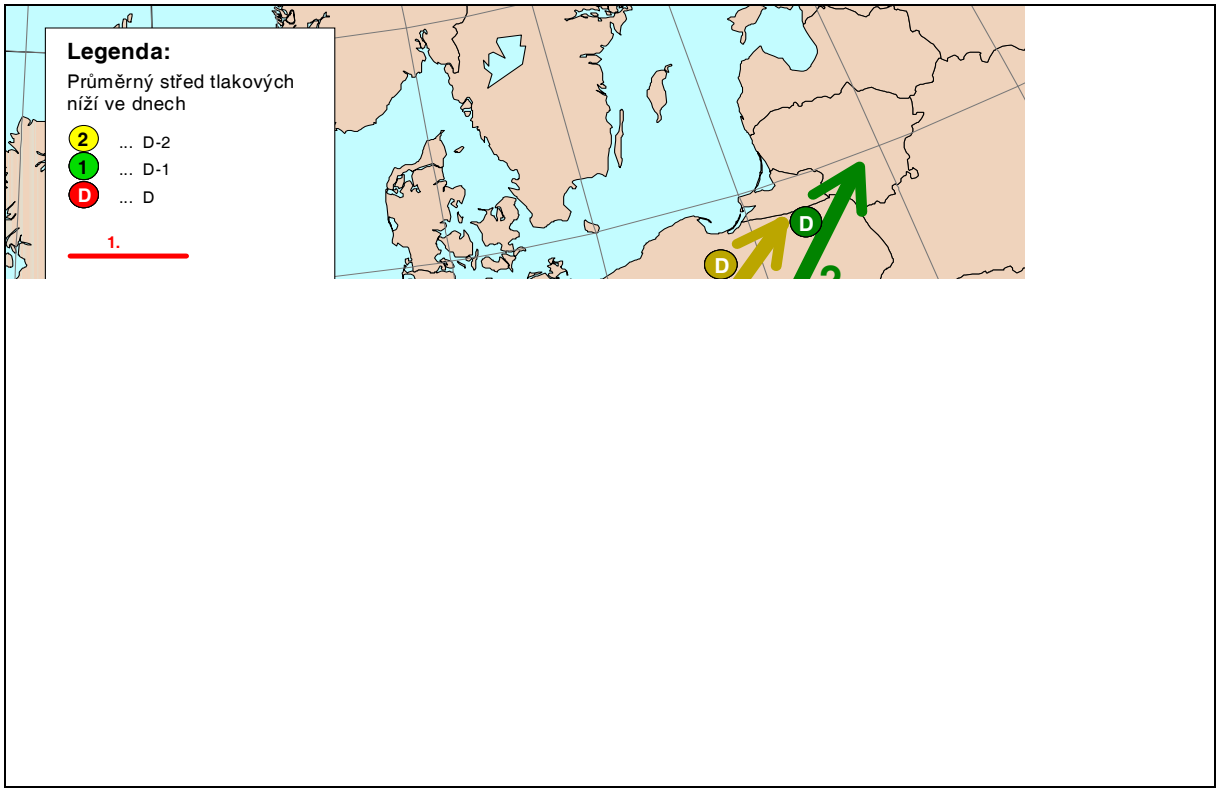
Obrázek 8: *Typové modely časoprostorového rozložení teploty u letních typů povodňových vln*

Figure 8: *Temporal course of air temperature for particular flood types of summer floods*

4. VLIV POLOHY TRAJEKTORIÍ STŘEDŮ PŘÍČINNÝCH TLAKOVÝCH NÍŽÍ NA KATEGORIZACI LETNÍCH POVODŇOVÝCH VLN

Hydrosynoptickou analýzou povodňových případů byly nejprve lokalizovány vždy středy jejich příčinné cyklony ve stejnou dobu každého dne v intervalu D-3 až D+1. Propojením takto určených bodů přímkou na synoptické mapě byly získány schematizované úseky dráhy pohybu (trajektorie) jednotlivých „povodňových“ cyklon. Na podkladě zobrazených trajektorií byly pak určeny rozměry veličin jako jsou průměrná nejmenší vzdálenost dráhy středů cyklony od geometrického těžiště zájmového povodí, dále rychlost a převládající směr jejího postupu vztaženého ke dni výskytu příčinné meteorologické situace. Spojením průměrných poloh středů příčinných tlakových níží ve dnech D-2, D-1 a D u příslušných typů průtokových vln byl získán směr jejich koridoru ve fyzicko-geografickém prostředí střední Evropy v předkulminační fázi letních povodňových případů, viz obr. 9.

Z převažujícího počtu postupů tlakových níží zapříčiňujících vznik povodní 1. a 2. typu je patrné, že většina z nich přichází ze západního až jihozápadního sektoru. Rozdíl je pouze ve vzdálenosti trajektorie od povodí horní Ohře a ve směru postupu tlakové níže ve dnech D-2 → D-1 a D-1 → D. Trajektorie příčinné tlakové níže u vln 2. typu přechází v bezprostřední blízkosti zájmového povodí ve dnech D-2 → D-1 v azimutu cca 90°, zatímco u vln 1. typu je azimut trajektorie postupu tlakové níže v těchto dnech cca 45° a vzdálenost od povodí je relativně nejmenší. Pro vlny 3. typu je charakteristický posun tlakové níže ve dnech D-2 → D-1 v jižním směru a ve dnech D-1 → D ve směru severovýchodním.



Obrázek 9: *Koridory postupu středů tlakových níží u letních povodňových vln 1., 2. a 3. typu*

Figure 9: *Typical trajectories of low pressure centers of summer floods (Type 1,2 and 3)*

Dále bylo prostřednictvím faktorové analýzy prokázáno, že příčinné cirkulační podmínky vykazují vliv spíše na prostorové a časové rozdělení srážek, které mají vliv na uvádění říčního systému do povodňového stavu. Při tom vznik průtokové vlny určitého typu může být vyvolán více meteorologickými situacemi a naopak, že jedna meteorologická situace může být příčinou více typů průtokových vln.

Tabulka 3: Soubor vstupních dat do faktorové analýzy

Table 3: Variables of summer floods

Den kulminace	$Q_{kul.}$ [$m^3.s^{-1}$]	Q_0 [$m^3.s^{-1}$]	Těžiště hyeto-gramu [dny]	Příčinná srážka [mm]	Trvání příčinné srážky [dny]	Max. denní srážka [mm]	UPS_{30} [mm]	Pokles teploty [°C]	Počet vrcholů na vlně	Trvání vzestup. větve [hod.]	Směr pohybu cyklóny [°]	Vzdálenost cyklóny od povodí [km]	Rychlost pohybu cyklóny [$km.den^{-1}$]
12.5.1965	134	63	3,10	39,4	5	10,2	40,2	4,2	4	101	150	604	707
11.6.1965	137	48	2,88	39,0	3	19,0	48,3	3,1	3	111	135	18	398
30.6.1966	180	18	1,82	71,0	4	39,5	18,3	2,0	2	42	90	367	829
26.4.1968	161	48	1,55	35,2	3	16,3	1,7	12,0	1	28	30	289	569
20.4.1970	244	82	1,94	19,1	5	12,0	19,8	7,2	2	115	75	73	1237
22.8.1970	215	21	1,49	61,7	3	31,2	31,2	6,6	2	41	95	621	353
8.5.1978	217	12	1,12	66,2	3	47,9	8,2	7,2	2	37	5	148	219
22.7.1980	196	61	1,63	26,0	2	25,2	72,9	5,1	1	17	100	191	819
7.6.1984	137	38	1,89	50,9	3	34,6	40,8	11,0	2	27	32,5	18	824
13.8.1984	98	27	2,34	39,9	3	21,5	33,6	2,4	3	44	17,5	10	1079
31.5.1986	99	15	2,11	45,6	3	28,9	35,2	12,7	3	63	40	435	1017
1.9.1995	124	29	2,89	46,8	2	24,0	49,0	4,0	1	24	240	126	431
16.9.1998	132	23	2,61	45,6	4	18,9	57,4	6,7	2	34	87,5	411	694
13.8.2002	273	21	1,78	73,7	2	40,8	43,9	3,5	1	32	20	200	776

5. FAKTOROVÁ ANALÝZA

Závěrem byla u meteorologických příčin a jimi vyvolaných letních průtokových vln s využitím faktorové analýzy určena fyzikální struktura a váha faktorů (vyjádřená prostřednictvím vstupních proměnných), které mají podstatný vliv na hydrometeorologický vývoj povodňové situace v povodí horní Ohře. Do analýzy vstupoval soubor 13 hydrologických a klimatologických proměnných včetně parametrů popisujících polohu, rychlost a směr pohybu tlakových níží (vzhledem k zájmovému povodí), které způsobily vypadávání příčinných srážek na povodí, viz tab. 3.

Dříve než bylo přistoupeno k aplikaci faktorové analýzy bylo provedeno celkové posouzení korelační struktury dat s vyznačením signifikantnosti vztahů mezi jednotlivými parametry na hladině významnosti 0,05, [*Meloun, Militký,* 2002], viz tab. 4.

Tabulka 4: Korelační matice vstupních dat

Table 4: Correlations variables

Proměnná	$Q_{kul.}$	Q_0	T_H	S	T_s	UPS_{30}	S_{dmax}	t	P	$D_{vz.}$	c	D	R
Kulminační průtok $Q_{kul.}$	**1,00**	0,13	-0,61	0,27	-0,04	-0,20	0,37	-0,15	-0,49	-0,02	-0,25	0,00	-0,08
Průtok v patě vlny Q_0	0,13	**1,00**	0,24	-0,82	0,42	0,12	-0,73	-0,01	0,09	0,55	0,26	-0,18	0,35
Těžiště hyetogramu T_H	-0,61	0,24	**1,00**	-0,32	0,26	0,47	-0,62	-0,35	0,50	0,45	0,67	0,03	0,08
Příčinná srážka S	0,27	-0,82	-0,32	**1,00**	-0,26	-0,21	0,84	-0,19	-0,13	-0,40	-0,22	0,23	-0,41
Délka příčinné srážky T_s	-0,04	0,42	0,26	-0,26	**1,00**	-0,32	-0,46	0,00	0,58	0,67	0,03	0,33	0,34
Ukazatel srážek UPS_{30}	-0,20	0,12	0,47	-0,21	-0,32	**1,00**	-0,18	-0,30	-0,03	-0,11	0,44	-0,04	0,08
Max. denní srážka S_{dmax}	0,37	-0,73	-0,62	0,84	-0,46	-0,18	**1,00**	-0,02	-0,32	-0,53	-0,41	-0,08	-0,30
Pokles teploty t	-0,15	-0,01	-0,35	-0,19	0,00	-0,30	-0,02	**1,00**	-0,10	-0,13	-0,40	0,13	0,08
Počet vrcholů na vlně P	-0,49	0,09	0,50	-0,13	0,58	-0,03	-0,32	-0,10	**1,00**	0,68	0,03	0,25	0,17
Trvání vzestupné větve $D_{vz.}$	-0,02	0,55	0,45	-0,40	0,67	-0,11	-0,53	-0,13	0,68	**1,00**	0,20	0,01	0,23
Směr pohybu cyklóny c	-0,25	0,26	0,67	-0,22	0,03	0,44	-0,41	-0,40	0,03	0,20	**1,00**	0,16	-0,28
Vzdálenost cyklóny od povodí D	0,00	-0,18	0,03	0,23	0,33	-0,04	-0,08	0,13	0,25	0,01	0,16	**1,00**	-0,17
Rychlost pohybu cyklóny R	-0,08	0,35	0,08	-0,41	0,34	0,08	-0,30	0,08	0,17	0,23	-0,28	-0,17	**1,00**

Hodnoty korelačních koeficientů v intervalu <0,65; 1> jsou vyznačeny červeně, <0.50; 0.64> oranžově a <0,33; 0,49> žlutě.
Signifikantní parametry na hladině významnosti 0,05 jsou podtrženy.

Z korelační matice je patrné, že je zde několik případů s vysokým korelačním koeficientem (až 0,84). Významné vztahy meteorologických a hydrologických veličin potvrdily známou koncepci srážko-odtokového procesu na povodí. Co je však pozoruhodné, je signifikantní vliv působení směru pohybu cyklony na polohu těžiště hyetogramu příčinných srážek. Čím větší úhel směru pohybu, tím větší doba koncentrace, tzn., že povodí je více citlivé na jižní až severozápadní směr pohybu cyklon, které jsou v průměru příčinou intenzivnější srážkové činnosti.

Hlavním kritériem pro určení počtu faktorů byla hodnota vysvětlené kumulované variability cca 75 % a nejnižší hodnota tzv. charakteristického čísla faktorů byla 1. Ukázalo se, že těmto zadávacím podmínkám vyhovuje počet čtyř faktorů.

Výsledkem faktorové analýzy letních povodňových epizod jsou faktorové zátěže zvolených proměnných popisující letní povodně, viz tab. 5.

Tabulka 5: Faktorové zátěže zvolených proměnných při letních povodních za období 1959-2002

Table 5: Factor Loadings variables

Proměnná	Faktor			
	1	2	3	4
Kulminační průtok $Q_{kul.}$	-0,059	0,062	-0,043	0,954
Průtok v patě vlny Q_0	0,894	-0,152	0,219	0,205
Těžiště hyetogramu T_H	0,264	-0,658	0,273	-0,569
Příčinná srážka **S**	-0,930	0,004	-0,042	0,222
Délka příčinné srážky T_s	0,267	0,070	0,880	0,023
Ukazatel srážek UPS_{30}	0,205	-0,592	-0,395	-0,300
Max. denní srážka S_{dmax}	-0,755	0,233	-0,330	0,331
Pokles teploty **t**	0,106	0,761	-0,078	-0,284
Počet vrcholů na vlně **P**	0,009	-0,070	0,765	-0,464
Trvání vzestupné větve $T_{vz.}$	0,427	-0,188	0,766	0,041
Směr pohybu cyklóny **c**	0,142	-0,841	0,030	-0,189
Vzdálenost cyklóny od povodí **D**	-0,392	-0,046	0,468	-0,145
Rychlost pohybu cyklóny **R**	0,560	0,321	0,134	-0,089

Poznámka: Faktorové zátěže vyšší než ±0,7 jsou vyznačeny červeně

Faktorové zátěže dominujících proměnných byly u každého ze čtyř faktorů vysoké od 0,95 (u čtvrtého) do 0,88 (u třetího faktoru). Jako mezní hodnota pro interpretaci faktorů byla určena hodnota (±0,7).

U prvního faktoru nabyly největších hodnot kladné zátěže proměnných: průtok v patě vlny a záporné pak velikost příčinné srážky a maximální denní srážky.

V druhém faktoru zaznamenaly nejvyšší zátěž proměnné: záporná hodnota směr pohybu cyklony a pokles teploty.

Třetí faktor se vyznačuje vysokými kladnými zátěžemi proměnných: délka příčinné srážky, počet vrcholů na vlně a trvání vzestupné větve.

Poslední čtvrtý faktor nabývá nejvyšší zátěž u proměnné kulminačního průtoku.

6. ZÁVĚR

(1) Z 28 uvažovaných meteorologických situací bylo v rámci hydrosynoptického kontinua identifikováno 11 jejich typů, které se nejvíce podílely buď samy o sobě anebo v kombinaci na vzniku rozvodnění v povodí horní Ohře po Karlovy Vary za období 1959 - 2002. Z toho 9 z nich se uplatňuje jen v určité sezóně.

(2) V povodí Ohře se projevuje tzv. sezonální metabolismus tím, že permanentně převládají v průměru případy průtokových vln v zimní polovině roku nad letními v poměru 3 : 1. Tato výrazná asymetrie zimní sezonální složky průtokových excesů je již tak vysoká, že přichází do úvahy její využití pro adaptibilní způsob hospodaření s vodou v nádržích.

(3) Průměrné trvání atmosférických cirkulací, které jsou příčinou vzniku rozvodnění se pohybuje okolo 2,7 dne a je o 1/4 až 1/3 kratší než trvání běžných synoptických situací. V jejich průběhu dochází ke zvýšené hysterezi atmosférických procesů a počtu přestaveb ve formaci řídících tlakových útvarů.

(4) Analýzou genetického kódu povodně bylo prokázáno, že typ příčinné meteorologické situace, který se vyskytuje v průměru s časovým předstihem dvou dnů, má největší vliv na kulminaci průtokových vln (± 1 den v závislosti na typu a sezóně).

(5) Z faktorové analýzy parametrů letních povodňových vln z profilu Karlovy Vary za období 1959 – 2002 a jejich meteorologických příčin vyplývá, že na tvar povodňových vln má výrazný vliv směr (azimut) postupu středů tlakové níže.

Literatura

Brádka, J., Dřevikovský, A., Gregor, Z., Kolesár, J., 1961. Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. Praha, HMÚ, 126 s.

Brádka, J., 1963. O srážkovém stínu za Krušnými horami. Meteorol. Zpr. 16 (2), ČHMÚ, Praha, s. 26-28.

Brázdil, R., Štekl, J., 1986. Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. Univerzita J.E.Purkyně, Brno.

Brázdil, R., et al., 2005. Historické a současné povodně v České republice. Masarykova Univerzita, Brno, [*v tisku*].

ČHMÚ, 1967. Katalog povětrnostních situací pro území ČSSR. HMÚ, Praha, 94 s.

Hladný, J., 1995. Odhad vývoje povodňových situací analýzou historických případů. In: Povodňová ochrana na Labi. ČHMÚ, Ministerstvo životního prostředí, Povodí Labe, Ústí nad Labem, s. 161-246.

Kakos, V., 1978. Hydrometeorologická charakteristika povodní na území ČSR. VTEI 20 (4), s. 127-131.

Kakos, V., 1983. Hydrometeorologický rozbor povodní na Vltavě v Praze za období 1873-1982. Meteorol. Zpr. 36 (6), ČHMÚ, Praha, s.171-181.

Kakos, V., 1985. Hydrometeorologická analýza povodňových situací v povodí Labe. Meteorol. Zpr. 38 (5), ČHMÚ, Praha, s.148-151.

Koblihová, E., 1989. Možnosti využití hydrosynoptických vztahů pro předpověď povodní na Odře v Bohumíně. Meteorologické zprávy, 42, č. 6, s. 168-172.

Konček, M., Rein, F., 1971. Katalog der Witterungstypen für Mitteleuropa. Acta Fac. Rer.Nat.Univ.Comen., Meteorologia IV, s. 1 – 33.

Krečmer, V., et al., 2003. Lesy a povodně. In: Sborník z celostátního semináře Lesy a povodně. Dům ČSVTS, Praha, s. 5-7.

Křivancová, S., Vavruška, F., 1997. Základní meteorologické prvky v jednotlivých povětrnostních situacích na území České republiky v období 1961-1990. Národní klimatický program ČR č. 27, Praha, 114 s.

Kynčil, J., Lůžek, B., 1979. Historické povodně v povodí Bíliny a Ohře. Povodí Ohře, Chomutov, 48 s.

Meloun, M., Militký, J., 2002. Kompendium statistického zpracování dat metody a řešené úlohy včetně CD. Academia, Praha, 764 s.

Plate, E. J., Bárdoossy, A., 1992. Space time model for daily rainfall using atmospheric circulation patterns. Water Resources Research 28, s. 1247-1259.

Mgr. Radek Čekal, ČHMÚ – Praha 4, Na Šabatce 17, 143 00, cekal@chmi.cz

Ing. Josef Hladný, CSc., ČHMÚ – Praha 4, Na Šabatce 17, 143 00, hladny@chmi.cz

NEJISTOTA OPERATIVNÍCH HYDROLOGICKÝCH PŘEDPOVĚDÍ V ZÁVISLOSTI NA VSTUPUJÍCÍ PŘEDPOVĚDI SRÁŽEK V POVODÍ LABE

Jan Daňhelka

Příspěvek se zabývá problematikou nejistoty v operativním hydrologickém předpovědním procesu. Popsány jsou různé zdroje nejistoty hydrologických předpovědí a některé používané hydrologické předpovědní prostředky. Hlavní částí práce je vyhodnocení vydávaných předpovědí srážek (QPF) modelu ALADIN pro potřeby hydrologických předpovědí. Na základě statistického zhodnocení odchylek QPF a průměrných srážek na hodnocená povodí (MAP) byly odvozeny křivky pravděpodobnosti překročení „chyby" předpovědi srážek pro různé velikostní a časové intervaly pro celkem 88 povodí v povodí Labe. S jejich pomocí jsou generovány umělé srážkové ensembly na základě deterministické předpovědi srážek a následně také hydrologické ensembly. Výsledkem je pravděpodobnostní vyjádření nejistoty hydrologické předpovědi dané nejistotou vstupující předpovědi srážek.

Klíčová slova: Hydrologická předpověď, nejistota, kvantitativní předpověď srážek – QPF, povodí Labe

Operational hydrological forecast uncertainty due to inputting precipitation forecast in Elbe River basin. *Paper describes the question of uncertainty in operational forecasting. The major sources of uncertainty are mentioned. Evaluation of precipitation forecast (QPF) of NWS ALADIN was made using statistical approach. Differences of QPF to observed precipitation was expressed using probability exceedence curves for different time intervals, value intervals and totally 88 catchments within the Elbe River basin. Results were used to post process the deterministic QPF to produce alternative probabilistic precipitation inputs for hydrological forecasting. Using that the probabilistic background of the hydrological forecast is produced.*

Key words: Hydrological forecast, uncertainty, Quantitative precipitation forecast – QPF, Elbe river basin

---

1. ÚVOD

Operativní vydávání hydrologických předpovědí se potýká s problematikou nejistoty výsledků. Otázka kvantifikace a vyjádření nejistoty je jedním z hlavních témat současného aplikovaného hydrologického výzkumu. Výsledná nejistota hydrologické předpovědi je dána různými faktory, které lze rozdělit do tří skupin (Krzysztofowicz 2001a, 2001b, 2002).

Operativní nejistota je představována neočekávanými událostmi v povodí (například protržením hrází, ledovými zácpami), ale také „nekvantifikovatelným" vlivem hydrologa na výsledek předpovědi. Hydrolog vstupuje do výpočtu zejména při zpracování dat, při interaktivních úpravách parametrů a počátečních podmínek modelu a při updatingu výsledku předpovědi tak, aby odpovídal pozorovaným hodnotám.

Hydrologickou nejistotou se rozumí především vliv nepřesností kalibrace parametrů modelu, přenášených počátečních podmínek, vlastní nepřesnost (zjednodušení) rovnic používaných modelem. Dále je do této skupiny řazena nepřesnost dalších používaných hydrologických nástrojů a technik – tedy například nepřesnost vlastního měření vodních stavů, nepřesnost konsumpční křivky atd.

Vstupní nejistota, která hraje v našich podmínkách nejvýznamnější roli, je reprezentována především nejistotou vstupující předpovědi srážek (QPF). Právě eliminace vlivu nepřesné QPF na výsledek hydrologické předpovědi je cílem různých projektů a studií včetně tohoto příspěvku.

2. VYUŽITÍ QPF V HYDROLOGICKÝCH PŘEDPOVĚDÍCH V POVODÍ LABE

Pro potřeby operativního hydrologického systému AquaLog bylo povodí Labe rozděleno do 22 oblastí na základě orografie a hranic dílčích povodí. Tyto oblasti jsou uvažovány jako meteorologicky kvazihomogenní. Meteorologický model ALADIN při každém svém běhu vypočet průměrnou srážku pro tyto oblasti. Ta pak vstupuje do AquaLogu v šestihodinovém kroku pro 48hodinový předstih. Protože meteorologické modely nejsou schopny dokonale přesné předpovědi srážek v měřítku potřebném pro hydrologické modelování malých horských povodí o ploše někdy pouze okolo 100 km^2, vede zprůměrňování předpovědi na definované oblasti k menší chybě nežli používání primárních výstupů ALADINa s gridem cca 10 km. Přesto stávající stav nelze považovat za dokonalý a je třeba řešit dopad chyb QPF na hydrologické předpovědi. Tento vliv je dokumentován na případě povodně v srpnu 2002 v závěrečné zprávě projektu „Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002“ (ČHMÚ 2004).

3. METODA STATISTICKÉHO ZPRACOVÁNÍ

Cílem celého hodnocení bylo získat pro jednotlivá povodí (respektive mezipovodí) kvantitativní vyjádření nejistoty způsobené použitím QPF v podobě používané v operativním provozu. Takto získané hodnoty pak použít pro možné vytvoření operativní pravděpodobnostní předpovědi průtoků.

Hodnocení bylo provedeno pro českou část povodí Labe při respektování a využití fragmentace na subpovodí na základě jeho konfigurace v rámci hydrologického předpovědního systému AquaLog. Prvním krokem bylo zpracování všech dochovaných předpovědí pro definovaných 22 oblastí za celou dobu od počátku jejich vydávání. Celkově tedy bylo hodnoceno období listopad 2001 až červen 2004.

K určení průměrné srážky na povodí (MAP) byl v našem případě využit samotný systém AquaLog. Ten využívá nejrozšířenější metodu Thiessenových polygonů se zohledněním nadmořské výšky stanic, pro kterou jsou použita veškerá operativně dostupná srážková data (tedy veškeré srážkoměrné stanice s podrobnějším krokem měření, menším než 24 hodin, z měřících sítí ČHMÚ a Podniků Povodí s. p.). Využití operativní sítě navíc dobře simuluje skutečné operativní potřeby a podmínky na něž jsou modely „naučeny“ (nakalibrovány) a s nimiž získávají zkušenosti také obsluhující hydrologové. Jinak řečeno případné budoucí využití a provedené vyhodnocení bude operovat na „homogenním“ datovém setu.

Díky tomu, že při definování předpovědních oblastí byly respektovány i hranice jednotlivých povodí, lze naprosté většině povodí jednoznačně přiřadit příslušnou předpovědní oblast a tedy také vlastní srážkovou předpověď.

Pro zkoumané období 32 měsíců byly porovnány šestihodinové MAP získané z výpočtu AquaLogu s odpovídajícími předpověďmi z modelu ALADIN pro příslušné oblasti. Porovnání bylo provedeno pro celkem 95 povodí odděleně na základě doby předstihu předpovědi – předpokladem je, že s rostoucím předstihem klesá přesnost předpovědi, zároveň však takto dojde k eliminaci vlivu denního chodu srážek. Kromě toho bylo hodnocení prováděno intervalově na základě předpovídané hodnoty. Při předběžném hodnocení osmi vybraných povodí byly odvozeny vhodné intervaly (0; 0.1 – 0.3; 0.4 - 1.0; 1.1 – 3.0; 3.1 – 5.0 a více než 5 mm). Rozmezí intervalů bylo zvoleno tak, aby v každém intervalu došlo k dostatečnému výskytu případů pro statistické zpracování. Proto byla dolní mez nejvyššího intervalu stanovena na 5 mm, ačkoliv z hydrologického hlediska by bylo vhodnější použít ještě větší hodnotu. V takovém případě by však v této kategorii počet výskytů výrazně klesal pod 20 a statistické zpracování by tak bylo bezpředmětné.

Pro všechna hodnocená povodí byly vypočteny odchylky šestihodinových QPF od odpovídajících MAP dle následujících rovnic:

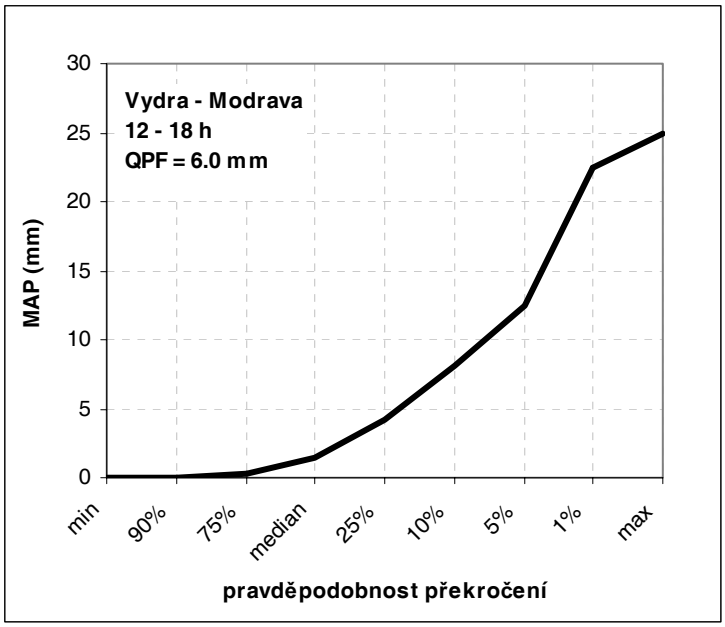
$$\forall(QPF_i = 0) \Rightarrow \quad \delta = MAP_i$$

$$\forall(QPFi > 0) \Rightarrow \quad \delta = \frac{MAP_i}{QPF_i} \tag{1}$$

Kde QPF_i je srážková předpověď pro časový interval i, MAP_i je vypočtená průměrná srážka na příslušném povodí v odpovídajícím intervalu i.

Z hodnocení byly vynechány případy, kdy jedna z hodnot (QPF_i, MAP_i) nebyla známa, stejně tak jako případy časového posunu. V tomto případě byly pro všechny odchylky větší než 500 % zkontrolovány předcházející a následující interval předpovědi a srážkového úhrnu. Pokud předpověď pro aspoň jeden z těchto intervalů byla v dobré shodě s pozorovanými srážkami v původním intervalu (50 až 200 % hodnoty) a zároveň v tomto intervalu nebyly pozorovány odpovídající srážky, bylo předpokládáno, že předpověď množství srážek byla „správná“ a došlo pouze k jejímu časovému posunu oproti realitě a daný případ byl z hodnocení vyloučen.

Statistické rozložení odchylek bylo vyjádřeno prostřednictvím vybraných kvantilů. Pomocí těchto charakteristik je popsáno typické rozložení chyby pro jednotlivá povodí – a tedy získána empirická křivka pravděpodobnosti překročení (obr. 1). Takto získané typické rozložení chyby umožňuje na základě deterministické předpovědi srážek pro zpracovaná povodí vytvořit pravděpodobnostní křivku očekávané „skutečné“ plošné srážky, tedy jakousi post-processingovou pravděpodobnostní předpověď srážek. Pro variantu zobrazenou v obrázku 1 (QPF = 6 mm) můžeme například předpokládat, že s 50 % pravděpodobnostní skutečné srážky dosáhnou pouze 1.51 mm nebo méně. Zároveň ale existuje 10 % pravděpodobnost, že srážky přesáhnou 8.11 mm, respektive 5 % pravděpodobnost překročení 12.46 mm.



Obr. 1 Ukázka křivky pravděpodobnosti překročení pro povodí Vydry v případě předpovědi 6 mm pro interval předstihu 12 – 18 hodin.

Fig. 1 Probability exceedence curve for QPF=6 mmfor Vydra river catchment and forecast period 12 to 18 hours.

Díky tomu, že v posuzovaném období se vyskytuje jak nadnormálně vlhká perioda (srpen 2002 až leden 2003), tak také suché období (červen 2003 až září 2003), lze se domnívat, že tato křivka překročení bude dobře vystihovat dlouhodobé rozložení odchylky QPF od MAP.

Pro detailnější informace o provedených pracích odkazujeme na jiné práce autora podrobněji popisující některé aspekty použité metodiky i dosažených výsledků (např. Daňhelka 2004).

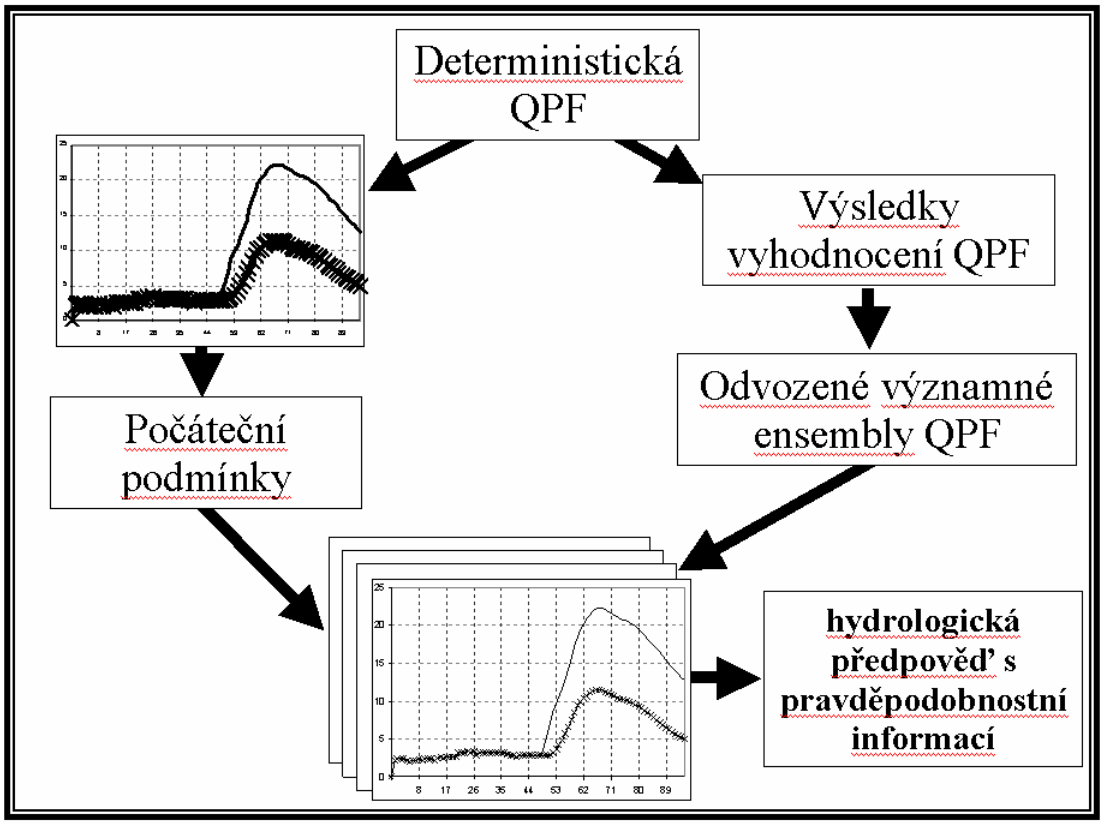
4. PRAVDĚPODOBNOSTNÍ HYDROLOGICKÉ PŘEDPOVĚDI

Existují v zásadě tři přístupy ke tvorbě pravděpodobnostní hydrologické předpovědi na základě QPF. Prvním z nich je využití ensemblových předpovědí srážek přímo vypočtených meteorologickými modely. Příkladem je systém EFFS (European Flood Foreasting System) evropského výzkumného centra v Ispře využívající ensemblů EMWF (European Center for Medium-range Weather Forecast). Druhá metoda spočívá v nahrazení předpovědí srážek historickými pozorovanými srážkovými řadami (analogy) a je používána v systému ESP (Extended Streamflow Forecast) v americké National Weather Service. Tyto metody však nejsou vhodné pro předpovědi v našich podmínkách vyžadující sice kratší předstih, ale operující s velmi malými povodími. Třetím způsobem je pak v této studii použitý postprocessing deterministických QPF.

AquaLog byl navržen a vyvinut pro vydávání deterministických hydrologických předpovědí. Protože však deterministická předpověď bývá jejími uživateli obvykle vnímána jako „jistá“, je přidaná pravděpodobnostní informace velmi důležitá a užitečná pro eliminaci této nesprávné interpretace předpovědí. Použitím výsledků provedeného vyhodnocení jsme schopni vyjádřit nejistotu vstupující QPF, která je hlavním zdrojem celkové nejistoty hydrologické předpovědi v našich podmínkách. Pomocí získaných pravděpodobnostních křivek překročení lze pro hodnocená povodí vytvořit „významné“ ensembly na základě deterministické QPF. A následně je použít jako alternativní QPF vstupy do upraveného deterministického modelu (obr. 2).

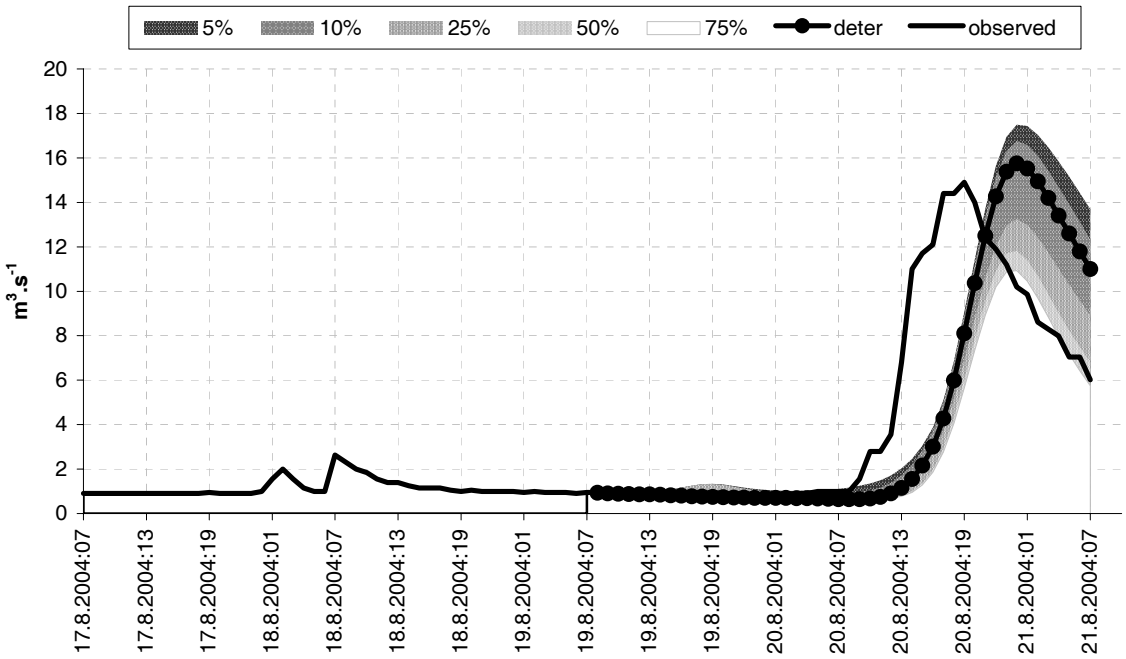
Pro využití v modelu byly vybrány ensembly s pravděpodobností překročení 75 %, 50 %, 25 % a 10 %. Při určitém zjednodušení předpokládáme, že pro odvození těchto ensemblů lze použít příslušné kvantity získané z pravděpodobnostních křivek překročení pro příslušná povodí, časové a velikostní intervaly. Otázkou zůstává, zda z takto získaných ensemblů pro jednotlivé předpovědní intervaly je možné prostým součtem získat odpovídající ensembly pro celé předpovědní období 48 hodin. Proto byl proveden test porovnáním odchylek QPF pro celé 48hodinové předpovědní období s odchylkami pozorovanými v jednotlivých šestihodinových intervalech. Jejich porovnání vykazuje poměrně dobré výsledky, koeficienty determinace jsou velmi vysoké a směrnice regresních přímek se blíží hodnotě 1.0. Je tedy možné akceptovat jistou nepřesnost pro hodnoty směrnice blízké 1.0, respektive vydělit odvozené hodnoty ensemblů pro jednotlivé časové intervaly hodnotou směrnice regresní přímky.

Použitelnost odvozené metody byla testována v operativním provozu pro situaci ze dne 16. října 2004 pro povodí Jizery. V tomto případě kvůli dalším faktorům (přítomnost sněhu v povodí, problematika rozlišení kapalných a pevných srážek v souvislosti s předpovědí teplot) se ukázala metoda jako problematická při použití v situacích zimního typu. Naopak simulace předpovědí pro 19. srpna 2004 ukázala naději na dobrou použitelnost v případě situací letního typu (obr. 3).



Obr. 2 Schéma procesu tvorby pravděpodobnostní hydrologické předpovědi

Fig. 2 Designed probabilistic forecasting process



Obr. 3 Ukázka výstupu s pravděpodobnostní informací

Fig. 3 Forecast output with added probabilistic information

5. ZÁVĚR

Provedené vyhodnocení QPF umožňuje využití jeho výsledků při tvorbě pravděpodobnostní hydrologické předpovědi v povodí Labe a tak k vyjádření nejistoty vydávané předpovědi. Celý proces je v současnosti připravený pouze pro manuální použití a tedy poněkud náročný na čas. Proto je plánován jeho provoz pouze v případech očekávaných potenciálně nebezpečných srážek a pro letní období, kdy rozhodující část celkové nejistoty předpovědi je dána právě nejistotou vstupující předpovědi srážek.

Literatura:

ČHMÚ (2004): Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002 – 2. etapa (aktualizace podle výsledků 3. etapy) – Hydrologické vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002 , ČHMÚ, Praha, 146 s.

Daňhelka, J. (2005): Nejistota operativních předpovědí, Disertační práce, Přírodovědecká Fakulta Univerzity Karlovy, Praha

Daňhelka, J. (2004): Use of QPF for hydrological modelling – a source of error, Proceedings of XXIInd Conference of Danubian countries, Brno, August 31st – September 4th 2004, ČHMÚ, Brno, 10 p.

Krzystofowitcz, R. (2001a): The case for probabilistic forecasting in hydrology, Journal of Hydrology, vol. 249, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, p. 2 - 9

Krzystofowitcz, R. (2001b): Integrator of uncertainties for probabilistic river stage forecasting: precipitation dependent model, Journal of Hydrology, vol. 249, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, p. 69 - 85

Krzystofowitcz, R. (2002): Bayesian system for probabilistic river stage forecasting, Journal of Hydrology, vol. 268, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, p. 16 – 40

Autoři

Jan Daňhelka, ČHMÚ, Na Šabatce 17, 143 06 Praha, danhelka@chmi.cz

K METÓDAM HODNOTENIA ZÁSOB VODY V SNEHOVEJ POKRÝVKE

Kateřina Hrušková, Daniela Kyselová

Procesy akumulácie a topenia snehu predstavujú významný prírodný fenomén, ktorý má výrazný vplyv na činnosť hydroprognóznej služby (HIPS).
Už začiatkom decembra sa začínajú raz týždenne zberať údaje zo siete snehomerných staníc a ich vyhodnotením sa získavajú informácie o zásobách vody v snehu ku konkrétnemu profilu. Štandardne sa používa metóda čiary vodnej hodnoty, ktorá vychádza z analytického vyjadrenia závislosti vodnej hodnoty snehu od nadmorskej výšky. Je to metóda vo svojej podstate veľmi jednoduchá a pokiaľ sú splnené podmienky pre rovnomerné rozloženie snehovej pokrývky na povodí, aj presná. Problém nastáva v období, kedy sa zásoby snehu na povodí vyskytujú iba vo vyšších nadmorských výškach. Potom sú vypočítané snehové zásoby podhodnocované. Preto metodiky, ktoré sa používajú pre výpočet zásob vody v snehu, je potrebné neustále overovať a aktualizovať. V praxi k tomu slúžia expedičné merania charakteristík snehu. Ku klasickým výpočtovým metódam sa pridávajú aj nové postupy, opierajúce sa o možnosti výpočtovej techniky. Najčastejšie je to matematické modelovanie procesov akumulácie a topenia snehu s využitím prostriedkov GIS a najnovšie aj poznatkov diaľkového prieskumu Zeme.
Cieľom príspevku je predstaviť v súčasnosti používané metódy hodnotenia zásob vody v snehu, poukázať na dôležitosť expedičných meraní charakteristík snehu a v neposlednej miere načrtnúť aj možnosti využitia najnovších poznatkov v oblasti diaľkového prieskumu a geografických informačných systémov v hydrologickom modelovaní pre operatívne účely.

Kľúčové slová: hydrologická informačná a predpovedná služba, vodná hodnota snehu, zásoby vody v snehovej pokrývke, povodie horného Hrona

***About the method of assessment of the amount of water stored in snow cover**. The accumulation process and snow melting presents a important natural phenomenon that has strong influence on the operation of Hydrological Forecasting Service (HIPS).*
From the beginning of December, data from snow measurement network are collected weekly and by assessment of these, the information about the amount of water stored in snow cover to particular catchment are gained. Standardly is used the water-value-line method, which is based on analytical representation of dependence on snow water equivalent on altitude. This method is basically very simple and as long as all the conditions of uniform allocation of snow cover are fulfilled and it is also precise. Problem comes in case the snow in a catchment occurs only in higher altitudes. Then the calculated snow resources are underestimated. Procedures used on calculation of the amount of water stored in snow therefore need to be continually checked and updated. In practice expeditionary measuring of snow characteristics serve for this purpose. Besides classical calculating methods also new methods based on computer techniques are being added. Most common form is mathematical modelling of the processes of accumulation and snow melting using resources of geographical information systems and newest knowledge from remote sensing of the Earth.
This paper presents nowadays using methods of assessment of the amount of water stored in snow cover, it advertises the importance of expeditionary measuring of snow characteristics and at last but not at least it outlines options of utilizing the latest knowledge in the field of remote sensing and geographical information systems in hydrological modelling for operative purposes.

Key words: Hydrological Forecasting Service, snow water equivalent, amount of water stored in snow cover, upper Hron river basin

---

Úvod

Hydrologická informačná a predpovedná služba (HIPS) Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) je špecializované oddelenie pre vydávanie hydrologických informácií, predpovedí a výstrah pre rôzne oblasti hospodárstva. Kvalita predpovede jarného odtoku závisí od stanovenia zásob vody v snehovej pokrývke. SHMÚ organizuje meranie základných prvkov snehového režimu, a to výšky snehovej pokrývky a jej vodnej hodnoty v snehomernej sieti, ktorá sa prevažne zhoduje so zrážkomernou. Získané údaje sa z vybranej siete staníc zbierajú na jednotlivých hydroprognóznych pracoviskách, kde sa na základe nameraných hodnôt vyhodnocujú zásoby vody v snehovej pokrývke.

V zimnom období raz týždenne poskytuje HIPS SHMÚ aj informácie o zásobách vody v snehovej pokrývke pre vybrané povodia. Hlavnými užívateľmi konečných výstupov sú: MŽP SR, SVP Banská Štiavnica, š.p., Vodné elektrárne Trenčín, a.s.

Metódy hodnotenia zásob vody v snehovej pokrývke na SHMÚ

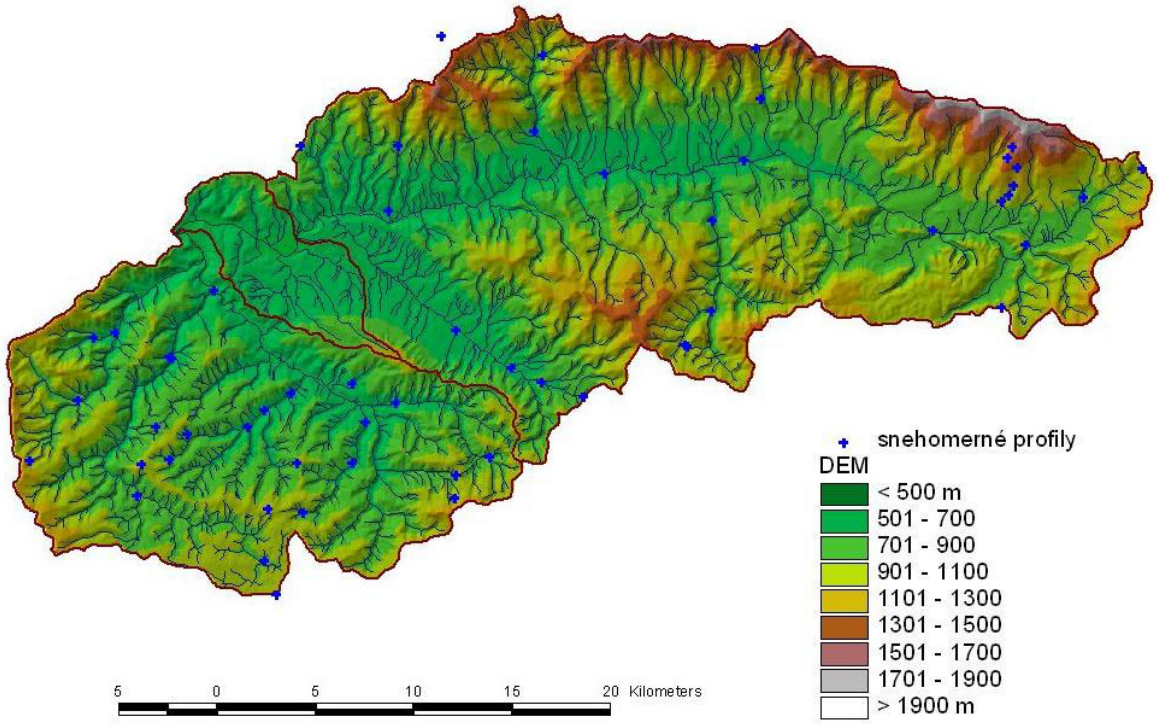
Na hodnotenie zásob vody v snehovej pokrývke sa na SHMÚ v operatíve používajú dve metódy. Obidve vychádzajú z bodových meraní.

Prvá z nich je tzv. metóda HMÚ (Mihina, 1987). Je založená na priemerovaní vodnej hodnoty snehu z bodových meraní v jednotlivých triedach nadmorskej výšky. Snehomerné stanice sa podľa ich nadmorskej výšky rozdelia do tried a pre jednotlivé výškové zóny sa vypočíta priemerná vodná hodnota snehu. Zóny, ktoré neobsahujú žiadne meranie, sa jednoducho pri následnom postupe zanedbajú. Výsledná priemerná vodná hodnota snehovej pokrývky na povodie sa vypočíta pomocou váženého priemeru. Ako váhy sa berú do úvahy podiely plôch jednotlivých výškových zón na celkovej ploche územia.
Metóda je spoľahlivá vtedy, keď je v každej výškovej triede dostatok bodových meraní vystihujúcich priemernú vodnú hodnotu snehu. Ak je variabilita vodnej hodnoty veľká, je potrebný aj väčší počet meraní. Nedostatočný počet meraní v každej výškovej kategórii alebo jej vynechanie z koncového výpočtu nutne vedie k odchýlkam od neznámeho priemeru. Táto metóda je teda náročná na počet meraní, ktoré sú závislé od variability vodnej hodnoty snehu a od rozloženia do jednotlivých výškových zón.

Druhou metódou je metóda čiary vodnej hodnoty. Jej princíp rozpracoval Turčan (1973). Spočíva v analytickom vyjadrení závislosti vodnej hodnoty snehu od nadmorskej výšky. Na SHMÚ sa používa lineárna aproximácia bodových meraní metódou najmenších štvorcov. Vyrovnávajúcou čiarou vodnej hodnoty je priamka, podľa ktorej rovnice sa pre každú výškovú zónu odvodí vodná hodnota snehu, vzťahujúca sa na stred výškového intervalu konkrétnej zóny. Priemerná vodná hodnota snehovej pokrývky na povodie sa opäť vypočíta váženým priemerom s podielom plôch jednotlivých zón ako váhami.
Táto metóda dáva vyrovnanú vodnú hodnotu snehu pre každú výškovú zónu. Nie je preto nutné mať merania vo všetkých výškových triedach.

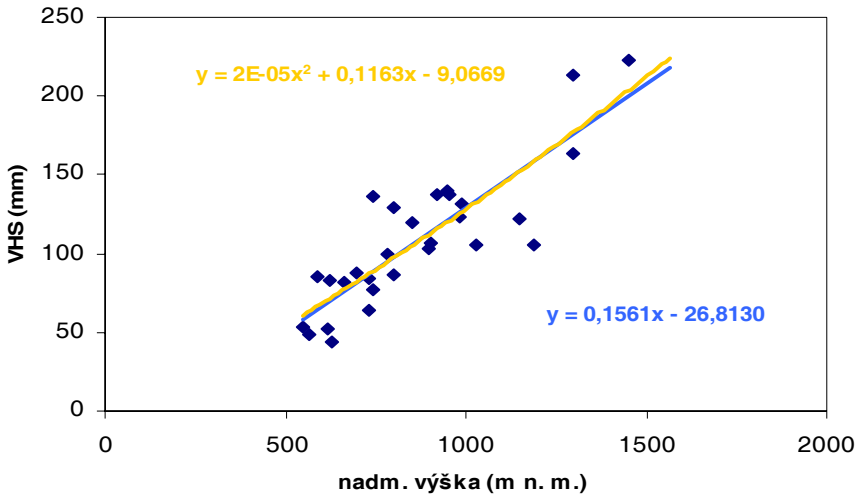
Na Slovensku sa týmto spôsobom hodnotia zásoby vody raz týždenne pre všetky významné vodné nádrže a pre väčšinu uzáverových profilov hlavných povodí.

Tak ako ostatné predpovedné metodiky využívané v operatívnej hydrológii, tak aj metodiky na vyhodnocovanie zásob vody v snehovej pokrývke je potrebné overovať a aktualizovať, využívajúc nové poznatky a prostriedky. Expedičným meraním výšky snehovej pokrývky a jej vodnej hodnoty a rôznymi metódami vyhodnotenia overujeme metodiky, používané v hydroprognóznej praxi. Povodie horného Hrona, ktoré má takmer prirodzený režim odtoku, je povodie, ktoré sa nielen na SHMÚ využíva na kalibráciu zrážkovo-odtokových modelov, ale aj modelov odtoku zo snehu a overovanie predpovedných metodík. Pravidelne sa tu organizujú expedičné merania snehu po vodomerný profil v Brezne a v povodí Čierneho Hrona po vodomerný profil v Hronci. Merné profily boli vyberané tak, aby vystihovali členitosť reliéfu záujmového územia. Predstavujú typické body na rozvodnici, na svahoch aj na dne údolí. Na obr. 1 sú povodia horného Hrona po Brezno a Čierneho Hrona po Hronec s vyznačenými lokalitami meraní výšky snehovej pokrývky a jej vodnej hodnoty pri expedičných meraniach. V tab. 1, 2 a na obr. 2, 3 sú výsledky expedičného merania, ktoré sa uskutočnilo 8.2.2005 v povodí horného Hrona po Brezno.



Obr. 1 Povodie horného Hrona po Brezno a Čierneho Hrona po Hronec s vyznačením lokalít meraní výšky snehovej pokrývky a jej vodnej hodnoty pri expedičných meraniach

Fig. 1 Upper Hron river basin up to Brezno and Čierny Hron river basin up to Hronec with the location of snow characteristics measuring durig expedition



Obr. 2 Čiary vodnej hodnoty (lineárna a polynomická) odvodené pri expedičnom meraní charakteristík snehovej pokrývky v povodí horného Hrona po Brezno 8.2.2005

Fig. 2 Water-value-line (linear and polynomial) derived during expeditionary measuring of snow characteristics in the upper Hron river basin, station Brezno on 8.2.2005

Tab. 1 Vodná hodnota snehu v jednotlivých výškových pásmach počítaná metódou čiary vodnej hodnoty s využitím lineárnej a polynomickej regresie

Tab. 1 Snow water equivalent in different altitude zones computed by water-value-line method using linear and polynomial regression

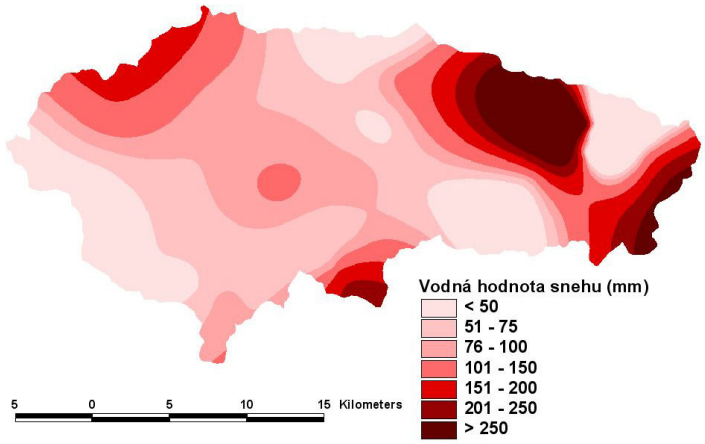
výšk. pásma	**stred**	**plocha**	**VHS[1]**	**VHS[2]**
m	m	km^2	mm	mm
401-600	500	58.9	51.2	54.3
601-800	700	179.2	82.5	82.6
801-1000	900	175.3	113.7	112.6
1001-1200	1100	114.4	144.9	144.2
1201-1400	1300	37.8	176.1	177.6
1401-1600	1500	10.2	207.3	212.6
1601-1800	1700	5.3	238.6	249.3
1801-2000	1900	1.0	269.8	287.6
∑		582.1		

VHS[1] - vodná hodnota snehu podľa rovnice priamky
VHS[2] - vodná hodnota snehu podľa rovnice polynómu

Tab. 2 Zásoby vody v snehu zistené pri expedičnom meraní charakteristík snehovej pokrývky 8.2.2005 a vypočítané z údajov 8 operatívnych staníc v povodí horného Hrona po Brezno

Tab. 2 Snow water storage derived during expeditionary measuring of snow characteristics on 8.2.2005 and calculated from operational data (8 stations) in the upper Hron river basin, station Brezno

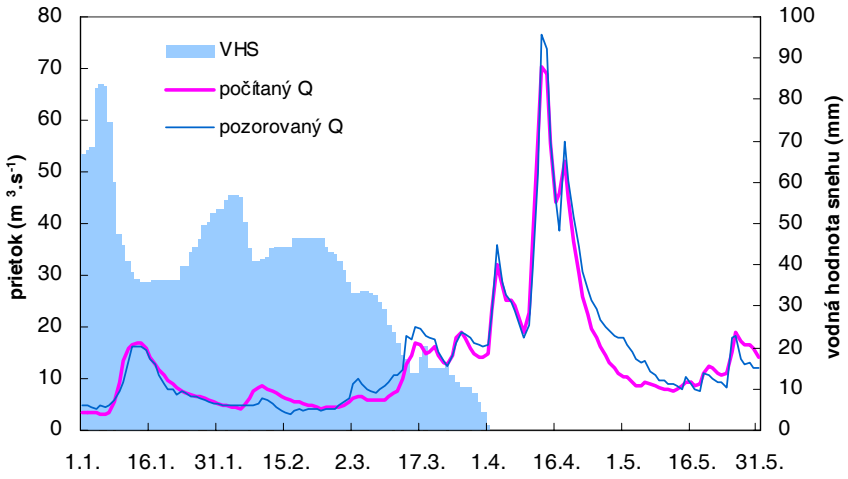
lineárna regresia:		
priemerná vodná hodnota snehu na povodie:	111.0	mm
zásoba vody v snehu:	64.60	mil. m^3
polynomická regresia:		
priemerná vodná hodnota snehu na povodie:	111.2	mm
zásoba vody v snehu:	64.73	mil. m^3
operatívne údaje:		
priemerná vodná hodnota snehu na povodie:	105.9	mm
zásoba vody v snehu:	61.62	mil. m^3



Obr. 3 Priestorové zobrazenie vodnej hodnoty snehu pomocou GIS ArcView, povodie horného Hrona

Fig. 3 Spatial interpretation of snow water equivalent by using GIS ArcView, the upper Hron river basin

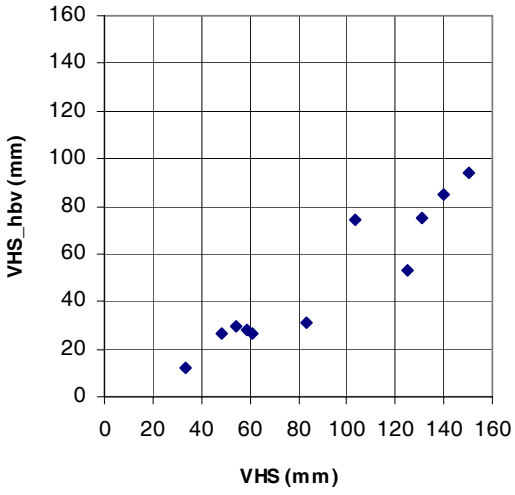
Pri modelovaní vodnej hodnoty snehu v povodí horného Hrona pre profil Brezno bol použitý aj zrážkovo-odtokový model HBV. Model bol kalibrovaný manuálne pre obdobie hydrologických rokov 1992-1997 s ohľadom na zhodu prietokov. Priebeh namodelovaných a nameraných priemerných denných prietokov v zimnej sezóne 1994 je na obr. 4. Nash-Sutcliffov koeficient, popisujúci zhodu medzi nameranou a modelovanou veličinou, dosiahol hodnotu 0,950 a koeficient objemovej zhody vykázal iba 5% rozdiel medzi počítaným a skutočným objemom odtoku. Obr. 4 je doplnený aj o namodelovanú vodnú hodnotu snehu a jej časový priebeh v sezóne 1994.



Obr. 4 Priebeh namodelovaných a skutočných priemerných denných prietokov a vodnej hodnoty snehu v zimnej sezóne 1994 pre vodomerný profil Brezno

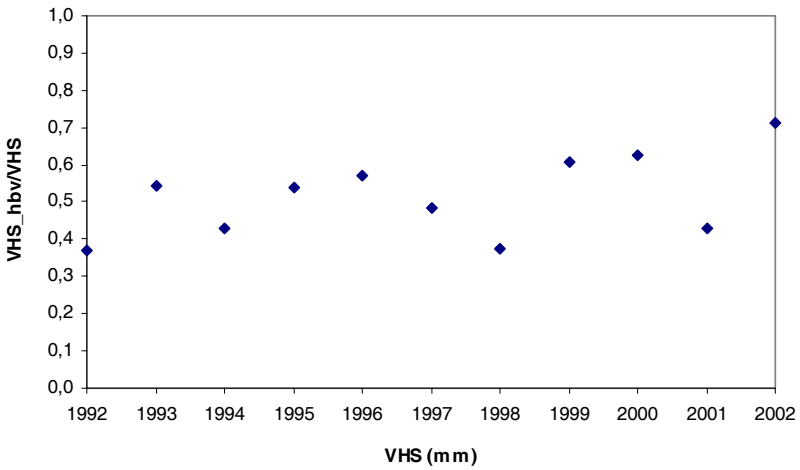
Fig. 4 Curve of computed and observed average daily discharges and snow water equivalent in winter season 1994 at station Brezno

Namodelované vodné hodnoty snehu boli porovnané s hodnotami vypočítanými podľa metódy čiary vodnej hodnoty pre dáta zo siete snehomerných staníc. Porovnávané boli vždy v konkrétnej zimnej sezóne 1992-2002 vypočítané maximálne vodné hodnoty s im odpovedajúcimi namodelovanými hodnotami (obr. 5). Vzájomný pomer porovnávaných hodnôt v jednotlivých sezónach je na nasledujúcom obrázku. Ak sa vychádza z predpokladu, že analyticky vypočítaná hodnota je presná, potom model v tomto prípade podhodnocuje namodelovanú vodnú hodnotu v priemere o 50%.



Obr. 5 Porovnanie maximálnych vypočítaných (VHS) a namodelovaných vodných hodnôt (VHS_hbv) v zimných sezónach 1992-2002 v povodí horného Hrona po Brezno

Fig. 5 Comparison of maximum calculated (VHS) and simulated snow water equivalents (VHS_hbv) in winter seasons 1992-2002 in the upper Hron river basin, station Brezno



Obr. 6 Porovnanie pomeru maximálnej vypočítanej (VHS) a namodelovanej vodnej hodnoty snehu (VHS_hbv) v zimných sezónach 1992-2002 v povodí horného Hrona po Brezno

Fig. 6 Comparison of ratio of maximum calculated (VHS) and simulated snow water equivalent (VHS_hbv) in winter seasons 1992-2002 in the upper Hron river basin, station Brezno

Uvedené porovnanie potvrdilo, že zrážkovo-odtokový model HBV kalibrovaný iba na prietoky simuluje vodnú hodnotu snehu s nedostatočnou presnosťou. Aby sa tomuto nedostatku predišlo, je potrebné aplikovať viacnásobnú kalibráciu, v prípade HBV aj s využitím automatických kalibračných techník, ktoré nevyžadujú zásah do programového kódu modelu, napr. metóda PEST (Model-Independent Parameter Estimation). To znamená kalibrovať model nielen s ohľadom na charakteristiky odtoku, ale aj napr. s ohľadom na vybrané charakteristiky snehovej pokrývky (vodná hodnota snehu). Model tak bude s požadovanou presnosťou simulovať nielen samotný odtok, ale aj vnútornú variabilitu modelovaného systému so zameraním na akumuláciu a topenie sa snehovej pokrývky.

Porovnanie snehomerných váh

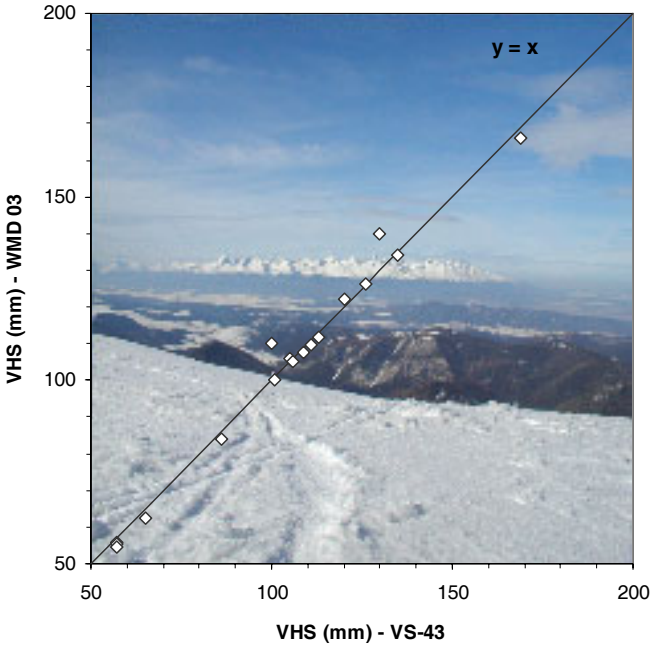
V rámci expedičných meraní sa overujú nielen metodiky, ale aj prístroje. Počas februárových expedičných meraní sa porovnával jeden zo základných typov snehomera, VS-43 s novým typom elektronických závesných váh, WMD 03.



Obr. 7 Digitálna váha WMD 03 používaná na meranie vodnej hodnoty snehu

Fig. 7 Digital weighting machine used for snow water equivalent measuring

Grafické porovnanie údajov nameraných oboma typmi snehomerov je na obr. 8.



Obr. 8 Porovnanie vodnej hodnoty snehu (VHS) nameranej rôznymi váhovými snehomermi (VS-43 a WMD 03) počas expedičných meraní výšky snehu a VHS v povodí horného Hrona

Fig. 8 Comparison of snow water equivalent (SWE) measured by different types of weighting machines for snow (VS-43 a WMD 03) during expedition measuring of snow height and SWE in upper Hron basin.

Jednoduchá popisná štatistická analýza (tab. 3) poskytuje informácie o celkovom trende a variabilite nameraných dát. Z príslušnej tabuľky je zrejmé, že jednotlivé charakteristiky stredu a variability sa od seba výrazne nelíšia. Charakteristiky asymetrie a špicatosti poukazujú na menšie rozdiely v rozdelení početnosti oboch dátových súborov. Napr. v prípade elektronických váh WMD 03 je možné hovoriť o slabej pravostrannej asymetrii rozdelenia početnosti, t.j. sú sústredené skôr pri vyšších hodnotách znaku a smerom k nižším hodnotám klesajú, a o miernom sploštení rozdelenia v porovnaní s normálnym rozdelením.

Tab. 3 Vybrané štatistické charakteristiky vodnej hodnoty snehu (mm) nameranej rôznymi váhovými snehomermi (VS-43 a WMD 03) počas expedičných meraní VHS a výšky snehu v povodí horného Hrona vo februári 2004

Tab. 3 Selected statistical characteristics of snow water equivalent (mm) measured by different types of weighting machines for snow (VS-43 a WMD 03) during expedition measuring of snow height and SWE in upper Hron basin in February 2004.

	VS 43	**WMD 03**
Priemer	102.8	102.9
Chyba str. hodnoty	7.5	7.7
Smer. odchýlka	30.856	31.938
Koef. variácie	0.300	0.310
Koef. asymetrie	0.043	-0.108
Koef. špicatosti	0.015	-0.360
Minimum	57	54.4
Maximum	169	166
Súčet	1747	1750
Počet	17	17

Štatistické ukazovatele dopĺňa aj vypočítaný korelačný koeficient medzi obidvoma súbormi vodnej hodnoty snehu, ktorý mal hodnotu r = 0,993. T-test významnosti korelačného koeficientu potvrdil jeho štatistickú významnosť na zvolenej hladine významnosti $\alpha = 0{,}01$.
Z vyššie uvedených výsledkov vyplýva, že snehomer VS-43 je možné pre potreby hydroprognóznej služby nahradiť novým typom elektronických závesných váh, WMD 03. Tento typ sa vyznačuje jednoduchším ovládaním, ktoré v teréne pri expedičnom meraní celkovo uľahčuje manipuláciu s prístrojom.
Pokiaľ by sa uskutočnilo rozsiahlejšie porovnanie oboch typov snehomerov v rôznych podmienkach (nadmorská výška, obdobie akumulácie, zrelosti aj topenia snehovej pokrývky) a výsledky by ukázali dobrú zhodu medzi meranými veličinami, bolo by možné odporučiť používanie elektronických závesných váh WMD 03 aj v sieti zrážkomerných staníc, z ktorých údaje používa HIPS pre výpočet zásob vody v povodí.

Záver

V súvislosti s hydrologickým modelovaním ako aj s určením zásob vody v snehu na povodí vyvstáva otázka kvality vstupných dát. Základným zdrojom informácií sú bodové merania požadovaných klimatických prvkov, z ktorých je možné vhodnou interpolačnou metódou, zakomponovanou priamo do modelu alebo v prostredí GIS, odvodiť priestorovú informáciu. Nové možnosti získavania kvalitnej priestorovej informácie sa opierajú o použitie techník diaľkového prieskumu Zeme – meteorologického radaru a družíc. Využitie družicových dát pre potreby modelovania je v operatívnej hydrológii stále ešte zriedkavé, ale vo vede a výskume sa už pri modelovaní úspešne aplikujú. Ich oblasť pôsobnosti je veľmi rozsiahla. Môžu byť použité nielen ako operatívne vstupy do modelov, ale aj pri kalibrácii alebo rekalibrácii samotných modelov. Z hľadiska procesov akumulácie a topenia sa snehu, dôležitých pre vývoj snehových zásob na povodí, sa ako najdôležitejšie javia informácie o zrážkach a snehovej pokrývke. A práve kombinácia pozemných pozorovaní spolu s možnosťami diaľkového prieskumu sa zdá byť pre monitoring a modelovanie snehovej pokrývky do budúcna rozhodujúca. Medzinárodný Projekt H-SAF (Satellite Application Facility for Hydrology), ktorého riešiteľom je aj SHMÚ, si dáva za cieľ priblížiť možnosti využitia družicových dát v operatívnej hydrológii.

Literatúra

Mihina, V. (1987): Metódy vyhodnocovania zásob vody v snehovej pokrývke na povodí Hrona. Etapová zpráva: II-5-1/05/03, SHMÚ, Bratislava, 56 s.

Turčan, J. (1973): Príspevok k určeniu zásoby snehu v horskom povodí. Vodohospodársky časopis, 21, č. 3-4.

Autori

Daniela Kyselová, SHMÚ Banská Bystrica, Zelená 5, 974 01, daniela.kyselova@shmu.sk

Kateřina Hrušková, SHMÚ Banská Bystrica, Zelená 5, 974 01, katerina.hruskova@shmu.sk

ŤAŽKÉ KOVY V POVRCHOVÝCH VODÁCH NA VÝCHODOSLOVENSKEJ NÍŽINE

Jozef Ivančo, Dana Pavelková, Rastislav Mati

V príspevku sú uvedené výsledky získané pri monitorovaní vybraných ťažkých kovov (olovo, kadmium, chróm, zinok, meď) vo vybraných hlavných vodných tokoch (Laborec, Ondava, Uh) na Východoslovenskej nížine. Monitoring bol robený v dvoch časových horizontoch (rok 1994 a 2000). Získané výsledky ukázali, že vo všetkých odberných profiloch boli zistené koncentrácie sledovaných ťažkých kovov.

Kľúčové slová: vodné toky, ťažké kovy, olovo, kadmium, chróm, zinok, meď, koncentrácie, Laborec, Ondava, Uh

***Heavy metals of surface water in the East Slovakian Lowland**. This article deals with results of two-days lasting measurement of selected heavy metals concentrations along the Laborec river, the Ondava river and the Uh river. Samples of water were picked up during two-days for the purpose of estimating the concentrations of selected heavy metals: lead (Pb), cadmium (Cd), chrome (Cr), zinc (Zn) and copper (Cu). Monitoring was realised in 1994 and 2000 years. Sources of pollution were not searched. As shown the analysis, there was not dangerous pollution in all rivers evaluated.*

Key words: Water Streams, Heavy Metals, Lead, Chrome, Zinc, Cadmium, Copper, Concentration, River Laborec, River Ondava, River Uh

---

ÚVOD

Zloženie (chemické) povrchových vôd je okrem iných procesov ovplyvňované aj antropogénnou činnosťou. V poslednom období medzi cudzorodé látky, ktoré sa do povrchových vôd dostávajú patria aj ťažké kovy. V hlavných vodných tokoch na Východoslovenskej nížine (Laborec, Ondava, Uh) bol v rámci riešeného Grantového projektu „Vplyv antropogénnej činnosti na režim povrchových, pôdnych a podzemných vôd na VSN“, v roku 1994 monitorovaný obsah vybraných ťažkých kovov (Ivančo, 1996a, b, c, 1997, 1998-1999, 2001a, b; Mati, 2001). Na základe vtedy použitej metodiky bol tento monitoring urobený aj v roku 2000 a získané výsledky boli navzájom porovnané. Ďalšie opakovanie monitoringu podľa tej istej metodiky sa uskutoční v roku 2005.

POUŽITÝ METODICKÝ POSTUP

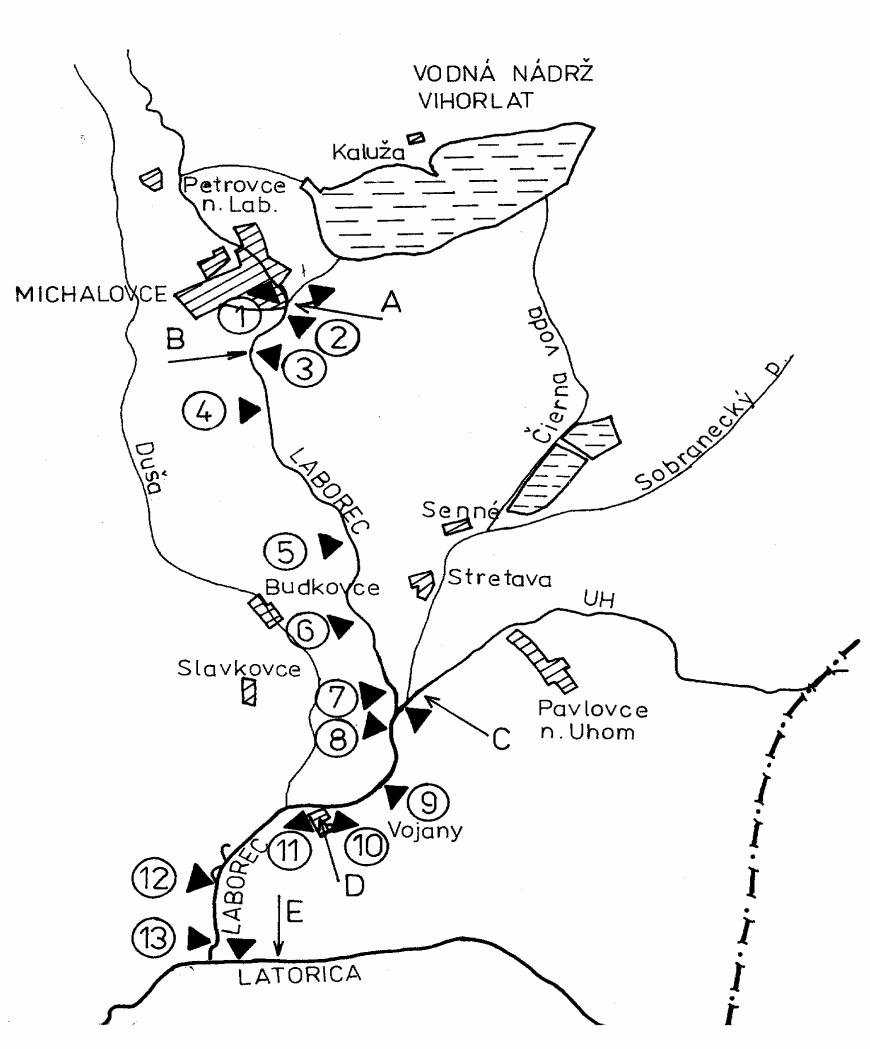
V zmysle vypracovaného metodického postupu boli koncentrácie vybraných ťažkých kovov v Laborci sledované v dvoch časových horizontoch a to 9.–10. 8. 1994 a 23.–24. 8. 2000. Vzorky vody boli odoberané počas dvoch dní v smere toku z vrstvy tesne pod hladinou. Odberné profily (obr.1) boli vybrané tak, aby boli zmapované charakteristické úseky vodného toku Laborec.

V Ondave boli odbery vzoriek povrchovej vody urobené v roku 1994 v priebehu dvoch dní (16. – 17. 8. 1994). Odberné profily sú uvedené na obr.2 a boli vybrané tak, aby sa vystihli reprezentatívne úseky rieky Ondava. V roku 2000 bol monitoring uskutočnený v dňoch 5. – 6. septembra.

Na Uhu bol uskutočnený monitoring v roku 1995 (2. augusta). Odberné profily sú uvedené na obr.3. V roku 2000 bol podľa tej istej metodiky urobený odber vzoriek dňa 20. septembra.

Zo vzoriek vody boli stanovené koncentrácie olova (Pb), kadmia (Cd), chrómu (Cr), zinku (Zn) a medi (Cu). Chemické analýzy boli urobené v obidvoch časových horizontoch v agrochemickom laboratóriu

Oblastného výskumného ústavu agroekológie v Michalovciach. Počas monitorovania boli v Laborci zaznamenané najnižšie prietoky.



Laborec: 1 – Michalovce - pred zaústením výpustného kanála z vodnej nádrže Vihorlat, 2 – Michalovce (Meďov) po zaústení výpustného kanála z VN Vihorlat, 3 – Michalovce pod vyústením odpadových vôd z ČOV, 4 – Lastomír, 5 – Palín, 6 – Stretavka, 7 – pred sútokom s Uhom, 8 – po sútoku s Uhom, 9 – vo Vojanoch, 10 – vo Vojanoch nad haťou, 11 – vo Vojanoch pod haťou, 12 – Oborín, 13 – pred sútokom s Latoricou.

Prítoky a vodné nádrže: A – výpustný kanál z vodnej nádrže Vihorlat, B – odpad z ČOV Michalovce, C – Uh, D – vodná nádrž Vojany (haťové teleso), E – Latorica.

Obr. 1 Odberné miesta na Laborci.

Fig. 1 Water sampling sites on the Laborec river.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

I. vodný tok: Laborec

Výsledky získané monitoringom obsahu vybraných ťažkých kovov v obidvoch časových horizontoch (1994, 2000) sú uvedené v tab. 1.

Olovo

V roku 1994 sa koncentrácie olova pohybovali od 0,62 do 4,50 $\mu g.l^{-1}$. Najvyššie hodnoty boli namerané v Laborci po sútoku s Uhom. V roku 2000 sa obsah olova pohyboval od 0,83 do 2,51 $\mu g.l^{-1}$. Najvyššie hodnoty boli namerané v Laborci v profile Michalovce po zaústení výpustného kanála z VN Vihorlat. Maximálne namerané koncentrácie olova boli v roku 2000 nižšie oproti roku 1994.

Kadmium

Koncentrácie kadmia sa v roku 1994 pohybovali od 0,05 do 0,85 $\mu g.l^{-1}$. Maximálne hodnoty boli namerané v Laborci v Michalovciach v profile po zaústení odpadových vôd z ČOV. V roku 2000 sa koncentrácie kadmia sa pohybovali od 0,08 do 0,73 $\mu g.l^{-1}$. Maximálne hodnoty boli namerané v Laborci v profile Michalovce po zaústení výpustného kanála z VN Vihorlat. Maximálne namerané koncentrácie kadmia boli v roku 2000 opäť nižšie ako v roku 1994.

Chróm

Obsah chrómu v Laborci sa v roku 1994 pohyboval od 0,92 do 2,45 $\mu g.l^{-1}$. Maximálne koncentrácie boli namerané v Laborci v profile Michalovce pred zaústením výpustného kanála z VN Vihorlat. Koncentrácie chrómu v roku 2000 sa pohybovali od 0,85 do 3,04 $\mu g.l^{-1}$. Maximálna hodnota bola nameraná v Laborci v profile Vojany - most. Maximálne koncentrácie namerané v roku 2000 boli vyššie ako v roku 1994.

Zinok

Koncentrácie zinku sa v roku 1994 pohybovali od 2,21 do 28,44 $\mu g.l^{-1}$. Maximálna hodnota bola nameraná v Laborci v profile Michalovce pred zaústením výpustného kanála z VN Vihorlat. V roku 2000 sa koncentrácie zinku pohybovali od 16,11 do 35,89 $\mu g.l^{-1}$. Najvyššie koncentrácie bola namerané v Laborci v profile Michalovce po zaústení výpustného kanála z VN Vihorlat. Maximálne namerané koncentrácie zinku v roku 2000 boli vyššie ako v roku 1994.

Meď

V roku 1994 sa koncentrácie medi pohybovali od 4,86 do 17,3 $\mu g.l^{-1}$. Maximálna hodnota bola nameraná v Laborci v profile Michalovce pred zaústením výpustného kanála z VN Vihorlat. V roku 2000 sa obsah medi pohyboval od 1,85 do 7,85 $\mu g.l^{-1}$. Najvyššia hodnota bola nameraná v Laborci v profile Michalovce po zaústení výpustného kanála z VN Vihorlat. Najvyššie namerané koncentrácie medi boli v roku 2000 nižšie oproti roku 1994.

Porovnanie obsahu ťažkých kovov v dvoch časových horizontoch v Laborci

Zo získaných výsledkov boli podľa jednotlivých vybraných ťažkých kovov a hodnotených rokov (1994 a 2000) vypočítané priemerné hodnoty, ktoré sú uvedené v tab.2., z ktorej je vidieť, že priemerné koncentrácie olova, kadmia, chrómu a medi boli v roku 1994 vyššie ako v roku 2000. Opačná tendencia bola pri zinku. Toto zníženie môže byť dôsledkom zmeny výrobných procesov v povodí Laborca.

Tab. 1 Porovnanie obsahu vybraných ťažkých kovov vo vodnom toku Laborec v rokoch 1994 a 2000.

a) koncentrácie olova (Pb), kadmia (Cd), a chrómu (Cr)

Tab. 1 Comparison of heavy metals concentrations in water on the Laborec river
a) concentrations of heavy metals (Pb, Cd, Cr)

P. č.	LABOREC – Lokalita	Koncentrácie ťažkých kovov v µg.l^{-1}								
		Pb			Cd			Cr		
		1994	2000	+/-	1994	2000	+/-	1994	2000	+/-
1	Michalovce-pred zaús.vý.k.	0,99	1,12	0,13	0,05	0,08	0,03	2,45	0,91	-1,54
2	Michalovce-po zaús.vý.k.	0,83	2,51	1,68	0,20	0,73	0,53	0,92	1,35	0,43
3	Michalovce - pod vyús. ČOV	1,70	1,21	-0,49	0,85	0,10	-0,76	1,35	0,91	-0,44
4	Lastomír	1,00	1,38	0,38	0,05	0,11	0,06	1,20	1,01	-0,19
5	Palín	0,62	0,83	0,21	0,70	0,08	-0,62	1,23	1,23	0,00
6	Stretavke	0,63	1,28	0,65	0,05	0,16	0,11	1,12	1,98	0,86
7	Pred sútokom s Uhom	0,98	0,91	-0,07	0,05	0,12	0,07	1,34	1,04	-0,30
8	po sútoku s Uhom	4,50	1,89	-2,61	0,70	0,12	-0,58	1,10	0,99	-0,11
9	Vojany (most)	1,20	2,01	0,81	0,45	0,10	-0,35	1,27	3,04	1,77
10	Vojany nad haťou	1,40	1,81	0,41	0,45	0,11	-0,34	1,86	0,99	-0,87
11	Vojany pod haťou	1,70	1,94	0,24	0,32	0,09	-0,23	1,92	1,23	-0,69
12	Oborín	3,20	1,38	-1,82	0,32	0,11	-0,21	1,29	2,01	0,72
13	Pred sútokom s Latoricou	1,70	0,94	-0,76	0,45	0,08	-0,37	1,81	0,85	-0,96

b) koncentrácie zinku (Zn), medi (Cu) a kumulované koncentrácie (Pb, Cd, Cr, Zn, Cu)

b) concentrations of heavy metals (Zn, Cu) and cumulative concentrations (Pb, Cd, Cr, Zn, Cu)

P. č.	LABOREC – Lokalita	Koncentrácie ťažkých kovov v µg.l^{-1}								
		Zn			Cu			Spolu		
		1994	2000	+/-	1994	2000	+/-	1994	2000	+/-
1	Michalovce-pred zaús.vý.k.	28,44	16,11	-12,33	17,30	3,11	-14,19	49,23	21,33	-27,90
2	Michalovce-po zaús.vý.k.	11,17	35,89	24,72	12,73	7,85	-4,88	25,85	48,33	22,48
3	Michalovce - pod vyús. ČOV	8,63	26,28	17,65	7,26	3,58	-3,68	19,79	32,08	12,29
4	Lastomír	4,61	23,11	18,50	10,08	2,98	-7,10	16,94	28,59	11,65
5	Palín	3,43	19,58	16,15	4,86	1,95	-2,91	10,84	23,67	12,83
6	Stretavke	16,19	29,35	13,16	10,22	3,94	-6,28	28,21	36,71	8,50
7	Pred sútokom s Uhom	9,07	27,40	18,33	10,41	2,85	-7,56	21,85	32,32	10,47
8	po sútoku s Uhom	5,16	18,50	13,34	11,55	3,02	-8,53	23,01	24,52	1,51
9	Vojany (most)	4,63	29,11	24,48	11,69	4,25	-7,44	19,24	38,51	19,27
10	Vojany nad haťou	2,21	20,85	18,64	14,52	3,11	-11,41	20,44	26,87	6,43
11	Vojany pod haťou	19,83	19,54	-0,29	15,56	3,04	-12,52	39,33	25,84	-13,49
12	Oborín	17,71	24,58	6,87	13,22	3,58	-9,64	35,74	31,66	-4,08
13	Pred sútokom s Latoricou	15,31	16,50	1,19	9,71	1,85	-7,86	28,98	20,22	-8,76

Poznámka: A – zvýšenie(+), zníženie(-) oproti roku 1994.

Celkové hodnotenie kvality vody v Laborci

Vzhľadom nato, že sa jednalo o jednorázový informačný monitoring (odber jednej vzorky z každého odberného profilu) a to v obidvoch časových intervaloch nie je možné zaradiť v jednotlivých odberných profiloch povrchovú vodu do akostných tried podľa STN 75 7221.
Tab. 2 Priemerné koncentrácie vybraných ťažkých kovov v Laborci v rokoch 1994 a 2000.

Tab. 2 Average concentrations of selected heavy metals on the Laborec river in 1994 and 2000.

Rok	Koncentrácie ťažkých kovov v µg. l^{-1}					
	Pb	Cd	Cr	Zn	Cu	Spolu
1994	1,57	0,35	1,45	11,23	11,47	26,07
2000	1,47	0,15	1,35	23,60	3,47	33,11

II. vodný tok: Ondava

Namerané koncentrácie vybraných ťažkých kovov pozdĺž toku Ondava (obr.2) v roku 1994 a 2000, sú uvedené v tab. 3 a 4. Z uvedených výsledkov je vidieť, že ťažké kovy boli zistené vo všetkých odberných profiloch.

Kadmium

Obsah kadmia sa v Ondave v roku 1994 (tab. 3) pohyboval od 0 do 0,65 µg.l^{-1}. Maximálne hodnoty boli namerané v profile pred sútokom s Trnávkou 0,65 µg.l^{-1} a v profiloch po sútoku s Trnávkou 0,57 µg.l^{-1} a v Sírniku 0,57 µg.l^{-1}.

V roku 2000 (tab. 4) sa koncentrácie kadmia pohybovali od 0,081 do 0,311 µg.l^{-1}. Maximálne hodnoty boli namerané v odberných profiloch pod výpustom z Bukózy 0,311 µg.l^{-1} a v Rakovci nad Ondavou 0,291 µg.l^{-1}.

Olovo

Koncentrácie olova sa v roku 1994 (tab. 3) pohybovali od 1,06 do 2,67 µg.l^{-1}. Najvyššie boli namerané v odbernom profile pod Malou Domašou 2,67 µg.l^{-1} a v profiloch Nižný Hrušov 2,52 µg.l^{-1}, Sírnik 2,49 µg.l^{-1} a Zemplínske Hradište 2,41 µg.l^{-1}.

V roku 2000 (tab. 4) sa koncentrácie olova v Ondave pohybovali od 0,65 do 4,18 µg.l^{-1}. Najvyššie koncentrácie boli namerané v profile pod výpustom odpadových vôd z Bukózy v Hencovciach 4,18 µg.l^{-1} a v profile Poša 3,11µg.l^{-1}.

Chróm

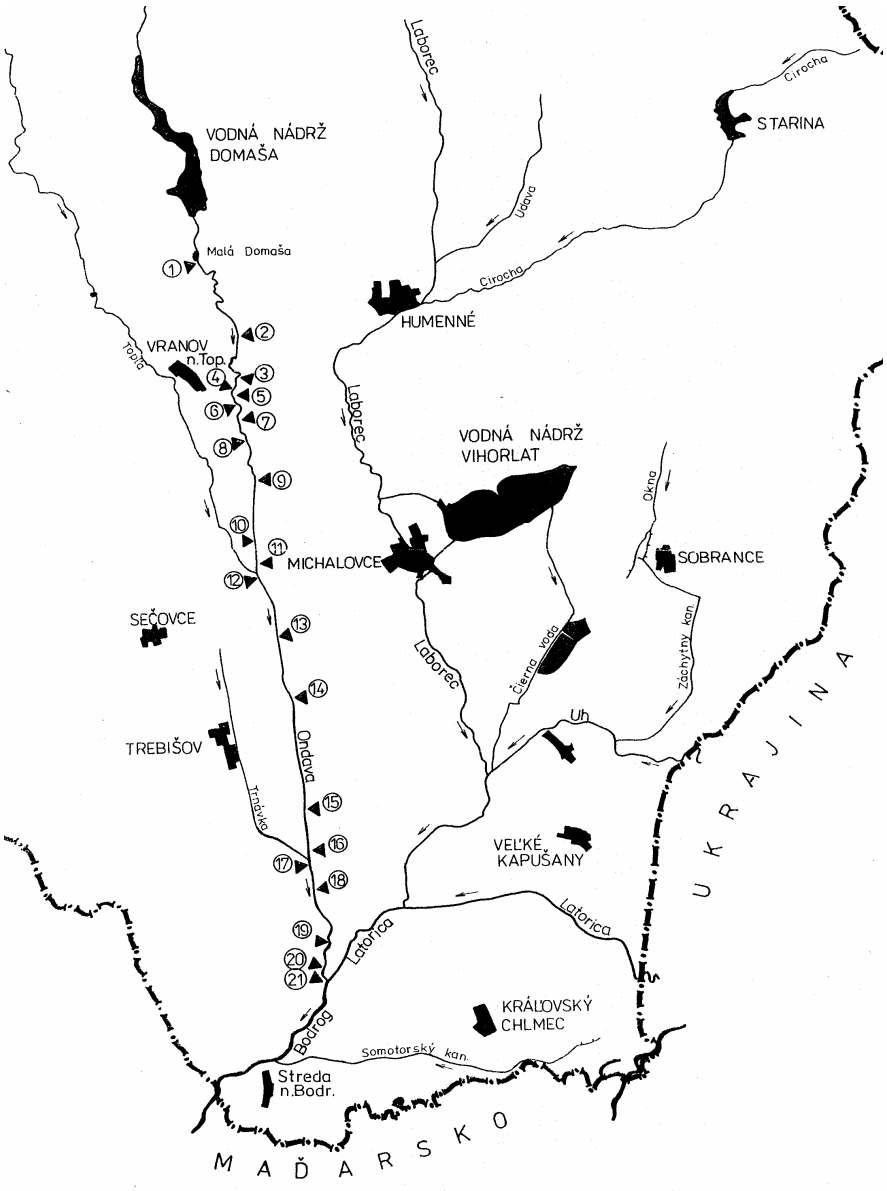
Koncentrácie chrómu sa v Ondave v roku 1994 (tab. 3) pohybovali od 0,80 do 1,82 µg.l^{-1}. Maximálne koncentrácie boli namerané v profiloch Rakovec 1,82 µg.l^{-1} a Poša 1,80 µg.l^{-1}.

V roku 2000 (tab. 4) sa koncentrácie chrómu pohybovali od 0,45 do 2,04 µg.l^{-1}. Najvyššie hodnoty boli namerané v profiloch Poša 2,04 µg.l^{-1} a Nižný Hrabovec 1,85 µg.l^{-1}.

Meď

Koncentrácie medi sa v roku 1994 (tab. 3) sa pohybovali od 5,15 do 28,69 µg.l^{-1}. Najvyššie koncentrácie boli namerané v profiloch pod haťou v Hencovciach 28,69 µg.l^{-1} , v Ložíne 27,50 µg.l^{-1} v Poši 22,20 µg.l^{-1}, po sútoku s Trnávkou 22,10 µg.l^{-1} a v Kladzanoch 21,79 µg.l^{-1}.

V roku 2000 (tab. 4) sa obsah medi v Ondave pohyboval od 3,40 do 13,11 µg.l^{-1}. Najvyššia hodnota bola nameraná v profile pod vyústením odpadových vôd z Bukózy 13,11 µg.l^{-1} a v Nižnom Hrabovci 10,50 µg.l^{-1} .



1- pod Malou Domašou, 2- v Sedliskách, 3- v Kladzanoch, 4- nad haťou v Hencovciach, 5- pod haťou v Hencovciach, 6- pod výpustom odpadových vôd z Bukózy, 7- v Nižnom Hrabovci, 8- v Poši, 9- v Nižnom Hrušove, 10- v Rakovci nad Ondavou, 11- pred sútokom s Topľou, 12- po sútoku s Topľou, 13- v Horovciach, 14- v Ložíne, 15- v Zemplínskom Hradišti, 16- pred sútokom s Trnavkou, 17- po sútoku s Trnavkou, 18- v Sírniku, 19- v Brehove, 20- pred sútokom s Latoricou, 21- po sútoku s Latoricou (Bodrog). Prítoky: A – Topľa, B – Trnavka

Obr. 2 Odberné profily na Ondave

Fig. 2 Water sampling sites on the Ondava river

Zinok

Namerané koncentrácie zinku sa v Ondave v roku 1994 (tab. 3) pohybovali od 1,12 do 24,61 $\mu g.l^{-1}$. Najvyššie hodnoty boli namerané v profiloch Nižný Hrabovec 24,61 $\mu g.l^{-1}$ a Sírnik 10,15 $\mu g.l^{-1}$.

V roku 2000 (tab. 4) sa koncentrácie zinku pohybovali od 16,13 do 64,50 $\mu g.l^{-1}$. Najvyššie koncentrácie boli namerané v profiloch pod vyústením odpadových vôd z Bukózy a v Horovciach 31,50 $\mu g.l^{-1}$.

Tab. 3 Koncentrácie vybraných ťažkých kovov vo vodnom toku Ondava v roku 1994.

Tab. 3 Concentrations of selected heavy metals on the Ondava river in 1994.

P.č.	Odberný profil	µg.l^{-1}					
		Cd	**Pb**	**Cr**	**Cu**	**Zn**	**Spolu**
1	Ondava pod Malou Domašou	0,50	2,67	1,02	13,24	7,76	25,19
2	Ondava v Sedliskách	0,50	1,25	0,99	15,12	1,12	18,98
3	Ondava v Kladzanoch	0,31	1,87	0,80	21,79	1,68	26,45
4	Ondava nad haťou v Hencovciach	0,15	1,29	1,46	9,08	3,20	15,18
5	Ondava pod haťou v Hencovciach	0,23	1,06	1,43	28,69	1,35	32,76
6	Ondava pod výpustom odpadových vôd z Bukózy	0,05	1,70	1,12	10,22	16,19	29,28
7	Ondava v Nižnom Hrabovci	0,00	1,43	1,40	8,74	24,61	36,18
8	Ondava v Poši	0,06	1,43	1,80	22,20	6,08	31,57
9	Ondava v Nižnom Hrušove	0,23	2,52	1,60	15,81	2,67	22,83
10	Ondava v Rakovci	0,40	1,46	1,82	11,68	3,02	18,38
11	Ondava pred sútok. s Topľou	0,06	1,65	1,80	12,05	2,02	17,58
12	Ondava po sútoku s Topľou	0,23	1,76	1,43	15,31	2,18	20,91
13	Ondava v Horovciach	0,00	1,69	1,43	13,05	1,61	17,78
14	Ondava v Ložíne	0,50	1,50	1,48	27,50	2,69	33,68
15	Ondava v Zemplínskom Hradišti	0,15	2,41	1,60	8,20	5,22	17,58
16	Ondava pred sútokom s Trnavkou	0,65	2,19	1,70	14,30	4,30	23,14
17	Ondava po sútoku s Trnavkou	0,57	1,26	1,24	20,10	6,25	31,42
18	Ondava v Sírniku	0,57	2,49	1,32	13,40	10,15	27,93
19	Ondava v Brehove	0,00	1,44	1,44	6,45	9,27	19,05
20	Ondava pred sútokom s Latoricou	0,00	1,56	1,62	5,15	7,50	15,83
21	Bodrog	0,15	2,53	1,53	11,70	3,44	19,35

Hodnotenie obsahu ťažkých kovov v dvoch časových horizontoch 1994 a 2000 v Ondave.

Na základe získaných výsledkov boli podľa jednotlivých monitorovaných ťažkých kovov a hodnotených rokov (1994 a 2000) vypočítané priemerné hodnoty, ktoré sú uvedené v tab. 5. Z tabuľky je vidieť, že priemerné koncentrácie kadmia, chrómu a medi boli v povrchovej vode v Ondave v roku 1994 vyššie ako v roku 2000. Opačná tendencia bola pri olove a najmä pri zinku, kde priemerné hodnoty v roku 2000 boli niekoľkokrát vyššie ako v roku 1994 čo môže byť dôsledkom zmeny technologických procesov v povodí. Najvyššie koncentrácie zinku boli namerané v odbernom profile pod výpustom odpadových vôd z Bukózy v Hencovciach.

Vzhľadom nato, že sa jednalo o jednorázový informačný monitoring (odber jednej vzorky z každého odberného profilu) a to v obidvoch časových intervaloch nie je možné zaradiť v jednotlivých odberných profiloch povrchovú vodu do akostných tried podľa STN 75 7221.

Tab. 4 Koncentrácie vybraných ťažkých kovov vo vodnom toku Ondava v roku 2000.

Tab. 4 Concentrations of selected heavy metals on the Ondava river in 2000.

P.č.	Odberný profil	µg.l^{-1}					
		Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Spolu
1	Ondava pod Malou Domašou	0,119	2,04	1,38	10,21	29,35	43,10
2	Ondava v Sedliskách	0,081	0,94	1,01	6,35	19,28	27,66
3	Ondava v Kladzanoch	0,094	1,51	0,85	4,98	16,58	24,01
4	Ondava nad hať ou v Hencovciach	0,112	1,21	0,78	3,90	18,53	24,53
5	Ondava pod hať ou v Hencovciach	0,126	1,65	0,95	6,21	27,80	36,74
6	Ondava pod výpustom odpadových vôd z Bukózy	0,311	4,18	0,98	13,11	64,50	83,08
7	Ondava v Nižnom Hrabovci	0,201	2,04	1,85	10,50	29,35	43,94
8	Ondava v Poši	0,098	3,11	2,04	6,58	24,50	36,33
9	Ondava v Nižnom Hrušove	0,158	1,85	1,06	3,40	19,85	26,32
10	Ondava v Rakovci	0,291	1,58	0,98	8,45	16,50	27,80
11	Ondava pred sútok. s Topľou	0,102	0,98	1,54	6,50	18,50	27,62
12	Ondava po sútoku s Topľou	0,180	1,54	1,50	8,11	24,57	35,90
13	Ondava v Horovciach	0,082	0,65	0,89	10,50	31,50	43,62
14	Ondava v Ložíne	0,211	2,58	1,50	8,40	23,11	35,80
15	Ondava v Zemplínskom Hradišti	0,181	1,90	1,25	6,95	17,50	27,78
16	Ondava pred sútokom s Trnavkou	0,160	1,58	0,95	7,11	24,52	34,32
17	Ondava po sútoku s Trnavkou	0,204	1,58	1,12	8,01	28,29	39,20
18	Ondava v Sírniku	0,185	2,11	1,01	6,51	24,11	33,93
19	Ondava v Brehove	0,096	1,80	0,45	6,04	21,19	29,58
20	Ondava pred sútokom s Latoricou	0,084	1,12	1,18	5,95	18,40	26,73
21	Bodrog	0,138	2,04	1,09	5,80	16,13	25,20

Tab. 5 Priemerné koncentrácie vybraných ťažkých kovov v Ondave v rokoch 1994 a 2000.

Tab. 5 Average concentrations of selected heavy metals on the Ondava river in 1994 and 2000.

Rok	Priemerné koncentrácie v µg.l^{-1}					
	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Spolu
1994	0,25	1,71	1,43	14,46	5,82	23,9
2000	0,15	1,80	1,16	7,31	24,47	34,91

III. vodný tok: Uh

Získané výsledky z monitorovania obsahu vybraných ťažkých kovov vo vodnom toku Uh v obidvoch časových horizontoch sú uvedené v tabuľke 6. a 7.

Olovo

V roku 1995 sa obsah olova vo vybraných odberných profiloch v dolnom toku Uhu pohyboval od 0,58 $\mu g.l^{-1}$ do 3,80 $\mu g.l^{-1}$. Najvyšší obsah bol zaznamenaný v profile pred sútokom s Laborcom.
V roku 2000 sa obsah olova v povrchovej vode v Uhu pohyboval od 0,97 $\mu g.l^{-1}$ do 3,58 $\mu g.l^{-1}$. Najvyššia hodnota bola nameraná v odbernom profile Uh pred sútokom s Laborcom. Obsah olova mal v smere toku klesajúcu tendenciu (3,58 – 0,97 $\mu g.l^{-1}$).

Kadmium

Obsah kadmia sa pohyboval v roku 1995 od 0,05 $\mu g.l^{-1}$ do 0,80 $\mu g.l^{-1}$. Najvyššie hodnoty boli namerané v profile Záchytný kanál. V roku 2000 sa obsah kadmia pohyboval od 0,13 $\mu g.l^{-1}$ do 0,28 $\mu g.l^{-1}$. Najvyššie hodnoty boli namerané v profile v Pinkovciach.
V roku 2000 bol obsah kadmia vyšší v profiloch 1, 2, 4 a opačná situácia bola v profiloch 3, 5 a 6 kde bol obsah kadmia niekoľkonásobne vyšší. Obsah kadmia mal v roku 2000 pozdĺž toku klesajúcu tendenciu (0,28 – 0,14 $\mu g.l^{-1}$).

Chróm

Obsah chrómu sa v povrchovej vode Uhu pohyboval v roku 1995 od 0,88 $\mu g.l^{-1}$ do 1,35 $\mu g.l^{-1}$. Najvyššie hodnoty boli namerané v profile v Pinkovciach. V roku 2000 sa pohyboval obsah chrómu od 0,76 do 1,16 $\mu g.l^{-1}$. Pri nameranej maximálnej hodnote v profile pred sútokom s Laborcom. V roku 2000 bol obsah chrómu vyššií ibe v profile 6, v ostatných odberných profiloch bol vyšší obsah v roku 1995.

Zinok

Podľa monitoringu sa obsah zinku v povrchovej vode v roku 1995 pohyboval od 9,89 do 17,95 $\mu g.l^{-1}$. Najvyššie hodnoty boli namerané v odbernom profile v Pinkovciach. V roku 2000 sa namerané koncentrácie pohybovali od 20,98 do 33,19 $\mu g.l^{-1}$. Najvyššie boli namerané v profile Záchytný kanál. Obsah zinku mal po prúde klesajúcu tendenciu (30,50 – 21,50 $\mu g.l^{-1}$) s výnimkou profilu č.3. V roku 2000 však koncentrácie zinku boli vo všetkých odberných profiloch vyššie oproti roku 1995 (v niektorých prípadoch dokonca niekoľkonásobne).

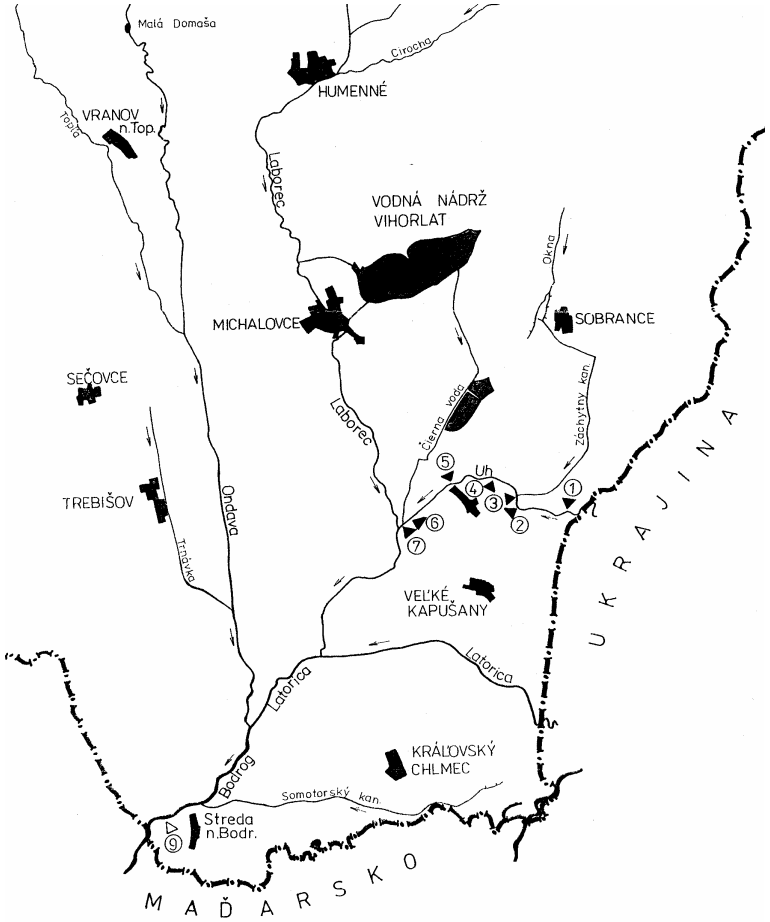
Meď

Obsah medi v Uhu sa v roku 1995 pohyboval od 8,59 do 17,30 $\mu g.l^{-1}$. Najvyššia hodnota bola nameraná opäť v profile Pinkovce. V roku 2000 sa koncentrácie medi pohybovali od 4,35 do 8,35 $\mu g.l^{-1}$. Najvyššie hodnoty boli zaznamenané v profile Pinkovce. Obsah medi v roku 2000 mal po prúde klesajúcu tendenciu. V tomto roku boli vo všetkých odberných profiloch namerané nižšie koncentrácie ako pri monitoringu v roku 1995.

Porovnanie obsahu ťažkých kovov v dvoch časových horizontoch v Uhu

V tabuľke 8. sú uvedené hodnoty priemerných obsahov vybraných ťažkých kovov v dolnom toku Uhu . Z tabuľky 8. je vidieť, že v roku 2000 boli namerané nižšie priemerné hodnoty v dolnom toku Uhu pri kadmiu o 47,3 %, pri chróme o 24,6 % a pri medi o 50,5 %. Pri olove boli však namerané vyššie hodnoty o 76,9 % a pri zinku dokonca o 105,6 % ako v roku 1995. Kumulovaný obsah ťažkých kovov bol v roku 2000 vyšší o 24,4 %.

Zvýšenie obsahu zinku v dolnom toku Uhu v roku 2000 ovplyvnilo aj celkový priemerný obsah ťažkých kovov v tomto vodnom toku (zvýšenie o 24,4 %). Vzhľadom na to, že vodný tok Uh priteká na Slovensko z Ukrajiny neboli bližšie zisťované zdroje znečistenia ťažkými kovmi ani príčiny zvýšenia obsahu zinku v roku 2000. Predpokladá sa, že je to vplyv výrobných procesov v hornej časti povodia rieky Uh.



1 - Pinkovce, 2 - Bajany, 3 - Záchytný kanál, 4 - Vysoká nad Uhom, 5 - Pavlovce nad Uhom, 6 - pred sútokom s Laborcom, 7 – Laborec po sútoku s Uhom.

Obr. 3. Odberné profily na dolnom toku Uhu:

Fig. 3 Water sampling sites on the Uh river.

Tab. 6 Obsah vybraných ťažkých kovov v dolnom toku Uhu v roku 1995.

Tab. 6 Concentrations of selected heavy metals on the Uh river in 1995.

P. č.	**Lokalita**	**Koncentrácia [µg.l^{-1}]**					
		Pb	**Cd**	**Cr**	**Zn**	**Cu**	**Spolu**
1	Uh v Pinkovciach	0,98	0,08	1,35	17,95	17,30	37,66
2	Uh v Bajanoch	1,23	0,20	1,29	12,11	10,25	25,08
3	Uh v profile Záchytný kanál	0,95	0,80	1,38	9,89	14,11	27,13
4	Uh vo Vysokej nad Uhom	3,11	0,05	1,42	13,15	8,59	26,32
5	Uh v Pavlovciach nad Uhom	0,58	0,70	1,48	10,90	14,60	28,26
6	Uh pred sútokom s Laborcom	3,80	0,45	0,88	14,11	13,18	32,42
7	Laborec po sútoku s Uhom	4,12	0,38	3,11	10,80	9,85	28,26

Tab. 7 Obsah vybraných ťažkých kovov v dolnom toku Uhu v roku 2000.

Tab. 7 Concentrations of selected heavy metals on the Uh river in 2000.

P. č.	**Lokalita**	**Koncentrácia [µg.l^{-1}]**					
		Pb	**Cd**	**Cr**	**Zn**	**Cu**	**Spolu**

1	Uh v Pinkovciach	3,58	0,28	0,88	30,50	8,35	43,59
2	Uh v Bajanoch	3,51	0,26	0,76	29,81	6,90	41,24
3	Uh v profile Záchytný kanál	2,80	0,18	1,12	33,19	7,58	44,87
4	Uh vo Vysokej nad Uhom	1,85	0,19	0,95	24,58	6,31	33,88
5	Uh v Pavlovciach nad Uhom	1,11	0,13	1,01	20,98	4,35	27,58
6	Uh pred sútokom s Laborcom	0,97	0,14	1,16	21,50	5,11	28,88
7	Laborec po sútoku s Uhom	1,35	0,12	0,98	29,08	4,23	35,76

Počas monitorovania boli odobraté v obidvoch časových horizontoch aj vzorky povrchovej vody v profile Laborec po sútoku s Uhom (tabuľka 6., 7.). V roku 2000 bol obsah olova, kadmia, chrómu a medi nižší ako v roku 1995, ale obsah zinku bol skoro trikrát vyšší, čo vyplýva nakoniec aj zo zvýšeného obsahu zinku v Uhu už pri jeho vstupe na naše územie (odberný profil Pinkovce).

Tab. 8 Priemerné koncentrácie vybraných ťažkých kovov vo vodnom toku Uh v roku 1995 a 2000.

Tab. 8 Average concentrations of heavy metals on the Uh river in 1995 and 2000.

Rok	**Priemerná koncentrácia [µg.l^{-1}]**					
	Pb	**Cd**	**Cr**	**Zn**	**Cu**	**Spolu**
1995	1,77	0,38	1,30	13,01	13,00	29,47
2000	2,30	0,20	0,98	26,76	6,43	36,67
A	+76,90	-47,34	-24,60	+105,60	-50,50	+24,40

Poznámka: A – zvýšenie(+), zníženie(-) oproti roku 1995 v %.

ZÁVER

V predkladanej práci sú hodnotené a porovnávané koncentrácie vybraných ťažkých kovov (olovo, kadmium, chróm, zinok, meď) vo vzorkách vody odoberanej vo vybraných odberných profiloch v Laborci, počas dvojdňovej časovej snímky v dvoch odlišných časových horizontoch (1994, 2000). Koncentrácie ťažkých kovov boli zistené vo všetkých odberných profiloch. Napriek tomu, že porovnanie v oboch časových horizontoch vychádza iba z jedného odberu, pri zvážení faktu, že v oboch prípadoch bolo vybrané suché obdobie s minimálnym prietokom, majú získané výsledky svoje opodstatnenie.
Namerané koncentrácie nepredstavujú v súčasnosti akútne nebezpečenstvo zo znečistenia, ale poukazujú na určité potenciálne nebezpečenstvo. Zdroje znečisťovania ťažkými kovmi zisťované neboli.
Ako ukázali výsledky priemerné koncentrácie jednotlivých ťažkých kovov , okrem zinku, boli v roku 2000 nižšie oproti roku 1994.

Ďalej boli vyhodnocované a porovnávané aj koncentrácie vybraných ťažkých kovov vo vzorkách povrchovej vody odoberaných vo vybraných odberných profiloch v Ondave. Koncentrácie ťažkých kovov boli zistené vo všetkých odberných profiloch.
Získané výsledky poukazujú na možné potenciálne nebezpečenstvo znečistenia vodného toku Ondava, ktoré je však závislé od výrobných procesov v povodí. Ako ukazujú výsledky v roku 2000 boli priemerné hodnoty pri olove a zinku vyššie ako v roku 1994. Zdroje znečistenia povrchových vôd ťažkými kovmi zisťované neboli.
Hodnotené a navzájom porovnávané boli aj monitorované obsahy vybraných ťažkých kovov v dolnom toku Uhu v dvoch časových horizontoch (roky 1995 a 2000). Prítomnosť ťažkých kovov bola zistená vo všetkých odberných profiloch a v obidvoch časových horizontoch. Pri hodnotení sa vychádza iba z jedného odberu v každom odbernom profile v jednotlivých hodnotených rokoch. I napriek tomu získané výsledky majú svoje opodstatnenie, pretože preukázali prítomnosť vybraných ťažkých kovov

v obidvoch časových úrovniach a ukázalo sa, že okrem zníženia priemerného obsahu kadmia, chrómu a medi v roku 2000 došlo v tomto roku aj k výraznému zvýšeniu obsahu olova a zinku. Výsledky zároveň poukázali na určité potenciálne nebezpečenstvo znečistenia aj dolného toku Uhu vybranými ťažkými kovmi.

Literatúra

Ivančo, J. - Mati, R. - Gomboš, M. (1996a): Rozdelenie koncentrácií ťažkých kovov pozdĺž tokov Laborca, Latorice a Bodrogu určené z meraní v krátkom časovom intervale. J.Hydrol. Hydromech 44, 2-3, 150-160.

Ivančo, J. - Mati, R. - Gomboš, M. (1996b): Obsah ťažkých kovov vo vybraných tokoch na Východoslovenskej nížine. I. Laborec – stredný a dolný tok. In: PLANETA 96, Praha, č.4, s.18-21.

Ivančo, J. - Mati, R. - Gomboš, M. (1996c): Rozdelenie koncentrácií vybraných ťažkých kovov pozdĺž dolného toku Uhu určené z meraní v krátkom časovom intervale. In: Zborník vedeckých prác OVÚA č: 13. Michalovce: OVÚA, 1996, s. 173 – 183.

Ivančo, J. - Mati, R. - Gomboš, M. (1996d): Transport vybraných ťažkých kovov vodnými tokmi na Východoslovenskej nížine. In: Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda – rastlina – atmosféra. Bratislava: Ústav hydrológie SAV a Geofyzikálny ústav SAV, 1996, s. 30 – 32.

Ivančo, J. - Mati, R. - Gomboš, M. (1997): Koncentrácie vybraných ťažkých kovov pozdĺž vodného toku Ondava určené z meraní v krátkom časovom intervale. J.Hydrol. Hydromech 45, 3, 187-196.

Ivančo, J. - Mati, R. - Gomboš, M. (1998-1999): Heavy metals concentration of the main rivers of East Slovakia Lowland. Pollution and water resources, Columbia university seminar proceedings, Volume XXX, 9, p.75 - 94.

Ivančo, J. - Mati, R. - Pavelková, D. - Gomboš, M. (2001a): Distribution of selected heavy metals concentrations along the river Laborec in 1994 and 2000 years. In. Water is life – take care of it. WRI Bratislava, p. 484 – 488.

Ivančo, J. - Pavelková, D. - Gomboš, M. - Mati, R. (2001b): Koncentrácie vybraných ťažkých kovov pozdĺž toku Ondava v roku 2000. In. Zborník vedeckých prác OVÚA Michalovce, č.17, s.275-283.

Mati, R. - Ivančo, J. (1997): Koncentrácie vybraných ťažkých kovov v povrchových vodách na Východoslovenskej nížine. In: Cudzorodé látky v životnom prostredí. Nitra: AF SPA 1997, s. 164 – 168.

STN 75 72 21 Klasifikácia akosti povrchových vôd, 1989, 20 s.

Tölgyessy, J. a kol. (1984): Chémia, biológia a toxikológia vody a ovzdušia. Bratislava: Veda Vydavateľstvo SAV, 1984, 531 s.

Autori

Ing. Jozef Ivančo, CSc., Ústav hydrológie SAV, Výskumná hydrologická základňa Michalovce, Hollého 42, Michalovce 071 01, Telefón: 056 / 64 251 47, Fax: 056 / 64 251 47, E-mail: **uhsavmi@stonline.sk**, ivanco@uh.savba.sk

Ing. Dana Pavelková, Ústav hydrológie SAV, Výskumná hydrologická základňa Michalovce, Hollého 42, Michalovce 071 01, Telefón: 056 / 64 251 47, Fax: 056 / 64 251 47, E-mail: **uhsavmi@stonline.sk,** pavelkova@uh.savba.sk

Ing. Rastislav Mati, CSc., Výskumný ústav rastlinnej výroby Piešťany, Ústav agroekológie Michalovce, Špitálska 1273, Michalovce 071 01, Telefón: 056/6420689, Fax: , E-mail: **ovua@minet.sk**,

HODNOCENÍ ÚČASTI HYDROLOGICKÝCH VĚDNÍCH OBORŮ NA VEŘEJNÉ SOUTĚŽI VE VÝZKUMU A VÝVOJI GA ČR

Hubert Kříž

Příspěvek obsahuje informace o grantovém systému Grantové agentury ČR a výsledcích účasti hydrologických vědních oborů na veřejné soutěži ve výzkumu a vývoji této agentury, jakož i řešení některých hydrologických grantových projektů. Kromě toho je v něm i výzva k účastníkům konference Hydrologické dny 2005, aby ve větší míře podávali grantové přihlášky do veřejné soutěže a zúčastňovali se činnosti v odborných komisích GA ČR.

Klíčová slova: Grantová agentura České republiky, hydrologické vědní obory, grantové projekty

***The evaluation of the hydrological sciences participation in the research and development public competition of the Czech Science Foundation**. The article describes the information on the Czech Science Foundation and results of the hydrological sciences participation in the research and development public competition of the agency and hydrological grant projects research. Besides this paper contains the challenge for conference Hydrological days 2005 participants for more submit the applications for a grant and participation in activity expert committees of the Czech Science Foundation.*

Key words: Czech Science Foundation, hydrological sciences, grant projects

---

ÚVOD

Grantová agentura České republiky (GA ČR) byla zřízena vládou České republiky podle zákona České národní rady č. 300/1992 Sb. o státní podpoře vědecké činnosti a vývoje technologií, aby poskytovala finanční prostředky ze státního rozpočtu na podporu projektů vývoje a výzkumu navrhovanými fyzickými nebo právnickými osobami. Od roku 2003 se veřejná soutěž ve výzkumu a vývoji v GA ČR řídí podle zákona č. 130/2002 Sb. Podmínky činnosti GA ČR stanoví Statut GA ČR schválený usnesením vlády ČR č. 191 z roku 1993.

Hlavním úkolem GA ČR je zajišťovat rozdělení účelových finančních prostředků na výzkum a vývoj, které jsou jí přidělovány ze státního rozpočtu a kontrola jejich hospodárného využívání. GA ČR pravidelně každoročně počínaje od roku 1993 vyhlašuje veřejnou soutěž ve výzkumu a vývoji na podporu grantových projektů. Návrhy grantových projektů (grantové přihlášky) jsou podávány v pěti základních oborech: technické vědy, přírodní vědy, lékařské vědy, společenské vědy a zemědělské vědy, které se dále ještě dělí na 6 až 9 podoborů. Všechny návrhy grantových projektů, doručené ve stanoveném termínu do GA ČR, jsou hodnoceny přesně stanoveným, který je popsán v Grantovém systému GA ČR 2005.

GA ČR v dubnu 2005 završila 12. rok svojí činnosti. Za dobu její existence došlo k několika významným změnám. V roce 2001 bylo rozhodnuto, že z veřejné soutěže musí být vyřazovány grantové přihlášky, které mají základní formální a rozpočtové nedostatky. Ke změně také došlo ve vyřizování stížností či odvolání na porušení pravidel veřejné soutěže, které se od té doby podávají výhradně kontrolní radě GA ČR. Od roku 1997 vyhlašuje GA ČR program grantů pro absolventy doktorandského studia (POST-DOC), který je určen pro navrhovatele mladší 35 let s ukončeným doktorandským studiem (vědecká hodnost Dr., CSc., nebo zahraniční ekvivalent). V roce 2002 vyhlásila GA ČR mimořádnou veřejnou soutěž s námětem komplexní ochrany proti nepříznivým změnám klimatu v ČR, jako reakci na výskyt povodní. Od dalšího roku počínaje poskytuje GA ČR finanční prostředky i na tzv. doktorské projekty, které jsou zaměřeny na podporu a koordinaci vědecké činnosti v rámci doktorských studijních programů.

HODNOCENÍ PODÍLU HYDROLOGICKÝCH VĚD NA GRANTOVÝCH PROJEKTECH GA ČR

Mezi přihlášenými projekty do veřejné soutěže GA ČR od roku 1993 pravidelně bývají některé, které z hlediska předmětu jejich výzkumu náleží do hydrologických vědních oborů. Hydrologické vědy v GA ČR patří do oboru působnosti oborových komisí technických a přírodních věd. Příslušné grantové přihlášky a výsledky řešení grantových projektů jsou přidělovány a hodnoceny buďto v podoborové komisi 103 Stavebnictví, architektura a doprava, nebo v 205 Vědy o Zemi a vesmíru, v některých výjimečných případech v obou podoborových komisích současně.

.

Přehled o celkovém počtu do veřejné soutěže GA ČR přijatých grantových přihlášek a počtu projektů, kterým byly uděleny granty za celou dobu trvání této agentury od roku 1993 je v tabulce 1. Z této tabulky je možno zjistit, že největší počet přihlášek (2004) byl podán v roce 1996 a nejmenší (1345) v roce 1997. Nejvíce grantů (836) bylo uděleno již v roce 1996, což je pochopitelné, neboť GA ČR zahajovala svojí činnost a všechny přidělené finanční prostředky rozdělila mezi projekty s jejichž řešením se začínalo. V dalším letech musely být finance rozdělovány nejen mezi nové projekty, ale i projekty jejichž řešení pokračovalo z minulých let.

Tab. 1. Počet přijatých přihlášek a udělených grantů GA ČR v letech 1993 - 2005
Tab. 1. Number of Applications and Grants in the Czech Science Foundation over 1993 to 2005

Rok	Počet grantových přihlášek	Počet udělených grantů	Podíl z počtu přihlášek v %	Počet udělených grantů projektům z oboru hydrologických věd
1993	1848	836	45	6
1994	1686	643	38	3
1995	1514	563	37	7
1996	2004	696	35	4
1997	1345	487	36	5
1998	1654	448	27	2
1999	1574	531	34	4
2000	1692	564	33	4
2001	1552	517	33	6
2002	1587	602	38	4
2003	1525	618	40,5	7
2004	1576	481	31	6
2005	1711	564	33	6

V posledním sloupci tabulky jsou počty projektů z oboru hydrologických věd, kterým byly v příslušném roce uděleny granty. Celkem dosud získalo granty GA ČR 64 projektů z hydrologických vědních oborů, z toho řešení 45 projektů již bylo ukončeno a 19 ještě probíhá. Hydrologické vědy jak z hlediska počtu každoročně podávaných grantových přihlášek do veřejné soutěže GA ČR, tak i udělovaných grantů zaostávají za ostatními vědními obory. Jejich podíl na celkovém počtu projektů, kterým byly v jednotlivých letech uděleny granty GA ČR je malý a neodpovídá významu jaký mají pro vodní hospodářství nebo životní prostředí. Nejvíce grantů (7) bylo uděleno projektům z oboru hydrologických věd v roce 1995, 2003 a nejméně (2) v roce 1998. Za pozornost stojí skutečnost, že v roce 2003 byly uděleny granty 4 projektům pracovníků Ústavu pro hydrodynamiku AV ČR v Praze.

Z ukončených hydrologických grantových projektů byl jednoznačně nejvýznamnější grantový projekt registrační číslo 103/99/1470 Extrémní hydrologické jevy v povodích, jehož navrhovatelem byl prof. Ing. Adolf Patera, DrSc. ze Stavební fakulty ČVUT v Praze. Projekt řešil tým odborníků z Fakulty stavební ČVUT Praha a VUT Brno, ČZU Praha, ČHMÚ, VÚMOP, ÚEK AV ČR, ÚH AV ČR a VÚV TGM. Výsledkem jeho řešení byl výběr a otestování hydrologických předpovědních modelů, metodické postupy pro posuzování protipovodňových opatření v podmínkách ČR aj.

Mezi významné grantové projekty z oboru hydrologických věd, jejichž řešení bylo ukončeno, náleží např.:

103/93/0397 Stanovení vlivu koncentrace a vybraných fyzikálních parametrů na tokové vlastnosti zahuštěných jemnozrnných suspenzí. Řešitelé: V. Havlík, P. Vlasák, K. Brada.
103/93/0637 Ochrana kvality povrchových vod určených k zásobení obyvatelstva pitnou vodou před znečištěním dešťovými vodami odtékajícími z urbanizovaného území. Řešitel: Z. Koníček
103/93/0841 Modelování vlivu klimatických změn na hospodaření s vodou v nádržích a vodohospo-dářských soustavách. Řešitelé: K. Nacházel a J. Buchtele.
103/95/0031 Modelování vlivu antropogenní činnosti na zdroje podzemní vody. Řešitel: I. Kazda.
205/98/0064 Prognóza a simulace ledových jevů a povodní. Řešitelé: V. Matoušek, A. Patera, J. Kubát.
103/00/0384 Interakce vodních cest a objektů na vodním toku s okolním prostředím. Řešitelé: V. Broža, K.Kubát.
103/01/0201 Problematika operativního řízení vodohospodářských soustav v podmínkách neurčitosti. Řešitel: K. Nacházel.
103/01/0322 Vliv travních společenstev na vodní zdroje v horských povodích postižených kyselou atmosférickou depozicí. Řešitel: J. Křeček.
103/02/0018 Využití metod teorie pravděpodobnosti, matematického modelování, hodnocení škod a rizikové analýzy při návrhu protipovodňových opatření. Řešitel: J. Říha.
205/02/P109 Analýza vlivu vody na aktivitu sesuvů v křídových jílovcích a slínovcích Českého masivu. Řešitel: J. Novotný.

Kromě malého počtu projektů z oboru hydrologických věd, kterým byly dosud uděleny granty, lze za další nepříznivou skutečnost považovat to, že odborníci z řad hydrologů, vodohospodářů aj. jsou nedostatečně zastoupeni v podoborových a oborových komisích, tj. odborných poradních orgánech předsednictva GA ČR. Tyto komise vyhodnocují došlé grantové přihlášky a hodnotí výsledky řešení grantových projektů. Předkládají předsednictvu GA ČR pořadníky projektů pro udělování grantů a hodnocení dosažených výsledků. V oborové komisi 1 – Technické vědy jsou hydrologické vědní disciplíny zastoupeny jedním pracovníkem Ústavu pro hydrodynamiku AV ČR. V podoborové komisi 103 – Stavebnictví, architektura a doprava jsou 3 odborníci z hydrologických věd. Z hlediska jejich odborného zaměření patrně není příliš vhodné, že všichni 3 jsou hydrotechniky a navíc 2 z nich jsou z Ústavu pro hydrodynamiku AV ČR. V oborové komisi 2 – Přírodní vědy nemají hydrologické vědy žádného zástupce a také v podoborové komisi 205 – Vědy o zemi a vesmíru chybí odborník z hydrologických oborů, přitom mají posuzovat návrhy projektů, které náleží do hydrologie a vodního hospodářství. Nedostatečné odborné znalosti pověřených zpravodajů k těmto projektům se negativně mohou projevovat jak při vyhodnocování došlých přihlášek, tak i hodnocení výsledků řešených grantových projektů. Např. v grantových přihláškách pro období 2003 – 2005, které došly do podoborové komise 205 bylo 5 projektů a v pro období 2005 – 2007 dokonce 10 projektů (dalších 12 žádosti došlo do podoborové komise 103), které se měly zabývat převážně studiem hydrologických jevů nebo vodních zdrojů, jakož i další projekty, při jejichž řešení bylo třeba věnovat pozornost hydrologickým poměrům alespoň částečně.

GA ČR každoročně vyzývá instituce a organizace zabývající se výzkumem a vývojem, aby navrhovaly kandidáty pro doplnění komisí GA ČR za stávající členy, kterým skončilo šestileté funkční období. Na základě návrhových listů kandidátů, doručených do GA CR v posledních dvou letech, jsou vybíráni a doporučováni předsednictvu GA ČR noví členové oborových a podoborových komisí pro tento účel ustanovenými pracovními skupinami, v nichž jsou zástupci Rady vlády pro vývoj, výzkum a inovace, předsednictva a kontrolní rady GA ČR. Mezi hlavní kriteria pro výběr nových členů komisi patří odborná specializace, jejich doporučení nezávislými odborníky a publikační činnost.

ZÁVĚR

Hydrologické vědy se ve veřejné soutěži ve výzkumu a vývoji pravidelně vyhlašované GA ČR nemohou měřit jak z hlediska počtu podávaných grantových přihlášek, tak i udělovaných grantů s některými vědními obory, jako je např. fyzika, matematika, chemie, biologie nebo geologie, ale

vzhledem ke své důležitosti pro vodní hospodářství či životní prostředí by se přesto měly více prosazovat a dosahovat lepších výsledků v této soutěži o granty GA ČR.

Rozhodně nemůžeme být spokojeni s malým počtem grantů GA ČR, které dosud získávaly projekty z hydrologických vědních oborů v minulých letech. Účastníci Hydrologických dnů 2005 by se měli na svých pracovištích zasadit o to, aby se věnovala větší pozornost vyhlašované veřejné soutěži GA ČR na podporu výzkumu a vývoje než dosud a bylo to této soutěže podáváno více kvalitně zpracovaných návrhů projektů (grantových přihlášek standardních i speciálních typů projektů). Na řešení grantových projektů GA ČR mohou spolupracovat s českými institucemi i slovenští hydrologové a vodohospodáři. Rovněž by měly mít instituce a organizace zastoupené na Hydrologických dnech 2005 větší zájem na tom, aby měly v odborných komisích GA ČR svoje zástupce.

Literatura

Výroční zpráva Grantové agentury ČR 2000 – 2002 (2003). Grantová agentura ČR Praha. 60 s.

Přehled ukončených projektů. Projekty řešené v letech 1999 – 2001(2003). Grantová agentura ČR Praha. 416 s.

Grantový systém GA ČR 2005. Standardní projekty. Bulletin Grantové agentury ČR, 13, 2005, mimořádné číslo.

Doc. RNDr. Hubert Kříž, DrSc., Branky 39, 664 49 Ostopovice, hubkriz@brno.cas.cz

KVALITA VODY PŘI ZVÝŠENÉM ODTOKU Z POVODÍ UHLÍŘSKÁ A JEZDECKÁ V JIZERSKÝCH HORÁCH

Alena Kulasová, Libuše Bubeníčková, Rudolf Hancvencl, Jiři Hlaváček

V rámci projektu PHARE, Projektu EC/WAT/28 „Water quality monitoring in the Jizera Mountains" byly dodány automatické přístroje na odběr vzorků povrchové vody. V letech 1997 a 1998 byl na povodí Uhlířská studován režim vybraných komponent jakosti vody v intervalech po 4 hodinách (pH, N-NO_3^-, SO_4^{--}, Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Mn, Pb, Cd, Cu, Ni) během zvýšených průtokových epizod v zimě a v létě. Od prosince 2003 se v rámci projektu Labe IV (VaV/650/5/03) v závěrovém profilu téhož povodí v intervalu 10 minut měří teplota vody, N-NO_3^-, pH, chloridy, vodivost a kyslíková redukční kapacita (ORP) automatickou měřicí sondou YS 6920 MDS (Yellow Springs, Ohio, USA). Od roku 2005 probíhá totéž měření na povodí Jezdecká, což umožňuje detailní studium jejich režimu v závislosti na změnách průtoku. V příspěvku budou předvedeny výsledky měření pro vybrané epizody zvýšených průtoků v letním a zimním období.

Klíčová slova: Experimentální povodí, monitoring jakosti vody, epizody zvýšeného odtoku, odezva v kvalitě vody

Water quality during increased runoff from the basin Uhlířská and Jezdecká in the Jizera Mts. *Thanks to PHARE Project EC/WAT/28 "Water quality monitoring in the Jizera Mountains" supply of automatic samplers we succeeded to study the water quality regime of some selected components (pH, N-NO_3^-, SO_4^{--}, Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Mn, Pb, Cd, Cu, Ni) in the basin Uhlířská in 4 hours time intervals during increased runoff episodes in winter and in summer. Within the framework of the Project Elbe IV (VaV/650/5/03) in December 2003 in the ending profile of the same basin began the water temperature, N-NO_3^-, pH, chlorides, conductivity and oxidative reduction capacity (ORP) monitoring in the 10 minutes time intervals by the automatic measuring probe YS 6920 MDS (Yellow Springs, Ohio, USA). Since the year 2005 the same monitoring has been done in the basin Jezdecká, that enables the detailed study of their regime in respect to runoff changes. The result of measurement in selected episodes will be presented in the contribution.*

Key words: experimental basin, water quality monitoring, increased runoff episodes, water quality response

---

ÚVOD

Jizerské hory patří do oblasti tzv. Černého trojúhelníku. Oblast byla v 80. letech vystavena zvýšenému vlivu imisí z okolních zemí. Vlivem zvýšeného spadu znečišťujících látek a současnému oslabení porostů lesa kůrovcem došlo k velkoplošnému odumření převáženě jehličnatých stromů. Na konci 80. let byly napadané porosty smýceny. Odtěžením se změnil vegetační pokryv. Současně nastaly změny v chemismu půdy i ve vodě odtékající z hor. Očekávalo se, že změny nastanou i v odtokovém režimu povrchových vod. Z tohoto důvodu ČHMÚ založil po roce 1982 ve vrcholových partiích soustavu 7 malých povodí za účelem monitorovat nejen odtokové změny, ale též změny v chemismu povrchových vod.

JAKOST POVRCHOVÝCH VOD

V roce 1982 se započalo s prováděním odběrů vzorků vody v závěrových profilech Uhlířská a Jezdecká a jejich chemickým rozborem. Později byl monitoring kvality vody rozšířen i na další povodí. Zpočátku se odběry prováděly nepravidelně. Od roku 1994 se vzorky povrchové vody odebírají pravidelně 1krát měsíčně. Z úsporných důvodů došlo v roce 1998 ke snížení počtu odběrů i sledovaných prvků. Odběry se prováděly pouze v povodích Uhlířská a Jezdecká, která jsou součástí mezinárodní databáze experimentálních povodí. Po roce byly pro doplnění informací o kvalitě vody ústící do nádrže Josefův Důl obnoveny odběry v povodí Kristiánova a Blatného potoka. Vzorky byly v průběhu let analyzovány různými laboratořemi. V současné době provádí rozbory akreditovaná laboratoř v Povodí Labe, a. s., Hradec Králové.

Data jsou od roku 1989 prezentována v ročenkách ČHMÚ (Kulasová, A.) a ukládána do databáze jakosti vody povrchových vod ČHMÚ.

Výsledky chemických analýz z odběrných vzorků povrchových vod

Měsíční odběry

Vody v Jizerských horách jsou přirozeně kyselé a málo mineralizované. Vlivem zvýšeného spadu znečišťujících látek a nízké neutralizační kapacitě půd se zvýšily v povrchových vodách koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ a síranů. Nadále se zvýšila jejich kyselost, s čímž souvisí i vzrůst obsahů těžkých kovů ve vodě.

Nejkritičtější situace se vyskytovaly v 80. letech minulého století, zejména v jejich první polovině, kdy se hodnoty pH v odebraných vzorcích často pohybovaly v intervalu 3,1-3,5 a hodnoty koncentrací hliníku vysoce přestupovaly mezní hodnoty povolené k využívání vody k vodárenským účelům. V posledním desetiletí jsou minimální hodnoty pH i nadále velmi nízké a hodnoty hliníku zvýšené, zejména v době tání sněhu anebo při intenzivních srážkách.

Tab. 1 Dosažené extrémní hodnoty sledovaných ukazatelů jakosti povrchové vody

Tab. 1 Achieved extreme values of studied surface water quality parameters

ukazatele	pH		$N\text{-}NO_3^-$		SO_4^{--}		Al	
			(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)	
mezní hodnoty pro pitnou vodu dle ČSN 757111	´6-9,5		11,3 doporučená 3,49		250		0,20	
1982-1993								
UHLÍŘSKÁ	11.5.1985	3,5	18.5.1982	4,29	11.9.1990	32,00	9.4.1984	3,82
	17.6.1985	3,5						
BLATNÝ RYBNÍK	11.5.1985	3,7	18.5.1982	4,06	11.9.1990	28,50	9.4.1984	2,89
KRISTIÁNOV	11.5.1985	3,5	18.5.1982	4,29	13.4.1994	**34,00**	9.4.1984	**4,45**
	17.6.1985	3,5						
JEZDECKÁ	11.5.1985	3,6	18.5.1982	3,80	19.10.1993	29,00	9.4.1984	2,44
JIZERKA	7.5.1984	**3,0**	18.5.1982	4,29	11.9.1990	21,00	7.4.1984	1,84
ČERNÁ SMĚDÁ	7.5.1984	3,3	29.6.1982	3,61	11.9.1990	27,00	9.4.1984	2,24
			21.10.1982	3,61				
BÍLÁ SMĚDÁ	7.5.1984	3,4	19.7.1982	4,29	13.11.1990	30,00	9.4.1984	3,10
	11.5.1985	3,4						
1994-2004								
UHLÍŘSKÁ	7.9.1998	3,7	23.1.1996	1,60	15.9.2003	29,10	7.9.1998	1,17
			27.2.1996	1,60				
BLATNÝ RYBNÍK	24.4.1994	4,4	9.2.1994	1,80	14.2.1995	24,50	21.4.1998	1,06
KRISTIÁNOV	13.7.1998	3,7	13.4.1994	2,60	13.4.1994	**34,00**	21.4.1998	1,05
JEZDECKÁ	13.7.1998	3,8	13.4.1994	**5,20**	9.3.1995	18,50	13.7.1998	0,77
JIZERKA	3.3.1997	3,6	10.8.1994	1,50	10.8.1994	23,50	24.4.1995	0,75
	13.7.1998	3,6	11.10.1994	1,50				
ČERNÁ SMĚDÁ	5.11.1996	4,0	24.1.1996	1,60	20.5.1997	25,80	24.4.1995	0,85
BÍLÁ SMĚDÁ	3.3.1997	3,4	24.1.1996	1,40	1.4.1996	18,00	13.12.1994	1,10

Bohužel většina měsíčních odběrů byla prováděna v době nižších průtoků. Odběry při zvýšeném stavu hladiny vody byly zcela ojedinělé. Z tohoto důvodu nebylo možno charakterizovat žádný vztah velikosti průtoků k hodnotám sledovaných kvalitativních ukazatelů.

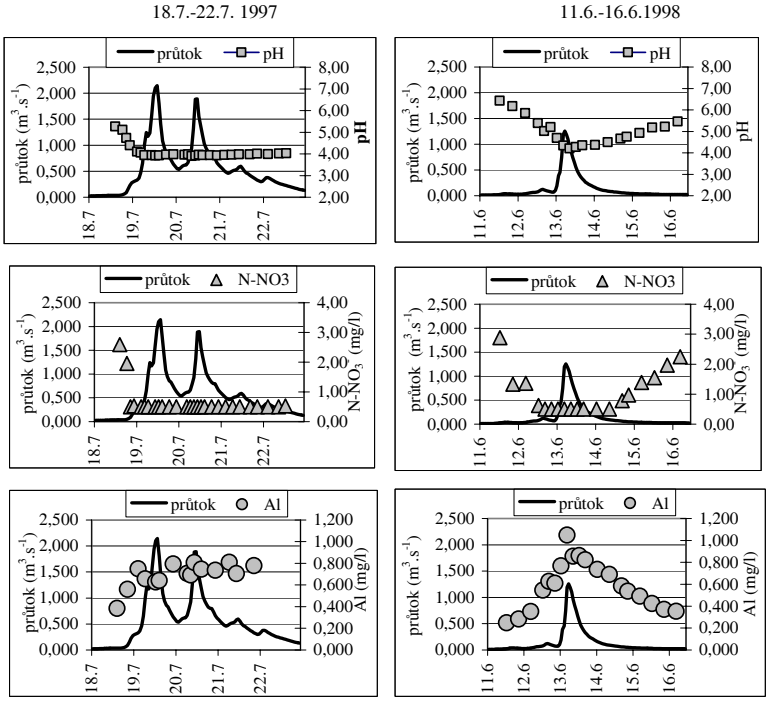
Odběry při zvýšených odtokových epizodách

V rámci PHARE Projektu EC/WAT/28 byla v roce 1996 experimentální povodí vybavena automatickými přístroji pro odběr vzorků povrchových vod. Odběry povrchové vody tak mohly být prováděny automaticky v době zvýšeného průtoku při tání sněhu anebo v letním období při intenzivních srážkách. Vzorky povrchové vody se odebírají ve 4 hodinovém kroku.

V období let 1996 – 1997 se v povodí Uhlířská provedlo několik odběrů v době zvýšených průtoků. V době tání sněhu často docházelo k zamrznutí odebírané vody v trubici vedoucí do odběrného zařízení. Po roztání vzorek neodpovídal aktuálnímu průtoku. Hodnotily se proto pouze odběry v letním období. Ve vzorcích byly analyzovány následující ukazatele: pH, $N\text{-}NO_3^-$, SO_4^{--}, Ca, Mg, Na, Al.

Průběhy pH, $N\text{-}NO_3^-$ a hliníku v době letních epizod v roce 1997 a 1998 jsou znázorněny na obr.1. V letní epizodě v roce 1998 (11.6.-16.6) proběhla pouze jedna kulminace průtoků, neboť srážky se vyskytly jenom v první polovině epizody. Minimum pH bylo dosaženo 3 hodiny po kulminaci průtoků, poté začaly hodnoty pH stoupat. Koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ klesala již 8 hodin před vrcholem (ihned po dešti), poté hodnota zůstala stejná po celou dobu vzestupu průtoků. Zvýšení koncentrace nastalo až 35 hodin po kulminaci. Nejvyšší koncentrace hliníku se vyskytla 1 hodinu před kulminací, kdy byl proveden odběr, a po kulminaci obsah hliníku začal opět klesat. Koncentrace dalších ukazatelů Ca, Mg, SO_4^- v době kulminace klesla.

V další epizodě z roku 1997 (18.7.-22.7.) proběhly 2 kulminace průtoků. První větší byla dosažena 20 hodin před druhou menší kulminací. Po celou dobu epizody pršelo. Pokles hodnoty pH předcházel o 1 hodinu první kulminaci a jeho hodnota nadále zůstávala stejná, pouze 1 hodinu před následující kulminací opět nepatrně poklesla. Po druhé kulminaci hodnoty pH zvolna stoupaly.
Koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ začala klesat již při dešti. Minimální koncentrace byla dosažena 16 hodin před první kulminací a zůstala na stejné hodnotě po celou dobu zvýšených průtoků. Koncentrace zvolna stoupla až 50 hodin po druhé kulminaci.
Koncentrace Al byla vyšší před první kulminací průtoků (cca 11 hodin), posléze zvolna klesla a opět stoupla v době následující druhé kulminace, načež zvolna klesla. Maximální hodnota Al byla naměřena před dalším mírným zvýšením průtoků, což bylo cca 21 hodin po druhé kulminaci. Následující pokles koncentrace byl pozvolný.



Obr. 1 Koncentrace pH, Al a $N\text{-}NO_3^-$ v době srážkoodtokové situace v letním období v roce 1997 a 1998
Fig. 1 Regime of pH, Al and $N\text{-}NO_3^-$ during summer precipitation run-off episodes in years 1997 and 1998

V průběhu roku 2004 a 2005 se prováděly opět odběry v době srážko-odtokových epizod. Nejvyšší koncentrace hliníku byla naměřena při v listopadu 2004 1,51 mg/l. Další extrémní hodnoty naměřené v průběhu epizod jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2 Extrémní hodnoty naměřené ve srážko-odtokových epizodách

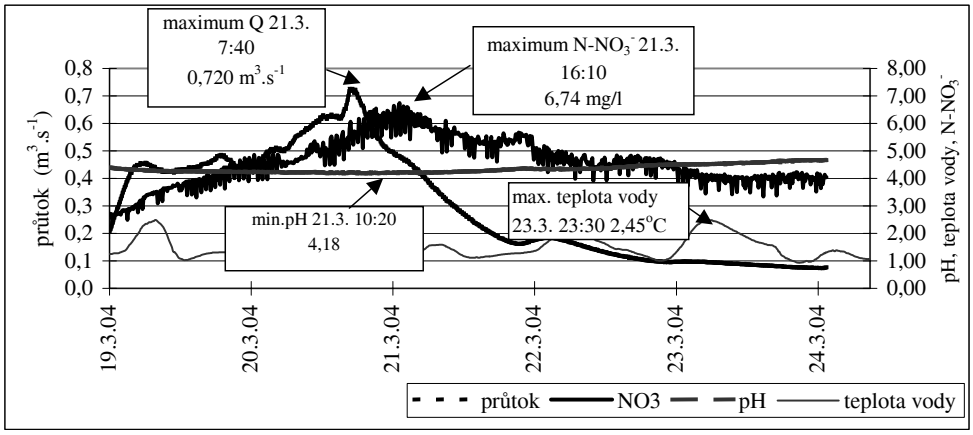
Tab. 2 Extreme values measured in precipitation-runoff episodes

pH		$N\text{-}NO_3^-$ mg/l		SO_4^{--} mg/l		Al mg/l	
16.3.1997	4,2	16.3.1997	4,60	13.3.1997	15,00	16.3.1997	1,05
1.5.1997	4,0	1.5.1997	4,01	28.4.1997	15,00	1.5.1997	0,84
20.7.1997	3,9	18.7.1997	2,59	18.7.1997	12,60	21.7.1997	0,81
13.6.1998	4,2	11.6.1998	2,89	15.6.1998	15,20	13.6.1998	1,05
4.4.2004	3,9	29.3.2004	0,80	29.3.2004	17,70	2.4.2004	0,84
18.11.2004	4,2	6.11.2005	0,50	15.11.2004	13,90	17.11.2004	1,51
19.3.2005	4,4	19.3.2005	0,90	24.3.2005	11,26	19.3.2005	0,85

Kontinuální měření kvality povrchové vody automatickou sondou YS 650 MDS

V rámci projektu Labe IV (VAV/650/5/03) zahájil VÚV T.G.Masaryka v prosinci 2003 kontinuální sledování kvality vody. Vodárenská společnost, a.s. Brno, instalovala sondu YS 650 MDS (Yelow Spring, Ohio, USA) na měření teploty vody, pH, $N\text{-}NO_3^-$, Cl, ORP a vodivosti v závěrovém profilu povodí Uhlířská na Černé Nise. Měření probíhá v intervalu 10 minut. Další dvě sondy byly instalovány koncem dubna 2004. Jedna v horní části povodí Uhlířská na toku přitékajícím z lesa zprava do Černé Nisy, druhá sonda byla umístěna v závěrovém profilu povodí Jezdecká na toku Černá Desná.

V průběhu měření proběhlo několik epizod zvýšeného odtoku. V březnu 2004 sonda v závěrovém profilu Uhlířská zachytila srážko-odtokovou epizodu při tání sněhu (obr.2). Při této epizodě byla naměřena nejvyšší koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ za rok 2004 (6,74 mg/l). Hodnota klesla cca 8 hodin po kulminaci průtoků.



Obr. 2 Průběh průtoků, pH, dusičnanového dusíku a teploty vody při odtokové epizodě z tání sněhu v březnu 2004

Fig. 2 Course of discharges, pH, nitrate nitrogen and water temperature during the runoff episode from snow melt in March 2004

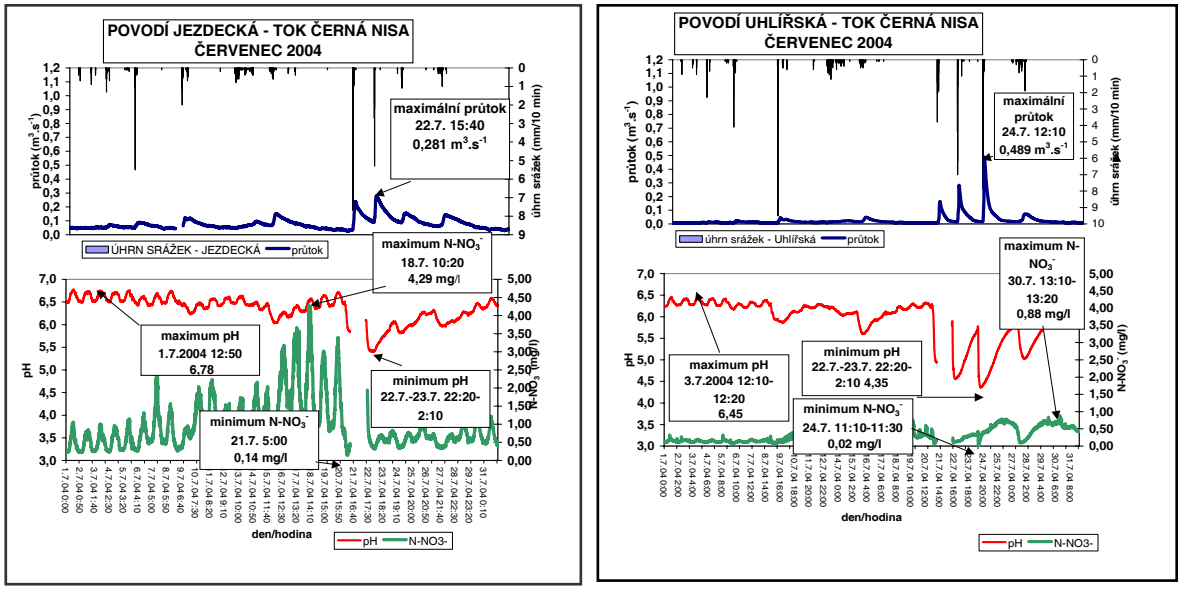
V Jizerských horách se v letních měsících často vyskytují intenzivní deště. Červenec roku 2004 nebyl výjimkou. Průběh pH a $N\text{-}NO_3^-$, zaznamenaný automatickou sondou YS 650 MDS na Uhlířské a Jezdecké, je uveden na obr.3.

Na povodí Uhlířská pršelo od začátku července. Nejvyšší intenzita srážek byla naměřena 8.7.ve 22:20 v úhrnu 18,6 mm za 1 hodinu bez větší odezvy na zvýšení průtoků. Poté každý den mírně pršelo. Dne 20.7. ve večerních hodinách začalo pršet vydatněji a tento déšť a následující srážky 22.7. v poledne a 24.7. v 9 hodin způsobily 3 po sobě následující zvýšené průtokové situace. Hodnota pH zpočátku zůstávala stejná, začala klesat teprve 3 hodiny po mírném zvýšení průtoků, obdobné to bylo i s koncentrací $N\text{-}NO_3^-$. Po první kulminaci průtoků pH nadále klesalo, ale $N\text{-}NO_3^-$dosáhlo minimální koncentrace ještě před první kulminací. Posléze začala koncentrace stoupat. Později se i kyselost vody zmírňovala.

Při druhé srážkové epizodě průtoky začaly stoupat rychleji. Hodinu před kulminací přestalo pršet. Hodnota pH před touto druhou kulminací klesala rychleji a klesala i koncentrace $N\text{-}NO_3^-$. Po druhé kulminaci pH stále klesalo, koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ klesala ještě půl hodiny po kulminaci, ale pak začala pozvolna narůstat.Větší vzestup pH a zvyšování se koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ začaly až 24 hodin po kulminaci.

Další srážky se vyskytly dne 24.7.v 9:00. Průtoky se ihned začaly zvedat, ale jak snížení hodnoty pH tak i koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ zůstávalo jako vždy opožděno. Minimální hodnota pH 4,35 byla opět dosažena až 3 hodiny po kulminaci průtoků, ale minimální koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ se vyskytla 1 až půl hodiny před kulminací (0,02 mg/l). Po kulminaci začala koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ stoupat rychleji, vzestup pH byl pozvolnější.

Dne 26.7 slabě pršelo a větší úhrny srážek se vyskytly až 27.7. v ranních hodinách.V době opětného mírného vzestupu průtoků koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ klesla z 0,62 na 0,11 mg/l. Hodnota pH neklesala tak rychle, zůstávala mezi hodnotami od 5,7-5,2.



Obr. 3. Průběh průtoků, srážek pH, dusičnanového dusíku a teploty vody při sřážko-odtokové situaci v červenci 2004 v povodí Uhlířská a Jezdecká

Fig. 3. Course of discharges, pH, nitrate nitrogen and water temperature during the precipitation-runoff episods in July 2004 in the basins Uhlířská and Jezdecká

Průběh srážko-odtokové epizody v povodí Jezdecká byl mírnější. Srážky se vyskytovaly v menší intenzitě nežli na Uhlířské. Průtoky byly nižší a pH se pohybovalo kolem 5,4-6,8. Nejnižší hodnota pH se vyskytla 7 hodin po kulminaci 2. průtokové vlny. Koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ poklesla na 0,14 mg/l v době první kulminace, posléze začala narůstat. Bohužel v době mezi dvěma kulminacemi byla sonda kalibrována a byla opět instalována těsně před druhou kulminací. Čidlo na pH reaguje ihned po nasazení sondy, ale čidlo na měření $N\text{-}NO_3^-$ se stabilizuje delší dobu a tak nelze popsat průběh $N\text{-}NO_3^-$ v době kulminace. Oproti dosaženým hodnotám na povodí Uhlířská nebyla epizoda na Jezdecké významná.

V povodí Jezdecká se vyskytly větší průtoky v srpnu a v září 2004. Největší průtoky byly dosaženy v listopadu. Začátkem měsíce začal padat sníh s deštěm, od 16.11.-23.11. intenzivně pršelo. Na klimatologické stanici na Souši činil úhrn srážek za tyto dny 208,2 mm a na klimatologické stanici Bedřichov byl úhrn srážek 148,6 mm. Nejintenzivnější srážky se vyskytly 17.11.2005 v celých Jizerských horách. Hladiny toků se zvedly a na Jezdecké i na Uhlířské byly dosaženy nejvyšší kulminace toků v roce 2004 (viz tab.3). Hodnoty pH na obou povodích byly také extrémně nízké – nejnižší za celé měření kvality povrchové vody automatickou sondou YS 650 MDS. Extrémní hodnoty $N\text{-}NO_3^-$ jsou rovněž uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 Extrémní hodnoty pH a $N\text{-}NO_3^-$ naměřené sondou YS 650 MDS v povodí Uhlířská a Jezdecká

Tab. 3 Extreme values of pH and $N\text{-}NO_3^-$ measured by probe YS 650 MDS in the basins Uhlířská and Jezdecká

povodí Uhlířská - tok Černá Nisa				povodí Jezdecká - tok Černá Desná			
den, hodina	průtok $m^3.s^{-1}$	pH	$N\text{-}NO_3^-$ [mg/l]	den, hodina	průtok $m^3.s^{-1}$	pH	$N\text{-}NO_3^-$ [mg/l]
17.11.2004 20:00	0,898	4,14	0,41	17.11.2004 20:40	**3,028**	4,25	0,01
17.11.04 18:40-23:30	0,68-0,844	**4,13**	0,35-0,51	17.11.2004 21:20	2,670	**4,23**	0,22
21.3.2004 15:50	0,481	4,23	**6,74**	18.5.2004 11:30	0,140	5,7	**12,62**

Tab. 4 Porovnání průměrných ukazatelů za celé období 1.5.-31.12. 2005

Tab. 4 Comparison of average indicatores for the whole season 1.5.-31.12. 2005

období	povodí	průměrný průtok $m^3.s^{-1}$	průměrná data za období měření automatickou sondou YS 650 MDS					
			Teplota [ş C]	Sp. vodivost [µS/cm]	pH	ORP [mV]	$N\text{-}NO_3^-$ (mg/l)	Cl- [mg/l]
1.5.-31.12.2005	Jezdecká	0,129	7,9	29,4	6,1	293,6	0,823	0,648
	Uhlířská	0,052	7,4	50,7	5,8	293,7	0,993	0,814

Z porovnání dostupných dat z obou povodí vyplývá, že za sledované měsíce (1.5-31.12.2004) při vyšších průměrných průtocích na Jezdecké se vyskytují v průměru nižší hodnoty pH než na Uhlířské, koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ jsou spíše stejné, ale extrém se vyskytl na Jezdecké (viz tab.3), teplota vody bývá studenější na Uhlířské, největší rozdíly jsou ve vodivosti a v ORP. Průměrné hodnoty za jednotné období měření mezi Uhlířskou a Jezdeckou jsou uvedeny v tabulce 4, měsíční hodnoty v tabulce 5.

Tab . 5 Porovnání průměrných měsíčních hodnot měřených ukazatelů (květen-prosinec 2004)

Tab. 5 Comparison of average monthly values of measured indicators (May-December 2004)

měsíc	povodí	průměrný průtok $m^3.s^{-1}$	průměrná data za období měření automatickou sondou YS 650 MDS					
			Teplota [ş C]	Sp. vodivost [µS/cm]	pH	ORP [mV]	$N\text{-}NO_3^-$ (mg/l)	Cl- [mg/l]
KVĚTEN	JEZDECKÁ	0,142	7,3	25,9	6,0	289,2	2,773	0,73
	UHLÍŘSKÁ	0,042	6,9	53,0	5,6	295,8	1,624	0,83
ČERVEN	JEZDECKÁ	0,079	9,5	29,2	6,4	282,5	0,689	0,955
	UHLÍŘSKÁ	0,088	7,9	36,0	6,0	289,2	1,695	0,839
ČERVENEC	JEZDECKÁ	0,074	11,6	30,1	6,3	284,7	0,593	0,94
	UHLÍŘSKÁ	0,032	10,8	53,5	5,8	302,8	0,348	1,13
SRPEN	JEZDECKÁ	0,130	12,2	30,0	6,0	292,3	0,524	0,86
	UHLÍŘSKÁ	0,081	11,5	41,8	5,9	297,5	0,436	0,998
ZÁŘÍ	JEZDECKÁ	0,102	9,3	31,7	6,2	289,1	0,261	0,552
	UHLÍŘSKÁ	0,020	8,4	61,6	6,1	280,1	0,458	0,76
ŘÍJEN	JEZDECKÁ	0,105	6,9	27,0	5,8	304,7	0,262	0,43
	UHLÍŘSKÁ	0,023	6,9	54,8	5,8	287,1	1,699	0,62
LISTOPAD	JEZDECKÁ	0,273	4,2	30,1	5,8	304,4	0,425	0,322
	UHLÍŘSKÁ	0,090	4,5	52,6	5,4	300,9	0,726	0,587
PROSINEC	JEZDECKÁ	0,124	1,9	31,0	6,1	302,2	1,053	0,390
	UHLÍŘSKÁ	0,042	2,3	52,6	5,6	296,0	0,956	0,752

Tab. 6 průměrné měsíční hodnoty naměřené v povodí Uhlířská od 15.12.2003 do 30.4.2004

Tab. 6. Average monthly values measured in the basin Uhlířská from 15.12. 2003 to 30.4.2004

měsíc	průměrný průtok $m^3.s^{-1}$	průměrná data za období měření automatickou sondou YS 650 MDS					
		Teplota [°C]	Sp. vodivost [µS/cm]	pH	ORP [mV]	$N\text{-}NO_3^-$ (mg/l)	Cl- [mg/l]
od 15.12-31.12.2003	0,026	1,606	69,9	6,1	283,0	1,824	1,001
1.1.-31.1.2004	0,013	0,593	71,7	6,5	275,9	1,204	1,218
1.2.-15.2.2004	0,113	0,864	62,0	5,0	310,9	1,815	1,483
25.2.-29.2.2004	0,020	1,059	67,3	6,1	279,2	1,020	1,632
1.3.-31.3.2004	0,094	1,412	60,8	5,5	303,0	2,225	1,431
1.4.-30.4.2004	0,150	3,338	46,6	4,6	332,1	2,211	1,144

Z průměrných hodnot naměřených v závěrovém profilu Uhlířská v období 15.12 až 30.4. je patrné, že nejmenší hodnoty pH a nejvyšší koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ se vyskytly zejména při tání sněhu v únoru, v březnu a v dubnu. Extrémní koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ se vyskytla na při oblevě–21.3.2004 6,74 mg/l.

ZÁVĚR

Z porovnáním výsledků hodnot ukazatelů získaných z chemických rozborů vzorků vody, odebraných při zvýšených průtokových epizodách a z hodnot změřených automatickou sondou vyplývá, že pH se zvyšujícím se průtokem klesá. Tato tendence trvá ještě i po dosažení kulminace průtoků jak v letním, tak i v zimní období. Hodnota pH začíná zvolna narůstat při poklesu průtoků a dosažení jejich setrvalého stavu. Nejnižší hodnoty pH se vyskytují zejména při tání sněhu.

V letních epizodách koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ klesají se zvyšujícím se průtokem. Minimálních hodnot dosahují převážně před kulminací průtoků. Dále zůstávají nízké po celou dobu zvýšených průtoků až do jejich poklesu, kdy koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ začíná opět stoupat.V době tání sněhu jsou koncentrace $N\text{-}NO_3^-$ vyšší a se zvyšujícím se průtokem stoupají, neboť se vyplavují látky akumulované ve sněhové pokrývce. Maximální hodnota byla dosažena v březnu po kulminaci průtoků. Výsledky naměřené automatickou sondou v červenci ukazují, že pokud se srážky vyskytují delší dobu a půda je více nasycena, dochází k jejímu promytí a obsah $N\text{-}NO_3$- s déle trvajícími srážkami klesá.

Koncentrace hliníku bývá největší v těsné blízkosti kulminace (před vrcholem nebo za vrcholem). V případě delší povodňové vlny je koncentrace hliníku vysoká. Z naměřených výsledků lze usuzovat o závislosti koncentrací sledovaných látek a kyselosti vody na velikosti průtoků.

Výsledky měření automatickou sondou lépe postihují režim sledovaných ukazatelů. Mohou však měřit pouze jejich omezený počet. Lze konstatovat, že měření automatickou sondou, poskytující ucelené byť rozsahově omezené informace o režimu vybraných ukazatelů, je pro výzkum jakosti povrchových vod velmi cenné. Má ovšem i své negativní stránky, neboť toto měřící zařízení je velmi náročné na údržbu a častou kalibraci měřícího zařízení.

Při metodě odebírání vzorků vody by pro zjištění přesného průběhu pH, $N\text{-}NO_3^-$ a dalších prvků, jejichž stanovení umožňují laboratorní rozbory odebraných vzorků vody, bylo třeba provést více odběrů povrchové vody pomocí automatického odběrného zařízení. Odběr vzorků je možno na experimentálním pracovišti ČHMÚ v Jizerských horách zajistit, problémem však zůstává finanční pokrytí nákladných laboratorních rozborů.

Literatura

Kulasová, A., Pobříslová, J. (1994-2005): Hydrologické ročenky (1989-2004). Experimentální povodí Jizerské hory, Český hydrometeorologický ústav, Jablonec nad Nisou

Mach, M., Grünwald, A. (1982-1993): Výzkum a sledování kvalitativních ukazatelů jakosti vody v oblasti Jizerských hor, ČVUT, Fakulta stavební, Katedra zdravotního inženýrství, Praha

Vilímec, J., Hancvencl, R. (1997, 1998): Analýza jakosti vody v tocích při srážko-odtokových epizodách, Výzkumná zpráva VaV/510/3, Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M., Praha

Kulasová, A., Bubeníčková, L., Hancvencl, R., Hlaváček, J. (2004): Comparison of monitoring results of selected water quality indicators in Uhlířská basin in 1982-2004. International Conference ERB 2004: Progress in surface and subsurface water studies at the plot and small basin scale, Turin, Italy

Autoři:

Alena Kulasová, Český hydrometeorologický ústav, Želivského 5, 466 05 Jablonec nad Nisou, Česká republika, e-mail: akulasova@chmi.cz

Libuše Bubeníčková, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4, Česká republika e-mail: bubenickova@chmi.cz

Rudolf Hancvencl, Český hydrometeorologický ústav, Želivského 5, 466 05 Jablonec nad Nisou, Česká republika, e-mail: hancvencl@chmi.cz

J. Hlaváček, Vodárenská, a. s., Soběšická 151, 638 01 Brno, Česká republika

HYDROPROGNÓZNA SLUŽBA SLOVENSKEJ REPUBLIKY A JEJ ROZVOJ

Danica Lešková, Gabriela Babiaková

Príspevok predstavuje súčastný stav hydrologickej predpovednej a varovnej služby v súvislosti s nevyhnutnou inováciou zrýchlenia informačných tokov hydrologických údajov. Okrem rutinnej práce, poskytovania operatívnych informácii a hydrologických predpovedí podľa zákona.666/2004 Zb. z., pracujeme na prebudovaní staničnej siete na automatický prenos údajov a na implementácii nových metodických postupov. V závere sú naznačené smery ďalšieho rozvoja predpovednej služby.

Kľúčové slová: hydrologická predpoveď, predpovedná služba, predpovedné metódy, automatická hydrologická stanica, Slovenský hydrometeorologický ústav

Hydrological Forecasting Service in Slovak Republic and its development. *The contribution introduces present state of Department hydrological forecasting and warning service in connection with necessary innovation in accelerating dataway hydrological information. Apart from routine task – delivering services operative hydrological information and hydrological forecasting according to Act No 666/2004 Coll. of Laws on Flood protection, the department is in the state of rebuilding network of water gauge stations on automatic data transmission and implementation new calculation procedures. At the conclusion, there are identified trends of further development.*

Key words: hydrological forecast, forecast service, forecasting methods, automatic hydrological station, Slovak Hydrometeorological Institute

---

1. ÚVOD

Rozvoj hydrologickej predpovednej služby je úzko spojený s výskytom významných povodňových situácii a napredovaním legislatívnych opatrení. Po udalostiach posledných rokov, najmä po ničivých a časove rozsiahlych povodniach ako aj prívalových povodniach spojených so stratami životov sa opätovne ukázala nutnosť radikálneho riešenia v dôležitej oblasti protipovodňovej ochrany predovšetkým prostredníctvom neštrukturálnych opatrení, čo predstavuje

- zabezpečenie dostatočného množstva informácii v krátkom časovom intervale
- ich dostupnosť
- oporu v legislatívnych opatreniach

2. SÚČASNÝ STAV

Hydrologické predpovede sú zabezpečované na ústrednom pracovisku - Odbore predpovedí a výstrah Divízie hydrologická služba SHMÚ v Bratislave a na troch regionálnych strediskách v Banskej Bystrici, Košiciach a Žiline. Hlavné aktivity odboru sa sústreďujú na poskytovanie operatívnych informácií o hydrologickej situácii na celom území Slovenska. Základné činnosti: zber operatívnych hydrologických údajov, vypracovanie hydrologických predpovedí, poskytovanie týchto informácií širokej verejnosti, vodohospodárskym podnikom, organizáciám a inštitúciám podľa požiadaviek. Staničná sieť pre jednotlivé riečne systémy pozostáva zo 79 hydroprognóznych staníc. Súčasná monitorovacia sieť staníc sa vytvorila tak, aby umožnila s dostatočnou reprezentatívnosťou posúdiť hydrologickú situáciu a jej vývoj na celom území Slovenska. Obr. 2.

Hydrologické operatívne informácie obsahujú: vodné stavy, prietoky, údaje o zrážkach, teplote vzduchu a vody, stav počasia, ľadové javy, N - ročnosť, resp. m – dennosť výskytu daného vodného stavu/ prietoku.

Vydávanie hydrologických predpovedí a výstrah

Odbor hydrologických predpovedí a výstrah DHS vypracováva niekoľko druhov predpovedí.

- Numerické predpovede s 24 hodinovým predstihom pre:
  - Dunaj (5 staníc) (s aktualizáciou každých 6 hodín pre stanicu Devín)
  - Moravu (1 stanica)
  - Bodrog (1 stanica)
  - predpovede prítokov do 13 nádrží
  - predpovede prietokov pre 5 profilov na tokoch východného Slovenska
- Predpovede vývoja vodných stavov s 24 hodinovým predstihom – vzostup, pokles, ustálenosť vodných hladín – sa vydávajú denne pre ostatné toky. Počas významnejších povodňových situácií na týchto tokoch sa poskytujú ďalej predpovede času a veľkosti kulminácie
- V zimnom období sa pravidelne spracovávajú a poskytujú informácie s týždenným časovým krokom
  - o snehových pomeroch na celom území Slovenska z 219 klimatických staníc
  - o akumulácii vody v snehovej pokrývke pre 13 vodných nádrží a 14 vodomerných profilov

Používané metodické postupy a výpočty pri predpovediach

V každodennej prevádzke sa ako najspoľahlivejšie predpovedné postupy pre Dunaj osvedčili metodiky: "odpovedajúcich prírastkov vodných stavov" a „odpovedajúcich prírastkov prietokov". Podľa štatistického a grafického zhodnotenia, tieto postupy ako aj oficiálne vydané predpovede hydrológom v službe vykazujú pomerne vysoký koeficient korelácie medzi predpoveďami a skutočnými vodnými stavmi v stanici Devín. Ďalší požívaný postup je na základe hodnotenia nasýtenosti povodia pomocou indexu predchádzajúcich zrážok (IPZ).

Vzhľadom na pomerne komplikované fyzicko-geografické podmienky Slovenska – relatívne malé povodia s pomerne krátkou dobou koncentrácie – pre ostatné toky sa vydávajú predpovede určujúce trendy vodných stavov. V období významných povodňových situácií predpovedná služba na stanovenie maxím pre stanice na dolnej časti toku využíva metódu korelačných vzťahov maximálnych prietokov medzi jednotlivými stanicami a metódu IPZ.

3. STANIČNÁ SIEŤ A JEJ AUTOMATIZÁCIA

Systém zberu údajov

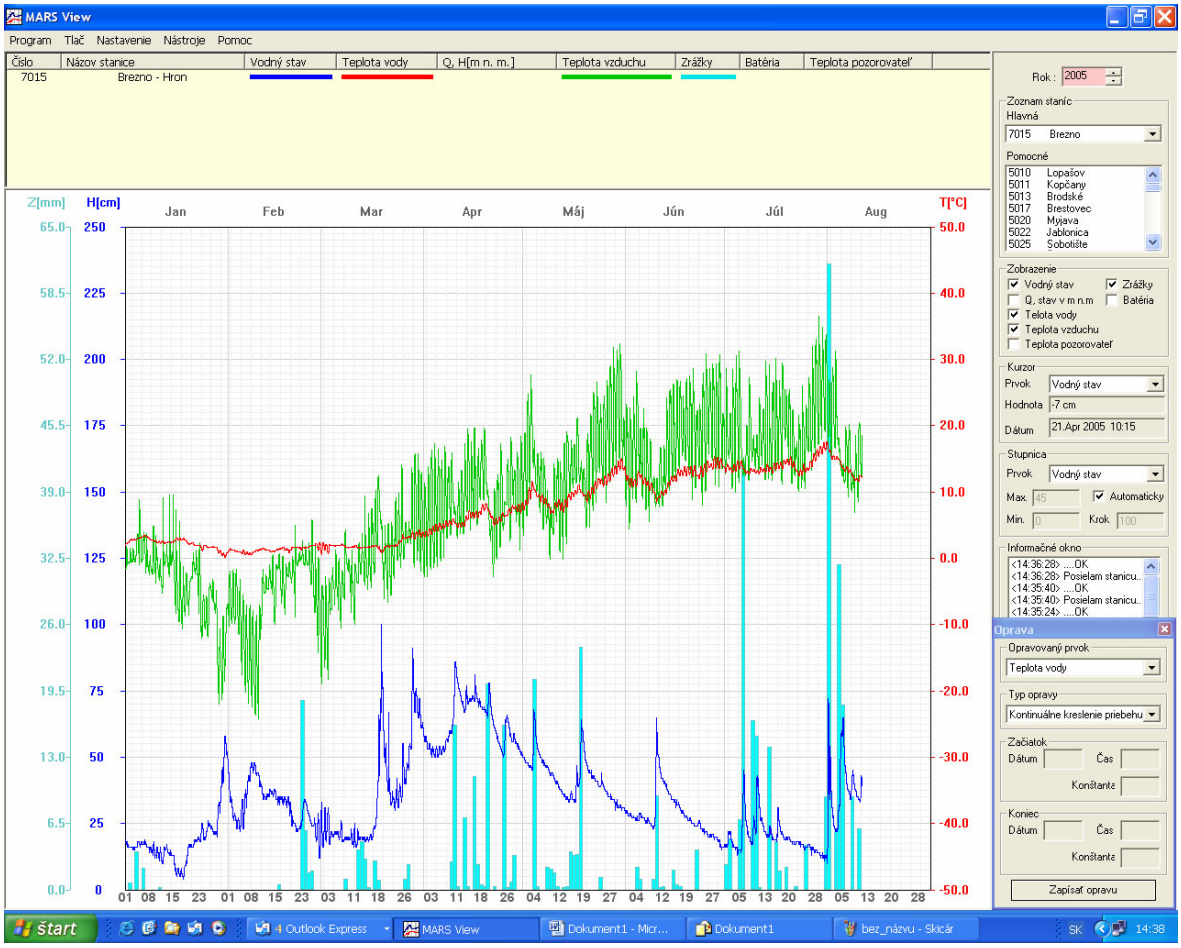
Udalosti z posledných rokov jasne poukázali na nevyhnutnosť urýchleného získavania informácií z jednotlivých povodí, respektíve z väčších územných celkov, aby bolo možné s dostatočným predstihom identifikovať zmeny, ktoré sa dajú očakávať v daných regiónoch. Táto situácia bola impulzom k tomu, že hydroprognózna služba v posledných dvoch rokoch zaznamenala radikálnu prestavbu v sieti hydrologických staníc zavedením automatických staníc novej generácie. Prenos údajov z inštalovaného systému staníc sa uskutočňuje:

- dátovým prenosom (cez komutované linky, GSM, GPRS)
- hlasovým prenosom

Novo nainštalovaná sieť staníc je naviac opatrená výstražným systémom, ktorý sa spúšťa pri prekročení zadaných limitov – vodných stavov, intenzity zrážok, gradientu vzostupu. Po prekročení limitu stanica vyšle SMS správu do centier hydroprognóznych služieb. Do dnešného dňa sa podarilo vybaviť a sfunkčniť stanice novej generácie v počte 144, pričom na 55 staniciach boli vymenené prístroje starého typu a nahradené novými s telemetrickým prenosom. Tieto stanice boli zrealizované cez projekt POVAPSYS (Predpovedný varovný a predpovedný systém Slovenskej republiky). V roku 2005 sa plánuje inštalovať a sprevádzkovať ďalších 48 staníc. (Obr. 2) Už v súčasnosti informácie z týchto staníc poskytujú hydrológovi v službe podstatne kvalitnejšie informácie o hydrologickej situácii a jej vývoji v jednotlivých regiónoch. Spracovateľský softvér umožňuje tiež získať dostatočne výpovednú informáciu o hydrologickej situácii zo záujmových lokalít. (obr. č. 1) Podľa závažnosti, tieto informácie sú následne poskytované správcom tokov a orgánom zodpovedným za ochranu pred povodňami.

Varovania a výstrahy

Varovania a výstrahy úzko súvisia s možnosťou rýchlosti získania korektných informácii na konkrétnom mieste. Prívalové povodne sú spôsobované krátkodobými intenzívnymi zrážkami konvektívneho charakteru trvajúcimi niekoľko desiatok minút až niekoľko hodín. Predpovedať zrážky s predstihom na niekoľko hodín ako určiť aj ich začiatok, intenzitu, odhadnúť trvanie a priestorové rozloženie ich množstva je prakticky nemožné. Naviac okamžitá reakcia povodia na prívalový dážď limituje možnosť včasnej predpovede povodní z prívalových dažďov a výstrah pred nimi. Z tohto dôvodu v rámci POVAPSYS boli vybudované 2 lokálne varovné systémy v oblastiach, ktoré sú výrazne zraniteľné na prívalové povodne. Ide o LVS v obci Vrbovce (povodie Teplice, oblasť hornej Myjavy) a LVS Čierny Balog (Povodie Vydrovo a Čierny Hron, oblasť horného Hrona). Výstrahy z monitorovacích staníc dostanú priamo starostovia dotknutých obcí, aby mohli operatívne ďalej riešiť a riadiť záchranné a zabezpečovacie práce.



Obr. 1 Ukážka prezentácie monitorovaných prvkov novým typom automatických prístrojov MARS5i v stanici Brezno – Hron.
Fig. 1 Sample of presentation monitoring elements by new type of automatic devices MARS5i at water gauge station Brezno - Hron

4. VÝVOJ NOVÝCH METODICKÝCH POSTUPOV

Okrem štandardnej prevádzky služba musí operatívne reagovať na vzniknuté nové situácie. Napríklad, kalamita vo Vysokých Tatrách (november 2004) postavila operatívnu hydrológiu pred úlohu riešiť otázku odtokových pomerov v zmenených vegetačných podmienkach Vysokých Tatier. Najväčšia obava bola z tvorby a realizácie odtoku z topiaceho sa snehu. Toto bola výzva pre SHMÚ, aby v krátkom čase získal nástroje na simulovanie procesu akumulácie a topenia snehovej pokrývky pre rôzne

varianty priebehu odtokových pomerov. V spolupráci s ÚH SAV a SvF STU sme počas zimného obdobia a jarného topenia monitorovali a analyzovali priebeh zásob vody v snehovej pokrývke a predpovedali s 5-dňovým predstihom možný vývoj hydrologickej situácie. Priebežné výsledky sa poskytovali širokej verejnosti prostredníctvom www.shmu.sk. Okrem toho sa vypracovali scenáre okrajových podmienok topenia snehu. Použité varianty pre simulovanie priebehu odtoku v kombináciách:

- meraná teplota, nulové zrážky
- zvýšená teplota, nulové zrážky
- skutočná teplota, zvýšené úhrny zrážok
- skutočná teplota, skutočné zrážky

Taktiež sa urobili výpočty pre tri alternatívy vegetačného krytu na priebeh topenia a odtoku zo snehu pri nameraných zrážkach a teplotách vybraného povodia Popradu po vodomerný profil Matejovce pre trávu, les a kosodrevinu.

Pracovníci operatívnej hydrológie sú nútení veľmi rýchlo sa zorientovať v nových a nečakaných situáciách, ktoré prináša život a príroda. Preto aj uvádzanie nových metodických postupov a zväčšenie objemu poskytovaných produktov do rutinnej hydroprognóznej praxe sa stáva nevyhnutnosťou.

Významnou úlohou projektu POVAPSYS je práve realizácia inovovaných a nových výpočtových postupov tak v meteorológii ako aj v hydrológii, teda aplikácia know-how do hydroprognóznej služby. V súčasnosti prebieha veľmi intenzívna spolupráca so Stavebnou fakultou STU na sprevádzkovaní zrážkovo-odtokového a riečneho modelu s pracovným názvom HRON. Model je v testovacej prevádzke v povodí Hrona.

Funkčnosť výpočtových postupov a ich použitie v samotnej prevádzke je možné zrealizovať vybudovaním funkčnej operatívnej databázy, ktorá združuje všetky dostupné informácie (monitorovacie prvky, postupy a produkty). Jej optimálne nastavenie je predmetom riešenia v súčasnosti. Ďalej je potrebné pripraviť podmienky tak, aby bolo možné prehodnotiť alternatívne scenáre kritických situácii v citlivých regiónoch (prívalové povodne, suchá, frontálne zrážkové povodne, topenie snehu). Uvedenú problematiku vzhľadom na kapacitné možnosti služby je nevyhnutné riešiť v spolupráci s vedeckými a výskumnými inštitúciami a vysokými školami.

5. MEDZINÁRODNÁ SPOLUPRÁCA

Poloha Slovenskej republiky aj v oblasti hydrologickej prognóznej služby vyžaduje dobrú spoluprácu so susednými štátmi. Dvojstranné zmluvy o spolupráci na hraničných vodách v ktorých Slovenská republika má dlhodobú tradíciu, pomáhajú úspešne realizovať zámery jednotlivých inštitúcii v oblasti ochrany pred povodňami. Významná je spolupráca odboru v oblasti výskumných projektov ako napr. projekt EFAS (JRC EÚ Ispra), kde na základe podpísaného memoranda hydroprognózna služba dostáva varovania o výskyte významných povodňových situácii s predstihom 3 až 10 dní. Projekt beží v súčasnosti v skúšobnej prevádzke.

6. ZÁKON O OCHRANE PRED POVODŇAMI – NOVÝ PRÍSTUP K PROTIPOVODŇOVEJ OCHRANE

Zákon o ochrane pred povodňami č.666/2004 s výrazne environmentálnym smerovaním dôslednejšie zapája do organizácie protipovodňovej ochrany okresné a krajské zložky štátnej vodnej správy životného prostredia.

Vyhláška Predpovedná povodňová služba a hlásna a varovná povodňová služba, ktorá je v záverečnom pripomienkovom konaní, definuje jednoznačne povinnosti aj hydroprognóznej služby na SHMÚ.

6. VÝZVA

Podstatné v oblasti rozvoja hydroprognóznej služby sú problémové okruhy, ktoré pre ďalší vývoj majú zásadný význam:

- rozšírená spoločenská objednávka, ktorá presahuje rámec citovaného zákona
- orientácia ďalšieho rozvoja služby
- povinnosti v najbližšej budúcnosti s ohľadom na záväzky v rámci podpísaných medzinárodných dohovorov.

V súčasnosti sa podstatná časť úsilia pracovníkov odboru sústreďuje na ukončenie automatizácie, udržanie kvality nameraných údajov, prenosových ciest, prípadné doplnenie staníc z hľadiska nevyhnutnej potreby pre protipovodňovú ochranu. V prípade spoločenskej objednávky je potrebné počítať s rozšírením počtu staníc ako aj s rozšíreným počtu vydávaných numerických predpovedí. Zlepšenie presnosti a predĺženie predstihu predpovedí zrážkových aj hydrologických je v súčasnosti odbornou prioritnou pracovníkov meteorologickej aj hydrologickej služby. Vytvoriť podmienky pre implementovanie nových postupov, resp. predpovedných systémov je síce zložitý proces, ale nevyhnutný pre ďalšie ambície obidvoch služieb. Rýchla informovanosť, kvalitné produkty a ich prezentácia, je cesta k zabezpečeniu dobrej protipovodňovej ochrany zo strany SHMÚ.

Literatúra

Action Programme for Sustainable Flood Protection in the Danube River Basin. ICPDR. 13 to 14 December 2004, Viena, Austria.

Babiaková G., Lešková D., Majerčáková O.: Sensitivity Analysis of the Slovak Territory to Creation the Floods, Local Warning System. European Geosciences Union General Assembly, Viedeň 24-29.apríl 2005, str.362

Kostka Z., Holko L., Babiaková G., Lešková D.: Simulácia vodnej hodnoty snehu v povodí Popradu v hydrologických rokoch 1999-2005 – vplyv zmeny vegetačných pomerov a predpoveď odtoku počas jarného obdobia. Acta Hydrologica Slovaca, Roč.6, 2005, č. 1, v tlači.

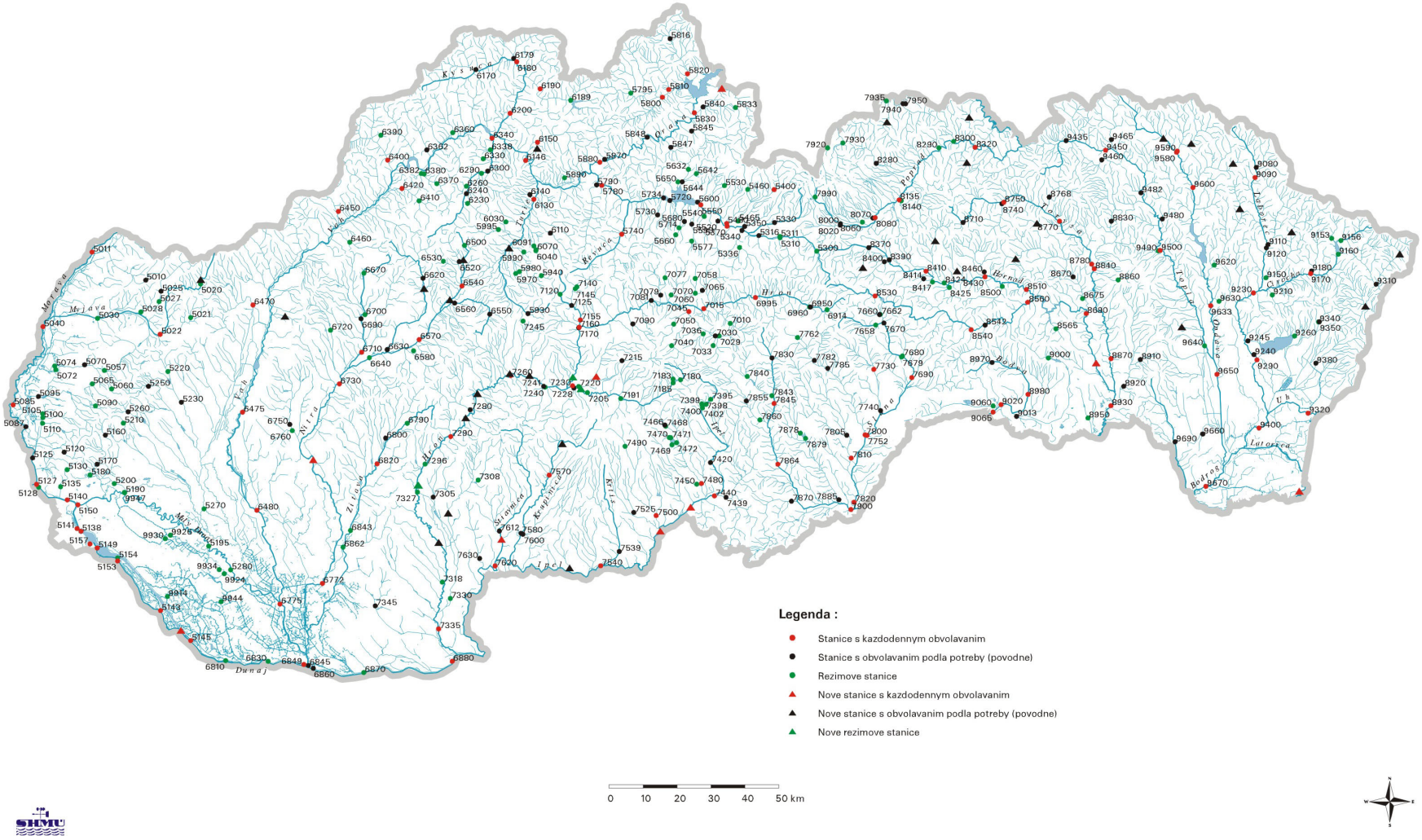
POVAPSYS (The Forecasting and Warning System i the Slovak Republic), v slovenskom jazyku s krátenou anglickou verziou. Úvodná štúdia, Bratislava, cedember 2001. Technická asistencia:2002, 2003, 2004 (v angl.).

Zákon o ochrane pred povodňami č.666/2004 Zb.z.

Autori

Danica Lešková, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava 37, danica.leskova@shmu.sk

Gabriela Babiaková, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava 37, gabriela.babiakova@shmu.sk



Obr. 2 Sieť automatických hydrologických staníc jestvujúcich a plánovaných
Fig. 2 Network of present automatic hydrological stations and planned in near future.

VODA A JEJ INTERAKCIE: OHROZENÉ SYSTÉMY A SPOLOČENSKÉ VÝZVY

Pavol Miklánek, Josef Hladný

V príspevku je podaná informácia o 6. fáze Medzinárodného hydrologického programu UNESCO, zapojení slovenských a českých pracovísk do tohto programu, hlavných riešených projektoch a dosiahnutých výsledkoch. V druhej časti je informácia o stave prípravy VII. fázy MHP UNESCO a možnostiach prispieť ku formulácii jej cieľov a úloh.

Kľúčové slová: UNESCO, Medzinárodný hydrologický program, VI. fáza, Slovensko, Česko

***Water Interactions: Systems at Risk and Social Challenges**. The paper gives overview of and information about the 6th phase of the International Hydrological Programme of UNESCO, the participation of the Slovak and Czech institutions in the Program, main themes and projects, and main results. Information on drafting of and progress in formulation of the 7th phase of IHP UNESCO is given in the second part of the paper including call for contribution to formulation of its aims and topics.*

Key words: UNESCO, International Hydrological Program,. 6th phase, Slovakia, Czechia

---

ÚVOD

V rokoch 2002-2007 prebieha VI. fáza Medzinárodného hydrologického programu UNESCO (MHP UNESCO) pod názvom Voda a jej interakcie: Ohrozené systémy a spoločenské výzvy. Účasť slovenských a českých hydrologických pracovísk a riešiteľov v programe je koordinovaná Slovenským výborom pre hydrológiu – Národným komitétom pre Medzinárodný hydrologický program UNESCO a Českým národným výborom pre MHP. Cieľom príspevku je informovať hydrologickú komunitu o aktivitách oboch národných výborov pre hydrológiu, zapojení slovenských a českých pracovísk do riešenia jednotlivých projektov tohto programu a o hlavných dosiahnutých výsledkoch. Zároveň bude diskutovaná príprava VII. fázy programu a možnosti zapojenia do jednotlivých projektov.

ŠIESTA FÁZA MEDZINÁRODNÉHO HYDROLOGICKÉHO PROGRAMU UNESCO

V dnešnom stále sa globalizujúcom svete si už nevieme predstaviť bez medzinárodnej spolupráce prakticky žiadny obor ľudskej činnosti. Rôznych druhov spolupráce na medzivládnej i mimovládnej báze existuje veľmi veľa ako v hydrológii, tak v meteorológii a klimatológii. Medzinárodný hydrologický program UNESCO je medzivládnym medzinárodným programom a účasť v ňom garantujú vlády jednotlivých krajín. Tento príspevok dáva stručnú informáciu o činnosti slovenských a českých odborníkov v rokoch 2001 – 2005

Činnosť Slovenského výboru pre hydrológiu - Národného Komitétu pre MHP

Slovenský výbor pre hydrológiu bol zriadený vládou SR ako Národný komitét pre Medzinárodný hydrologický program UNESCO v roku 1993 a zabezpečuje teda predovšetkým medzivládnu spoluprácu v rámci Medzinárodného hydrologického programu UNESCO. Predchodcom Medzinárodného hydrologického programu bola Medzinárodná hydrologická dekáda v rokoch 1964-1975. Tá sa pretransformovala na trvalý program, ktorý je organizovaný v spravidla 6-ročných cykloch, tzv. fázach. V súčasnom období (2002-2007) prebieha 6. fáza programu (UNESCO, 1999).

Na riešení jednotlivých projektov spolupracujú na Slovensku najmä Ústav hydrológie SAV, Slovenský hydrometeorologický ústav, Výskumný ústav vodného hospodárstva a Slovenská technická univerzita, ale i experti z iných inštitúcií. V rámci 6. fázy MHP sa slovenské pracoviská a experti (UNESCO, 2003) podieľali najmä na riešení nasledujúcich štyroch projektov 6. fázy (Tab. 1.):

- CCPC Flow Regimes from International Experimental and Network Data (FRIEND)
  (Režimy odtoku na základe medzinárodných experimentálnych a sieťových údajov)
- 2.2 International river basins and aquifers
  (Medzinárodné riečne povodia a zvodne - Regionálna spolupráca podunajských krajín)
- 2.4 Methodologies for integrated river basin management
  (Metódy integrovaného riadenia riečnych povodí)
- 3.3 Land Habitat Hydrology – Mountains
  (Hydrológia krajinných celkov – Horské oblasti).

V rámci tzv. prierezovej programovej zložky (CCPC – Cross Cutting Programme Component) *Flow Regimes from International Experimental and Network Data (FRIEND)* sa zúčastnené krajiny snažia o vytvorenie spoločného Európskeho vodného archívu a na jeho základe sa riešia najmä otázky výskytu nízkych vodností, veľkopriestorových zmien hydrologického režimu, metód analýzy extrémnych zrážkových a prietokových situácií a fyzikálnych procesov hydrologického cyklu v malých povodiach. Slovensko je plnoprávnym členom regionálnej skupiny severná a západná Európa a má zastúpenie v riadiacom výbore projektu.

V rámci pracovnej skupiny 2 *Low flows"* projektu FRIEND sa v dňoch 12. – 15. mája 2004 uskutočnilo v Bratislave spoločné pracovné stretnutie dvoch regionálnych skupín (severoeurópskej a alpskomediteránnej). Stretnutie bole zorganizované na Prírodovedeckej fakule UK (doc. RNDr. Fendeková, PhD.) a zúčastnilo sa ho 33 účastníkov z 15 krajín, vrátane 5 účastníkov zo Slovenska.

Slovenský zástupca je medzinárodným koordinátorom pracovnej skupiny 5 *Catchment hydrological and hydrobiogeochemical processes in changing environment* projektu FRIEND (RNDr. Holko, CSc.). Táto pracovná skupina úzko spolupracuje s Európskou sieťou experimentálnych a reprezentatívnych povodí (*European Network of Experimental and Representative Basins – ERB*). Projekt ERB je zameraný na výmenu informácií o experimentálnych a výskumných povodiach, ktoré sa ďalej využívajú pri riešení hydrologických úloh, o.i. i projektov MHP UNESCO. Výsledkom spolupráce oboch projektov bola spoločná konferencia *Interdisciplinary approaches in small catchment hydrology: Monitoring and research*, ktorá sa konala v dňoch 25.-28.9.2002 v Demänovskej doline. Počas konferencie sa uskutočnilo i zasadnutie riadiaceho výboru projektu ERB a IX. Valné zhromaždenie ERB. Slovenský výbor pre hydrológiu vydal z konferencie tlačený zborník i CD ROM a pripravil vydanie publikácie v sérii *Technical Documents in Hydrology*, ktorú vydáva UNESCO (Holko a Miklánek, 2003).

Do projektu *International river basins and aquifers* (Medzinárodné riečne povodia a zvodne) patrí Regionálna spolupráca podunajských krajín). V tomto projekte je účasť slovenských riešiteľov najširšia a najaktívnejšia. V rámci tohto projektu sa rieši viacero tém spolupráce s aktívnou účasťou slovenských pracovísk. Od rokoch 1999-2002 Slovensko zabezpečovalo medzinárodnú koordináciu projektu a organizovalo niekoľko pracovných porád. Na stretnutiach sa pravidelne zúčastňuje i delegácia Českého národného výboru pre hydrológiu.

Kľúčovou témou v tomto období spolupráce je projekt 5 Aktualizácia hydrologickej monografie Dunaja a jeho podprojekt 5.3 Aktualizácie vodnej bilancie povodia Dunaja, ktorá je koordinovaná na Slovensku (RNDr. Petrovič, CSc. Téma sa rieši i v spolupráci s Medzinárodnou komisiou pre Ochranu Dunaja (ICPDR). V roku 2005 bola na pracovnej porade projektu v Passau predložená záverečná správa projektu, ako i mapy prvkov vodnej bilancie celého povodia Dunaja v mierke 1:2 000 000, spracované v prostredí GIS na Ústave hydrológie SAV (RNDr. Kostka, PhD., RNDr. Holko, CSc.). Výsledky projektu budú publikované ako tzv. následný diel Hydrologickej monografie Dunaja.

Tab. 1 Prehľad tém šiestej fázy MHP UNESCO (2002–2007)

Tab. 1 List of themes of the 6th phase of IHP UNESCO (2002-2007)

Theme 1	**Global Changes and Water Resources**
FA 1.1	Global distribution of contemporary resources: water supply and water quality (*)
FA 1.2	Global estimation of contemporary water withdrawal and consumption (*)
FA 1.3	Integrated assessment of water resources in the context of global changes (*) (**)
FA 1.4	The changing character of receiving waters as a consequence of land-based activities and climate change
Theme 2	**Integrated Watershed and Aquifer Dynamics**
FA 2.1	Extreme events and land and water resources management (**)
FA 2.2	International River Basins and Aquifers (**)
FA 2.3	Endorheic Basins
FA 2.4	Targets and methods of water management planning at a river basin scale (*)
FA 2.5	Ecohydrological approaches in environmental systems (*)
Theme 3	**Regional Perspectives**
FA 3.1	Arid and semi-arid zones (*) (**)
FA 3.2	Humid tropics (*) (**)
FA 3.3	Temperate zones (*) (**)
FA 3.4	Cold zones (**)
FA 3.5	Hydrology of mountainous areas (*) (**)
FA 3.6	Wetlands and their role in the hydrological cycle
FA 3.7	Small islands and coastal zones (**)
FA 3.8	Urban water interactions in particular climate regions (**)
Theme 4	**Water and Society**
FA 4.1	Water and civilization
FA 4.2	Water valuation
FA 4.3	Water conflicts at various scales and settings - prevention and resolution (*)
FA 4.4	Human environmental security and water-related disasters (**)
FA 4.5	Development and protection of vulnerable environments (*)
Theme 5	**Knowledge, Information and Technology Transfer (KITT)**
FA 5.1	Teaching techniques and material development at all levels (*)
FA 5.2	Structuring and running continuing education and training courses for the selected target groups
FA 5.3	Water interactions and public awareness raising (*)
FA 5.4	Exploring new technologies for KITT
FA 5.5	Capacity building for KITT
CCPC 1	**FRIEND**
CCPC 2	**HELP**

(*) náväznosť na HELP	(**) náväznosť na FRIEND
FA – Focal Area	CCPC – Cross Cutting Programme Component
FA - hlavná oblasť	CCPC - Prierezová programová zložka

V rámci projektu 2.4 *Methodologies for integrated river basin management* spolupracuje Slovenský výbor pre hydrológiu na príprave a vydaní zborníkov z Posterových dní Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda-rastlina-atmosféra, ktoré sú pravidelne každoročne organizované ÚH SAV a GfÚ SAV.

V rámci projektu 3.3 *Land Habitat Hydrology – Mountains* spolupracoval výbor na príprave medzinárodnej konferencie *Hydrology of Mountain Environments*, ktorá sa konala 27.9.-1.10.2004 v Berchtesgadene v Nemecku. Slovenský výbor pre hydrológiu bol spoluorganizátorom konferencie a spolupracuje i na príprave zborníka.

Veľmi významnou aktivitou Slovenského výboru pre hydrológiu sú pravidelné konferencie mladých hydrológov. Tieto konferencie začal organizovať bývalý Československý výbor pre hydrológiu. Ich 1. ročník sa konal v roku 1985 ako súčasť II. Hydrologických dní na Zemplínskej Šírave. Konferencie mladých hydrológov sa konali i počas ďalších Hydrologických dní a stali sa vlastne tradičným sprievodným podujatím týchto konferencií. V roku 1990 počas III. Hydrologických dní v Českých Budějoviciach sa konal 5. ročník Konferencií mladých hydrológov a v roku 1996 počas IV. Hydrologických dní v Starej Lesnej sa konal 8. ročník Konferencií mladých hydrológov a počas V. Hydrologických dní v Plzni v roku 2000 sa konal XII. ročník. Je potešiteľné, že i v rámci týchto Hydrologických dní zostala táto tradícia zachovaná a uskutočnil sa už XVII. ročník (SHMÚ, 2001, 2002a, 2002b, 2003a, 2003b, 2004a, 2004b).

Hoci v posledných rokoch sa konferencie konali na Slovensku, zostalo toto podujatie tradične spoločnou akciou pre mladých slovenských i českých hydrológov.

Činnosť Českého národného výboru pre MHP

Za vzťahy Českej republiky k UNESCO zodpovedá a koordinuje ich Česká komisia pre spoluprácu s UNESCO (ČK UNESCO), ktorá je poradným orgánom predsedníctva vlády ČR a pracuje pri Ministerstve zahraničných vecí ČR. Odborné aktivity v rámci Medzinárodného hydrologického programu (MHP) UNESCO má na starosti Český národný výbor pre MHP (ČNV MHP), ktorý je na ČK UNESCO napojený. Organizačne pôsobí ČNV MHP pri Českom hydrometeorologickom ústave (ČHMÚ), v ktorom existuje najväčšia koncentrácia hydrológov v štáte. Rezortne podporuje činnosť ČNV MHP Ministerstvo životného prostredia ČR.

V uplynulom období participovali významne na činnostiach MHP v ČR experti Ústavu pre hydrodynamiku Akadémie vied ČR (ÚH AV ČR), zainteresovaných katedier Českého vysokého učení technického (ČVUT), Univerzity Karlovy (UK), České zemědělské univerzity (ČZU) a Ostravské univerzity (OU), ďalej z Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G.M. (VÚV T.G.M.), ČHMÚ, Povodí Labe, s.p., Povodí Moravy, s.p. a Povodí Vltavy, s.p. a v menšej miere experti z niekoľkých iných partnerských inštitúcií a organizácií.

Zapojenie ČR do štruktúry VI. fázy MHP sa veľmi podobá aktivitám SR a to iba s niekoľkými malými rozdielmi.

V rokoch 2000 a 2002 pokračovala ČZU v rámci MHP tradične v organizácii Medzinárodného postgraduálneho hydrologického kurzu s tematikou *„Hydrological Data for Water Resources Planning“*. Dvojmesačnú výučbu zabezpečoval pedagogický zbor zložený z popredných českých a slovenských expertov. Finančne bol kurz podporovaný z prostriedkov UNESCO, Svetovej meteorologickej organizácie, ďalej prostredníctvom ČHMÚ z fondu českej vlády pre podporu rozvojových krajín a tiež z rozpočtu ČZÚ. Školení boli mladí odborníci z rozvojových krajín a v menšom počte i vybraní českí a slovenskí špecialisti. Ďalší kurz v roku 2004 sa už neuskutočnil vzhľadom k tomu, že agentúra UNESCO vybudovala v spolupráci s holandskou vládou Svetové centrum pre postgraduálne vzdelávanie hydrológov v Delfte. Ďalším dôvodom bola neúnosná redukcia finančných dotácií. Namiesto toho organizuje teraz ČZU krátkodobé kurzy v úzkej spolupráci so

špecialistami z USA. Tematicky sú zamerané na redukciu škôd z prírodných pohrom a na rozvoj hydrologických predpovedných modelov.

Z participačného fondu UNESCO bola uvoľnená čiastka na realizáciu ďalšieho postgraduálneho krátkodobého hydrologického kurzu v ČR, ktorý sa konal na Prírodovedeckej fakulte v Prahe pod vedením Doc. RNDr. Z. Hrkala, CSc. Cieľom bol tréning odborníkov z rozvojových krajín pre zvládnutie modelových technológií na hodnotenie zásob podzemných vôd.

V roku 2002 usporiadalo Múzeum hlavného mesta Prahy na základe podnetu ČNV MHP a v úzkej spolupráci s jeho členmi, ako i ďalšími partnermi, rozsiahlu výstavu *„Podnebie a povodne v Prahe – História a súčasnosť“*, ktorá zhodou okolností predchádzala katastrofálnym povodňovým udalostiam v auguste 2002 v povodí Vltavy. Výstavu, ktorá trvala päť mesiacov navštívili tisíce návštevníkov.

V rámci Medzinárodného roku vody v r. 2003, ktorý vyhlásila OSN, spolupracoval ČNV MHP na príprave výstavy *„Voda a život“*. Obsahovala 160 panelov a ďalšie iné expozície o vode v ČR a o hydrosfére Zemského systému. Bola umiestnená v Národnom múzeu v Prahe a trvala od novembra 2003 až do júla 2004. Podľa zrovnania patrila táto výstava k najväčším akciám tohoto druhu v Európe.

V projekte MHP FRIEND viedla niekoľko rokov pracovnú skupinu pre *„Techniques for Extreme Rainfall and Runoff“* česká hydrologička Ing. Š. Blažková, DrSc. z VÚV TGM. Iní dvaja pracovníci, Ing. Kašpárek, CSc. (VÚV T.G.M.) a Ing. O. Novický (MŽP), patria k hlavným autorom knihy o suchu, ktorá je jedným z výstupov činnosti pracovnej skupiny pre *„Low Flow“*. Boli splnené tiež všetky úlohy, ktoré vyplývali pre ČR zo spolupráce na *„European Water Archive“* (RNDr. Brzáková z ČHMÚ). Ako potenciálnu medzinárodnú učebnicu ponúkol ČNV MHP agentúre UNESCO knihu Prof. Ing. K. Nacházela, DrSc. o stochastickej hydrológii.

Členovia ČNV MHP pripravili príspevok o príčinách povodní v strednej Európe pre zasadnutie pracovnej skupiny riadenej Ekohydrologickým centrom UNESCO vo Varšave.

Niekoľko rokov koordinoval ERB a bol zvolený prezidentom tohto združenia Ing. V. Eliáš, CSc. z ÚH AV ČR. Českí špecialisti sa podieľajú na súčasných aktivitách ERB výskumom rozdielneho režimu topenia snehovej pokrývky v lese a na voľnom priestranstve (Ing. L. Bubeníčková, RNDr. J. Chalušová, PhD. a Ing. A. Kulasová z ČHMÚ) a interpretáciou poznatkov z pôdnej hydrológie získaných na experimentálnych povodiach (Ing. M. Tesař, CSc. a Ing. M.Šír, CSc. z ÚH AV ČR). Česká delegácia sa zúčastnila posledných plenárnych zasadaní ERB v Bukurešti v roku 2003 a v Turíne v roku 2004. Českí hydrológovia predniesli niekoľko príspevkov tiež na konferencii venovanej hydrológii horských oblastí v Berchtesgadene v roku 2004. Doc. RNDr. Jánský, CSc. z Prírodovedeckej fakulty UK informoval o identifikácii pravých prameňov Amazonky v oblasti Peruánskych Ánd zásluhou expedície českých odborníkov.

Česká republika je tiež aktívne zapojená do projektu *MHP „Regionálna spolupráca podunajských štátov v hydrológii“*. ČNV MHP spolu s ČHMÚ zorganizoval *XXII. Konferenciu podunajských štátov o hydrologických predpovediach a hydrologických základoch vodného hospodárstva*, ktorá sa uskutočnila 30. augusta – 2. septembra 2004 v Brne za účasti 200 odborníkov z 18 krajín.

ČNV MHP pripravil pre tému 2 VI. fázy MHP projekt *„Groundwater for Emergency Situations“*. Dvaja českí experti (Prof. Ing. J. Šilar, DrSc. z UK a RNDr. J. Vrba) tento projekt odborne vedú a zároveň mezinárodne koordinujú. Peniaze na tieto aktivity uvoľnilo UNESCO. O priamu spoluprácu českých hydrológov prejavila záujem vláda republiky Peru.

Členovia ČNV MHP permanentne podporujú svojou spoluprácou realizáciu seminárov s hydrologickou tematikou. Napr. z posledných rokov možno *menovať „Extrémne hydrologické javy v povodiach“* (ČVUT a ČVT VHS), *„Hydrológia pôdy na malých povodiach“* (ÚH AV ČR a ČVT VHS), *„Hydrológia malých povodí“* (ÚH AV ČR a ČVT VHS) a iné. Výbor zorganizoval tiež niekoľko prednášok špičkových zahraničných odborníkov v ČR.

Tab. 2 Prehľad tém siedmej fázy MHP UNESCO (2008 – 2013)

Tab. 2 List of themes of the 7th phase of IHP UNESCO (2008 – 2013)

Téma I	**Global Change, Watersheds and Aquifers**	**Globálne zmeny, povodia a zvodne**
HO I-1	Large-scale groundwater dependencies related to global change & quality deterioration	*Veľkopriestorové závislosti podzemnej vody na globálnych zmenách a zhoršovaní kvality*
HO I-2	Hydrological extremes in sensitive and stressed biomes and hydroclimatic zones e.g. small island developing states	*Hydrologické extrémy v citlivých a stresovaných biologických a hydroklimatických zónach, napr. malé ostrovy, rozvojové krajiny*
HO I-3	Global change and feedback mechanisms of hydrological processes in stressed environments	*Globálne zmeny a mechanizmy spätnej väzby hydrologických procesov v stresovanom životnom prostredí.*
HO I-4	Changing global dynamics in aquatic environments: degrading ecosystems, especially those susceptible to sea level change, coastal sediment balance and pollutant accumulation	*Zmeny globálnej dynamiky vodného prostredia: degradácia ekosystémov, najmä citlivých na zmeny morskej hladiny, bilanciu príbrežných sedimentov a akumuláciu znečistenia.*
Téma II	**Governance, and Socio-Economics**	**Riadenie a socioekonomika**
HO II-1	Culture, ethics and legislation for wise stewardship of water	*Kultúra, etika a legislatíva pre rozumné spravovanie vody.*
HO II-2	Good Governance, capacity development and stakeholder participation. Empowerment of human resources	*Dobré riadenie, budovanie kapacít a spoluúčasť zainteresovaných. Posilnenie ľudských zdrojov.*
HO II-3	Affordability, poverty alleviation and assured financing, for effective IWRM	*Dostupnosť, zmiernenie chudoby a zabezpečené financovanie pre efektívny Integrovaný manažment vodných zdrojov.*
HO II-4	Shared Water resources and conflict resolution / co-operative solutions, true valuation of common pool water resources	*Zdieľané vodné zdroje a riešenie konfliktov, správne ocenenie spoločných vodných zdrojov*
HO II-5	Resolving the water and energy nexus through sound governance including stakeholder participation	*Nové riešenie súvislosti vody a energie pomocou podloženého spravovania vrátane spoluúčasti zainteresovaných.*
Téma III	**Ecohydrology and Environmental Sustainability**	**Ekohydrológia a udržateľnosť životného prostredia**
HO III-1	Water as a landscape agent: erosive capacity, mobile solvent, habitat for aquatic biota - interdependencies and regulation in biogeochemical cycling	*Voda ako zložka krajiny: erozívna schopnosť, mobilné rozpúšťadlo, prostredie pre vodnú biotu – vzájomné závislosti a regulácia v biogeochemických cykloch.*
HO III-2	Complementing engineering solutions with ecological measures resulting in sustainable carrying capacity of ecosystems	*Doplnenie inžinierskych riešení ekologickými opatreniami vedúcimi ku udržateľnosti únosnosti ekosystémov.*
HO III-3	Urbanisation pressures, sustainable cities, towns and villages; water and sanitation for mega cities	*Urbanizačné tlaky, udržateľné veľkomestá, mestá a dediny; voda a sanitácia pre megalopole.*
HO III-4	Risk based environmental management (under uncertainty), especially climate change threats to ecosystem functions	*Rizikové riadenie životného prostredia (v podmienkach neistoty), najmä ohrozenie funkcií ekosystémov klimatickou zmenou.*
Téma IV	**Water Quality, Human Health and Food Security**	**Kvalita vody, zdravie ľudstva a bezpečnosť potravín**
HO IV-1	Methodologies for safeguards against water borne biotic and abiotic pollutants	*Metódy pre ochranu pred vodnými biotickými a abiotickými znečisťujúcimi látkami.*
HO IV-2	Access to safe water, human health and integrated water resource management	*Prístup ku bezpečnej vode, ľudské zdravie a integrované riadenie vodných zdrojov.*
HO IV-3	Non-conventional water resources: brackish water use and waste water re-use	*Nekonvenčné vodné zdroje: použitie brakických a recyklovaných odpadových vôd.*
HO IV-4	Access to water for food security in environmentally stressed zones	*Prístup ku vode pre potravinovú bezpečnosť v environmentálne stresovaných zónach.*
Prierezové programy: HELP a FRIEND		

Pre mladých hydrológov sprostredkoval ČNV MHP stáže na zahraničných univerzitách či na medzinárodných kurzoch (Kanada, SRN a Izrael). V spolupráci s SVH je pravidelne zabezpečovaná účasť českých špecialistov na konferenciách mladých hydrológov v Bratislave.

Priebežne sú zapožičiavané publikácie získané v rámci MHP UNESCO, a to jednotlivcom, katedrám vysokých škôl a organizáciám. V rade prípadov prispievajú k výučbe na vysokých školách, sú uvádzané v literárnych odkazoch a umožňujú získať predstavu o dosiahnutej hranici poznatkov na úseku danej problematiky.

SIEDMA FÁZA MEDZINÁRODNÉHO HYDROLOGICKÉHO PROGRAMU UNESCO

V tomto období sa práve formuluje plán na 7. fázu MHP UNESCO pre roky 2008 – 2013 (UNESCO, 2004). Program má už definovaný zámer (**Water Dependencies: Systems under Stress and Societal Responses** – *Závislosť na vode: Systémy pod tlakom a spoločenské odpovede*), ako i hlavné 4 témy, ktoré sú ďalej rozpracované do jednotlivých projektov, tzv. hlavných oblastí (Focal Area) (Tab. 2).

Pripravované hlavné témy 7. fázy MHP UNESCO sú nasledovné:
Téma I: Global Change, Watersheds and Aquifers – Globálne zmeny, povodia a zvodne
Téma II: Governance, and Socio-Economics – Riadenie a socioekonomika
Téma III: Ecohydrology and Environmental Sustainability – Ekohydrológia a udržateľnosť životného prostredia
Téma IV: Water Quality, Human Health and Food Security – Kvalita vody, zdravie ľudstva a bezpečnosť potravín
Prierezové programy: HELP a FRIEND.

V súčasnom období je možné pripomienkovať navrhované témy, tak aby bolo možné v roku 2006 počas zasadnutia Medzivládnej rady MHP UNESCO schváliť program, ktorý bude predložený Valnému zhromaždeniu UNESCO a pripravovať národné aktivity, ktorými jednotlivé krajiny prispejú ku splneniu programu. Je predpoklad, že mnohé z výsledkov projektov, ktoré sa budú riešiť na našich pracoviskách v budúcnosti, významne prispejú i k riešeniu projektov Medzinárodného hydrologického programu a preto je je dôležitá i otázka prezentácie týchto výsledkov.

Výsledkov a aktivít rôznych pracovísk, ktoré by bolo možné v súvislosti s Medzinárodným hydrologickým programom UNESCO prezentovať, je samozrejme oveľa viac. Verím však, že i táto stručná informácia bude zaujímavá pre účastníkov tejto konferencie.

Ďalšie podrobnosti o Medzinárodnom hydrologickom programe UNESCO možno nájsť na INTERNETe na adrese http://www.unesco.org/ a informácie o Slovenskom výbore pre hydrológiu – Národnom komitéte pre MHP UNESCO sú na adrese http://www.ih.savba.sk/ihp/.

Vzťahy slovenských a českých hydrológov samozrejme stratili v poslednom období na intenzite, ale zostali i po osamostatnení sa oboch republík dobrými. Nie raz zahraniční kolegovia na rôznych medzinárodných podujatiach ocenili, že česká a slovenská delegácia úzko spolupracujú a niekedy vystupujú i so spoločnými aktivitami. Hydrologické dni, ako tradičné podujatie hydrológov oboch krajín, je dobrou príležitosťou zamyslieť sa nad otázkami spoločného záujmu a verím, že ich výsledkom bude pokračovanie tradičných spoločných aktivít a snáď i zrod nových.

Literatúra

Holko, L., Miklánek, P. (Ed.) (2003): Interdisciplinary approaches in small catchment hydrology: Monitoring and research. (ISBN 92-9220-001-1) Technical Documents in Hydrology 67, UNESCO, Paris, 246 s.

SHMÚ (2001): XIII. konferencia mladých hydrológov a IV. konferencia mladých meteorológov a klimatológov. Práce a štúdie 65. SHMÚ Bratislava.

SHMÚ (2002a): XIV. konferencia mladých hydrológov. Práce a štúdie 66. SVH a SHMÚ, Bratislava.

SHMÚ (2002b): I. konferencia mladých vodohospodárov. Práce a štúdie 67. ZZVH, SHMÚ a VÚVH, Bratislava.

SHMÚ (2003a): 6.konferencia mladých meteorológov a klimatológov, 15. konferencia mladých hydrológov, 2. konferencia mladých vodohospodárov. Zborník abstraktov. SHMÚ, SMS pri SAV, SVH, ZZVH. Bratislava.

SHMÚ (2003b): 6.konferencia mladých meteorológov a klimatológov, 15. konferencia mladých hydrológov, 2. konferencia mladých vodohospodárov. Zborník na CD ROM. SHMÚ, SMS pri SAV, SVH, ZZVH. Bratislava, ISBN 80-88907-41-1.

SHMÚ (2004a): 7.konferencia mladých meteorológov a klimatológov, 16. konferencia mladých hydrológov, 3. konferencia mladých vodohospodárov. Zborník abstraktov. SHMÚ, SMS pri SAV, SVH, ZZVH, SVS, Asociácia hydrológov Slovenska. Bratislava.

SHMÚ (2004b): 7.konferencia mladých meteorológov a klimatológov, 16. konferencia mladých hydrológov, 3. konferencia mladých vodohospodárov. Zborník na CD ROM. SHMÚ, SMS pri SAV, SVH, ZZVH, SVS, Asociácia hydrológov Slovenska, Bratislava, ISBN 80-88907-79-7.

UNESCO (1999): Water Interactions: Systems at Risk and Social Challenges. Draft Plan for the IHP UNESCO Phase VI. UNESCO, Paris, http://www.unesco.org/water/ihp/ihp_six.shtml.

UNESCO (2003): National Report of the Slovak Republic. UNESCO, Paris, http://www.unesco.org/water/ihp/nat_reports/slovakia.pdf.

UNESCO (2004): Water Dependencies: Systems under Stress and Societal Responses. IHP UNESCO Phase VII. UNESCO, Paris, http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001397/139766E.pdf.

Autori

Pavol Miklánek, Slovenský výbor pre hydrológiu – Národný komitét pre Medzinárodný hydrologický program UNESCO, Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava 3, ncihp@uh.savba.sk

Josef Hladný, Český národní výbor pro MHP UNESCO, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 Komořany, hladny@chmi.cz

SÚČASNOSŤ A PERSPEKTÍVA SLUŽBY SLOVENSKÉHO HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU A PODPORA VÝSKUMU A VÝVOJA

Peter Rončák

Ochrana vodných zdrojov a ich racionálne využívanie je dôležitým aspektom rozvoja spoločnosti a vodného hospodárstva. Dôsledná ochrana a využívanie vodných zdrojov si vyžadujú podrobne poznať ich stav a pravdepodobný vývoj v budúcom období. Práve činnosti, ktoré zabezpečuje Hydrologická služba (HS) na Slovenskom hydrometeorologickom ústave (SHMÚ) sú dôležitým článkom pre správne a presné zhodnotenie stavu vôd ako aj ich trendy vývoja.

Medzi základné priority HS v oblasti výskumu a vývoja patrí tvorba a vydávanie hydrologických predpovedí a výstrah, zdokonalenie programov monitoringu vodných útvarov, hodnotenie vplyvov klimatickej zmeny na vodné útvary (povodne a suchá) s využitím matematických modelov a ekologická kvalita vodných tokov. Dôležitým príspevkom bude aj spracovanie informácií a podkladov pre tvorbu plánov manažmentu povodí ako základného nástroja pre proces ochrany a riadenia využívania vodných zdrojov.

Kľúčové slová: hydrometeorologická služba, monitoring a hodnotenie vodných zdrojov, hydrologické predpovede, klimatická zmena, ekologická kvalita vodných tokov

Hydrological Service of the Slovak Hydrometeorological Institute - present state and perspective; support of the research and development activities. *Protection and sustainable development and use of the water resources are a basic aspect of the development of the whole community and water management, especially. Precise and accurate information and data are prerequisite for protection and proper use of the water resources and to assess the present state and future trends. Therefore, activities of the Hydrological Service (HS) of the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMÚ) is important part of the policy and decision making process in water management. Related to the basic activities of HS as monitoring and assessment of water bodies following priorities in field of research and development were selected: hydrological forecasts and warming, sound monitoring programmes, assessment of the climate change impaction on water resources (floods and droughts) and ecological quality of the surface water. Important part would be the contribution to the preparation of the River Basin Management Plans in the Slovak Republic.*

Key words: Hydrological Service, Monitoring and Assessment of Water Bodies, Hydrological Forecasts and Warming, Climate Changes, Ecological Quality of Surface Water

---

ÚVOD

V dôsledku meniaceho sa vonkajšieho prostredia, tak na národnej ako aj medzinárodnej úrovni, ovplyvňujúc1eho aj aktivity SHMÚ, je potrebné prispôsobiť aj činnosť Hydrologickej služby. Medzi hlavné ciele, ktoré plní HS na SHMÚ patrí:

- Predpovedná povodňová, hlásna a varovná služba,
- Monitoring stavu vodných útvarov,
- Hodnotenie stavu vodných zdrojov a ich trendov vývoja,
- Vedenie evidencie o vodách.

Dôležitou podmienkou plnohodnotného plnenia požadovaných cieľov je vytvorenie vhodných technických a personálnych podmienok na riešenie úloh ústavu. S týmto priamo súvisí aj podpora výskumu a vývoja v oblasti sledovania hydrologických procesov v povodí a potrieb vodného hospodárstva. V súčasnosti sa pozornosť HS v oblasti výskumu a vývoja sústreďuje na tie činnosti, ktoré sú prioritné z hľadiska splnenia požiadaviek štátnej vodnej správy v oblasti pôsobnosti výskumu. Ide hlavne o:

- Vývoj a implementácia predpovedných metód a modelov pre povodňovú predpovednú, hlasnú a varovnú službu,

- Odvodenie hydrologických charakteristík pre rozhodovací proces v oblasti ochrany vodných zdrojov a vodného hospodárstva,
- Výskum vzťahov prvkov kvality pre hodnotenie ekologického stavu útvarov povrchovej vody a stavu útvarov podzemnej vody,
- Hodnotenie dopadov klimatickej zmeny na vodné zdroje a hydrologické procesy.

Tieto úlohy sú riešené v rámci výskumných a vývojových projektov na národnej ako aj medzinárodnej úrovni. Dôležitá úloha pri zameraní HS v oblasti výskumu a vývoja zohráva aj členstvo ústavu v Svetovej meteorologickej organizácii (WMO), vstup Slovenskej republiky do Európskej únie (EÚ) a členstvo ústavu v združení výskumných ústavov EÚ EURAQUA. V ďalšej časti príspevku sú popísané perspektívy zapojenia HS do výskumu a vývoja a možnosti jeho využitia pre činnosť HS.

Hybné sily

Medzi impulzy, ktoré dávajú momentum pre rozvoj HS možno zaradiť politickú vôľu uskutočňovať integrovaný manažment vodných zdrojov (IWRM), s tým súvisiace právne predpisy a technický a technologický vývoj v oblasti pôsobnosti HS.

Politická vôľa

V súčasnosti boli a sú prijímané tak na národnej ako aj medzinárodnej úrovni dohovory a zmluvy týkajúce sa ochrany a racionálneho využívania vôd. Medzi tie najdôležitejšie, ktoré majú vplyv na činnosť HS ústavu je možné zaradiť Dohovor o ochrane a využívaní cezhraničných vôd a medzinárodných jazier (Helsinky, 1992), Dohovor o ochrane a využívaní vôd Dunaja (Sofia, 1994). Súčasťou týchto dohovorov sú aj bilaterálne zmluvy SR a susediacich štátov na ochranu cezhraničných vôd.

V rámci WMO, Komisia pre hydrológiu (KH) pre obdobie 2004 - 2007 zadefinovala nasledujúce tematické priority pre činnosti v oblasti hydrológie a vodných zdrojov:

- Základné systémy (hydrometria a hydraulika),
- Hodnotenie vodných zdrojov a využitie vody,
- Hydrologické predpovedania a predpovede,
- Znižovanie dôsledkov katastrôf- povodne a suchá (hydrologické aspekty),
- Analýza hydrometeorologických údajov pre variabilitu a trendy.

Global Water Partnership (GWP) zadefinoval IWRM ako proces, podporujúci koordinovaný rozvoj vodného hospodárstva a využívania krajiny, tak aby sa maximálne využil ich potenciál na uspokojenie sociálnych a ekonomických požiadaviek spoločnosti, pri súčasnom zachovaní udržateľnosti prírodných zdrojov a ekosystémov.

Slovenská republika má spracovanú Koncepciu rozvoja vodného hospodárstva a Stratégiu ochranu prírodného prostredia, kde sú pomenované aj úlohy súvisiace s činnosťou HS.

Právne predpisy

Politická vôľa týkajúca sa uskutočňovania opatrení na ochranu a racionálne využívanie vodných zdrojov je vyjadrená súborom právnych predpisov na úrovni EÚ a národnej úrovni.

Rámcová smernica EÚ o vodách (transponovaná do zákona č. 364/2004 Z. z.) stanovila holistický rámec pre manažment povodí vo všetkých členských štátoch EÚ. Kľúčovým cieľom je udržateľný manažment všetkých vodných útvarov tak, aby sa čo najviac znížil vplyv na ich dobrý stav pri súčasnom umožnení sociálneho a ekonomického rozvoja spoločnosti.

Pre HS z tohto vyplývajú najmä tieto skutočnosti:

- prispôsobenie programov monitoringu vodných útvarov s ich rozšírením o jazerá, vodné nádrže a mokrade,
- zmena metodického prístupu k hodnoteniu stavu vodných útvarov pre potreby plánov manažmentu povodí a Vodného plánu SR,
- sústredenie sa na ekologické a chemické vplyvy a štúdium vzťahov medzi prvkami kvality vody.

Na naplnenie požiadaviek vyplývajúcich z implementácie Rámcovej smernice EÚ o vodách sa formujú projekty a výskumné kolektívy, kde má svoje zastúpenie aj SHMÚ. Ide napríklad o projekty TISZA (ukončený v roku 2005) a REBECCA, ktorý je riešený v rámci 6. rámcového programu EÚ.

Zákon o ochrane pred povodňami č. 666/2004 Z. z. stanovil rámec pre ochranu územia SR pred povodňami. Priamo v zákone sú definované požiadavky na výkon hydrologickej predpovednej a informačnej služby, ktoré vykonáva ústav ako poverená osoba. Ako dôsledok takéhoto stavu HS bude musieť:

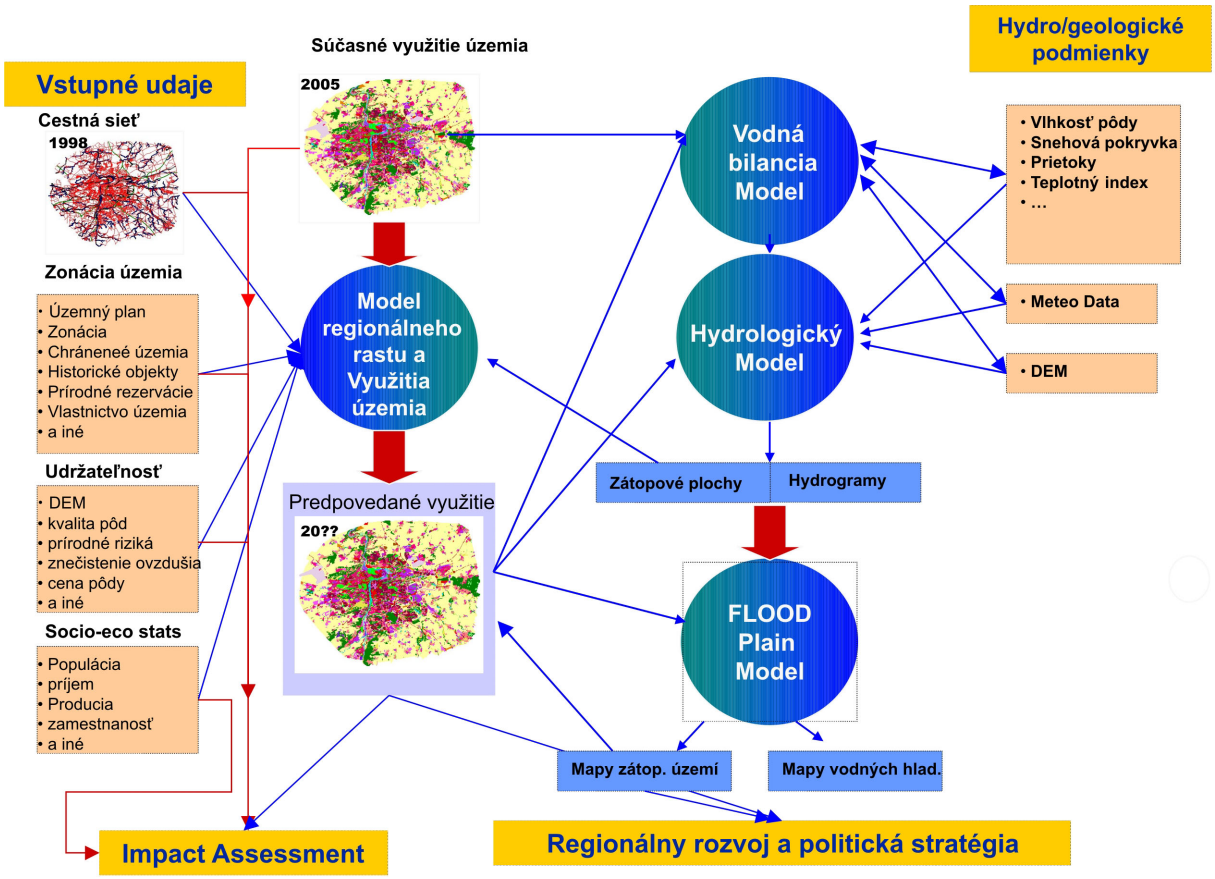
- v čase nebezpečenstva povodne a počas povodňovej situácie skvalitniť komunikáciu a integrovať informačný systém s orgánmi štátnej správy ochrany pred povodňami na národnej a lokálnej úrovni,
- skvalitniť a zväčšiť dobu predstihu hydrologických a meteorologických predpovedí pre povodňové regióny,
- rozšíriť pozornosť aj na prívalové povodne s vydávaním výstrah o možných extrémnych hydrometeorologických udalostiach,
- poskytovať hydrometeorologické údaje pre spracovanie povodňových plánov,
- spolupracovať s hydrometeorologickými službami v povodí Dunaja a Visly.

Riešenie týchto požiadaviek sa bude na ústave riešiť najmä v rámci projektu POVAPSYS.

V tejto oblasti EÚ vyvíja aktivity na príprave právneho rámca pre ochranu pred povodňami a suchom, ktoré bude potrebné realizovať tak na národnej ako aj regionálnej úrovni v povodiach Dunaja a Visly. Na zabezpečenie plnej implementácie sa v krajinách EÚ vytvárajú projekty a programy, kde má HS SHMÚ svojich zástupcov. Ide o projekty rámcového programu EÚ, Asociovaného programu GWP a WMO, UNESCO a iné. SHMÚ v tejto oblasti nadviazal úzku spoluprácu s JRC ISPRA (Memorandum o porozumení) pri testovaní a hodnotení výsledkov hydrologických predpovedí v povodí Dunaja.

Vývoj nových technológií a prístupov

Nové technológie a techniky neustále prenikajú do procesov sledovania vodných systémov, či už priamo alebo v časti prenosu získaných údajov a ich spracovania. Tomuto vývoju sa musí prispôsobiť aj HS, kde bude predovšetkým pokračovať automatizácia pozorovaní a využívať sa bude diaľkový prenos informácií a údajov. Integrácia jednotlivých programov monitoringu vodných útvarov povedie k vytvoreniu integrovaného systému monitoringu vôd s účelom zabezpečovania kvality údajov. Stále viac sa budú využívať GIS technológie a interaktívne grafické systémy ako nástroje hodnotenia stavu vodných systémov.



Obr. 1 Integrované modelovanie - Využitie územia - Pilotné územie Tatry
Fig. 1 Integrated Approach- Land Use- Pilot Area High Tatras

Klimatická zmena a využitie územia

Ukazuje sa, že klimatické zmeny a využívanie územia budú mať vplyv na zmeny, ktoré v súčasnosti pozorujeme v krajine a v povodiach na území SR. Z tohto dôvodu bude potrebné vziať do úvahy, že prírodné prostredie, socio-ekonomická sféra a povodia sa nebudú v budúcom období správať tak, ako je tomu dnes. Rastúce osídlenie, rôznorodé využívanie územia zmení charakter krajiny a povodí. Zmeny v režime zrážok a teplôt spôsobia zmenu odtokových pomerov, čo sa môže prejaviť napr. v rýchlejšom odtoku z povodí, v zmene doplňania až zníženia zásob podzemnej vody a pôdnej vlhkosti. Ako ďalší dôsledok možno očakávať na našom území zvýšenú extremalitu v hydrometeorologických procesoch. Povodne a suchá sa stanú častejším javom, územie SR sa bude meniť. Aj činnosť HS musí zachytiť tento trend. Preto je potrebná činnosť referenčnej siete klimatologických a hydrologických staníc, výskumná činnosť, venovaná stavu a vývoju klimatického a hydrologického systému a štúdiu dlhých časových radov.

VÝZVY A MOŽNOSTI

Súčasný stav a predpokladaný vývoj v oblasti výskumu a vývoja hydrologických procesov a vodného hospodárstva núti HS, aby svoje služby a produkty orientovala priamo na zákazníkov. HS sa bude musieť sústrediť na:

Poskytovanie integrovaných riešení

Spojenie špecialistov v rámci samotnej HS ako aj z iných oblastí (disciplín) tak, aby sa poskytol čo najširší rámec pre riešenie zadaných problémov.

Otvorenosť a transparentnosť

Vyprodukované informácie a údaje je potrebné sprístupniť čo najširšej verejnosti. Ponúknuť svoje znalosti ďalším výskumným kolektívom (aj v iných disciplínách) a zlepšiť komunikáciu, aby a vytvorili „odborné partnerstvá" ako základ pre tvorbu integrovaných riešení problémov.

Budovanie personálnych kapacít

Zatraktívnenie povolania hydrológa v HS si bude vyžadovať vzájomnú spoluprácu medzi viacerými inštitúciami ako štátna vodná správa, univerzity, výskumné útvary a iné. Vytvorenie podmienok pre personálny a odborný kariérny rast je dôležitou súčasťou celého rámca pre rozvoj HS, vrátane výskumu a vývoja.

Tvorba konzorcií a zapojenie sa do výskumných projektov

Len vysoký kredit HS umožní preniknúť do konzorcií, ktoré sú tvorené na národnej a európskej úrovni. Dôležité je to hlavne pri zapojení sa do 6. a 7. Rámcového programu výskumu a vývoja EÚ a národného programu pre výskum podporovaný APVT. V prvom prípade je určitou výhodou členstvo SHMÚ v EURAQUA, kde majú partneri veľkú skúsenosť s prípravou projektov a konzorcií. V prípade APVT sa HS nebude uchádzať o samostatné projekty, ale iba ako partner niektorej z výskumných inštitúcií v Slovenskej republike. HS sa v ďalšom období tiež sústredí aj na účasť v projektoch regionálnej spolupráce INTERREG a CBC, ktoré sú finančne podporované EÚ. HS ďalej poskytne svoje expertné kapacity na riešenie projektov v rámci činnosti Komisie pre hydrológiu pri WMO pri plnení jej prioritných tematických oblastí.

SLOVO NA ZÁVER

Priestor a stav, v ktorom sa HS v súčasnosti nachádza, dáva množstvo impulzov na uskutočňovanie výskumu a vývoja v oblasti štúdie hydrologických procesov a vodných zdrojov. Je potrebné využiť politickú vôľu pre riešenie problémov vodného hospodárstva tak na národnej ako aj regionálnej úrovni. Výskum a vývoj je výzvou a dáva možnosti uplatnenia sa špecialistov z HS v projektoch, ktoré prinesú prospech pre celú spoločnosť a najmä vodné hospodárstvo.

Autor
Peter Rončák, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava 37
e- mail: peter.roncak@shmu.sk

HYDROPROGNÓZNÍ SLUŽBA ČESKÉ REPUBLIKY A JEJÍ ROZVOJ

Pavla Řičicová, Jan Daňhelka

Absrakt: Příspěvek shrnuje současný stav rozvoje hydrologických předpovědních prostředků na hydrologických předpovědních pracovištích Českého hydrometeorologického ústavu. Popsány jsou základní využívané modelovací prostředky – předpovědní systém AquaLog pro povodí Labe a předpovědní systém Hydrog pro povodí Moravy a Odry. Zmiňované předpovědní systémy pokrývají většinu území ČR a jejich výpočty jsou rutinně prováděny a distribuovány vybraným uživatelům a publikovány na internetových stránkách ČHMÚ. Předpovědní systémy jsou využívány pro tvorbu podkladů pro vydávání výstražných informací o nebezpečí výskytu povodní i pro simulace proběhlých odtokových situací, stejně tak jako pro simulaci variantního vývoje v nebezpečných situacích.

Klíčová slova: Hydrologické předpovědní systémy, předpovědní služba, předpovědní model, Český hydrometeorologický ústav

***Hydrological Forecasting Service in the Czech Republic and its Development**. This contribution summarizes the up-to-date state of the development of hydrological forecasting instruments and means on the hydrological forecasting workplaces of the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI). The basic used modelling instruments are described – the AquaLog forecasting system for the catchment of the Labe river, and the Hydrog forecasting system for the catchments of the Morava and the Odra rivers. The mentioned forecasting systems cover most of the area of the CR, and their calculations are on real time routine and distributed to selected users and published on the web pages of the CHMI. The forecasting systems are used for warning information about the danger of floods occurrence and for the simulations of past runoff situations, and also for the simulation of variant development of dangerous situations.*

Key words: Hydrological forecasting systems, forecasting service, forecasting model, Czech Hydrometeorological Institute

---

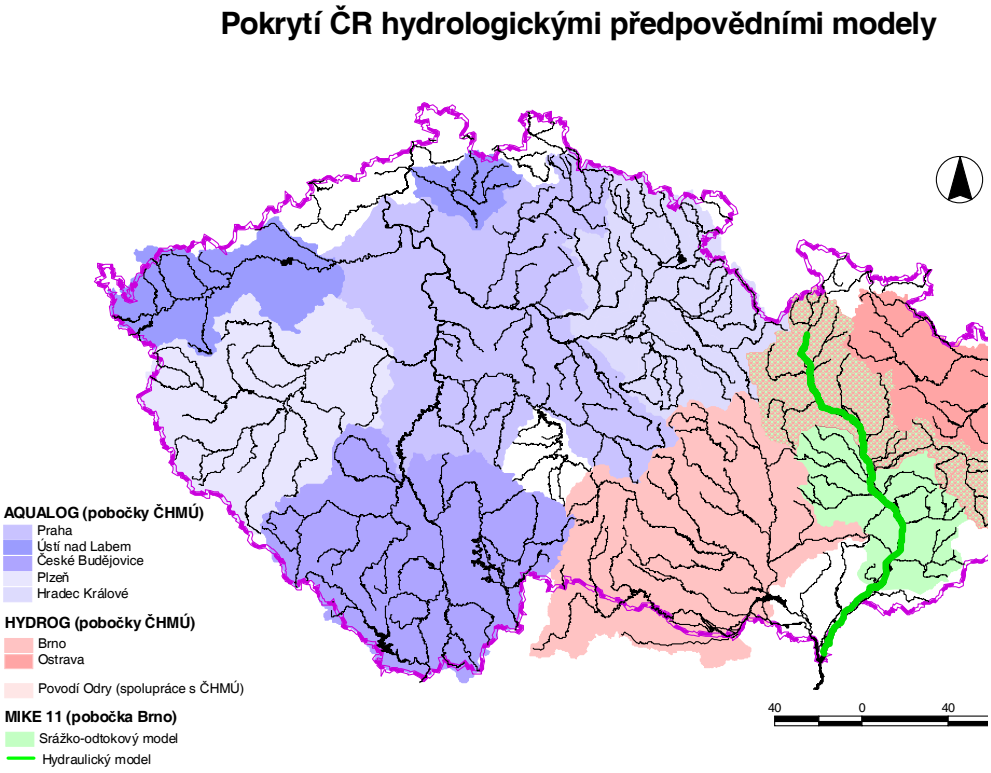
1. ÚVOD

Základní schéma fungování hydroprognózní služby v ČR zásadní změny od posledních hydrologických dnů nezaznamenalo, předpokládáme však, že její kvalitativní rozvoj pociťují její uživatelé. V uplynulém mezidobí jsme prošli další zatěžkávací zkouškou, povodněmi v roce 2002. Uplynulých 5 let od povodní v roce 1997 znamenalo významný posun v technice předpovídání pomocí matematických modelů, který se snažíme rozvíjet a rozšiřovat v co největší míře.

2. SOUČASNÝ STAV

Hydrologické předpovědi jsou zabezpečovány Centrálním předpovědním pracovištěm v Praze Komořanech a šesti regionálními předpovědními pracovišti na pobočkách ústavu na podkladě pozorování v hlásné síti cca ve 200 vodoměrných stanic rozmístěných na 60 významnějších tocích po celé republice. V současné době jsme schopni denně připravit předpovědi pro 80 profilů, které poskytujeme vodohospodářským dispečinkům a vybrané stanice prostřednictvím webových stránek ČHMÚ i široké veřejnosti. Způsob výpočtu je dvojí, stále zachováváme manuální metodu, využívající zkušeností odborného pracovníka – hydroprognostika, který na základě hydrologické situace v povodí, předpokládaných manipulací na vodních dílech a znalosti spadlých a předpovězených srážek určí velikost předpovídaného průtoku. Souběžně s touto metodou je každodenně na všech předpovědních pracovištích ČHMÚ v povodí Labe využíván předpovědní systém AquaLog. Na moravských pobočkách pak model Hydrog-S, zkušebně i MIKE 11–FF. Předpovědi pomocí matematických modelů tak splňují jeden z nejobtížnějších úkolů hydroprognózy v poměrech České republiky, odhadnout, resp. stanovit množství vody odteklé z nastalých srážek, zejména pak v horských oblastech, kde dochází k nejrychlejšímu odtoku. Předpovědní metodiky byly aplikovány zejména pro horní a střední části toků, pro oblasti, kde se vytváří odtok ze srážek a z hlediska přestihu předpovědi

jsou dotokové doby krátké. Na obrázku č. 1 je přehled povodí, pro která jsou denně počítány předpovědi průtoků.



Obr. 1 Stávající pokrytí území ČR hydrologickými předpovědními systémy

Fig. 1 Hydrological forecasting systems coverage of the Czech Republic

K důležitým úkolům předpovědních pracovišť patří úkoly související s vytvářením podmínek pro vydání předpovědí a vydávání upozornění a výstrah na nebezpečné hydrologické jevy. Pro obojí je nutná úzká spolupráce s meteorology-synoptiky v rámci centrálního a regionálních předpovědních pracovišť. Velmi dobře se osvědčuje pravidelná účast hydrologa na ranních konzultacích meteorologů. Spolupráce při vydávání výstražných informací v rámci systému SIVS je popsána níže.

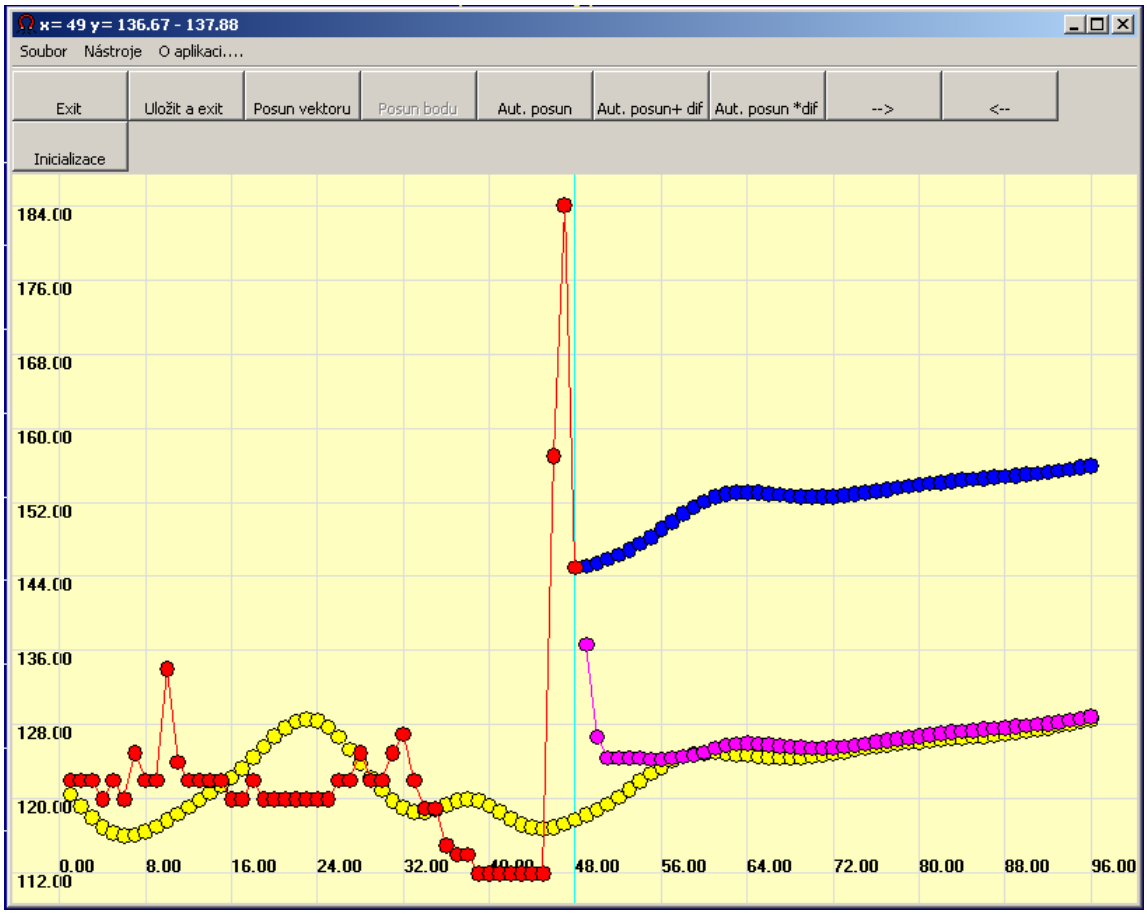
2.1. Předpovědní systém Aqualog

Na Centrálním předpovědním pracovišti CPP počítá používaná verze předpovědi pro říční síť dolního Labe, dolní Vltavy, dolní Ohře, dolní Berounky a pro celou Sázavu a Jizeru. V současné době je systém již provozován na většině povodí toku Labe, kde existují měření průtoků. Na regionálním předpovědním pracovišti (RPP) v Českých Budějovicích se připravují předpovědi průtoků pro povodí horní Vltavy a pro všechny přítoky do nádrže Orlík. V Hradci Králové předpovídají pro horní část toku Labe a jeho přítoky až po Přelouč, na pobočce v Plzni zodpovídají za předpovědi v celém povodí Berounky až po Beroun a na RPP v Ústí nad Labem připravují předpovědi pro Ohři. V systému AquaLog je začleněn srážko-odtokový model Sacramento, v zimním období je aktivován model pro vytváření a tání sněhové pokrývky – SNOW-17, pohyb vody korytem je zprostředkován transformačním modelem. Proces tání a vytváření sněhové pokrývky na základě údajů o teplotě vzduchu je neoddělitelnou součástí srážkoodtokového modelu, poskytuje vstupní hodnoty pro srážko-odtokový model, provádí příslušné transformace sněhových nebo dešťových srážek v závislosti na aktuálních klimatických hydrologických podmínkách. Pro upřesnění výpočtu model využívá v terénu naměřené hodnoty obsahu vody ve sněhu. Model Sacramento SAC-SMA představuje povodí jako soustavu vertikálně propojených nádrží ve dvou horizontálních zónách. V horních nádržích je vázaná voda využívána vegetací (evapotranspirace), infiltruje do nádrží spodní zóny (půdní vláha zásoby

podzemní vody) a podílí se na podpovrchovém odtoku. Vyprazdňováním nádrží volné vody vzniká odtok. Model má řadu parametrů, jejichž hodnoty je třeba stanovit. Při existenci časových řad předchozích pozorování příčinných srážek a průtoků lze parametry modelu kalibrovat a zlepšit tak spolehlivost jeho výsledků. Předpovědní systém je napojen na operativní databáze ČHMÚ a na data získávaná z automatických srážkoměrných a hydrologických stanic.

Za povodňové situace v srpnu 2002 se potvrdila potřeba dokalibrování modelu i pro další menší toky.

Model poskytuje velmi široké možnosti interaktivního ovlivnění výsledku předpovědi obsluhujícím hydrologem. Tento fakt klade velký nárok na dokonalou znalost modelu a předpovídaných povodí jednotlivými hydrology. Zvláště v problematických situacích a povodích však vede k výraznému zvýšení úspěšnosti vydávaných předpovědí. Hydrolog může optimalizovat (či přímo měnit) některé počáteční podmínky, jako je nasycenost jednotlivých půdních zón, či vodní hodnota sněhu akumulovaného v povodí. Dále existuje možnost operativní (dočasné) změny hodnot parametrů modelů. Tento postup je využíván především v období tání sněhu, kdy nevyhovují nakalibrované parametry popisující schopnost sněhu akumulovat kapalnou srážku, či přímo parametry rychlosti tání sněhu, parametr vlivu větru, či velikosti nepropustné plochy (při zámrzu půdy). Velmi významným nástrojem je také grafické prostředí pro updating předpovědi k poslední pozorované hodnotě umožňující nejen vertikální posun, ale také posuny hydrogramu, nebo i jen jeho částí, v libovolném směru.



Obr. 2 Ukázka editačních možností pro úpravu updatingu předpovědi

Fig. 2 Editing interface for forecast updating

2.2. Předpovědní model Hydrog

Český hydrometeorologický ústav při zavádění modelu Hydrog-S navázal na program Povodí Odry s.p., který začínal s předpovídáním přítoků do vodohospodářsky významných nádrží, později pak i pro řadu profilů na řekách Ostravice a Olše. Ostravská pobočka připravuje předpovědní modely pro řeky Opavu a Odru a nově i pro povodí horní Moravy, včetně Bečvy. Vzájemnou spoluprací obou podniků tak vzniká systém který zajišťuje předpovědi v celém povodí Odry. Velkou výhodou jsou společné zdroje dat pro jednotlivé modely, ČHMÚ využívá rozsáhlé automatické srážkoměrné sítě Povodí Odry a naopak předpovědi srážek vydávané v ČHMÚ vstupují do modelu počítaného ve vodohospodářském dispečinku. Od roku 2001 bylo zavedeno vydávání předpovědí pro závěrový profil Odry na česko-polských hranicích v Chalupkách na základě předpovědí obou podniků – pro Odru ve Svinově a Opavu v Děhylově od ČHMÚ a Ostravici v Ostravě a Olši ve Věřňovicích od Povodí Odry. Pro tuto dolní část povodí Odry je typické, že v něm povodně nevznikají, pouze jím procházejí. Přesnost předpovědí je však výrazně závislá na přesnostech předpovědí přítoků ze všech výše položených povodí a na dobré spolupráci mezi oběma organizacemi.

Model Hydrog-S je dále využíván na pobočce v Brně pro předpovědi v povodí Dyje – pro Svratku, Svitavu, Dyji, nově i Jihlavu. Model je určen pro simulaci nebo operativní předpovědi odtoku vody z povodí z příčinné přívalové srážky. Při použití pro operativní předpovědi se tyto určují ve vzájemně posunutých časových bodech, na základě okamžitého stavu systému a prognózy srážek ve srážkoměrných stanicích. Okamžitý stav systému předpokládá buď zjednodušeně ustálené proudění vody v říční síti, nebo je možno jej odhadnout simulací v předchozím období. V tomto případě se vracíme v čase zpět až do časového bodu, kdy je možno předpokládat ustálené proudění. Ve vybraných profilech, ve kterých je měřen průtok, lze pak provádět korekci vypočtených hodnot měřenými. Pak následuje vlastní výpočet předpovězených průtoků.

2.3. Systém sběru dat a jejich využití pro hydrologické předpovědi

Do hydrologických předpovědních modelů vstupují naměřené hodnoty průtoků, popřípadě vodních stavů, srážky a teploty, ale také údaje předpovídané – srážky, teploty, předpokládané manipulace na nádržích. Je to z důvodu požadavku co nejdelšího předstihu předpovědi a vzhledem ke krátkým postupovým dobám průtoků v našich fyzicko-geografických podmínkách. Při výběru lokalit pro umístění automatických srážkoměrů spolupracujeme s Podniky povodí, s. p., dochází ke vzájemné informovanosti o předpokládaných záměrech, stanice jsou společně využívány.

Další veličinou, která ovlivňuje předpověď průběhu odtoku, jsou kvantifikované předpovědi srážek a teplot. Ty vstupují do hydrologických modelů jako upravená rastrová pole meteorologického modelu Aladin pro 6-hodinové intervaly dvoudenní předpovědi s možností úpravy podle doporučení meteorologa.

V operativním provozu v reálném čase je systém AquaLog, ale i ostatní modely používané na RPP, propojeny s operativní hydrologickou databází AquaBase, která zajišťuje automatizované zpracování dat, vstupujících do modelu. Data jsou z různých zdrojů, je potřeba provádět jejich kontrolu, případně opravit nebo doplnit, případně zajistit náhradu jinou stanicí nebo příslušným radarovým odhadem, umožnit vstup kvantitativní předpovědi srážek, teplot a předpokládaného odtoku z nádrží.

Od roku 2002 se zpracovávají každý den ráno předpovědi pro libovolný časový předstih, až po 48 hodin, což je limitováno kvantifikovanou předpovědí srážek a v zimním období i předpovědí teplot, rovněž na dva dny dopředu. V letošním roce v období tání sněhu byly počítány odhady vývoje s předstihem až na 120 hodin.

Pří výpočtu hydrologických předpovědi pro povodí Bečvy, Svratky a Svitavy jsou využívány informace získané z radarových odhadů srážek kombinovaných s naměřenými údaji v operativně dostupných pozemních srážkoměrných stanicích. Z dosavadních výsledků vyplývá, že radarové odhady je nutno v hydrologii používat se znalostí procesů tvorby srážek, neboť za velkoprostorových

srážek, zejména spojených s orografickým zesílením je radarový odhad zatížen značnou chybou, zatímco při konvektivních přívalech poskytuje přes různé nedostatky nejvěrnější dostupný obrázek rozložení srážek.

2.4. Přesnost hydrologických předpovědí a jejich vyhodnocování

Při hodnocení úspěšnosti hydrologických předpovědí musíme vzít v úvahu, zda do modelu vstupují jen srážky naměřené nebo i předpovídané. Pokud nevstupují do modelu předpovídané srážky, porovnání skutečných a vypočtených hodnot lépe vypovídá o tom, zda jsou povodí správně nakalibrovaná, tedy jaká je kvalita modelu. Při vstupu předpovídaných srážek je výsledek hydrogramu závislý na přesnosti jejich předpovědí, a to nejen sumárně, ale i na jejich rozložení během dne, významnost stoupá u malých povodí, nelze proto očekávat, že se chyby budou vždy pohybovat v doporučených mezích, které bychom mohli požadovat při srovnání simulovaných řad, počítaných ze spadlých srážek. Z tohoto důvodu zůstanou vždy nedílnou součástí matematických výpočtů předpovědí i jejich grafické výstupy. V současnosti nejužívanějšími grafy na prognózních pracovištích jsou, ty které znázorňují reálný průběh hydrogramů s vykreslením předpovědí pro daný interval po jednotlivých hodinách za určité období, viz obr. 2. Tato zobrazení více vypovídají o odchylkách od skutečnosti, než porovnávání jen pro určitou hodinu. I přes tento fakt se na všech pobočkách denně vyhodnocují předpovědi průtoků k určité hodině pro vybrané profily podle dohody s podniky Povodí, s.p., a dále i pro závěrové profily dílčích povodí pro předstih 24 a 48 hodin.

2.5. Upozornění a výstrahy na nebezpečné hydrologické jevy

V rámci Sdruženého Informačního a Výstražného Systému (SIVS), který je provozován ČHMÚ ve spolupráci s vojenskou meteorologickou službou Armády ČR, jsou vydávány výstražné informace na celkem 8 typů nebezpečných hydrometeorologických prvků (např. vysoké, či nízké teploty, nebezpečný vítr, bouřkové jevy, srážky či vysoké koncentrace přízemního ozónu). Z hlediska hydrologie jsou nejvýznamnějšími prvky bouřkové jevy (přívalové srážky), srážky a povodňové jevy. Přitom veškeré výstražné informace jsou vydávány meteorology Centrálního předpovědního pracoviště (CPP) po konzultaci s RPP a v případě hydrologických jevů s hydrology CPP.

Hydrolog CPP na základě zhodnocení stávající situace v povodí, předpokládaných srážek, konzultace s hydrology RPP a při využití výsledků hydrologických modelů vyhodnotí nebezpečnost situace a rozhodne o vydání varovné informace (a jejího stupně – upozornění či výstraha). V editační prostředí WBulle následně připraví textovou informaci o předpokládaném vývoji včetně prostorové a časové lokalizace očekávaného dosažení (překročení) stupňů povodňové aktivity (SPA). Uvedený text je příslušným zodpovědným meteorologem včleněn do celkového textu vydávané výstražné informace a automaticky distribuován připraveným systémem krizového řízení (integrovaný záchranný systém – IZS). Informace je primárně předávána centrálnímu dispečinku hasičského záchranného sytému, který zajišťuje distribuci informace na regonální a lokální úroveň (povodňové komise). Paralerně je informace přímo z CPP ČHMÚ předávána centrálním povodňovým orgánům a dalším partnerům (Podniky Povodí, Technicko-bezpečnostní dozor vodních děl aj.).

V současné době je připravována inovace SIVS tak, aby byl pro uživatele přehlednější. V budoucnu budou vydávány výstražné informace ve čtyřech stupních nebezpečnosti (dle rizika dosažení SPA a extremity očekávaných kulminací). Kromě toho byl připraven doplňkový text vysvětlující nebezpečnost situace, popis významných historických událostí a návodu pro chování při zasažení povodní.

3. PŘEDPOKLÁDANÝ ROZVOJ HYDROLOGICKÝCH PŘEDPOVĚDÍ

Dosavadní pokrok a rozvoj předpovědních modelů je zajišťován především díky grantovým projektům, které ČHMÚ získal po proběhlých povodňových událostech z konce minulého a počátkem tohoto století. V tomto trendu se snažíme pokračovat i nadále. Dochází tak k odladění nových povodí, která jsou začleňována do stávajících systémů. V letošním roce budou předány od našich spolupracovníků z firmy AquaLogic modely pro povodí Bíliny, Cidliny a nově rekalibrovaný model pro Sázavu, kde dosavadní výsledky nebyly uspokojivé. Pro toto povodí budou na základě nakalibrovaných modelů povodí Sázavy rozpočítávány a adjustovány parametry pro jednotlivá sub-povodí. Proces odvození parametrů na základě půdních a dalších fyzikálních charakteristik bude kombinován s klasickým přístupem kalibrace. Pro další fázi projektu byly vybrány povodňové události, pro které jsou připravována plošná adjustovaná radarová data.

Využívání radarových dat v hydrologickém srážko-odtokovém modelování se uplatňuje nejen jako vstupy do předpovědních modelů, ale při kalibracích, kde je potřebné zjemnit časový krok denních úhrnů srážek. Výhodou radarových dat je prostorová lokalizace srážek a jejich aktuálnost, nevýhodou jsou nepřesnosti v přepočtu radarových odrazivostí na srážkové úhrny, ty je nutno opravovat podle údajů naměřených v pozemních stanicích.

Pomocí nově získaného projektu VaV budou vyvíjeny a odzkoušeny metody pro hodnocení aktuálního stavu povodí jako podklad pro plošně diferencované předpovědi nebezpečí vzniku povodní a sucha. Na základě analýzy aktuálního stavu infiltrační a retenční vlastnosti půdního pokryvu v povodí budou stanovovány velikosti srážkových úhrnů, které jsou pro danou oblast kritické. Vyhodnocování by mělo vycházet ze znalosti současného stavu retenčních schopností jednotlivých povodí, tedy jejich nasycenosti a odtokových poměrů a následně z výpočtu kritické hodnoty odtoku z předpovídaných srážek na povodí, nebo opačně - stanovením velikosti nebezpečných srážek, které vyvolají kritický odtok. Praktické využívání těchto postupů bude aplikováno v předpovědní a výstražné službě ČHMÚ (PVS). Součástí vydané výstrahy pro veřejnost by měla být mapa s rozlišením nebezpečných srážkových úhrnů, které mohou povodňovou situaci vyvolat. Jednalo by se o obdobu technologie Národní povětrnostní služby – centra pro vydávání hydrologických předpovědí (NWSRFC) pro předpovídání povodní z přívalových srážek (flash floods).

Výhledově v blízké budoucnosti by bylo užitečné zaměřit aplikovaný výzkum na pravděpodobnostní předpovědi průtoků na základě dlouhodobých pozorování meteorologických a hydrologických prvků (systém ESP) a ensemblových předpovědí využívajících postprocesing kvantitativní předpovědi srážek a ensemblové srážkové předpovědi.

Systém ESP využívá historické srážkové a teplotní řady, které využívá jeko variantní vstupy místo předpovědi srážek při stávajících podmínkách povodí (nasycenost půdy). Tento přístup umožňuje produkovat pravděpodobnostní předpovědi na období několika týdnů až měsíců. Metodu lze využít k pravděpodobnostním předpovědím průběhu plnění nádrží, pro předpovědi odtoku v suchých obdobích, pro předpovědi pro plavbu.

Postprocesing předpovědí srážek (z modelu ALADIN) byla zpracována pro celé povodí Labe v práci Daňhelky (2005) a zkušebně aplikována na povodí Jizery. Její použitelnost se jeví jako nadějná pro situace letního typu, kdy jsou srážky jednoznačně determinujícím prvkem.

V současnosti se rozbíhá i práce zaměřená na pokusnou tvorbu ensemblových předpovědí modelem ALADIN a jejich následné zpracování v hydrologických modelech.

Problémovou oblastí zůstává definitivní vyřešení otázky operativní databáze. Připravovaná databáze SDNES (v prostředí Oracle) bude společnou operativní databází pro celý ČHMÚ. V současnosti je dále využívána stávající databáze ICL pro zpracování operativních hydrologických dat a režimová databáze CLIDATA (již prostředí Oracle) pro operativní zpracování dat z operativní sítě meteorologických a srážkoměrných stanic.

4. ZÁVĚR

V průběhu posledních pěti let došlo ke kvalitativnímu posunu v předpovědpovědní službě. Modelové předpovědi se stávají denní rutinou operativního provozu. Předpovědi pro vybrané profily jsou denně k dispozici na webových stránkách ČHMÚ. Informace pro vodohospodářské organizace, povodňovou službu, ale i pro širokou veřejnost je cílem našeho snažení. Problémem však zůstává, že se snažíme o co nejpřesnější předpovědi, ale toho není vždy dosahováno, ani se sebelepšími výpočetními nástroji a kvalifikovanými hydrology. Přetrvává v nás obava, že zveřejňujeme chybné předpovědi, což se zejména za povodňových situací může proti nám obrátit. Náznakem jak uklidnit naše svědomí budou jistě pravděpodobnostní předpovědi, ke kterým bychom měli upřít naši pozornost v příštích letech. Další možnosti rozvoj hydrologické služby spatřujeme také v dalším prohlubování spolupráce s meteorology v případě využívání informací z meteorologických radarů a meteorologických numerických modelů (ALADIN).

Literatura:

Daňhelka, J. (2005): Nejistota operativních předpovědí, Disertační práce, Přírodovědecká Fakulta Univerzity Karlovy, Praha

Day, G. (2003): NWSRFS Ensemble Streamflow Prediction, presentation of NWS Flood Forecasting Course, NWSTC, Kansas City

Řičicová, P. a kol. (2001): Rozvoj a aplikace hydrologických modelů na předpovědních centrech ČHMÚ, závěrečná zpráva za rok 2001, grant. proj. VaV/510/2/99 – Výzkum a metod a rozvoj předpovědních modelů pro potřeby povodňové ochrany, ČHMÚ, Praha

Řičicová, P. a kol. (2004). – Výzkum vztahů mezi meteorologickými příčinami vývoje silných srážek a hydrologickou odezvou povodí, závěrečná zpráva za rok 2004 grantového projektu MŽP, VaV 650/4/03, ČHMÚ, Praha

Řičicová, P., Daňhelka, J., Chalušová, J. (2004): Possibilities of improvement of hydrological forecasts in extreme situations, Proceedings of XXIInd Conference of Danubian countries, Brno, August 31st – September 4th 2004, ČHMÚ, Brno

Autoři

Pavla Řičicová, ČHMÚ, Na Šabatce 17, 143 06 Praha, ricicova@chmi.cz

Jan Daňhelka, ČHMÚ, Na Šabatce 17, 143 06 Praha, danhelka@chmi.cz

POSTGRADUÁLNE ŠTÚDIUM HYDROLÓGIE V SR

Ján Szolgay, Viliam Novák

Tento príspevok obsahuje stručnú históriu postgraduálneho vzdelávania v hydrológii u nás, vybrané časti popisu obsahu študijného odboru, ktorý slúžil ako východisko pri akreditácii konkrétnych študijných programov a informácie o organizačnom zabezpečení štúdia

Kľúčové slová: doktorandské štúdium, študijný program inžinierska hydrológia

Postgraduate education in hydrology in Slovakia. *The paper reviews recent activities in postgraduate education in hydrology in Slovakia. A short history and the current status of postgraduate education in hydrology in Slovakia are described. The new unifying general framework for the development of syllabi for particular PhD studies in hydrology is presented.*

Keywords: education in hydrology, PhD studies

ÚVOD

Vysokoškolské vzdelanie sa po poslednej reforme univerzitného systému v SR poskytuje na jednotlivých vzdelávacích inštitúciách uskutočňovaním akreditovaných bakalárskych, inžinierskych, magisterských a doktorandských študijných programov, ktoré napĺňajú požiadavky príslušných študijných odborov (alebo kombinácie študijných odborov) sústavy študijných odborov spravovaných MŠ SR. Študijný odbor je oblasť poznania, ktorá môže byť predmetom vysokoškolského vzdelávania a vymedzuje sa obsahom, ktorý charakterizujú najmä oblasť a rozsah vedomostí, schopnosti a zručnosti, ktoré profilujú absolventa. Študijný program je súbor konkrétnych vzdelávacích činností a pravidiel zostavený tak, že absolvovanie týchto vzdelávacích činností pri zachovaní uvedených pravidiel umožňuje získať vysokoškolské vzdelanie.

Študijný odbor hydrológia sa môže podľa Sústavy študijných odborov (vydanej rozhodnutím Ministerstva školstva SR č. 2090/2002-sekr. zo dňa 16. decembra 2002) študovať zatiaľ v treťom stupni vysokoškolského štúdia (PhD). Chápe sa ako samostatná oblasť poznania, v ktorej absolvent akreditovaného študijného programu (§51 ods. 1 Zákona č. 131/2002 Z.z.) nadobudne profesionálnu spôsobilosť vykonávať povolanie hydrológa. Študijný odbor bol zaradený medzi geovedné disciplíny, čím sa hydrológia po dlhých rokoch koexistencie s vodným hospodárstvom v rámci jedného (predtým) vedného odboru zaradeného do technických vied osamostatnila a zaradila sa tam, kam logicky patrí. V rámci reformy vysokoškolského vzdelávania bol spracovaný aj všeobecný obsah tohto študijného odboru a požiadavky na uchádzača a absolventa odboru (Szolgay et al. 2003). Tento je pre verejnosť dostupný na internetovej stránke Akreditačnej komisie, poradného orgánu vlády SR, www.akredkom.sk. Tento príspevok obsahuje stručnú históriu postgraduálneho vzdelávania v hydrológii u nás, vybrané časti popisu obsahu študijného odboru, ktorý slúžil ako východisko pri akreditácii konkrétnych študijných programov a informácie o organizačnom zabezpečení štúdia.

K HISTÓRII A POTREBE VYČLENENIA HYDROLÓGIE AKO SAMOSTATNÉHO ŠTUDIJNÉHO ODBORU V SÚSTAVE ŠTUDIJNÝCH ODBOROV

V Szolgay et al. (2003) sme uviedli nasledovné zdôvodnenie potreby začlenenia hydrológie ako samostatného odboru do sústavy študijných odborov. Dostupnosť vody sa v celosvetovej mierke stáva jedným z kontrolných mechanizmov ďalšieho rozvoja spoločnosti. Investície spoločnosti do rozvoja vodného hospodárstva umožnili v krajinách tzv. rozvinutej časti sveta dosiahnuť vysokú úroveň ochrany obyvateľstva pred extrémnymi hydrologickými situáciami, zásobovania obyvateľstva, priemyslu a poľnohospodárstva vodou, rozvoja hydroenergetiky, vodnej dopravy a ďalších oblastí. K spoločenskej objednávke pre hospodárenie s vodou sa v súčasnosti, vychádzajúc z posunu

spoločenských priorít od bezvýhradnej podpory ekonomického rozvoja k uvedomovaniu si jeho širších súvislostí so životným prostredím, priradila požiadavka integrovane manažovať vodné zdroje.

Svetové konferencie o životnom prostredí a o vode konané pod záštitou OSN, vlád a mimovládnych organizácií (Mar del Plata (1972), Dublin a Rio de Janeiro (1992), Maroko (1997), Haag (2000), Bonn (2001), Johannesburg (2002), Kyoto (2003)) sa považujú za míľniky v zmene postojov spoločnosti v starostlivosti o vodu. Deklarovali sa na nich aj požiadavky, aby si každá krajina vytvorila a sledovala politiku trvalo udržateľného využívania, manažmentu a ochrany vôd a budovala systém výchovy špecialistov schopných zabezpečovať takéto integrované hospodárenie s vodou.

Vyrovnať sa s problémami interakcie medzi živou prírodou a ľudskou činnosťou v kolobehom vody si vyžaduje aj nové poznatky o kauzalite javov spojených s obehom vody v prírode. Jeden zo základných pilierov týchto vedomostí sa tvorí práve v hydrológii. Preto, vychádzajúc aj z uvedenej spoločenskej objednávky, sa hydrológia už koncom minulého storočia začala emancipovať, vyčleňovať sa z područia vodného hospodárstva a etablovať sa ako samostatná vedná disciplína. V súčasnom období pokračuje jej vnútorná diferenciácia a dobudovávanie vedomostnej základne mnohých oblastí hydrologických vied. Hydrológia má široko etablované medzivládne, národné a mimovládne koordinačné štruktúry, ako Medzinárodný hydrologický program UNESCO (a naň naviazaný Slovenský výbor pre hydrológiu (SVH)), Medzinárodnú asociáciu hydrologických vied (IAHS) činnú v rámci Medzinárodnej únie geodézie a geofyziky (IUGG) a na ňu naviazaný systém národných komitétov a korešpondentov IAHS, samostatné hydrologické sekcie v rámci Európskej geofyzikálnej spoločnosti (EGS) a Americkej geofyzikálnej únie (AGU).

Na území SR sa od roku 1953 inštitucionalizovane pestoval základný výskum v hydrológii a vychovávajú sa ašpiranti, resp. doktorandi hlavne na Ústave hydrológie SAV, na Stavebnej fakulte STU a na Prírodovedeckej fakulte UK. Čiastkové problémy sa riešili na terajšej Fakulte záhradníctva a krajinného inžinierstva PU v Nitre, Fakulte ekológie a environmentalistiky TU vo Zvolene a na mnohých ďalších pracoviskách. Aplikovaný výskum bol hlavne sústredený na Výskumný ústav vodného hospodárstva, Slovenský hydrometeorologický ústav, bývalý Výskumný ústav meliorácií a krajinného inžinierstva, Výskumný ústav pôdnej úrodnosti a mnohé ďalšie pracoviská.

Potreba odborníkov v hydrológii bude v súvislosti s nastupujúcou globálnou krízou v dostupnosti vodných zdrojov, možnou zmenou klímy a rastúcim spoločenským a politickým tlakom na rešpektovanie princípov trvalo udržateľného rozvoja, narastať aj u nás. Smernica EÚ o vode a na ňu nadväzujúca národná legislatíva o vode požaduje inštitucionálne riadené integrované hospodárenie s vodou v krajine, priemyselnom, poľnohospodárskom a komunálnom sektore, čo je nemysliteľné bez vedecky podloženého systému využívania zdrojov vody. Hydrológia ako vedná disciplína je súborom základných poznatkov a metód, ktoré sú potrebné (spolu s vedomosťami s iných odborov) pre riešenie uvedených problémov a realizáciu uvedených požiadaviek.

CIELE VÝCHOVY HYDROLÓGOV PODĽA OBSAHU ŠTUDIJNÉHO ODBORU HYDROLÓGIA

Požiadavky študijného odboru predpisujú, aby absolvent v oblasti svojej užšej špecializácie ovládal vedecké metódy výskumu a experimentu v hydrológii, ktoré sa uplatňujú v skúmaní, analýze, modelovaní a syntéze poznatkov a zákonitostí výskytu, obehu, časového a priestorového rozdelenia vody na Zemi, jej vzájomného pôsobenia s prostredím vrátane živej prírody, ako aj jej fyzikálnymi, chemickými a biologickými vlastnosťami.

Absolvent odboru hydrológia si v štúdiu má osvojiť:

- vedecké metódy bádania v hydrológii, vrátane vedeckého popisu, experimentu a jeho vyhodnotenia, modelovania, analýzy a zovšeobecnenia jeho výsledkov a aplikácie dosiahnutých výsledkov v úlohách integrovaného manažmentu vôd,

- súvzťažné chápanie dejov v kolobehu vody v prírode v ich vzájomnej podmienenosti a nadväznosti,
- problémovo a nie sektorálne orientovaný prístup pri formulovaní problémov a metód riešenia zvolenej oblasti hydrológie,
- schopnosť prinášať vlastné, pôvodné riešenia problémov v oblasti kolobehu vody v prírode.

Z metodického hľadiska vedeckej práce sa musí naučiť:

- vypracovať kritickú vedeckú rešerš,
- formulovať vedecký problém,
- samostatne riešiť vedecké problémy pomocou moderných vedeckých metód,
- využívať moderné technické, experimentálne a informatické metódy a prostriedky na podporu svojej práce,
- pracovať v medzinárodnom výskumnom kolektíve,
- písomne vo svetovom jazyku prezentovať výsledky vedeckej práce,
- vo svetovom jazyku prednášať výsledky vedeckej práce,
- vo svetovom jazyku vypracovať časti návrhov žiadostí o grant.

Nosné témy jadra znalostí 3. stupňa vysokoškolského štúdia v odbore hydrológia sú viazané na špecializáciu študijného odboru a na riešenú tému dizertačnej práce a budú sa upresňovať v individuálnom študijnom pláne. V rámci študijného odboru hydrológie sa náplň štúdia volí z odpovedajúcich statí zo:

- všeobecnej hydrológie,
- hydrológie povrchových vôd,
- hydrológie podpovrchových vôd,
- vybraných statí problematiky vody ako transportného média v ekosystémoch,
- mechaniky tekutín povrchových a podzemných vôd,
- hydrodynamiky pórovitého prostredia,
- metód terénneho experimentálneho výskumu v hydrológii,
- metód laboratórneho výskumu hydrodynamických javov,
- metód matematického modelovania hydrologických a hydraulických javov,
- matematiky,
- simulačných metód, algoritmizácie a programovania,
- geoinformatiky.

Študijná časť končí dizertačnou skúškou. Na dizertačnej skúške musí študent preukázať, že zvládol schopnosť samostatne študovať, získavať teoretické a praktické poznatky a vypracovať písomnú rešerš zo svetovej literatúry.

Nasledujúca vedecká časť štúdia je zameraná na:

- výskum aktuálneho vedeckého problému z odboru hydrológie,
- na pochopenie zásad vedeckej práce, jej filozofických, environmentálnych, právnych, etických a spoločenských stránok,
- rozvinutie schopností prinášať vlastné, pôvodné riešenia problémov v oblasti kolobehu vody v prírode,
- osvojenie si vedeckých metód bádania vrátane vedeckého popisu, experimentu a jeho vyhodnotenia, modelovania, analýzy a zovšeobecnenia jeho výsledkov a aplikácie dosiahnutých výsledkov na úlohy integrovaného manažmentu vôd,
- využívanie moderných technických, experimentálnych metód a informačných technológií na podporu vedeckej práce,
- schopnosť pracovať v medzinárodnom výskumnom kolektíve, písomne a ústne vo svetovom jazyku prezentovať výsledky vedeckej práce,
- schopnosť vo svetovom jazyku vypracovať časti návrhov žiadostí o grant.

Vedecká časť programu sa ukončuje odovzdaním a obhajobou dizertačnej práce. Dizertačná (záverečná práca) a jej obhajoba musí spĺňať kritérium, že študent preukázal schopnosť samostatne

riešiť teoretické a praktické poznatky z vybranej časti odboru hydrológia. Absolventi študijného odboru hydrológia sú spôsobilí vykonávať profesiu hydrológ, philosophiae doctor hydrológie PhD, (Hydrologist, Doctor of Philosophy in Hydrology) (Szolgay et al. 2003).

ORGANIZAČNÉ ZABEZPEČENIE ŠTÚDIA V ŠTUDIJNOM PROGRAME INŽINIERSKA HYDROLÓGIA

Následne, po začlenení hydrológie do sústavy študijných odborov, získali dve pracoviská právo vzdelávať a udeľovať titul PhD v tomto odbore. Zatiaľ ide o študijný program inžinierska hydrológia ponúkaný Stavebnou fakultou STU a ktorý sa bude dať v spolupráci so Stavebnou fakultou STU študovať aj na Ústave hydrológie SAV.

Štúdium sa uskutočňuje na SvF STU alebo ÚH SAV (tzv. externá vzdelávacia inštitúcia). S ÚH SAV má STU uzavretú rámcovú dohodu o doktorandskom štúdiu. Navyše SvF uzatvorí s ÚH SAV individuálnu dohodu pre každého doktoranda (§ 54 ods. 12 zákona). Pre riadenie a organizovanie štúdia SvF zriadila osobitným predpisom pre študijný odbor hydrológia odborovú komisiu, ktorá sleduje a hodnotí doktorandské štúdium (§ 54 ods. 17 zákona). Členmi tejto komisie sú špecialisti z katedier SvF STU a zástupcovia externých pracovísk, medzi nimi aj z ÚH SAV.

Štúdium sa riadi študijným poriadkom STU a jednotlivých fakúlt (www.stuba.sk , www.svf.stuba.sk). Uchádzači o štúdium sa prihlasujú na témy dizertačných prác, ktoré sa zverejňujú dopredu. Požaduje sa, aby uchádzač o štúdium mal ukončené druhostupňové magisterské alebo inžinierske štúdium v niektorom študijnom odbore obsahujúcom dostatok vedomostí o kolobehu vody v prírode. Takými odbormi sú najmä študijné odbory fyzická meteorológia a klimatológia, geografia a geoekológia, hydrogeológia, lesníctvo, vodné hospodárstvo, hydromeliorácie, vodné stavby a environmentálne inžinierstvo a ich kombinácie.

Všetci uchádzači musia absolvovať prijímací pohovor pozostávajúci z písomného testu z jedného svetového jazyka a ústneho pohovoru, ktorým sa preveria znalosti na úrovni štátnej záverečnej skúšky a prerokuje sa téma dizertačnej práce. Na SvF STU sa pri prijímaní hľadí na zachovanie princíp kvality, preto sa zohľadnia celkové výsledky predošlého štúdia, znalosť svetových jazykov, aktivity počas štúdia ako napr. účasť na študentských vedeckých konferenciách, zahraničné pobyty súvisiace so štúdiom, publikovanie v časopisoch, príp. zborníkoch z konferencií a tiež aktívna práca na katedrách počas štúdia.

Doktorandské štúdium prebieha podľa individuálneho študijného plánu pod vedením školiteľa. Školiteľ riadi a odborne vedie doktoranda počas doktorandského štúdia a kontroluje plnenie jeho individuálneho študijného plánu, ktorý zostavuje na celé obdobie doktorandského štúdia a predkladá ho na schválenie odborovej komisii (§ 54 ods. 8 zákona). Určuje zameranie projektu dizertačnej práce a spresňuje spolu s doktorandom jej tému. Študijný plán je zostavený tak, aby jeho absolvovaním doktorand splnil podmienky na riadne skončenie štúdia v rámci štandardnej dĺžky štúdia tri roky v internej a päť rokov v externej forme.

Súčasťou doktorandského štúdia v dennej forme je pedagogická činnosť doktoranda alebo s ňou spojená iná odborná činnosť (§ 54 ods. 11 zákona). V externej forme doktorandského štúdia môže byť pedagogická činnosť nahradená inou odbornou činnosťou, ktorá súvisí s pedagogickou prácou. Ak ide o doktoranda, ktorý je prihlásený na tému dizertačnej práce vypísanú ÚH SAV, súčasťou dohody SvF s touto inštitúciou je aj to, kde a ako sa uskutoční študijná časť programu a pedagogická činnosť doktoranda.

Doktorandské štúdium pozostáva zo študijnej a vedeckej časti. Študijná časť doktorandského štúdia pozostáva najmä z prednášok, seminárov a individuálneho štúdia odbornej literatúry potrebných z hľadiska zamerania dizertačnej práce (§54 ods. 9 zákona). Vo vedeckej časti doktorandského štúdia je základnou formou vzdelávacej činnosti individuálna alebo tímová vedecká práca doktoranda

zameraná na tému dizertačnej práce. Vedecká časť pozostáva z tzv. projektu dizertačnej práce a samostatnej tvorivej činnosti v oblasti vedy (zhrnutej v publikáciách, v aktívnej účasti na konferenciách, uznaniach výsledkov (citácie), účasti na riešení vedeckých projektov, získaní grantu pre doktorandov, ukončení definovanej etapy vlastnej výskumnej alebo umeleckej práce a pod.). Téma dizertačnej práce je uvedená v individuálnom študijnom pláne doktoranda.

Jednotkami študijného programu doktorandského štúdia sú predmety definované v študijnom programe. Každý predmet je realizovaný jednou alebo viacerými formami vzdelávacích činností, pričom konkrétne formy a proporcionálnosť ich využitia sú stanovené študijným programom. Podmienky absolvovania predmetu doktorandského štúdia stanovuje garant predmetu.

Kontrola štúdia v rámci študijného programu sa uskutočňuje pomocou kreditového systému a ročného hodnotenia doktoranda. Každý predmet, ktorého absolvovanie sa hodnotí, má v študijnom programe priradený počet kreditov, ktoré doktorand získa po jeho absolvovaní. Počet kreditov priradených predmetu vyjadruje pomernú časť práce doktoranda potrebnú na jeho úspešné zvládnutie.

Individuálny študijný plán v doktorandskom štúdiu na STU sa zostavuje tak, že celkovo študijná časť určuje povinnosť získať minimálne 40 kreditov a samostatná tvorivá činnosť v oblasti vedy a umenia minimálne 40 kreditov. Doktorand získa 20 kreditov za písomnú časť dizertačnej skúšky po jej obhájení a 30 kreditov za dizertačnú prácu po jej odovzdaní a udelení zápočtu.

Školiteľ na konci každého roka štúdia predkladá dekanovi ročné hodnotenie plnenia študijného plánu doktoranda s vyjadrením, či odporúča alebo neodporúča jeho pokračovanie v štúdiu. Školiteľ pritom hodnotí stav a úroveň plnenia študijného plánu doktoranda, dodržiavanie termínov a v prípade potreby predkladá návrh na úpravu jeho individuálneho študijného plánu. Počet kreditov potrebný na postup z prvého do druhého roku štúdia a z druhého do tretieho roku štúdia je najmenej 30 kreditov za akademický rok. Dekan rozhoduje na základe ročného hodnotenia doktoranda o tom, či doktorand môže v štúdiu pokračovať, a tiež aj o prípadných zmenách v jeho študijnom pláne. Študent splnil podmienky na pokračovanie v štúdiu, ak:

a) získal minimálny potrebný počet kreditov
b) neprekročí v ďalšom období povolenú dĺžku štúdia.

Dizertačná skúška patrí medzi štátne skúšky v zmysle § 54 ods. 3 zákona. Doktorand sa podrobí dizertačnej skúške po získaní aspoň 40-tich kreditov v dennej forme doktorandského štúdia najneskôr do jeden a pol roka od začiatku štúdia (v externej forme najneskôr do troch rokov) od začiatku štúdia. K dizertačnej skúške je doktorand povinný podať písomnú prácu. Písomnú prácu k dizertačnej skúške tvorí projekt dizertačnej práce, obsahujúci súčasný stav poznatkov o danej problematike, náčrt teoretických základov jej budúceho riešenia a analýzu metodického prístupu riešenia danej problematiky. Dizertačná skúška pozostáva z dvoch častí, prvú tvorí rozprava o písomnej práci k dizertačnej skúške a z časti, v ktorej má doktorand preukázať teoretické vedomosti v určených oblastiach dizertačnej skúšky.

Dizertačná práca je záverečnou prácou v zmysle § 51 ods. 3 zákona. Dizertačnou prácou a jej obhajobou preukazuje doktorand schopnosť a pripravenosť na samostatnú vedeckú a tvorivú činnosť v oblasti výskumu, alebo vývoja alebo na samostatnú teoretickú a tvorivú umeleckú činnosť. Doktorand môže odovzdať dizertačnú prácu k obhajobe, ak získal aspoň 120 kreditov. Doktorand predkladá dizertačnú prácu na obhajobu v slovenskom jazyku. So súhlasom dekana môže predložiť dizertačnú prácu aj v inom ako slovenskom jazyku. Dizertačná práca obsahuje analýzu aktuálneho stavu poznatkov v danej problematike, charakteristiku cieľov, podrobný opis použitých postupov (metód práce, materiálu), dosiahnuté výsledky, ich vyhodnotenie, diskusiu, záver a zoznam použitej literatúry.

Komisiu pre obhajobu, keďže sa na uskutočňovaní študijného programu zúčastňuje aj ÚH SAV, má šesť členov, pričom sú v nej paritne zastúpení členovia z STU a partnerskej vzdelávacej inštitúcie. STU môže uzatvoriť dohodu o spoločných obhajobách dizertačných prác v akreditovaných

doktorandských študijných programoch so zahraničnou vysokou školou, ak to umožňujú právne predpisy štátu, na ktorého území pôsobí zahraničná vysoká škola. Doklad o udelení akademického titulu na základe úspešného výsledku obhajoby dizertačnej práce pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce vydaný zahraničnou vysokou školou sa uznáva v Slovenskej republike (§ 54 ods. 22 zákona).

K PERSPEKTÍVE ĎALŠIEHO ROZVOJA VZDELÁVANIA V HYDROLÓGII

Koncom minulého storočia vznikol v odbornej komunite vo svete tlak na etablovanie sa hydrológie ako samostatnej vednej disciplíny na univerzitách nielen v doktorandskom ale aj v magisterskom štúdiu. Úvahy v tomto smere v nedávnej minulosti viedli a publikovali odborné a profesijné organizácie združujúce hydrológov (a vodohospodárov), ale aj vládne, medzinárodné a mimovládne organizácie. Slovenský výbor pre hydrológiu a Stavebná fakulta STU sa pri viacerých príležitostiach taktiež vyjadrovali k tejto a príbuznej problematike (Szolgay 2000, 2002, Szolgay et al. 2002, 2003), pre ilustrovanie veľkého počtu aktivít na tomto poli spomenieme (bez nároku na úplnosť a poradie dôležitosti) niektoré dokumenty: *Panel IAHS o výchove hydrológov* (Nash et al. 1990), tzv. *Parížsku správu UNESCO, WMO a ICSU o potrebách hydrologického výskumu, operatívnej hydrológie a výchovy* (UNESCO 1993), správu výboru COWAR (Commitee on Water Research, založená ICSU a UITA) - *Voda pre našu spoločnú budúcnosť - Agenda pre výskum udržateľného rozvoja vodných zdrojov*, spoločný dokument MHP UNESCO a IAHR *Výchova hydrotechnických (vodohospodárskych) inžinierov* (Kobus et al. 1996), koncepčný dokument amerického Výboru pre príležitosti v hydrologických vedách (zriadeného Národnou agentúrou pre vedu a Výborom pre vedu a technológie v oblasti vody) (Eagleson et al. 1991), hodnotenie UNESCO výchovy na poli hydrológie (Gilbrich 1993) a celoživotné vzdelávanie v hydrológii (Van der Beken 1993), koncepčný dokument *W-E-T (Voda – vzdelávanie – praktická výchova)* (World Water Vision 2000) vypracovaný UNDP, Svetovou bankou, IHE Delft a UNESCO v rámci Svetovej vízie o vode, rozbor a usmernenie výchovy v sektore vodného hospodárstva siete univerzít ETNET (Wessel 1999) a vizionársky dokument IAHR (1999). K problematike sa zásadnými prácami vyjadrilo viacero osobností hydrologického výskumu a výučby ako Abott a Price (2000), Klemeš (1991), Falkenmarková (1991), Peters (2002), Plate (1987), Wessel (2000) a iní.

Organizoval sa rad konferencií, ako napr. konferencie pod spoločnou egidou UNESCO a ďalších organizácií Hydrológia a vodné hospodárstvo, trvalo udržateľný rozvoj v meniacom sa životnom prostredí (IHP 1990), Smerom k 21 storočiu (UNESCO 1993), Učiaca sa spoločnosť a problémy vody (Van der Beken et al 2000), konferencia TU Delft o stratégiách budovania ľudských zdrojov v sektore vody (IHE 2001), konferencia ETNET o budovaní sietí vzdelávania v sektore vody (ETNET 2002) a jubilejná výročná konferencia IAHR (IAHR 2002) bude venovaná taktiež tejto problematike.

Vznikli medzinárodné siete univerzít, organizácií a firiem činných vo vodnom hospodárstve pre postgraduálne vzdelávanie ako TECHWARE a ETNET (Van der Bekken et al. 2000), (General 1998), sieť kurzov pre študentov a celoživotné vzdelávanie pod názvom European Graduate School of Hydraulics (Kobus, Lensing 1997), na Internete sa množia stránky a elektronické konferencie o problematike vody (abecedný prehľad uvádza napr. WWW.WATERWEB.ORG), pod egidou UNESCO vzniká medzinárodné školiace stredisko Institute for Water Education na TU Delft, (IHE 2001).

Kým v nedávnej minulosti bolo štúdium v EÚ charakterizované snahou zvýšiť mobilitu študentov v rámci jedno a dvojsemestrálnych pobytov na zahraničných univerzitách, najnovším trendom v EÚ je akreditácia množstva medziuniverzitných študijných programov vedúcich k viacnásobným diplomom. S podporou rôznych programov EÚ (ako napr. SOKRATES, Marie Curie) ale aj národných vlád (napr. vo Veľkej Británii sú univerzitám prideľované prostriedky aj na zahraničných študentov) sa takéto študijné programy vedúce k dvojitým, pripadne aj viacnásobným diplomom množia aj vo vedách o vode.

Tento trend prinesie nutne aj zvýšenie úrovne postgraduálneho vzdelávania v hydrológii, pretože sa dá očakávať, že absolventi medzinárodného magisterského štúdia budú lepšie pripravení plniť požiadavky vysoko náročného a medzinárodne konkurencieschopného výskumu. Je zrejmé, že študijné odbory (geografia, meteorológia a klimatológia, geológia, hydrogeológia, vodohospodárske inžinierstvo, lesnícke inžinierstvo, krajinné inžinierstvo a pod.), z ktorých hydrológovia tradične vychádzajú, nebudú schopné ani rozširovaním ponúkaných vedomostí v rámci svojich programov poskytnúť konkurencieschopné vedomosti z hydrológie pre našich budúcich doktorandov. V súčasnosti sa zdá, že blízka i vzdialenejšia budúcnosť je v medzinárodne koordinovanom vzdelávaní, v ktorom sa študentom poskytuje to najlepšie, čo jednotlivé univerzity v danej oblastiach majú.

Preto by dnes asi už nestačilo, keby sme v budúcnosti uvažovali s možnosťou zaradiť do sústavy študijných odborov aj magisterské štúdium a hľadať formy jeho naplnenia vhodnými študijnými programami, tak ako sme to navrhovali v Szolgay (2003). Tento by bolo potrebné akreditovať nielen v rámci tzv. medziodborového štúdia s ťažiskom na jednej (zrejme prírodovedeckej) fakulte, ale ho aj medzinárodne zosieťovať a najmä podporiť centrami excelencie v niektorých oblastiach hydrologického výskumu.

Literatúra

Abott, M.B., Price, R.K. (2000): A new paradigm for education in water and environmental management. In: Van der Beken, A., et al. eds: Proceedings of the international symposium The Learning society and the water environment. European Commission, Luxembourg.

Bekken, Van der, A. et al. (2000): The relation between education and research within a perspective of life-long learning. Project document, SOCRATES Programme.

Eagleson, P.S. et al. (2002): Opportunities in the hydrologic sciences. National Academy Press, Washington 1991.

ETNET (2002): International Symposium: The Power of Networking for Water. Budapest 2002. ETNET, TU Budapest.

Falkenmark, M. (1991): Environmental management - What is the role of hydrologists? In: International symposium to commemorate the 25 years of IHD/IHP. Paris, UNESCO.

General report of the 2nd year of Activity of ETNET (1998). ENVIRONMENT WATER, Brussels.

Gilbrich, W.H. (1993): Hydrological education during the fourth IHP-phase. Technical documents in hydrology, UNESCO, Paris.

IAHR (1999): IAHR Research Agenda and Future Topics of Concern. IAHR.

IAHR (2002): XXX Congress of IAHR: Water Engineering and Research in a Learning Society: Modern Developments and Traditional Concepts. http://www.civil.auth.gr/2003iahr/.

IHE (2001): New UNESCO Institute for Water Education established in The Netherlands. IHE News.

IHE (2001): Towards a Strategy for Human Capacity Building in the Water Sector. International Conference. Delft.

IHP(1990): Hydrology and water resources sustainable development in a changing environment. Paris, UNESCO.

Klemeš, V. (1991): The science of hydrology: Where have we been? Where should we be going ? What do hydrologists need to know? In: International symposium to commemorate the 25 years of IHD/IHP. Paris, UNESCO.

Kobus, H. et al. (1996): Education for hydraulic engineers, SC.96/WS/4, UNESCO, Paris.

Kobus, H, Lensing, H.J. (1997): European Graduate School of Hydraulics. Progress Report. IAHR.

Nash, J. E. et al. (1990): The education of hydrologists. Report of an IAHS/UNESCO Panel on hydrological education. Hydrological Sciences Journal, 35, č.6.

Peters, J. (2002): The Role of Practitioners. IAHR Newsletter, Vol. 40, No. 2.

Plate, E. J. (1987): Die Wasserwirtschaft der Zukunft – eine Herausforderung an die Universitaeten. Wasserwirtschaft, Vol. 77, No. 1..

Szolgay, J. (2000): Súčasné požiadavky na výchovu hydrológov a vodohospodárov. In: Hladný, J. et al. eds.: Nové podnety a vize pro příští století.. Zborník z konferencie Hydrolgické dny 2000, ČHMÚ, Praha.

Szolgay, J. (2002): K smerovaniu výchovy hydrológov. In: Majerčáková, O. ed.: Zborník konferencie 100. výročie narodenia akademika Duba. SHMÚ, Bratislava.

Szolgay, J. et al. (2002): Globálne zmeny v poznaní a vzdelávaní vo vodnom hospodárstve a vodnom staviteľstve. STU Bratislava.

Szolgay, J. (2003): Postgraduálna výchova v hydrológii v SR. Medzinárodná konferencia k 50. výročiu založenia ÚH SAV v Smoleniciach. ÚH SAV, Bratislava.

Szolgay, J., Holko, L., Novák, V., Šútor, J., Zaťko, M. (2003): Obsah štúdijného odboru hydrológia. www.akredkom.sk.

Študijný poriadok STU v Bratislave (2004). STU Bratislava. www.stuba.sk

Študijný poriadok SVF STU (2004). SvFf STU, Bratislava. www.stuba.sk

UNESCO, WMO, ICSU (1993): Towards the 21st century. Research and operational needs. The Paris Statement. UNESCO.

Van der Beken, A. et al. eds (2000): Proceedings of the international symposium The Learning society and the water environment. UNESCO a EK.

Van der Beken, A. (1993): Continuing education in hydrology. Technical documents in Hydrology, No. 47, UNESCO, Paris.

Wessel, J. (1999): A Guide to the Needs of Education and Training in the Water Sector. European Thematic Network of Education and Training. ETNET.

Wessel, J. (2000): Towards a compendium for water related education and training. In: Van der Beken, A., et al. eds: Proceedings of the international symposium The Learning society and the water environment. European Commission, Luxembourg.

World Water Vision: Water – Education – Training Framework Paper (2000). Kolektív, UNDP, WBI, IHE, UNESCO.

WWW.WATERWEB.ORG

Autori

prof. Ing. Ján Szolgay, PhD., Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, jan.szolgay@stuba.sk

Ing. Viliam Novák, DrSc., ÚH SAV, Račianska 75, Bratislava, novak@uh.savba.sk

ODTOK NA ÚZEMÍ SLOVENSKA

Helena Šipikalová , Ladislav Holko, Kateřina Hrušková, Soňa Liová, Beata Demeterová

Najvšeobecnejšou charakteristikou, ktorá dáva základnú informáciu o potenciáli povrchového zdroja vody je odtok. Slúži aj pre stanovenie ďalších hydrologických charakteristík. SHMÚ poskytuje údaje o odtoku pre akékoľvek povodie na území Slovenska. Pre stanovenie potenciálu povrchového vodného zdroja, tak ako aj pre iné hydrologické charakteristiky, používa údaje za reprezentatívne obdobie 1931-1980. Novým referenčným obdobím je obdobie 1961-2000, pre ktoré sa v súčasnosti odtok na území Slovenska stanovuje. Príspevok nám predstavuje metodiku pre jeho stanovenie a získané výstupy.

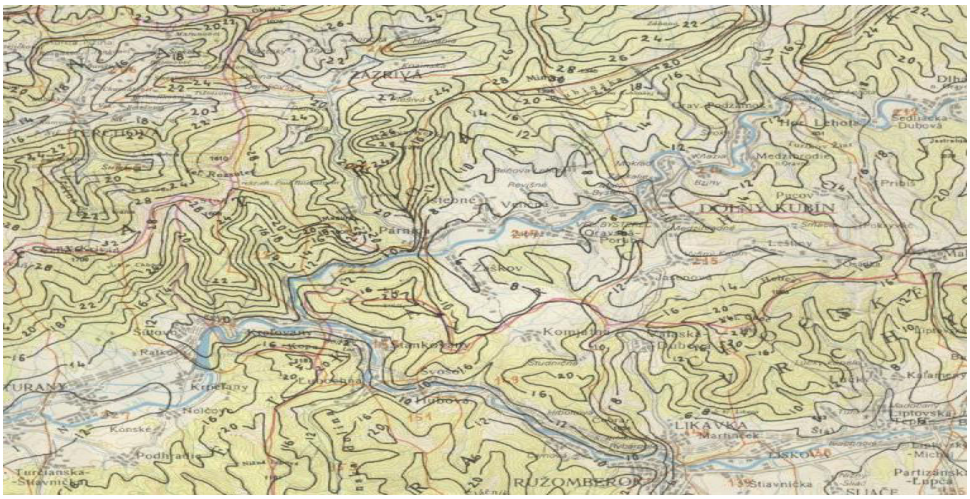
Kľúčové slová: odtok, priemerný ročný prietok, špecifický odtok, regionalizácia

Most common characteristic, which gives a basic information about potention of surface surce of water is flow. It serves also for determination next hydrological characteristics. SHMÚ offer data about flow for any watershed in the territory of Slovakia. For determination of potention of surface water source, and also for different hydrological characteristics uses datas for an period 1931-1980. New reference chapter is period 1961-2000, for why is in present in Slovakia territory establishes the flow. This repport now present methodics for its determination and obtained outputs.

Key words: flow, average year discharge, specific runoff, regionalization

---

Odtok je objem vody odtečenej z povodia alebo vodného útvaru za zvolený časový interval. Býva vyjadrený v m^3, alebo v mm na celú plochu povodia. Objem vody, ktorý pretečie profilom toku za jednotku času nazývame prietok a vyjadrujeme ho v $m^3.s^{-1}$. Práve táto veličina je systematicky vyhodnocovaná vo vodomerných staniciach. Databáza priemerných ročných prietokov za obdobie 1931-1980 pre cca 1500 profilov bola vytvorená v roku 1987. Pozostáva z údajov vo vodomerných staniciach, ale aj mimo nich, kde údaje boli odvodené metódou hydrologickej analógie, extrapoláciou, interpoláciou, ale aj s využitím mnohých expedičných meraní v ucelených povodiach mimo vodomerných staníc. Vyhotovená bola aj mapa elementárneho odtoku mierky 1:200 000 (Obr. 1). Tieto podklady doteraz slúžia pre poskytovanie údajov o odtoku a vlastne poskytnutím každého ďalšieho údaju sa táto databáza rozširuje.
V súčasnosti sa buduje nová databáza a mapové podklady pre referenčné obdobie 1961-2000.



Obr.1 Mapa špecifického odtoku za obdobie 1931-1980 mierka 1:200 000

Fig.1 Map of specific runoff

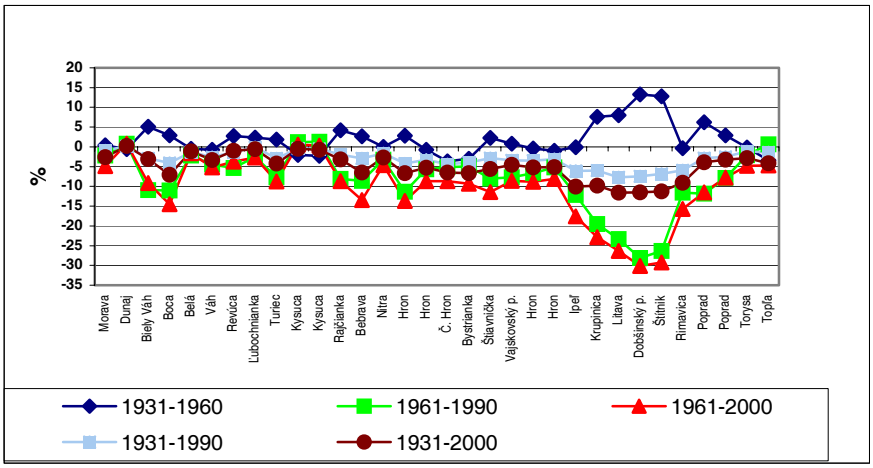
1. PODKLADOVÉ ÚDAJE

Vstupnými údajmi boli priemerné denné prietoky z takmer 1000 vodomerných staníc, ktoré pozorovali aspoň jeden rok v období 1961-2000 a sú uložené v Hydrologickom informačnom systéme (HIS). Aplikačnými softvermi je možné z tejto databázy vo vodomerných staniciach stanoviť priemerné ročné prietoky. Sčítaním resp. odčítaním viacerých staníc je možné získať fiktívne stanice, čím sa obohacujú vstupné údaje.
Nakoľko údaje sa odvodzujú pre prirodzený režim bolo potrebné "očistiť" ovplyvnené prietoky. K tomu boli použité údaje o nakladaní s vodou z databázy Vodnej bilancie od roku 1976 v mesačnom kroku a ročné prietoky sa stanovili ako ich priemer.
V prostredí GIS sme pracovali s nasledujúcimi vrstvami :

- stanice povrchových vôd 1:50000
- zrážkomerné stanice
- klimatologické stanice
- rozvodnice podrobných povodí 1:50000
- riečna sieť 1:50000
- geologická mapa 1:200 000
- SVM 50
- digitálny model reliefu 1: 50000
- priemerný ročný úhrn zrážok za obdobie 1961-2000
- priemerná ročná teplota za obdobie 1961-2000

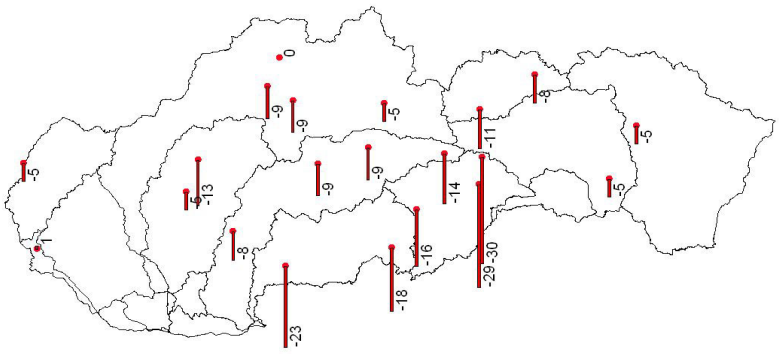
2. METODIKA A POSTUP RIEŠENIA

Priemerné ročné prietoky v staniciach za obdobie 1961-2000 sú výstupy z HIS a predstavujú aritmetický priemer priemerných denných prietokov za uvedené obdobie. V staniciach NKP boli zhodnotené všetky 30,40,50,60,70-ročia a ich trendy a zároveň aj trendy 30,40,50-ročných kĺzavých priemerov, dvojité súčtové čiary a testy homogenity programom CTPA za obdobie pozorovania 1931-2000. Výsledky boli využité hlavne pri výbere obdobia. Všeobecne možno konštatovať, že v poslednom dvadsaťročí minulého storočia v prevažnej väčšine rokov boli prietoky nižšie ako priemer za reprezentatívne obdobie, čo spôsobilo trend poklesu takmer vo všetkých staniciach, najvýraznejší v povodiach Ipľa a Slanej . Pre stručnú informáciu uvádzam porovnanie priemerných ročných prietokov vybraných období k obdobiu 1931-1980 staníc NKP (Obr.2), mapu s priestorovým rozdelením odchýlok odtoku obdobia 1961-2000 od obdobia 1931-1980 (Obr.3) a priebehy a trend radov priemerných ročných prietokov obdobia 1931-2000 staníc Nitra - Nitrianska Streda a Litava - Plášťovce (Obr.4).



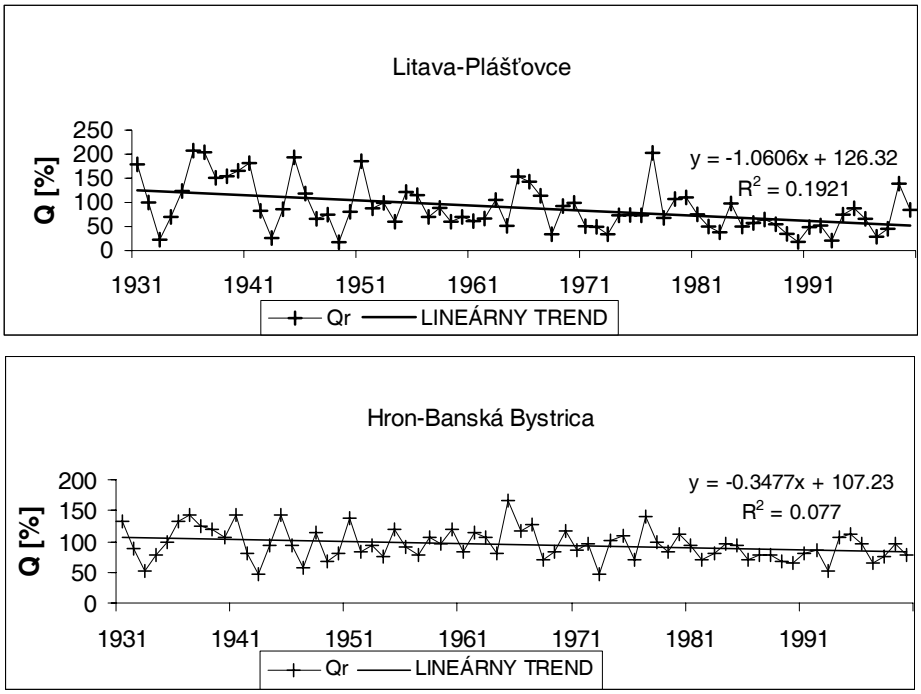
Obr.2 Odchýlky priemerných ročných prietokov vybraných období od 1931-1980 v %

Fig.2 Anomalies from average years flows in chosen periods from 1931-1980 in %



Obr.3 Odchýlky priemerných ročných prietokov obdobia 1961-2000 od 1931-1980 v %

Fig.3 Anomalies from average years flows in period 1961-2000 from 1931-1980 in %

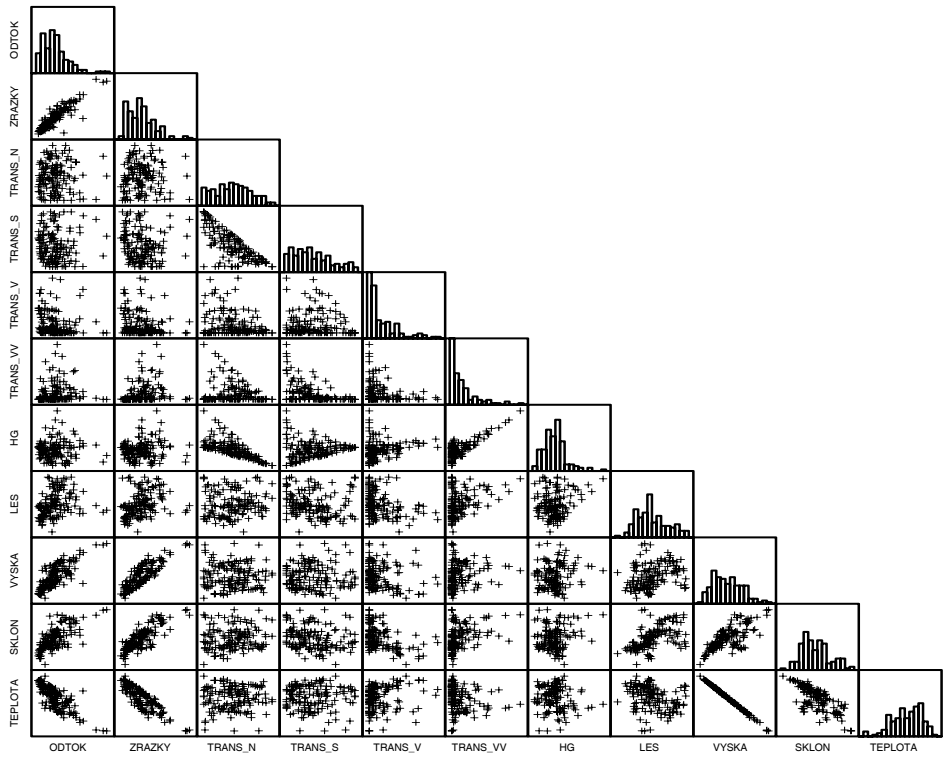


Obr.4 Priemerné ročné prietoky v relatívnych hodnotách a ich trend
Fig.4 Average years flows in relatives values and theirs trend

Priemerné ročné prietoky krátkych radov, alebo mimo staníc boli prevzaté ako výstupy úlohy Priemerné mesačné prietoky. Stanovili sa ako priemer denných prietokov jednotlivých mesiacov, ktoré boli odvodené pomocou regresie, extrapoláciou, interpoláciou alebo bilančne. Zároveň ako podpora alebo overenie hodnôt bola urobená regionalizácia priemerného ročného odtoku za obdobie 1961-2000.

2.1 Regionalizácia odtoku

Účelom regionalizácie bolo vyčlenenie homogénnych povodí z hľadiska tvorby odtoku, ktoré by umožňovalo stanoviť odtok z akéhokoľvek územia územia.
Zo súboru 130 staníc, z ktorých prevažná časť mala pozorovanie za obdobie 1961-2000 (v oblastiach s chýbajúcimi stanicami boli doplnené rady existujúcich staníc s pozorovaním nad 30 rokov na 40 - ročie) boli stanovené závislosti priemerného ročného odtoku od fyzicko-geografických a klimatickými charakteristík (priemerný ročný úhrn zrážok 1961-2000, priemerná ročná teplota vzduchu 1961-2000, indexy priepustnosti charakterizujúce geologickú stavbu povodia, percento pokrytia povodia lesom, priemerná nadmorská výška, priemerný sklon). Vytvorené závislosti nám slúžili na výber nezávislých premenných pre stanovenie viacnásobnej regresnej rovnice a ich grafické vyjadrenie predstavuje Obr.5.



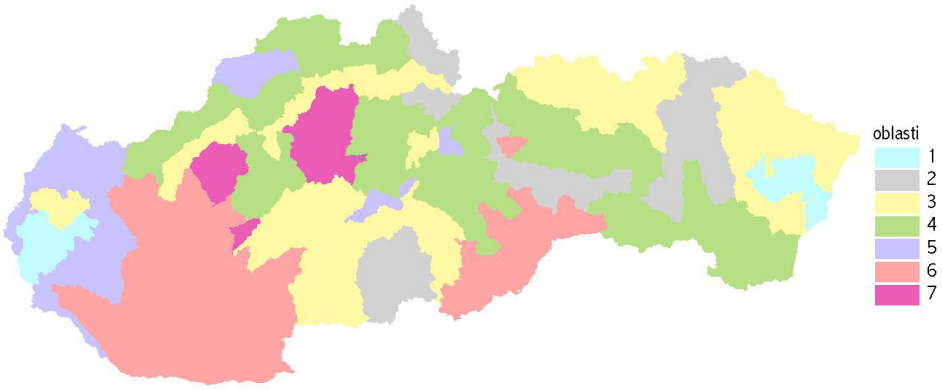
Obr.5 Závislosti odtoku od fyzickogeografických a klimatických cahrakteristík

Fig.5 Dependency of flow from physicalgeographic and climatic characteristics

Pre územia Slovenska najlepšie výsledky dávala regresná rovnica vyjadrujúca závislosť odtoku od priemerného úhrnu zrážok na povodie a priemernej teploty na povodie majúca tvar

$$\text{Odtok} = 1.06^{*}\ \text{zrážky} - 5{,}851^{*}\ \text{teplota} - 512.446$$

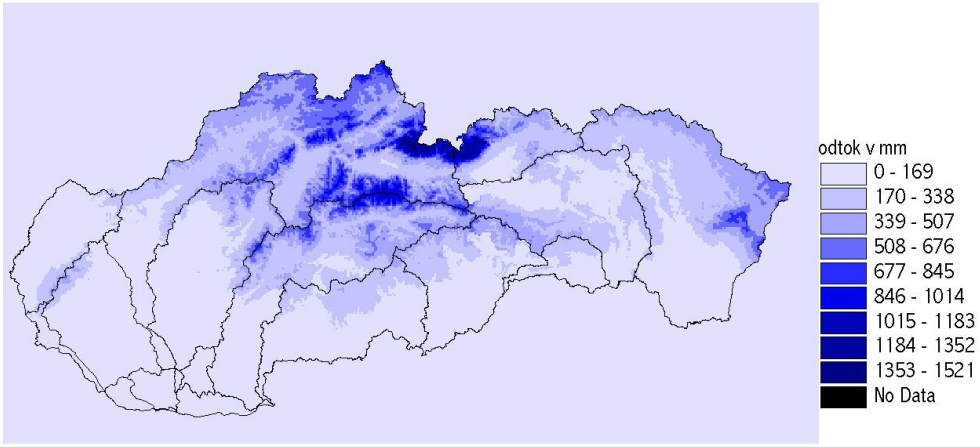
Na základe odchýliek medzi meraným odtokom a odtokom vypočítaným z tejto rovnice bolo vyčlenených na území Slovenska 7 oblastí (Obr. 6) , pričom lokalizácia stanice nepredstavovala iba bod, ale povodie.



Obr.6 Oblasti odtoku

Fig.6 Regions of runnof

Pre každú oblasť boli opäť stanovené vzťahy odtoku s charakteristikami povodí. Najlepšie korelácie s odtokom boli zistené pre úhrn zrážok, teplotu vzduchu a sklon. F pomer ukázal, že vypočítané rovnice sú pri hladine významnosti 0.05 signifikantné, t. j. rovnice sú zo štatistického hľadiska použiteľné pre odhad odtoku. Použiteľnosť sme overili aj výpočtom pre jednotlivé oblasti. Problém bol pre oblasť 6, v ktorej sa nachádzalo veľmi málo staníc a kde vychádzal aj záporný odtok. Z toho dôvodu sme rovnicu nahradili len závislosťou odtoku od sklonu a výsledky sú realistickejšie. Mapu odtoku stanoveného uvedeným spôsobom predstavuje Obr. 7.



Obr. 7 Mapa odtoku

Fig. 7 Map of runoff

Odchýlky odtoku vypočítaného z mapy a skutočne nameraného sa pohybovali v rozpätí –23-14 % zo súboru 130 staníc.
Pre stanovenie odtoku sme vytvorili regióny aj podľa mapy geomorfologických jednotiek (Lukniš, Mazúr) ako aj mapy typov režimu (Šimo, Zaťko, 1980), ale výsledky nedosiahli požadovanú presnosť.
Získané výsledky vstupujú spolu z priemernými úhrnmi zrážok do rovnice jednoduchej hydrologickej bilancie, kde v súčasnosti je overovaná presnosť ich stanovenia. V prípade nezrovnalostí sú hodnoty upresňované.

ZÁVER

Po ukončení prác bude vytvorená databáza priemerných ročných prietokov a odtoku za obdobie 1961-2000. V budúcnosti by bolo potrebné pokračovať na spracovaní ucelených povodí v prostredí GIS aj pre hraničné toky, pretože v týchto prípadoch museli byť údaje doplnené iným spôsobom. Zhotovená bude aj mapa priemerného odtoku za obdobie 1961-2000 v Arc View, z ktorej pomocou systému spájania podrobných povodí bude veľmi jednoduché a rýchle určiť prietokové charakteristiky.
Výsledky riešenia budú kvalitným nástrojom pre expertíznu činnosť, hodnotenie stavu a implementáciu Rámcovej smernice EÚ o vodách, ktorý umožní spoľahlivo stanoviť priemerné ročné prietoky pre povodia s plochou väčšou ako 30 km^2 na území celej Slovenskej republiky. Týmto sa podstatne skvalitnia informácie o priestorovom rozdelení zdrojov povrchovej vody.

Literatúra

Friga, J. (1984): Metódy hydrologickej analógie a ich použitie v operatívnej hydrológii. Kandidátska dizertačná práca, Košice.

Grešková, A. (1999): Výskyt a ročné rozdelenie minimálnych prietokov na slovenských tokoch. Geografický časopis, 51.

Hanušin, J. (1999): Typizácia režimu odtoku na príklade vybraných povodí Slovenska. Geografický časopis, 51.

Holko, L.,Šipikalová H.,Parajka J.,Kostka Z. (2004) : K hydrologickému členeniu Slovenska z hľadiska priemerného ročného odtoku. ACTA HYDROLOGICA SLOVACA, Ročník 5, č.1,2004,14-23

Holko, L. (2003): Výpočet fyzicko-geografických, klimatických a hydrologických charakteristík pre vybrané povodia na slovenských vodných tokoch. Čiastková záverečná správa, Ústav hydrológie SAV.

Holko, L. (2003a): Výpočet fyzicko-geografických, klimatických a hydrologických charakteristík pre vybrané povodia na slovenských vodných tokoch. Hydrologická regionalizácia. Záverečná správa, Ústav hydrológie SAV.

Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. (1997): Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Kašpárek, L. (2000): Vliv kolísaní klimatu na postup výpočtu návrhových hydrologických dat, Hydrologické dny 2000, Zborník konferencie, Plzeň Kolektív (1970): Hydrologické pomery ČSSR, Diel I., II., III. Hydrometeorologický ústav, Praha.

Kohnová, S., Solín, Ľ. (2002): Hydrologická a hydrogeografická regionálna typizácia a regionalizácia Slovenska. In: 100. Výročie narodenia akademika Duba, Slovenský hydrometeorologický ústav, Kat. Vodného hospodárstva krajiny Stavebnej fakulty STU, Ústav hydrológie SAV, Výskumný ústav vodného hospodárstva, Slovenský výbor pre hydrológiu, Združenie zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve na Slovensku, Bratislava, 29-36.

Kolektív (1970): Hydrologické pomery ČSSR, Diel I., II., III. Hydrometeorologický ústav, Praha.

Kolektív (2002): Výskum vplyvu antropogénnych faktorov na vodné systémy. Záverečné správy čiastkových úloh úlohy RVT 27-34, VÚVH, Bratislava.

Mazúr, E., Lunkiš, M.: Geomorfologické členenie SSR a ČSSR, 1986. In: Atlas krajiny Slovenskej republiky, Ministerstvo životného prostredia, ESPRIT, 2002.

Parajka, J. (2002): Zhotovenie rastrových máp priemerného ročného a dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok vybraných časových období pre územie Slovenska. Záverečná správa, Ústav

Parajka, J. (2002): Vytvorenie databázy postupne spojených podrobných plôch povodí po toku, Záverečná správa, Experimentálna hydrologická základňa, Ústav hydrológie SAV, Liptovský Mikuláš.

Parajka, J. (2001): Mapovanie dlhodobého priemerného ročného odtoku na území Slovenska, Dizertačná práca, Bratislava.

Pekárová, P. (2000): Zákonitosti kolísania priemerných ročných prietokov, NKP 9, MŽP SR, Bratislava.

Solín, Ľ. (1993): Hydrogeografické regionálne typy Slovenska z hľadiska priemernej ročnej odtokovej výšky, Geografický časopis, 45, č. 2-3, str.251 -263, Bratislava.

STN 75 1400 (2000): Hydrologické údaje povrchových vôd Základné ustanovenia

Szolgay, J., Hlavčová, K., Mosný, V., Parajka, J.(1994): Analýza prvkov vývoja vodnej bilancie na území východného Slovenska, Záverečná správa, KVHK SvF STU, Bratislava.

Szolgay, J., Hlavčová, K., Mosný, V. (1995): Časové a priestorové hodnotenie charakteru kolísania prvkov hydrologickej bilancie na území východného Slovenska Záverečná správa pre NKP SR, KVHK SvF STU, Bratislava.

Autori

RNDr. Helena Šipikalová, Regionálne stredisko SHMÚ Banská Bystrica, Zelená 5, 975 90 Banská Bystrica, helena.sipikalova@shmu.sk

RNDr. Ladislav Holko, CSc. ,Ústav hydrológie SAV, Experimentálna hydrologická základňa , Ondrášovecká 16, 031 05 Liptovský Mikuláš, holko@uh.savba.sk

Mgr. Kateřina Hrušková, Regionálne stredisko SHMÚ Banská Bystrica, Zelená 5, 975 90 Banská Bystrica, Katerina.Hruskova@shmu.sk

Beata Demeterová,, Regionálne stredisko SHMÚ Košice, Ďumbierska 26, 041 017 Košice, Beata.Demeterova@shmu.sk

Ing. Soňa Liová, Regionálne stredisko Žilina, Bôrická cesta , 011 013 Žilina,.Sona.Liova@shmu.sk

NOVÉ SPRACOVANIE HYDROLOGICKÝCH CHARAKTERISTÍK NA SLOVENSKÝCH TOKOCH

Helena Šipikalová, Kateřina Hrušková, Jana Podolinská, Peter Škoda, Lucia Velčická

Slovenský hydrometeorologický ústav vykonáva monitoring povrchových vôd za účelom získania informácií o stave a vývoji, ako aj časovej a priestorovej premenlivosti povrchovej vody. Hydrologické údaje dlhodobých režimových charakteristík poskytuje za obdobie 1931-1980. V roku 2001 sa opätovne pristúpilo k hodnoteniu radov hydrologických údajov. Vo zvolenom období 1961-2000 sa spracúvajú priemerné ročné prietoky, úhrny zrážok na povodie, priemerné mesačné prietoky a M-denné prietoky. Taktiež sa aktualizuje aj databáza N-ročných maximálnych prietokov, pričom sa využívajú celé dĺžky pozorovacích radov až do roku 2000. Tento príspevok stručne popisuje použité metódy a nástroje celého komplexu úloh spojených s týmto spracovaním.

Kľúčové slová: Hydrologická charakteristika, obdobie spracovania, fyzicko-geografické charakteristiky, spájanie povodí, databázy údajov

New evaluation of hydrological characteristics on Slovakia streams. *The Slovak Hydrometeorological Institute monitors surface water to obtain information about state, evolution, time and spatial variability. The Institute gives hydrological long-term regime characteristics for period 1931-1980. Reevaluation of hydrological series started in the year 2001. In the chosen period 1961-2000 long-term average discharges, precipitation amounts on the catchment area, long-term average monthly discharges and M-day discharges are processed. Also updating of the database T-year maximum discharges is in the processing, the whole data series till 2000 are used. This article briefly describes used methods and tools of the whole complex tasks connected with this reevaluation.*

Key words: Hydrological characteristics, period of processing, geographical characteristics, catchments joint system, databases

---

Návrhové hydrologické charakteristiky výrazne ovplyvňujú ekonomické parametre aktivít a dôležité sú pre ochranu životného prostredia a trvalo udržateľný rozvoj. Poskytujú sa v zmysle STN 75 1400: 2000 pre :

- Návrh, výstavbu a prevádzku vodohospodárskych zariadení a objektov na tokoch, cestných a železničných telesách, na úpravu tokov a pod.;
- Protipovodňovú ochranu a hodnotenie povodní;
- Všeobecné nakladanie s vodami, bilančné hodnotenie a racionálne využívanie;
- Hodnotenie kvality vody a na ochranu a tvorbu životného prostredia.

Už v minulosti sa u nás pristupovalo k spracovaniu hydrologických charakteristík veľmi systematicky. Hydrologické pomery ČSSR, I., II. a III. Diel (1970), v ktorých boli spracované údaje za 1931-1960, boli nadčasovou publikáciou. Predstavujú prístup spracovania údajov nielen vo vodomerných staniciach, ale aj v systéme riečnej siete, čo je ešte aj v dnešnej dobe pomerne ojedinelý postup.
Ďalšie spracovanie hydrologických údajov, tentoraz N-ročných maximálnych prietokov sa uskutočnilo následne po povodniach v rokoch 1974 a 1976. N-ročné maximálne prietoky boli stanovené pre 949 profilov v riečnej sieti čiastkových povodí a na základe závislosti 100-ročného špecifického odtoku od veľkosti plochy povodia bolo vyčlenených 65 regiónov.

V období rokov 1981-1988 sa stanovili priemerné ročné prietoky a úhrny zrážok na povodie, priemerné mesačné prietoky a M-denné prietoky v 1471 profiloch za reprezentatívne obdobie 1931-1980. Vo vybraných profiloch boli stanovené aj 100-ročné minimálne prietoky. Takto vzniknutá databáza doteraz slúži pre poskytovanie hydrologických údajov.

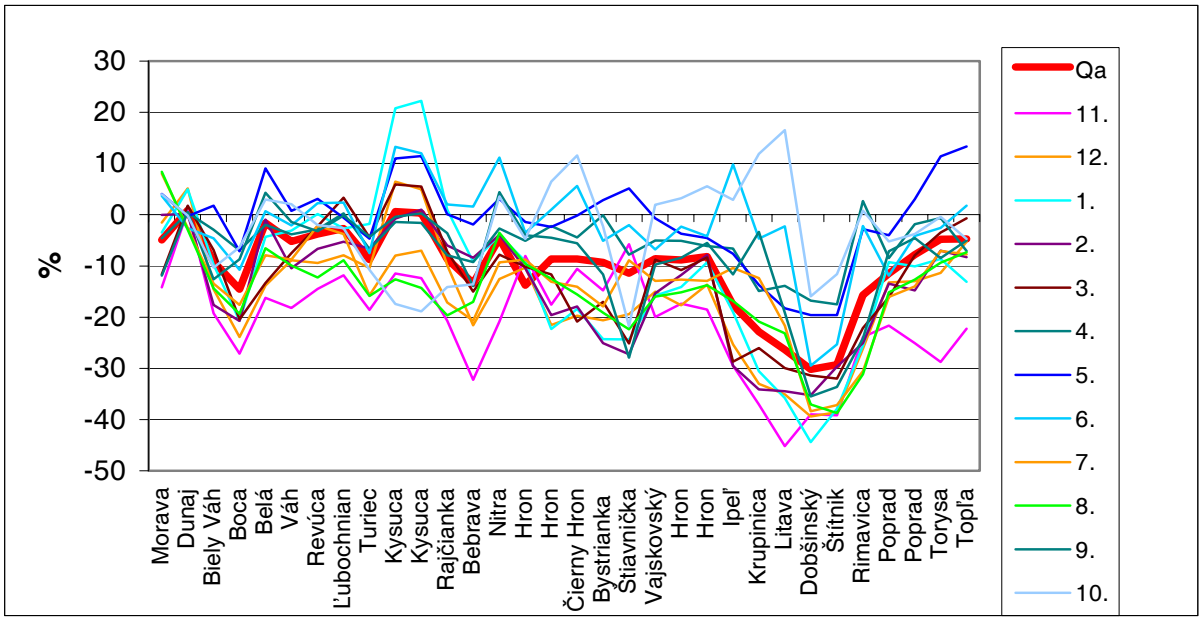
Na konci deväťdesiatych rokov minulého storočia boli zistené zmeny v charaktere hydrologických radov na niektorých slovenských riekach. Najprv v rámci Národného klimatického programu (NKP) ČSFR a neskôr v rámci NKP už samotnej Slovenskej republiky boli spracované odborné štúdie z oblasti hydrológie, klimatológie, vodného hospodárstva a ďalších. Konštatovali, že v niektorých

oblastiach Slovenska dochádza k zmenám v hodnotách priemerných prietokov. Od roku 1980 sa predĺžili o 20 rokov resp. aj vznikli nové rady údajov, vytvorili sa nové metódy a technológie spracovania.
Z týchto dôvodov hydrologická služba SHMÚ po roku 2000 opätovne pristúpila k hodnoteniu radov hydrologických údajov, najprv v staniciach s dlhodobým pozorovaním a minimálne ovplyvnených antropogénnou činnosťou, ktoré sú zaradené do NKP. Zhodnotené boli rady priemerných ročných, mesačných a denných prietokov za obdobia rôznej dĺžky a vyplynula z neho voľba obdobia.

Voľba obdobia

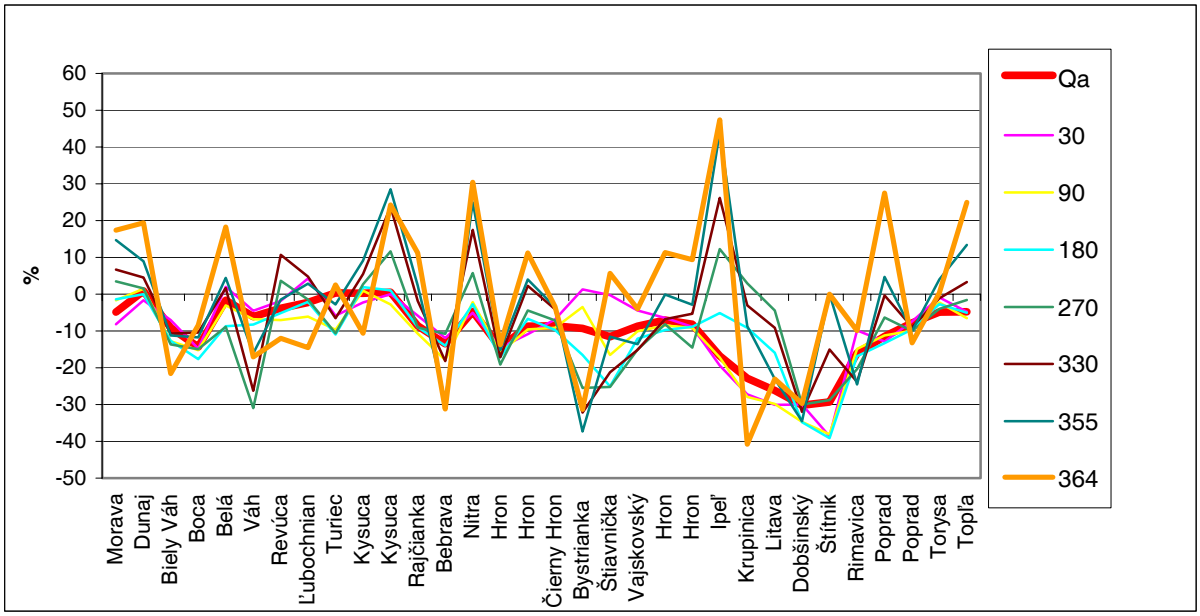
Dĺžkou obdobia pre stanovovanie priemerných hodnôt sa zaoberala Pekárová (2000), ktorá odporúča používať 26-28-ročný cyklus. Vo veľmi podobných klimatických podmienkach v Českej republike Kašpárek (2000) pri odvodzovaní prietokových charakteristík z radov priemerných prietokov, pokiaľ sa na ne pozeráme ako na stacionárne, nedoporučuje východzie obdobie dlhšie ako 50 rokov. Považuje za vhodné obmedziť dĺžku východiskového radu na 40 až 50 rokov a napríklad každých 20 rokov odhady priemerov prietoku aktualizovať. Týmto postupom sa zväčšujú nádeje na zníženie chýb, odpovedajúcich dlhodobému kolísaniu prietokov, ktoré je dôsledkom hlavne dlhodobého kolísania zrážok.
Požiadavku na čo najdlhší rad považujeme za opodstatnenú, pokiaľ je našim cieľom popísať hydrologický režim z obecného hľadiska. Požiadavka na dlhšie rady je opodstatnená aj pri odhade N-ročných maximálnych a minimálnych prietokov, nakoľko v dlhých radoch je väčšia pravdepodobnosť výskytu extrémnych javov. Pokiaľ však je cieľom poskytnúť podklady pre návrh, riešenie, resp. posúdenie určitej activity, nepotrebujeme popísať minulosť, ale predpoveď na určité obdobie.
Zvážením uvedených skutočností, berúc do úvahy výsledky analýz údajov za rôzne obdobia a použitie východiskového materiálu z podstatne väčšieho počtu staníc, bolo na vstupnej oponentúre zvolené ako referenčné obdobie 1961-2000.

Pre porovnanie rozdielov priemerných ročných, mesačných a M-denných prietokov v staniciach NKP (Obr. 1, 2) uvádzame percentuálne odchýlky charakteristík obdobia 1961-2000 od obdobia 1931-1980.



Obr. 1 Odchýlky Q_a, Q_{ma} obdobia 1961-2000 od 1931-1980 v staniciach NKP

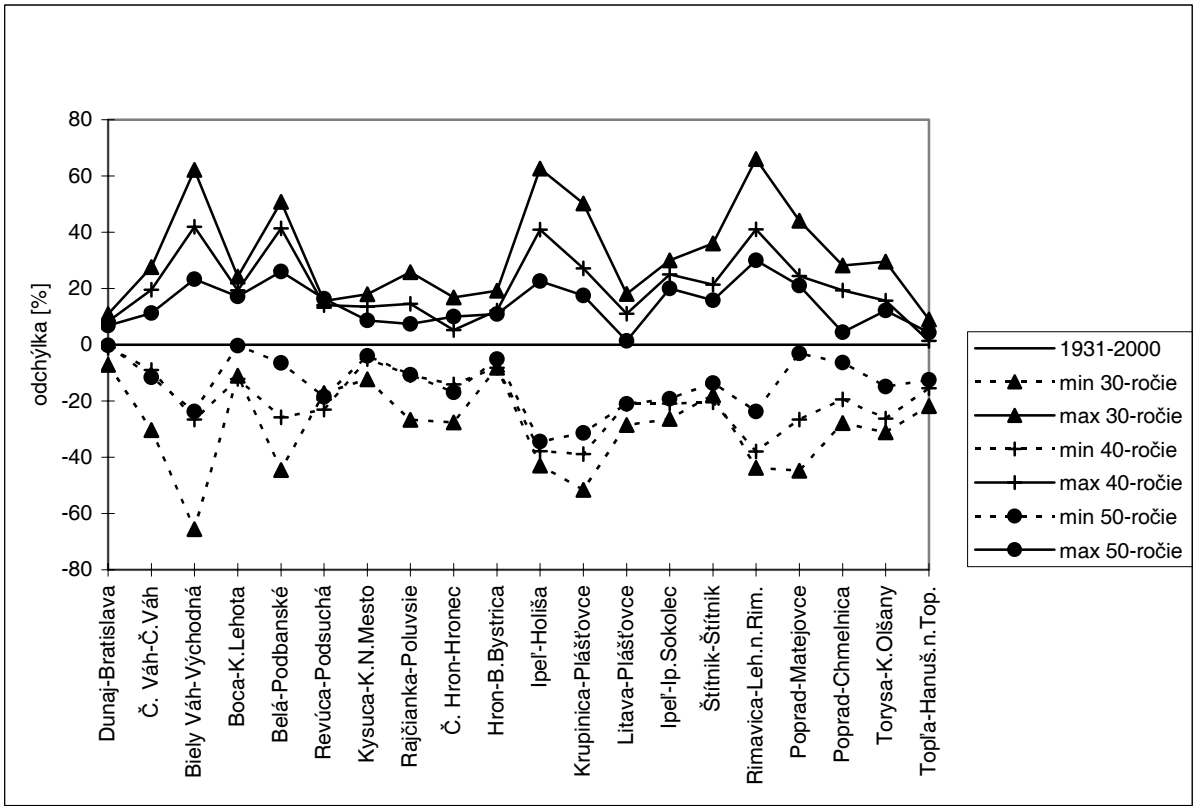
Fig. 1Deviations Q_a, Q_{ma} between period 1961-2000 and 1931-1980 in the National Climatic Programme water-gauging stations



Obr. 2 Odchýlky Q_a, Q_{Md} obdobia 1961-2000 od 1931-1980 v staniciach NKP

Fig. 2 Deviations Q_a, Q_{Md} between period 1961-2000 and 1931-1980 in the National Climatic Programme water-gauging stations

Priebeh odchýlok hodnôt $Q_{max.100}$ za 30, 40 a 50-ročia kĺzaním po 1 roku teoretickým rozdelením log-normal od $Q_{max.100}$ za obdobie 1931-2000 pre vybrané stanice NKP je na obrázku 3.



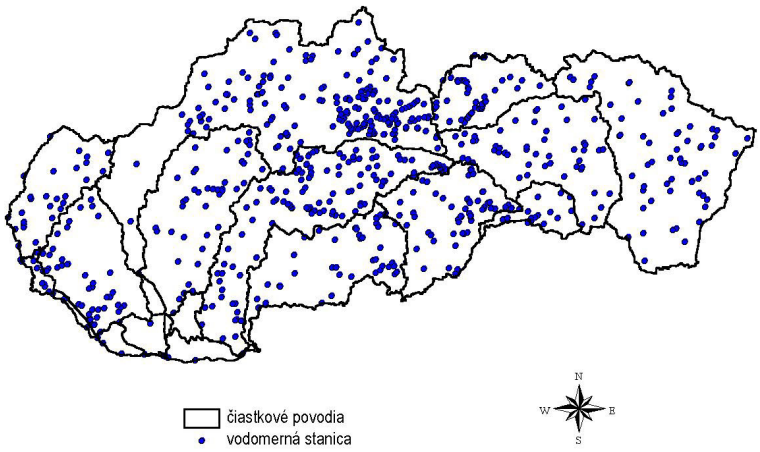
Obr. 3 Odchýlky $Q_{max.100}$ za rôzne obdobia od $Q_{max.100}$ za obdobie 1931-2000 vo vybraných staniciach NKP

Fig. 3 Deviations betveen $Q_{max.100}$ for different periods and $Q_{max.100}$ for period 1931-2000 in the selected National Climatic Programme water-gauging stations

Podkladové údaje

Vstupnými údajmi boli priemerné denné prietoky z takmer 1000 vodomerných staníc (Obr. 4), ktoré pozorovali aspoň jeden rok v období 1961-2000 a sú uložené v Hydrologickom informačnom systéme SHMÚ (HIS). V súčasnosti je databáza kvantitatívnych údajov budovaná v relačnom DB systéme Ingres na WSDEC station 5000/133 pod OS Ultrix 4.4. Aplikačnými softvermi je možné z tejto databázy vo vodomerných staniciach stanoviť priemerné ročné, mesačné a M-denné prietoky. Sčítaním resp. odčítaním viacerých staníc je možné získať fiktívne stanice, čím sa obohacujú vstupné údaje.
Nakoľko údaje sa odvodzujú pre prirodzený režim bolo potrebné "očistiť" ovplyvnené prietoky. K tomu boli použité údaje o nakladaní s vodou z databázy Vodnej bilancie od roku 1976 v mesačnom kroku.

Pred spracovaním boli údaje testované a podrobené analýze. Osobitne sa to týkalo ročných maximálnych kulminačných prietokov. Spätne sa analyzovali a upravovali vstupné údaje z vodomerných staníc na základe vynesených vzťahov kulminačných prietokov a im odpovedajúcich vodných stavov za celé pozorovacie obdobie. Do tohto vzťahu sa zakreslili výsledky meraní prietokov pri vysokých vodných stavoch. Za predpokladu podstatnej nemenlivosti prietočného profilu bol rozptyl vynesených bodov pomerne malý a v podstate sa stotožňval s mernou krivkou prietokov. V prípade, že tomu tak nebolo, skúmali sa príčiny.



Obr. 4 Mapa vodomerných staníc

Fig. 4 Map of water-gauging stations

Veľa riešení bolo vykonaných v prostredí ArcView, kde sa pracovalo s nasledujúcimi vrstvami z územia SR:

- stanice monitorovacej siete povrchových vôd 1:50 000
- stanice zrážkomernej siete
- stanice klimatologickej siete
- rozvodnice podrobných povodí SR 1:50 000
- riečna sieť 1:50 000
- geologická mapa 1:200 000
- SVM 50
- digitálny model reliéfu 1: 50 000

- zrážky za obdobie 1961-2000
- teploty za obdobie 1961-2000
- odtok za obdobie 1961-2000

Metodika a postup riešenia

Našou snahou bolo, aby metodiky využívali nové postupy a technológie, ale zároveň aby bola dodržaná kontinuita s predchádzajúcim spracovaním. Využívali sa aj odborné skúsenosti pracovníkov poskytujúcich hydrologické posudky, ktorí detailne poznajú nimi spravované čiastkové povodia.
V prvom rade sa vytvorili metodiky stanovenia:

- priemerných ročných prietokov
- priemerných úhrnov zrážok na povodie
- priemerných mesačných prietokov
- M-denných prietokov
- N-ročných maximálnych prietokov

Tieto metodiky sa snažili o využitie viacerých metód, aby sa správne odhadli miery neistoty a mohli stanoviť charakteristiky tak, aby boli zosúladené v systéme riečnej siete.

Súbežne sa pripravovali podklady pre prácu v geografickom informačnom systéme (GIS) .

Digitalizované boli stanice, ktoré už nepozorujú a upresnené boli koordináty pozorujúcich staníc pre vrstvu použitej riečnej siete v systéme ArcView.
Obdobne boli stanovené rozvodnice k vodomerným staniciam, ktoré nie sú stanovené vo Vodohospodárskej mape 1 : 50 000.
Výpočet územného priemeru (napr. nadmorskej výšky, úhrnu zrážok…) v prostredí GIS je veľmi jednoduchým úkonom za predpokladu, že sú k dispozícií údaje v príslušnej digitálnej forme. V prípade určovania územného priemeru je potrebné vektorové alebo rastrové vyjadrenie záujmového územia (povodia) a digitálne mapy analyzovaného prvku (napr.model reliéfu, mapa zrážok…).

Hlavným problémom pri priestorovom vyjadrení rozvodníc (plôch povodí aj medzipovodí) bolo, že existujúca digitálna vrstva rozvodníc (Obr. 5) popisuje samostatne len jednotlivé podrobné povodia. Pre riešenie bolo potrebné určovať plochu pre akékoľvek povodie, teda vo väčšine prípadov pozostávajúce z viacerých podrobných povodí.
Tento problém nám vyriešilo pracovisko ÚH SAV, Experimentálna základňa Liptovský Mikuláš. Rozdelilo existujúcu vrstvu na jednotlivé časti a vytvorilo program na vytváranie systému spájania jednotlivých podrobných povodí pre celé územie Slovenska. Príklad štruktúry pracovných listov Excelu popisujúcich systém spájania povodí predstavuje Obr. 6.

V spolupráci s týmto pracoviskom bola vytvorená aj rastrová mapa priemerných úhrnov zrážok na povodie za obdobie 1961-2000 metódou mapovej algebry máp za jednotlivé roky zhotovené interpolačnou metódou trojrozmerného regularizovaného splajnu s tenziou. Takýmto spôsobom boli maximálne využité údaje zo zrážkomerných staníc a totalizátorov na území Slovenska aj prihraničných oblastí susedných krajín.

Pre stanovenie priemernej ročnej teploty na povodie za obdobie 1961-2000 bola vytvorená mapa priemerných ročných teplôt.



Obr. 5 Podrobné rozvodnice povodí

Fig. 5 Detailed watershed divides

Microsoft Excel - system_spajania_ESPRIT.xls [iba na čítanie]

Súbor Úpravy Zobraziť Vložiť Formát Nástroje Údaje Okno Pomocník REGRESIA REGRESIA REGRESIA

G232

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	directory= C:\povodia\4-23-05\						musi byt jeden volny stlpec!!!				
2	row OD= 947	DO=	1100	spoj_SHP							
3	VYPISOVAT AREA DO STLPCA C.	11									
4	Tok	Profil	Základ.	Číslo hdlg.p	radia			Rád	Plocha	PlochaGis	K=PlochaGI
228	Hron	nad Bystriankou	4-23-02	001s	001	4-23-01-111s		2	921.118	922.925	1.002
229	Bystrianka	nad pravostranným prítokom spod Zálomo	4-23-02	002				3	22.475	22.690	1.010
230	Bystrianka	od pravostranného prítoku spod Zálomov p	4-23-02	003				3	13.422	11.821	0.881
231	Bystrianka	Bystrá	4-23-02	003s	003	002		3	35.897	34.512	0.961
232	Bystrianka	od Bystrej po Štiavničku	4-23-02	004				3	0.31	0.594	1.915
233	Bystrianka	nad Štiavničkou	4-23-02	004s	004	003s		3	36.207	35.105	0.970
234	Štiavnička	nad Kumštovským potokom	4-23-02	005				4	7.318	7.419	1.014
235	Kumštovsk	ústie	4-23-02	006				5	4.635	4.745	1.024
236	Štiavnička	pod Kumštovský potokom	4-23-02	006s	006	005		4	11.953	12.164	1.018
237	Štiavnička	od Kumštovského potoka po Mlynnú	4-23-02	007				4	14.524	14.634	1.008
238	Štiavnička	nad Mlynnou	4-23-02	007s	007	006s		4	26.477	26.798	1.012
239	Mlynná	ústie	4-23-02	008				5	13.573	13.482	0.993
240	Štiavnička	pod Mlynnou	4-23-02	008s	008	007s		4	40.05	40.279	1.006
241	Štiavnička	od Mlynnej po Mýto pod Ďumbierom	4-23-02	009				4	7.05	6.075	0.862
242	Štiavnička	Mýto pod Ďumbierom	4-23-02	009s	009	008s		4	47.1	46.354	0.984
243	Štiavnička	od Mýta pod Ďumbierom po ústie	4-23-02	010				4	6.658	6.188	0.929
244	Štiavnička	ústie	4-23-02	010a	010	009s		4	53.758	52.542	0.977
245	Bystrianka	pod Štiavničkou	4-23-02	010s	010a	004s		3	89.965	87.647	0.974
246	Bystrianka	od Štiavničky po ústie	4-23-02	011				3	6.622	6.654	1.005
247	Bystrianka	ústie	4-23-02	011a	011	010s		3	96.587	94.302	0.976
248	Hron	pod Bystriankou	4-23-02	011s	011a	001s		2	1017.705	1017.226	1.000
249	Hron	od Bystrianky po Hnusné	4-23-02	012				2	0.866	0.895	1.034
250	Hron	nad Hnusným	4-23-02	012s	012	011s		2	1018.571	1018.122	1.000
251	Hnusné	nad Richtárovom	4-23-02	013				3	11.048	10.129	0.917
252	Richtárovo	ústie	4-23-02	014				4	3.184	3.387	1.064
253	Hnusné	pod Richtárovom	4-23-02	014s	014	013		3	14.232	13.516	0.950
254	Hnusné	od Richtárova po prítok z Hornej Lehoty	4-23-02	015				3	1.518	1.511	0.995
255	Hnusné	nad prítokom z Hornej Lehoty	4-23-02	015s	015	014s		3	15.75	15.027	0.954
256	Hnusné	vrátane prítoku z Hornej Lehoty po ústie	4-23-02	016				3	5.754	5.760	1.001
257	Hnusné	ústie	4-23-02	016a	016	015s		3	21.504	20.787	0.967
258	Hron	pod Hnusným	4-23-02	016s	016a	012s		2	1040.075	1038.908	0.999
259	Hron	od Hnusného po Čelno	4-23-02	017				2	10.395	10.806	1.039
260	Hron	nad Čelnom	4-23-02	017s	017	016s		2	1050.47	1049.714	0.999
261	Čelovo	ústie	4-23-02	018				3	14.468	14.596	1.009

3-01 4-33 4-32 4-31 4-30 4-24 4-23 4-21 4-20 4-17 4-13 funkcia

Pripravený 123

Štart Doručená pošta - ... Preskúmava sa - ... SpravodajcaHD... graf.xls system_spajan... Preskúmava sa - ... 16:26

Obr. 6 Pracovný list excelu v systéme spájania povodí

Fig. 6 Excel worksheet in the catchments joint system

Systém spájania bol použitý pri stanovovaní nasledovných fyzicko-geografických a klimatologických charakteristík:

- Priemerná nadmorská výška
- priemerný sklon
- orientácia
- priemerný ročný úhrn zrážok na povodie
- priemerná teplota na povodie
- transmisivita (hydrogeologický index)
- percento zalesnenia

Jednotlivé charakteristiky budú spracované pre profily :

- vodomerné stanice
- ústia tokov s plochou povodia spravidla väčšou ako 50 km^2
- vo významných uzloch riečnej siete
- profily vodnej bilancie SR

Databázy charakteristík slúžia v ďalšom pre regionalizáciu a regionálnu typizáciu vybraných charakteristík, resp. pre ich overenie, ktoré sa práve v súčasnosti vykonávajú v spolupráci s STU a ÚH SAV. Tie budú slúžiť pre priestorové rozdelenie charakteristík. Výstupom budú mapy priemerných úhrnov zrážok, odtoku za obdobie 1961-2000 a mapy regiónov resp. regionálnych typov charakteristík.

Pri spracovaní a analýze dát sa okrem už uvedených softverov vytvoril v rámci úlohy aj aplikačný softver nad HIS pre kĺzanie priemerných ročných, mesačných a M-denných prietokov, softver pre výber analogónov. Použitý bol Excel , CTPA, MATLAB, HQ-EX.

Záver a diskusia

Po ukončení prác do roku 2006 by mali byť vytvorené databázy charakteristík ako aj regionalizácia resp. regionálna typizácia charakteristík. Keďže povodia nerešpektujú hranice, v ďalšom by sme chceli pokračovať na spracovaní ucelených charakteristík v GIS aj pre hraničné toky, pretože v týchto prípadoch museli byť údaje doplnené iným spôsobom.

Výsledky riešenia budú kvalitným nástrojom pre expertíznu činnosť, hodnotenie stavu a implementácie Rámcovej smernice EÚ o vodách, ktorý umožní spoľahlivo stanoviť hydrologické charakteristiky pre povodia s plochou väčšou ako 30 km^2 na území celej Slovenskej republiky. Týmto sa podstatne skvalitnia informácie o časovom a priestorovom rozdelení zdrojov povrchovej vody.

Literatúra

Kašpárek, L. (2000): Vliv kolísaní klimatu na postup výpočtu návrhových hydrologických dat, Hydrologické dny 2000, Zborník konferencie, Plzeň.

Kohnová, S. (2001): Regionálna analýza maximálnych sezónnych prietokov na Slovensku. Habilitačná práca. SvF STU Bratislava.

Kolektív (1970): Hydrologické pomery ČSSR, Diel I., II., III. Hydrometeorologický ústav, Praha.

Kolektív (2002): Výskum vplyvu antropogénnych faktorov na vodné systémy. Záverečné správy čiastkových úloh úlohy RVT 27-34, VÚVH, Bratislava.

Parajka, J. (2001): Mapovanie dlhodobého priemerného ročného odtoku na území Slovenska, Dizertačná práca, Bratislava.

Parajka, J. (2002): Vytvorenie databázy postupne spojených podrobných plôch povodí po toku, Záverečná správa, Experimentálna hydrologická základňa, Ústav hydrológie SAV, Liptovský Mikuláš.

Pekárová, P. (2000): Zákonitosti kolísania priemerných ročných prietokov, NKP 9, MŽP SR, Bratislava.

Solín, Ľ. (1993): Hydrogeografické regionálne typy Slovenska z hľadiska priemernej ročnej odtokovej výšky, Geografický časopis, 45, č. 2-3, str.251 -263, Bratislava.

STN 75 1400 (2000): Hydrologické údaje povrchových vôd Základné ustanovenia

Szolgay, J., Hlavčová, K., Mosný, V., Parajka, J.(1994): Analýza prvkov vývoja vodnej bilancie na území východného Slovenska, Záverečná správa, KVHK SvF STU, Bratislava.

Szolgay, J., Hlavčová, K., Mosný, V. (1995): Časové a priestorové hodnotenie charakteru kolísania prvkov hydrologickej bilancie na území východného Slovenska Záverečná správa pre NKP SR, KVHK SvF STU, Bratislava.

Autori

RNDr. Helena Šipikalová, Regionálne stredisko SHMÚ Banská Bystrica, Zelená 5, 975 90 Banská Bystrica, helena.sipikalova@shmu.sk

Mgr. Kateřina Hrušková, Regionálne stredisko SHMÚ Banská Bystrica, Zelená 5, 975 90 Banská Bystrica, katerina.hruskova@shmu.sk

RNDr. Jana Podolinská, Regionálne stredisko SHMÚ Banská Bystrica, Zelená 5, 975 90 Banská Bystrica, jana.podolinska@shmu.sk

RNDr. Peter Škoda, SHMÚ, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, peter.skoda@shmu.sk

Mgr. Lucia Velčická, SHMÚ Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, lucia.velcicka@shmu.sk

PRIEMERNÉ MESAČNÉ PRIETOKY NA SLOVENSKU ZA OBDOBIE 1961-2000

Peter Škoda, Helena Šipikalová, Beata Demeterová, Viera Gápelová, Zuzana Danáčová

Hydrologická služba Slovenského hydrometeorologického ústavu pristúpila v roku 2001 k prepracovaniu dlhodobých hydrologických charakteristík za obdobie 1961-2000, ktoré bolo navrhnuté ako nové referenčné obdobie. V príspevku sú popísané podkladové údaje pre riešenie úlohy, spôsoby extrapolácie kratších radov, metóda rozpracovania priemerných mesačných prietokov do medziprofilov a zhodnotený vývoj odtokových pomerov na slovenských tokoch.

Kľúčové slová: nové referenčné obdobie, hydrologické charakteristiky, dlhodobé priemerné mesačné prietoky, rozdelenie odtoku v roku

***Mean monthly discharges the Slovakia for the period 1961-2000**. Hydrological Service of Slovak Hydrometeorological Institute begun in 2001 to overwork longterm hydrologic characteristic for period 1961-2000 proposed as the new reference period. The contribution contents mentioned basic data used for this item, kinds of extrapolation of shorter series, method of means monthly discharges and the evolution of development of Slovak streams runoff condition..*

Key words:new reference period, hydrologic characteristic, long average means discharges months, distribution runoff in year

---

ÚVOD

Priemerné mesačné prietoky boli po prvý raz spracované v Hydrologických pomeroch, na rozdiel od bilančných charakteristík a M- denných prietokov boli spracované však iba pre profily vodomerných staníc s 10-ročným a viacročným vyhodnocovaním prietokov. Pri spracovaní priemerných mesačných prietokov za obdobie 1931-1980 boli priemerné mesačné prietoky spracované už nielen pre profily vodomerných staníc, ale aj pre profily vodohospodárskej bilancie kvantity a kvality, profily vo vodohospodárskych uzloch a ďalšie významné body riečnej siete, spolu pre 1471 profilov na celom území Slovenska. Začiatkom deväťdesiatych rokov minulého storočia boli monitorované zmeny v hydrologických radoch na niektorých slovenských riekach a práve z iniciatívy hydrológov hydrologickej služby SHMÚ začali práce na identifikovaní týchto zmien. Jedným z výsledkov hydrologických štúdií bolo aj konštatovanie, že v niektorých oblastiach Slovenska, najmä v jeho juhovýchodných a južných častiach, sú zmeny v hodnotách dlhodobých priemerných prietokov a niektorých dlhodobých priemerných mesačných prietokov tak výrazné, že platné hydrologické údaje, spracované za obdobie 1931-1980 už nevystihujú realitu a je potrebné ich aktualizovať. V roku 2001 sa začala riešiť úloha Hydrologické charakteristiky slovenských tokov, pričom jednou z z čiastkových úloh sú Dlhodobé priemerné mesačné prietoky na slovenských tokoch. Normatívnu podporu tejto úlohy predstavuje STN 75 1410-02 Hydrológia, Hydrologické údaje povrchových vôd, Kvantifikácia priemernej vodnosti, Časť 2: Charakteristiky mesačných vodných stavov a prietokov.

PODKLADOVÉ ÚDAJE A DATABÁZOVÉ PROSTRIEDKY

Pre riešenie úlohy boli použité prietokové údaje zo všetkých vodomerných staníc, ktoré v období 1961-2000 vyhodnocovali prietoky, ako aj údaje o užívaní vody. Hlavným zdrojom získavania údajov o užívaní vody boli ročenky Štátnej vodohospodárskej bilancie, ako aj register podzemných vôd a výdatnosti prameňov.

V súčasnosti sa databáza hydrologických režimových kvantitatívnych údajov buduje v relačnom DB systéme Ingres na WSDEC station 5000/133pod OS Ultrix 4.4. Okrem štandardných výstupov, umožňujúcich spracovanie priemerných denných, mesačných a ročných prietokov za ľubovoľné obdobie, obsahuje hydrologická databanka aj výstupy, umožňujúce formou bilancovania vypočítať charakteristiky priemerných mesačných prietokov aj pre tzv. fiktívne profily algebraickým súčtom aspoň dvoch, ale aj viac prietokových radov. (Napr. prirodzený odtokový režim Váhu vypočítame postupným bilancovaním priemerných mesačných prietokov vo vodomernej stanici Váh – Liptovský Mikuláš a vo vodomerných staniciach na prítokoch Váhu).

POSTUP PRI RIEŠENÍ ÚLOHY

Postup pri rozpracovaní dlhodobých priemerných mesačných prietokov do medziprofilov možno zjednodušene zhrnúť do nasledovných bodov:

- Výpočet dlhodobých priemerných mesačných vo vodomerných staniciach za obdobie 1961-2000 a očistenie týchto prietokov, ak je miera ich ovplyvnenia signifikantná.
- Extrapolácia priemerných mesačných prietokov vo vodomerných staniciach s prietokovým radom kratším ako 1961-2000 a ich očistenie.
- Výpočet priemerných mesačných prietokov vo fiktívnych profiloch (bilancovaním dvoch a viac staníc) a ich očistenie.
- Pri rozpracovaní dlhodobých mesačných prietokov do profilov mimo vodomerných staníc boli dodržiavané zásady hydrologického bilancovania po toku, prirodzeného vývoja špecifických odtokov v jednotlivých medzipovodiach s využitím výsledkov expedičných meraní a hydrometrovaní.

Na rozdiel od posledného spracovania priemerných mesačných prietokov sa pri extrapolácii kratších prietokových radov neurčovala hydrologická stanica- analogón- subjektívne, ale využili sme algoritmus, ktorý pre daný kratší rad vyberie jeden, resp. aj viac analogónov na základe najlepšej zhody rozdelenia odtoku v roku za spoločné (aspoň 5-ročné) obdobie. Uvádzame fragment výberu najlepšieho analogónu pre vodomernú stanicu 6070 Blatnica - Gaderský potok.

Tab. 1. Ukážka výberu najlepší analogón pre stanicu Blatnica - Gaderský potok
Regresia priemerných mesačných prietokov za najdlhšie spoločné obdobie:

Číslo stanice	Názov stanice	Koeficient regresie	Počet rokov
6090	Blatnica (Bl. potok)	0,997	9
7065	Mýto p. Ďumbierom	0,995	32
6060	Dedošova dolina	0,994	30
5740	Podsuchá	0,994	32
8533	Stratená	0,992	8
6110	Príbovce	0,991	17

Pre extrapoláciu prietokového radu Blatnica - Gaderský potok na obdobie 1961 - 2000 bol vybraný ako analogón prietokový rad vo vodomernej stanici Štiavnička - Mýto pod Ďumbierom.

ANALÝZA DOSIAHNUTÝCH VÝSLEDKOV A POROVNANIE PRIETOKOV ZA OBDOBIE 1961-2000 A 1931-1980.

V Tab. 2 uvádzame porovnanie priemerných mesačných prietokov za obdobie 1961-2000 a 1931-1980 vo vybraných vodomerných staniciach, zaradených aj do NKP, u ktorých takéto porovnanie môžeme považovať za korektné. Podrobnejšie sme sa porovnávaniu hydrologickej bilancie za uvedené obdobia venovali v [Šipikalová et al.2003]. Napriek tomu, že Slovensko je malá krajina, vyskytujú sa v nej nielen pomerné výrazné rozdiely v režime odtoku, ale rovnako rozdielne sú aj zmeny vodnosti

v porovnaní s predchádzajúcim obdobím 1931-1980. Podrobný plošný obraz o zmenách v odtokovom režime by poskytlo len porovnanie priemerných mesačných prietokov za uvedené obdobia po jednotlivých profiloch. Ďalej uvádzame stručný popis zmien odtoku v jednotlivých čiastkových povodiach:

Morava: Na samotnom toku došlo k poklesu dlhodobého priemerného prietoku (Q_a) o 5%, čo spôsobil predovšetkým pokles priemerných mesačných prietokov v novembri, marci a v apríli. Rovnaká situácia je aj na prítokoch v slovenskej časti povodia Moravy.

Dunaj: na Dunaji došlo k miernemu nárastu Q_a.

Váh: V najväčšom čiastkovom povodí sú povodia s pomerne výrazným poklesom Q_a, ale aj povodia, v ktorých bol vývoj opačný. Na hornom Váhu (Čierny Váh, Biely Váh, Boca) je pokles Q_a väčší ako 10%, v povodí Belej však k zmene Q_a nedošlo. Na ľavostranných väčších prítokoch Váhu (Revúca, Ľupčianka, Ľubochnianka, Turiec) je mierny, resp. nepatrný pokles Q_a, pravostranné prítoky Váhu okrem Oravy (Kysuca a prítoky z Bielych Karpát) sú bez zmeny, resp. dokonca s miernym nárastom Q_a . Na Orave v Dierovej je pokles Q_a o 7%. V povodí Varínky došlo dokonca k nárastu Q_a o 14%.

Malý Dunaj: Mierny pokles Q_a je na Trnávke, Vištuckom, Pezinskom potoku, na Gidre a Trnávke k jeho zmene nedošlo.

Nitra: Mierny nárast Q_a je v povodí Nitrice, bez zmeny je v povodí Handlovky, v ostatných povodiach je pokles približne o 5%. Povodie Žitavy sa však už radí k povodiam, v ktorých došlo k výraznému poklesu Q_a (15%), pričom najviac poklesli dlhodobé priemerné mesačné prietoky v prvej polovici hydrologického roka (november – apríl).

Hron: V celom povodí je pokles Q_a o 10%, okrem apríla a mája došlo k poklesu vo všetkých ostatných mesiacoch roka.

Ipeľ: Pokles Q_a je výrazný, často aj o 20%, mesačné prietoky poklesli v prvom polroku hydrologického roka.

Slaná: Povodie s najvýraznejším poklesom Q_a, v niektorých povodiach aj o 30%, pokles priemerných mesačných prietokov je po celý rok. Paradoxne bez akejkoľvek zmeny Q_a je Blh- Rimavská Seč.

Poprad: Povodie Dunajca je bez výraznejších zmien, v povodí Popradu pokles Q_a o 10%, pokles priemerných mesačných prietokov je po celý rok.

Hornád: Q_a poklesol o 5% na Toryse, o 15% na Hnilci a o 10% v ostatných častiach povodia. Priemerné mesačné prietoky poklesli vo všetkých mesiacoch roka.

Bodva: K poklesu Q_a na samotnej Bodve o takmer 20% prispievajú aj exploatácie vodných zdrojov, priemerné mesačné prietoky poklesli po celý rok s výnimkou apríla.

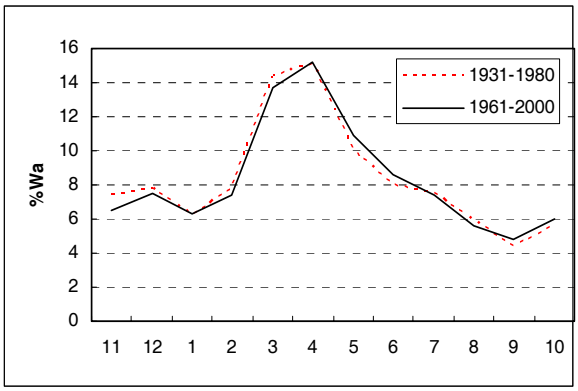
Bodrog: Bez zmeny Q_a a režimu mesačných prietokov je povodie Laborca, nárast Q_a na Latorici (3%), na Ondave (3%), pokles Q_a na Topli (5%). Tento ide na vrub poklesu priemerného mesačného prietoku v apríli.

Tab.2 Priemerné mesačné prietoky za obdobia 1961-2000 a 1931-1980 vo vybraných vodomerných staniciach
Tab.2 Mean monthly discharges for periods 1961-2000 a 1931-1980 in selected stage – discharge gauge stations

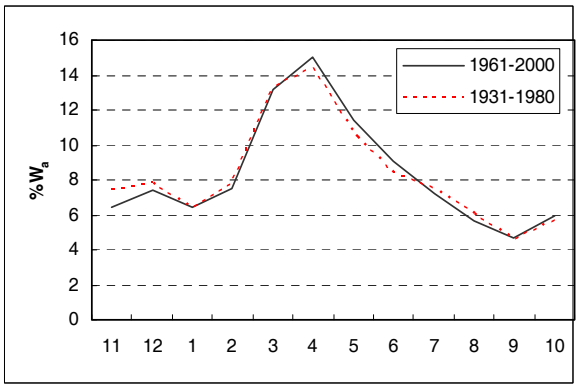
		Dlhodobé priemerné mesačné a ročné prietoky													
Stanica	Tok	Obdobie	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rok
Bratislava	Dunaj	**1961-2000**	**1480**	**1694**	**1588**	**1782**	**2103**	**2487**	**2749**	**2822**	**2605**	**2164**	**1751**	**1486**	**2061**
		1931-1980	1508	1503	1459	1716	2067	2436	2654	2892	2751	2282	1746	1511	2045
Východná	Biely Váh	**1961-2000**	**1,094**	**1,058**	**0,873**	**0,914**	**1,878**	**2,499**	**2,356**	**2,082**	**1,66**	**1,246**	**1,032**	**1,164**	**1,490**
		1931-1980	1,360	1,240	0,970	1,120	2,020	2,580	2,310	2,190	1,930	1,460	1,190	1,300	1,641
Podbanské	Belá	**1961-2000**	**2,056**	**1,547**	**1,208**	**1,045**	**1,073**	**3,875**	**9,171**	**6,819**	**5,292**	**3,722**	**3,111**	**2,696**	**3,481**
		1931-1980	2,470	1,800	1,260	1,060	1,240	3,950	8,390	6,770	5,760	3,990	2,980	2,620	3,537
Podsuchá	Revúca	**1961-2000**	**4,420**	**3,833**	**2,836**	**2,797**	**5,266**	**9,521**	**7,701**	**5,189**	**4,225**	**3,356**	**3,475**	**3,864**	**4,711**
		1931-1980	5,190	4,240	2,830	3,010	5,390	9,810	7,460	5,070	4,320	3,840	3,590	3,950	4,895
Ľubochňa	Ľubochnianka	**1961-2000**	**2,001**	**1,882**	**1,576**	**1,69**	**2,733**	**4,381**	**3,233**	**2,577**	**2,231**	**1,893**	**1,776**	**1,892**	**2,323**
		1931-1980	2,280	2,050	1,620	1,790	2,640	4,370	3,250	2,520	2,320	2,080	1,780	1,950	2,388
Čadca	Kysuca	**1961-2000**	**6,462**	**8,556**	**6,775**	**8,342**	**16,896**	**15,377**	**8,011**	**7,793**	**8,548**	**5,882**	**5,240**	**4,746**	**8,552**
		1931-1980	7,320	8,030	5,580	8,420	15,93	15,6	7,200	6,710	9,310	6,760	5,260	5,780	8,490
Poluvsie	Rajčianka	**1961-2000**	**2,903**	**3,376**	**2,900**	**3,288**	**5,323**	**6,270**	**4,224**	**3,553**	**2,871**	**2,373**	**2,176**	**2,341**	**3,465**
		1931-1980	3,690	3,760	2,870	3,510	5,750	6,830	4,220	3,480	3,480	2,970	2,260	2,740	3,796
Handlová	Handlovka	**1961-2000**	**0,537**	**0,604**	**0,576**	**0,727**	**1,070**	**0,959**	**0,589**	**0,499**	**0,345**	**0,327**	**0,315**	**0,403**	**0,578**
		1931-1980	0,643	0,695	0,571	0,753	1,090	0,828	0,536	0,510	0,407	0,313	0,277	0,393	0,584
Vieska	Žitava	**1961-2000**	**1,212**	**1,671**	**1,706**	**2,572**	**3,382**	**2,709**	**1,715**	**1,448**	**0,790**	**0,659**	**0,609**	**0,806**	**1,601**
		1931-1980	2,150	2,280	2,220	3,390	4,170	3,360	1,990	1,500	1,010	0,860	0,710	1,150	2,057
Zlatno	Hron	**1961-2000**	**1,150**	**0,872**	**0,594**	**0,654**	**1,332**	**2,796**	**2,417**	**1,799**	**1,315**	**1,018**	**0,888**	**1,197**	**1,338**
		1931-1980	1,540	1,230	0,847	0,869	1,770	2,890	2,430	1,940	1,640	1,230	1,030	1,180	1,552
Mýto	Štiavnička	**1961-2000**	**0,830**	**0,669**	**0,447**	**0,460**	**0,968**	**2,502**	**2,116**	**1,266**	**0,839**	**0,652**	**0,610**	**0,834**	**1,017**
		1931-1980	1,030	0,884	0,614	0,615	1,050	2,380	2,160	1,390	1,080	0,905	0,780	0,876	1,148
Hronec	Čierny Hron	**1961-2000**	**2,468**	**2,200**	**1,616**	**1,970**	**3,759**	**6,738**	**4,253**	**3,560**	**2,294**	**1,824**	**1,615**	**2,488**	**2,898**
		1931-1980	2,760	2,740	1,980	2,400	4,750	7,050	4,260	3,370	2,670	2,160	1,710	2,230	3,173
D.Lehota	Vajskovský p.	**1961-2000**	**1,112**	**0,918**	**0,637**	**0,656**	**1,140**	**2,620**	**2,949**	**1,762**	**1,236**	**0,958**	**0,912**	**1,173**	**1,342**
		1931-1980	1,390	1,080	0,757	0,777	1,250	2,760	2,970	1,890	1,420	1,140	1,010	1,150	1,468
Holiša	Ipeľ	**1961-2000**	**2,504**	**2,853**	**2,560**	**3,798**	**5,89**	**5,166**	**3,381**	**2,899**	**1,541**	**1,148**	**0,998**	**1,873**	**2,877**
		1931-1980	3,550	3,820	3,160	5,390	8,260	5,530	3,660	2,640	1,720	1,380	1,130	1,820	3,494
Plášťovce	Krupinica	**1961-2000**	**1,366**	**1,567**	**1,285**	**2,294**	**4,061**	**2,944**	**1,588**	**1,335**	**0,745**	**0,451**	**0,522**	**0,962**	**1,589**
		1931-1980	2,170	2,340	1,850	3,480	5,490	3,460	1,840	1,400	0,846	0,568	0,536	0,86	2,061
Dobšiná	Dobšinský potok	**1961-2000**	**0,398**	**0,337**	**0,249**	**0,290**	**0,501**	**0,882**	**0,672**	**0,534**	**0,39**	**0,324**	**0,287**	**0,432**	**0,442**
		1931-1980	0,652	0,556	0,448	0,448	0,730	1,060	0,836	0,757	0,633	0,515	0,445	0,514	0,633
Lehota	Rimavica	**1961-2000**	**1,294**	**1,233**	**0,901**	**1,251**	**2,578**	**3,101**	**1,953**	**1,565**	**0,951**	**0,682**	**0,62**	**1,119**	**1,436**
		1931-1980	1,700	1,670	1,210	1,670	3,310	3,020	2,010	1,600	1,370	0,991	0,818	1,110	1,706
K.Oľšany	Torysa	**1961-2000**	**4,610**	**4,955**	**4,331**	**6,346**	**14,662**	**15,024**	**10,025**	**8,635**	**7,667**	**5,893**	**4,110**	**5,171**	**7,623**
		1931-1980	6,470	5,590	4,740	6,840	15,19	15,12	9,000	8,860	8,250	6,500	4,430	5,190	8,016
Hanušovce	Topľa	**1961-2000**	**5,319**	**6,112**	**5,181**	**7,959**	**17,815**	**15,214**	**9,782**	**8,243**	**7,491**	**5,746**	**4,075**	**5,231**	**8,182**
		1931-1980	6,840	6,450	5,960	8,730	17,94	16,37	8,630	8,100	8,120	6,200	4,290	5,490	8,589
Matejovce	Poprad	**1961-2000**	**2,719**	**2,361**	**1,978**	**2,143**	**3,691**	**4,798**	**6,759**	**6,689**	**5,280**	**3,946**	**3,297**	**3,185**	**3,912**
		1931-1980	3,470	2,720	2,180	2,480	4,400	5,240	7,040	7,590	6,290	4,650	3,550	3,360	4,423

ROZDELENIE ODTOKU V ROKU

Rozdelenie ročného odtoku v roku sa vyjadruje percentuálnym podielom dlhodobých mesačných odtokov na dlhodobom ročnom odtoku. Na rozdiel od zmien absolútnych hodnôt vodnosti k výrazným zmenám v rozdelení odtoku v roku nedošlo. V povodiach, v ktorých sa odtok zmenšil v prvom polroku hydrologického roka (predovšetkým v povodí Ipľa), došlo k plynulému presunu podielu vodnosti na letné mesiace V našom príspevku dokumentujeme zmeny v rozdelení odtoku v roku porovnaním rozdelenia odtoku z územia Slovenska za obdobia 1931-1980 a 1961-2000 s použitím všetkých vodomerných staníc s dlhými prietokovými radmi, ktoré sa používajú v algoritmoch na určenie odtoku z územia Slovenska (bilančných vodomerných staníc), (Obr.1a) a tiež spriemerovaním percentuálnych podielov jednotlivých mesiacov na ročnom odtoku pre takmer 100 vodomerných staníc (Obr. 1b). Nejde o celkom korektnú metódu, pre porovnanie zmien odtoku v roku za dve odlišné obdobia však vhodnú. Jednoznačne možno povedať, že k zmenám v rozdelení odtoku v roku na slovenských tokoch nedochádza, resp. nie k takým zmenám, aké boli predikované na základe niektorých klimatických scenárov.



Obr.1a Percentuálne rozdelenie odtoku z územia Slovenska podľa vodomerných staníc algoritmu
Perceptual distribution of runoff in Slovak territory by stage – discharge gauge station of algorithm



Obr.1b Percentuálne rozdelenie odtoku z územia Slovenska podľa vybraných 98 vodomerných staníc
Perceptual distribution of runoff in Slovak territory by selected 98 stage - discharge gauge station

ZÁVER

Dlhodobé priemerné mesačné prietoky, vyjadrujúce prirodzený hydrologický potenciál za obdobie 1961-2000, boli odvodené pre 1800 profilov. Táto základňa charakteristík predstavuje výborný podkladový potenciál pre stanovovanie hydrologických údajov pre expertíznu činnosť, vodohospodárske a hydrologické bilancovanie, a poslúži aj ako východiskový stav pre identifikovanie prípadných zmien v hydrologických radoch v 21. storočí.

Literatúra

Kuczera,G. (1982): An Empirical Bazes Approach, Water resources research, vol. 18, no.2

Kulasová, B., Boháč,M. (1990): Charakteristiky řad průmerných měsíčních průtoků z jednotlivých měsíců. Dílčí úloha SPZV II-5-1/03: Hodnocení vodního režimu povodí, jako základ automatizace zpracování návrhových hydrologických veličin.

Majerčáková, O., Škoda,P., Šťastný,P., Faško,P. (2004): Vývoj zložiek hydrologickej bilancie za obdobia 1931-1980 a 1991-2001. Vodohospodársky časopis, 52, 2004,4,s.355-364

Poórová, J., Podolinská, J. (1997):Režimové hydrologické charakteristiky prietokových radov za obdobie 1931-1995 a 1981-1995. Národný klimatický program Slovenskej republiky, NKP 6/97, Klimatické zmeny – Hydrológia a vodné hospodárstvo Slovenskej republiky, Bratislava 1997

Šipikalová, H., Škoda P., Majerčáková O. (2003): Nové hodnotenie hydrologických charakteristík.Vodohospodársky spravodajca 46, 2003 č. 4, s.21-23., 1 tab.

Turbek, J., Škoda, P. (1989): Priemerné mesačné prietoky a ich časová a územná premenlivosť. Zborník prác SHMÚ 29/II,ALFA, Bratislava 1989

Autori

Peter Škoda, SHMÚ Bratislava, peter.skoda@shmu.sk

Helena Šipikalová, SHMÚ Banská Bystrica, helena.sipikalova@shmu.sk

Beata Demeterová, SHMÚ Košice, beata.demeterova@shmu.sk

Viera Gápelová, SHMÚ Banská Bystrica, viera.gapelova@shmu.sk

Zuzana Danáčová, SHMÚ Bratislava, zuzana.danacova@shmu.sk

NOVÉ MODELOVACIE NÁSTROJE V HYDROLÓGII

Císlerová M.
Vadózní zóna a modelování odtoku z povodí 123

Dohnal M., Dušek J., Vogel T., Sněhota M., Císlerová M.
Určování hydraulických parametrů modelu duální permeability inverzním modelováním 130

Dulovičová R.
Prepojenie modelov povrchovej a podzemnej vody prostredníctvom Interakčných funkcií 142

Dušek J., Dohnal M., Vogel T., Březina J., Sněhota M., Císlerová M.
Porovnání dvou přístupů k modelovaní proudění vody v heterogenním půdním vzorku 153

Kopp J.
Hydrografická analýza povodí s využitím GIS 164

Krám P., Buchtele J., Buchtelová M.
Simulace tvorby odtoku ve dvou geochemicky kontrastních
povodích západních Čech modelem Sacramento (SAC-SMA) 173

Nacházel K.
Teorie složitosti v hydrologii 179

Uhlířová K., Dostál T., De Smedt F., Batelaan O.
Aplikace hydrologického modelu WetSpa v povodí Polečnice 191

Unucka J., Horák J., Rapantová N.
Možnosti popojení GIS a hydrologickými a hydrogeologickými modely 198

Velísková Y.
Hodnoty koeficientu priečnej disperzie na rieke Hron v úseku Banská Bystrica - Šalková 211

Velísková Y.
Simulácia transportu konzervatívného znečistenia v povrchových tokoch 221

Vogel T.
Modelování hypodermického odtoku 229

VADÓZNÍ ZÓNA A MODELOVÁNÍ ODTOKU Z POVODÍ

Milena Císlerová

V České kotlině kolem 60% všech půd vzniklo místním zvětráváním krystalinického podkladu vedoucím ke vzniku písčito hlinitých heterogenních půd patřících do skupiny Cambisolů, s častým výskytem i jinde v Evropě. S těmito půdami se můžeme setkat na svazích našich horských a podhorských oblastí. Jde ve většině případů o zdrojové oblasti - pahorkatiny s vyšší nadmořskou výškou, se kterou úměrně roste také srážková činnost. Půdní profil je mělký, dosahuje zpravidla hloubky mezi 60 až 150 cm, hranice se zvětralým skalním podložím je pozvolná, bez přítomné stálé hladiny podzemní vody. V příspěvku seznámíme s výsledky studia hydrologie svahu v malých povodích na krystaliniku. Pro formování odtoku je typická velmi rychlá reakce na srážky. Jen vyjímečně dochází k povrchovému odtoku, všechna srážková voda infiltruje a formou mělkého hypodermického odtoku odtéká. Bylo zjištěno, že rychlá transformace srážek je zde způsobena výrazným preferenčním prouděním celou vadózní zónou. Popis vzniku preferenčního proudění a jeho podílu na tvorbě odtoku hraje při určování jednotlivých složek hydrogramu odtoku klíčovou roli, což je nutné respektovat při modelování odtoku z malých povodí. Systematický výzkum těchto jevů je zaměřen na hledání experimentální metody na detekci a měření charakteristik preferenčního proudění v heterogenních půdách, na parametrizaci hydraulických vlastností půdy pomocí inverzního modelování, na nedestruktivní visualizaci preferenčního proudění (CT a MR snímkování) a na vývoj adekvátních numerických simulačních modelů proudění a transportu látek v pórovitém prostředí. Cílem je reálnější předpověď důležitých procesů: vzniku odtoku, formování povodní a doplňování zásob podzemní vody a v neposlední řadě transportu rozpuštěných látek.

Klíčová slova: vadózní zóna, tvoba odtoku, preferenční proudění, heterogenní půda

Vadoze zone and the runoff simulation. *In the Czech basin about 60% of soil types was formed by weathering of the cristalline bedrock resulting in heterogeneous sandy loams (Distric Cambisols). They may be found on hillslopes of Czech mountanious ridges and hills, and are of a freequent occurence elsewhere in Europe. In majority, they appear in source areas – hills of the higher elevation above the sea level and linearly growing precipitation. The soil profile is shallow, usually between 60 to 150 cm. The transition zone to the decayed bedrock is gradual, the groundwater level is usually not present within the soil profile. Results of the presented research has been focused on the hydrology of hillslope in small watershed on Cristallinicum. A very fast reaction to the rainfall is typical here in the discharge formation. The surface outflow appears rarely, all rainfall water infiltrates and moves downwards in the form of a shallow hypodermic flow. It was found that the fast transformation of rainfall is due to the significant preferential flow through the whole vadose zone. Description of the preferential flow formation and its impact on the outflow formation plays a key role in the evaluation of particular elements of the outflow hydrograph. It should be taken in account when the outflow from these small watersheds is simulated. A systematic study is focused on the evaluation of experimental methods to detect preferential flow, to determine hydraulic characteristics of heterogeneous soils exhibiting preferential flow, to parametrize soil hydraulic properties of these soils by means of inverse simulation models of flow and solute transport in porous media. The aim is the improved prediction of important processes: outflow and flood events formation, suplement of subsurface water reservoirs and the transport of pollutants.*

Key words: vadose zone, outflow formation, preferential flow, heterogeneous soil

---

ÚVOD

Popsáním zákonitostí srážkoodtokových vztahů v povodí se zabývá již několikátá generace hydrologů, často s překvapivě přesnými odhady a výsledky. Pokud sledujeme prostou hydrologickou bilanci, existuje celá řada spolehlivých nástrojů, které je možno aplikovat. Pokud se zabýváme zároveň popisem transportních procesů, zejména v souvislosti s tvorbou významějších odtokových událostí, velmi často se setkáme se situací, ve které je klíčové co nejpřesnější určení pole rychlostí a kterou stále nejsme schopni uspokojivě simulovat.

V posledních dvou dekádách bylo zjištěno, že v řadě zdrojových povodí, kde je mělký svahový půdní profil tvořen hrubě písčitými půdami kambizemí, vzniklých místním zvětráním krystalinického podloží, hydrologickou bilanci ovlivňuje velmi významně mělké podpovrchové proudění po svahu.

Vzhledem ke skutečnosti, že v České kotlině patří do této skupiny téměř 60 % celkové plochy, jde o významnou skutečnost.

Odtok ze svahu je obvykle tvořen třemi složkami: povrchovým odtokem, mělkým, podpovrchovým tokem a výtokem podzemních vod. Kterákoliv z těchto složek se v reakci na srážky za určitých podmínek může stát dominantní. Vedle dalších faktorů závisí velikost jednotlivých složek a jejich poměr z velké míry na hydraulických vlastnostech pórového prostředí tvořeného půdními a podložními formacemi. K poznání mechanismu tvorby odtoku po svahu je nezbytně nutná detailní znalost vodního režimu půdního profilu. Zatímco pohyb vody v půdní matrici je obvykle relativně pomalý, má na formování odtokového hydrogramu dominantní podíl v přírodních podmínkách obvyklé, rychlé preferenční proudění. V experimentálních povodích, kde půdy vykazují preferenční proudění (např. Tesař, 2001), byly zaznamenány velmi rychlé reakce na srážku, vyznačující se strmým nárůstem a rychlou kulminací. Zároveň jsou zde mnohem vyšší odtokové koeficienty u jednotlivých epizod. Z hydrologického pohledu je tradičně vliv nenasycené zóny přirovnáván ke vlivu retenční nádrže, zmírňující a zpomalující transformaci srážek. V důsledku preferenčního proudění se tato představa ukázala jako velmi vzdálená realitě. K zpřesnění našich znalostí je nezbytné věnovat opět pozornost nenasycenému proudění v mělkých podpovrchových půdních a zeminových vrstvách, včetně jevů souvisejících s rychlým preferenčním prouděním.

Na Fakultě stavební ČVUT v Praze probíhá komplexní výzkum hydrologie svahu v malých povodích na krystaliniku. Systematická pozornost je věnována popisu preferenčního proudění v laboratorním i v terénním měřítku a jeho podílu na tvorbě odtoku při určování jednotlivých složek hydrogramu odtoku. Souběžně jsou vyvíjeny experimentální metody na detekci a měření charakteristik preferenčního proudění v heterogenních půdách. Silným nástrojem pro parametrizaci hydraulických vlastností půdy je inverzní modelování, aplikované jednak na infiltračně výtokových experimentech na velkých neporušených vzorcích, jednak na souborech dat měřených na experimentálním povodí. Velmi detailní studium dynamiky proudění je prováděno pomocí nedestruktivní visualizace proudění ve vzorcích půdy (CT a MR snímkování). Komplexní přístup doplňuje vývoj adekvátních numerických simulačních modelů proudění a transportu látek v pórovitém prostředí. Cílem této prezentace je souhrnně představit problematiku preferenčního proudění ve vadózní zóně s hrubě písčitým půdním profilem.

VZNIK PREFERENČNÍHO PROUDĚNÍ A MĚŘÍTKO REV

Základní hydraulickou charakteristikou půdy, jejíž hodnota může být zatížena preferenčním prouděním do té míry, že již dále nevystihuje proudění v půdním profilu je nasycená hydraulická vodivost. Je známá velká variabilita hydraulických vodivostí s koeficientem variace kolem sta procent. Často je možné setkat se s názorem, že vyhodnocení variability nasycené hydraulické vodivosti je dostačující i k popsání preferenčního proudění. Důvod, proč tomu tak není, lze nalézt při mapování skutečných cest proudění v neporušených vzorcích, určených ke stanovení nasycené hydraulické vodivosti v laboratoři. Při popisu proudění se pracuje s dvěma typy rychlosti:

(1) s Darcyovskou rychlostí, reprezentující hustotu toku v dané průřezové ploše (obvykle plocha dna vzorku, případně plochy uvnitř infiltračního válce)

(2) se střední pórovou rychlosti, která se uplatňuje v transportní advekčně disperzní rovnici. Je to rychlost proudění vztažená ke skutečné průřezové ploše, dané pórovitostí. Vzhledem k tomu, že póry vyplňují pouze část plochy vzorku, případně infiltračního válce a proteklé množství zůstává konstantní, je zřejmé, že je střední pórová rychlost větší než Darcyovská rychlost, uvažovaná v Richardsově rovnici.

Obě rychlosti jsou teoreticky odvozeny pro reprezentativní elementární plochu (REA), což je průřezová plocha, kolmá na směr proudění, odpovídající reprezentativnímu elementárnímu objemu (REV). V praxi odpovídají rozměry REA i REV pragmaticky rozměrům neporušeného vzorku použitého k měření (odběrný válec, případně infiltrační válec).

Zbarví-li se cesty proudění během experimentu vhodným barvivem, je možné po rozřezání vzorku na konci experimentu zjistit, že skutečná průtočná plocha je pouhým zlomkem průřezové plochy (ve sledovaných půdách mezi 5-20 %). Znamená to, že skutečná rychlost proudění v takovém vzorku je 3 až 20 krát vyšší. Pokud je popsaný experiment určený ke stanovení nasycené hydraulické vodivosti K_s (LT^{-1}), což je jednotková rychlost při jednotkovém gradientu, je zřejmé, že standardně vyšetřená hodnota K_s je výrazně podhodnocená. U typu proudění, zjištěného popsaným způsobem, je evidentně dominantní preferenční proudění, u kterého je převažující hnací silou gravitace. Z hlediska hydrologické bilance jsou z tohoto pohledu významné skutečnosti, že srážka zasákne v takovém prostředí mnohem hlouběji a do větší vzdálenosti, než lze standardním měřením zjistit a dále, že retenční kapacita půdy je využita pouze z malé části. V hrubě písčitých půdách na krystaliniku se preferenční proudění uplatňuje v měřítku celého povodí, srážka vertikálně infiltruje na dno propustnějších půdních vrstev a potom se preferenčně pohybuje po svahu směrem k vodoteči.

Současně s preferenčním prouděním probíhá klasické matriční proudění v půdě, způsobené dominantně kapilárními silami. Nejvýraznější rozdíl je časové měřítko obou typů proudění. Zatímco u preferenčního proudění proběhnou dominantní procesy v řádu minut, u matričního proudění jde často o dny, případně i týdny, výrazně se uplatňuje při redistribuci a při srážkách nízkých intezit. Ve snaze respektovat popsanou realitu vzešla myšlenka zavedení dvou domén proudění, s oddělenou doménou pro rychlé preferenční proudění a s doménou pro klasické matriční proudění. V půdách se širokým zrnitostním spektrem, jako je většina kambizemí, existence obou typů proudění v jednom pórovém prostoru vede obvykle k nestabilitě hydraulických charakteristik, z velké části jde o efekty způsobené vzduchem uzavřeným v pórech, značnou roli hraje také smáčivost povrchu pevné fáze, vše potom přímo závisí na počáteční nasycenosti půdního profilu a na časovém průběhu intenzity srážek. Nestabilita zejména hydraulických vodivostí a ustálených infiltračních rychlostí je nadále předmětem studia (v tomto sborníku viz Sněhota a Císlerová, 2005), ve stávajících simulačních modelech se s ní dosud nepracuje. Ke zjištění parametrů preferenčního proudění a hydraulických charakteristik obou domén proudění je třeba věnovat pozornost jak laboratorním tak terénním experimentům.

LABORATORNÍ EXPERIMENTY URČENÉ K DETEKCI PREFERENČNÍHO PROUDĚNÍ

Výše popsané efekty byly původně zjištěny při terénních výtopových infiltracích (Císlerová et al., 1988) a později potvrzeny v laboratoři (Císlerová et al., 1990). K prokázání původních hypotéz byla provedena řada nezávislých experimentů respektujících volbou okrajových podmínek přírodní poměry. V několika odlišných prostorových měřítcích byly realizovány infiltračně výtokové experimenty ve svislých neporušených půdních vzorcích. Experimentální sestava ve všech případech umožňovala jednorozměrné vertikální proudění s uplatněním účinků gravitačního proudění. Jako horní okrajová podmínka byla volena buď konstantní výtopa (tento pokus je určen ke stanovení nasycené hydraulické vodivosti), případně konstantní sací tlaková výška s hodnotami sacích tlaků blízkých nule. Na spodním okraji vzorku byl umožněn volný výtok, v simulacích zadávaný jako výronová plocha. Vodní bilance byla kontinuálně sledována vážením vzorku, podobně bylo souběžně v čase zaznamenáváno množství infiltrující a vytékající vody ze vzorku a hodnoty sacích tlakových výšek uvnitř vzorku (Robovská, 2001). Takto zadaný experiment poskytuje datový soubor vhodný k inverznímu stanovení parametrů hydraulických charakteristik zkoumaného vzorku. Jde o makroskopické údaje, z průběhu infiltračních a výtokových rychlostí lze usoudit na přítomnost preferenčního proudění i na nestabilitu proudění, případně na nestabilitu geometrie pevné fáze (Císlerová et al., 1990). Pokud však má být uvážen vliv preferenčního proudění při řešení inverzní úlohy k vyšetření hydraulických parametrů obou domén proudění, to znamená preferenčního a matričního proudění, je třeba dále sledovat jejich podíl, který není neměnný. Jak již bylo zmíněno, preferenční proudění se projevuje již v měřítku menším než půdní vzorek, na úrovni propojených větších pórů, umožňujících gravitační proudění. K vyhodnocení podílu preferenčního proudění při infiltraci bylo použito neinvazivního snímkování. Trojrozměrné snímky struktury pevné fáze byly pro jednotlivé vzorky pořízeny pomocí počítačové tomografie (Císlerová a Votrubová, 2002). Zapojení jednotlivých preferenčních cest při výtopě se sledovalo při zakončení jednotlivých experimentů infiltrací dávky modrého barviva a následným pořízením barevných fotografií řezů vzorku ve směru

kolmém na směr proudění. Unikátní informace o charakteru proudění v hrubě písčitých půdách byly získány s využitím nukleární magnetické rezonance ke snímkování vody proudící ve vzorcích během infiltračně výtokového experimentu (Císlerová et al., 2002; Císlerová a Votrubová, 2002; Votrubová et al., 2003; Sněhota, 2003). Bylo zjištěno, že k rychlému proudění dochází pouze v malé části vzorku obsahující spojité cesty větších pórů. Toto zjištění potvrdilo oprávněnost zavedení dvou domén proudění. Potvrdila se závislost ustálené infiltrační rychlosti na počátečním nasycení, což je v rozporu s Richardsovskou teorií. Na základě dosud získaných zkušeností jsou tyto jevy způsobeny geometrií pórů zkoumané půdy, vyznačující se širokým spektrem poloměrů a vedoucí k proměnlivosti lokálních pórových rychlostí v měřítku mnoha řádů. Na MR snímcích je vidět, že při tom dochází k víceméně náhodnému uzavírání nespojité fáze půdního vzduchu ve některých pórech v závislosti na historii plnění vzorku, což je důvodem již zmíněné nestability (Sněhota a Císlerová, 2005). Při experimentech se prokázaly nedozírné možnosti využití metody MRI pro detekci a zejména kvantifikaci preferenčního proudění. Zmíněnými jevy se nadále chceme zabývat.

TERÉNNÍ SLEDOVÁNÍ PREFERENČNÍHO PROUDĚNÍ

Preferenční proudění je relativně dobře měřitelné v laboratorním měřítku. V terénních podmínkách jsou jeho účinky vzhledem ke složitým klimatickým i morfologickým podmínkám mnohem méně průkazné a je mnohem obtížnější ho uspokojivým způsobem experimentálně sledovat. Teoreticky se nabízí možnost vyhodnocování průnikových čar tracerových experimentů s využitím konzervativních značkovačů, avšak většina výsledků takových experimentů nesplnila očekávání (např. Šanda, 1999), zejména kvůli neurčitelné hranici oblasti proudění a tokům přes hranici.

Preferenční proudění v půdním profilu písčité hlíny v terénním měřítku je již řadu let sledováno na svahovém transektu experimentální plochy Tomšovka v experimentálním povodí Uhlířská (podrobný popis viz Šanda, 1999; Tachecí, 2002; v tomto sborníku viz Šanda et al., 2005).
Během sedmi vegetačních a pěti mimovegetačních období zde bylo zaznamenáno více než 20 významných srážkoodtokových událostí. Lze je rozdělit do dvou skupin podle doby trvání a podle celkového odteklého množství: na události vyvolané letními krátkými a vydatnými srážkami z bouřkové činnosti a události způsobené podzimními delšími dešti s nižší intenzitou. (podrobnější údaje v tomto sborníku viz Šanda et al., 2005). Vzestupné větve jsou velmi strmé, což podporuje hypotézu, že rychlý podpovrchový odtok z mělkého půdního profilu na svazích povodí je přímým zdrojem soustředěného povrchového odtoku z povodí. Rychlá bývá také poklesová větev hydrogramu. Většina odtoku probíhá v krátkých a jasně oddělených časových úsecích. Odtokové jevy jsou ve vztahu půdního sacího tlaku a okamžité intenzity odtoku velmi variabilní a to jak během jedné epizody z důvodu hystereze mezi vzestupnou a sestupnou větví hydrogramu, tak i mezi jednotlivými epizodami. Půdní profil je převážně nenasycený, přesto je půdní vlhkost téměř trvale blízká nasycení, což má zásadní vliv na formování podpovrchového odtoku. Sací tlaky, kontinuálně sledované tenzometry, většinou dále setrvávají na hodnotách dosažených během předchozích srážek, které nezpůsobily odtok, i když se půdní profil během nich dosycoval. Jelikož ale nebylo dosaženo plného nasycení a cesty proudění nebyly spojitě zaplněny vodou, ke drénování půdního profilu zde nedošlo. V takové situaci může potom k počátku často velmi intenzivního odtoku přispět srážka velmi malé intenzity a úhrnu. Jakmile se půdní profil nasytí, zapojují se preferenční cesty a tak po dosažení bodu nasycení půdního profilu, bez významného poklesu sacího tlaku, dochází k okamžitému rychlému odtoku.

Přímá příčinná vazba odtoku a stavu půdní vlhkosti nalezena nebyla vzhledem k nejednoznačnosti vztahu vzestupné a poklesové větve hydrogramu odtoku a celkové vodní zásoby půdy. Přesto lze z průběhu závislosti usuzovat, že půdní prostředí je hlavním kontrolním prvkem, který významně ovlivňuje velikost a průběh odtoku v recipientu. Vztah výšky hladiny podzemní vody, půdní vlhkosti a podpovrchového odtoku s celkovým odtokem z povodí je velmi těsný. Okamžitá vlhkost půdního profilu v závislosti na historii plnění pórového prostoru do velké míry určuje průběh srážkoodtokové události (podrobný rozbor viz Šanda et al., 2005).

SIMULACE

Popis proudění v půdním profilu obvykle vychází z obecné Richardsovy rovnice proudění vody v pórovitém prostředí, odvozené s využitím mechaniky kontinua. Bilancuje se stupeň nasycení pórového prostoru reprezentující doménu proudění. Nevýhodou tohoto přístupu je silná nelinearita Richardsovy rovnice, projevující se při numerickém řešení restrikcí, týkající se prostorové diskretizace. Nepříjemná je závislost na měřítku pozorování. Pokud hledáme realistický popis proudění vody v přírodních podmínkách v terénním měřítku, obecný předpoklad, že půda představuje jednodoménový systém se ukázal jako neadekvátní. V posledních letech byla vyvinuta řada dvou-doménových modelů proudění vody v pórovitém prostředí (např. Gerke and van Genuchten, 1993; Vogel et al., 2000), umožňujících simulovat pohyb mobilní složky vodních zásob v půdním profilu. Tento koncept uvažuje dvě domény proudění pro dva systémy pórů: doménu půdní matrice a doménu rychlého preferenčního proudění (PF-domain). V modelu se potom řeší dvě Richardsovy rovnice, pohyb v každé doméně je řešen zvlášť, vzájemná interakce obou domén je zprostředkována pomocí zvláštního členu. Použití simulačních modelů postavených na principu dvou domén umožňuje výrazně přesnější simulaci srážko odtokových epizod včetně uvážení preferenčního proudění.

Rozsáhlý soubor měřených dat a poznatky získané z infiltračně výtokových experimentů a z vizualizace neporušených vzorků (Robovská, 2001; Votrubová, 2002; Sněhota, 2003) umožňují simulaci vodního režimu vadózní zóny se zaměřením na modelování preferenčního proudění a jeho vlivu na tvorbu povrchového a podpovrchového odtoku. K tomuto účelu byla použita řada modelových přístupů (Vogel et al., 2000; Vogel, 2005). Vedle již zmíněných modelů na principu duální propustnosti byl testován model využívající k pohybu vody v preferenční doméně kinematickou vlnu. Velmi zajímavé výsledky poskytuje nový model pracující na principu difuzní vlny (HYPO model, v tomto sborníku viz Vogel, 2005). Kombinuje lokální vertikální proudění simulované jednorozměrným modelem proměnlivě nasyceného proudění v duálním pórezním prostředí s Boussinesquovou rovnicí, použitou k vyjádření hypodermického odtoku po svahu. Ve srovnání s modelem S_2D_Dual (Vogel et al., 2000), který lze k řešení stejného problému velmi dobře využít, poskytuje v některých případech méně přesné výsledky. Velkou výhodou je ale mnohem větší flexibilita vzhledem k tomu, že limitující podrobná diskretizace domény proudění, která velmi komplikuje realizaci některých velkých úloh simulovaných modelem S_2D_Dual, se u modelu HYPO týká pouze vertikálního směru. Velmi podrobná diskretizace domény proudění je hlavní překážkou také při aplikaci trojrozměrného modelu řešícího transientní proudění v půdním profilu v terénním měřítku. Přesto, že se v nové verzi tohoto programu využívají při výpočtu paralelní procesory, pro rozsáhlejší úlohy je zatím málo vhodná. Nejrozsáhlejší úlohou byla simulace trojrozměrného proudění ve vzorku s využitím popisu struktury získané z CT snímku a srovnání výsledků s výsledky modelu S_1D_Dual, standardně používaného k inverznímu vyšetření hydraulických parametrů obou domén proudění (v tomto sborníku viz Dušek et al., 2005). Simulace jsou provedeny pro soubor dat změřených při infiltračně výtokových experimentech na neporušených vzorcích v laboratoři. Důležitou roli při určování hydraulických parametrů obou domén proudění plní inverzní modelování. Jde v současnosti o jedinou metodu, pomocí které lze z měřených dat tyto údaje získat. Aplikace metody inverzního modelování ke stanovení hydraulických parametrů půd pro účely numerického modelování jsou prováděny jak v měřítku laboratorního experimentu, tak v měřítku půdního profilu (v tomto sborníku viz Dohnal et al., 2005), získané výsledky umožňují realizaci simulací terénních experimentů.

ZÁVĚR

Ve zdrojových oblastech povodí na krystaliniku hraje půdní profil podstatnou roli při tvorbě hydrogramu odtoku. Podrobným sledováním všech složek vodní bilance na experimentální ploše Tomšovka v povodí Uhlířská, s podporou výsledků získaných na laboratorních vzorcích, byly identifikovány jednotlivé fáze vodního režimu, výrazně odlišné pro plnění a prázdnění půdního profilu. Ve zkoumaných půdách se potvrdil význam preferenčního proudění ve vztahu k velikosti a časovému průběhu rychlého odtoku v odezvě na srážku. Z výsledků laboratorních metod a

nedestruktivních vizuálních technik byl prokázán vznik preferenčního proudění již v měřítku menším, než je velikost vzorků užívaná ke stanovení nasycených hydraulických vodivostí. Toto preferenční proudění se potom výrazně propaguje do všech větších měřítek, což má významné dopady na celou vodní bilanci a zejména na řešení inženýrských úloh. K simulaci hydrogramu odtoku ve vadózní zóně je v tomto případě možné doporučit modely popisující proudění v proměnlivě nasyceném pórézním prostředí založené na koncepci duální propustnosti, které respektují odlišný charakter proudění v doméně preferenčních cest a v půdní matrici. Jsou zároveň vhodné k řešení transportu látek. Ke stanovení hydraulických parametrů půd pro účely numerického modelování lze využít výsledky aplikace inverzního modelování, a to jak v měřítku podrobného laboratorního experimentu tak v měřítku terénního sezóního měření.

Poděkování

Výzkum byl průběžně podporován z výzkumného projektu MŽP VaV Labe IV. V tomto příspěvku jsou shrnuty společné výsledky pracovního týmu, jehož členy, uvedenými v abecedním pořádku, jsou: Dr. Gao M.H.Amin, Prof. Milena Císlerová, Ing. Jaromír Dušek, Ing. Michal Dohnal, Prof. Laurance D. Hall (University of Cambridge, UK), Miroslav Hrnčíř, Ing. Vlaďka Jelínková, Ing. Helena Pavelková, Dr. Alice Robovská, Dr. Michal Sněhota, Martina Sobotková, Dr. Martin Šanda, Prof. Tomáš Vogel, Dr. Jana Votrubová (AVČR ÚH) a David Zumr.

Literatura

Císlerová, M., J. Šimůnek, and Vogel, T. (1988): Changes of steady-state infiltration rates in recurrent ponding infiltration experiments, J. Hydrol., 104, 1–16.

Císlerová, M., Vogel, T., and Šimůnek, J. (1990): The infiltration-outflow experiment used to detect flow deviations, in Field -Scale Solute and Water Transport Through Soils, edited by K. Roth et al., 109–117, Birkhäuser Boston, Cambridge, Mass.

Císlerová, M., Vogel, T., Votrubová, J., a Robovská, A. (2002): Tracing the origins of preferential flow within undisturbed soil samples, in Environmental Mechanics: Water, Mass and Energy Transfer in the Biosphere, Geophys. Mon. Ser., Vol. 129, edited by P.A.C. Raats, D.E. Smiles, and A. Warrick, 265–274, AGU, Washington, D. C.

Císlerová, M., a Votrubová, J. (2002): CT derived porosity distribution and flow domains, J. Hydrol., 267, 186–200.

Dušek, J., Dohnal, M., Vogel, T., Březina, J., Sněhota, M. a Císlerová, M. (2005): Porovnání dvou přístupů k modelování proudění vody v heterogenním půdním vzorku (tento sborník).

Dohnal, M., Dušek, J., Vogel, T., Sněhota, M. a Císlerová, M. (2005): Určování hydraulických parametrů modelu duální permeability inverzním modelováním (tento sborník).

Gerke, H.H., and van Genuchten, M.Th. (1993): A dual-porosity model for simulating the preferential movement of water and solutes in structured porous media, Water Resour. Res., 29, 305–319.

Robovská, A. (2000): Měření hydraulických charakteristik pomocí diskového tlakového infiltrometru na velkých laboratorních vzorcích. Doktorská disertace, ČVUT v Praze, FSv.

Sněhota, M. (2003): Evaluation of infiltration-outflow experiment using MRI. PhD. Thesis, Czech Technical University in Prague, Prague.

Sněhota, M. a Císlerová, M. (2005): Nestabilita proudění pozorovaná na úrovni representativního elementárního objemu půdy (tento sborník).

Šanda, M. (1999): Tvorba podpovrchového odtoku na svahu. Doktorská disertace, ČVUT FSv Praha.

Šanda M. a Císlerová, M. (2000): Observation of subsurface hillslope flow processes in the Jizera Mountains region, Czech Republic. Proc. Catchment Hydrol. and Biogeochem. Processes in Changing Environment, IHP-V Technical documents in Hydrology , UNESCO Paris, No. 37, p. 219-226.

Šanda, M., Vogel, T. Císlerová, M. (2004): Euromediterranean Conference. Hydrograph formation in the hillslope transect. ”Progress in Surface and Subsurface Water Studies at the Plot and Small Basin Scale”, Turin, Italy.

Šanda, M., Hrnčíř, M., Novák, L. a Císlerová, M. (2005): Variabilita srážkoodtokových vztahů v půdním profilu (tento sborník).

Tachecí, P. (2002): Hydrologický režim malého horského povodí a odhad účinků změny porostu. Doktorská disertace, ČVUT FSv Praha.

Tesař, M. (2001): Experimental basis and catchments in the Šumava Mts. Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins Newsletter 11, 6 - 11.

Vogel, T. (2005): Modelování hypodermického odtoku (tento sborník).

Vogel, T., H.H. Gerke, R. Zhang, M.Th. van Genuchten (2000): Modeling flow and transport in a two-dimensional dual-permeability system with spatially variable hydraulic properties. Journal of Hydrology 238, 78–89.

Votrubová, J. (2002): MRI potential to monitor preferential flow in structured soils. PhD. Thesis, Czech Technical University in Prague, Prague.

Votrubová, J., Císlerová, M., Amin, M.H.G. a Hall, L.D. (2003): Recurrent ponded infiltration into structured soil: A magnetic resonance imaging study, Water Resour. Res., 39, 10.1029/2003 WR002222.

Autor

Milena Císlerová, CTU, Faculty of Civil Engineering, Dept. of Drainage, Irrigation and Landscape Engineering, Thákurova 7, 166 29 Prague, Czech Republic, cislerova@fsv.cvut.cz

URČOVÁNÍ HYDRAULICKÝCH PARAMETRŮ MODELU DUÁLNÍ PERMEABILITY INVERZNÍM MODELOVANÍM

Michal Dohnal, Jaromír Dušek, Tomáš Vogel, Michal Sněhota, Milena Císlerová

Pohyb vody v nenasyceném půdním prostředí je důležitou součástí formování hydrogramu odtoku stejně jako celého hydrologického cyklu. Půdní pórovité prostředí je přirozeně heterogenní, navíc může obsahovat makropóry a další preferenční cesty. Preferenční proudění v nenasycené zóně je předmětem zájmu mnoha studií a bylo prokázáno v řadě půdních typů ve střední Evropě. Kvalitní předpověď množství vody a jejího pohybu v půdě vykazující preferenční proudění vyžaduje koncepčně správný a výkonný numerický model. V naší práci jsme použili přístup duální permeability předpokládající, že pórovité prostředí sestává ze dvou paralelních domén odlišných hydraulických vlastností. Platnost Richardsovy rovnice se předpokládá v obou doménách, jejichž vzájemnou komunikaci umožňuje přenosový člen. Model duální permeability byl optimalizován ve smyslu metody nejmenších čtverců Levenberg-Marquardtovým algoritmem. Cílem inverzního modelování bylo nalézt sadu parametrů modelu pro níž by byly odchylky mezi měřeními a simulovanými odezvami modelu minimální. V článku jsou prezentovány dva odlišné případy optimalizace modelu duální permeability – laboratorní infiltračně-výtokový experiment a sezónní změny půdní vlhkosti v terénu. Diskutovány jsou především možnosti formulování cílové funkce, jednoznačnost inverzního problému a problematika citlivosti optimalizovaných parametrů.

Klíčová slova: inverzní modelování, preferenční proudění, duální permeabilita, Levenberg-Marquardtova metoda, režim půdní vlhkosti

The movement of subsurface water in the vadose zone is an important part of the runoff formation and the hydrological cycle as a whole. Natural porous medium is in principal heterogeneous. In addition, it may contain macropores and other preferential pathways. Preferential flow of water in the unsaturated zone is a subject of interest in many studies and has been observed in a variety of soil types in Central Europe. To predict quantitatively water fluxes in the soils, which exhibit preferential flow effects, adequate conceptual model and efficient numerical code have to be used. In our study, dual-permeability approach is applied, in which the porous medium is supposed to consist of two flow domains with different hydraulic properties. In this approach, Richards' equation is assumed to be valid for each of the two domains, allowing local non-equilibrium conditions between the flow domains. The dual-permeability forward simulator (S1D Dual code) was optimized by non-linear weighted least-squares routine based on the Levenberg-Marquardt algorithm. The optimization procedure was used to minimize the discrepancies between the simulated and the measured values. Inverse modeling was carried out to find an optimal set of parameters for the simulation model. Two fundamentally different cases are presented – the optimization of the laboratory infiltration-outflow experiment on a large undisturbed soil sample, and inverse modeling of a field soil-water regime. The formulation of the objective function, the uniqueness of the inverse problem, and the sensitivity of the estimated hydraulic parameters are discussed.

Key words: inverse modeling, preferential flow dual-permeability, Levenberg-Marquardt algorithm soil water regime

---

ÚVOD

Pohyb vody v nenasyceném půdním prostředí je důležitou součástí hydrologického cyklu. Půdní pórovité prostředí je přirozeně heterogenní formací obsahující preferenční cesty různých typů (Beven a German, 1982). Ve střední Evropě jsou silně heterogenní půdy s výskytem preferenčního proudění častým jevem (Císlerová et al., 1990). Kvalitní předpověď množství a pohybu vody v půdě vykazující preferenční proudění vyžaduje fyzikálně adekvátní numerický model. Klasická řešení Richardsovy rovnice v tomto případě selhávají. Atraktivní možností je tudíž využití některého z modelů duální permeability. Optimalizace takových modelů má celou řadu společných rysů s inverzí modelů jednoduché pórovitosti. Nicméně už samotná zdvojená parametrizace (dvojnásobný počet parametrů) u přístupu Gerkeho a van Genuchtena (1993a) je logicky zdrojem nejednoznačnosti a nestability inverzního řešení (v případě duální permeability - Simunek et al., 2003; obecně – Russo et al., 1991). Důležitým faktorem je také nutnost kvantifikace podílu preferenční domény proudění.

V případě one-step výtokového experimentu se objevují doporučení, která lze zobecnit i na obdobné úlohy v kombinaci s modely duální permeability. Hodnocení vhodnosti one-step experimentu z inverzního hlediska jsou však někdy protichůdná (Eching et al, 1994; Mous 1994; Zürmuhl 1996). Nicméně v oblasti konstrukce cílové funkce se shodují - samotná výtoková data k docílení jednoznačnosti inverzní úlohy nepostačují (např. Kool et al., 1985) - kombinace výtokových dat s vlhkostmi (Parket et al., 1985) či tenzometrickými měřeními (Kool a Parker, 1988) v cílové funkci zvětšuje pravděpodobnost nalezení jednoznačného řešení.

Výběr hydraulického modelu a vhodných parametrů významně ovlivňují úspěšnost optimalizačního procesu. Russo (1988) porovnal různé hydraulické modely při one-step výtokovém experimentu a za nejvhodnější označil parametrický model van Genuchtena (1980). Toorman et al. (1992) dosáhli slibných výsledků optimalizací parametrů α, n a K_s van Genuchtenova parametrického modelu.

Cílem práce je na příkladech laboratorního experimentu a terénního měření demonstrovat možnosti řešení některých specifických problémů optimalizace modelu duální permeability. Především (i) představit alternativy zjištění vzájemného poměru domén proudění, (ii) analyzovat tenzometrická měření z pohledu jejich využitelnosti v cílové funkci, a (iii) diskutovat citlivost, limity a zkorelovanost optimalizovaných parametrů.

MATERIÁL A METODY

Optimalizační analýzy byly prováděny a prezentované poznatky demonstrovány aplikacemi v případě laboratorního experimentu a terénních měření sacích tlaků.

Laboratorní infiltračně-výtokový experiment

K laboratornímu experimentu byl použit velký neporušený vzorek půdy. 25 cm vysoký vzorek o průměru 18.9 cm, byl odebrán po stržení povrchové vrstvy tloušťky 40 cm z druhého horizontu hrubé písčitohlinité půdy z oblasti Korkusovy Huti na Šumavě. Půda v oblasti odběru se klasifikuje jako Kambisol. Detaily odběru popisuje Sněhota et al. (2002). Následně byl na vzorku vykonán infiltračně-výtokový experiment pro měření funkce hydraulické vodivosti. Při experimentu byla použita sestava umožňující plně automatický sběr dat (Sněhota et al. 2002). V průběhu infiltrace byl na vrchním okraji osazen podtlakový infiltrační disk, který umožňoval nenasycené proudění vzorkem. Pro měření tlakových výšek v neporušeném půdním válci byly v hloubkách 7.5 cm, 12.5 cm a 17.5 cm pod horním okrajem vzorku instalovány tři tenzometry. Tlakové výšky udržované podtlakovým infiltračním diskem během jednotlivých experimentálních běhů byly postupně: -1 cm, -3 cm, -6 cm a -9 cm. Na závěr byla na vzorku provedena výtopová infiltrace s přetlakem 1 cm. Časový krok sběru dat závisel na aktuální dynamice probíhajícího procesu a pohyboval se mezi 5 a 60 sekundami.

Vnitřní pórová struktura půdního vzorku byla vizualizována pomocí rentgenové počítačové tomografie (CT). Výstupem snímkování jsou horizontální řezy (2D snímky) vzorkem. Následně byl z 2D snímků konstruován 3D snímek. Výsledné rozlišení bylo 0.4 x 0.4 mm v horizontální rovině a 1 mm ve směru vertikálním. Intenzita signálu během snímkování je dána v relativních Hounsfieldových jednotkách (HU), které se pohybují od 0 pro dutiny až do 4095 pro nejhustší části vzorku. Výsledný CT snímek se neomezuje pouze na informaci o rozdělení pevné fáze, ale poskytuje také informaci o rozdělení oblastí s nízkou hustotou (velkých pórů). Zjednodušeně lze předpokládat, že tyto oblasti jsou potenciálními preferenčními cestami.

Sezónní měření půdních sacích tlaků

Terénní měření sacích tlaků pocházejí z povodí Uhlířská. Experimentální povodí Uhlířská (plocha 1.87 km^2, průměrná roční teplota 6.5 ^{o}C a roční srážkový úhrn 1379 mm) v Jizerských horách s kontinuálním monitorováním vlivu odlesnění na vodní režim se nachází v horní části povodí Černé

Nisy. V rámci tohoto malého horského povodí je provozován experimentální svah Tomšovka (Šanda, 1999; Tachecí, 2000). Na zvětralém žulovém substrátu zde vznikly hnědé půdy kyselé ze skupiny Kambisolů. Z hlediska textury se jedná o půdy hlinito-písčité až písčito-hlinité s příměsí skeletu. Typické zvrstvení půdního profilu představuje pod silně prokořeněnou svrchní vrstvou se nacházející zrašelinělá humusová černá vrstva na níž navazuje okrová hlinito-písčitá vrstva, následována eluviální žlutohnědou přecházející do zvětralého žulového substrátu. Na experimentálním svahu probíhá celá řada kontinuálních měření (měření meteorologických veličin, lyzimetrická měření, monitorování půdních sacích tlaků a měření podpovrchového odtoku). Automatická měření půdních sacích tlaků tenzometry probíhají vždy ve třech různých hloubkách odpovídajích příslušným vrstvám půdního profilu v místě instalace. Lyzimetrických měření (Tachecí, 2002) bylo využito ke kontrole kumulativních hodnot potenciální evapotranspirace vypočtených metodou Penman-Monteitha.

Matematický model

Přímé modelování bylo ve všech případech prováděno na bázi konceptu duální permeability. Přístup duální permeability (Gerke a van Genuchten, 1993a) zahrnutý do modelu HYDRUS 5 (Vogel et al., 1996) ve smyslu Vogel et al. (2000) předpokládá, že médium je složeno ze dvou samostatných domén s různými hydraulickými vlastnostmi. Domény spolu mohou komunikovat vzájemnou výměnnou vody a v ní rozpuštěných látek. Proudění vody i transport rozpuštěných látek probíhá simultánně v obou paralelních doménách. I v rychlé doméně se předpokládá proudění v pórech jako laminární a shoda s kapilárním modelem – používá se Richardsova rovnice.
Pórovité prostředí je možné popsat výrazy:

$$\varepsilon = w_f \varepsilon_f + w_m \varepsilon_m \tag{1}$$

$$\theta = w_f \theta_f + w_m \theta_m \tag{2}$$

$$q = w_f q_f + w_m q_m \tag{3}$$

indexy m a f značí vlastnosti popisující pomalou doménu (matrix) a doménu rychlou (fracture), w_f je objemový podíl rychlé domény a w_m je objemový podíl domény pomalé vyjádřitelný $w_m = 1 - w_f$. V jednotlivých výrazech je ε pórovitost [L^3L^{-3}], θ vlhkost [L^3L^{-3}], q je hustota toku [LT^{-1}]. Parametrizace hydraulických charakteristik Vogel et al. (2001) byla použita v modelu modifikací výrazů van Genuchtena (van Genuchten, 1980; Mualem, 1976). Následující dvojice Richardsových rovnic popisuje proudění vody v duálním pórovitém prostředí:

$$C_f \frac{\partial h_f}{\partial t} = \operatorname{div}\left(\mathbf{K}_f \operatorname{grad} h_f\right) + \operatorname{div}\left(\mathbf{K}_f \operatorname{grad} z\right) - \frac{\Gamma_w}{w_f} \tag{4}$$

$$C_m \frac{\partial h_m}{\partial t} = \operatorname{div}\left(\mathbf{K}_m \operatorname{grad} h_m\right) + \operatorname{div}\left(\mathbf{K}_m \operatorname{grad} z\right) - \frac{\Gamma_w}{w_m}, \tag{5}$$

kde h je tlaková výška [L], $\mathbf{K}$ je tensor hydraulické vodivosti [LT^{-1}], C je specifická hydraulická kapacita [L^{-1}], z je souřadnice [L], t čas [T] a Γ_w je přenosový člen [T^{-1}], který zprostředkovává výměnu mezi doménami. Výměna vody mezi pomalou a rychlou doménou je úměrná rozdílu tlaků v nich:

$$\Gamma_w = \alpha_w \left(h_f - h_m\right), \tag{6}$$

kde α_w je přenosový koeficient [$L^{-1}T^{-1}$], pro který Gerkem a van Genuchten (1993b) odvodili semi-empirický výraz:

$$\alpha_w = \gamma_w \frac{\beta}{d^2} K_a, \tag{7}$$

kde a je charakteristická délka [L] a β je bezrozměrný geometrický koeficient. Opravný součinitel γ_w nabývá obvykle pro různé hydraulické vlastnosti a počáteční podmínky hodnoty 0.4. K_a je efektivní hydraulická vodivost [$L^{-1}T^{-1}$] poblíž rozhraní nebo na rozhraní mezi doménami určovaná Gerkem a van Genuchten (1996):

$$K_a(h) = 0.5\left[K_a\left(h_f\right) + K_a\left(h_m\right)\right] \tag{8}$$

Inverzní modelování

Inverzní úloha byla řešena na bázi Levenberg-Marquardtova algoritmu (Doherty et al., 1995). Hydraulické parametry byly optimalizovány ve smyslu metody nejmenších čtverců.

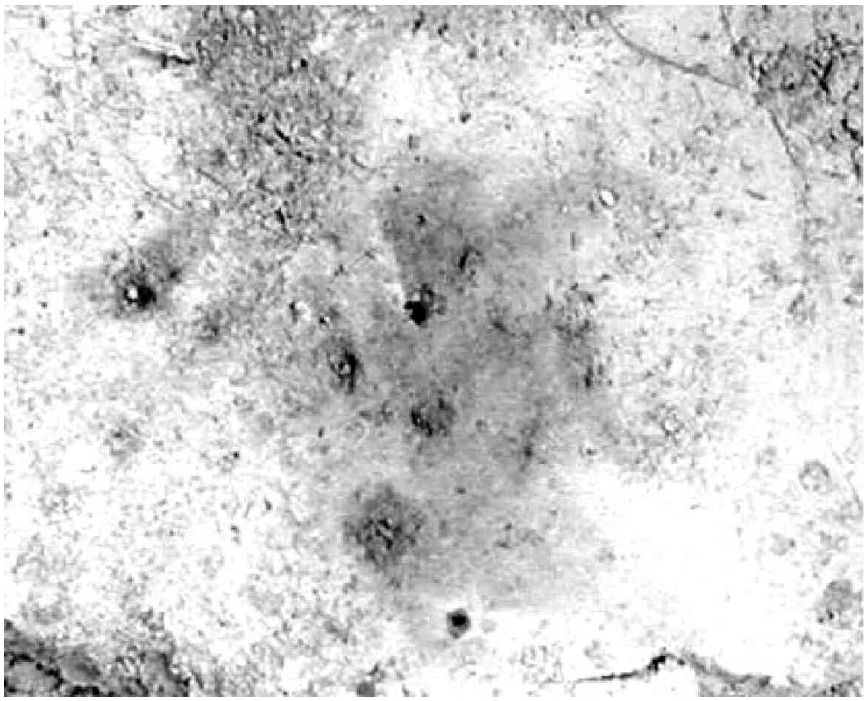
$$OF = \sum_{i=1}^{N} \left(y_i - y_i^* \right) w_i \left(y_i - y_i^* \right) \tag{9}$$

V definici cílové funkce (9) je výraz $\left(y_i - y_i^* \right)$ odchylkou mezi modelovanou a měřenou hodnotou a w_i představuje váhu odpovídající měření *i*. *N* je potom počet měření identifikovaných v cílové funkci.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Využití modelů duální permeability je mnohdy nezbytností. Jejich optimalizace ale stále ještě není rutinní záležitostí. Zvláštností, které řešení inverzní modelování duální permeability přináší, je celá řada – kvantifikace podílu preferenční domény proudění, formulace cílové funkce s ohledem na použitelnost tenzometrických měření, rozdílné citlivostní schéma oproti modélům jednoduché pórovitosti aj.

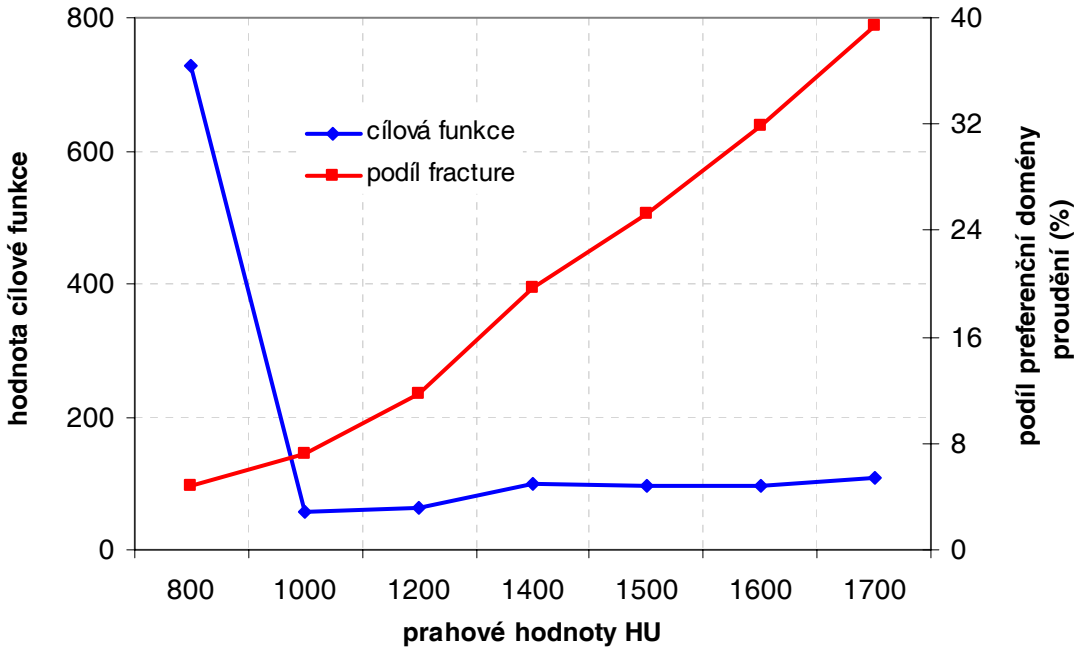
Počáteční odhad hraje klíčovou roli ve všech úlohách inverzního modelování, zjištění podílu preferenční domény proudění v systému nevyjímaje. V terénních aplikacích je možné využít kvantifikace podílu na základě digitálního snímkování domény proudění (obr. 1) po provedení tracerového experimentu (Dohnal et al., 2004a).



Obr. 1 Digitální snímek domény proudění použitý ke kvantifikaci podílu preferenční cest pro účely matematického modelování (černozem, experimentální stanoviště Macov, Slovensko).

Fig. 1 Digital snapshot of flow domain used for quantifying the fraction of the preferential pathways (chernozem, experimental station Macov, Slovakia).

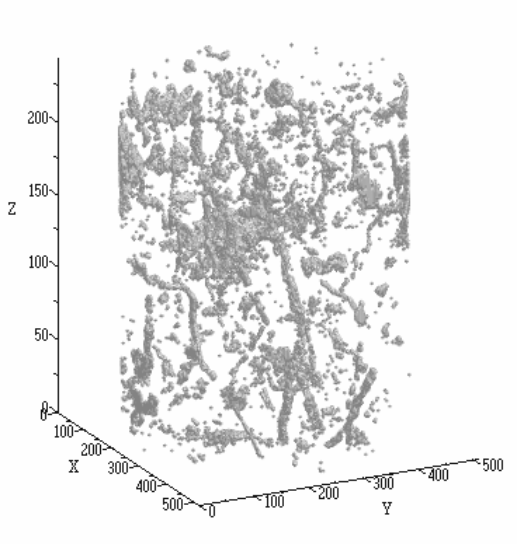
V laboratorním měřítku přibývají k tracerovému experimentu možnosti neinvazivního zobrazení domény proudění. Například CT snímkování poskytující informaci o rozdělení hustoty uvnitř vzorku umožňuje po určení prahové hustoty zjistit příslušný podíl preferenční domény. U obou zmiňovaných způsobů by mělo následovat inverzní ověření správnosti podílu rychlé domény. Vzhledem k tomu, že podíl preferenční domény nemá po celou dobu optimalizačního procesu dostatečnou citlivost je pro jeho inverzní určení vhodným řešením sekvenční optimalizace. To znamená postupná optimalizace jednotlivých přednastavených podílů rychlé domény v intervalu teoreticky možných hodnot. Příklad výsledeku sekvenční optimalizace podílu preferenčních cest v případě matematického modelování infiltračně-výtokového experimentu na velkém neporušeném vzorku je na obr. 2.



Obr. 2 Výsledek sekvenční optimalizace podílu rychlé domény v případě modelování podtlakové infiltrace.

Fig. 2 Sequential optimization result of the preferential flow domain portion in the case of infiltration modeling.

Cílová funkce byla tvořena tenzometrickými měřeními ve třech hloubkách vzorku a vtokem a výtokem na jeho horním respektive spodním okraji. Z grafu plyne, že nejnižší hodnota cílové funkce připadá prahu mezi doménami 1000 HU, který odpovídá 7.24% preferenční domény. Od 7 procent rychlé domény je systém dostatečně duální (optimalizací je možno dosáhnout výrazné minimalizace odchylek tokové části cílové funkce) – hodnota cílové funkce se už řádově nemění. Potenciální preferenční cesty (voxely s hodnotou HU nižší než 1000) jsou zobrazeny na obr. 3.



Obr. 3 Rekonstruovaný 3D snímek půdního vzorku. Zobrazeny jsou oblasti s nízkou hustotou (HU <1000).

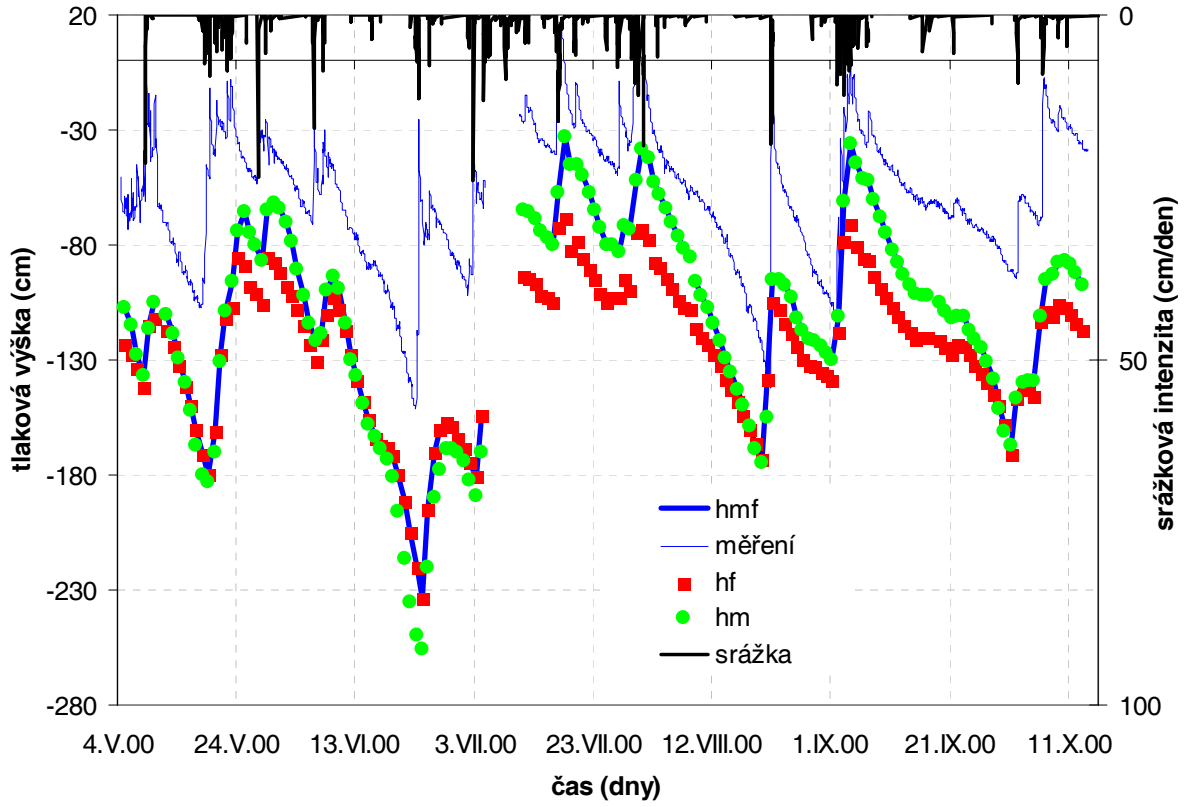
Fig. 3 Three dimensional binarized image of the low-density regions of a soil sample with threshold equal to 1000 HU.

Rozhodnutí jaké doméně a za jakých okolností odpovídají tenzometrická měření případně zahrnutá do cílové funkce představuje další důležitý problém spojený s přístupem duální permeability. Poněkud obecněji lze problém rozdělit na problematiku co vlastně tenzometr měří a problém jak měřenou realitu identifikovat s matematickým modelem. Finsterle a Faybishenko (1999) zjišťovali co tenzometr měří v rozpukaném skalním masívu. Analýzou provedeného laboratorního experimentu a numerické studie došli k závěru, že tenzometr při zvlčování odráží především tlak v puklinách a při vysušování dominuje tlak v matrici. Aplikujeme-li tento přístup v modelu duální permeability identifikujeme v cílové funkci tlak:

$$h_{mf} = \max\left(h_f, h_m\right) \tag{10}$$

kde h_{mf} je tlak, který měří tenzometr a h_f, h_m jsou tlakové výšky v puklinách a v matrici. V případě simulací sezonních tenzometrických měření dochází k zvlhčování a vysušování opakovaně, tudíž můžeme demonstrovat parciální užitečnost tohoto přístupu (obr. 4). Především dvě srážkové epizody po 13.6.2000 jsou lépe popsány tlakem v puklinách, přičemž matrice zůstává po dobu cca 20 dní sušší. Zbylá období jsou přesněji určena sací tlakovou výškou v matrici.

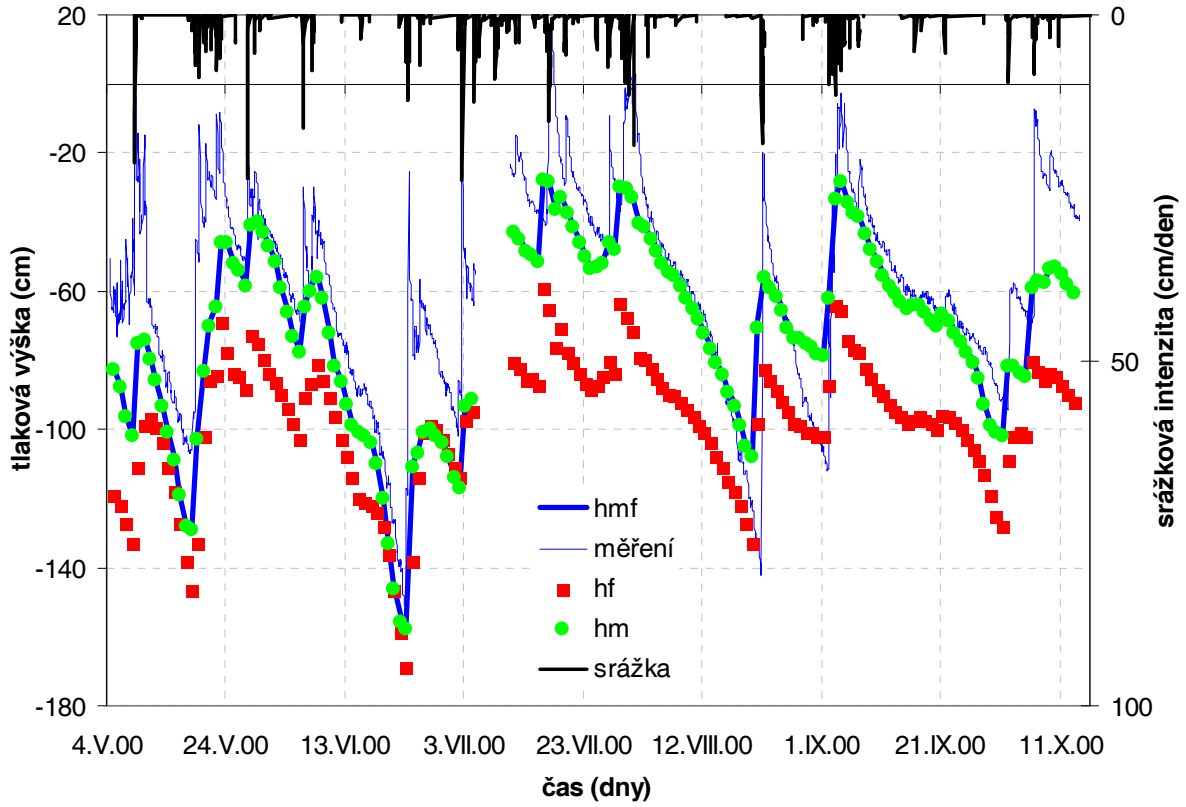
Použitý přístup, byť přinesl ve všech testovaných případech lepší výsledky, nevystihuje realitu. Samotné měření je ovlivněno v čase se měnícími nejistotami spojenými s teplotním závislostí, kalibrací čidel a kontaktem keramiky se zeminou. Z pohledu modelu duální permeability je klíčová adekvátnost modelu, především zahrnutí či nezahrnutí hystereze hydraulických charakteristik a nastavení komunikace obou domén. Efekt všech jmenovaných nejistot může být zaměňován nebo vzájemně neoddělitelně propojen s problematikou co tenzometr měří.



Obr. 4 Porovnání různých způsobů identifikace tenzometrů v modelu duální permeability na příkladě sezónních změn půdních sacích tlaků v roce 2000. Měřené tlakové výšky v hloubce 41 cm pod povrchem jsou znázorněny tenkou modrou čarou, simulované maximum z tlaků v matrici (zelené tečky) a v puklinách (červené čtverečky) je vyneseno silnou modrou čarou.

Fig. 4 Comparison of different approaches used to identify tensiometric measurements in dual-permeability model. Measured pressure head variations at a depth of 41 cm in 2000 are represented by a thin blue line. Simulated maximum from the pressure in matrix (green dots) and fracture (red square symbol) domain is portrayed by a thick blue line.

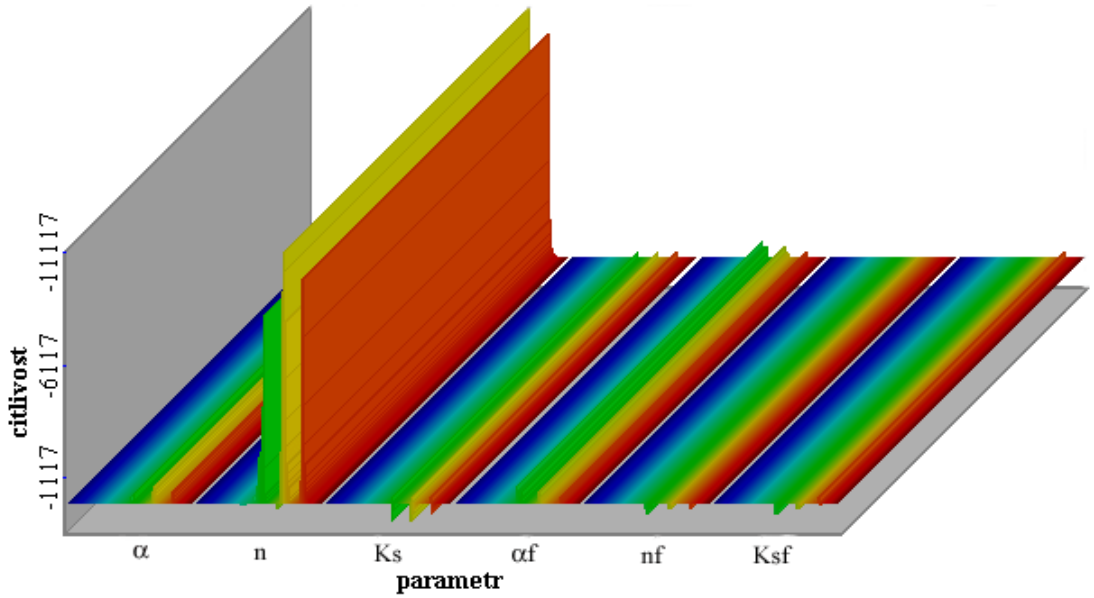
Optimalizace sezónních změn vlhkosti v případě přiřazení tenzometrických měření v cílové funkci tlaku v matrici nebo maximu tlaků v obou doménách umožňuje dosáhnout téměř totožný výsledek (obr. 5). V obou případech má optimalizace potenciál nalézt minimum se srovnatelnou hodnotou cílové funkce. Rozdílná identifikace měření v modelu se projeví v rozdílných hodnotách optimalizovaných parametrů. Považujeme-li jeden z přístupů za adekvátnější musí být nutně jedna sada „optimálních“ parametrů správnější, což implikuje ztrátu jednoznačnosti inverzní úlohy díky neadekvátnosti modelového přístupu. Přiřazení tenzometrických měření do preferenční domény je až na krátké období sucha před srážkou z konce srpna (21.8.2000) nevyhovující.



Obr. 5 Optimalizované změny půdních sacích tlaků v sezóně 2000. Měřené tlakové výšky v hloubce 41 cm pod povrchem jsou znázorněny tenkou modrou čarou, maximum z tlaků v matrici (zelené tečky) a v puklinách (červené čtverečky) je vyneseno silnou modrou čarou.

Fig. 5 Optimized pressure head development in year 2000. Measured pressure heads at a depth of 41 cm are represented by a thin blue line. Maximum from the pressure in matrix (green dots) and fracture (red square symbol) domain is portrayed by a thick blue line.

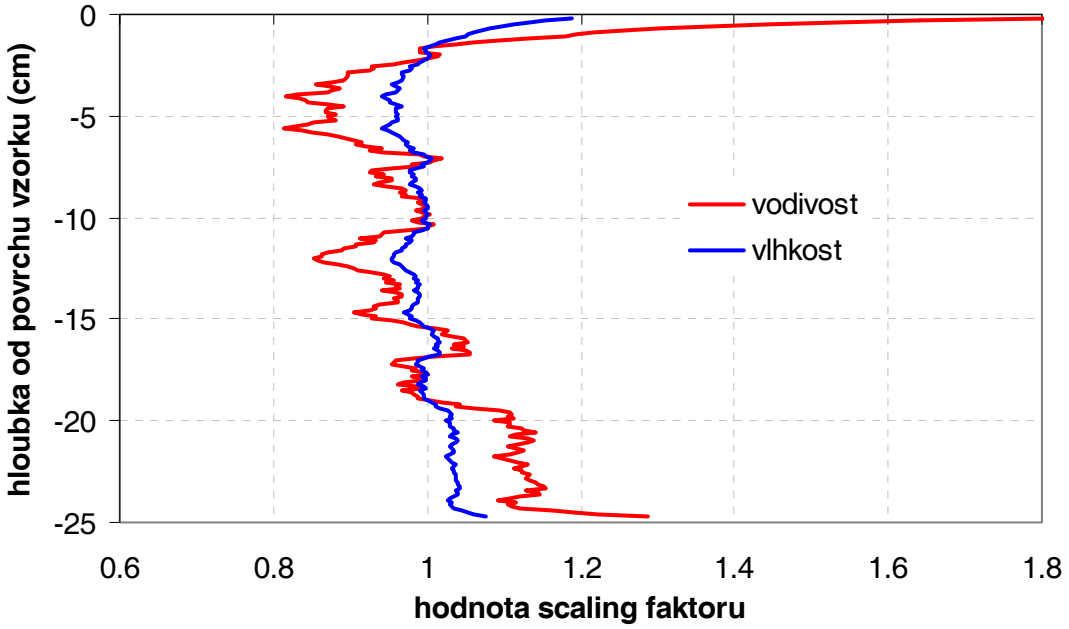
Zabýváme-li se pouze prouděním vody obsahuje model 5 parametrů: nasycenou hydraulickou vodivost K_s, empirické parametry α a n, reziduální vlhkost θ_r, a nasycenou vlhkost θ_s. U dvoudoménového modelu je počet parametrů dvojnásobný. Navíc přistupuje nutnost kvantifikovat podíl preferenční domény a vzájemnou komunikaci obou domén. Výběr parametrů určených k optimalizaci je třeba provádět se zřetelem na minimalizaci jejich počtu a maximalizaci jejich citlivosti během inverzního řešení. Dalším kritériem rozhodujícím o zařazení do optimalizačního schématu je případná neúnosná zkorelovanost nebo naopak potřeba určení parametru přes jeho nízkou citlivost (charakteristiky puklin, podíl preferenční domény). V případě inverzního řešení prezentovaného laboratorního experimentu bylo optimalizovaných parametrů celkem šest - K_s, α a n v obou doménách. Ostatní parametry modelu byly fixovány na svých počátečních odhadech založených na měření. Citlivost parametrů v preferenční doméně je díky malému podílu domény vůči matrici velmi nízká (obr. 6). Tato skutečnost kalibraci modelu významně komplikuje. Volba mezí, v rámci kterých je hledána optimální parametická sada, se řídí fyzikální smysluplností, konvergencí modelu a „rozumnou blízkostí“ počátečnímu odhadu nutnou k dosažení minima cílové funkce. U modelu duální permeability je neméně důležité zajištění preferenčnosti jedné z domén po celou dobu inverzního řešení.



Obr. 6 Citlivosti optimalizovaných parametrů na jednotlivé příspěvky cílové funkce během optimalizace experimentálního běhu -1 cm. Modrá barva značí toková data v cílové funkci, zelená, žlutá a červená představují tenzometrické příspěvky cílové funkcě v hloubkách – 7.5cm, 12.5 cm a 17.5 cm.

Fig. 6 Sensitivity of optimized parameters to objective function contribution. Each individual measurement is represented by own colour. Blue colour indicates inflow and outfow information, green stands for measurements of the first tensiometer (at the depth of 7.5 cm below the top surface), yellow stands for second (at the depth of 12.5 cm), and red colour stands for third tensiometer (at the depth of 17.5 cm).

Nejen v terénních aplikacích je časté komplikované zvrstvení půdního profilu. Každá další vrstva zmnožuje počet parametrů. Jejich citlivost nezávisí pouze na mocnosti vrtstvy a během procesu se mění v čase. V přirozeném půdním profilu vrstvy většinou nepřechází jedna do druhé skokově a tudíž neodpovídá diskretizace profilu v modelu realitě nebo se dále neúnosně komplikuje. Řešení jak jednoduše invertovat problém s zvrstveným profilem pomocí náhradních parametrů a zároveň zachovat proporce mezi jednotlivými vrstvami poskytuje poměrná parametrizace (Vogel et al., 1991). Metoda scalingu Vogel et al. (1991) je založena na konceptu podobných prostředí. Optimalizace zvrstveného profilu pomocí scaling faktorů byla použita v prezentovaném případě sezónních změn půdních sacích tlaků na povodí Uhlířská. Optimalizovanými parametry byly scaling faktory vodivosti a tlakové výšky na horním a spodním okraji řešené oblasti. (Dohnal et al., 2004b).



Obr. 7 Vnesená variabilita vlhkosti a vodivosti půdního vzorku do modelu duální permeability odvozená na základě informace z CT snímkování. Znázorněny jsou změny vlhkosti a vodivosti po výšce vzorku pro pomalou doménu proudění.

Fig. 7 Variability about water content (blue line) and hydraulic conductivity (red line) for the matrix domain in a dual-permeability approach is depicted. Information is derived from CT scanning.

Kromě zmiňovaného usnadnění optimalizace zvrstveného profilu, může další využití spočívat v upscalingu hydraulických charakteristik z měřítka laboratoře do terénu a v neposlední řadě vnesení variability. Informace z CT snímků mohou být pro modelování využity k odvození scaling faktorů vlhkosti po výšce půdního vzorku, které představují variabilitu půdní vlhkosti po výšce vzorku (obr. 7). Z nich lze následně vypočíst scaling faktory vodivosti (obr. 7) podle zjednodušeného Kárman-Koženého vzorce (Hillel, 1998).

SHRNUTÍ

Určování hydraulických parametrů modelu duální permeability inverzním modelováním představuje komplexní problém. K tradičním obtížím inverzního řešení Richardsovy rovnice přistupují zvláštnosti spojené s dualitou systému. Na souboru dat z laboratorního infiltračně-výtokového experimentu a sezónní dynamiky půdní vlhkosti v terénu byla představena některá specifická řešení inverzní úlohy v případě modelu duální permeability.

Demonstrovány byly možné přístupy ke kvantifikaci podílu preferenční domény proudění a jejich využití a verifikace prostředky inverzního modelování. V terénních aplikacích se jedná o digitální snímkování postupně vykopávané výtopové infiltrace doplněné o reflexní barvivo, v laboratorních podmínkách je možné využít neinvazivního zobrazení domény proudění pomocí počítačové tomografie. CT snímkování poskytuje informaci o rozdělení hustoty uvnitř vzorku a umožňuje po určení prahové hustoty zjistit příslušný podíl preferenční domény.

Tvorba cílové funkce při optimalizaci modelu duální permeability se řídí stejnou logikou jako v případě neduálních systémů. Ovšem u tenzometrických měření je nutné rozhodnout, které doméně měření přísluší. Provedli jsme numerickou analýzu identifikace tenzometrických měření v modelu duální permeability. Tenzometrická měření byla přiřazena maximu z tlaků v matrici a preferenční

doméně proudění. Použitý přístup přinesl ve všech testovaných případech lepší výsledky, ale problematika vyžaduje další zkoumání.

Formulována byla kritéria výběru parametrů modelu duální permeability k optimalizaci. Volba parametrů by se měla řídit ohledem na minimalizaci jejich počtu a maximalizaci jejich citlivosti během inverzního řešení, jejich zkorelovaností nebo nutností určení přes relativně nízkou citlivost. Jako životaschopný scénář se jeví v případě kvalitní informace o nasycené vlhkosti optimalizace parametrů α, n a K_s v obou doménách proudění. Diskutovány byly alternativy využití scaling faktorů v duálním modelu. Metoda scalingu může být využita k optimalizaci zvrstveného profilu, upscalingu hydraulických charakteristik z měřítka laboratoře do terénu a vnesení variability.

Poděkování

Podpora tohoto výzkumu byla poskytnuta z prostředků 6. rámcového programu Evropské unie - Water Cycle and Soil Related Aspects - AQUATERRA (No. 505428) a projektu Grantové agentury České republiky 205/05/2312.

Literatura

Beven, K.J., P. Germann (1982): Macropores and water flow in soils, Water Resources Research, 18, 1311–1325.

Císlerová, M., T.Vogel, J.Simunek (1990): The infiltration-outflow experiment used to detect flow deviations, Field-Scale Water and Solute Flux in Soils, K. Roth, H. Fluhler, W.A. Jury, J.C. Parker (editors), Monte Verita, Birkhauser Verlag, Basel, 109-117.

Doherty, J., L. Brebber, P. Whyte (1995): PEST. Model Independent Parameter Estimation, Australian Centre for Tropical Freshwater Research, James Cooke University, Townsville, Australia.

Dohnal, M., M. Císlerová, T. Vogel, J. Dušek, V. Štekauerová, L. Lichner, V. Nagy (2004): Modelování infiltrace do půdy s makropóry, Sborník 15. slovensko - česko - poľský seminár „ Fyzika vody v pôde (Zemplínská Šírava).

Dohnal, M., J. Dušek, T. Vogel, M. Šanda (2004b): Určování půdních hydraulických charakteristik a jejich variability inverzním modelováním, XII. posterový deň s medzinárodnou účasťou: Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda – rastlina – atmosféra (Bratislava/Slovensko), 25.11.

Eching, S.O., J.W. Hopmans (1994): Unsaturated hydraulic conductivity from transient multistep outflow and soil water pressure data, Soil Sci. Soc. Am. J. 58, 687–695.

Finsterle, S., B. Faybishenko (1999): What does tensiometer measure in fractured rock?, in Proceedings of the International Workshop on Characterization and Measurements of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media, edited by M.Th. van Genuchten, F.J. Leij, L. Wu, pp. 761–768, Univ. of Calif., Riverside.

Genuchten, van M.Th., A closed Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Sci. Soc. Am. J. 44, 892-898, 1980.

Gerke, H. H., and M. Th. van Genuchten, A dual-porosity model for simulating the preferential movement of water and solutes in structured porous media, Water Resources Research, 29, 305-319, 1993a.

Gerke, H. H., M. Th. van Genuchten (1993b): Evaluation of a first-order water transfer term for variably saturated dual-porosity flow models, Water Resour. Res., 29(4), 1225-1238, 10.1029/92WR02467.

Gerke, H. H., M. Th. van Genuchten (1996): Macroscopic representation of structural geometry for simulating water and solute movement in dual-porosity media, Advances in Water Resources 19, 343-357.

Hillel, D. (1998): Environmental Soil Physics. Academic Press.

Kool, J.B., J.C. Parker, M.Th. van Genuchten (1985): Determining soil hydraulic propeties form one-step outflow experiment by parameter estimation. I – Theory and Numerical Studies, Soil Sci. Soc. Am. J. 49, 1348-1353.

Kool, J.B., J.C. Parker (1988): Analysis of the inverse problem from transient unsaturated flow, Water Resources Research 24, No. 6, 817-830.

Mous, S.L.J. (1994): On identification of nonlinear systems, Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, p. 40–57.

Mualem, Y. (1976): A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, Water Resources Research, Vol. 12, p.513-522.

Parker, J.C., J.B. Kool, M.Th. van Genuchten (1985): Determining soil hydraulic propeties form one-step outflow experiment by parameter estimation. II – Experimental Studies, Soil Sci. Soc. Am. J., 49, 1354-1359.

Russo, D. (1988): Determining soil hydraulic properties by parameter estimation: On the selection of a model for the hydraulic properties, Water Resources Research, Vol. 24, 453–459.

Russo, D., U. Shani and J. C. Parker (1991): Analysis of infiltration events in relation to determining soil hydraulic properties by inverse problem methodology, Water Resources Research, Vol. 27, 1361–1373.

Sanda, M. (1999): Subsurface runoff generation on a slope (in Czech), Ph.D. thesis, Czech Technical University in Prague, Prague.

Simunek, J., N. J. Jarvis, M. Th. van Genuchten, A. Gärdenäs (2003): Review and comparison of models for describing non-equilibrium and preferential flow and transport in the vadose zone, Journal of Hydrology, 272, 14-35.

Tacheci, P. (2002): Hydrological regime of small mountainous catchment and assessment of vegetation change effect (in Czech), Ph.D. thesis, Czech Technical University in Prague, Prague.

Toorman, A.F., P.J. Wierenga and R.G. Hill (1992): Parameter Estimation of Hydraulic Properties from One-step Outflow Data, Water Resources Research, Vol. 28, No. 11: 3021–3028.

Vogel, T., Císlerová, M., and J.W. Hopmans (1991): Porous media with linearly variable hydraulic properties, Water Resources Research 27, 2735–2741.

Vogel, T., K. Huang, R. Zhang, and M.Th. van Genuchten (1996): The HYDRUS code for simulating One-Dimensional Water Flow, Solute Transport, and Heat Movement in Variably-Saturated Media, Version 5.0, Research Report No. 140, U.S. Salinity Lab., ARS, USDA, Riverside, CA.

Vogel, T., H.H. Gerke, R. Zhang, M.Th. van Genuchten (2000): Modeling flow and transport in a two-dimensional dual-permeability system with spatially variable hydraulic properties. Journal of Hydrology 238, 78–89.

Vogel, T., M.Th. van Genuchten, M. Cislerova (2001): Effect of the shape of soil hydraulic functions near saturation on variably-saturated flow predictions, Advances in Water Resources, 24, 133–144.

Zurmühl, T. (1996): Evaluation of different boundary conditions for independent determination of hydraulic parameters using outflow methods, Workshop On advanced methods to determine hydraulic properties of soils, Thurnau, Germany – 10.-12.6.

Autoři

Michal Dohnal, Katedra hydrauliky a hydrologie, Fakulta Stavební ČVUT, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, dohnalm@mat.fsv.cvut.cz

Jaromír Dušek, Katedra hydrauliky a hydrologie, Fakulta Stavební ČVUT, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, dusek@mat.fsv.cvut.cz

Tomáš Vogel, Katedra hydrauliky a hydrologie, Fakulta Stavební ČVUT, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, vogel@fsv.cvut.cz

Michal Sněhota, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta Stavební ČVUT, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, michal.snehota@fsv.cvut.cz

Milena Císlerová, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta Stavební ČVUT, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, cislerova@fsv.cvut.cz

PREPOJENIE MODELOV POVRCHOVEJ A PODZEMNEJ VODY PROSTREDNÍCTVOM INTERAKČNÝCH FUNKCIÍ

Renáta Dulovičová,

Príspevok sa zaoberá porovnaním výpočtu priesaku z koryta toku do zvodneného kolektora podzemnej vody v jeho okolí (alebo naopak) pomocou modelu prúdenia podzemnej vody SKOKY a pomocou tzv.interakčných funkcií, pričom sa berie do úvahy vplyv vzájomnej interakcie povrchových a podzemných vôd. Kľúčovou hydraulickou veličinou pri tomto procese je vtok z okolitej podzemnej vody do koryta povrchového toku (alebo výtok z koryta toku do okolitej podzemnej vody), ktorý je udávaný ako prítok (výtok) $\boldsymbol{q}$ *v* $m^3.s^{-1}$ *cez plochu dna koryta, pripadajúci na bežný meter dĺžky koryta - tzv.špecifický prietok* $\boldsymbol{q}$ *v* $m^2.s^{-1}$*. Veľkosť tohto prietoku určuje mieru účinku povrchového toku na okolitú podzemnú vodu a naopak, účinok okolitej podzemnej vody na povrchový tok. Prietok* $\boldsymbol{q}$ *vystupuje v modeli ako vstupná veličina (pre povrchovú vodu) alebo ako hraničná podmienka (pre podzemnú vodu). Naším cieľom bolo nájsť prostriedok spolupráce oboch modelov, pretože ich výstupy sú ovplyvňované práve prietokom* $\boldsymbol{q}$ *v* $m^2.s^{-1}$ *a preto boli zostavené interakčné funkcie. Ich úlohou je zjednodušiť výpočty pomocou hydrodynamických modelov tak, aby sa tieto dali využívať samostatne, bez vzájomnej závislosti, pričom bude vplyv interakcie plne akceptovaný. Interakčné funkcie umožnia zistiť hodnotu prietoku* $\boldsymbol{q}$ *bez toho, aby sa musel opakovane použiť hydrodynamický model, pretože ak sa raz pre daný povrchový tok zostavia, nahradia pri modelovaní prúdenia v tomto povrchovom toku vlastne model podzemnej vody. Naopak, pri modelovaní prúdenia podzemnej vody tieto nájdené interakčné funkcie nahrádzajú model povrchovej vody. Výpočty boli robené pre vybrané symetrické profily koryta s rôznymi geometrickými a hydraulickými parametrami a taktiež pre niektoré profily kanálovej siete na Žitnom ostrove.*

Kľúčové slová: špecifický prietok, prítok a odtok podzemnej vody, interakcia povrchovej a podzemnej vody, hydrodynamický model, interakčná funkcia

Interconnection of surface a groundwater models by interaction formulas. *This contribution deals with comparison of computation of infiltration from channel to saturated groundwater collector (or reversal) by hydrodynamic model SKOKY and by interaction formulas, with full acceptation of the influence of mutual interaction between surface and groundwater. Inlet from surrounding groundwater to open channel (or outlet from open channel to surrounding groundwater) is key hydraulic characteristic in this process. This characteristic is given as inlet (outlet)* $\boldsymbol{q}$ *in* $m^3.s^{-1}$ *over the channel bottom area which is fallen to one meter of length channel – it is so called „specific discharge“* $\boldsymbol{q}$ *in* $m^2.s^{-1}$*. Intensity of this characteristic determines the degree of open channel impact to surrounding groundwater and reversal, surrounding groundwater impact to open channel. Discharge* $\boldsymbol{q}$ *constitutes as input characteristic (for surface water) or as boundary condition (for groundwater). The aim was to find the exchangeable instrument between surface water flow and ground water flow hydrodynamic models, because their outputs are influenced just by this characteristic* $\boldsymbol{q}$ *in* $m^2.s^{-1}$*, it means to built up the interaction functions for each selected cross-section profile and verify them. The task of interaction function consists of simplification of computation of recharge to open channels bed with full acceptation of the influence their mutual interaction with ground water. It means to reduce the computations by hydrodynamic models so that they could be used separately, without their mutual dependence, but wit full acceptation of interaction influence. Interaction formulas enable to find the discharge value* $\boldsymbol{q}$ *without repeated application of hydrodynamic models, because if they are once built up for one open channel, they substitute the groundwater hydrodynamic model at flow simulation in this channel and reversal. The calculations were made for symmetrical cross-section profiles with various geometrical and hydraulic parameters and for several profiles of channel network at Žitný ostrov.*

Key words: specific discharge, groundwater input and output, interaction between surface and groundwater, hydrodynamic model, interaction formula

---

Úvod

Prúdenie povrchových a podzemných vôd bolo až donedávna sledované oddelene. No ukázalo sa, že podzemné a povrchové vody sa výraznou mierou navzájom ovplyvňujú nielen v kvantite, ale aj v kvalite. Interakciu podzemnej a povrchovej vody možno chápať ako interakciu medzi povrchovým tokom a zvodneným prostredím v jeho okolí. Možno povedať, že väčšina povrchových vodných

zdrojov je v interakcii so zdrojmi podzemných vôd. Táto interakcia môže nadobúdať mnoho foriem. V niektorých prípadoch povrchové vodné zdroje získavajú vodu a obsah látok v nej zo systému podzemných vôd, a naopak, v iných prípadoch býva povrchový vodný zdroj zase zdrojom prítoku vody a látok do podzemnej vody a ovplyvňuje jej vodnosť a kvalitu (Burger, Čelková,2004). Znečistenie povrchového zdroja môže spôsobiť degradáciu kvality podzemnej vody (Velísková, 2002), a naopak, znečistenie zdroja podzemnej vody môže mať za následok znečistenie povrchového toku. V súčasnosti existuje množstvo prác o interakcii povrchových a podzemných vôd v poriečnych oblastiach, ktoré reprezentuje rozsiahle množstvo výsledkov, dosiahnutých analytickými, numerickými, terénnymi a chemickými metódami výskumu.

Teoretické východiská a metodika výpočtu

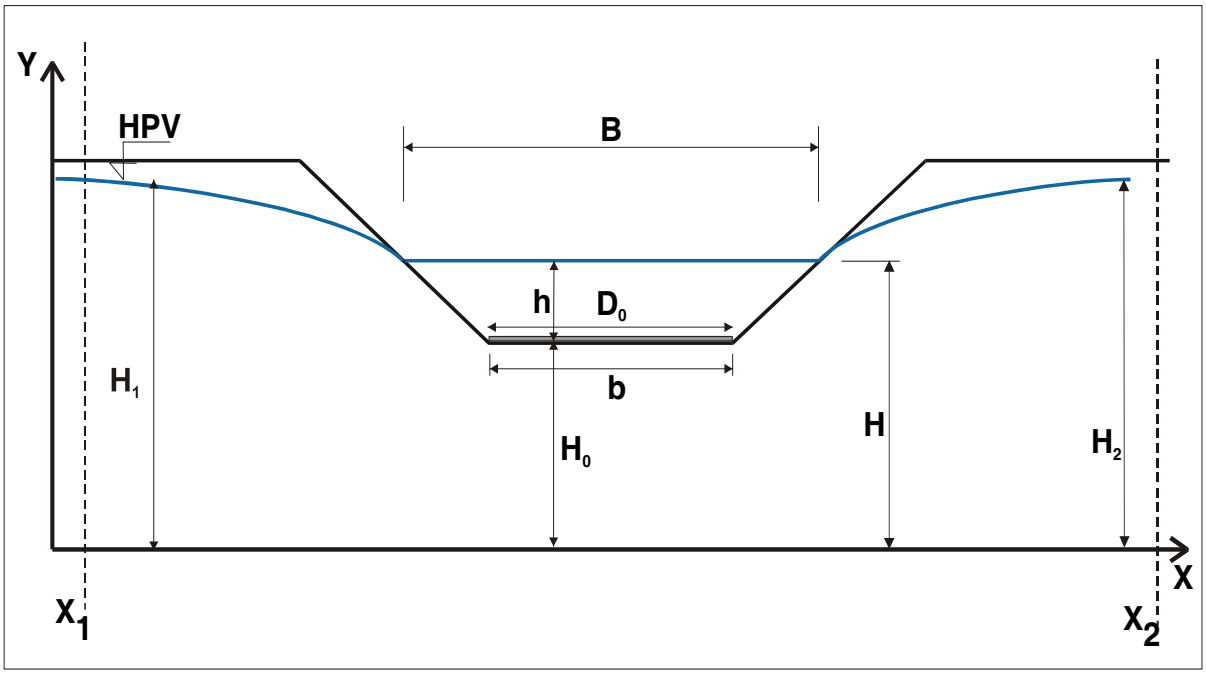
Pri modelovaní pohybu vody a látok v systéme povrchových a podzemných vôd vo vzájomnej interakcii si v prvom rade musíme uvedomiť, že ide o časovo rozdielne procesy prúdenia (rádový rozdiel medzi rýchlosťami prúdenia podzemných a povrchových vôd) a o existenciu kvalitatívne odlišných vlastností prostredia v povrchových a podzemných vodách (rádovo rozdielne koeficienty filtrácie prostredia podzemných vôd a nánosov v koryte povrchového toku). Hydrodynamické 2-D modely a 3-D modely, ktoré používame pri modelovaní prúdenia podzemných a povrchových vôd vo vzájomnej interakcii (SKOKY), sú schopné tieto časovo rozdielne procesy prúdenia povrchových a podzemných vôd tolerovať a zosúladiť pritom časovo odlišné úseky výpočtov pre povrchové a podzemné vody s dostatočnou spoľahlivosťou.
Z pohľadu akceptovania vzájomnej interakcie podzemných a povrchových vôd je dôležitá výmena množstva vody medzi povrchovým tokom a bazénom podzemnej vody, ktorá prebieha cez styčné plochy medzi nimi (cez dno a svahy koryta povrchového toku alebo nádrže). Pri procese tejto výmeny je kľúčovou hydraulickou veličinou priesak z okolitej podzemnej vody do koryta povrchového toku (alebo priesak z koryta toku do okolitej podzemnej vody). Tento je udávaný ako množstvo vody presakujúce cez plochu dna a svahy koryta $\boldsymbol{q}$ ($m^3.s^{-1}$), pripadajúce na bežný meter dĺžky koryta. V podstate je to o špecifický priesak $\boldsymbol{q}$ v $m^2.s^{-1}$, ktorý možno popísať rovnicou :

$$q_{bm} = \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} \qquad (1)$$

Veľkosť tohto priesaku vyjadruje mieru účinku povrchového toku na okolitú podzemnú vodu a naopak. Priesak $\boldsymbol{q}$ vystupuje v modeli pre povrchovú vodu ako vstupná veličina, v modeli pre podzemnú vodu ako okrajová podmienka.
Ako východzí vzťah pre priesak podzemnej vody do koryta toku alebo priesak vody z koryta toku do okolitej podzemnej vody s ohľadom na ich vzájomnú interakciu uvádza Kosorin (2001) všeobecný vzťah:

$$q_{bm} = a_1\varphi_1 + a_2\varphi_2 + a_3\varphi_3 + \ldots. + a_i\varphi_i \qquad (m^2.s^{-1}) \qquad (1a)$$

kde $\boldsymbol{\varphi_1, \varphi_2\ldots., \varphi_i}$ sú interakčné funkcie
Každá jedna z nich reprezentuje pomery v jedinom priečnom profile povrchového toku . To znamená, že v tomto profile existujú veličiny konštantné, ktoré neovplyvňujú veľkosť infiltrovaného množstva $\boldsymbol{q}$ v čase a vyjadrujú len polohu daného profilu na toku, a potom veličiny premenlivé, ktoré sa v danom profile v čase menia a teda rozhodujú o veľkosti prítoku (odtoku). Konštantnými veličinami sú geologické vlastnosti prostredia v mieste profilu a geometrické parametre tohoto profilu na toku. Premenlivými veličinami sú meniace sa hĺbky vody a premenlivé hrúbky nánosov v koryte. Jedna interakčná funkcia s rovnakými parametrami $\boldsymbol{a_i}$ teda reprezentuje taký úsek koryta toku, pozdĺž ktorého sú geologické vlastnosti prostredia rovnaké a zároveň sa nemenia geometrické parametre prietočného profilu koryta. V závislosti od variability geologického prostredia a geometrických parametrov koryta si volíme počet interakčných funkciií. Čím je geológia prostredia a geometria prietočného profilu v priestore a v čase premenlivejšia, tým vyšší počet interakčných funkcií musíme zostaviť.



Obr.1 Schéma I.variantu stavu hladiny podzemnej vody ovplyvnenej interakciou s povrchovou vodou pre symetrický profil koryta s výškou hladiny h (šírka nánosu D_0 je symetrická po celej šírke dna koryta, hrúbka nánosu v koryte je d)

Fig.1 Figure of the I-st variant of groundwater level condition effected by mutual interaction between surface and groundwater for symetrical profile with water depth h (width of silt D_0 is symetrical across whole bottom width, silt thickness is d)

Interakčné funkcie by mali teda obsahovať zahrnutie vplyvu premenlivých veličín na veľkosť prítoku (odtoku), to znamená, že budú závisieť od hladiny vody v koryte a zároveň od hladiny podzemnej vody v jeho okolí - pozri obr.1. Túto závislosť vyjadrujú nasledovné vzťahy (2) – Dulovičová (2003):

$$\varphi_1 = H_1^{\,2} - H^2 , \qquad \varphi_2 = H_2^{\,2} - H^2 ,$$

$$\varphi_3 = H_1^{\,1/2} - H^{\,1/2} , \qquad \varphi_4 = H_2^{\,1/2} - H^{\,1/2} ,$$

$$\varphi_5 = H_1 - H , \qquad \varphi_6 = H_2 - H$$

$$\varphi_7 = H_1^{\,3/2} - H^{\,3/2} , \qquad \varphi_8 = H_2^{\,3/2} - H^{\,3/2} ,$$

…

$$\varphi_i = f\,(h, H_0, H_1, H_2) \quad (2)$$

kde H_1 je hladina podzemnej vody vo vstupnom profile (X_1) v (m), H_2 je hladina podzemnej vody vo výstupnom profile (X_2) v (m), pričom tieto profily sú v symetrickej vzdialenosti od stredu koryta toku,

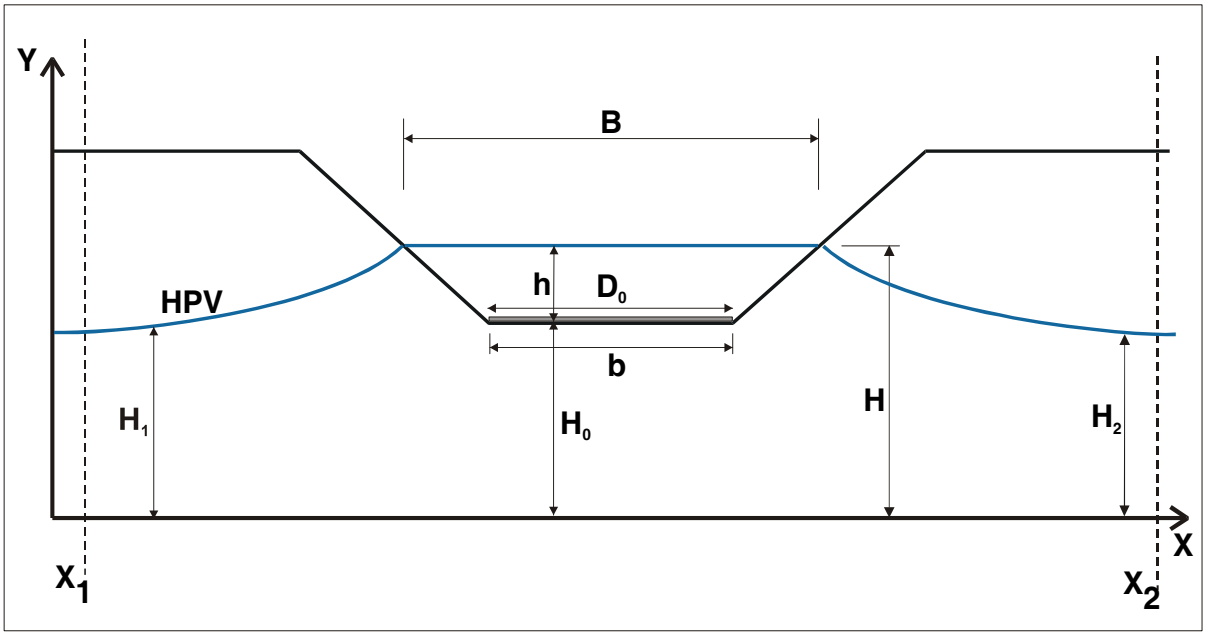
$H = H_0 + h$ je súčet hrúbky vodonosnej vrstvy od dna koryta po nepriepustné podložie a hĺbky vody v koryte,

$\boldsymbol{a_1, a_2, \ldots, a_i}$ – hľadané parametre interakčných funkcií daného profilu, ktorých počet volíme v závislosti od počtu interakčných funkcií, s ohľadom na požadovanú presnosť simulácie interakcie. Zohľadnenie geológie prostredia v mieste profilu na toku a geometrie tohoto profilu vyjadruje nasledovná závislosť:

$$a_i = f_i\,(H_0, b, k, k_n) \qquad i=1,2,3\ldots \qquad (3)$$

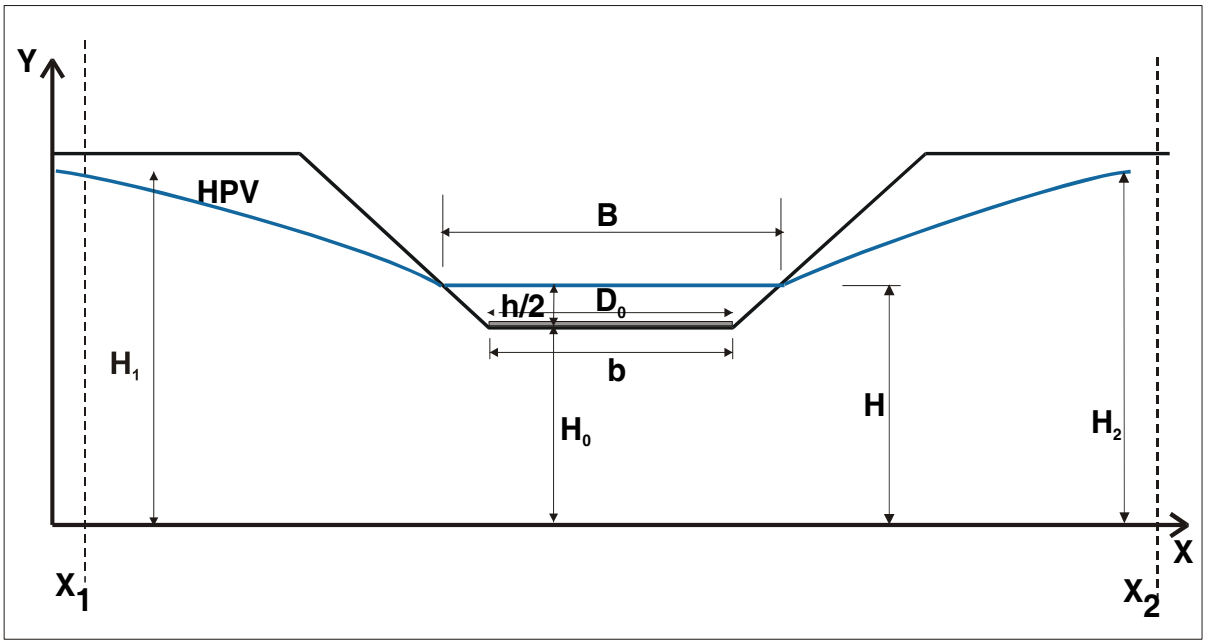
kde $\boldsymbol{k}$ je koeficient filtrácie zvodneného prostredia a $\boldsymbol{k_n}$ je koeficient filtrácie dnového nánosu koryta v jednom úseku jedného profilu.

Pre výpočet parametrov a_i je potrebné zvoliť si niekoľko variantov hĺbok povrchovej a podzemnej vody v danom profile (hraničných podmienok)– pozri obr.1, obr.2, obr.3, obr.4.



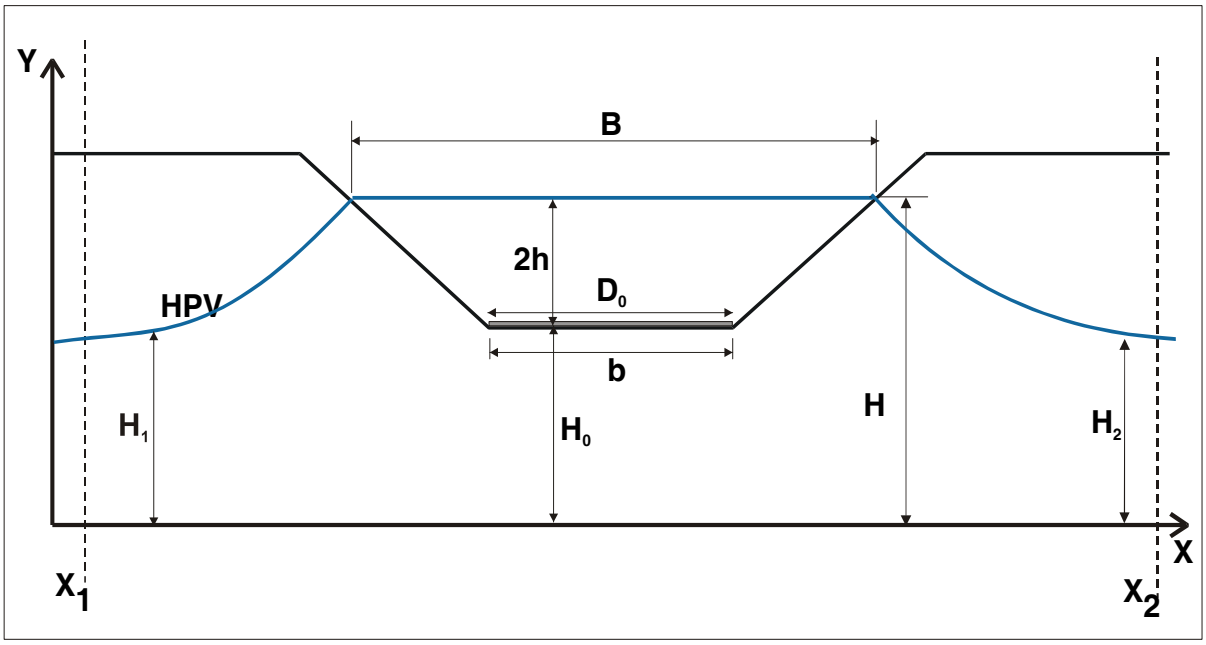
Obr. 2 Schéma II. variantu stavu hladiny podzemnej vody ovplyvnenej interakciou s hladinou povrchovej vody v symetrickom profile koryta s hladinou h

Fig. 2 Figure of the II-nd variant of groundwater level condition effected by mutual interaction between surface and groundwater for symetrical profile with water depth h



Obr.3 Schéma III. variantu stavu hladiny podzemnej vody ovplyvnenej interakciou s povrchovou vodou pre symetrický profil koryta s výškou hladiny h/2

Fig.3 Figure of the III-th variant of groundwater level condition effected by mutual interaction between surface and groundwater for symetrical profile with water depth h/2



Obr.4 Schéma IV. variantu stavu hladiny podzemnej vody ovplyvnenej interakciou s hladinou povrchovej v symetrickom profile koryta s výškou hladiny 2h

Fig.4 Figure of the IV-th variant of groundwater level condition effected by mutual interaction between surface and groundwater for symetrical profile with water depth 2h

Vybrané varianty dosadíme do rovnice (1a) a dostaneme taký počet nezávislých lineárnych rovníc, koľko variantov polohy hladín sme zvolili. Na pravú stranu týchto rovníc za prietok dosadíme vždy hodnotu q_{bmi}, vypočítanú pomocou hydrodynamického modelu SKOKY pre dané hraničné podmienky (polohy hladín). Úlohou je teda zistiť zo systému lineárnych rovníc neznáme parametre a_i. Keď ich riešením systému zvoleného počtu lineárnych rovníc získame, tým sme vlastne zostavili požadovanú interakčnú funkciu pre daný profil. Overenie platnosti získanej interakčnej funkcie môžeme urobiť tak, že si zvolíme tzv. "overovací" variant polohy hladiny podzemnej vody (novú hraničnú podmienku), pre ktorý vypočítame modelom SKOKY hodnotu q_{iov}. Túto potom porovnávame s hodnotou prietoku, vypočítanou pomocou našej získanej interakčnej funkcie. Ak je rozdiel týchto dvoch hodnôt zanedbateľný (do 10%), môžeme považovať zvolený počet variantov polôh hladín za postačujúci. Ak nie (viac ako 20 %), je potrebné pridať ďalšie varianty polohy hladín povrchovej a podzemnej vody, tým zvýšiť aj počet interakčných funkcií a ich ďalšie závislosti (vo vzťahoch (2)). Forma týchto závislostí nie je rozhodujúca, na presnosť výpočtu vplýva len ich počet - Dulovičová (2003).

Interakčné funkcie pre symetrické profily

Pre symetrické profily, t.j. pre profily so symetricky rozdeleným prítokom (odtokom) do podzemnej vody, symetrickými geometrickými parametrami profilu a symetricky rozdelenou geológiou prostredia v jeho okolí sa nám vzťahy (2) zredukujú na polovičný počet, čo je spôsobené symetriou $H_1 = H_2$. Potom sa vzťahy (1) a (2) transformujú na nasledovné:

$$q_{bm} = a_1\varphi_1 + a_2\varphi_2 + a_3\varphi_3 + a_4\varphi_4 \quad (m^2.s^{-1}) \qquad (4)$$

kde $\varphi_1 = H_1^2 - H^2$, $\varphi_2 = H_1^{1/2} - H^{1/2}$, $\varphi_3 = H_1 - H$, $\varphi_4 = H_1^{3/2} - H^{3/2}$ (5)

Za prietok q_{bm} na ľavej strane rovnice (4) dosádzame len polovičnú hodnotu z hodnoty prietoku, získaného výpočtom pomocou modelu SKOKY, nakoľko uvažujeme so symetrickým rozdelením

prítoku (odtoku) na obidve strany koryta. Geometrické, hydraulické a geologické pomery na oboch stranách symetrického koryta považujeme za rovnaké.
V rámci tohto príspevku boli použité štyri varianty vzájomnej polohy hladín podzemnej vody a hladiny v koryte povrchového toku, schematicky zobrazené na obr.1,2,3,4. Ako prvý je uvažovaný variant symetrického obojstranného prítoku podzemnej vody do symetrického profilu koryta. Druhý uvažovaný variant je symetrický obojstranný odtok zo symetrického profilu koryta toku do okolitej podzemnej vody. Pre obidva tieto varianty pritom platí, že hladina podzemnej vody vo vstupnom profile X_1 (H_1) je zhodná s hladinou podzemnej vody vo výstupnom profile X_2 (H_2), t.j. $H_1 = H_2$ a zároveň hĺbka vody v koryte je h. Ako tretí variant bol uvažovaný obojstranný symetrický prítok podzemnej vody do toku so zhodnými hĺbkami podzemnej vody $H_1 = H_2$ a s hĺbkou v koryte $h/2$. Ako štvrtý variant bol uvažovaný symetrický obojstranný odtok z koryta toku s hladinou v koryte $2h$ a zhodnými hĺbkami podzemnej vody $H_1 = H_2$.
Hodnota prietoku s akceptovaním vplyvu vzájomnej interakcie podzemnej a povrchovej vody je pre variant obojstranného prítoku do toku s výškou hladiny v koryte h:

I.variant: $q_I = +q_1 + q_2$ $(m^2.s^{-1})$

Hodnota prietoku pre variant obojstranného odtoku z koryta s výškou hladiny h je:

II.variant: $q_{II} = - q_1 - q_2$ $(m^2.s^{-1})$

Hodnota prietoku pre variant obojstranného prítoku podzemnej vody do koryta s hladinou $h/2$ je:

III.variant: $q_{III} = +q_1 + q_2$ $(m^2.s^{-1})$

Hodnota prietoku pre variant obojstranného odtoku z koryta s výškou hladiny $2h$ je:

IV.variant: $q_{IV} = - q_1 - q_2$ $(m^2.s^{-1})$

kde $\boldsymbol{q}$ je výsledný odtok (prítok) z (do) koryta, $\boldsymbol{q_1}$ je prietok cez vstupný profil X_1 a $\boldsymbol{q_2}$ je prietok cez výstupný profil X_2.

Tab.1 Prítok (odtok) do (z) symetrického koryta toku s hľbkou h = 10,0 m pre I.- IV.variant hladiny podzemnej vody v jeho okolí

Tab.1 Inlet (outlet) to (from) symetrical profile with depth h = 10,0 m for I.- IV.variant of groundwater level in its surroundings

	I.variant	**II.variant**	**III.variant**	**IV.variant**
Prietok cez profil X_1 $\|q_1\|$ $[m^2.s^{-1}]$	0,113593	0,149351	0,142372	0,246221
Prietok cez profil X_2 $\|q_2\|$ $[m^2.s^{-1}]$	0,113300	0,148890	0,142062	0,244467
Výsled.prítok (odtok)do(z) koryta toku q_i $[m^2.s^{-1}]$	0,226893	-0,298242	0,284434	-0,490688
Symetria $q_i/2$ $[m^2.s^{-1}]$	0,113447	-0,149121	0,142217	-0,245344

Číselné hodnoty prietokov vo vstupnom profile X_1 a výstupnom profile X_2 počítame pomocou modelu SKOKY, ktorý zo svojich výstupných súborov poskytuje okrem iného aj hodnoty horizontálnych zložiek rýchlostí v jednotlivých vrstvách od nepriepustného podložia po úroveň hladiny podzemnej vody v sledovanom profile. Prietoky cez profily X_1 a X_2 pre zvolené priečne prierezy koryta toku s konštantnými geometrickými a hydraulickými parametrami sú na základe rovnice kontinuity spočítané pre varianty I. – IV. v tab.1 a tab.2 pomocou algoritmu, uvedeného v Dulovičová (2002).

Tab.2. Prítok (odtok) do (z) symetrického koryta kanála SVII v profile č.1- km 3,0 s hľbkou h = 2,0 m pre I.-IV. variant hladiny podzemnej vody v jeho okolí

Tab.2. Inlet (outlet) to (from) symetrical profile at Channel SVII in km 3,0 with depth h = 2,0 m for I.-IV.variant of groundwater level in its surroundings

	I.variant	**II.variant**	**III.variant**	**IV.variant**
Prietok cez profil X_1 $\|q_1\|$ $[m^2.s^{-1}]$	0,006627	0,002426	0,006894	0,008916
Prietok cez profil X_2 $\|q_2\|$ $[m^2.s^{-1}]$	0,006634	0,002306	0,006822	0,008563
Výsled.prítok (odtok)do(z) koryta toku q_i $[m^2.s^{-1}]$	0,012972	-0,004732	0,013715	-0,017478
Symetria $q_i/2$ $[m^2.s^{-1}]$	0,006486	-0,002366	0,006858	-0,008739

Pre rôzne hľbky vody v koryte toku sú uvedené aj hodnoty tzv."overovacích" prietokov, t.j. prietokov pri nových hraničných podmienkach - tab.3 a tab.4.

Tab.3 Overovací prítok (odtok) do (z) symetrického koryta kanála SVII v profile č.1- km 3,0 s hľbkou h = 2,0 m I.-IV. variant hladiny podzemnej vody v jeho okolí

Tab.3 Verificated inlet (outlet) to (from) symetrical profile at Channel SVII in km 3,0 with depth h = 2,0 m for I.- IV.variant of groundwater level in its surroundings

	I.variant	**II.variant**	**III.variant**	**IV.variant**
Prietok cez profil X_1 $\|q_1\|$ $[m^2.s^{-1}]$	0,006967	0,002172	0,007066	0,003497
Prietok cez profil X_2 $\|q_2\|$ $[m^2.s^{-1}]$	0,006530	0,002035	0,006998	0,003238
Výsled.prítok (odtok)do(z) koryta toku q_i $[m^2.s^{-1}]$	0,013497	-0,004206	0,014063	-0,006735
Symetria $q_i/2$ $[m^2.s^{-1}]$	0,006748	-0,002103	0,007031	-0,003368

Výpočet parametrov interakčných funkcií $\boldsymbol{a_i}$ bol robený maticovou metódou riešenia sústavy lineárnych rovníc, ktorá vychádza z predpokladu, že vektor riešenia sústavy ($\boldsymbol{a_i}$) je rovný súčinu inverznej matice k matici koeficientov sústavy rovníc a vektora pravých strán sústavy rovníc ($\boldsymbol{q_i}$). Je uvedený pre rôzne hľbky v koryte v tab.5 a tab.6.

Tab.4 Overovací prítok (odtok) do (z) symetrického koryta toku s hľbkou h = 10,0 m pre I.-IV. variant hladiny podzemnej vody v jeho okolí

Tab.4 Verificated inlet (outlet) to (from) symetrical profile with depth h = 10,0 m for I.- IV.variant of groundwater level in its surroundings

	I.variant	**II.variant**	**III.variant**	**IV.variant**
Prietok cez profil X_1 $\|q_1\|$ $[m^2.s^{-1}]$	0,055802	0,111080	0,121456	0,236585
Prietok cez profil X_2 $\|q_2\|$ $[m^2.s^{-1}]$	0,055586	0,110820	0,121212	0,234970
Výsled.prítok (odtok)do(z) koryta toku q_i $[m^2.s^{-1}]$	0,111388	-0,221899	0,242669	-0,471555
Symetria $q_i/2$ $[m^2.s^{-1}]$	0,055694	-0,1109495	0,1213345	-0,235777

Tab.5 Tabuľka výpočítaných parametrov interakčnej funkcie a_{1-4} pre symetrické koryto s hľbkou h = 10,0 m

Tab.5 Calculated parameters of interaction function $\boldsymbol{a_{1-4}}$ for symetrical profile with depth h = 10,0 m

Matica koeficientov sústavy rovníc				**$q_{i=1-4}/2$** $[m^2.s^{-1}]$	**$a_{i=1-4}$**
1100	0,67489	10	111,205	0,1134467	$1{,}7470.10^{-4}$
-900	-0,74651	-10	-100,571	-0,1491208	21,903553
1575	1,037763	15	162,889	0,1422172	-3,036246
-2000	-1,42141	-20	-211,776	-0,2453441	0,139236

Tab.6 Tabuľka výpočítaných parametrov interakčnej funkcie a_{1-4} pre symetrické koryto kanála SVII v profile 1 – km 3,0 s hľbkou h = 2,0 m

Tab.6 Calculated parameters of interaction function $\boldsymbol{a_{1-4}}$ for symetrical profile at Channel SVII in km 3,0 with depth h = 2,0 m

Matica koeficientov sústavy rovníc				**$q_{i=1-4}/2$** $[m^2.s^{-1}]$	**$a_{i=1-4}$**
357,2	18,89944	2	1687,826	0,006486	$-2{,}296.10^{-4}$
-349,2	18,6866	-2	1631,446	-0,002366	0,006932
175,1	18,74025	1	1645,421	0,006858	0,043469
-706,4	18,7924	-4	1659,796	-0,008739	$-7{,}671.10^{-5}$

Tab.7 prezentuje overenie platnosti interakčných funkcií už spomenutým spôsobom, to znamená zvolením novej varianty polohy hladiny podzemnej vody (novej hraničnej podmienky) a následným vypočítaním novej hodnoty prietoku $\boldsymbol{q_{iov}}$ pomocou modelu SKOKY(tzv.overovací prietok). Porovnanie prietokov, spočítaných pomocou interakčných funkcií s parametrami $\boldsymbol{a_i}$ a tzv.overovacích prietokov (v poslednom stĺpci tab.7) vypovedá o spoľahlivosti výpočtu so zvoleným počtom parametrov a tým aj o presnosti simulácie.

Tab. 7 Overovanie platnosti interakčných funkcií pre symetrické profily s hĺbkou h = 2 m; 10 m

Tab. 7 Verification of interaction functions validity for symetrical profiles with depth h = 2 m; 10 m

I.variant

h [m]	H_0 [m]	$H = H_0 + h$ [m]	$H_1 = H_2 = H_0 + 2 . h$ [m]
2	86,3	88,3	90,3
10	40	50	60
$\varphi_1=H_2^2-H^2$ [m]	$\varphi_2=H_2^{1/2}+H^{1/2}$ [m]	$\varphi_3=H_2-H$ [m]	$\varphi_4=H_2^{3/2}+H^{3/2}$ [m]
357,2	18,89944	2	1687,826
1100	0,674899	10	111,20461
a_1	a_2	a_3	a_4
$1,2958.10^{-4}$	0,006932	0,043468	$-7,6706. 10^{-5}$
$1,7470.10^{-4}$	21,903553	-3,036246	0,139236

$q_{I.} = a_1.\varphi_1+a_2.\varphi_2+a_3.\varphi_3+a_4.\varphi_4$ $[m^2.s^{-1}]$	$q_{I..over.}$ zo SKOKY $[m^2.s^{-1}]$	ROZDIEL
0,00649	0,00675	0,00026
0,096114	0,055694	0,04042

II.variant

h [m]	H_0 [m]	$H = H_0 + h$ [m]	$H_1 = H_2 = H_0$ [m]
2	86,3	88,3	86,3
10	40	50	40
$\varphi_1=H_2^2-H^2$ [m]	$\varphi_2=H_2^{1/2}+H^{1/2}$ [m]	$\varphi_3=H_2-H$ [m]	$\varphi_4=H_2^{3/2}+H^{3/2}$ [m]
-349,2	18,68659	-2	1631,4461
-900	-0,74651	-10	-100,5712
a_1	a_2	a_3	a_4
$1,2958.10^{-4}$	0,006932	0,043468	$-7,6706. 10^{-5}$
$1,7470.10^{-4}$	21,903553	-3,036246	0,139236

$q_{II.} = a_1.\varphi_1+a_2.\varphi_2+a_3.\varphi_3+a_4.\varphi_4$ $[m^2.s^{-1}]$	$q_{II..over.}$ zo SKOKY $[m^2.s^{-1}]$	ROZDIEL
-0,00237	-0,00210	0,00026
-0,14920	-0,11095	0,03825

III.variant

h [m]	H_0 [m]	$H = H_0 + h /2$ [m]	$H_1 = H_2 = H_0 + 2.h$ [m]
2	86,3	87,3	88,3
10	40	45	60
$\varphi_1=H_2^2-H^2$ [m]	$\varphi_2=H_2^{1/2}+H^{1/2}$ [m]	$\varphi_3=H_2-H$ [m]	$\varphi_4=H_2^{3/2}+H^{3/2}$ [m]
175,6	18,74025	1	1645,421
1575	1,03776	15	162,88882
a_1	a_2	a_3	a_4
$1,2958.10^{-4}$	0,006932	0,043468	$-7,6706. 10^{-5}$
$1,7470.10^{-4}$	21,903553	-3,036246	0,139236

$q_{III.} = a_1.\varphi_1+a_2.\varphi_2+a_3.\varphi_3+a_4.\varphi_4$ $[m^2.s^{-1}]$	$q_{III..over.}$ zo SKOKY $[m^2.s^{-1}]$	ROZDIEL
0,00686	0,00703	0,00017
0,142192	0,121334	0,02086

IV.variant

h [m]	H_0 [m]	$H = H_0 + 2.\ h$ [m]	$H_1 = H_2 = H_0$ [m]
2	86,3	90,3	86,3
10	40	60	40
$\varphi_1=H_2^2-H^2$ [m]	$\varphi_2=H_2^{1/2}+H^{1/2}$ [m]	$\varphi_3=H_2-H$ [m]	$\varphi_4=H_2^{3/2}+H^{3/2}$ [m]
-706,4	18,79241	-4	1659,7956
-2000	-1,42141	-20	-211,77579
a_1	a_2	a_3	a_4
$1,2958.10^{-4}$	0,006932	0,043468	$-7,6706.\ 10^{-5}$
$1,7470.10^{-4}$	21,903553	-3,036246	0,139236

$q_{IV.} = a_1.\varphi_1+a_2.\varphi_2+a_3.\varphi_3+a_4.\varphi_4$ $[m^2.s^{-1}]$	$q_{IV..over.}$ zo SKOKY $[m^2.s^{-1}]$	ROZDIEL
-0,00874	-0,00337	0,00537
-0,245315	-0,235778	0,00954

Záver

V rámci tohto príspevku boli robené výpočty pre vybrané vzorové profily koryta toku s rôznymi geometrickými a hydraulickými parametrami a tiež pre vybrané profily kanála SVII, ktorý je jedným z troch hlavných kanálov kanálovej siete Žitného ostrova. Z rozdielu prietokov, počítaných interakčnými funkciami a prietokov pre zmenené hraničné podmienky hladiny podzemnej vody, počítaných modelom SKOKY v tab.7 je vidieť, že zvolený počet parametrov pre symetrické profily v prípade vybraných profilov na kanáli SVII poskytuje lepšie výsledky spoľahlivosti ako u vzorových profilov. Pre tieto profily bude teda potrebné ďalej zvyšovať počet parametrov, to znamená pridávať ďalšie varianty polohy hladiny podzemnej vody a následne ďalšie interakčné funkcie, nakoľko aktuálny počet parametrov nie je postačujúci na to, aby mohol byť výpočet pomocou interakčných funkcií považovať za spoľahlivo platný pre daný prierez koryta toku a variabilné vstupné dáta. V ďalšej etape overovania platnosti interakčných funkcií pripravujeme porovnanie počítaných prietokov pomocou modelu SKOKY a pomocou interakčných funkcií s reálnymi prietokmi na ďalších kanáloch kanálovej siete Žitného ostrova.

Poďakovanie

Štúdia vznikla v rámci riešenia projektu APVT č.51-044802 a grantového projektu VEGA č.2/5054/25. Autorka týmto ďakuje za finančnú podporu z týchto projektov.

Literatúra:

Burger, F, Čelková, A. (2004): Určenie napájania a drénovania zvodneného aluviálneho systému v suchom období pre modelovanie prúdenia podzemnej vody. In: Acta Hydrologica Slovaca, roč.5, č.2, ÚH SAV, Bratislava, s.358-365

Burger, F, Čelková, A. (2004): Simulácia procesov napájania zvodneného systému v podmienkach sucha. In: Acta Hydrologica Slovaca, roč.5, č.2, ÚH SAV, Bratislava, s. 348-357

Dulovičová, R. (2003): Interakčné funkcie ako nástroj vyjadrenia vzájomnej interakcie povrch.a podzem.vôd, Acta Hydrolog. Slovaca, roč.4, č.1, ÚH SAV, 107-115

Dulovičová, R. (2002): Overovanie vzťahu pre výpočet výmenných tokov pri vzájomnej interakcii podz. a povrch.vôd pre symetrické profily, Acta Hydrolog. Slovaca, roč.3, č.1, ÚH SAV, 2002, 69-75

Kosorin, K. (2001): K metodickým a aplikačným problémom modelovania pohybu povrchových a podzemných vôd vo vzájomnej interakcii, Acta Hydrologica Slovaca , roč.2, č.2, ÚH SAV, 308-312

Kosorin, K. (2002): Prenosové javy v singularitách pórovitého prostredia, Acta Hydrologica Slovaca, roč.3, č.2, ÚH SAV, 224-231

Kosorin, K. – Dulovičová, R. (2000): K metodickým problémom viacrozmernej počítačovej simulácie pohybu povrch.a podzem.vôd, Acta Hydrolog.Slovaca, roč.1, č.1, ÚH SAV, 217-221

Projekt APVT č. APVT-51-044802 (2003): Vplyv sucha na vodný režim a biodiverzitu nížinných oblastí Slovenska a návrh opatrení, Čiastková úloha.č.2 - Zhodnotenie možností a návrh regulácie hladinového režimu podzem.vôd prostredníctvom kanálovej a riečnej siete, Agentúra na podporu vedy a techniky

Velísková, Y. (2002): Charakteristiky priečneho zmiešavania v povrchových tokoch. Časť II. Vplyv geometrických parametrov koryta, strednej rýchlosti prúdenia a trecej rýchlosti, Acta Hydrolog. Slovaca roč.3, č.1, ÚH SAV, 76-80

Renáta Dulovičová

Renáta Dulovičová, Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava, dulovicova@uh.savba.sk

POROVNÁNÍ DVOU PŘÍSTUPŮ K MODELOVANÍ PROUDĚNÍ VODY V HETEROGENNÍM PŮDNÍM VZORKU

Jaromír Dušek, Michal Dohnal, Tomáš Vogel, Jan Březina, Michal Sněhota, Milena Císlerová

Příspěvek porovnává dva modely preferenčního proudění vody v půdě. Oba modely jsou založeny na Richardsově makroskopickém přístupu. Tento přístup je však aplikován principiálně odlišným způsobem. První – jednorozměrný model - využívá princip duální permeability. Druhý - trojrozměrný model – pracuje s trojrozměrnou prostorovou variabilitou reálného prostředí. Vzorek heterogenní půdy z Korkusovy Huti (Šumava) byl podroben snímkování pomocí rentgenové počítačové tomografie (CT) s rozlišením 0.4 mm v horizontální rovině a s 1 mm krokem ve vertikálním směru. Rozložení scaling faktorů pro hydraulickou vodivost v celém neporušeném půdním vzorku, které se získalo z CT měření, bylo následně použito pro transientní simulace proudění vody. Informace z CT se pro 1D duální simulaci vyčíslila jako průměrná hodnota scaling faktoru hydraulické vodivosti přes celý horizontální řez. Kromě toho CT data sloužila k identifikaci pórové domény duálního systému, tj. domén půdní matrice a preferenčních cest. Pro oba modelové přístupy byly předpokládány totožné počáteční a okrajové podmínky. K porovnání obou modelů se použily simulované intenzity odtoku z půdního vzorku. Z výsledků simulací plyne, že technika zahrnutí informací z CT do 1D duálního modelu nereprodukuje odtok tak přesně jako původní informace v 3D modelu. To je způsobeno hlavně průměrovací technikou použitou ke stanovení hydraulických charakteristik 1D modelu. Vhodnější technika zahrnutí CT snímkování do modelu bude předmětem dalšího zkoumání.

Klíčová slova: hydraulické vlastnosti, pórovité prostředí, model proudění, scaling, rentgenová tomografie, duální permeabilita

Our contribution aims at evaluating two numerical models capable of simulating preferential flow effects. Both models assume the validity of Richards' macroscopic approach, however, they differ conceptually. In a comparative study, we utilize 3D single-permeability and 1D dual-permeability model. Highly heterogeneous sandy loam soil from Korkusova Hut (Šumava Mountains) was subject to CT imaging with the spatial resolution of 0.4 mm in the horizontal plane and 1 mm in the vertical direction. The CT-derived distribution of scaling factors for hydraulic conductivity within undisturbed soil sample was used for simulations of transient water flow. For 1D dual-permeability model, the CT information is evaluated by averaging the scaling factors in individual horizontal slices through the sample. In addition, the CT data of the sample were used for the pore domain identification, i.e. distinguishing between the matrix and the preferential domain in the dual-permeability system. Identical initial and boundary conditions were applied for both modeling approaches. Simulated water outflow rates were used to compare the models. The simulation results suggest that the CT data inclusion into 1D dual-permeability model does not reproduce the outflow rates as accurately as the original CT information in 3D model. This is due to the averaging procedure used to establish the domain specific properties of the 1D model. More suitable techniques for the inclusion of CT data into 1D dual-permeability will be proposed in the near future.

Key words: soil hydraulic properties, porous media, flow model, scaling, x-ray tomography, dual-permeability

---

ÚVOD

Věrohodné simulace proudění vody a pohybu chemických látek v heterogenním pórovitém prostředí v půdní fyzice stále představují poměrně náročný úkol. Jedním z hlavních problémů je získání efektivních hydraulických parametrů pro simulovanou výpočetní oblast. Půdní charakteristiky se obvykle měří na neporušených vzorcích. Tento klasický přístup nemusí zahrnovat procesy, které ovlivňují proudění na prostorově nižších úrovních. Císlerová a Votrubová (2002) odhalily preferenční proudění doprovázené nestabilitou čela zvlhčení právě na nižší úrovni.

Každá půda je v zásadě heterogenní pórovitý systém; pouze z důvodu zjednodušujících předpokladů jsou přírodní půdy považovány za homogenní. Rentgenová počítačová tomografie (CT) je vhodnou neinvazivní metodou k popsání půdní struktury na úrovni blízké pórům a půdním zrnům. Spojitost půdních pórů a jejich struktura tak může být poměrně snadno rekonstruována. Navíc je v rámci CT

měření možné popsat vysoce vodivé cesty v půdním vzorku, které jsou důležité pro vznik preferenčního proudění.

CT skenování půdních vzorků je založeno na útlumu rentgenových nebo gamma paprsků. Metoda CT snímkování vytváří digitální mapu, ve které jsou uloženy hodnoty lineárního útlumového koeficientu (the linear attenuation coefficient) v daném objektu (Duliu, 1999). Získaná CT informace má velmi často vysoké prostorové rozlišení – v řádu 0.01-0.5 mm. CT skenování je také alternativní metodou k zjištění lokální hustoty (Pralle *et al.*, 2001) nebo chemického složení vzorku. V minulosti bylo CT snímkování úspěšně aplikováno k měření půdní vlhkosti (Phogat *et al.*, 1991; Pu a Zhu, 1998), objemové hmotnosti (Rogasik *et al.*, 1999; Olsen *et al.*, 1999), monitorování interakcí systému rostlina-půda (Aylmore, 1993; Pierret *et al.*, 2003) nebo k odhadu pórovitosti vzorku (Phogat a Aylmore, 1989; Grevers *et al.*, 1989; Pierret *et al.*, 2002). V práci Phogat a Aylmore (1996) byla určena hydraulická vodivost pórovitého prostředí a půdních agregátů právě pomocí CT snímkování. Mikromodely (pore-network models) v kombinaci s třírozměrnou vizualizací půdní struktury sloužily k získání hydraulických charakteristik (Vogel a Roth, 2001).

Císlerová *et al.* (1993) simulovali pohyb vody v heterogenní půdě s použitím přístupu lineárního scalingu (Vogel *et al.,* 1991) a dosáhli blízké shody mezi simulovanými a měřenými intenzitami odtoku. V této studii jsme využili obdobný přístup a dále jsme ho rozšířili. Koncept scalingu je možné využít k vnesení CT informace do numerických modelů, tak že každý výpočetní uzel v simulované oblasti je popsán vlastními hydraulickými parametry. Tím je reprodukován heterogenní režim proudění v daném půdním vzorku. Dohnal *et al.* (2003; 2004) využili informaci získanou z CT snímkování k identifikaci hydraulických parametrů duálního pórovitého systému inverzním modelováním.

Jedním z možných přístupů zahrnutí preferenčního proudění je použití modelu založeném na dualitě pórovitého prostředí. Koncept duální permeability předpokládá existenci dvou vzájemně komunikujících pórových domén se zcela odlišnými hydraulickými parametry. Pohyb vody v obou doménách proudění je popsán Richardsovou rovnicí.

V příspěvku jsme se především zaměřili na porovnání dvou rozdílných modelových přístupů k simulování proudění vody v heterogenním půdním vzorku. První model je založen na řešení klasické Richardsovy rovnice v třírozměrném tvaru, kdežto druhý použitý numerický model využívá koncept duální permeability v jednorozměrném tvaru. K zavedení heterogenního režimu proudění vody bylo využito CT snímkování. Krátce diskutováno je zkreslení a redukce CT informace pro účely modelování.

MATERIÁL A METODY

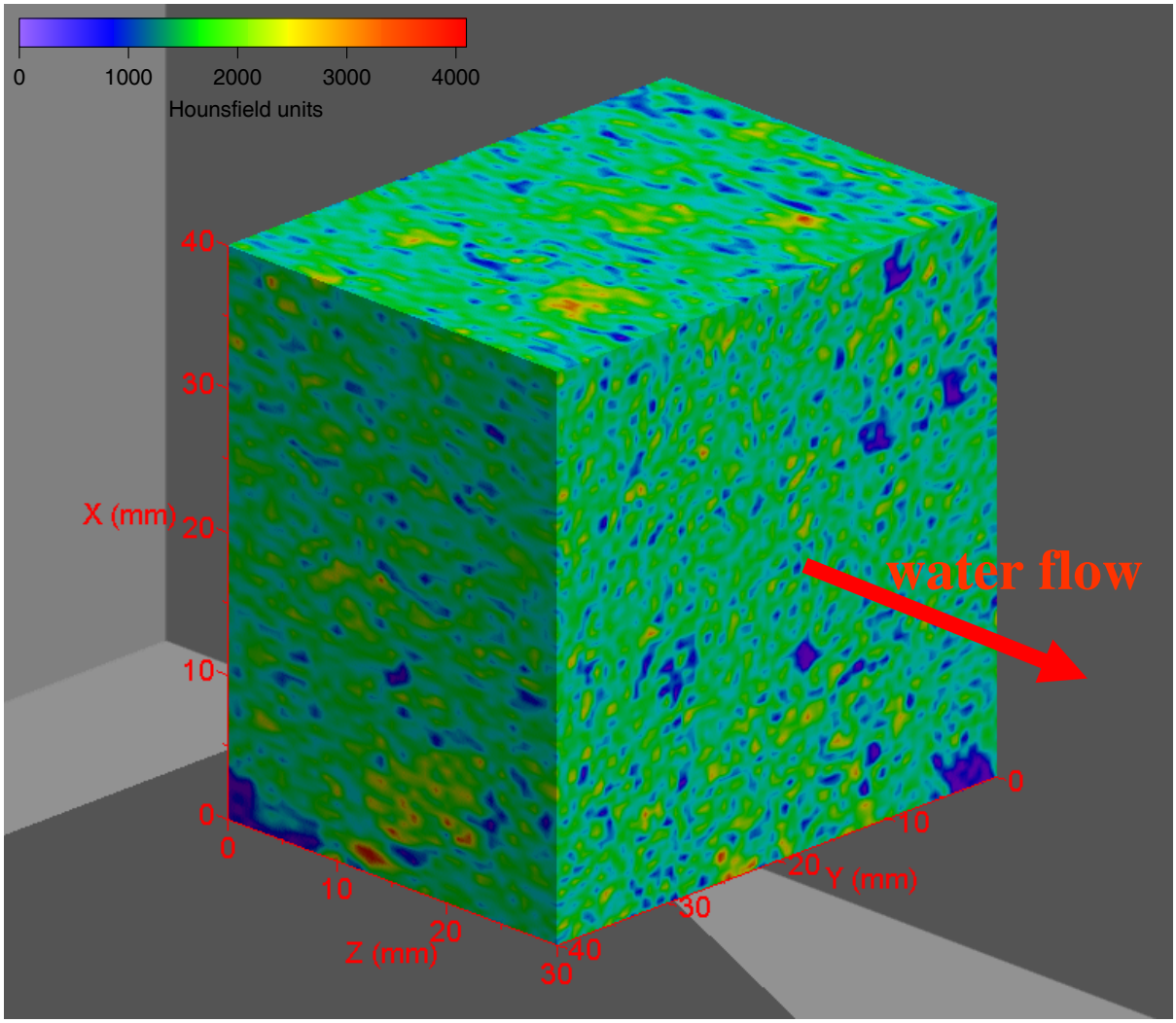
CT snímkování

Hrubé hlinito písčité půdy v oblasti Korkusovy Huti bývají klasifikovány jako Kambisoly. Půdy jsou charakteristické širokým spektrem půdních částic, velikostí pórů a dobře vyvinutou vnitřní strukturou (Votrubová *et al.*, 2003). Z druhého horizontu byl odebrán velký neporušený půdní vzorek. Válcový segment (průměr 18.9 cm a výška 25 cm) označený KHXL3 byl podroben snímkování pomocí rentgenové počítačové tomografie (Sněhota, 2003).
Studovaná půda vykazuje nestabilitu proudění a preferenční efekty. Tracerový a laboratorní infiltračně-výtokový experiment společně s nukleární magnetickou rezonancí prokázali nestabilitu čela zvlhčení (Císlerová *et al.*, 1988; 1990; 2002). Z uvedených důvodů klasická Richardsova rovnice k popisu proudění vody nepostačuje.

Snímkování půdního vzorku KHXL3 bylo provedeno lékařským skenerem Siemens SOMATON PLUS IV. Z horizontálních řezů v rovině XY byl konstruován 3D snímek. Vzdálenost horizontálních řezů byla 1 mm. Rozlišení skeneru v rovině řezu bylo 0.4 x 0.4 mm. Nejmenší měřená část – voxel –

má tedy velikost 0.4 x 0.4 x 1 mm. Vyhodnocení snímků bylo provedeno pomocí programů napsaných autory v jazyce FORTRAN a rutin v MATLABu.

CT snímkování poskytuje informaci o vnitřní struktuře pórů včetně jejich propojenosti. Výstupem měření jsou intensity (útlumy) signálu v relativních Hounsfieldových jednotkách (HU). Nejhustší oblasti vzorku mají hodnotu HU 4095, dutinám odpovídá HU rovno nule. V případě zkoumané půdy lze zjednodušeně předpokládat linearitu vztahu mezi pórovitostí a měřenými hodnotami HU, tudíž hodnotám HU = 4095 značí nulovou pórovitost a HU = 0 maximální hodnotu pórovitosti. Oblasti s vysokou pórovitostí je možné považovat za potenciální preferenční cesty.



Obr. 1 Rozdělení hodnot HU v půdním vzorku o objemu 4.004 x 4.004 x 3 cm^3. Červená barva značí nejhustší pevné částice vzorku (HU = 4095); prázdné voxely s HU = 0 jsou pak znázorněny fialovou barvou.

Fig. 1 HU values distributed within a 4.004 x 4.004 x 3 cm^3 subsample are shown. Red color represents the heaviest part of the sample (HU = 4095) while violet color are empty voxels with HU = 0.

Ze střední části původního půdního vzorku (KHXL3) jsme vybrali podoblast o velikosti 4.004 x 4.004 x 3 cm, která byla předmětem numerické studie. Rekonstruovaný 3D snímek zmiňované podoblasti je na obr. 1, šipka naznačuje směr proudění vody částí vzorku při simulacích.

Alternativní parametrizace

Abychom v modelu zohlednili heterogenitu zjištěnou CT snímkováním počítali jsme scaling faktor hydraulické vodivosti každého voxelu/výpočetního uzlu z Carman-Koženého vzorce (Bear and Verruijt, 1987; Hillel, 1998).

$$\alpha_K = \frac{voxel\ porosity^3}{1 - voxel\ porosity^2} \Big/ \frac{total\ porosity^3}{1 - total\ porosity^2} \tag{1}$$

kde celková pórovitost (-) odpovídá průměrné pórovitosti půdního vzorku.

Scaling faktor α_K poskytuje informaci o vnitřní variabilitě hydraulické vodivosti uvnitř domény proudění. Z důvodu snížení enormní výpočetní náročnosti 3D simulací s originální rezolucí CT dat byly testovány scénáře využívající techniky redukce uzlů (Dušek *et al.,* 2004; 2005). Redukční technika spočívá v obskočení CT informace příslušející sudým uzlům, čímž je dosaženo snížení počtu výpočetních uzlů. Dušek *et al.,* 2004; 2005 prokázali, že tento přístup umožňuje dosáhnout obdobných výsledků simulací jako s originálním rozlišením CT informace.

Na bázi variability pórovitosti uvnitř vzorku byly odvozeny z Carman-Koženého výrazu příslušné scaling factory. Hydraulická vodivost K jednotlivého voxelu/uzlu je potom definována

$$K = \alpha_K K^* \tag{2}$$

kde K^* je referenční hodnota hydraulické vodivosti. Hodnota scaling faktoru α_K závisí na celkové pórovitosti, tudíž jeho maximální hodnota se případ od případu mění.

U jednorozměrných simulací modelem duální permeability mohou CT data sloužit ke dvěma účelům (1) zjištění objemového podílu obou domén vzhledem k celkovému pórovému prostoru, (2) a vyhodnocení prostorové variability hydraulické vodivosti po výšce vzorku. Práhová hodnota HU mezi doménami byla určena na základě citlivostní analýzy. Relevantní objemový podíl preferenční domény byl následně dopočítán z CT dat. Každému uzlu příslušné domény proudění byl přiřazen scaling faktor hydraulické vodivosti (pod zvoleným prahem HU rychlé doméně, nad ním doméně pomalé). Hodnoty α_K byly počítány jako průměry všech uzlů z odpovídající roviny snímkování.

U 3D simulací má každý výpočetní uzel v modelové oblasti vlastní scaling faktor hydraulické vodivosti. Neboli hydraulická vodivost se uzel od uzlu mění podle hodnoty scaling faktoru α_K zjištěného z rentgenové počítačové tomografie. Naproti tomu v jednorozměrném případě je pro výpočet scaling faktoru vodivosti použita CT informace zprůměrovaná do jednoho bodu v každém řezu kolmém na směr proudění.

3D model

Pomocí definovaných scaling faktorů α_K pro jednotlivé uzly jsme schopni simulovat nestabilní proudové pole. Proudění vody v proměnlivě nasyceném pórovitém prostředí se řídí Richardsovou rovnicí (Hillel, 1998)

$$C\frac{\partial h}{\partial t} = \nabla \cdot (\mathbf{K}\nabla h) + \nabla \cdot (\mathbf{K}\nabla z) \tag{3}$$

kde h je tlaková výška (L), $\mathbf{K}$ je tenzor hydraulické vodivosti (LT^{-1}), C je specifická kapacita (L^{-1}), z je vertikální prostorová souřadnice orientovaná směrem nahoru (L), a t značí čas (T).

Výpočetní oblast byla diskretizována metodou konečných elementů (MKE). Použita byla paralelní verze 3D modelu pracující na superpočítači IBM. Paralelní numerický kód umožňuje distribuovat řešení na několik procesorů a tím podstatně redukovat potřebný výpočetní čas. Matice MKE byly řešeny metodou konjugovaných gradientů na bázi knihovny PETSc (Portable, Extensible Toolkit for

Scientific Computation). 3D simulace byly prováděny v Centru intezivních výpočtů Českého vysokého učení technického v Praze.

Validace 3D modelu byla provedena pomocí referenčního 1D modelu HYDRUS (Vogel *et al.*, 1996). Testováno bylo několik počátečních a okrajových podmínek při simulování proudění vody homogenním a zvrstveným profilem. Výsledky 1D a 3D simulací se ve všech testovaných případech výborně shodovaly.

Horní okrajová podmínka byla Dirichletova. Tlaková výška h = +1 cm má simulovat podmínky při výtopové infiltraci. Na spodním okraji řešené oblasti se uvažovala výronová plocha, voda může opouštět vzorek pouze při plném nasycení. Boční stěny půdního segmentu byly uvažovány jako nepropustná hranice. Tlakové pole bylo na začátku experimentu v celé oblasti konstantní (h = -150 cm). Počet výpočetních uzlů přesáhl 80 tisíc.

1D model duální permeability

Půdy s výskytem preferenčního proudění vyžadují adekvátní modelové přístupy. Koncept Gerkeho a van Genuchtena (1993a) rozděluje takové prostředí na dvě kontinua popsaná dvojící Richardsových rovnic

$$C_f \frac{\partial h_f}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K_f \left(\frac{\partial h_f}{\partial z} + 1 \right) \right) - \frac{\Gamma_w}{w_f} \tag{4a}$$

$$C_m \frac{\partial h_m}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K_m \left(\frac{\partial h_m}{\partial z} + 1 \right) \right) + \frac{\Gamma_w}{w_m} \tag{4b}$$

kde indexy m a f značí matrici (pomalou doménu) respektive pukliny (preferenční, rychlou doménu). V rovnicích 4a, 4b: h je tlaková výška (L), K je hydraulická vodivost (LT^{-1}), C specifická kapacita (L^{-1}), z je prostorová souřadnice (L), a Γ_w je přenosový člen (T^{-1}), který kontroluje výměnu vody mezi doménami proudění. w_m a w_f jsou objemové podíly matrice a preferenční domény s podmínkou $w_m + w_f = 1$.

Komunikace mezi doménami se řídí přenosovým členem prvního řádu a je uměrná rozdílu tlaků v obou doménách.

$$\Gamma_w = \alpha_w (h_f - h_m) \tag{5}$$

α_w je přenosový koeficient ($L^{-1}T^{-1}$) zavedený Gerkem a van Genuchtenem (1993b). Ray *et al.*, (2004) formulovali přenosový koeficient

$$\alpha_w = \alpha_{ws} K_{ar} \tag{6}$$

kde α_{ws} je přenosový koeficient při plném nasycení a K_{ar} odpovídá relativní nenasycené hydraulické vodivosti rozhraní mezi matricí a preferenční doménou. Hodnota K_{ar} se pohybuje mezi 0 a 1 v závislosti na stupni nasycení v okolí rozhraní.

Počáteční a okrajové podmínky byly stejné jako v případě 3D simulace výtopové infiltrace, tj. předepsaná tlaková výška na horním okraji a výronová plocha na spodním okraji půdního segmentu. Výška segmentu byla 3 cm. Diskretizace domény proudění byla pravidelná po 1 mm a odpovídala tloušťce horizontálních řezů při CT snímkování.

Hydraulické parametry

Půdní hydraulické parametry modifikovaného van Genuchtenova modelu (Vogel *et al.*, 2001) byly odvozeny z laboratorních měření. Hydraulické charakteristiky (retenční čára a nasycená hydraulická

vodivost) zjištěné klasickým způsobem jsou kompozitními parametry celého systému – půdní matrice i preferenčních cest.
Kompozitní nasycená hydraulická vodivost a vlhkost duálního systému zahrnuje v přístupu Gerkeho a van Genuchtena (1993a) příspěvky z obou domén

$$K_s = K_{sm} w_m + K_{sf} w_f \tag{7a}$$

$$\theta_s = \theta_{sm} w_m + \theta_{sf} w_f \tag{7b}$$

kde K_{sm} a K_{sf} je nasycená vodivost matrice respektive preferenční domény proudění. Stejným způsobem se vypočte kompozitní objemová vlhkost θ_s (7b) kde θ_{sm} a θ_{sf} jsou nasycené vlhkosti příslušných domén.

Objemový podíl rychlé domény w_f byl odvozen z CT měření. Odhad nasycené hydraulické vodivosti matrice byl založen na infiltračně-výtokových experimentech (Sněhota, 2003); při experimentálním běhu s nastaveným sacím tlakem h = -5 cm na horním okraji lze předpokládat, že se proudění odehrává převážně v půdní matrici (Dohnal *et al.,* 2003; 2004).

Tab. 1 Hydraulické parametry pro 1D duální a 3D model

Tab. 1 Soil hydraulic parameters for 1D dual-permeability and 3D modeling

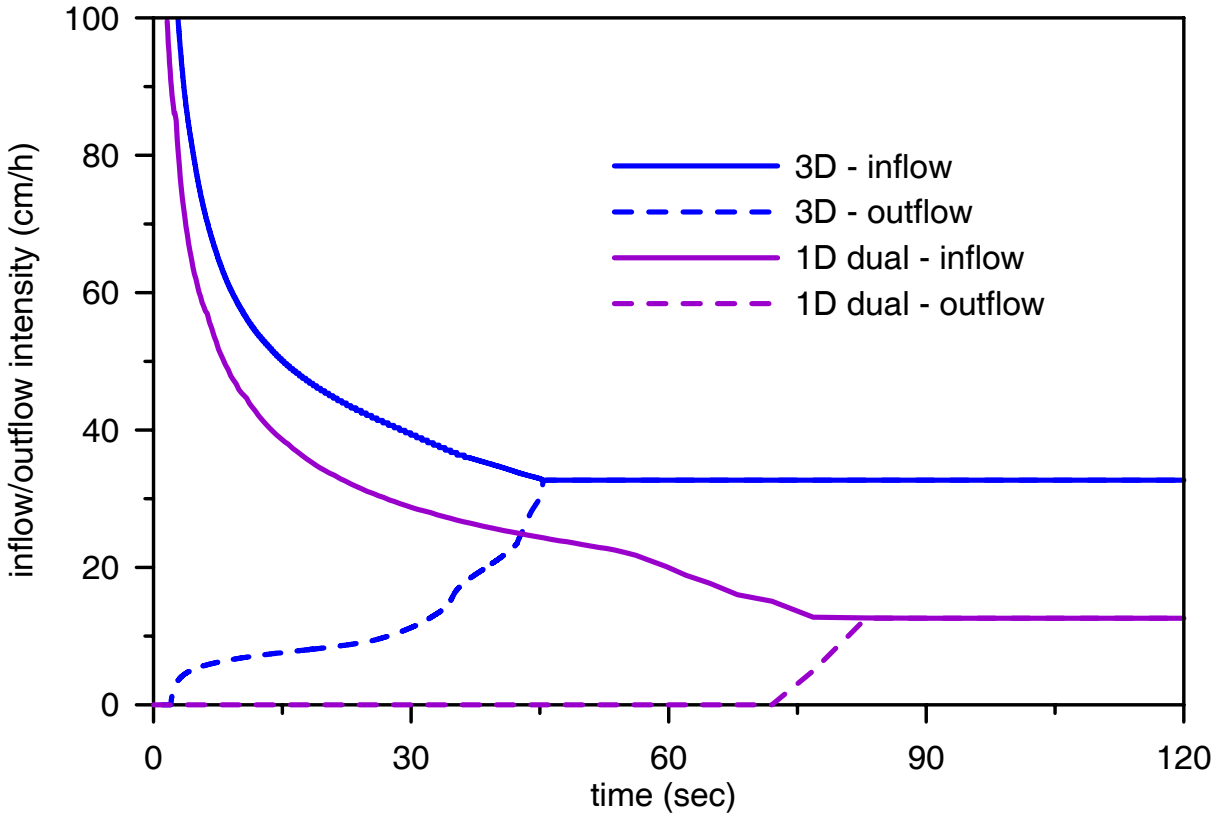
Porová doména	θ_r ($cm^3\ cm^{-3}$)	θ_s ($cm^3\ cm^{-3}$)	α (1/cm)	n (-)	K_s (cm/hod)	w_f (-)
1D matrice	0.030	0.5398	0.080	1.172	3	
1D pukliny	0.045	0.8371	0.145	2.680	75	0.09
3D	0.031	0.5666	0.080	1.172	9.5	

Hydraulické parametry použité k jednorozměrným simulacím duální permeability a 3D simulacím jsou v Tab. 1. Nasycené vlhkosti obou domén jsou v jednorozměrném případě odvozeny z CT měření. Parametry 3D modelu se od matrice duálního modelu liší pouze hodnotami nasycené vodivosti a vlhkosti. Hodnoty K_s, θ_s a θ_r ve 3D simulacích respektují kompozitní přístup dle rovnic 7. Hydraulické vlastnosti preferenční domény proudění modelu duální permeability lze uvažovat obdobné hrubě zrnitému pórovitému materiálu (Gerke a van Genuchten, 1993a; 1996; Köhne *et al.*, 2002; Gerke a Köhne, 2004).

VÝSLEDKY A DISKUZE

Velké množství výpočetních uzlů trojrozměrné simulace (vzdálenost uzlů přibližně 1 mm uvnitř domény proudění o velikosti 4×4×3 cm) klade vysoké nároky na výpočetní kapacitu a čas. Extrémní heterogenita, kdy se hodnoty α_K dvou sousedních uzlů řádově lišily, nezpůsobovala konvergenční potíže, což svědčí o mimořádné robustnosti výpočetního algoritmu.

Z tracerových experimentů Císlerová *et al.* (1988; 1990; 2002) prokázali, že se podíl puklin u zkoumané půdy pohybuje mezi 3 a 12%. V HU jednotkách toto rozmezí procentuálního podílu koresponduje s prahovými hodnotami HU= 600 až HU = 1100. Vypočtené scaling factory α_K se pro různé prahy významně neliší. Na základě citlivostní analýzy jsme v našem případě zjistili, že je preferenční doména tvořena voxely jejichž hodnota HU je menší než 1000. Tomu odpovídá podíl rychlé domény w_f = 9%.



Obr. 2 Infiltrační a výtokové intenzity simulované 3D modelem a 1D duálním modelem. Tlustá čára přísluší intenzitě na vtoku, přerušovaná pak rychlosti výtokové.

Fig. 2 Simulated infiltration and outflow rates. Bold lines denote infiltration fluxes through the upper boundary (pressure head boundary condition), dashed lines represent outflow rates from the bottom boundary (seepage face).

Porovnání dvou modelových přístupů pomocí simulovaných infiltračních a výtokových rychlostí je zobrazeno na obr. 2. Výsledky 3D simulace vykazují vyšší infiltrační a výtokové rychlosti. Počátek výtoku nastává podstatně dříve (2 sekundy po začátku simulace) než u simulace s přístupem duální permeability. Poměr ustalených infiltračních rychlostí 1D a 3D simulací je přibližně 2.5.

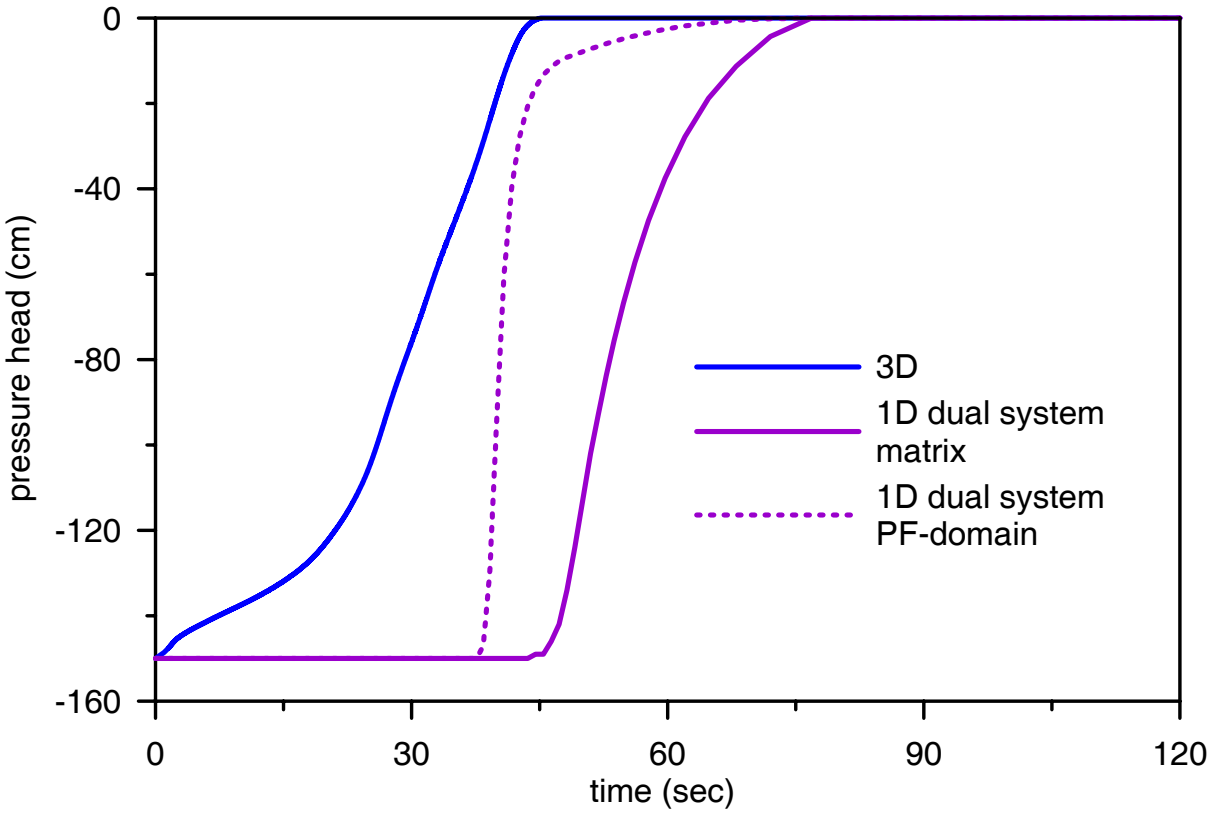
V přístupu duální permeability kontroluje přenosový koeficient α_{ws} načasování počátku výtoku. Pro zachování preferenčního charakteru proudění je vhodné nastavit α_{ws} o několik řádů menší než je hodnota nasycené hydraulické vodivosti v matrici (Gerke and Köhne, 2004). V naší 1D simulaci duální permeability jsme α_{ws} nastavili na 0.001 $cm^{-1}s^{-1}$.

V jednorozměrném případě jsou scaling faktory α_K velmi vyhlazené. V důsledku toho není proudění simulacemi věrně reprodukováno. Informace o struktuře půdy a spojitosti vodivých cest je silně ovlivněna a zjednodušena.

Na obr. 3 je vývoj tlakové výšky na spodním okraji výpočetní oblasti. V případě 3D simulace nastává výtok ze simulovaného půdního segmentu před úplným nasycením spodní vrstvy. Nasycení ($h \geq 0$ cm) je pouze lokální, k výtoku přispívá pouze několik uzlů. Střední hodnota tlakové výšky ze všech uzlů na spodním líci zůstává v tomto čase stále negativní. U 1D duálního systému lépe koresponduje s 3D výsledky simulovaná tlaková výška na spodním okraji rychlé domény. Přesto je reakce rychlé domény oproti 3D simulaci významně zpožděna.

Příčinou nepravidelného čela zvlhčení (obr. 4) je heterogenní trojrozměrné pole vodivostí. Čelo zvlhčení dosáhlo spodní líc skrze extrémně vodivé spojité cesty již 5 sekund po začátku simulace.

Laterální expanze z preferenčních cest do méně vodivého okolí dále zkracuje čas potřebný k dosažení ustálené výtokové rychlosti.



Obr. 3 Tlaková výška na spodním okraji simulované oblasti v průběhu infiltrace. Pro 3D model je vypočtena jako střední hodnota ze všech uzlů na průsakovém líci.

Fig. 3 Simulated pressure head at the bottom boundary of the flow domain during infiltration. In the case of the 3D model, the value of pressure head is averaged over the seepage face boundary nodes.

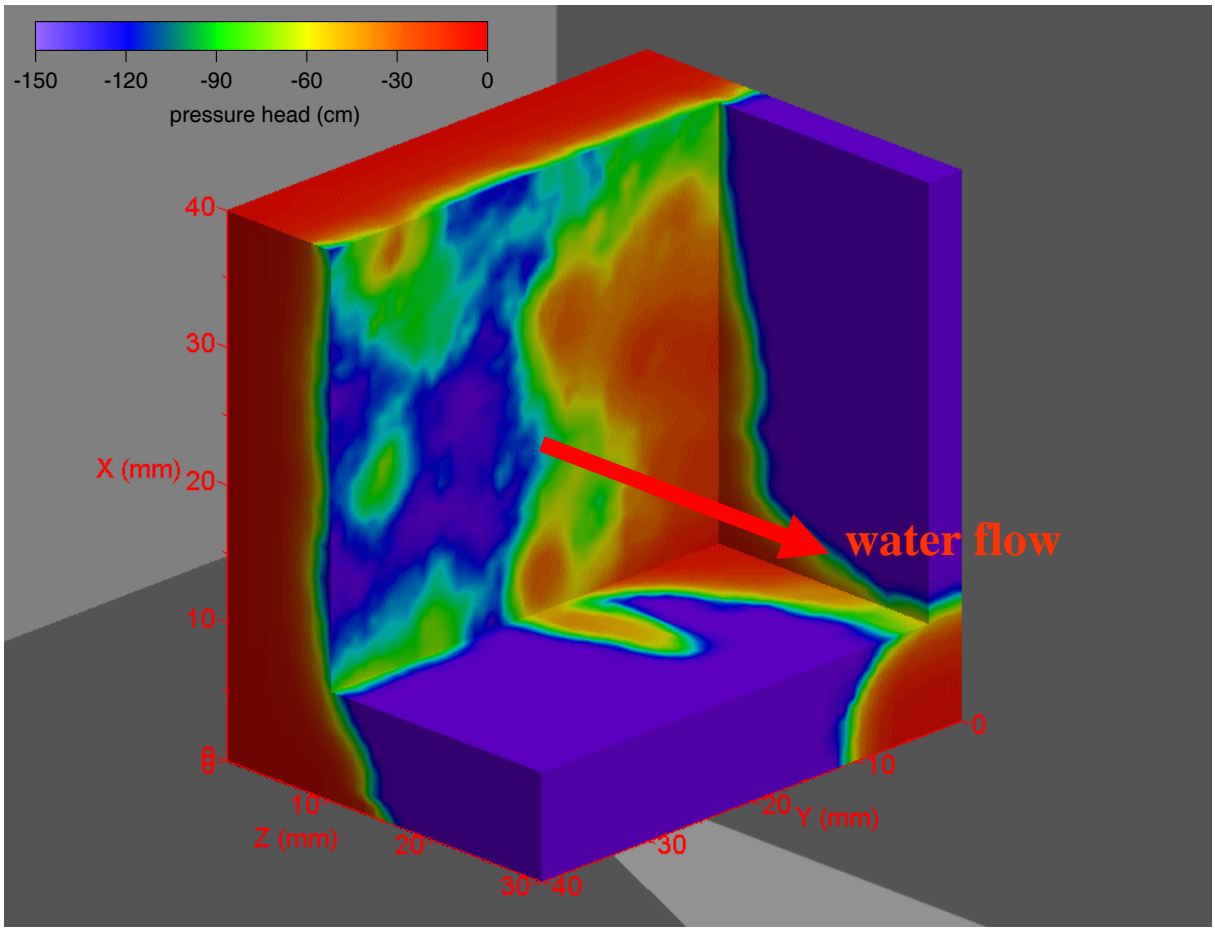
SHRNUTÍ

Nereálné předpovědi proudění vody v heterogenním pórovitém prostředí mohou mít v přirodních vědách závažné důsledky. V naší studii jsme simulovali výtopový experiment s poměrně vysokými intenzitami toku. Podobný, ne tak zřetelný, charakter proudění lze očekávat také v méně kontrastních podmínkách.

V příspěvku jsme ukázali, že Richardsova rovnice v kombinaci s přístupem scalingu je schopna predikovat pohyb vody v extrémně heterogenním půdním prostředí. Známe-li rozdělení porovitosti ve studovaném půdním vzorku, je možné simulovat preferenční proudění na makroskopické úrovni. K věrnějšímu napodobení heterogenního pórovitého systému slouží data získaná z CT snímkování.

Použití 3D přístupu je však poměrně těžkopádné a složitě aplikovatelné při komplexnějších řešeních inženýrských problémů. Jednorozměrný model duální permeability je také atraktivním prostředkem umožňujícím postižení preferenčních efektů a navíc snáze využitelným v hydrologické praxi.

V případě použití CT snímků jako zdroje variability do 1D duálního modelu jsme zjistili, že použitá průměrovací technika pro každou z výpočetních domén nereprezentuje věrně původní heterogenní systém. Budoucí vývoj bude směřovat k nalezení přesnější interpretace dat z CT snímkování pro účely 1D modelování. K ověření správnosti zvoleného přístupu se osvědčila validace proti 3D simulaci.



Obr. 4 Simulované tlakové pole ve výřezu modelované oblasti po 5 sekundách po začátku infiltrace.

Fig. 4 The cutout of the simulated pressure head field within the subsample at 5 seconds after the beginning of the simulation.

PODĚKOVÁNÍ

Autoři by rádi poděkovali Centru intenzivních výpočtů ČVUT v Praze za možnost simulovat náročné 3D výpočty na superpočítačové paralelní síti. Tento výzkum byl podpořen projektem MŽP VaV 650/05/03 a Výzkumným centrem CIDEAS (No. 1M680470001).

LITERATURA

Aylmore, L.A.G. (1993): Use of computer assisted tomography in studying water movement around plant roots, Adv. Agron., 49, 1–54.

Bear, J., a Verruijt, A. (1987): Modelling groundwater flow and pollution, D. Riedel Comp.

Císlerová, M., J. Šimůnek, a Vogel, T. (1988): Changes of steady-state infiltration rates in recurrent ponding infiltration experiments, J. Hydrol., 104, 1–16.

Císlerová, M., Vogel, T., and Šimůnek, J. (1990): The infiltration-outflow experiment used to detect flow deviations, in Field -Scale Solute and Water Transport Through Soils, edited by K. Roth et al., 109–117, Birkhäuser Boston, Cambridge, Mass.

Císlerová, M., Vogel, T., Nieber, J.L. (1993): 3D numerical simulation of infiltration-outflow in heterogeneous soils, in Advances in Water Sciences I, edited by V. Novák and J. Šútor, 75–79, Stará Lesná, Slovensko.

Císlerová, M., Vogel, T., Votrubová, J., a Robovská, A. (2002): Tracing the origins of preferential flow within undisturbed soil samples, in Environmental Mechanics: Water, Mass and Energy Transfer in the Biosphere, Geophys. Monogr. Ser. ,vol. 129, edited by P.A.C. Raats, D.E. Smiles, and A. Warrick, 265–274, AGU, Washington, D. C.

Císlerová, M., a Votrubová, J. (2002): CT derived porosity distribution and flow domains, J. Hydrol., 267, 186–200.

Dohnal, M., Sněhota, M., Vogel, T., Císlerová, M. (2003): Využití informací z CT snímků ke stanovení hydraulických charakteristik heterogenní půdy inverzním modelováním, in Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda – rastlina – atmosféra, Bratislava. (In Czech with English abstract)

Dohnal M., Sněhota M., Vogel T., a Císlerová, M. (2004): Inverse dual-permeability simulation of a laboratory column experiment: application of CT derived heterogeneity, in EUROSOIL 2004 (Freiburg/Germany), 4.-12.9.

Duliu, O.G. (1999): Computer axial tomography in geosciences: an overview, Earth-science reviews 48, 265–281.

Dušek, J. Dohnal, M., Březina, J., Sněhota, M., Císlerová, M., Vogel, T. (2004): Effect of CT image resolution and spatial averaging on three-dimensional heterogeneous water flow, 12th International Poster Day, Transport of Water, Chemicals and Energy in the System Soil-Crop Canopy-Atmophere, Bratislava.

Dušek, J., Dohnal, M., Březina, J., Sněhota, M., Vogel, T, Císlerová, M. (2005): Using CT-determined heterogeneity for 3D modeling of soil water flow, EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts Volume 7.

Gerke, H.H., a van Genuchten, M.Th. (1993a): A dual-porosity model for simulating the preferential movement of water and solutes in structured porous media, Water Resour. Res., 29, 305–319.

Gerke, H.H., a van Genuchten, M.Th. (1993b): Evaluation of a first-order water transfer term for variably saturated dual-porosity flow models, Water Resour. Res., 29, 1225–1238.

Gerke, H. H., a van Genuchten, M.Th. (1996): Macroscopic representation of structural geometry for simulating water and solute movement in dual-porosity media, Adv. in Water Resour., 19, 343–357.

Gerke, H.H. a Köhne, J.M. (2004): Dual-permeability modeling of preferential bromide leaching from a tile-drained glacial till agricultural field, J. Hydrol., 289, 239–257.

Grevers, M.C.J., DeJong, E., Arnaud, R.J. (1989): The characterization of soil macroporosity with CT scanning, Can. J. Soil Sci., 69, 629–637.

Hillel, D. (1998): Environmental Soil Physics, Academic Press.

Köhne, J.M., Köhne, S., a Gerke, H.H. (2002): Estimating the hydraulic functions of dual-permeability models from bulk soil data, Water Resour. Res., 38, 10.1029/2001 WR000492.

Olsen, P.A., Binley, A., Henry-Poulter, S., Tych, W. (1999): Characterizing solute transport in undisturbed soil cores using electrical and X-ray tomographic methods, Hydrological Processes 13, 211–221.

Pierret A., Capowiez Y., Belzunces, L., Moran, C.J. (2002): 3D reconstruction and quantification of macropores using X-ray computed tomography and image analysis, Geoderma 106, 247–271.

Pierret, A., Kirby, M., Moran, C. (2003): Simultaneous X-ray imaging of plant root growth and water uptake in thin-slab systems, Plant and soil 255, 361–373.

Phogat, V.K., Aylmore, L.A.G. (1989): Evaluation of soil structure by using computer assisted tomography, Aust. J. Soil Res. 27, 313–323.

Phogat,V.K., Aylmore, L.A.G., Schuller, R.D. (1991): Simultaneous measurement of the spatial distribution of soil water content and bulk density, Soil Sci. Soc. Am. J., 55, 908–915.

Phogat, V.K., Aylmore, L.A.G. (1996): Computation of hydraulic conductivity of porous materials using computer-assisted tomography, Aust. J. Soil Res., 34, 671–678.

Pralle, N., Bahner, M.L., Benkler, J. (2001): Computer tomographic analysis of undisturbed samples of loose sands, Can. Geotechnical J., 38, 770–781.

Pu, Y.B., Zhu, Y.L. (1998): Application of computer tomography to the nondestructive dynamical experimental research on frozen soil, Progress in Natural Science 8, 506–508.

Ray, C., Vogel., T., Dusek, J. (2004): Modeling depth-variant and domain-specific sorption and biodegradation in dual-permeability media, J. Contam. Hydrol., 70, 63–87.

Rogasik, H., Crawford, J.W., Wendroth, O., Young, I.M., Joschko, M., Ritz, K. (1999): Discrimination of soil phases by dual energy x-ray tomography, Soil Sci. Soc. Am. J., 63, 741–751.

Sněhota, M. (2003): Evaluation of infiltration-outflow experiment using MRI, PhD. thesis, Czech Technical University in Prague.

Vogel, T., Císlerová, M., a Hopmans, J.W. (1991): Porous media with linearly variable hydraulic properties, Water Resour. Res., 27, 2735–2741.

Vogel, T., Huang, K., Zhang, R., van Genuchten, M.Th. (1996): The HYDRUS code for simulating one-dimensional water flow, solute transport, and heat movement in variably-saturated media, Version 5.0, Research Report No. 140, U.S. Salinity Lab., ARS, USDA, Riverside, CA.

Vogel, T., van Genuchten, M.Th., a Císlerová, M. (2001): Effect of the shape of soil hydraulic functions near saturation on variably-saturated flow predictions, Adv. in Water Resour., 24, 133–144.

Vogel, H.-J., Roth, K. (2001): Quantitative morphology and network representation of soil pore structure, Adv. in Water Resour, 24, 233–242.

Votrubová, J., Císlerová, M., Amin, M.H.G. a Hall, L.D. (2003): Recurrent ponded infiltration into structured soil: A magnetic resonance imaging study, Water Resour. Res., 39, 10.1029/2003 WR002222.

Autoři

Jaromír Dušek, ČVUT, Fakulta Stavební, Katedra hydrauliky a hydrologie, Thákurova 7, 166 29 Praha, Česká republika, dusek@mat.fsv.cvut.cz

Michal Dohnal, ČVUT, Fakulta Stavební, Katedra hydrauliky a hydrologie, Thákurova 7, 166 29 Praha, Česká republika

Tomáš Vogel, ČVUT, Fakulta Stavební, Katedra hydrauliky a hydrologie, Thákurova 7, 166 29 Praha, Česká republika

Jan Březina, Matematický institut AVČR, Žitná 25, 115 67 Praha, České republika

Michal Sněhota, ČVUT, Fakulta Stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha, Česká republika

Milena Císlerová, ČVUT, Fakulta Stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha, Česká republika

HYDROGRAFICKÁ ANALÝZA POVODÍ S VYUŽITÍM GIS

Jan Kopp

Hydrografická analýza povodí tvoří důležitou součást analytického hodnocení povodí. Součástí hydrografické analýzy jsou analýzy geometrických, morfometrických a topologických vlastností povodí a hydrografické sítě. V příspěvku je uveden přehled možností využití nástrojů GIS při hydrografické analýze. Použití konkrétních metod je ukázáno na příkladu analýzy povodí Lučního potoka.

Klíčová slova: hydrografická analýza, GIS, analýza povodí

Hydrographic analysis of drainage basin with GIS application. *The hydrographic analysis is important part of the drainage basins analytical evaluations. The hydrographic analysis consists of geometry, morphometry and topology of the drainage area and river network. In the article are describe some methods of hydrographic analysis with GIS application. The use of concrete methods was made by the example of the drainage area analysis of the Luční potok stream.*

Key words: hydrographic analysis, GIS, drainage area analysis

---

VÝZNAM HYDROGRAFICKÉ ANALÝZY POVODÍ

Hydrografická analýza povodí zahrnuje soubor metod vymezujících geometrické, morfometrické a topologické vlastnosti povodí a říční sítě (Wilhelm 1993, Knighton 1998). Při hydrografické analýze jsou matematickými metodami hodnoceny topografické charakteristiky (1) povodí jako základní územní hydrologické jednotky a (2) hydrografické sítě jako souboru funkčně propojených odtokových linií.

Hydrografické ukazatele patří k základním fyzickogeografickým charakteristikám povodí. V hydrologické praxi mají hydrografické charakteristiky důležité postavení, protože se používají jako proměnné regresních vztahů pro nepřímé odvození charakteristik odtokového procesu (např. Kašpárek, Jedličková, Halenková 1980, Kopp 2003), jako fyzickogeografické parametry pro hydrologickou regionalizaci (např. Grešková 1998, Solín 1998, Solín aj. 2000) nebo jako vstupní parametry hydrologického modelování (např. Trizna a Kyzek 2002, Kolejka aj. 2003). Antropogenní přeměna povodí může být hodnocena prostřednictvím hydrografických změn (např. Langhammer a Vajskreb 2004). Hydrografická analýza má ovšem využití i mimo hydrologii, zejména ve fluviální geomorfologii, při výzkumu vodní eroze nebo jako součást morfostrukturní analýzy území (např. Crave a Davy 1997, Jedlička a Mentlík 2002, Voženílek a Demek 2000, Bíl 2003, Housarová a Mentlík 2004). Existuje celá řada hydrografických charakteristik vyjádřených různě definovanými způsoby (tab. 1).

Z hydrografických charakteristik mají nejtěsnější vazbu k odtoku parametry vyjadřující sklonitostní poměry povodí a vodního toku. Vztah mezi 100-letým specifickým odtokem (q_{100}) a fyzickogeografickými podmínkami povodí na území ČR podrobně analyzovali Kašpárek, Jedličková, Halenková (1980). Hodnotili 82 povodí v Čechách s plochou povodí do 500 km^2 ve vztahu k těmto charakteristikám: plocha povodí, nadmořská výška závěrového profilu, absolutní spád, délka toku, náhradní sklon povodí, koeficient tvaru povodí, lesnatost, průměrná roční srážka, průměrný specifický odtok. Výsledky ukázaly, že významný je vztah mezi q_{100} a náhradním sklonem povodí a dále specifickým odtokem. Náhradní sklon povodí (J) je definován: $J = H \cdot \sqrt{P} \cdot 100$ (%), kde H je absolutní spád mezi závěrovým profilem a výškou počátku údolnice a P je plocha povodí. Největší váhu sklonu povodí přisuzují také výsledky dalších výzkumů (Kříž 2000, Grešková 2001).Vzhledem k významnosti tohoto faktoru je ovšem vhodné zaměřit pozornost na výstižnější vyjádření morfometrie povodí pomocí přesnějších ukazatelů jako je střední sklon povodí nebo hypsografický integrál (Bíl 2003).

Tab. 1 Přehled hydrografických charakteristik

Tab. 1 View of hydrographic characteristics

Hydrografické vlastnosti	**Hydrografická charakteristika**	**Příklady vyjádření**
geometrické	rozměry povodí	plocha povodí délka toku délka povodí šířka povodí
	tvar povodí	koeficient tvaru povodí koeficient vývoje rozvodnice
	křivolakost toku	koeficient meandrovitosti koeficient křivolakosti
	typologie říční sítě	koeficient nesouměrnosti povodí hustota říční sítě
topologické	uspořádání říční sítě	magnitudo topologický typ říční sítě
morfometrické	podélný profil toku	spád toku střední podélný sklon
	hypsometrie povodí	střední volumetrická výška hypsometrický integrál
	sklonitost	náhradní sklon povodí střední sklon povodí
	orientace svahů	směr odtoku expozice svahů
dynamické	změny hydrografické sítě	změny délky toku změny křivolakosti změny podélného sklonu

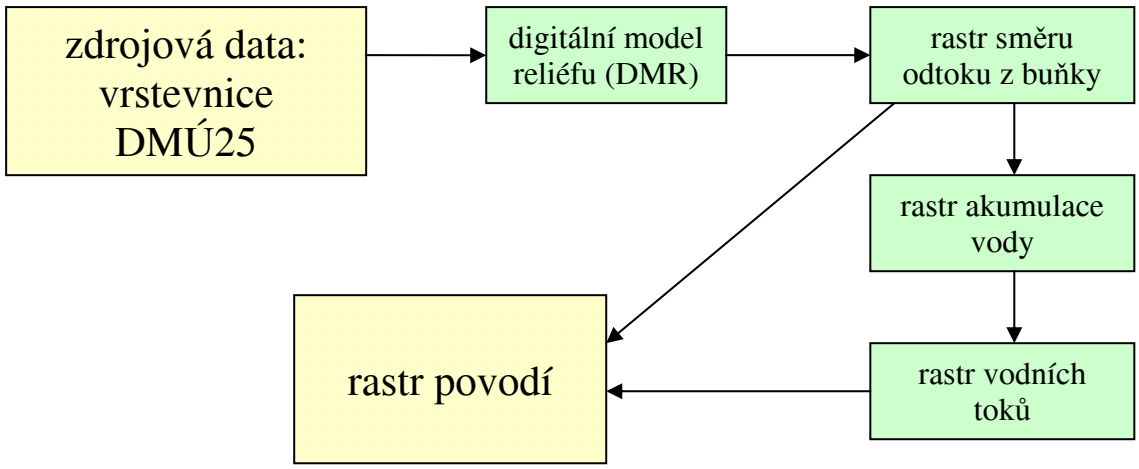
VYUŽITÍ GIS PŘI HYDROGRAFICKÉ ANALÝZE

Geografické informační systémy (GIS) nabízejí efektivní zjišťování většiny hydrografických charakteristik. Postupy, které jsou bez použití GIS časově náročné nebo nepřesné, lze provádět rychle a s přesností odpovídající podrobnosti vstupních dat (Novotná 1999). Zvýšená kvalita zjištěných hydrografických parametrů (např. Kappler 1999, Bíl 2003), pak pozitivně ovlivňuje kvalitu výsledných aplikací, například hydrologického modelování.

Jako vstupní data pro hydrografickou analýzu území je zapotřebí především vrstevnicový podklad umožňující vytvořit digitální model reliéfu (DMR), dále digitalizovaná hydrografická síť a orografická rozvodnice. Prakticky lze vycházet pouze z DMR, přičemž jeho analýzou lze vymezit teoretickou polohu hydrografické sítě a příslušné rozvodnice. Tento postup je vhodný zejména v případě, že hodnotíme povodí se silně antropogenně přeměněnou hydrografickou sítí a chceme rekonstruovat původní přírodní hydrografické podmínky.

Jako velmi efektivní se jeví využití GIS při morfometrické analýze povodí. Nástroje GIS většinou umožňují provádět tvorbu DMR a jeho základní rastrové hodnotící výstupy (hypsometrie, sklony a orientace svahů) přímo pomocí standardních funkcí programů. Analýzou generovaných rastrů lze získat informace například o sklonitosti v povodí pro potřeby hodnocení potenciální eroze, o podmínkách tvorby odtoku či tání sněhu nebo informace pro morfostrukturní analýzu povodí.
Rozšířené možnosti přináší použití modulu hydrologické analýzy (HA), který na základě DMR modeluje povrchový odtok za předpokladu, že je směr odtoku ovlivňován pouze reliéfem. Podrobný popis použití modulu HA uvádí práce Jedličky a Mentlíka (2002). Na obrázku 1 je uvedeno základní schéma algoritmu pro případ, kdy je cílem vymezit na základě DMR jednotlivá povodí. Hydrografické

informace ovšem poskytují i dílčí rastry generované modulem. Rastr směru odtoku lze využít k analýze převládajícího směru odtoku například v souvislosti s erozními procesy v povodí. Analýza rastru akumulace vody vypovídá o koncentraci odtoku v povodí a může sloužit jako podklad pro návrh opatření na podporu retence vody. Generovaný rastr vodních toků částečně umožňuje posoudit antropogenní změny v hydrografické síti. Uvedená využití modulu HA jsou příkladem aplikačních možností hydrografické analýzy v GIS s návazností na modelování hydrologických procesů.



Obr. 1 Schéma postupu vymezení povodí s využitím modulu hydrologické analýzy
Zdroj: upraveno podle Jedličky a Mentlíka (2002)

Fig. 1 Chart of drainige area delimitation with module of hydrologic analysis application

VYBRANÉ HYDROGRAFICKÉ ANALÝZY POVODÍ LUČNÍHO POTOKA

Vybrané hydrografické analýzy v GIS byly použity v rámci komplexního ekohydrologického hodnocení povodí Lučního potoka (Kopp 2004). Luční potok (č. h. p. 1-10-02-103) ústí do Radbuzy zleva na jejím 9,0 ř. km v místě vzdutí vodní nádrže České údolí. Vzhledem k antropogenně podmíněným změnám hydrografické sítě se setkáváme s různým vymezením vlastního povodí Lučního potoka. Zásadní komplikace ve vymezení povodí vyplývají z existence kanálu převádějícího vodu z Vejprnického potoka do Lučního potoka, tedy z povodí Mže do povodí Radbuzy.

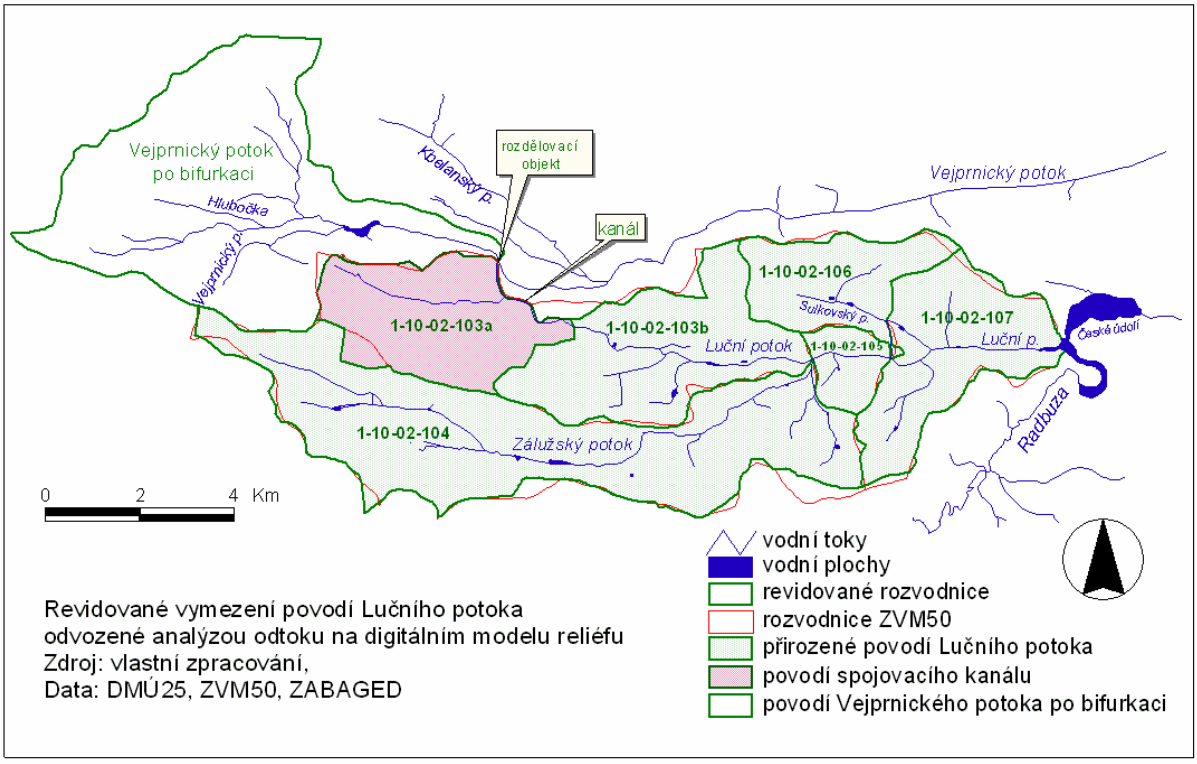
Revize vymezení povodí byla provedena pomocí analýzy DMR v prostředí ArcView GIS 3.1 s rozšířením Spatial Analyst a 3D Analyst. Vlastní vymezení proběhlo jako aplikační využití modulu hydrologické analýzy (HA). Tento modul byl implementován v programovacím jazyce Avenue K. Jedličkou z Fakulty aplikovaných věd ZČU pro potřeby geomorfologických výzkumů (Jedlička a Mentlík 2002). Aplikace modulu HA na povodí Luční potoka byla provedena nejen za účelem vymezení povodí, ale také pro potřeby odvození přirozené říční sítě a dalších charakteristik fluviálního systému.

Za zdroj výškopisných dat byl zvolen vrstevnicový obsah digitální mapy 1 : 25 000 (DMÚ25). Jeho výhodou oproti relativně podrobnějším podkladům z digitální topografické mapy 1:10 000 ZABAGED je především absence nespojitých vrstevnicových linií a vzájemná snadná slučitelnost jednotlivých listů mapy, pokrývajících dané území. Předpokládaná nevýhoda DMÚ25, tedy vzdálenost vrstevnic 5 m (oproti 2 m pro ZABAGED) je pouze relativní. Vrstevnice v mapě 1:10 000 jsou totiž odvozené, nikoliv konstruované na základě přesnějších výškopisných měření. Přesto byl i vrstevnicový obraz ze ZABAGEDU použit ke konečné korekci vymezení povodí.

Z vrstevnic ve vektorové reprezentaci byl vytvořen digitální model reliéfu v podobě TIN (Triangulated Irregular Network), avšak pouze s ohledem na vrstevnice. Linie vodních toků nebyly použity jako orografické linie, protože by to odporovalo cílům analýzy: vymezení přirozené sítě vodních toků a jejich povodí. TIN byl následně převeden na rastr o velikosti buňky 2 x 2 m. Tato podrobnost se ukázala v každém případě jako dostatečná, vzhledem k vstupním datům až příliš podrobná. Pro některé další analýzy reliéfu povodí byl proto používán také rastr 10 x 10 m.

Po převedení TIN do rastrové podoby byl modulem HA odvozen rastr směru odtoku z buňky a dále rastr akumulace vody (podrobněji Jedlička a Mentlík 2002). Rastr akumulace vody vyjadřuje pro každou buňku hodnotu, která odpovídá počtu jejích zdrojových buněk z hlediska povrchového odtoku. Rastr vodních toků byl vytvořen na základě výběru 1 % všech buněk s nejvyšší hodnotou z rastru akumulace vody (1 % horní kvantil). Stanovení 1 % jako prahové hodnoty bylo provedeno empiricky. Pro výsledný rastr vodních toků byl zkonstruován rastr povodí. Ten vznikl přiřazováním buněk z rastru směru odtoku k jednotlivým buňkám vodních toků. Výsledným produktem je tedy rastr povodí odpovídající svojí přesností zdrojovým datům a zvolené velikosti rastru.Výhodou uvedeného postupu je, že se jedná o vymezení, které není ovlivněno antropogenními změnami v povodí, pokud nejsou zahrnuty do vstupních vrstevnicových dat. V případě DMÚ25 vyjadřují vrstevnice pouze rozsahem významné antropogenní tvary v povodí.

Výsledný rastr povodí posloužil jako základ vymezení orografických rozvodnic, především v území, které je postiženo antropogenními změnami říční sítě. Konečné stanovení rozvodních linií bylo provedeno korekcí rozvodnic odvozených modulem HA podle vrstevnic mapy 1:10 000 (ZABAGED). Ve sporných případech došlo i k posouzení situace v terénu, například při vedení části rozvodnice umělého kanálu, protože jeho existenci samozřejmě model neindikoval. Výsledné vedení rozvodnic podává zpřesněný obraz o rozvodnicích povodí Lučního potoka, včetně jeho subpovodí. Celá analýza byla zároveň prováděna pro celé sousední povodí Vejprnického potoka. Porovnání polohy vymezených rozvodnic s rozvodnicemi digitální Základní vodohospodářské mapy (ZVM50) umožňuje obrázek 2. Zjištěné plochy povodí v konfrontaci s údaji Základní vodohospodářské mapy a Hydrologických poměrů (HMÚ 1965) uvádí tabulka 2.



Obr. 2 Revidované vymezení povodí Lučního potoka

Fig. 2 Revised delimitation of the Luční potok drainage area

Tab. 2 Revize rozlohy povodí s využitím GIS

Tab. 2 Audit of drainage area with GIS application

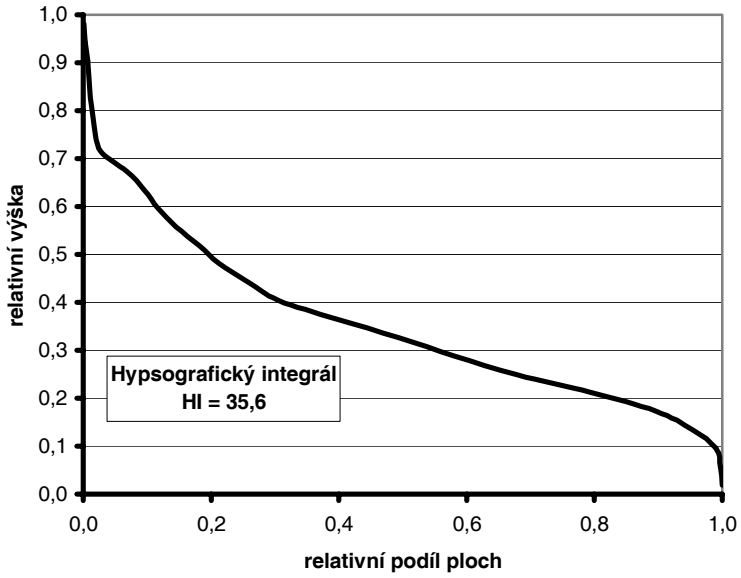
Povodí	Zjištěná rozloha (km^2)	Oficiální rozloha (km^2)
Luční potok - přírodní podmínky	58,779	61,819[x]
Luční potok - včetně povodí kanálu	68,990	69,835

Zdroj: výsledky vlastního vymezení, ZVM50, [x]HMÚ (1965)

Hypsometrie povodí

Povodí Lučního potoka charakterizuje velmi malá výšková členitost. Nejvyšším bodem povodí je vrchol Železného vrchu (443 m n. m.) na západní hranici povodí. Většina dalších vrcholů v povodí nedosahuje ani 400 m. Vzhledem k erozní bázi ve výšce 312 m má tedy povodí celkově velmi nízkou energii reliéfu.

S využitím digitálního modelu reliéfu byla zkonstruována hypsografická křivka pro povodí Lučního potoka podle přírodních poměrů. Na základě průběhu hypsografické křivky v relativních souřadnicích byl vypočítán hypsografický integrál. Jeho velikost by měla korespondovat s geomorfologickým stářím území. Vzhledem k zjištěné hodnotě hypsografického integrálu 35,6 (resp. 0,356) lze reliéf povodí klasifikovat na hranici stádia zralosti a stáří, která je charakterizována hodnotou 36,5 (Strahler in Bíl 2003). Toto zjištění odpovídá geomorfologickému vývoji modelového povodí (Kopp 2004).



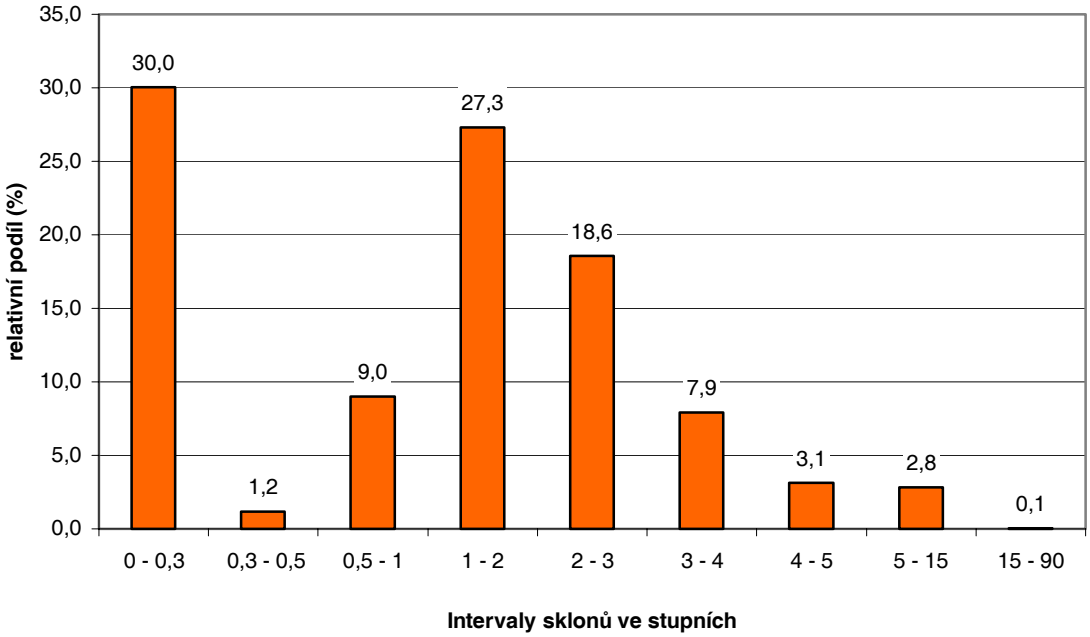
Obr. 3 Hypsometrický integrál povodí Lučního potoka

Fig. 3 Hypsomeric integral of the Luční potok drainage area

Analýza sklonitosti povodí

S využitím standardních funkcí programu ArcView GIS 3.1 byla odvozena mapa sklonů svahů v povodí Lučního potoka (Kopp 2004). Klasifikace sklonů vychází ze zásad geomorfologického mapování (Demek 1972, Voženílek 2001). Stupnice pro klasifikaci tříd sklonů byla upravena vzhledem k četnosti výskytu některých hodnot (podrobnější pro plochý reliéf, méně podrobné pro sklonitý reliéf). Statistické rozložení sklonů svahů v povodí Lučního potoka ukazuje obr. 3. Průměrný sklon reliéfu povodí (zjištěný váženým průměrem podle počtu buňek gridu) je 1,7°.

Téměř třetinové zastoupení na ploše povodí má plochý reliéf, charakterizovaný jako rovina (0-0,5°). V této kategorii najdeme nejen potoční nivy a nivu Radbuzy u ústí potoka, ale též některé úseky plochého rozvodí. Nejvýznamnější rozšíření má rovina v prostoru mělkého rozvodí mezi Vejprnickým a Lučním potokem v místě, kde jsou povodí spojena umělou „bifurkací".



Obr. 4 Relativní zastoupení sklonů reliéfu v povodí Lučního potoka
Zdroj: vlastní zpracování na základě DMR

Fig. 4 Relative representation of relief slopes of the Luční potok drainage area

Mírné sklony svahů v intervalu 0,5 - 2° mají v povodí podíl mírně převyšující třetinu celkové rozlohy. Jejich výskyt navazuje na rozšíření rovin jak na rozvodí nebo na okraji nivy tak v mělké sníženině ve střední části povodí Lučního potoka. Riziko fluviální eroze se zvyšuje v dalších kategoriích svahů. Téměř 30 % zastoupení mají svahy v kategorii 2 - 5°. Tato sklonitost svahů se vyskytuje nejčastěji ve střední části svahů mělkých údolí. Ohrožení fluviální erozí u orné půdy souvisí s charakteristikami půd, délkou nepřerušeného svahu a způsobem využití. Tzv. kritický sklon svahu na středně odolných půdách se pohybuje od 3 do 5° (podle různých autorů in Holý 1978). Potenciální kritické ohrožení na orné půdě v povodí Lučního potoka je charakteristické pro kategorii svahů o sklonu 5 - 15°. Tyto svahy jsou sice zastoupeny jen na necelých 3 % povodí, ovšem ne vždy jsou zalesněny nebo zatravněny. Svahy se sklonem vyšším než 15° se v povodí vyskytují jen ojediněle. Vznikají na antropogenních akumulačních tvarech, jako jsou montánní haldy. Digitální model reliéfu z DMÚ25 nezahrnuje antropogenní změny reliéfu provedené v souvislosti s výstavbou dálnice. Zde můžeme také najít svahy s velkou sklonitostí. Uvedené antropogenní tvary jsou nejvíce ohroženy erozními procesy, zvláště v případech tvarů nových, nepokrytých vegetací.

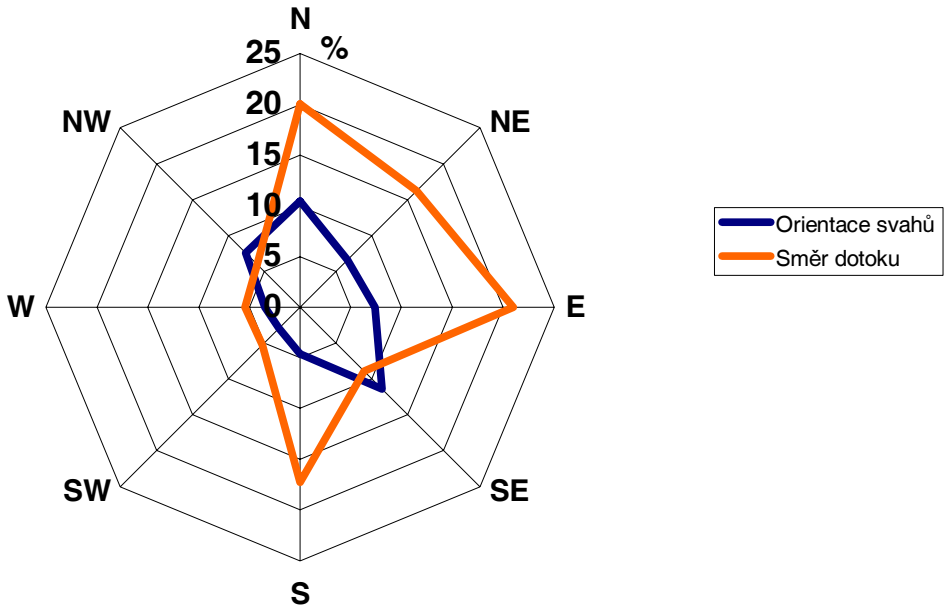
Analýza orientace svahů a směru odtoku

Další analýza reliéfu byla zaměřena na posouzení orientace svahů vůči světovým stranám. Orientace svahů spolu s jejich sklonem určuje potenciální přímý odtok vody, resp. směr a potenciální rychlost odtoku. Expozice svahu určená sklonem a orientací, ovlivňuje proces tání sněhové pokrývky, výskyt potenciální vegetace atd. Vzhledem k převažujícím mírným sklonům svahů v povodí Lučního potoka jsou výsledky analýzy orientace svahů nejpodstatnější pro určení směru odtoku. Výsledky získané standardní funkcí v programu ArcView GIS 3.1 jsem porovnával s hodnocením směru odtoku zjištěném s využitím modulu hydrologické analýzy (Jedlička a Mentlík 2002, Voženílek 2001). Odlišnost výsledků získaných oběma postupy vyplývá především z rozdílu v určení orientace svahu (resp. směru odtoku) v případech, kdy vykazují sousední gridové buňky stejné hodnoty. V modulu

hydrologické analýzy je směr odtoku určen podle hodnot v širším okolí buňky (Voženílek 2001). U roviny naopak orientace není určována.Vzhledem k výraznému zastoupení rovin v povodí, z toho vyplývají i značné rozdíly ve výsledcích obou analýz (obr. 5).

V povodí celkově převládá orientace svahů v sektoru severním až jihovýchodním (azimut 337,5 - 0 - 157,5°). Největší četnost má směr jihovýchodní (112,6 -157,5°). Ve směru odtoku se nejvýrazněji uplatňuje směr na východ (azimut 67,6 – 112,5°), následován směry severním a jižním. Uvedené zjištění koresponduje s celkovým uspořádáním říční sítě. Hlavní směr toků je orientován na východ, včetně odtoku v plochém reliéfu. Svahy mělkých údolí pak určují subsekventní směr odtoku na sever a na jih. Západní orientace svahů se v povodí uplatňuje jen minimálně.

Provedená základní morfometrická analýza určuje potenciální vliv reliéfu na vznik přímého odtoku, případně s tím spojené procesy fluviální eroze. Výsledky ve formě gridu lze použít jako jeden ze vstupních podkladů pro případné podrobnější analýzy v detailním měřítku. Práce s gridem o velikosti buňky 10 – 2 m, je pro celé povodí (70 km^2) operačně náročná a nemusí být ani potřebná v celém rozsahu. Pro detailní analýzy je ovšem třeba dalších informací v digitální podobě: charakteristiky půd, využití země, způsob hospodaření apod. Touto cestou lze například s převodem na čísla odtokových (CN) křivek vymezit plochy v povodí s nízkou retencí (Pechanec 2003) nebo modelovat erozní procesy (Janeček aj. 2002).



Obr. 5 Relativní zastoupení orientace svahů a směrů odtoku v povodí Lučního potoka
Zdroj: vlastní zpracování na základě DMR

Fig. 5 Relative representation of slopes orientation and drain determinations of the Luční potok drainage area

Rekonstrukce přírodní hydrografické sítě

Protože nelze původní stav hydrografické sítě doložit zobrazením na mapách, byla na základě digitálního modelu reliéfu provedena rekonstrukce původního přírodního stavu říční sítě před středověkými úpravami. Využití modulu hydrologické analýzy (HA) umožňuje odvodit předpokládané polohy koryta z rastru vodních toků. Protože byl rastr vodních toků odvozen z rastru akumulace odtoku, vyjadřuje pravděpodobné polohy koryt v přírodní krajině za předpokladu, že je odtok ovlivňován pouze reliéfem. Postup tedy zanedbává heterogenity v lesním pokryvu přírodní krajiny povodí. Modelujeme vlastně povrchový odtok a přepokládáme, že podzemní odtok dotuje rastrové buňky vodou stejným způsobem jako povrchový odtok. Další okruh nepřesností při použití uvedeného postupu souvisí s podrobností vstupních dat pro DMR. Použitá výškopisná data z DMÚ25 jsou použitelná pro odvození odtoku ve výchozím měřítku 1 : 25000. Podrobnější určení polohy koryt není

možné očekávat. Výškopisná data by měla zobrazovat reliéf bez antropogenních tvarů. Při použití modulu HA se ukázalo, že je výsledek značně závislý na volbě velikosti rastru. Pro výslednou analýzu byla proto zvolena velikost rastrové buňky co nejpodrobnější (2 x 2 m).

Rastr akumulace odtoku se ukázal jako dobré vodítko pro rekonstrukci říční sítě v místech předpokládaného antropogenních změn. Detailní umístění koryta nedokáže modul HA na základě vstupních dat určit. Problematické je především vymezení polohy koryta v plochém území. Například v nivách ukazuje rastr akumulace odtoku více paralelních koryt vedle sebe, což je způsobeno konstrukcí modulu HA. Z uvedených důvodů byla říční síť upravena na základě znalosti říční sítě z pozdějšího období (např. podle map stabilního katastru). V problematických částech povodí byla provedena také kontrolní analýza modulem HA na podkladě dat ZABAGED (1:10000), ovšem výsledky nepřinesly podstatně nové informace. V nivách bylo koryto vedeno podle současné polohy. Vzhledem k přirozené dynamice změn polohy koryta v nivě nemá přesnější rekonstrukce smysl.

ZÁVĚR

Použití GIS umožňuje provádět efektivní hydrografickou analýzu povodí. Výsledné hydrografické parametry lze považovat za kvalitní fyzickogeografické ukazatele, které je možné použít v dalším hydrologickém výzkumu ve vazbě na modelování odtokového procesu. Tím se otevřely další směry detailního výzkumu směřující k zobecnění poznatků o vztahu hydrografických a odtokových poměrů povodí na našem území. Ověřené vztahy potom mohou sloužit v hydrologické praxi. Dnešní možnosti použití GIS přitom posouvají kvalitu praktických aplikací na vyšší úroveň.

Literatura

Bíl, M. 2003. Hypsometrická analýza v prostředí GIS. In Sborník 20. výroční fyzickogeografické konference. Brno : PřF MU Brno, s. 87-90.

Crave, A., Davy, P. 1997. Scaling relationships of channel networks at large scales: Examples from two large-magnitude watersheds in Brittany, France. Tectonphysics 269, s. 91-111.

Demek, J. (ed.) aj. 1972. Manual of detailed geomorfological mapping. Praha : Academia, 343 s.

Grešková, A. 1998. Regionalizácia charakteristík malej vodnosti v hydrológii a hydrogeografii. Geografický časopis, 50, 2/1998, s. 157-174.

Grešková, A. 2001. Úloha fyzickogeografických faktorov při vzniku povodní v malých povodiach. In: Geografie XII, Sborník prací pedagogické fakulty Masarykovy univerzity. Sv. 161, řada přírodních věd, č. 21. Brno : MU Brno, s. 297 - 301.

HMÚ 1965. Hydrologické poměry ČSSR. 1. vyd. díl 1. Praha : HMÚ. 414 s.

Housarová, M., Mentlík, P. 2004. Srovnání vybraných morfometrických charakteristik některých glaciálně podmíněných forem reliéfu oblasti Šumavy a Bavorského lesa. Miscellanea Geographica 10. Plzeň : ZČU v Plzni. s. 129-144.

Janeček, M. aj. 2002. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha : ISV nakladatelství, 199 s. ISBN 80-85866-86-2.

Jedlička, K., Mentlík, P. 2002. Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických charakteristik povodí s využitím GIS. In Geoinformatika : sborník z XX. sjezdu ČGS, Ústí nad Labem : UJEP, 2002, s.46-58.

Kappler, O. 1999. Gestaltsmasse für die Bewertung von Landschaftsräumen. In Mannheimer Geographische Arbeiten 49, s. 17-35.

Knighton, D. 1998. Fluvial Forms and Processses. A New Perspective. London : Arnold, 383 s. ISBN 0-34-66313-8.

Kolejka, J. aj. 2003 Digitální model krajiny – pojem konstrukce a použití. In Sborník 20. výroční fyzickogeografické konference. Brno : PřF MU Brno, s. 91-99.

Kopp, J. 2003. Povodňové riziko v povodí malých vodních toků na území Plzeňského kraje. In: Herber, V. (ed.) Fyzickogeografický sborník, 1, Brno : PřF MU Brno, s. 135-141.

Kopp, J. 2004. Ekohydrologické hodnocení povodí v příměstské krajině - případová studie povodí Lučního potoka : disertační práce. Praha: Univerzita Karlova v Praze. 266 s.

Kříž, H. 2000. Vliv geografických podmínek na extrémní hydrologické jevy v povodích. In Hydrologické dny : 5. národní konference pod záštitou UNESCO. I. Díl, Praha : ČHMÚ, s. 95-101.

Langhammer, J. a Vajskebr, V. 2004. Historické změny říční sítě v povodí Otavy. In Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní [CD ROM]. Praha : PřF UK Praha, s. 150-169.

Novotná, M. 1999. Geografické informační systémy v regionální geografii. In Teoreticko-metodologické problémy geografie, príbuzných disciplín a ich aplikácie. Bratislava : Univerzita Komenského. s. 229-233.

Pechanec, V. 2003. Identifikace a prostorová lokalizace ploch s nízkou retencí. Geoinfo speciál 2003, s. 70-72.

Solín, L. 1998. Hydrologické regionálne členenia územia: súčasný stav a problémy. Geografický časopis, 50, 2/1998, s. 139-156.

Solín, L. aj. 2000. Small basins of Slovakia and their physical characteristics. Publikácia Slovenského výboru pre hydrológiu 6. 1. vyd. Bratislava : Geografický ústav SAV. 36 s. ISBN 80-68365-2-8.

Trizna, M., Kyzek, F. 2002. Modelovanie špecifických zrážkovo-odtokových situácií vo vybranom povodí. In Proměny krajiny a udržitelný rozvoj : sborník z XX. sjezdu ČGS, Ústí nad Labem : UJEP, s. 56-72.

Voženílek, V. aj. 2001. Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 185 s.

Voženílek, V., Demek, J. 2000. Modelling of soil erosion hazards as a response of land use changes. Geografie - sborník ČGS, 105, č. 2, s. 166-176.

Wilhelm, F. 1993. Hydrogeographie. Braunschweig : Westermann, 227 s. ISBN 3-14-160279-4.

Autor

Jan Kopp, katedra geografie, Západočeská univerzita v Plzni, Veleslavínova 42, 30619 Plzeň, kopp@kge.zcu.cz

SIMULACE TVORBY ODTOKU VE DVOU GEOCHEMICKY KONTRASTNÍCH POVODÍCH ZÁPADNÍCH ČECH MODELEM SACRAMENTO (SAC-SMA)

Pavel Krám, Josef Buchtele, Marie Buchtelová

Hydrologické poměry na dvou malých lesních povodích Slavkovského lesa byly simulovány srážko-odtokovým předpovědním modelem Sacramento. Podloží povodí Lysina je tvořeno leukogranitem chudým na bazické kationty, zatímco povodí Pluhův Bor je tvořeno serpentinitem s extrémně vysokým obsahem hořčíku. Z toho důvodu je povrchový odtok z Lysiny chronicky kyselý, zatímco odtok z Pluhova Boru je slabě kyselý, neutrální až alkalický (podle hydrologické situace). Simulována byla tvorba průměrných denních odtoků v letech 1989-2002. Složka podzemní vody tvořila v celkovém potočním odtoku z povodí celých 55% na povodí Lysina, ale pouze 37% na povodí Pluhův Bor. Podíl půdní vody byl na Lysině 37% a na Pluhově Boru 52%. Dlouhodobý podíl povrchové ("nové") vody byl nižší (7%) na Lysině než na Pluhově Boru (11%). Vyšší zastoupení "nové" vody a nižší podíl "staré" vody při tvorbě odtoku z povodí Pluhův Bor ve srovnání s povodím Lysina byl způsoben zejména nižší propustností půd a hornin na Pluhově Boru.

Klíčová slova: hydrologický model, srážko-odtokové modelování, tvorba odtoku, lesní povodí, acidifikace

Runoff generation simulations at two geochemically contrasting catchments in western Bohemia by the Sacramento (SAC-SMA) model. *Hydrology at two small forest catchments of the Slavkov Forest was simulated with a rainfall-runoff forecasting Sacramento model. The Lysina catchment is underlain by base cation poor leucogranite however Pluhův Bor is underlain by magnesium extremely rich serpentinite. Therefore the streamwater runoff is chronically acidic at Lysina and slightly acidic, neutral to alkaline at Pluhův Bor (according to hydrologic conditions). Generation of the medium daily runoff was simulated for the period of 1989-2002. Mean portions of groundwater in the total streamwater runoff from the catchments were 55% at Lysina and 37% at Pluhův Bor. The proportion of soil water was 37% at Lysina and 52% at Pluhův Bor. Long-term mean proportions of surface ("new") water were 7% at Lysina and 11% at Pluhův Bor. Higher proportion of "new" water and lower proportion of the "old" groundwater in the streamwater runoff at Pluhův Bor in comparison to Lysina was caused by lower permeability of soils and bedrocks at Pluhův Bor.*

Keywords: hydrologic model, rainfall-runoff modeling, streamwater generation, forest catchment, acidification

---

ÚVOD

Tvorba odtoku z malých lesních povodí je velmi komplikovaný fyzikální proces, který je těžké skutečně objektivně zahrnout do předpovědních hydrologických a případně i hydrochemických modelů (Bonell 1993, McDonnell 2003).

Denní úhrny srážek a denní průměrné teploty vzduchu na dvou malých lesních povodích Slavkovského lesa v západních Čechách byly použity pro modelování průměrných denních průtoků v monitorovaném období v letech 1989-2002. Modelování srážko-odtokových procesů v časovém kroku jednoho dne bylo realizováno se záměrem praktického počítačového simulování denních odtoků a zjištění případné rozdílnosti mechanismu tvorby odtoku v kontrastních geochemických podmínkách. Slavkovský les se nachází uprostřed takzvaného lázeňského trojúhelníku tvořeného Karlovými Vary, Mariánskými Lázněmi a Františkovými Lázněmi. Toto území se vyznačuje značnou pestrostí geochemických poměrů (Malenovský et al. 2004) a extémně rychlým snižováním antropogenního znečištění povrchových vod sírany v 90. letech 20. století (Majer et al. 2005).

POPIS POVODÍ

Obě zkoumaná povodí jsou zalesněná převažně smrkovými monokulturami (smrkem ztepilým, *Picea abies*). Plocha povodí Lysina je větší (0,273 km^2) než plocha povodí Pluhův Bor (0,216 km^2). Rozpětí nadmořských výšek je 829-949 m n.m. (Lysina) a 690-804 m n.m. (Pluhův Bor). Průměrné srážkové

úhrny za sledované období jsou 953 mm (Lysina), respektive 783 mm (Pluhův Bor), průměrný úhrn podkorunových srážek je 715 mm (Lysina), respektive 529 mm (Pluhův Bor). Není tedy divu, že průměrný roční odtok v závěrovém profilu povodí je vyšší na Lysině (432 mm) než na Pluhově Boru (253 mm). Povodí Lysina ležící na podloží budovaným světlou žulou (leukogranitem) reprezentuje velmi zranitelné území vzhledem ke kyselé atmosférické depozici. Naopak povodí Pluhův Bor, jehož podloží je tvořeno na hořčík bohatou silikátovou horninou hadcem (serpentinitem), je schopno neutralizovat kyselé vstupy z atmosféry (Krám et al. 1997, Hruška a Krám 2003,). Z toho důvodu je povrchový odtok z Lysiny celoročně kyselý, zatímco odtok z Pluhova Boru je sice při zvýšených průtocích slabě kyselý, ale při základním odtoku až alkalický (Krám et al. 2003, Shanley et al. 2004, Laudon et al. 2005).

POPIS MODELU

Hydrologické poměry byly simulovány modelem Sacramento Soil Moisture Accounting (SAC-SMA), spojeným s Andersonovým sněhovým modelem (Burnash 1995). Jedná se o koncepční srážko-odtokový model, se shrnutými vstupními daty a parametry, který již byl úspěšně použit k simulaci vodního režimu v řadě malých povodí (Buchtele et al. 1996, 2000a,b, 2004, Hrkal et al. 2002). Model reprezentuje povodí jako soustavu vertikálně a horizontálně uspořádaných nádrží, v nichž je voda zadržována (intercepcí), odčerpávána (evapotranspirací) nebo vsakována (infiltrací do hlubších zón) a kde na závěr odtéká v šesti různých formách ze závěrového profilu povodí (Burnash 1995).

VÝSLEDKY SIMULACÍ A DISKUZE

Model byl implementován tak, aby byla vyrovnaná bilance odtoku za celé simulované období (Obr.1). Míra kalibrační shody mezi měřenými a simulovanými průtoky byla na sledovaných dvou povodích přijatelná. Složka podzemní vody (PRM + SUP) tvořila v celkovém potočním odtoku z povodí celých 55% na povodí Lysina, ale pouze 37% na povodí Pluhův Bor (Obr. 2). Podíl půdní vody (INT) byl na Lysině 37% a na Pluhově Boru 52%. Dlouhodobý podíl povrchové ("nové") vody (SUR + DIR + IMP) byl nižší (7%) na Lysině než na Pluhově Boru (11%). Vyšší zastoupení "nové" vody a nižší podíl "staré" vody při tvorbě odtoku z povodí Pluhův Bor ve srovnání s povodím Lysina byl způsoben zejména nižší propustností půd a hornin díky vyššímu obsahu málo propustných jílů na povodí Pluhův Bor. Tyto počítačově simulované proporce složek odtoku na povodí Lysina jsou ve hrubé shodě s dříve publikovanými hodnotami (Buzek et al. 1995) získanými chemickým rozčleněním hydrogramu založeném na stabilním izotopu kyslíku (^{18}O) a koncentraci organických kyselin (stará podzemní voda: 56%, stará půdní voda: 40%, nová voda povrchového odtoku: 4%).

Podle výsledků simulací modelem Sacramento jsou kulminační povodňové odtoky silně ovlivňované komponentou reprezentující přímý povrchový odtok z dočasně nasycených oblastí (DIR). Týká se to zejména extrémní povodně z 12. a 13. srpna roku 2002 (Obr. 3).

I relativně malý podíl podzemní vody byl schopen efektivně neutralizovat kyselý atmosférický vstup do povodí Pluhův Bor. To ukazuje na mimořádný pufrační potenciál substrátu vzniklého na podložním serpentinitu. Ani zjevně delší doba zdržení vody v povodí Lysina nestačila na neutralizaci kyselé depozice díky na báze velmi chudému podzolizovanému substrátu vzniklém na leukogranitu.

Poděkování

Tento výzkum byl podpořen Grantovou agenturou České republiky (526/01/1135, 205/03/0468). Autoři děkují J. Hruškovi, D. Fottové a V. Bláhovi za dlouhodobou spolupráci, V. Kmínkovi a J. Václavkovi za pravidelný terénní monitoring na sledovaných povodích.

Literatura

Bonell, M. (1993) Progress in the understanding of runoff generation dynamics in forests. Journal of Hydrology, 150: 217-275.

Buchtele, J., Eliáš, V., Tesař, M. and Herrmann, A. (1996) Runoff components simulated by rainfall-runoff models. Hydrological Sciences Journal, 41: 49-60.

Buchtele, J., Buchtelová, M., Gallart, F., Latron, J., Llorens, P., Salvany, C. and Herrmann, A. (2000a) Rainfall-runoff processes modelling using the Sacramento and Brook models in the Cal Rodó catchment (Pyrenees, Spain). UNESCO Technical Documents in Hydrology, Paris, 37: 15-22.

Buchtele, J., Buchtelová, M., Tesař, M. a Kulasová, A. (2000b) Porovnávání simulací vodního režimu v povodích s různými geomorfologickými podmínkami a antropogenním ovlivněním. Sborník konf. Hydrologické dny 2000 – Nové podněty a vize pro příští století, Plzeň,18.–21.9.2000, II. díl, 397-406.

Buchtele, J., Košková, R. a Jařabáč, M. (2004) Vyšetřování vodního režimu ve dvou experimentálních povodích v Beskydech. Sborník workshopu Adolfa Patery 2004 - Extrémní hydrologické jevy v povodích, 10.11.2004. České vysoké učení technické, fakulta stavební, Praha, 173-180.

Burnash, J.C.R. (1995) The NWS River Forecast System – Catchment Modeling. In: Singh, V.P. (ed.) Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, 311-366.

Buzek, F., Hruška, J. and Krám, P. (1995) Three-component model of runoff generation, Lysina catchment, Czech Republic. Water, Air, and Soil Pollution 79: 391-408.

Hrkal, Z., Buchtele, J., Tikkanen, E., Käpaho, A. and Šantrůček, J. (2002) The role of groundwater in the acidification of the hydrosphere – examples from small catchments in the Bohemian Massif. NGU-Bulletin, Norwegian Geological Survey, Trondheim, 439: 99-105.

Hruška, J. and Krám, P. (2003) Modelling long-term changes of streamwater chemistry in two catchments with contrasting vulnerability to acidification. Hydrology and Earth System Sciences 7: 525-539.

Krám, P., Hruška, J., Wenner, B.S., Driscoll, C.T. and Johnson, C.E. (1997) The biogeochemistry of basic cations in two forest catchments with contrasting lithology in the Czech Republic. Biogeochemistry 37: 173-202.

Krám, P., Hruška, J. and Bishop, K. (2003) Monitoring and modeling of long-term changes of streamwater chemistry in two small catchments with contrasting vulnerability to acidification. UNESCO Technical Documents in Hydrology, Paris, 37: 197-202.

Laudon, H., Hruška, J., Köhler, S. and Krám, P. (2005) Predicting episodic stream water acidification and recovery in a heavily impacted catchment. Environmental Science and Technology, 39: 3197-3202.

Majer, V., Krám, P. and Shanley, J.B. (2005) Rapid regional recovery from sulfate and nitrate pollution in streams of the western Czech Republic – comparison to other recovering areas. Environmental Pollution, 135: 17-28.

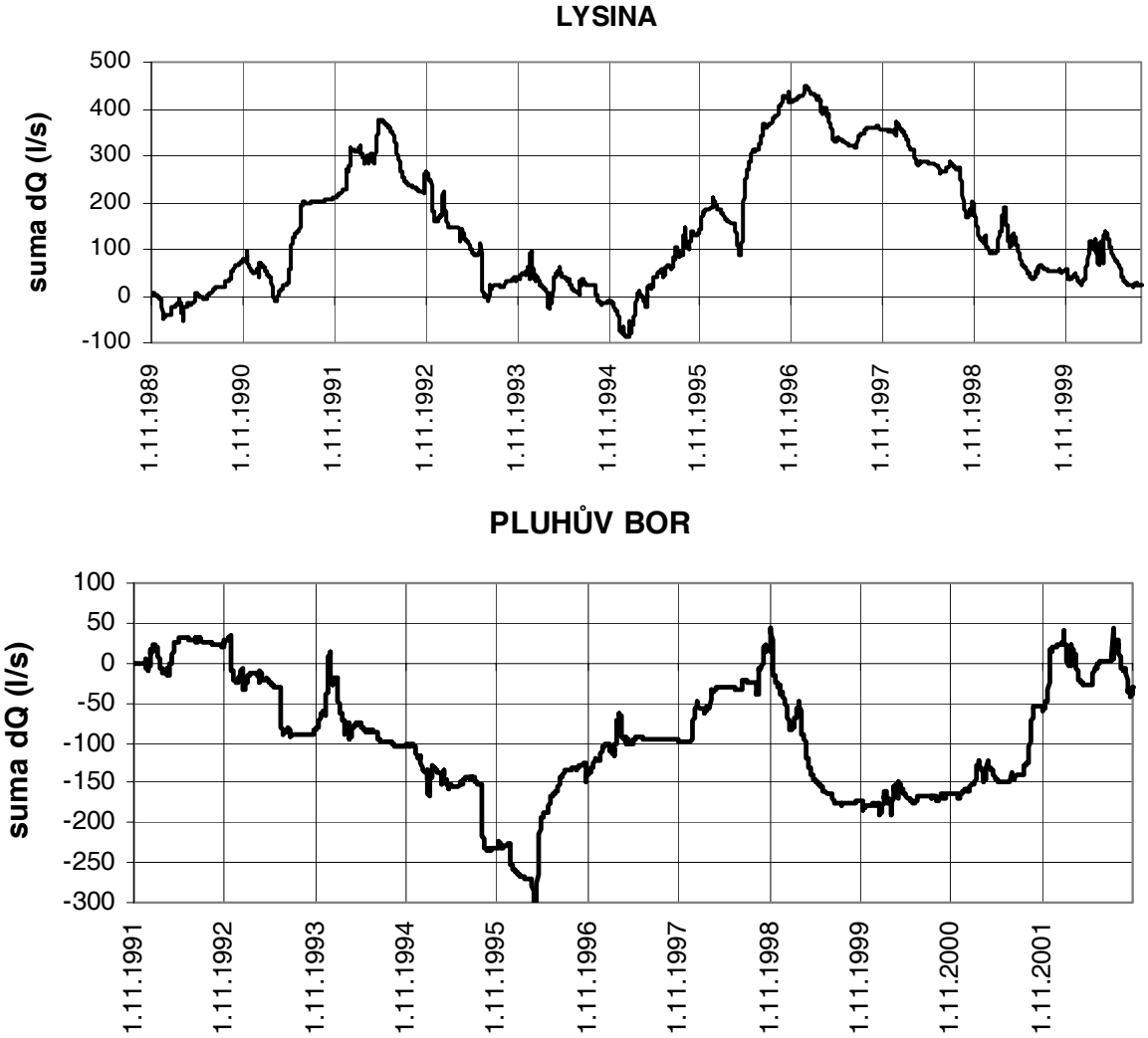
Malenovský, Z., Cudlín, P. a Krám, P. (2004) Vliv geologického podloží na chřadnutí smrčin v západních Čechách: vyhodnocení 21 petrograficky homogenních povodí Slavkovského lesa metodami dálkového průzkumu Země na 7 různých horninách. Atmosférická depozice 2004 (eds. M. Šír a M. Tesař), Ústav pro hydrodynamiku Akademie věd ČR, Praha, 49-56.

McDonnell, J.J. (2003) Where does water go when it rains? Moving beyond the variable source area concept of rainfall-runoff response. Hydrological Processes, 17: 1869-1875.

Shanley, J.B., Krám, P., Hruška, J. and Bullen, T.D. (2004) A biogeochemical comparison of two well-buffered catchments with contrasting histories of acid deposition. Water, Air, and Soil Pollution: Focus, 4/2-3: 325-342.

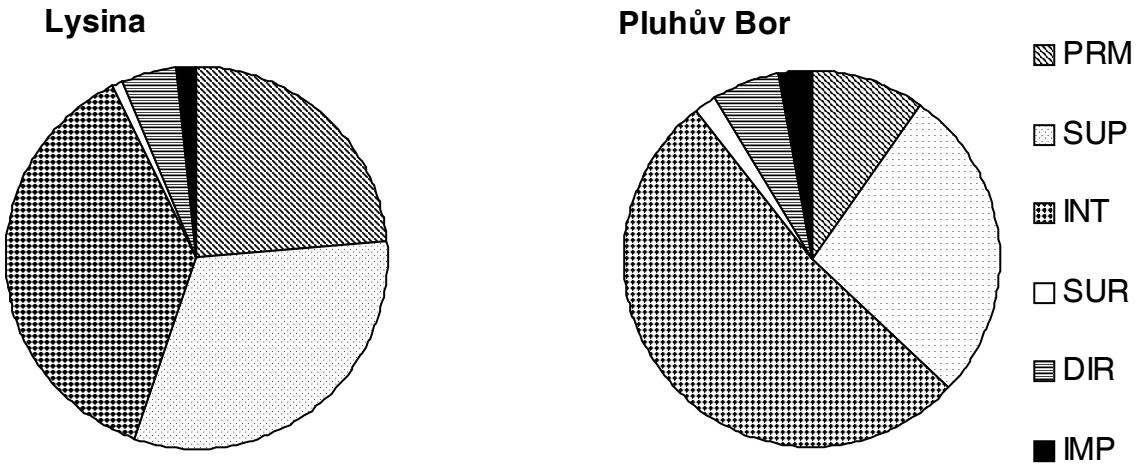
Autoři

Pavel Krám, Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1, ČR, kram@cgu.cz
Josef Buchtele a Marie Buchtelová, Ústav pro hydrodynamiku, Akademie věd ČR, Pod Paťankou 5, 166 12 Praha 6, ČR; buchtele@ih.cas.cz, buchtelova@ih.cas.cz



Obr. 1 a,b Akumulované diference mezi pozorovanými a simulovanými denními odtoky na dvou sledovaných povodích

Fig. 1 a,b Accumulated differences between observed and simulated daily runoff values at two monitored catchments

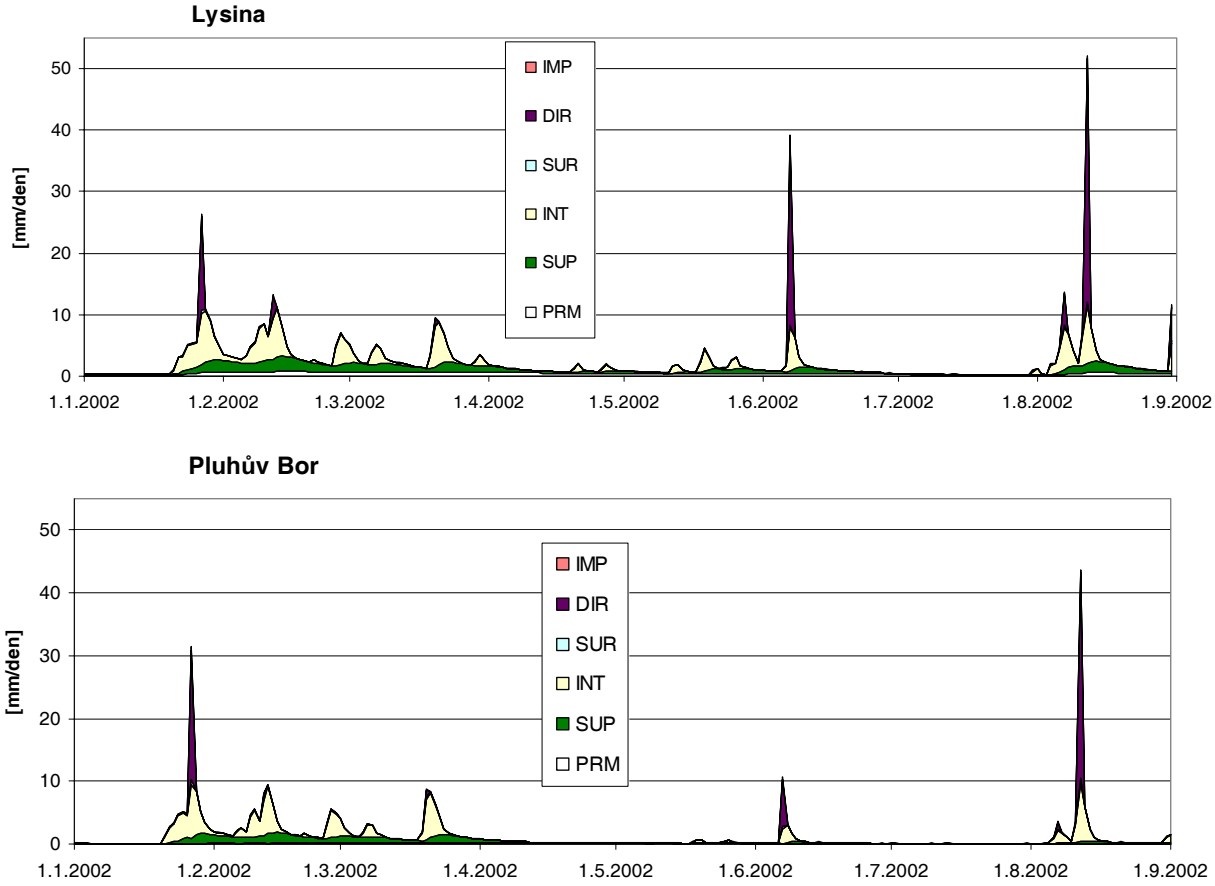


PRM- primární odtok z hlubších kolektorů podzemních vod, **SUP**- dodatkový odtok z mělkých kolektorů podzemních vod, **INT**- interflow (podpovrchový odtok půdou), **SUR**- povrchový (plošný) odtok, **DIR**- přímý povrchový odtok z dočasně nasycených oblastí, **IMP**- povrchový odtok z permanentně nepropustných oblastí

PRM- primary deep groundwater flow (baseflow), **SUP**- supplementary shallow groundwater flow (baseflow), **INT**- interflow (soilwater flow), **SUR**- surface (sheet) water flow, **DIR**- direct overland (surface) flow from temporally saturated areas, **IMP**- overland flow from permanently impervious areas

Obr. 2 Dlouhodobé průměrné podíly simulovaných složek odtoku na dvou sledovaných povodích

Fig. 2 Long-term mean proportions of simulated runoff components at two monitored catchments



PRM- primární odtok z hlubších kolektorů podzemních vod, **SUP**- dodatkový odtok z mělkých kolektorů podzemních vod, **INT**- interflow (podpovrchový odtok půdou), **SUR**- povrchový (plošný) odtok, **DIR**- přímý povrchový odtok z dočasně nasycených oblastí, **IMP**- povrchový odtok z permanentně nepropustných oblastí

PRM- primary deep groundwater flow (baseflow), **SUP**- supplementary shallow groundwater flow (baseflow), **INT**- interflow (soilwater flow), **SUR**- surface (sheet) water flow, **DIR**- direct overland (surface) flow from temporally saturated areas, **IMP**- overland flow from permanently impervious areas

Obr.3a,b Denní podíly simulovaných složek odtoku na dvou sledovaných povodích

Fig. 3a,b Daily proportions of simulated runoff components at at two monitored catchments

TEORIE SLOŽITOSTI V HYDROLÓGII

Karel Nacházel

Složitost jako důležitá charakteristika řešení mnoha vědeckých a odborných problémů, projektů, modelů a predikcí. Hlavní zdroje složitosti řešení úloh. Historický vývoj a vznik teorie složitosti, její vazby na systémové a další teorie. Vznik matematiky složitosti jako nástroje pro řešení složitých úloh. Hlavní problémové oblasti matematiky složitosti. Význam složitosti pro zkoumání zákonitostí přírodních jevů a rozvíjení moderní hydrologie. Problematika chování dynamických systémů v přírodě, nelinearity, samoorganizace s přechodem do nových struktur a nových oblastí chování systémů, neurčitost systémů. Objasnění principů topologie, deterministického chaosu a fraktální geometrie jako významných problémových oblastí matematiky složitosti. Možnosti propojení klasické topologie s teorií fuzzy množin a s teorií dynamických systémů. Využití v dynamické meteorologii, v hydrologii, odhady extrémních fází odtoku.

Klíčová slova: teorie složitosti, matematika složitosti, neurčitost, chování dynamických systémů, nelinearita, samoorganizace, topologie, deterministický chaos, fraktální geometrie

***Complexity theory in hydrology**. The paper deals with the complexity as an important characteristics of the solution of many scientific and special problems, projects, models and predictions. This study presents the main complexity sources of the solution of different tasks. The study analysis historical development and origin of the complexity theory, its relation to the system theory and others. It is possible to regard complexity mathematics as instrumental for the solution of complicated tasks. The main fields of complexity mathematics are discussed in this paper. The meaning of the complexity theory lies in the investigation of natural phenomena regularity and in the modern hydrology development. The study presents problems of dynamic systems behaviour in nature, non-linearity, self-organization with change-over to the new structure and to the new area of systems behaviour and also systems uncertainty. The paper also mentions the principles of topology, deterministic chaos and fractal geometry as important fields of the complexity theory. The theory has numerous application in meteorology and hydrology.*

Key words: Complexity theory, Complexity mathematics, Uncertainty, Dynamic systems behaviour, Non-linearity, Self-organization, Topology, Deterministic chaos, Fractal geometry.

---

1. Úvod

Složitost nám často dělá starosti v běžném životě při zvládání různých úkolů, povinností nebo situací. V odborném a vědeckém světě prostupuje řešením mnoha problémů, projektů, modelů, predikcí a dalších výzkumných úkolů. Složitost lze proto považovat za důležitou charakteristiku řešení. Nepodaří-li se nám ji v dané chvíli zvládnout, musíme zvolit postup jednodušší, méně nákladný, rychlejší, avšak za cenu výsledku pouze přibližného, méně obecného, daného předpoklady řešení. To současně vyvolává potřebu dalšího výzkumu. Obtíže mohou vzniknout též tím, že složitost zpravidla nevystupuje jako jediná charakteristika, ale spojuje se s dalšími charakteristikami, např. s důvěryhodností, neurčitostí řešení a j. Pak vzniká principiální otázka, jaké řešení bude optimální. V naší nedávné studii jsme ukázali význam zkoumání vzájemných vztahů mezi těmito charakteristikami (Nacházel, 2003 a,b).

Význam řešení složitých úloh a jejich vývoj lze dobře ukázat na příkladu hydrologie. V její historii lze zaznamenat řadu vývojových etap s rozvíjením nových metodických postupů, které přispívaly k řešení aktuálních vodohospodářských úkolů. V poslední době se ve světě i u nás věnovala velká pozornost odhadu charakteristik extrémních povodní a dalších katastrofických jevů. Výzkum tu přinesl nejen nové výsledky, ale i cenné podněty k řešení složitých a dosud nedostatečně prozkoumaných otázek. Patří k nim např. nestacionární tendence ve výskytu extrémních fází odtokového procesu, jeho ovlivnění klimatickou změnou a dalšími antropogenními faktory, problematika operativního řízení vodních děl v podmínkách neurčitosti a d. (Hladný, Nacházel, 2001).

Složitost je dána především charakterem dané úlohy, požadovaným cílem jejího řešení, kvalitou a rozsahem vstupních podkladů, úrovní rozpracovanosti metodických postupů potřebných právě pro řešení dané úlohy a výpočetní náročností. Všechny tyto charakteristické znaky se mohou v jednotlivých úlohách a disciplínách lišit. Přesto se tu vynořuje otázka, zda některé problémové oblasti nemají společný teoretický základ, na kterém by bylo možno rozvíjet aplikace. Podstatná je tu též otázka adekvátního matematického aparátu pro řešení těchto problémů.

V tomto příspěvku si klademe jen skromný cíl. Nejdříve shrneme krátce, ale v širších souvislostech vývoj tzv. teorie složitosti , která zatím do našeho vodního hospodářství pronikla jen ve velmi omezené míře. Pak naznačíme možnosti jejího využití pro řešení některých složitých úloh v hydrologii. Cílem příspěvku je tedy dát podnět k dalšímu vodohospodářskému výzkumu v této oblasti.

2. Vznik a dosavadní vývoj teorie složitosti

V přírodních vědách složitost vždy souvisela především s podstatou přírodních jevů, chápáním a objasňováním jejich geneze, s pronikáním matematických metod do jejich popisu, holistickými a systémovými koncepcemi. Literatura tu odhaluje dávný vývoj od newtonovské mechaniky, která vytvářela deterministický, kauzální a lineární obraz světa bez možnosti řešit složitost velkých oblastí přírody (Isaac Newton, 1642-1727) přes mechanistické postupy rozvíjené hlavně Pierrem-Simonem Laplaceem (1749–1827) až po současný matematický popis dynamických systémů včetně vzájemných vazeb mezi jejich prvky (Capra, 2004), (Prigogine, Stengersová, 2001), (Coveney, Highfield, 2003).

Vývoj řešení složitých problémů byl významně ovlivněn objevem teorie tepla a zákonů termodynamiky na počátku 19. století. Zrod teorie složitosti se často dává do souvislosti právě s těmito výzkumy.V roce 1811 získal Jean-Joseph Fourier cenu Francouzské akademie věd za matematický popis šíření tepla v pevných látkách. Poté v roce 1824 poprvé formuloval francouzský fyzik Sadi Carnot druhý zákon termodynamiky pro technologii tepelných strojů. Podle tohoto zákona se v každém uzavřeném systému zvětšuje entropie, systém proto směřuje k větší neuspořádanosti (Prigogine, Stengersová, 2001), (Capra, 2004).

Další vývoj teorie složitosti však nebyl jednoduchý a přímočarý. Teprve výzkumy na konci 19. století (Bruns, Poincaré) začaly ukazovat, že nelze vystačit s dřívějšími mechanistickými představami o přírodě a že dynamický svět není homogenní a redukovatelný na integrovatelné soustavy[1], ale chová se jako soubory vzájemně se ovlivňujících bodů (objektů). Objevné tu byly především práce francouzského matematika a fyzika Henri Poincarého (1854-1912), který studoval složité vlastnosti topologických útvarů a jejich transformaci při zachování některých vlastností, tedy invariantní struktury. Poincaré patrně jako první zahlédl stopy chaosu, který se ovšem začal systematicky zkoumat až v 60. letech minulého století (Capra, 2004).

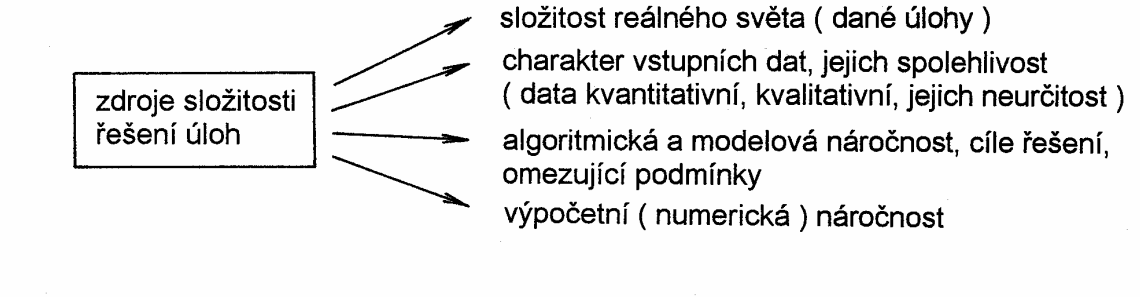
K rozvoji řešení složitých úloh významně přispěly též systémové teorie a koncepce. K novým poznatkům dospěl ve 40. letech 20. století rakousko-americký biolog Ludwig von Bertalanffy, který poukázal na to, že klasická termodynamika se zabývá uzavřenými rovnovážnými systémy nebo systémy blízkými rovnováze a není vhodná pro popis otevřených systémů, kde entropie (a tedy neuspořádanost) může klesat a druhý zákon termodynamiky zde nemusí platit. Bertalanffy však neměl v té době pro takové rozšíření termodynamiky otevřených systémů vhodný matematický aparát. Nová formulace termodynamiky tak musela čekat až do 70. let, kdy se podařilo nositeli Nobelovy ceny Ilyovi Prigoginovi přehodnotit dosavadní vědecké názory na řád a uspořádanost systémů pomocí nové matematiky a rozpracovat teorii disipativních struktur s nelinearitami a nestabilitami. Zde lze tedy

[1] Integrovatelné soustavy, rozvinuté Pierrem-Simonem Laplaceem, vycházely ze zjednodušené představy dynamického systému jako souboru volných bodů (objektů), jejichž chování bylo navzájem nezávislé. Deterministický vývoj každého bodu v dynamickém systému byl určen trajektorií pro dané počáteční podmínky, které však ve skutečnosti předem neznáme. Vývoj bylo možno podle toho odvozovat směrem do budoucnosti i minulosti (Prigogine, Stengersová, 2001), viz též poznámka ve studii (Nacházel, 2005).

spatřovat počátek novodobé etapy rozvoje teorie složitosti (v angl. literatuře complexity) a též matematiky složitosti.

K tomu jen krátce poznamenejme, že nové systémové přístupy, rozvíjené v první polovině 20. století, nevyústily hned ve formální matematickou teorii, kterou by bylo možno snadno aplikovat na řešení složitých systémů s mnoha vazbami mezi jejich prvky. Přispěly však ke vzniku nového způsobu myšlení, nového jazyka, nových koncepcí. Z tohoto klimatu se pak začínají od 70. let vynořovat systémové modely a vhodný matematický jazyk. Dlouholetý vývoj teorie složitosti tak postupně vedl ke zrodu matematiky složitosti jako nástroje pro řešení zejména složitých nelineárních úloh. Podstatný význam tu měl rozvoj výkonných počítačů, které umožňovaly řešit dříve nezvládnutelné úlohy.

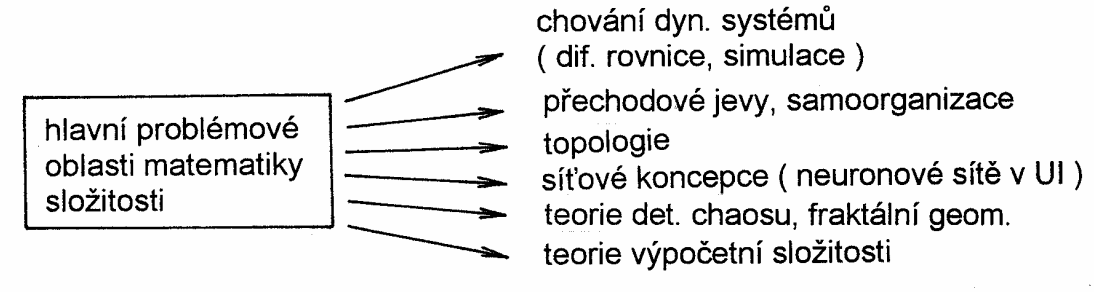
Hlavní zdroje složitosti řešení úloh jsme přehledně vyjádřili na obr.1. Skladba těchto zdrojů může být v jednotlivých úlohách různá, sledovat lze i vývoj jejich řešení. Hranice mezi zdroji složitosti nemusí být samozřejmě ostrá, zdroje složitosti se mohou překrývat.



Obr.1 Hlavní zdroje složitosti různých úloh.

Fig.1 The main complexity sources of different tasks.

Na obr.2 jsou uvedeny hlavní problémové oblasti matematiky složitosti. Připojíme k nim jen několik poznámek, které nám přiblíží jejich náplň. Nelineární diferenciální rovnice pokrývají široký rozsah různých typů chování dynamických systémů, lze tu modelovat mnohonásobně propojené zpětnovazební smyčky. Prigogine rozsáhle studoval strukturálně nestabilní systémy, kritické body nestability (nazývané „bifurkační body“) a přechod do nových struktur a nových oblastí chování systémů. Tuto schopnost otevřeného systému lze chápat jako jeho samoorganizaci, pro kterou je charakteristické nelineární propojení prvků systému. Výzkumy však ukázaly, že i některé lineární diferenciální rovnice mohou uspokojivě simulovat složité chování systémů. Někteří autoři usuzují, že klíčovou charakteristikou přírodních jevů je rozpoznání jejich neurčitosti, která může zvětšit složitost jejich řešení (Prigogine, Stengersová, 2001), (Capra, 2004).



Obr.2 Hlavní problémové oblasti matematiky složitosti.

Fig.2 The main problem areas of complexity mathematics.

Použití diferenciálních rovnic pro popis chování některých dynamických systémů však nemusí být vždy vhodné. Např. pro řešení vodohospodářských soustav jsou zpravidla vhodnější diskrétní simulační modely, které lze snáze odvodit pro obvyklé diskrétní vstupy a diskrétní krok řízení. Usnadňují též optimalizaci řešení na počítači podle různých kritérií a adaptaci na měnící se podmínky. Z toho lze odvodit, že při formalizaci je třeba vycházet z charakteru daného systému, jeho vstupů a cílů řešení.

Představa systému ve tvaru sítě prvků (objektů), které si navzájem předávají a transformují informaci, vznikla poprvé ve 20. letech 20. století, kdy ekologové začali studovat potravní řetězce. V polovině minulého století pak kybernetika usilovala o pochopení funkce mozku jako nervové sítě a hledala matematické prostředky pro její zjednodušenou simulaci. Za první se tu považuje práce W. McCullocha a W.Pittse z roku 1943, kteří odvodili jednoduchý model neuronu. V 80. letech se pak tyto nové přístupy rozvinuly do poměrně rozsáhlé teorie matematických modelů umělých neuronových sítí, která se dnes stala jedním vývojovým směrem umělé inteligence s nadějnými aplikacemi v mnoha oborech a též v hydrologii a ve vodním hospodářství. Za základní vlastnost sítí lze považovat nelinearitu mezi vstupy a výstupy. Tu však umělá síť zvládá na rozdíl od tradičních metodických přístupů (např. teorie regresních modelů) velmi efektivně a lze ji proto využít pro řešení složitých vztahů mezi proměnnými (např. pro řešení srážkoodtokových vztahů).

Topologie je matematickou disciplínou, která se zabývá takovými vlastnostmi složitých geometrických útvarů, které se při transformaci nemění. K důležitým úlohám tu patří transformace (zobrazení) jednoho topologického prostoru do druhého za podmínek homomorfizmu. Tyto metodické přístupy lákají především k hlubšímu studiu vzniku a vývoje extrémních jevů v hydrologii a meteorologii. Nebyly tu však zatím rozpracovány ani ověřeny. Na výzkum tak čeká aktuální, ale náročné téma. Vrátíme se k němu ještě v dalším odstavci.

Na obr.1 jsme přiřadili k hlavním zdrojům složitosti i výpočetní (numerickou) náročnost a na obr.2 adekvátní teorii výpočetní složitosti. Tato teorie porovnává složitost algoritmů podle doby, potřebné k nalezení řešení, a podle velikosti použité paměti. Algoritmus je pak v této teorii tím lepší, čím potřebuje kratší dobu k řešení a čím menší paměť počítače zabere. Čas, potřebný k vyřešení dané úlohy s určitým počtem parametrů, se aproximuje nějakou funkcí (zpravidla polynomiální), závisející na počtu těchto parametrů. Podle toho se pak rozlišují různé třídy úloh, popř. i úlohy neřešitelné v rozumném čase. Teorii výpočetní složitosti lze využít např. při řešení rozhodovacích a optimalizačních úloh vycházejících ze souborů mnoha variant, ze kterých se hledá řešení nejlepší podle požadovaného kritéria. Posuzování výpočetní složitosti je důležité i v některých vývojových směrech umělé inteligence (Mařík, Štěpánková, Lažanský, 2001).

Přes rozvoj teorie složitosti a jejího matematického aparátu se mnohé složité problémy v technických a ekonomických disciplínách dosud řeší nezávisle na jejích metodách. K rychlejšímu rozvoji tu může přispět těsnější spolupráce mezi základním a aplikovaným výzkumem, vzájemné ovlivňování a vyhledávání společných metodických postupů i v nepříbuzných vědních oborech a směřující k řešení speciálních problémů.

3. Metody řešení vybraných složitých úloh

Z širokého okruhu složitých úloh jsme vybrali jen problémovou oblast deterministického chaosu a problémovou oblast topologie, které mají pro aplikace v hydrologii a vodním hospodářství perspektivní význam. V omezeném příspěvku nelze vyčerpávajícím způsobem popsat metodické postupy, které jsou v obou případech dosti obsáhlé. Omezili jsme se proto na základní principy a zájemce o tyto vývojové směry odkazujeme na speciální literaturu.

3.1 Teorie deterministického chaosu, fraktální geometrie

Pro popis náhodných veličin v různých přírodních, technických a ekonomických systémech se zprvu využívaly jen metody teorie pravděpodobnosti a teorie náhodných procesů. Jejich statistické charakteristiky se odvozují na podkladě pozorovaných hodnot v minulosti. Avšak hodnoty samotných veličin v nejbližší budoucnosti nelze stanovit přesně, nejvýše je lze odhadnout za jistých předpokladů. Řešení úloh, ve kterých se tyto veličiny vyskytují, je proto zatíženo neurčitostí.

Uvedené metody mají důležité místo v mnoha vědních disciplínách, kde stochastické modely jsou základním podkladem pro řešení daného problému. Připomeneme si tu jen systémové teorie, zejména teorii řízení, která se m.j. zabývá problematikou řízení systémů ovlivněných působením poruchových veličin. Hlavním cílem regulace je pak zmenšit, popř. vyrovnat vliv těchto veličin na regulované veličiny.

Rychlý rozvoj teorie složitých systémů v posledních asi 30 letech přinesl řadu nových výsledků a poznatků. Např. se ukázalo, že podstatný význam má nelinearita deterministických modelů, která může plodit neuspořádaný a nepředvídatelný stav v následujícím okamžiku. Systém je sice popsán deterministicky, ale v čase se chová chaoticky. Představa tohoto nového typu chování některých systémů byla tehdy velice překvapivá, podobně jako opačný případ dynamiky, kdy v nahodilém chování systému může za jistých okolností vzniknout jeho nové uspořádání, nový řád.

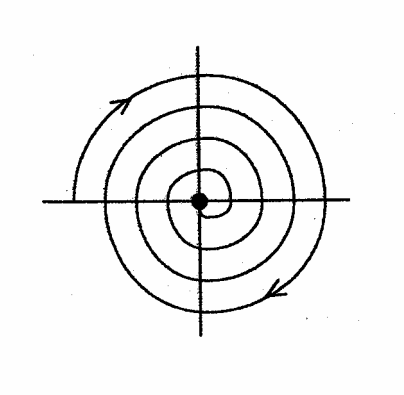
Jinou zajímavou vlastností složité dynamiky byla značná, někdy až extrémní citlivost systému i na malé změny počátečních podmínek. Z toho byl odvozen poznatek, že dlouhodobá predikce u takových systémů je nereálná. Týž problém vzniká u nepřesných počátečních dat, kde se ztrácí praktický smysl predikce vzhledem k jejich nejistotě. Pro tyto složité jevy v dynamice některých systémů se začal užívat poněkud neobvyklý, ale dnes už ve světě zcela běžný termín deterministický chaos. K tradičnímu členění systémů na deterministické a stochastické tak lze dnes přiřadit třetí skupinu – systémy s chaotickým chováním[2].
Deterministický chaos původně popsal americký meteorolog Edward Lorenz (1963), když chtěl vyjádřit chaotickou dynamiku konvektivního proudění v atmosféře. Tím dal podnět k prudkému rozvoji teorie chaosu, který změnil v některých směrech náš pohled na svět a chápání různých jevů. Především se ukázalo, že chování jednoduchých systémů může být velmi složité a naopak velmi složité systémy lze mnohdy popsat jednoduchými modely. Dalším poznatkem bylo zjištění, že chaotické chování může nastat u každé soustavy s nelinearitami. Avšak ne každý nelineární systém musí vést k chaotickému chování.

Výzkum chaotického chování některých systémů odhalil i pozoruhodné geometrické vlastnosti trajektorií ve fázovém prostoru. Fázovým (někdy nazývaným též stavovým) prostorem se rozumí abstraktní prostor, který vznikne projekcí všech relevantních proměnných na systém ortogonálních os. Každé proměnné tak odpovídá jedna osa (fázový prostor může mít proto teoreticky nekonečně mnoho dimenzí). Vývoj systému v čase (jeho dynamiku) lze pak popsat posloupností bodů ve fázovém

[2] Historický vývoj chápání a výkladu chaotických jevů lze sledovat už od starých primitivních národů. Starověké národy se snažily vysvětlit základní otázky vzniku světa, podstatu prostoru, času nebo vesmírných jevů prostřednictvím mýtů, legend a náboženství a vnést do nich určitý řád. Bohatá mytologie staré Číny, Indie, Persie a jiných zemí (dochovaná však mnohdy jen ve fragmentech původních písemností, v tzv. zlomcích) ukazuje, že chaos se tehdy chápal široce podle povahy diskutované otázky a mohl zahrnovat různé neznámé, neurčité, neuspořádané, nepředvídatelné či nevysvětlené jevy. Tak tu vystupuje např. pustý a prázdný postor, v němž nebylo možno nic určitého rozeznat, prostor oddělující nebe a zemi, stvoření světa vejcem, které bylo obklopeno temným chaosem a j. Nám bližší předsokratovská filozofie, považovaná za nejranější období řecké filozofie (období zhruba od poloviny 6. stol. až 4. stol. př.n.l.), usilovala o výklad světa přírody. Původní řecký termín „chásma“ byl spojen s představou velké větrné propasti (temnoty), ve které jsou prameny a hranice všech věcí. Tyto představy se staly zřejmě pozdější specifikací termínu „cháos“, který pak přijímal další významy (např. voda jako jedna ze základních pralátek nebo vše, co nemělo určitý tvar a d.). (Kirk, Raven, Schofield, 2004), (Stőrig, 1991), (Cave, 1994).

prostoru, nazývanou trajektorií. V teorii dynamických systémů se dokazuje, že trajektorie mohou konvergovat k charakteristickým geometrickým útvarům, které se nazývají atraktory. Atraktory mohou být velmi jednoduché (např. bod u kyvadla tlumeného třením nebo nějaká křivka a j.), které nejsou závislé na počátečních podmínkách. Existují však systémy s velmi složitou strukturou atraktorů, připomínající podivuhodné orientální obrazce. V těchto případech se hovoří o podivných (chaotických) atraktorech. Atraktory mohou mít kromě citlivosti na volbu počátečních podmínek i fraktální strukturu. Vrátíme se k ní ještě v dalším textu.

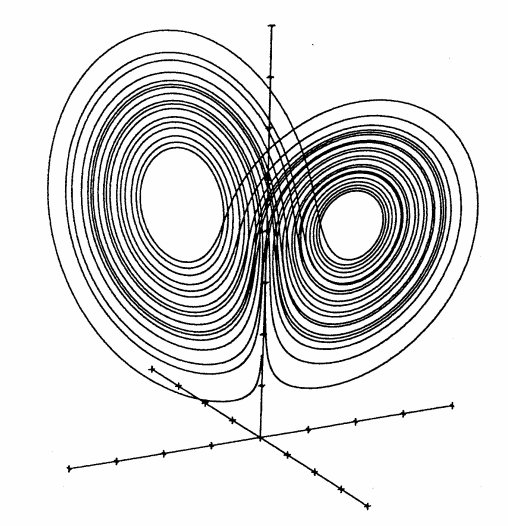
Na obr.3 je jednoduchý příklad atraktoru kyvadla, které rovnoměrně ztrácí energii třením. Všechny trajektorie se spirálovitě zavíjejí dovnitř k bodu, který představuje ustálený stav (bez pohybu). Na dvě osy se vynášejí úhel a rychlost kyvadla.



Obr.3 Atraktor kyvadla.

Fig.3 Attractor of the pendulum.

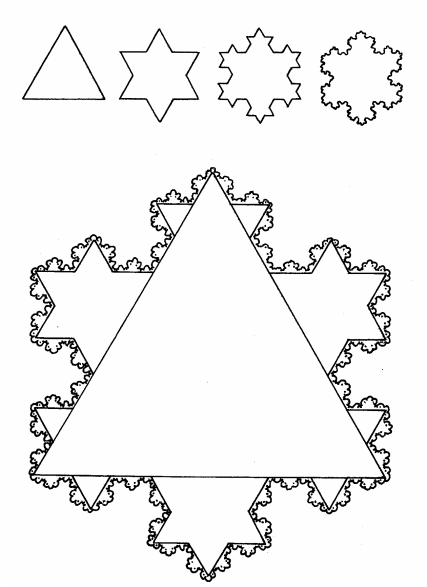
Na obr. 4 je znázorněn složitější Lorenzův atraktor ve tvaru dvojité spirály, která má tři rozměry.



Obr.4 Lorenzův atraktor.

Fig.4 Lorenz´s attractor.

Na obr. 5 je příklad fraktálové struktury, kterou odvodil jako první v roce 1904 švédský matematik Helge van Koch. Křivka se zkonstruuje tak, že vyjdeme z trojúhelníka o stranách délky 1. Doprostřed každé strany přidáme další trojúhelník třetinové velikosti a postup stále opakujeme. Délka křivky se tak stále zvětšuje do nekonečně (3 x 4/3 x 4/3 ...), ohraničuje však plochu s konečným obsahem, tj. kruhu opsaného původnímu trojúhelníku (Gleick, 1996).



Obr.5 Fraktálová struktura (Kochova křivka).

Fig.5 The structure of the fractals (the curve described by Helge van Koch).

Nereálnost dlouhodobých predikcí u chaotického chování, kterou jsme již zmínili, vedla k orientaci vývoje na krátkodobé predikční modely, vycházející z experimentálních dat o chování systému v čase (Drahoš, Punčochář, 2002).

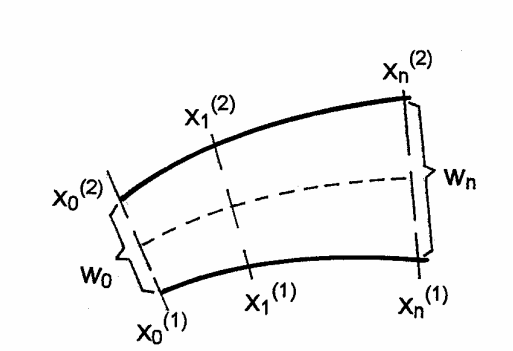
V souvislosti s chaotickým chováním systémů a složitými vlastnostmi jejich atraktorů se studuje další zajímavá otázka, a to fraktální struktura přírodních objektů (útvarů). Počátek těchto výzkumů se zpravidla klade na začátek 80. let min. století, kdy Benoit Mandelbrot ukázal na složitost a členitost některých přírodních objektů, které vykazují značnou vzájemnou podobnost při jejich geometrickém zobrazení v různém měřítku. Tak se zrodil nový pojem „soběpodobnost“ (self-similarity), který vyjadřuje při jisté idealizaci podobnost jednotlivých částí studovaného objektu a celku. Jako příklady lze uvést zobrazení členitého pobřeží úsečkami v různém měřítku, podobnost struktury větví a celého stromu, elementární soběpodobnost lze demonstrovat na jednoduchém členění úseček, čtverců nebo jiných geometrických útvarů. Samotný pojem fraktál (z lat. fractus, odvozeného od slovesa frangere – zlomit) tedy vyjadřuje členění složitého útvaru na dílčí části (zlomky) s jistou podobností.
Řešení fraktální struktury nemusí být ovšem jednoduchou úlohou. Lze ukázat, že tu někdy nepostačuje aparát klasické euklidovské geometrie, ale je třeba aplikovat složitější topologické přístupy k transformaci útvarů v prostoru, kterými se zabývá neeuklidovská geometrie (Hlavatý, 1949).

Důležitou úlohou v teorii deterministického chaosu je identifikace struktury časových chronologických řad pozorovaných veličin, která má odpovědět na otázku, nakolik je jejich chování chaotické nebo pouze náhodné a jakými matematickými prostředky ho lze popsat. Pro identifikaci se používají dva základní typy kvantifikátorů, popisujících jednak dynamiku chaotického chování, jednak geometrii atraktoru.

Podrobnější informaci o teorii deterministického chaosu a fraktální geometrii lze nalézt v řadě zahraničních i domácích prací. U nás jsou dostupné např. (Coveney, Highfield, 2003), (Drahoš, Punčochář, 2002), (Gleick, 1996), (Horák, Krlín, Raidl, 2003), (Miláček, 2003), (Štrunc, 2002a,b) a j.

Kvantifikátory chaosu

Dynamika chaotického chování se popisuje pomocí Ljapunovových koeficientů. Definují se jako logaritmus míry přibližování nebo vzdalování dvou sousedních trajektorií vývoje. Předpokládá se přitom, že trajektorie vycházejí z málo odlišných počátečních podmínek (obr.6).



Obr.6 Vzdálenost dvou sousedních trajektorií vývoje.

Fig.6 The distance of two neighbouring trajectories of the development.

Pro rostoucí body vývoje $n = 1, 2, ..., N$ lze sestavit posloupnost vzdáleností trajektorií $\{w_0, w_1, ..., w_N\}$. Ljapunovův exponent pro dvě sousední vzdálenosti je definován výrazem

$$\lambda = \frac{1}{n} \log_2 \frac{w_{n+1}}{w_n} \tag{1}$$

a pro všech N vzdáleností se pak tento exponent vyjadřuje střední hodnotou

$$\lambda = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N} \log_2 \frac{w_{n+1}}{w_n} \tag{2}$$

Je zřejmé, že pro $\lambda<0$ ($w_{n+1}<w_n$) se obě trajektorie sbližují a vývoj je stabilní, naopak pro $\lambda>0$ se vzdalují.

Pro jednodimenzionální úlohu platí jednoduchý vztah $x_{n+1} = f(x_n)$.
Položíme-li $x_1 = x_0 + \varepsilon$, $w_0 = \varepsilon$, $w_1 = f(x_0 + \varepsilon) - f(x_0)$,

$$\text{dostaneme} \quad \frac{w_1}{w_0} = \frac{f(x_0+\varepsilon) - f(x_0)}{\varepsilon} = \frac{df}{dx}\Big|x_0 \tag{3}$$

$$\lambda = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N} \log_2 \frac{df(x_0)}{dx} \tag{4}$$

Geometrická struktura trajektorií ve fázovém prostoru se posuzuje pomocí tzv. fraktální dimenze. Jde o exponent, který vyjadřuje vztah mezi počtem náhradních elementárních geometrických útvarů N a jejich rozměrem ε. Pro pokrytí křivky jednotkové délky potřebujeme např. $N\sim 1/\varepsilon$ úseček, pro pokrytí plochy pak $N\sim 1/\varepsilon^2$ čtverců, pro pokrytí třírozměrného prostoru $N\sim 1/\varepsilon^3$ krychlí atd. Obecně tedy můžeme tento vztah vyjádřit výrazem

$$N(\varepsilon) = \frac{1}{\varepsilon^d} \text{ , kde } \varepsilon^d \text{ znamená objem hyperkrychle,} \tag{5a}$$

$$\text{a odtud } \log N(\varepsilon) = d \,.\, \log \frac{1}{\varepsilon} \tag{5b}$$

$$\text{neboli } d = \lim_{\varepsilon\to 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log 1/\varepsilon} \tag{6}$$

Číslu $d = d_k$ se říká kapacitní dimenze, které však nemusí být celé. Pak se hovoří o fraktální (zlomkové) dimenzi a o fraktální struktuře.

Kromě fraktální dimenze se často používá tzv. bodová (též lokální) dimenze. Její definice vychází z pravděpodobnosti výskytu dvojice bodů trajektorie systému v nějaké elementární oblasti kolem bodu ve fázovém prostoru. Tuto oblast zpravidla tvoří (obecně ve vícerozměrném prostoru) hyperkrychle se stranou ε nebo hyperkoule s poloměrem ε.
Jestliže jsou tedy dány ve fázovém prostoru body vývoje
$x_1 , x_2 , \ldots, x_N$, můžeme pro každý z nich nejdříve vypočítat rozdíl
$\Delta_{mn} = x_n - x_m$, $m = 1 , 2 , \ldots, M$, $M << N$, kde x_m je bod trajektorie ve vzdálenosti m, a poté pravděpodobnosti

$$P_n(\varepsilon) = \frac{1}{N}\sum_{m=1}^{M}(\| \Delta_{mn} \| < \varepsilon), \text{ kde v závorce je logická funkce s hodnotou 0 nebo 1.} \qquad (7)$$

Bodová dimenze se pak definuje výrazem

$$d_b = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\lim_{\varepsilon\to 0}\frac{\log P_n(\varepsilon)}{\log \varepsilon} \qquad (8)$$

Obdobně se definuje tzv. korelační dimenze. V tomto případě je třeba spočítat počet bodů uvnitř kružnice s poloměrem r.

$$d_k = \lim_{r\to 0}\frac{\log \sum_i p_i^2}{\log r} \qquad (9)$$

Limita $r \to 0$ požaduje co nejjemnější dělení fázového prostoru.

Zajímavé výsledky nelineární analýzy meteorologických řad uvádí naše literatura (Horák, Krlín,Raidl, 2003). Analýzu chaotické struktury srážkových řad lze nalézt v časopiseckém příspěvku (Sivakumar et al., 2001), ve kterém jsou obsáhlé odkazy na další zahraniční práce z oblasti hydrologie. Výklad náhodných a chaotických jevů v mechanice je uveden ve skriptu Miláčka (2003). Pro rozvíjení dalšího výzkumu jsou tu četné podněty a naznačeny otevřené otázky. Základním předpokladem zkoumání chaotické struktury chronologických hydrologických řad je uspokojivá spolehlivost dat, velmi krátký krok (hodiny, den) a větší délka řady. Tento požadavek může v hydrologii bránit širším aplikacím, protože většina vodohospodářských úloh se řeší na podkladě řad průměrných ročních nebo měsíčních průtoků, které poskytuje ČHMÚ v rámci standardních hydrologických údajů. Pro kratší krok mnohdy chybějí měřené či zpracované údaje. Řešení problematiky chaosu v hydrologii bude proto vyžadovat především přípravu dostupných a spolehlivých dat.

3.2 Topologie

Topologie jako odnož geometrie se začala rozvíjet během 19. století, svého rozkvětu se dočkala ve 20. století a zejména pak v 50. letech. Zkoumá vlastnosti geometrických útvarů, které se nemění deformací, otáčením nebo stlačováním, a to i ve vícerozměrných prostorech.

Ústředním pojmem je tu topologický prostor. Rozumí se jím dvojice $\langle X, t\rangle$, kde X je daná neprázdná množina prvků (bodů) a t je systém jejích podmnožin. Topologie studuje vlastnosti tohoto systému podmnožin, zobrazení jednoho topologického prostoru do druhého, invariantní vlastnosti prostorů, metrické prostory a další úlohy. Jde tedy o matematickou disciplínu, která zkoumá s využitím aparátu teorie množin vlastnosti složitých útvarů v prostoru, jejich vzájemné vztahy a zobrazení (transformace). K důležitým úlohám tu patří nalezení podmínek, za kterých lze např. dva prostory pokládat za homomorfní, tedy takové, které mají nějakou společnou topologickou vlastnost (tzv. invariant). Existuje-li homomorfismus mezi topologickými prostory, hovoří se o relaci ekvivalence na třídě těchto prostorů nebo krátce o topologicky ekvivalentních prostorech (Bureš, 1971).

Na první pohled je zřejmé, že pro zkoumání dynamiky hydrologických a meteorologických procesů se tu nabízí matematický aparát, který nepochybně umožňuje řešit dosti složité úlohy. Hydrologie i meteorologie pracují s velkými objemy dat, která popisují vývoj stochastických, nelineárních a dynamických procesů v prostoru a čase. Cílem řešení je tu zejména odhad odtokové odezvy a jejího extrému. Základním problémem je tu synergický efekt při sdružování několika příčinných faktorů, které se vyvíjejí v čase (Nacházel,2005).

Je pozoruhodné, že záhy po objevu teorie fuzzy množin (Zadeh, 1965) se začaly vynořovat práce propojující ji s topologií (Chang, 1968), (Michálek, 1975). Tak vznikla fuzzy topologie, která zkoumá v topologickém prostoru systémy fuzzy podmnožin, jejich vlastnosti a transformace. Její výhodou je možnost studovat vlastnosti složitých útvarů v prostoru i v případě, kdy je nelze všechny kvantifikovat. Pokud budeme řešit dynamiku meteorologických charakteristik a vývoj synoptických situací, bude třeba si ujasnit míru podrobnosti vyjádření lingvistických proměnných množinou jejich lingvistických hodnot (tzv. termů), dále univerzum, na kterém jsou tyto hodnoty definovány, a způsob odvození jejich funkcí příslušnosti. Nezbytný tu bude výzkum, protože s fuzzifikací v této oblasti máme zatím málo zkušeností.

Pro popis chování složitých systémů se tu ještě nabízí spojení topologie s teorií dynamických systémů. Topologické transformace útvarů ve fázovém prostoru mohou přispět k objasnění chaotických vlastností těchto systémů. I tyto možnosti bude třeba ověřit ve výzkumu.

Aplikace metodických postupů topologie ve vodním hospodářství není zatím příliš široká. V literatuře lze nalézt příklady topologického vyjádření složité struktury vodohospodářských soustav, popř. její zobrazení pomocí grafů. Topologie byla využita též v metodách umělé inteligence při hledání optimální struktury umělých neuronových sítí a řešení srážkoodtokových vztahů. Často se tu hovoří o topologii neuronových sítí a její automatické optimalizaci na počítači (Nacházel, Starý, Zezulák a kol., 2004).

4. Závěry

Složitost je důležitou charakteristikou mnoha úloh, která ovlivňuje kvalitu a spolehlivost výsledku jejich řešení, dobu a náklady na zpracování. Často vyvolává potřebu dalšího výzkumu. Složitost řešení závisí především na charakteru problému, požadovaném cíli řešení, kvalitě a rozsahu vstupních podkladů, stavu poznání dané problematiky, rozpracovanosti metodických postupů a výpočetní náročnosti.

Potřeba rozvíjet metodické postupy řešení složitých úloh v rámci výzkumu vyplývá hlavně z jejich aktuálnosti a významu pro praxi. Při zjednodušeném řešení je třeba zvažovat jeho důsledky na kvalitu výsledku a další postup zpracování úkolu. Jde tu tedy o přípustnost takového řešení.

Teorie složitosti se v minulosti vyvíjela postupně v rámci různých vědních oblastí. Přitom se ukázalo, že v některých oborech lze využít společné nebo příbuzné matematické formalizmy, které přispívají k objasnění chování složitých jevů. K problémovým oblastem matematiky složitosti patří např. chování dynamických systémů, nestabilita systémů, chaotická dynamika, fraktálové struktury a d. Jejich aplikace lze nalézt v současné době ve fyzice, chemii, astronomii, meteorologii, ale též v medicíně (neurologii), biologii a v dalších oborech.

V hydrologii a vodním hospodářství řešíme řadu složitých úkolů, které nám dělají stále starosti a mají přitom značný praktický význam. Patří k nim např. predikce extrémních hydrologických situací na podkladě působení příčinných faktorů, operativní řízení vodních děl a jejich soustav v podmínkách neurčitosti, nehomogenita hydrologických dat a metodika jejich zpracování po roce 1980, plánování vodního hospodářství se zřetelem ke globálním nejistotám a d. Pro řešení těchto úkolů bude prospěšné

rozpracovat a ověřit ve výzkumu nové metody a usilovat o přípravu počítačových programů, umožňujících v praxi rutinní aplikaci.

Studie byla zpracována za podpory grantového projektu GAČR reg.č. 103/04/0352 „Teorie operativního řízení vodohospodářských soustav za povodňových situací“.

Literatura

Bureš,J. (1971): Úvod do topologie. Fakulta mat. fyz. UK v Praze. SPN, Praha, 106 s.

Capra,F.(2004): Tkáň života. Nová syntéza mysli a hmoty. Překlad z angl. orig. The Web of Life. A New Synthesis of Mind and Matter. Nakl. ACADEMIA, Praha, 296 s.

Coveney,P., Highfield,E. (2003): Mezi chaosem a řádem. Hranice komplexity: hledání řádu v chaotickém světě. Překlad z angl.orig. Frontiers of Complexity. Mladá fronta, Praha, 432 s.

Drahoš,J., Punčochář,M. (2002): Fraktály a chaos: další z vědeckých revolucí 20. století? In: Sborník Myšlenky na zlomu tisíciletí. Nakl. VUTIUM, Brno, s. 255-277.

Gleick,J. (1996): Chaos: Vznik nové vědy. Překlad z angl.orig. Chaos: Making a New Science. Ando Publishing, Brno, 352 s.

Hladný,J., Nacházel,K. (2001): Historický vývoj, výsledky a perspektivy odhadu charakteristik povodňových vln. In: Sborník Vývoj metod pro odhad extrémních povodní. ČVTVHS, ČNVH, ČHMÚ Praha, s. 7-23.

Hlavatý,V. (1949): Úvod do neeuklidovské geometrie. JČMF, Praha, 228 s.

Horák,J., Krlín,L., Raidl,A. (2003): Deterministický chaos a jeho fyzikální aplikace. Nakl. ACADEMIA, Praha, 440 s.

Chang,C.L. (1968): Fuzzy Topological Spaces. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 24, s. 182-190.

Kirk,G.S., Raven,J.E., Schofield,M. (2004): Předsókratovští filosofové. Kritické dějiny s vybranými texty. Překlad z angl.orig. The Presocratic Philosophers, nakl. Cambridge University Press, 1983. Nakl. OIKOYMENH, Praha, 664 s.

Mařík,V., Štěpánková,O., Lažanský,J. a kol. (2001): Umělá inteligence (3). Nakl. ACADEMIA, Praha, 328 s.

Michálek,J. (1975): Fuzzy Topologies. Kybernetika, 11, s. 345-354.

Miláček,S. (2003): Náhodné a chaotické jevy v mechanice. Vydav. ČVUT, Praha, 141 s.

Nacházel,K. (2003a): Problematika vzájemných vztahů mezi složitostí, důvěryhodností a neurčitostí matematických modelů ve vodním hospodářství. Část 1: Formulace problematiky, motivace jejího zkoumání, metodologie. Vodohosp.Čas., roč. 51, č.2, s. 85-96.

Nacházel,K. (2003b): Problematika vzájemných vztahů mezi složitostí, důvěryhodností a neurčitostí matematických modelů ve vodním hospodářství. Část 2: Aplikace. Vodohosp.Čas., roč. 51, č.4, s. 274-280.

Nacházel,K. (2005): Můžeme v hydrologii sdružovat neurčité informace a znalosti? Vodohosp.Čas., roč. 53, č. 1, s.30-43.

Nacházel,K., Starý,M., Zezulák,J. a kol. (2004): Využití metod umělé inteligence ve vodním hospodářství. Nakl. ACADEMIA, Praha, 320 s.

Prigogine,I., Stengersová,I. (2001): Řád z chaosu. Nový dialog člověka s přírodou. Překlad z angl. orig. Order out of Chaos. Man´s New Dialogue with Nature. Mladá fronta, Praha, 320 s.

Sivakumar,B., Sorooshian,S., Gupta,H.V., Gao,X. (2001): A chaotic approach to rainfall disaggregation. Water Resources Research, Vol. 37, No. 1, s. 61-72.

Störig,H.J. (1991): Malé dějiny filozofie. Překlad z něm. orig. Kleine Weltgeschichte der Philosophie in zwei Bänden. Verlag W.Kohlhammer GMBH Stuttgart 1990. Nakl.Zvon, Praha, 512 s.

Štrunc,M. (2002a): Svět nelineárních jevů. In: Sborník Myšlenky na zlomu tisíciletí. Nakl. VUTIUM, Brno, s. 220-222.

Štrunc,M. (2002b): Udivující samoorganizace. In: Sborník Myšlenky na zlomu tisíciletí. Nakl. VUTIUM, Brno, s. 225-253.

Tajemství času a vesmíru (1994): Překlad z angl. orig. Janet Cave, Time and Space, Time-Life Books, Amsterdam 1989. Nakl. GEMINI, Praha, 144 s.

Zadeh,L.A. (1965): Fuzzy Sets. In: Information and Control, 8, s. 338-353.

Autor

Karel Nacházel, ČVUT – Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, milecova@fsv.cvut.cz

APLIKACE HYDROLOGICKÉHO MODELU WETSPA V POVODÍ POLEČNICE

Kateřina Uhlířová, Tomáš Dostál, Florimond De Smedt, Okke Batelaan

Abstrakt: Modelování srážko-odtokových vztahů je v současné době velmi aktuální záležitost. Na pracovišti Katedry hydromeliorací je výzkum zaměřen mimo jiné i na vliv retenční schopnosti krajiny a různých technických opatření na povodňové průtoky. Je snaha řešit problémy v zájmovém území povodí Polečnice, kde opakovaně dochází k povodňovým situacím. Cílem je nalezení nejnebezpečnějších lokalit z hlediska povrchového odtoku v povodí Polečnice, doporučení pro zvýšení retence území, posouzení kritických míst a profilů v povodí. V tomto povodí byly již v minulosti některé jevy simulovány pomocí hydrologického prostředku WMS, kde se využívaly především empirické metody. V příspěvku je podrobně popsán model WetSpa, který je převážně fyzikálně založen, a jeho první aplikace pro dané povodí. V budoucnosti bude tento model také využit pro řešení srážko-odtokové situace v povodí a návrh opatření. Také bude vyhodnocena praktická využitelnost obou modelů, včetně doporučení pro jejich aplikaci.

Klíčová slova: Modelování srážko-odtokových procesů, WetSpa, GIS, předpověď povodní

Application of Hydrologic Model WetSpa in the Polecnice Catchment *Nowadays the rainfall-runoff modelling is an important concern. The research (at the Department of Drainage, Irrigation and Landscape Engineering) is focused on the influence of retention capacity of the catchment and some technical measures to extreme outflows. The aim is to find the solution of repeated flooded catchment of Polecnice stream, to find up the critical source areas of the production of surface runoff, recommendation for increasing the retention capacity of the area, adjudication of critical profiles (points) in the basin and suggestion their adjustments. There were already simulated some effects using hydrologic interface WMS, where mostly the empiric methods are used. Model WetSpa, that is almost physically based, and its first application for Polecnice catchment are described in detail in this report. In future the model will be also used for finding the solution of rainfall-runoff situation of the basin and for suggestion of measures. Practical utilizabibility including the recommendation for their application will be interpreted.*

Key words: Rainfall-runoff modelling, WetSpa, GIS, Flood prediction

---

HYDROLOGICKÉ SIMULAČNÍ PROSTŘEDKY

Po povodních v letech 1997 a 2002 vzrostl význam protipovodňové ochrany a s tím spojené zaměření na výzkum vlivu retenční schopnosti krajiny a různých technických opatření na povodňové průtoky. Výzkum tímto směrem usnadňují i různé hydrologické simulační prostředky. Ve světě proto vzniká množství takovýchto modelů, které se snaží popisovat reálné přírodní procesy nejrůznějšími způsoby. Jelikož se jedná o složitou problematiku dochází ke konfrontaci mezi přesností popisu procesů a jednoduchostí a dostupností vstupních dat. Nejzákladnější rozdělení modelů je tedy na modely empirické a modely fyzikálně založené. Empirické metody vycházejí z dlouhodobého experimentálního sledování vlivu jednotlivých hydrologických faktorů a zjednodušeněji popisují složité procesy. Z toho vyplývá, že i náročnost na vstupní data není příliš vysoká. Fyzikálně založené modely se snaží o přesný popis hydrologických procesů, které vycházejí z diferenciálních rovnic proudění, rovnic zachování hmoty a energie atd. Se zvyšující se požadovanou přesností narůstá i poptávka po detailnějších datech jak z hlediska prostorového rozlišením, tak z hlediska potřeby většího množství informací. Samozřejmě je snaha skombinovat výhody obou metod a tak vznikají modely, které jsou částečně fyzikálně založené, ale obsahují i empirické parametry.

APLIKACE MODELŮ V ZÁJMOVÉM POVODÍ

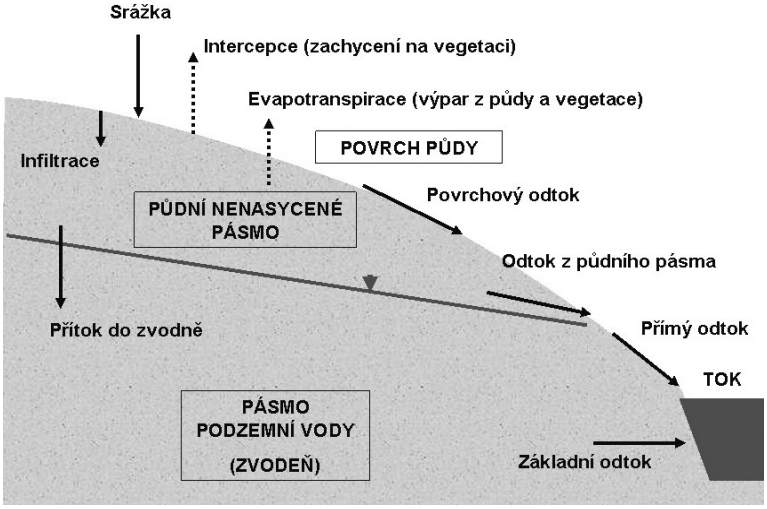
V zájmovém povodí Polečnice již byly pomocí hydrologického prostředku WMS 6.1 (Watershed Modeling System) simulovány průběhy odtoků při povodních v létě 2002 a také některé vlivy retenčních prvků a technických opatření (jako např. změna využití území, vliv drsnosti a velikosti koryta, vliv rozlití toku do inundace s různou drsností, transformace odtoku malou vodní nádrží). V tomto případě byly použity empirické vztahy pro výpočet hydrogramů odtoků, jako například metoda čísel odtokových křivek (CN) a metoda jednotkového hydrogramu (UH). [2]
Díky spolupráci s Vrije Universiteit Brussel (VUB) se podařilo seznámit s modelem WetSpa Extension (dále jen WetSpa), který je založen na převážně fyzikálních principech. Nabízí se tedy otázka, který model, popř. typ modelu je pro které konkrétní případy vhodnější. Zatím je práce s modelem WetSpa v počáteční fázi. V budoucnu bude snaha o porovnání nejen přesnosti výsledků z jednotlivých modelů, ale i způsobu práce s modely, přípravou vstupních dat, uživatelskou přístupností, omezeních atd.

Charakteristika zájmového povodí

Zájmové území povodí Polečnice leží v jižních Čechách. Jeho rozloha je 198 km^2. Lesy pokrývají bezmála 50%, téměř třetinu pokrývají trvalé travní porosty a zbytek připadá na lad ve vojenském prostoru (11%), ornou půdu (8%) a intravilán (2%). Přestože využití území je z hydrologického pohledu příznivé, dochází k opakovaným problémům s vybřežováním toku a k následnému ohrožování předměstí Českého Krumlova, kde se Polečnice vlévá do Vltavy. Příčinou je možnost střetu odtokových vln z dílčích podpovodí Polečnice a Chvalšinského potoka, které mají podobný charakter a velikost. Toto povodí se tedy zdá příhodné pro zpracování studie, která by posoudila vliv různých typů přirozených či technických retenčních prvků v povodí na pozitivní ovlivnění odtokových charakteristik. Hledá se proto vhodný nástroj pro řešení této problematické oblasti. [2]

MODEL WETSPA

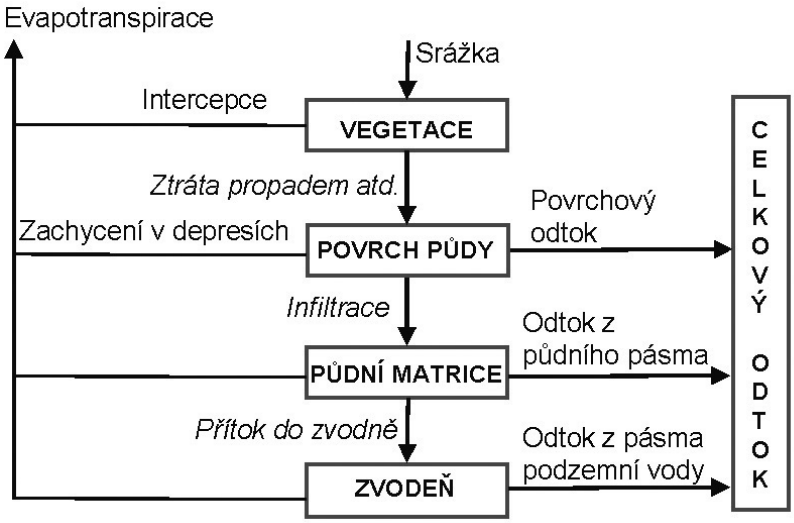
WetSpa Extension je hydrologický model s distributivním přístupem v měřítku povodí. Je založený na GIS a naprogramován jako nadstavba ArcView. Byl vytvořen na Vrije Universiteit Brussel (De Smedt a kol., 2000; Liu a kol., 1999, 2002, 2003). Model je fyzikálně založen a simuluje kontinuálně v čase i prostoru hydrologické procesy jako srážky, tání sněhu, intercepci, akumulaci v depresích, povrchový odtok, infiltraci, evapotranspiraci, perkolaci, odtok z půdní nenasycené vrstvy, odtok z pásma podzemní vody atd., tak jak je znázorněno na Obr. 1.
Model počítá s prostorově rozdělenými hydrologickými a geofyzikálními charakteristikami povodí, a proto je vhodný pro zkoumání vlivu využití území na hydrologické chování toku a povodí a pro modelování předpovědi povodní



Obr. 1 Přehled procesů simulovaných modelem WetSpa

Struktura modelu

Pro tyto procesy je zachován princip zachování hmoty a energie v každé buňce rastru. Schéma těchto procesů na úrovni buňky je zřejmé z Obr. 2.



Obr. 2 Schéma modelu WetSpa

Model používá několik vrstev k znázornění principu zachování rovnováhy objemu vody a energie pro každou buňku rastru. Bere v úvahu tyto procesy: srážky, infiltraci, tání sněhu, akumulaci v depresích, infiltraci, evapotranspiraci, perkolaci, povrchový odtok, odtok z nenasycené půdní vrstvy a odtok z pásma podzemní vody. Simulované hydrologické systémy se sestávají ze 4 kontrolních objemů: vegetační pásmo, povrch půdy, kořenová zóna a pásmo podzemní vody.
Objem srážky, který spadne z atmosféry, je zmenšen o intercepci. Zbývající srážka dosáhne zemského povrchu a je rozdělena na dvě části, které závisejí na pokryvu země, typu půdy, sklonu, velikosti srážky a předcházející vlhkosti půdy. První část vyplní v počátečním stádiu terénní deprese a zároveň odtéká po povrchu, zatímco zbylá část se vsakuje do půdy. Infiltrovaná část srážky může zůstat jako půdní vlhkost v kořenné zóně a pohybovat se laterálně jako odtok z nenasyceného půdního pásma, nebo může prosáknout dále a doplnit zásobu podzemní vody, což záleží na vlhkostním podílu půdy. Podzemní voda v dané buňce odtéká laterálně, což závisí na množství podpovrchové zásoby a recesním koeficientu (recession coef.). Předpokládá se, že perkolace půdní vrstvy obohacuje podpovrchovou zásobu a odtok z kořenné zóny přispívá povrchovému odtoku a pak společně směřují k závěrovému profilu. Celkový odtok z každé buňky je stanoven jako součet povrchového odtoku, odtoku z kořenné zóny a odtoku z pásma podzemní vody. K evaporaci dochází u vody zachycené na vegetaci, v terénních depresích a z půdního povrchu, zatímco transpirace je výpar z rostlin skrz kořenový systém.
Vodní rovnováha pro intercepci obsahuje srážky, výpar a propad. Vodní rovnováha pro akumulaci v depresích obsahuje propad, infiltraci, výpar a povrchový odtok. Vodní rovnováha v půdním sloupci zahrnuje infiltraci, evapotranspiraci, perkolaci a mělké podpovrchové proudění. Vodní rovnováha pro podpovrchovou zásobu obsahuje dodatek podzemní vody, hlubokou evapotranspiraci a rovnoběžné (laterální) podzemní proudění. Obr. 2 ukazuje schématicky strukturu modelu na úrovni buňky. [1]

Vstupní data

Model pro svou funkci potřebuje digitální prostorově orientovaná data, která popisují dané území, a hydrometeorologické informace.

Základní charakteristiky území

Model používá prostorově georeferencovaná data. Tato data slouží jako vstup pro odvození parametrů modelu, která jsou pak použita ve vlastním výpočtu. Tato příprava dat probíhá v GIS ArcView.

V modelu jsou použité tři základní vstupy a to: topografická digitální mapa, mapa využití území a mapa půdních typů. Ostatní digitální data jsou volitelná v závislosti na dostupnosti, účelu a přesnosti požadované projektem.

1. **Digitální model terénu** (Digital Elevation Model - DEM) je rastrová mapa nadmořských výšek, která vznikla z bodové či vrstevnicové topografické mapy.
2. **Mapa využití území** - Informace o využití území jsou obvykle získány pomocí dálkového průzkumu Země. Z důvodů simulací hydrologických procesů rozlišuje model WetSpa 14 různých kategorií využití území (např. orná půda, jehličnatý les, listnatý les, travní porost, atd.)
3. **Mapa půdních typů** - Kódový systém, který používá model WetSpa, je založen na trojúhelníkovém diagramu půdních textur, který je charakterizován poměrem zastoupení prachu, jílu a písku (Klasifikace USDA – U.S. Department of Agriculture). Je možné odlišit 12 tříd (např. písčitá, hlinitopísčitá, hlinitá, jílovitá atd.)
4. **Volitelná digitální data** jsou nepovinná a slouží jako doplňující zpřesňující informace (např. umístění srážkoměrů, hydrografická síť, hlavní komunikace, hranice povodí, kanalizační systém atd.)

Hydrometeorologická data

Základní vstupní požadavky se skládají z meteorologických dat, dat o průtocích pro kalibraci a validaci modelu, z kalibrovatelných parametrů modelu a počátečních podmínek,. Základem meteorologických dat jsou srážky a potenciální evapotranspirace. Teplotní data nejsou nutná, pokud se nemodeluje tání sněhu. V případě počítání potenciální evapotranspirace Pentan-Monteith rovnicí jsou potřeba další meteorologická data: teplota vzduchu, sluneční svit, relativní vlhkost vzduchu a rychlost větru. Data musí mít stejné časové rozlišení, jako je výpočetní krok modelu (např. 1 hodinu, 1 den atd.).
Přehled potřebných dat

1. **Srážky**
2. **Potenciální evapotranspirace**
3. **Průtok** (m3/s)
4. **Doplňková meteorologická data** (Teplota, a data potřebná k výpočtu PET.)

Příprava dat

Jak již bylo řečeno, proces přípravy dat pro výpočet probíhá v GIS ArcView. Ze tří základních vrstev jsou pomocí předdefinovaných procedur a tabulkových hodnot, získaných z odborné literatury, vytvořena řada prostorově definovaných charakteristik.

Z digitálního modelu terénu se získají tyto prostorové charakteristiky: směr proudění, akumulace proudění, síť toků, pořadí toků, sklon, hydraulický poloměr, rozdělení na podpovodí.
Land use je základem pro mapy hloubky kořenů, maximální a minimální intercepční kapacity a Manningova drsnostního koeficientu.
A půdní mapa je podkladem pro tyto charakteristiky: hydraulická vodivost, pórovitost, zůstatková vlhkost, pórový index, bod vadnutí, vodní polní kapacita, počáteční vlhkost.
Kombinací výše zmíněných vlastností je možno vytvořit tyto charakteristiky pro následný výpočet: rychlost proudění, doba doběhu do závěrového profilu povodí a podpovodí, potenciální koeficient odtoku, kapacita zachycení v depresích.
Některé z výše zmíněných charakteristik, vytvořených v ArcView a uložených jako ASCII soubor, jsou pak základem pro výpočet jednotkových hydrografů a výsledných hydrogramů odtoku.

Kalibrace modelu

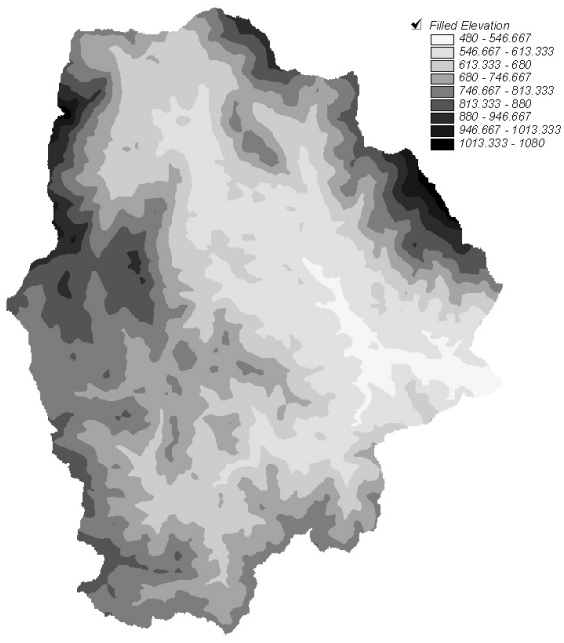
Pro správný chod modelu je třeba jeho kalibrace a následná validace. K tomu slouží změna parametrů, které mají buď fyzikální nebo empirický základ. Těchto parametrů je 11, v případě modelování nezimního období je jich potřeba pouze 8. Dále je možné změnit i některé parametry v preprocesingu.

Kalibrace může být buď manuální a nebo je pro doladění možné použít automatickou kalibraci pomocí programu PEST (Parameter Estimation). Namodelované výsledky odtoků jsou pak porovnávány s měřenými odtoky se snahou docílit co nejmenšího rozdílu. K tomu slouží i statistické vyhodnocení, které je možné použít.

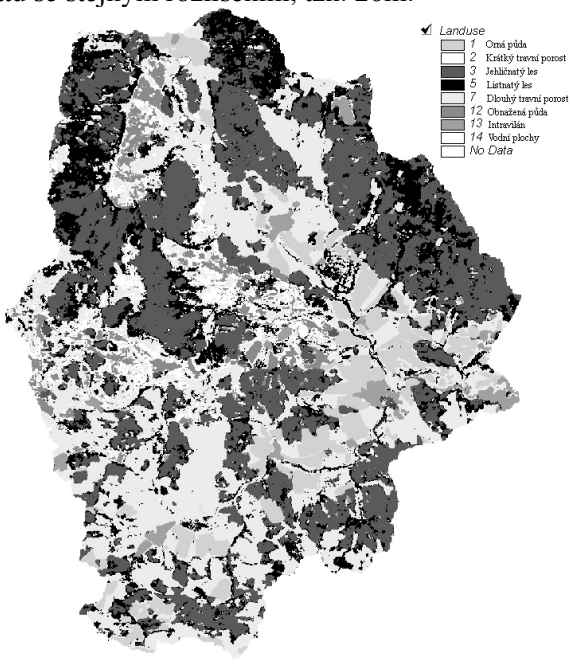
Použitá data pro povodí Polečnice

1) **Digitální model terénu** (Digital Elevation Model - DEM) – Zdrojem byl DMÚ 25, M 1:25 000 (VTOPÚ): vrstevnice s ekvidistantou 5m. Výsledkem je rastrová mapa s rozlišením 20m. (Obr. 3)
2) **Mapa využití území** byla získána vyhodnocením družicového snímku Landsat ETM+ (rozlišení 30m – 3 spektra R, IR1, IR2; doba snímku srpen-září 2000). Bylo rozlišeno 8 různých kategorií využití území (orná půda, jehličnatý les, listnatý les, krátký travní porost, dlouhý travní porost, holá půda, intravilán a vodní plochy) (Obr.4)
3) **Mapa půdních typů** byla vytvořena na základě mapy BPEJ (bonitované půdně ekologické jednotky) M 1 : 5 000 (VÚMOP) a mapy KPP (komplexní průzkum půd) M 1:200 000 (ČZU). Zatřídění do klasifikace USDA (U.S. Department of Agriculture) proběhlo s pomocí konzultace Doc. Kuráže. Celkem bylo rozlišeno 7 půdních typů.
4) **Srážky, měřené odtoky a data pro potenciální evapotranspiraci** – použita data z automatické srážkoměrné stanice Černá v Pošumaví (digitální minutové průběhy + denní úhrn); zdroj: ČHMÚ. Srážka se předpokládá konstantní po celé ploše povodí. Odtoková data byla získána z limnigrafické stanice Český Krumlov (závěrový profil povodí) ve formě stavu hladiny v lomových bodech a příslušných měrných křivek (ČHMÚ). Potenciální evapotranspirace byla spočtena z denních hodnot (srážky, sluneční svit, rychlost větru, vlhkost vzduchu, teplota vzduchu) podle Penmana. Z denního úhrnu potenciální evapotranspirace byl vytvořen hodinový průběh. Použité časové rozlišení pro všechny řady je jedna hodina. Snaha o kalibraci a validaci je pro data z období 2000 – 2002.

Použitelná data musí být všechna rastrového formátu se stejným rozlišením, tzn. 20m.



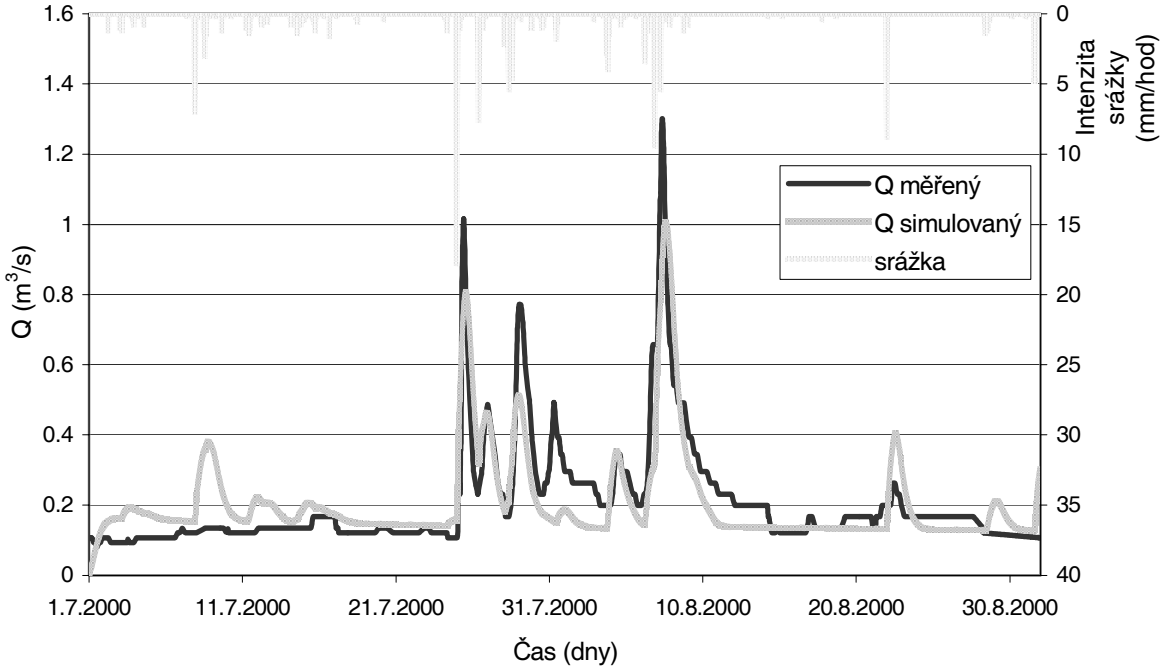
Obr. 3 Digitální model terénu použitý v modelu WetSpa



Obr.4 Mapa využití území

Dosažené výsledky

Po kalibraci globálních parametrů pro období 1.7.-31.8. 2000 bylo dosaženo hydrogramu odtoku (Obr. 5). Shoda s měřeným odtokem je poměrně dobrá. V současné době probíhá validace na dalších srážkách z let 2000-2002.



Obr. 5 Porovnání odtoku měřeného a simulovaného modelem WetSpa v období 1.7.-31.8. 2000

SHRNUTÍ

Nejdůležitější závěr je, že model WetSpa je použitelný pro dané povodí. Nejznatelnější rozdíly mezi modely WetSpa a WMS jsou:

- WetSpa je na rozdíl od WMS více fyzikálně založen, a tak je například schopen rozlišit jednotlivé složky povrchového odtoku.
- WetSpa je kontinuální a je schopen pracovat v delším časovém měřítku, kdežto WMS je model epizodní.
- WetSpa je o trochu náročnější na vstupní data (potřebuje např. navíc data k výpočtu potenciální evapotranspirace)
- WMS je více uživatelsky příjemné (např. výsledný hydrogram je možné ihned po skončení simulace jednoduše zobrazit)
- Kalibrace modelu WetSpa je díky osmi globálním parametrům poměrně náročný proces, a jeho postup by měl být v budoucnosti optimalizován.

Další zaměření

Zatím je aplikace modelu WetSpa v počátečním stadiu, ale jsou zřejmé další směry, kterými se ubírat:

- Dokončit kalibraci a validaci modelu na datech z období 2000-2002.
- Nalezení optimálního způsobu kalibrace a validace.
- Simulování různých scénářů vlivu retenčních prvků.
- Nalézt kritické zdrojové plochy v povodí, co se týče produkce povrchového odtoku ze srážky.
- Posoudit jednotlivé části povodí z hlediska jejich produkce povrchového odtoku a doby doběhu – posouzení nebezpečí souběhu a kumulace kulminací z jednotlivých podpovodí.
- Vytipování vhodných retenčních území v řešeném povodí s posouzením jejich kapacity.

- Posouzení vhodnosti způsobu úpravy a údržby koryt z hlediska jejich drsnosti, rychlosti proudění a setkávání kulminací odtokových vln z jednotlivých částí povodí.
- Nalezení kritických profilů v povodí a orientační návrh jejich úpravy s cílem minimalizace následných povodňových škod.
- Doporučení vhodných lokalit pro instalaci čidel systému včasné ochrany.
- Porovnání s výsledky z WMS.
- Podrobnější srovnání modelů včetně vyhodnocení jejich praktické využitelnosti.

Literatura

[1] Liu, Y.B., De Smedt F. (2004): WetSpa Extension – Documentation and User Manual, Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel, Belgium

[2] Uhlířová, K., Dostál, T. (2004): Aplikace modelu WMS v povodí Polečnice in Workshop 2004 – Extrémní hydrologické jevy v povodích

Autoři

Kateřina, Uhlířová, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, uhlirova@fsv.cvut.cz

Tomáš, Dostál, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, dostal@fsv.cvut.cz

Florimond, De Smedt, Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, 1050 Brussels, Belgium, fdesmedt@vub.ac.be

Okke, Batelaan, Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, 1050 Brussels, Belgium, batelaan@vub.ac.be

Poděkování

Řešení bylo podpořeno projektem KONTAKT (ČVUT Praha– VUB Brusel) "Structured approach to surface runoff generation and flood risk assessment“

MOŽNOSTI PROPOJENÍ GIS S HYDROLOGICKÝMI A HYDROGEOLOGICKÝMI MODELY

Jan Unucka , Jiří Horák , Naďa Rapantová

GIS je tradičně spojován s představou zobrazení digitálních prostorových dat ve formě interaktivní mapy a s možností dotazování nad jejími objekty. Hlavní přínos GIS však spočívá v silných nástrojích automatizovaného zpracování prostorových dat, možnostech analytických operací, modelování a simulací. Výstupy pak mohou být velmi názorně prezentovány, což významně usnadňuje jejich interpretaci.

Tyto systémy mohou sloužit jako vhodný preprocesor pro předzpracování dat vstupujících do numerických modelů a současně i jako postprocesor pro zobrazení výsledků modelování.

Mezi hlavní hydrologické aspekty potenciálu GIS patří zejména zjednodušená či automatizovaná schematizace povodí, možnost generování speciálních map akumulace a drah odtoku, topografického indexu, infiltračního deficitu apod. Po vygenerování průběhu odtoku hydrologickým modelem skýtá GIS možnost vizualizace záplavových či jinak ohrožených zón.

V rámci projektu TRANSCAT byl připraven prototyp srážko-odtokového modelu pro povodí Bělé (číslo 2-04-04) v prostředí HEC-HMS. Rámcově lze metodiku schematizace shrnout do použití metody SCS (CN křivky), Clarkova jednotkového hydrogramu, kinematické vlnové aproximace pro 1D i 2D proudění v korytech a na plochách povodí a recesní metody (metody separace hydrogramu). Pro tání sněhu a odtok ze sněhu byl vytvořen program v prostředí Visual Studio .NET, který používá metody stupeň/den a Anderson, jelikož HEC-HMS metodiky výpočtů odtávání nepodporuje. V současnosti se využívá ArcGIS a GRASS GIS pro preprocesing, postprocesing a pro některé hydrologické výpočty.

Připravuje se také hydrogeologický model proudění podzemní vody v nasycené zóně pro kvartérní sedimenty u Mikulovic, který bude využívat i simulaci komunikace s povrchovým tokem Bělé. Model je vytvářen v prostředí GMS a rovněž využívá preprocesingu dat z ArcGIS.

Interakce s hydrologickými modely umožňuje věrohodnější kalibraci hydrogeologického modelu, neboť jednotlivé složky rovnice hydrologické bilance jsou vzájemně validovány. Komplexnosti může být dosaženo při zapojení modelů proudění v nenasycené zóně (např. systém UNSAT Suite), které simulují i ostatní složky rovnice hydrologické bilance – tj. evapotranspiraci, povrchový odtok a efektivní infiltraci.

Vytvoření digitálního modelu území se správou všech významných faktorů v GIS přináší významné výhody v operativní možnosti předzpracování potřebných dat, výpočtu vhodných ukazatelů, využití škály výkonných prostorových analýz, zahrnutí většího počtu faktorů a samozřejmě i v prezentaci výsledků. Prostřednictvím GIS se rovněž otevírá možnost integrovaného využití aktuálních dat DPZ při hodnocení území.

Klíčová slova: GIS, ArcGIS, GRASS, HEC-HMS, GMS, MODFLOW, hydrologické modelování, hydrogeologické modelování, vizualizace dat

Possibilites of the linking GIS with hydrologic and hydrogeologic models. *GIS is traditionally put together with the notion of visualization of the spatial geographic data in mode of the interactive maps with possibilities of querying map objects. But the main contribution of GIS consists in the tools of the automatic spatial data processing, analysis, simulation and modeling. At last but not least the power of GIS lies in the practically unlimited possibilities of the data and modeling output visualization.*

So, these systems can serve as suitable preprocessor of the data incoming in the common numerical models equally as postprocessor for the visualization in the form of maps, 3D models, cross-sections and others.

The support of the catchment schematization, creating of the special maps (flow accumulation, flow direction, topographical index, infiltration deficit etc.) is among the main hydrological aspects of the GIS potential. After model computation of the discharge volume and water stage level GIS can visualize flood or endangered zones on the digital terrain model.

The prototype of hydrological model was prepared in the framework of TRANSCAT project with using of the rainfall-runoff modeling software HEC-HMS. Methodic of prototype schematization uses SCS method (CN curves), Clark's unit hydrograph, kinematic wave approximation in 1D (channel routing) and 2D (overland flow) and recession method for the baseflow. In Visual Studio .NET was developed program for snowmelt computations, which uses degree/day and Anderson methods, because snowmelt computations aren't supported in HEC-HMS itself. Studying of the potential of GRASS GIS for the hydrological modeling runs nowadays. Now this GIS system runs as pre- and postprocessor.

Integration of GIS (both ESRI and GRASS platform), hydrological models (HEC-HMS), hydrogeological models (MODFLOW) and landscape ecology models in the integrated client-server system with open source software utilization (Linux, Apache) that will allows decision making of its users.

Hydrogeological model is prepared now. Model will use the solution of water routing in the saturated zone in the quartenary sediments nearby Mikulovice. It is developed in GMS software with using of ArcGIS preprocessing.
Interaction of the hydrological and hydrogeological models brings possibility of the comparision and validation of the model outputs and better calibration of the both models itself. Complex solution can be achieved by implementing of model of routing in the unsaturated zone (f.e. UNSAT suite). The connected pack of such models can bring the complete solution of the hydrologic balance equation.
Creation of the digital model of the whole area with the possibility of managing all important factors in GIS environment brings the possibility of the operative data preprocessing, calculation of the efficient indicators, utilization of the scale of the spatial analysis tools, including of the bigger amount of indicators and substantial data visualization refinement. Using of GIS also brings possibility of the remote sensing utilization.

Key words: GIS, ArcGIS, GRASS, HEC-HMS, GMS, MODFLOW hydrological modeling, hydrogeological modeling, data visualization

---

GIS A JEHO POTENCIÁL PRO PODPORU HYDROLOGICKÉHO MODELOVÁNÍ

Pojem geografický informační systém je používán pro označení počítačových systémů, orientovaných na zpracování geografických dat, prezentovaných především ve formě různých map (Rapant 2002).

Analytické funkce GIS jsou zpravidla děleny do 4 skupin (upraveno podle Aronoff 1989):
1. Údržba a analýzy geometrické složky dat
2. Údržba a analýzy atributové složky dat
3. Integrované analýzy geometrické a atributové složky dat
4. Výstupní formátování

Hlavní přínos GIS spočívá ve schopnosti integrované analýzy prostorových dat, v silných nástrojích automatizovaného zpracování prostorových dat, možnostech analytických operací, modelování a simulací. Právě tyto schopnosti jsou tím hlavním, co GIS odlišuje od programů pro automatické mapování a CAD systémů. Rozsah analytických funkcí pro integrované analýzy prostorových dat je značně široký, jedna z možných kategorizací rozlišuje (Horák 96):
1) klasifikační operace
2) překryvné operace
3) analýzy okolí
4) analýzy spojitosti

Můžeme konstatovat, že všechny typy se uplatňují v hydrologických aplikacích. Protože naším cílem není podat úplný systematický přehled jednotlivých možností, uvedeme jen hlavní příklady.

Již v úvodu můžeme konstatovat, že GIS představuje vhodné prostředí pro komunikaci s hydrologickými a hydrogeologickými modely a současný trend u těchto modelů směřuje k vytváření distribuovaných a semidistribuovaných modelů s využitím pre- a postprocesingu v GIS software. Zvláště významná je možnost rozsáhlé přípravy vstupů pro hodnocenou oblast.

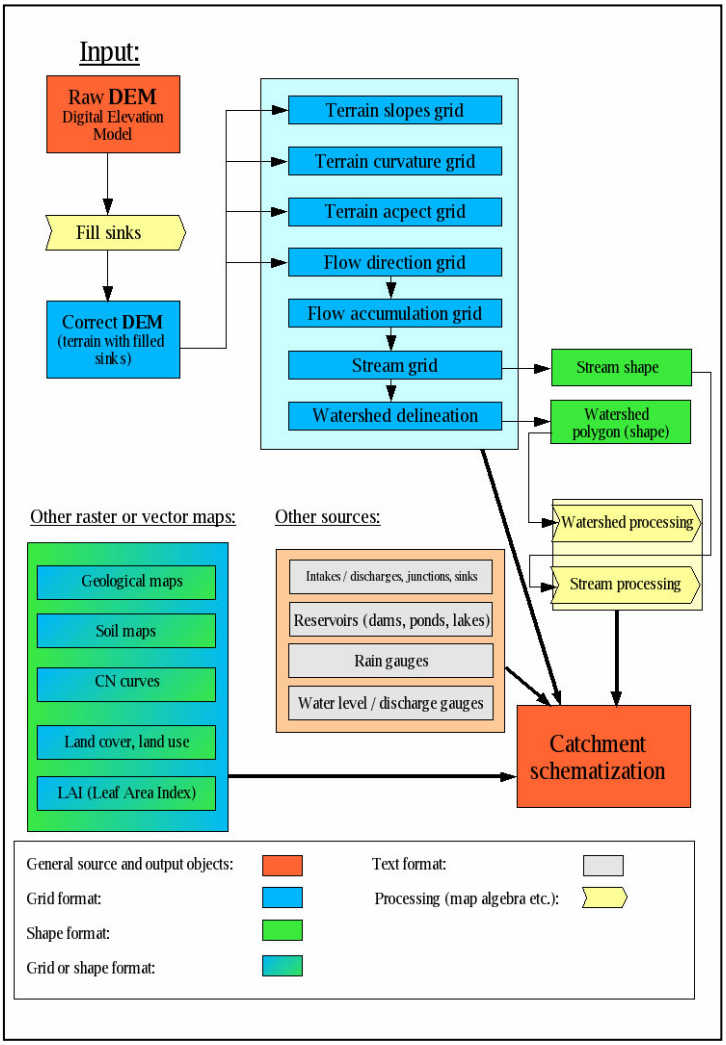
Oblast preprocesingu dat

Ad 2) Překryvné operace jsou založeny na překryvu vrstev či jednotlivých geoprvků (v objektovém modelu), geometrickém vyřešení úlohy (např. rozklad polygonů) a následné logické či aritmetické operace s atributy.
Tyto operace se uplatňují např. při stanovování infiltračního deficitu, popis faktorů a jejich adjustace v oblasti pedologie, vegetačního pokryvu a dalších. Může být provedena klasifikace infiltračních zón na základě charakteristik typů pokryvu zpracováním katastrálních map a letecké ortofotomapy, dat bonitovaných půdně-ekologických jednotek (BPEJ), geomorfologické analýzy z digitálního modelu terénu a z analýzy horninového složení pásma aerace včetně stanovení hydropedologických charakteristik.

Ad 3) Analýzy okolí oceňují charakteristiky oblasti kolem určeného místa (ohniska) a jsou zvláště cenné pro ohodnocení charakteru lokální oblasti. Vedle stanovení ohniska operace (u rastrového modelu se jím stává postupně každá buňka) je nutné specifikovat okolí kolem každého ohniska (4-sousedství, 8-sousedství, okolí definované vzdáleností a/nebo směrem od ohniska a okolí vymezené polygonem na jiné vrstvě tzv. zónou) a stanovit funkci, která se provádí na elementech ve vymezeném okolí.
Pro hydrologické aplikace mají zcela zásadní význam operace nad DMT jako je určování sklonu, orientace, drenáže, insolace apod.). Velký potenciál nabízí systém GRASS GIS, který poskytuje i sofistikovanější operace nad DMT, jako je výpočet LS faktoru (*length and slope* = délka a sklon) pro revidovanou univerzální rovnici ztráty půdy (RUSLE) a tvorby rastru topografického indexu (*topidx* $=A/\tan\beta$, A – přispívající plocha, β – tangens rovinné vzdálenosti a převýšení) pro simulaci v prostředí TOPMODEL (Beven, 2001). (viz obr.4).

GIS se výrazně uplatňuje jako interpolační a kalibrační nástroj. To je důležité pro tvorbu rastrové vrstvy s odhady množství srážek (především na základě interpolace hodnot ze srážkoměrné sítě).

Základní výbava interpolačních nástrojů v řadě případů nestačí. Pokud není k dispozici geostatistický modul ArcGISu, je vhodné využít napojení na některé externí systémy jako je WinSurfer nebo GSTAT, případně potřebné procesy naprogramovat.



Obr. 1 Obecný postup schematizace povodí

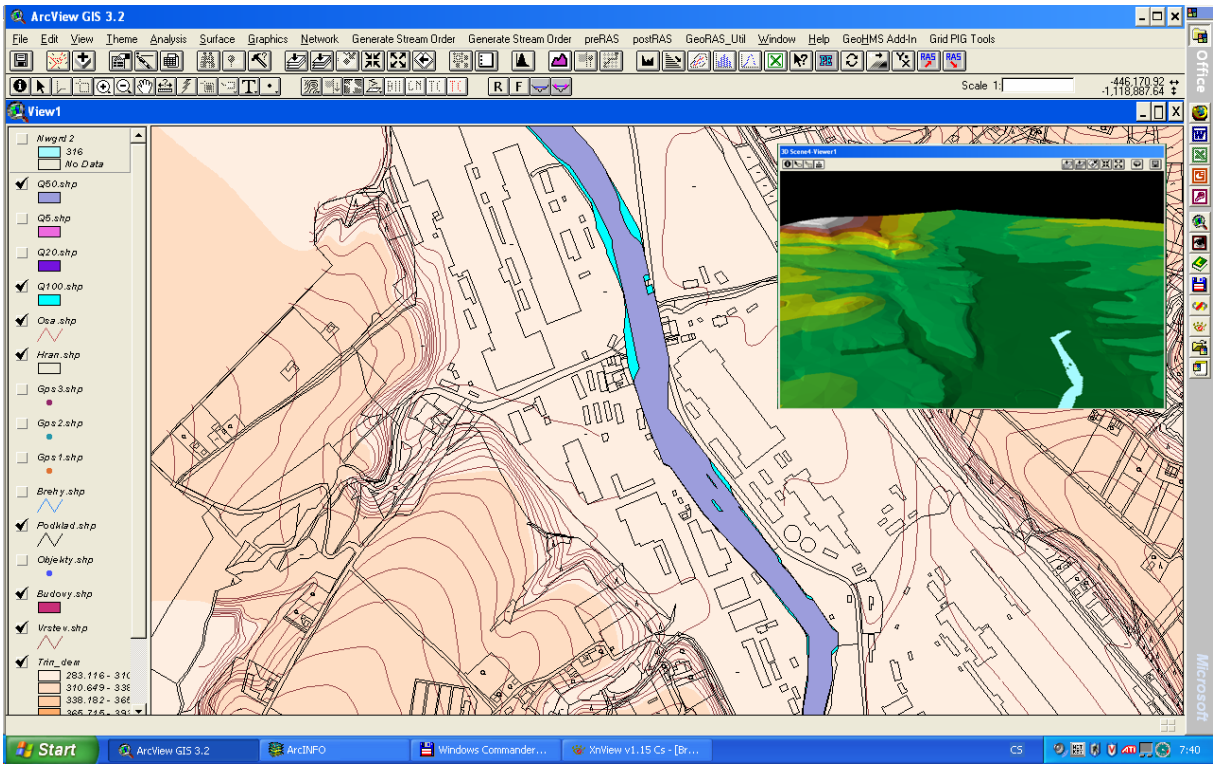
Ad 4) Analýzy spojitosti využívají k dosažení výsledku akumulace hodnot v procházené oblasti, kde se získávají průběžné výsledky krok za krokem. Typický způsob práce předpokládá nejdříve ocenění atributu a pak modelování, kde každý krok představuje pohyb v prostoru - např. segment 100 m podél toku. Průběžný výsledek může být kvantitativní (např. kumulativní vzdálenost, čas) nebo kvalitativní (jsou či nejsou body viditelné ?).
Řadíme zde mimo jiné síťové funkce a funkce šíření. Právě ty bývají základem automatizované schematizace povodí. Je možné např. generovat speciální mapy akumulace a dráhy odtoku.

Obecný postup schematizace je uveden na obr.1. Cílem je vytvoření schematizovaného povodí s hydrografickou sítí, hlavními rozvodnicemi, rozvodnicemi dílčích subpovodí a závěrovým profilem.

Oblast postprocesingu dat

Zde můžeme zařadit výstupní formátování, tedy obecněji řečeno různé formy vizualizace dat.
Výstupy v GIS mohou být velmi názorně prezentovány, což významně usnadňuje jejich interpretaci. Např. po vygenerování průběhu odtoku hydrologickým modelem skýtá GIS možnost vizualizace záplavových či jinak ohrožených zón (Maidment, D. et Djokic, D. (2000)) (obr.2). Opět se nabízí široká paleta software včetně free (HEC-GeoRAS) a open source software (GRASS/NVIZ). Limitujícím faktorem je v každém případě rozlišení gridu, pro vizualizaci záplavových zón je vhodné zjemnit informaci o příčných profilech a inundacích (psaný podélný profil, geodetické či GPS měření).

Extenze HEC-GeoRAS vyžaduje ArcView 3.2 a 3D Analyst. Samotná vizualizace a postprocesing je shrnut do volby menu PostRAS. V prostředí GRASS slouží jako vizualizační nástroj 2.5D a 3D modul NVIZ (viz. např. obrázek č. 5). Představuje vyzrálé prostředí, které je plně konkurenceschopné např. modulu ESRI ArcScene. Je zde možnost vizuální transformace (rotace, změna převýšení, centra a elevace pohledu, náklon, změna azimutu a deklinace osvětlení území ad.). Na 3D modely je možno nakládat vektory a stanovovat jejich relativní převýšení vůči samotnému DMT.

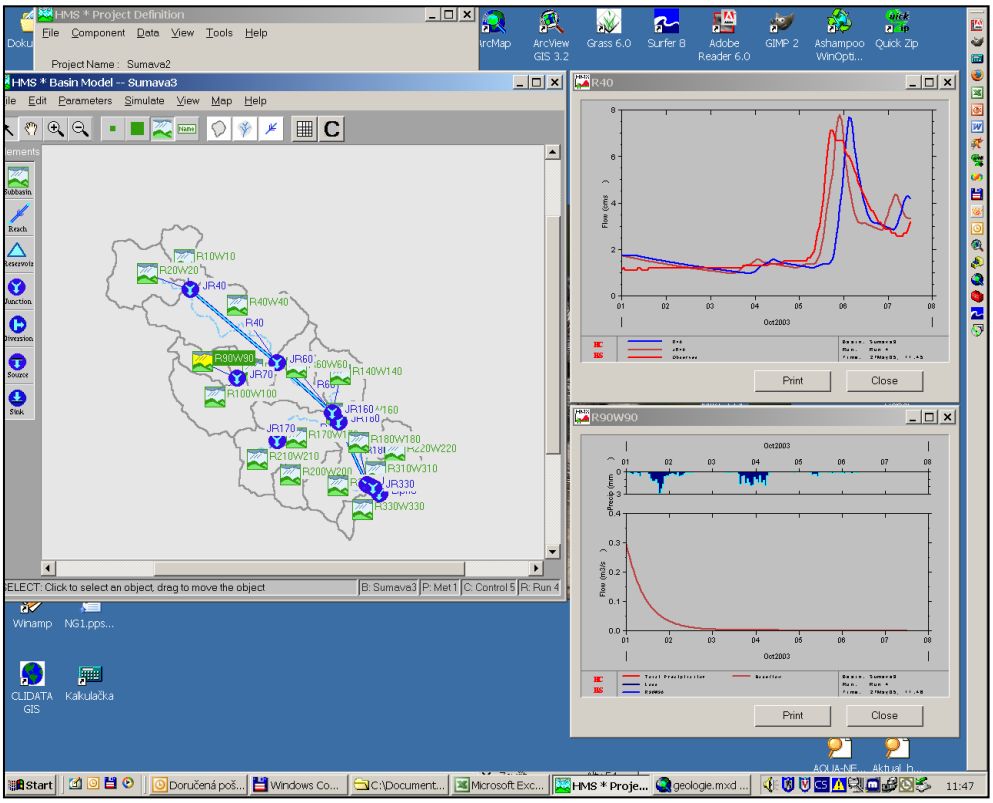


Obr. 2 Vizualizace záplavových zón v prostředí ArcView 3D Analyst/HEC-GeoRAS

Srovnání postupu a výstupů S-O modelování ze 2 různých systémů

V rámci testování jednotlivých možností byla v rámci projektu TRANSCAT provedena schematizace povodí v rámci rozdílných GIS platforem, konkrétně ArcView (s některými operacemi v ArcGIS) + HEC-HMS a GRASS GIS. V prvním případě se používá i HEC-GeoHMS, nadstavba ArcView, která slouží pro preprocesing dat. Jiný modul, HEC-DSSVue, je možno využít coby operativní databáze hydrometeorologických dat.
Byl připraveny prototyp srážko-odtokových (dále jen S-O) modelů pro povodí Bělé (číslo hydrol. pořadí 2-04-04, III. řád, pravostranné přítoky Kladské Nisy v Jeseníku) v prostředí HEC-HMS a GRASS GIS, pro povodí horní Vltavy po ústí do nádrže Lipno (1-06-01) pouze v prostředí ESRI a HEC-HMS (obr. 3).

Obě povodí byla v rámci tvorby modelu kalibrována pro málo vodné až středně vodné epizody (do Q_2) k zajištění jemnější odezvy na srážkový impuls na povodí (viz obr. 3). Druhým důvodem je pak znatelný nedostatek stanic s operativním přenosem v povodí Bělé, takže v případě např. konvektivních srážek může být kvalita předpovědi tímto faktorem citelně zatížena.



Obr. 3 Výstup z modelu povodí horní Vltavy (profil Lenora, červená čára – měřený Q)

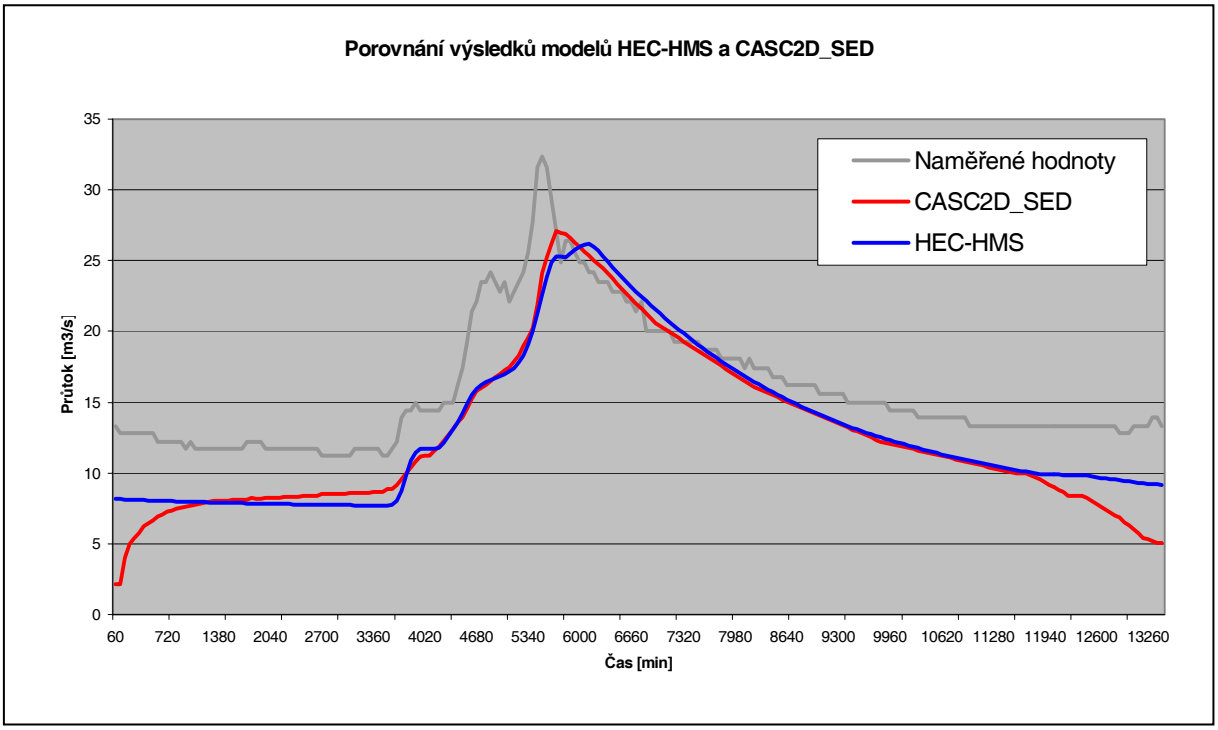
Lze říci, že základní postup a dílčí mapový výstup je v rámci obou systémů téměř shodný a lze jej shrnout do těchto kroků:

1. hydrologická verifikace DMT (odstranění mezer (*gaps*) a propadů (*sinks*))
2. analýza směru odtoku (*flow direction grid*)
3. analýza akumulace odtoku (*flow accumulation grid*)
4. analýza sítě akumulace odtoku (popř. export do vektoru hydrografické sítě)
5. tvorba subpovodí (*subbasins*), popř. polopovodí (*halfbasins*) pro orientovaný graf výpočetních algoritmů
6. tvorba samotného schématu povodí a případný export do S-O modelu, jen v případě HEC-GeoHMS zcela automatizovaně

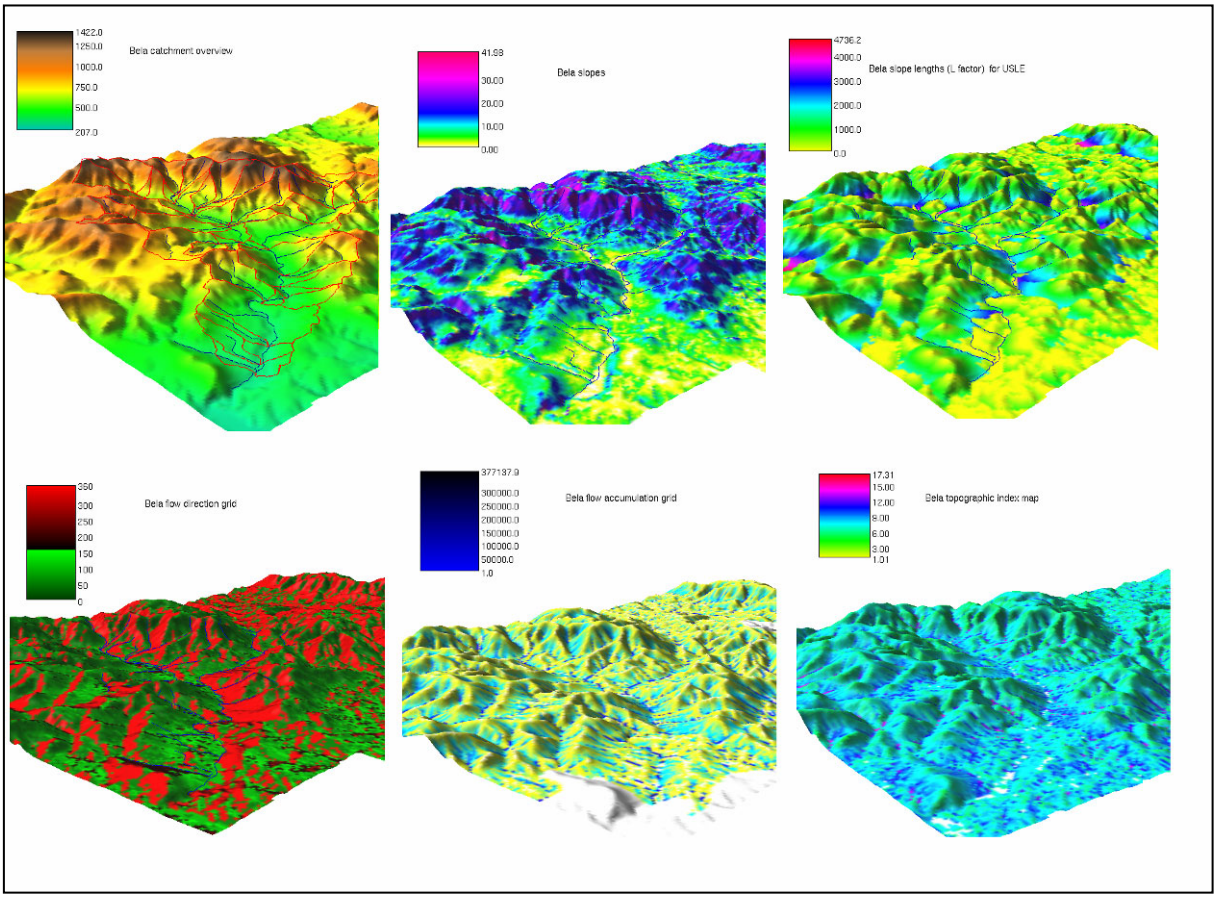
Některé výsledky jsou zobrazeny na obr. 5.

HEC-HMS používá metodu SCS (*Soil Conservation Service*, tzv. CN křivky), modifikovaný Clarkův jednotkový hydrogram semidistribuovaný pro jednotlivé geomorfologické jednotky či subpovodí, kinematickou vlnovou aproximaci pro 1D i 2D proudění v korytech a na plochách povodí a recesní metody (metody separace hydrogramu) pro základní odtok.

Pro spojitou simulaci přímého odtoku z povodí v 2D slouží v GRASS GIS modul r.hydro.CASC2D („kaskádový hydrologický model“). Srovnání výstupů tohoto modelu spolu s měřeným Q a výstupem z modelu HEC-HMS znázorňuje obrázek č. 4. Protože r.hydro.CASC2D neumožňuje zadat do okrajových podmínek počáteční ustálený Q, simulace zde startuje od průtoku nulového.



Obr č. 4 Srovnání výstupů z modelů CASC2D, HEC-HMS a měřených Q na profilu Mikulovice



Obr. 5 Postup schematizace povodí v GRASS GIS (pořadí zleva: 1. DMT, 2. sklony terénu, 3. délky svahů, 4. rastr směrů odtoku, 5. rastr akumulace odtoku, 6.rastr topografického indexu TOPMODEL)

Zhodnocení výsledků

Výsledky jsou uspokojivé a jak naznačuje obrázek č. 4, modely vykazují poměrně dobrou shodu s měřeným Q v rámci zvolené epizody, rovněž pak mezi sebou s přihlédnutím k určitým odlišnostem v použitých metodikách výpočtu.

Pro vylepšení kvality a operability předpovědí v současnosti náš tým řeší několik dílčích úkolů. Zde můžeme jmenovat např. tvorbu dalších mapových vrstev využitelných pro samotné výpočty (shapefile pro Green & Ampt a SMA metody a testování dalších možností jak samotného HEC-HMS, tak GRASS GIS.
U modelu povodí Bělé probíhá revize metodik infiltrace a transformace srážek. Metoda CN křivek jako typická „event metoda" je postupně nahrazována metodou Green & Ampt a výhledově (SMA – ***S**oil **M**oisture **A**ccounting*).

Na druhou stranu je v prostředí GRASS prováděna analýza potenciálu u dalších modulů, jako jsou ***r.watershed, r.water.fea, r.cn*** a další. Modul ***r.cn*** generuje CN křivky z rastrových souborů hydrologických skupin půd a land use pro SCS metodu. Modul zohledňuje i faktor AMC (***A**ntecedent **S**oil **M**oisture **C**onditions* = předchozí vláhové podmínky) pro generování správné modifikace CN křivky.

Pro tání sněhu a odtok ze sněhu byl vytvořen program v prostředí Visual Studio .NET, který používá metody stupeň/den a alternativně metodu Andersona, jelikož HEC-HMS do verze 2.2.2 metodiky výpočtů odtávání sněhové pokrývky nepodporuje.

Očekávaná nová verze HEC-HMS 3.0 má krom ostatních předpokládaných vylepšení disponovat modulem pro odtáváním sněhu, takže jeden z dalších kroků bude srovnávání výstupu z námi naprogramovaného modulu pro odtávání sněhu (degree/day, Anderson) a vnitřního modelu HEC-HMS (nejspíše degree/day).

Tab. 1 Srovnání možností GIS v pre- a postprocesingu

Druh operace s prostorovými daty	ArcView 3.2 [1]	ArcGIS 8.x, 9.x	GRASS[2] (název modulu)
fill sinks (hydrologická verifikace DMT)	●	●	● (r.fill.dir)
flow direction grid (rastr směru odtoku)	●	●	● (r.fill.dir. r.kineros)
flow accumulation grid (rastr akumulovaného odtoku)	●	●	● (r.fill.dir, r.flow, r.kineros, r.terraflow)
stream grid/stream lines (odtoková síť)	●	●	● (r.flow, r.kineros)
watershed grid/watershed polygons (generování subpovodí)	●	●	● (r.watershed, r.water.outlet)
infiltrace/počáteční ztráta na povodí	●	●	● (r.hydro.CASC2D, r.cn, r.water.fea)
parametry jednotkového hydrogramu (doba koncentrace ad.)	●	-	● (r.agnps. r.hydro.CASC2D)
topografický index (TOPMODEL)	-	-	●
interpolace bodových dat (srážky ad.)	●	●	● (r.surf.*, s.surf.rst)
vizualizace výsledků na digitální mapě (vektor/rast/TIN/3D)	●/●/●/● [3]	●/●/●/●	●/●/-/● (NVIZ)

[1] s rozšířením Spatial Analyst, HEC-GeoHMS

[2] verze 5.3, 5.4 a 6.0.1

[3] 3D Analyst a HEC-GeoRAS

Jak je patrné z tabulky č. 1, jak platforma ESRI, tak platforma GRASS nabízí prakticky kompletní možnosti schematizace povodí, preprocesingu a postprocesingu pro potřeby hydrologického

modelování. Odlišnosti jsou spíše v uživatelském rozhraní a v tom, zda je preprocesing poloautomatizovaný a jednotný (HEC-GeoHMS, HEC-GeoRAS), či je tato činnost prováděna v oddělených modulech (GRASS, software ESRI bez speciálních extenzí). Jelikož lze obě základní platformy skriptovat, tato činnost může být zautomatizována uživatelem.
Co se týče odchylek ve výpočtech, tyto jsou v případě gridů typu integer zanedbatelné a u gridů s plovoucí desetinnou čárkou hluboko pod úrovní chyb v ostatních vstupech (srážky) a rozlišovací schopností uživatele.

HYDROGEOLOGICKÉ MODELOVÁNÍ

Jedním z faktorů ovlivňujících hydrologické modelování je i komunikace s nasycenou zónou (Beven 2001, Buchtele 1990, Kantor et al. 2003, Kovář 1990), proto se ukazuje jako potřebné v místech, kde dochází k významné komunikaci, kombinovat hydrologické modely s hydrogeologickými.

Kombinace hydrologických a hydrogeologických modelů nemá smysl provádět systematicky v celém území. Zpravidla neexistuje plošný soulad hydrogeologické struktury s povodím, a to především u plošně rozsáhlých a geologicky pestrých území. Kromě toho model proudění podzemních vod je náročný na vstupní data, vyžaduje značnou geologickou prozkoumanost území, což je finančně náročné v geologicky složitých oblastech typu Českého masívu či Karpatské soustavy. Proto se provádí vývoj hydrogeologického modelu proudění podzemní vody a řešení interakce povrchových a podzemních vod pouze lokálně, zpravidla v kvartérních nivách řek.

Typickým příkladem takovéto aplikace je i budovaný hydrogeologický model v povodí Bělé. Zájmová oblast se nachází v oblasti Bělské pahorkatiny, která představuje typický denudační podhorský terén. Kvartérní sedimenty jsou proto soustředěny hlavně v údolním systému řeky Bělé od Jeseníku po Mikulovice.

S výjimkou kvartérních sedimentů z hydrogeologického hlediska převládá v oblasti puklinový oběh podzemních vod. V úzkém pásmu údolní nivy řeky Bělé mezi Jeseníkem a Mikulovicemi má rozhodující význam průlinová propustnost mělkého freatického oběhu podzemních vod. Průlinový oběh mělkých podzemních vod existuje dále v kvartérním pokryvu od Jeseníku až po Mikulovice.
Údolí Bělé je mezi Jeseníkem a Písečnou poměrně měkce modelované, založené snad v silně porušených horninách na širším zlomovém pásmu a lemované velkými akumulacemi svahovin. Mezi Písečnou a Širokým Brodem je údolí výrazně zakleslé, o 40 až 60 m pod úroveň okolních terasových plošin a svahů, zaříznuté do skalního podkladu, budovaného rulami a ortorulami, dále metasedimenty a metavulkanity devonské vrbenské skupiny a variskými granitoidy. Od Širokého Brodu se údolí znovu rozevírá a má dobře vyvinutý terasový systém (obr. 6).

Hydrogeologický model byl sestaven s primárním cílem zpřesnit základní odtok, drénovaný řekou Bělou, což jednoznačně zvyšuje spolehlivost srážkoodtokových modelů. Vybudovaný model může v budoucnu řešit i případné střety zájmů v oblasti ochrany podzemních vod mělkého freatického oběhu, které nejsou v zájmové oblasti využívány pro hromadné, ale spíše pro individuální zásobování obyvatel pitnou vodou.

Model je sestavován v prostředí GMS 5.0 numerickým modelem MODFLOW 2000 na bázi metody konečných rozdílů. Pre/postprocesor GMS velmi dobře komunikuje s ArcGIS, přičemž v řadě funkcí v přípravě modelových dat je GIS podstatně flexibilnější.

Sestavení koncepčního modelu, jakož i vymezení zájmové oblasti bylo provedeno v prostředí ArcGIS. Možnosti prostorové vizualizace v GIS s využitím digitálního modelu terénu a geologických a hydrogeologických map jsou při tvorbě koncepčních modelů nezastupitelným přínosem. Vymezení modelové oblasti je patrné z obr. 7. S výjimkou hydraulicky umělé severní hranice, na které předpokládáme odtok podzemních vod kvartérním kolektorem k severu, je modelová oblast vymezena rozsahem kvartérního pokryvu. Na hranici kvartérního pokryvu nepředpokládáme okrajovou podmínku II.typu – nulový přítok, nýbrž III.typu, neboť jistý přestup podzemních vod z krystalinika a

vod povrchového odtoku je v horském reliéfu pravděpodobný. Jeho hodnota bude kalibrovaným parametrem. Dále předpokládáme dotaci ze srážek, která bude odhadnuta na základě výpočtu modelem proudění v nenasycené zóně HELP v prostředí UNSAT Suite.

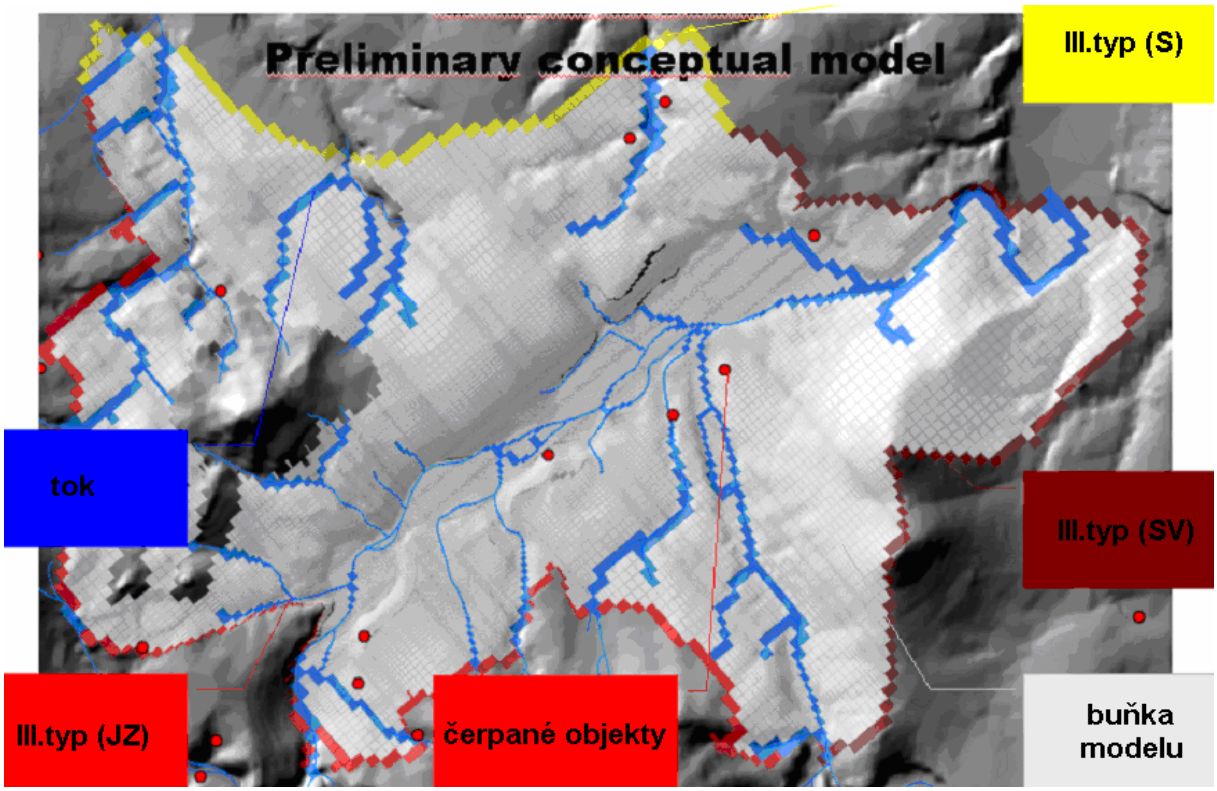
Koncepčně byla vymezena jedna hydrostratigrafická jednotka, tvořená kvartérními fluviálním, deluviálními a proluviálními sedimenty bez ohledu na jejich genezi, neboť tvoří spojitou zvodeň. Předpokládáme hydraulické odpory na přetoku mezi terasovými stupni, které byly vymezeny na základě digitálního modelu terénu a prověřovány terénní rekognoskací (obr. 6 a 7).

Interakce povrchových a podzemních vod bude v MODFLOW 2000 simulována pomocí tzv. funkce STREAM, která kombinuje III. typ okrajové podmínky – drenáž podzemní vody řekou s prouděním v korytě. Na vstupu do a výstupu z modelové oblasti je bilanční kontrolou průtok v povrchových tocích. Kalibrace modelu na hladiny podzemních vod a současně na průtoky v povrchových tocích významně zvyšuje spolehlivost modelových výsledků.

V současné době probíhají práce na stanovení kalibračních cílů tj. měření hladin podzemních vod na dostupných objektech a měření průtoků v tocích na zvolených profilech.
Výsledky kalibrovaného modelu budou integrovány v prostředí distribuovaného systému TRANSCAT DSS.



Obr. 6 Koryto řeky Bělé s vyvinutými terasovými stupni

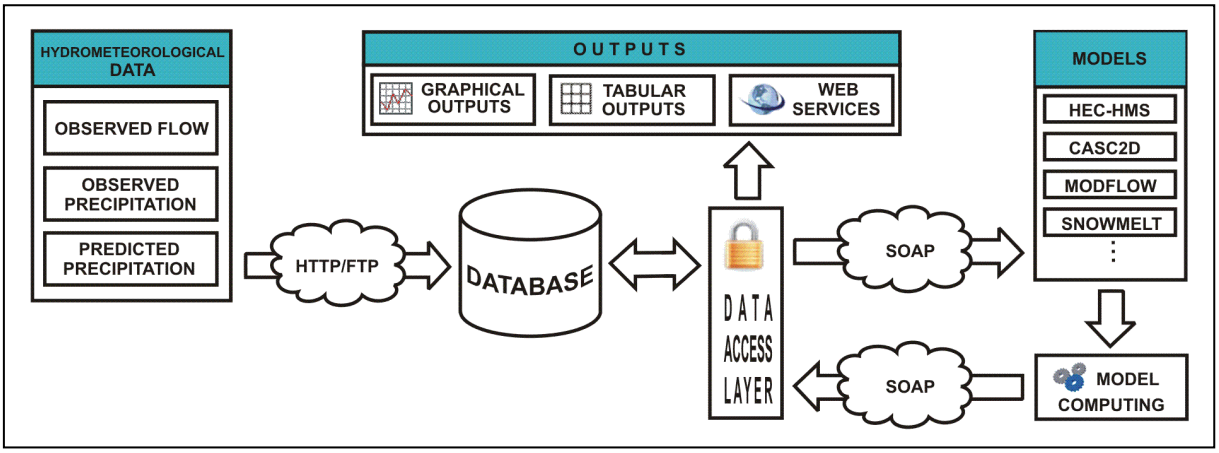


Obr. 7 Modelová oblast s vyznačením modelové sítě a okrajových podmínek

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ PROPOJENÍ

Podpora rozhodování ve vodním hospodářství v systému TRANSCAT je založena především na informacích o předcházejících, aktuálních a nastávajících hydrometeorologických podmínkách v daném povodí, které jsou vhodným způsobem zpracovány a interpretovány koncovému uživateli. Jedním z hlavním výstupů systému je ***předpověď průtoků*** (resp. výšek hladin) na vybraných místech vodního toku, v závislosti na vstupních informacích dodávaných hydrologickému modelu – měřené průtoky, měřené srážky a předpovídané srážky.
Všechny tyto funkce a nástroje jsou k systému připojovány jako zásuvné moduly, což umožňuje snadné vytvoření a připojení libovolného dalšího modulu obsahující požadovanou funkcionalitu. Většina modulů ve stávajícím systému je koncipovaných jako webové služby a jsou použitelné i mimo systém samotný (např. získání předpovídaných srážek z GFS modelu, vytvoření hydrogramu ze zaslaných hodnot a podobně).

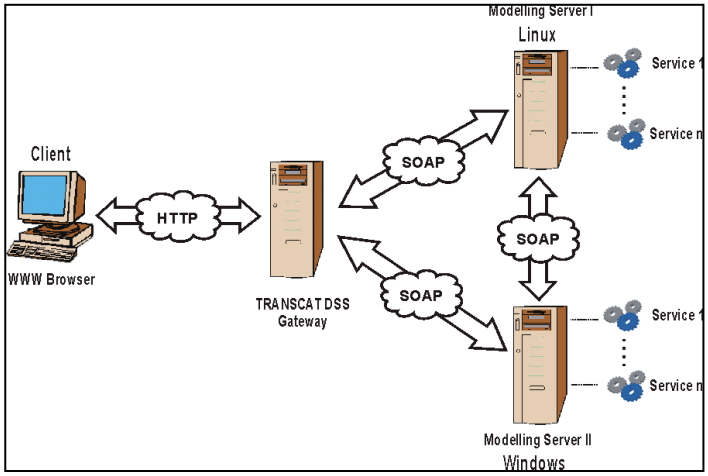
Nejpodstatnější operativní části systému je modelovací subsystém, který zajišťuje kontinuální výpočty a vzájemnou spolupráci modelů uvedených v předchozích pasážích textu.



Obr. 8 Procesy při hydrologickém a hydrogeologickém modelování

Jak ukazuje obr. 8, data potřebná pro jednotlivé modely jsou nejprve od jednotlivých poskytovatelů těchto dat přes síť Internet importována do společné databáze. V této databázi jsou mimo jiné uchovávány i informace o datech samotných (metadata), na základě nichž jsou exportována vybraná data pro jednotlivé modely. Tato data jsou zapisována do vstupních datových souborů jednotlivých modelů, které pak jsou v závislosti na intervalu aktualizace vstupních dat automaticky přepočítávány a výsledky modelů zapisovány zpět do databáze. Data v databázi jsou pro všechny modely sdílené a jeden model tak může jako vstup použít výstup z modelu jiného. Dohromady pak tento subsystém tvoří díky rozhraní (interface), postaveným nad jednotlivými modelovacími nástroji, integrovaný model zahrnující všechny potřebné hydrologické, hydrogeologické a jiné modely. Rozhraní tohoto subsystému jednak obsluhuje jednotlivé modely (zajišťuje automatickou nebo uživatelem definovanou změnu parametrů, umožňuje jejich automatizované spouštění), tak i zajišťuje vzájemnou komunikaci a kooperaci mezi nimi.

Důležitou součásti subsystému je služba „***Data Access Layer***“, která umožňuje zjednodušený autorizovaný přístup k databázi prostřednictvím protokolu SOAP (webová služba). Jak ukazuje obr. 9, systém TRANSCAT je systém distribuovaný – to znamená, že jednotlivé modelovací nástroje nemusejí být nutně součástí jediného výpočetního stroje, ale mohou se nacházet na různých počítačových serverech v celé síti Internet. Tato služba pak zajišťuje sdílení databáze pro všechny součásti tohoto subsystému.



Obr. 9 Schéma architektury distribuovaného servisně orientovaného systému hydrologického a hydrogeologického modelování v rámci projektu TRANSCAT

Díky modularitě celého systému a servisně orientované architektuře je možné systém propojit s jinými systémy či nástroji pro podporu rozhodování, jako je Mulino DSS (mDSS), Mediator, Prodec a jiné, a vyžádat si potřebná data pro multikriteriální nástroje.

ZÁVĚR

Dosavadní práce prokázaly vysokou operabilitu GIS coby nástroje ke kompletní schematizaci a preprocesingu povodí. V případě absence určitých specielních vrstev (CN křivky apod.) GIS opět disponuje nástroji pro generování těchto geodat. Pokud externí modelovací software je schopen komunikace s GIS softwarem (např. import ASCII rastrů), efektivita stavby semidistribuovaného či distribuovaného S-O modelu je pak řádově vyšší. GIS též se nabízí možnosti využít tzv. scénářů odtokové situace, např. generováním různých gridů infiltračního deficitu, drsnosti povrchu či hydraulické vodivosti.

Pokud máme hodnotit i „akceschopnost" softwarové kombinace v rutinním provozu, zde se z důvodu jednoduchosti použití nabízí kombinace ESRI/HEC-HMS. Tato kombinace je nejlépe schopna automatizovaného provozu, byť HEC-HMS nedisponuje API rozhraním, což však lze řešit využitím dalších softwarových prostředků (Girder). GIS GRASS a jeho nástroje pro hydrologické modelování představují velmi výkonný balík, navíc s možnosti automatizace pomocí skriptování nebo zásahem do programového kódu (open source). Protože však všechny výpočty probíhají nad rastrovými vrstvami, je zde nezanedbatelný faktor výpočetní náročnosti. I přes pokročilé úpravy uživatelského rozhraní od verze 5.7 a 6.0.1 GRASS zatím stále představuje spíše vědecký analytický nástroj než jednoduchý program pro operativní spouštění hydrologických předpovědí. Zde spatřujeme též potenciál námi předkládaného klientského rozhraní, kdy jsou nastavení a volby programových prostředků skryty pod zjednodušeným webovým formulářem.

V oblasti napojení hydrologických a hydrogeologických modulů můžeme rámcově konstatovat, že modulární systém celého řešení představuje reálný potenciál pro určitou komunikaci těchto modelů. Z uvažovaných výhod takového propojení lze uvážit např. verifikaci kalibračních parametrů pro základní odtok či proudění v nasycené zóně, lepší nastavení počátečního podzemního Q v rámci semidistribuovaného S-O modelu apod. Dále můžeme jmenovat testování metodik základního odtoku a infiltrace na povodí, testování okrajových podmínek apod. Rovněž vzájemné porovnání výstupů z modulu HELP/UNSAT a zvolených metod infiltrace (CN, Green & Ampt, SMA) může výhledově zlepšit řešení schematizace nenasycené zóny a vybrat pro tuto zónu metodiku nejvhodnější.

V neposlední řadě lze s potěšením říci, že free a open source software představuje zajímavou alternativu standardních a zavedených komerčních řešení a určitě si zasluhuje naši bližší pozornost.

Literatura

Anderson, E.A.: Development and testing of snowpack energy balance equations. Water Resources Research 3, 1968.

Bedient, Philip B., Huber, Wayne C. (2002): Hydrology and floodplain analysis. 3rd edition. Prentice Hall, 2002.

Beven, K. J. (2001): Rainfall-runoff modelling. The Primer. John Wiley & Sons Chichester, 2001.

Buchtele, J. (1990): Vliv předpokládaných klimatických změn na vodní zdroje. Vodohospodářský časopis č.4, Praha 1990.

Burrough P.A., McDonnell Rachael A.: Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, 1998. 333 stran. ISBN 0-19-823366-3.

Doležal F., Kodešová R., Kulhavý Z., Soukup M. - Studium hydrologické funkce systémů odvodnění zemědělských půd pomocí simulačního modelování. Hydrologické dny Plzeň. IX.2000

Chow, V.T.: Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill New York, 1964.
Hrádek F.et Kuřík P.: Hydrologie. Skripta ČZU Praha, 2002.
Kantor P. et al. (2003): Lesy a povodně. Souhrnná studie. MŽP Praha, 2003.
Kovář, P. (1990): Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích. VŠZ Praha, 1990.
Kulhavý Z., Kovář P. – Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. Metodická pomůcka - Uživatelský výstup projektu NAZV - EP 7062: Hodnocení vlivu zemědělského hospodaření na odtokové poměry malých povodí aplikací metod matematického modelování. VÚMOP Praha, II.2000, ISSN 1211-3972
Maidment, D. et Djokic, D. (2000): Hydrologic and hydraulic modelling support with Geographic Information Systems. ESRI Press Redlands, 2000.
Neruda M., Neruda R.: Porovnání kvantitativních a kvalitativních vlastností vody pomocí metody neuronových sítí, Konference Extrémní hydrologické jevy v povodích, 12. 11. 2002, Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha.
Přenosilová, E.: Důsledky klimatických změn na hospodaření s vodou v nádržích. NKP č.16. ČHMÚ Praha, 1994.
Rapantová, N., Grmela, A ., Vojtek D., Tylčer, J..:Assessment of natural and artificial recharge in the urban and industrial areas. XXXIII. Congress IAH. Mexico, 2004. ISBN: 970-32-1749-4.
Voženílek, V.: Time and Space in Network Data Structures for Hydrological Modelling. In Craglia M., Onsrud H.: Geographic Information Research - Trans-Atlantic Perspectives. Olomouc: Univerzita Palackého Olomouc, 1999, s. 189-202.
http://www.geomin/unibo.it/orgv/hydro/music/index2.htm
http://www.transcat-project.net/

Rapant, P. (2002): Úvod do geografických informačních systémů. Skripta PGS. Program celoživotního vzdělávání "Geoinformatika a geoinformační technologie". VŠB – TU Ostrava, 2002. 110 str. http://gis.vsb.cz/Publikace/Skripta_sylaby/U_GIS/UGIS.pdf
Horák, J. (1996): Zpracování dat v GIS II, skripta pro PGS, VŠB Ostrava 1996

AUTOŘI

Jan Unucka, ČHMU, pobočka Ostrava, K Myslivně 3, 70800 Ostrava-Poruba, unucka.j@chmi.cz

Jiří Horák, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Institut geoinformatiky, 17.listopadu 15, 70833 Ostrava-Poruba, jiri.horak@vsb.cz

Naďa Rapantová, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Institut geoinformatiky, 17.listopadu 15, 70833 Ostrava-Poruba, nada.rapantova@vsb.cz

HODNOTY KOEFICIENTU PRIEČNEJ DISPERZIE NA RIEKE HRON V ÚSEKU BANSKÁ BYSTRICA - ŠALKOVÁ

Yvetta Velísková

V príspevku je opísaný spôsob stanovenia koeficientov priečnej disperzie ϵ_y na základe výsledkov tzv. zmiešacích pokusov vykonaných v rámci terénnych meraní v tejto lokalite. Ďalej je v príspevku popísaný spôsob korekcie hodnôt týchto koeficientovvyužitím modelu MODI. Na základe tejto metódy boli stanovené hodnoty priečnych disperzných koeficientov na úseku rieky Hron medzi zaústením toku Istebník a mostom v Banskej Bystrici-Šalkovej (obr.1). Táto lokalita bola vybratá z dôvodu relatívne častého výskytu ekologických havárií. Pomer priemernej šírky koryta k priemernej hĺbke v danom useku spĺňa podmienku širokého plytkého toku, preto mohla byť na vyhodnocovanom úseku na vyhodnotenie priečnych disperzných koeficientov aplikovaná metóda publikovaná Demetracopoulosom a Stefanom (1983), ktorej použitie je limitované touto podmienkou. Pozdĺžny sklon tohto riečneho úseku je v rozmedzí (0,001–0,006). Metóda Demetracopoulosa a Stefana (1983) však dáva vo všeobecnosti nadhodnotené výsledky priečnych disperzných koeficientov, čo sa potvrdilo aj pri stanovovaní ϵ_y na rieke Ondave (Pekárová - Velísková, 1998). Preto bolo potrebné hodnoty týchto koeficientov korigovať. Na tento účel bol použitý dvojrozmerný simulačný model MODI, ktorý je schopný numericky simulovať disperziu látok v prirodzenom povrchovom toku s neprizmatickým korytom za podmienok ustáleného prúdenia. Za účelom overenia hodnôt ϵ_y stanovených z terénnych meraní boli modelom MODI simulované zmiešavacie pokusy vykonané na sledovanom úseku Hrona. Namerané rozdelenie koncentrácie stopovacej látky po šírke profilu bolo porovnávané s výsledkom simulácie. Výsledky sú zhrnuté v tabuľke 1. Konečné hodnoty ϵ_y korešpondujú s hodnotami týchto veličín, ktoré boli publikované inými autormi pre podobné podmienky prúdenia a typ prirodzeného toku. Ich poznanie a korektné hodnoty dávajú záruku reálnosti predpovedí šírenia látok v tomto úseku horného Hrona v budúcnosti.

Kľúčové slová: koeficient priečnej disperzie, povrchové toky, znečistenie, numerická simulácia, terénne merania

Transverse dispersion coefficient values at the Hron River between Banská Bystrica - Šalková. *The paper deals with the method of transverse dispersion coefficient statement from field measurement and with a way of correction of their values through the numerical model MODI. The transverse dispersion coefficients were determined by this method at about 4 km long part of the Hron River: from the confluence of the Hron River and the Istebnik stream to the bridge in Banská Bystrica-Šalková. You can see it in Fig. 1. This locality has been chosen for relatively frequent occurrence of ecological accidents.. The ratio of a width and a mean depth at this part was from 40 to 70, so it was able to apply the method published by Demetracopoulos and Stefan (1983). The river slope at this part is in the range (0,001–0,006). There was found out that the applied method gives overestimated results of transverse dispersion coefficients, what was confirmed also in the case of ϵ_y determination on the Ondava River (Pekárová - Velísková, 1998). So the values of coefficients had to be corrected. For this purpose there was applied the 2-dimensional numerical model of dispersion MODI. This model can simulate the spreading of pollutant under conditions of steady flow in natural non-prismatic channels. There were simulated field measurements with tracer at the monitored part of the Hron River by this model. The distributions of tracer concentration from field measurements were compared with simulated distribution. The summary of result values of these coefficients is in Tab.1. The resultant values of transverse dispersion coefficient correspond with values published by other authors for similar flow conditions and types of open channel. The knowledge of correct values of these characteristics guarantees rightness of pollution spreading prediction at this part of the Hron River in future.*

Key words: transverse dispersion coefficient, surface stream, pollution, numerical simulation, field measurement

---

ÚVOD

Poznanie mechanizmu a charakteristík prenosových procesov v povrchovom toku je dôležité z viacerých aspektov. Pri používaní matematického modelovania sa nezaobídeme bez poznania mechanizmu tohto procesu a pri numerických modeloch zasa bez poznania charakteristík, ktoré sú ich vstupnými dátami. Metódami matematického modelovania a použitím numerických modelov je možné veľmi efektívne posúdiť rozličné situácie na tokoch, či už je to transport plavenín a s ním súvisiace

zanášanie v toku, alebo šírenie kontaminantov v povrchových tokoch, či riešenie iného problému súvisiaceho s kvalitou povrchových tokov. V súčasnosti sa preto mocnými nástrojmi pri riešení takýchto vodohodpodárskych úloh stávajú numerické modely. Tie si však vyžadujú pre simuláciu reálnej situácie reálne hodnoty vstupných dát. Väčšina hydrodynamických modelov simulujúcich disperziu v toku vyžaduje ako vstupnú hodnotu koeficienty disperzie, príp. koeficienty zmiešavania. Priečne zmiešavanie je jedným zo základných procesov určujúcich charakter zmiešavania. I v súčasnosti je však jeho určenie či už výpočtom z charakteristík toku alebo z priameho merania pri daných podmienkach problematické. Predkladaný príspevok opisuje jednu z možných ciest, ako sa s týmto problémom vysporiadať.

ZÁKLADNÉ TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ

Existuje veľký počet matematických modelov na výpočet šírenia látok v toku. Vzhľadom na prístup zvolený pri zostavovaní matematických modelov môžeme ich rozdeliť do dvoch skupín: modely vychádzajúce z analýzy časových radov a modely vychádzajúce z hydrodynamického prístupu. Prvá skupina modelov využíva meraním získané koncentrácie látok na konštrukciu viac alebo menej zložitých štatistických predpovedných schém na danom toku. Hydrodynamický prístup riešenia procesu zmiešavania v povrchových tokoch vychádza z advekčno-difúznej rovnice:

$$\frac{\partial(hC)}{\partial t}+\frac{\partial(uhC)}{\partial x}+\frac{\partial(vhC)}{\partial y}+\frac{\partial(whC)}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon_x h\frac{\partial C}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\varepsilon_y h\frac{\partial C}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\varepsilon_z h\frac{\partial C}{\partial z}\right), \qquad (1)$$

kde: h - hĺbka [m],
C - hmotnostná koncentrácia látky vo vode [kg m^{-3}],
u,v,w - zložky vektora rýchlosti prúdenia [m s^{-1}],
t - čas [s],
x, y, z - priestorové súradnice bodu [m] (x – pozdĺžna horizontálna, y – priečna horizontálna, z –vertikálna),
ε_x, ε_y, ε_z - koeficienty turbulentnej difúzie v smere daných súradnicových osí [m^2.s^{-1}].

Numerické modely vychádzajúce z riešenia tejto rovnice pre korektné riešenie danej konkrétnej situácie potrebujú ako vstupné údaje geomorfologické charakteristiky toku, údaje o prietokovom alebo hladinovom režime a neodmysliteľne aj zmiešavacie charakteristiky, resp. charakteristiky disperzie na danom úseku povrchového toku, ktoré sú vlastne priestorovo spriemerovaným vyjadrením difúznych koeficientov v rovnici (1). Riešenie tejto úlohy ako trojrozmernej by bolo značne náročné. Pri riešení takýchto úloh sa väčšinou uvažuje, že hodnota koeficienta ε_z vo zvislici je konštantná, i keď tento predpoklad nie je potvrdený ani teoreticky, ani experimentálnymi pokusmi (Okoye, 1970). Určitým opodstatnením použitia tohto predpokladu je ale to, že v prípade použitia strednej hodnoty ε_z nedôjde k závažným chybám. Rovnica (1) sa obyčajne eliminuje na dvojrozmernú aj z toho dôvodu, že vzhľadom na ostatné smery pri prúdení v prirodzených tokoch premiešanie po zvislici prebieha pomerne rýchlo (prirodzené toky vo väčšine prípadov spĺňajú podmienku plytkých širokých tokov). Pri riešení disperzných procesov v tokoch ako dvojrozmernej úlohy sa dominantnou stáva priečna disperzia (Říha, Daněček, Glac, 1997). Z tohto dôvodu sa teda venuje pozornosť práve priečnemu disperznému koeficientu. Pri určení hodnôt tohto koeficienta však vznikajú problémy. Teoretické vzťahy na určenie hodnoty tohto koeficienta zatiaľ nie sú k dispozícii a tak možno využívať len experimentálne zistené hodnoty. Tie sa v niektorých prípadoch vyhodnocujú vo forme bezrozmerného koeficienta priečnej disperzie, a to vo forme:

$$a=\frac{\varepsilon_y}{u_* h}\quad , \qquad (2)$$

kde u_* - trecia rýchlosť [m s^{-1}].

Hodnota bezrozmerného koeficienta priečnej disperzie umožňuje istú variabilitu hodnoty tohto koeficienta vzhľadom na podmienky prúdenia v toku. V niektorých prípadoch a bez predchádzajúcich skúseností však nie je ľahké a ani možné stanoviť pre konkrétne úseky toku pri platných podmienkach prúdenia v ňom správnu a platnú hodnotu priečneho disperzného koeficienta ani pomocou vzťahu (2).

OPIS LOKALITY A PODMIENOK MERANIA

Koeficienty priečnej disperzie boli vyhodnocované na cca 4 km dlhom úseku rieky Hron medzi zaústením toku Istebník a mostom v Banskej Bystrici–Šalkovej. Táto lokalita je zaujímavá hlavne z kvalitatívneho hľadiska hodnotenia toku, keďže tento úsek Hrona býva postihovaný relatívne častými ekologickými haváriami. Lokalita je vyznačená na obr. 1. Pomer šírky koryta k priemernej hĺbke bol v rozmedzí od 40 do 70-násobku, a preto bolo možné považovať koryto za široké a plytké, čo je predpoklad aplikovateľnosti metódy použitej na stanovenie priečneho disperzného koeficienta z terénnych meraní. Pozdĺžny sklon toku v tomto úseku bol v rozmedzí 0,001 až 0,0026. V rámci vyhodnocovaného úseku sa vytypovali dve časti toku s rozdielnym smerovým vedením: pravotočivá zákruta a priamy úsek. V každej sledovanej časti bolo zvolené miesto vypúšťania stopovacej látky a 4 profily, v ktorých bolo zmerané rýchlostné pole hydrometrovaním, hĺbky po šírke profilu a pri zmiešavacích pokusoch rozdelenie koncentrácie stopovača. Merania boli vykonané v troch rôznych obdobiach s rozdielnymi prietokovými pomermi (6,7 $m^3 s^{-1}$ až 21,97 $m^3 s^{-1}$). Každé meranie osobitne bolo však vykonané za ustáleného stavu.



Obr. 1 Vyhodnocovaný úsek Hrona

Fig. 1 The part of the Hron River, which was evaluated.

SPÔSOB STANOVENIA KOEFICIENTA PRIEČNEJ DISPERZIE

Stanovenie $\in_y$ z výsledkov terénneho merania

Disperzné charakteristiky v toku možno v teréne merať zmiešavacími pokusmi buď s konštantným zdrojom stopovacej látky, alebo okamžitým injektovaním tejto látky do toku (vo veľmi krátkom časovom intervale). Prvý spôsob je presnejší, ale vyžaduje si zložitejšie dávkovacie zariadenie

a nepomerne väčší objem stopovacej látky. Druhý spôsob je náročnejší napr. na meraciu techniku a zohratosť meracej skupiny pri meraní prechádzajúceho oblaku stopovača. Pri našich terénnych meraniach bol použitý konštantný zdroj stopovacej látky a spôsob stanovenia koeficientu priečnej disperzie zodpovedal metóde, ktorú uvádzajú Demetracopoulos a Stefan (1983). Metóda a jej aplikácia boli podrobne opísané už skôr v práci Velískovej a Kohutiara (1992b). Z dôvodu lepšej prehľadnosti a zabezpečenia lepšej zrozumiteľnosti, príp. kontinuity riešenia uvádzam základné črty tejto metódy.

Zmiešavanie nesenej látky v toku možno rozdeliť do štyroch základných etáp. V prvej etape je určujúcim zmiešavacím mechanizmom moment od nerovnakej rýchlosti vtekajúcej látky vzhľadom na rýchlosť vody v toku. Pri zmiešavacích pokusoch, kedy stopovacia látka voľne vteká do toku, možno túto etapu zanedbať. Druhá etapa je charakterizovaná úplným vertikálnym premiešaním stopovača. Dĺžka tohto úseku býva orientačne rovná 100- až 200-násobku hĺbky toku, prípadne môže byť určená podľa vzťahov odvodených rôznymi autormi. Tieto vzťahy obyčajne vyjadrujú funkčnú závislosť zmiešavacej dĺžky od šírky toku, priemernej rýchlosti prúdenia, strednej hĺbky a príp. priečneho disperzného koeficienta. Tretia etapa trvá od premiešania stopovača po hĺbke toku po jeho úplné premiešanie po šírke toku. Štvrtá etapa je charakterizovaná jedine pozdĺžnymi gradientmi koncentrácie.

V tretej etape zmiešavania, ktorá je v širokých tokoch dominantná (a z hľadiska určenia priečneho disperzného koeficienta tiež), možno zmeny koncentrácie stopovacej látky vyjadriť dvojrozmernou advekčno-difúznou rovnicou v tvare:

$$\frac{\partial}{\partial x}(u\,h\,C)+\frac{\partial}{\partial y}(v\,h\,C)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon_x h\frac{\partial C}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\varepsilon_y h\frac{\partial C}{\partial y}\right) \tag{3}$$

Nahradením ťažko dostupných lokálnych hodnôt rýchlostí, hĺbky a koeficientov turbulentnej difúzie ich priestorovo spriemerovanými hodnotami (U, H, $\in_x$, $\in_y$), zanedbaním zmien rýchlostí v priečnom smere a za predpokladu, že pozdĺžna turbulentná difúzia je vzhľadom na advekciu zanedbateľná, sa rovnica (2) zredukovala na tvar:

$$U\frac{\partial C}{\partial x}=\in_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad . \tag{4}$$

Podrobný postup riešenia tejto rovnice je opísaný v spomínanej publikácií Velísková, Kohutiar (1992b). Výsledný vzťah pre vyčíslenie priečneho disperzného koeficienta medzi dvoma susednými meranými profilmi má tvar:

$$\in_y=\frac{U}{2}\,\frac{\Delta\sigma^2}{\Delta x} \quad , \tag{5}$$

kde $\Delta\sigma^2$ - zmena smerodajnej odchýlky na Δx.

Treba spomenúť, že predpokladom uvedeného výpočtu je existencia obdĺžnikového koryta. Toky v prírode sa však s takýmto tvarom priečneho prierezu nevyskytujú, a tak je potrebné transformovať tvar sledovaného koryta na obdĺžnikový pravouhlý prierez so šírkou B_t a hĺbkou H_t podľa vzťahov:

$$B_t=\frac{\int d\,S_{hl}}{L} \qquad\qquad H_t=\frac{\int dV}{\int d\,S_{hl}} \tag{6}$$

kde $\int d\,S_{hl}$ - plocha hladiny [m^2],

L - dĺžka sledovaného úseku [m],

$\int dV$ - objem sledovaného úseku toku [m^3].

Podľa tejto stručne opísanej metódy boli na základe výsledkov zmiešavacích pokusov vykonaných priamo v teréne na konkrétnej lokalite vyhodnotené priečne disperzné koeficienty pre sledovanú časť Hrona. Ich hodnoty sú zhrnuté v tab. 1.

Stanovenie $\in_y$ z výsledkov simulácie

Ako bolo spomenuté už v úvode tohto príspevku, matematické modelovanie a numerické modely sa stávajú v súčasnosti neodmysliteľným nástrojom pri riešení vodohospodárskych problémov, a to zvlášť pri problémoch súvisiacich s ekológiou. Práve matematické modelovanie disperzie kontaminantov v tokoch možno účinne využiť pri stanovení a overení disperzných charakteristík povrchového toku.

Za účelom overenia hodnôt koeficienta priečnej disperzie, ktoré boli stanovené z výsledkov zmiešavacích pokusov v terénnych podmienkach metódou Demetracopoulosa a Stefana (1983), bol použitý numerický model MODI. Je to model, ktorý je schopný dvojrozmerne simulovať disperziu látok v prirodzenom povrchovom toku s neprizmatickým korytom za podmienok ustáleného prúdenia. Založený je na riešení dvojrozmernej formy advekčno-difúznej rovnice (1) a na koncepte tzv. prúdových trubíc. Tento koncept vychádza z toho, že tok po šírke je rozdelený na sústavu trubíc nerovnakej šírky, ale s rovnakým prietokom (Yotsukura, Sayre, 1976). Ďalej model využíva myšlienku rozdelenia trubíc na elementy nerovnakej dĺžky (Luk, Lau, Watt, 1990). Tým sa síce stratí možnosť spojiť model disperzie s modelom neustáleného prúdenia v toku, ale zároveň sa odstráni veľmi nepríjemná vlastnosť diferenčných schém – numerická difúzia – a to tým, že dĺžky týchto elementov sú tvorené tak, aby sa hodnota Courantovho čísla rovnala 1. Podrobný opis modelu MODI a jeho vlastností je publikovaný v práci Velísková, Kohutiar (1992a).

Modelom MODI boli simulované zmiešavacie pokusy vykonané na sledovanom úseku Hrona. Ako vstupné údaje do modelu boli použité namerané rozdelenia rýchlostí a hĺbok v jednotlivých meraných profiloch a stanovené koeficienty priečnej disperzie (podľa Demetracopoulosa a Stefana (1983)). Namerané rozdelenie koncentrácie stopovacej látky po šírke profilu bolo porovnávané s výsledkami simulácie. Na obr. 2 a 3 je pre ilustráciu zobrazená časť výsledkov.

Z porovnania nameraného a simulovaného rozdelenia koncentrácie stopovacej látky po šírke toku v jednotlivých profiloch sledovaných úsekov rieky Hron (obr. 2, 3) bolo jasné, že stanovené hodnoty koeficienta priečnej disperzie treba korigovať. Základ tvorili namerané hodnoty koncentrácií stopovača v toku počas terénnych meraní v jednotlivých úsekoch a sériach (v rámci každého úseku boli vykonané 3 série pokusov pri rôznych prietokových pomeroch). V rámci úseku boli potom postupne navrhované opravené hodnoty $\in_y$ a s nimi následne nasimulované šírenie stopovača. Na základe celej série simulácií boli potom stanovené nové hodnoty priečneho disperzného koeficienta v každom úseku a pre každú sériu zmiešavacích pokusov zvlášť. Z takto zostaveného súboru výsledkov simulácií bola vybraná jedna pre každý úsek a sériu, ktorá najlepšie korešpondovala s nameraným rozdelením koncentrácie stopovača v danom úseku a sérii pri terénnych meraniach. Výsledok vybranej simulácie je uvedený v rámci každého obrázka. Konečné hodnoty koeficienta priečnej disperzie $\in_y$ na sledovanom úseku Hrona sú uvedené v tabuľke 1.

Keďže jednotlivé série pokusov v rámci sledovaných úsekov boli realizované za rozdielnych prietokových pomerov, nemožno porovnávať hodnoty $\in_y$ získané z jednotlivých sérii pokusov ani pre rovnaký úsek. Hodnota koeficienta priečnej disperzie je totiž ovplyvnená hydraulickými parametrami toku, ktoré sa pri zmene prietokových pomerov menia (Kališ, 1972; Sumer, Fischer, 1977; Lau, Krishnappan, 1977; Fischer et al., 1979; Velísková, 2002). Niektorí autori z týchto dôvodov vo svojich prácach preto ani neuvádzajú hodnotu $\in_y$, ale len hodnotu bezrozmerného koeficienta priečnej

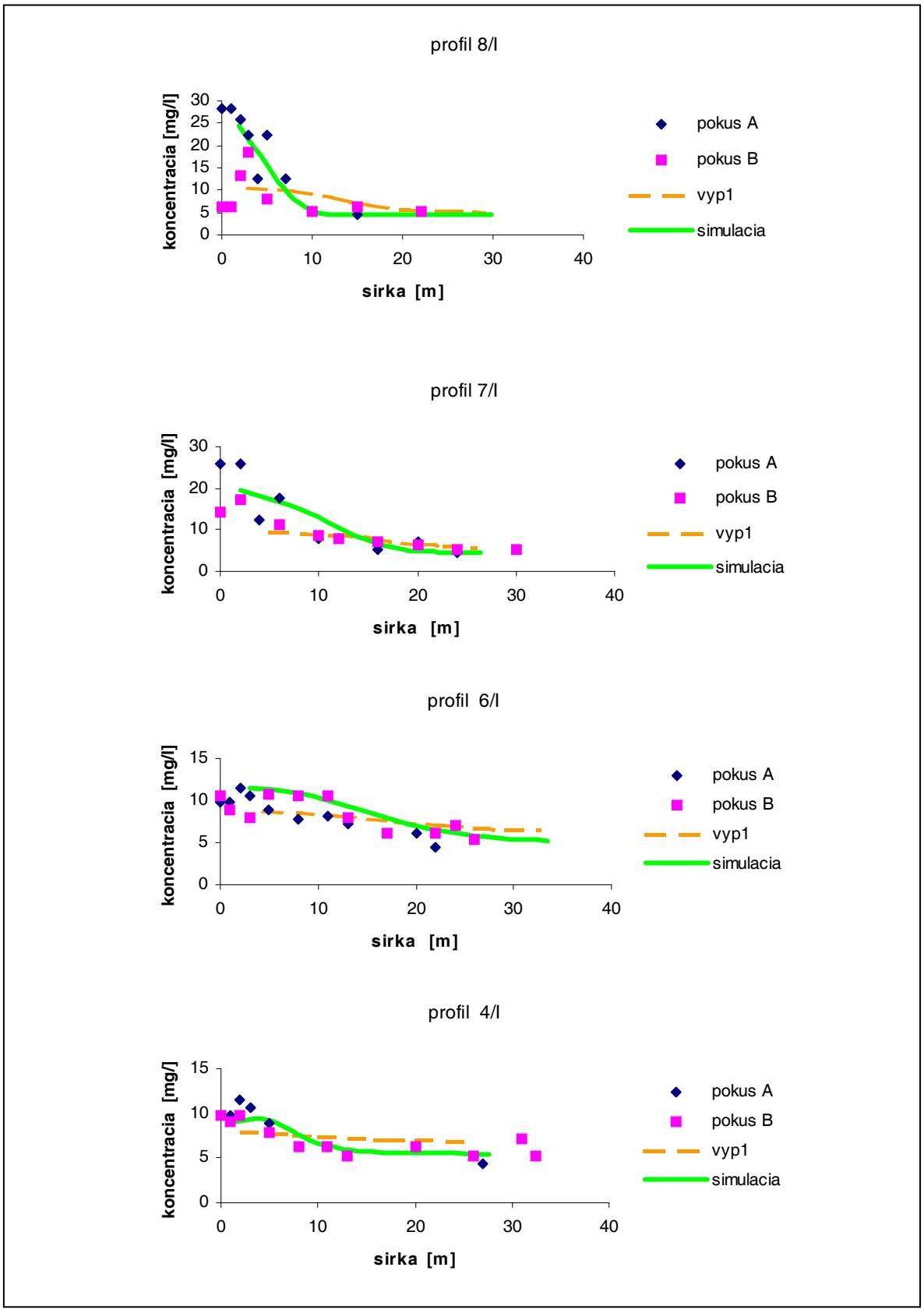
Tab. 1 Namerané a vypočítané hodnoty priečnych disperzných koeficientov na sledovanom úseku Hrona

Tab. 1 Measured and calculated values of transverse dispersion coefficients at the monitored part of the Hron River

		1. séria pokusov	2. séria pokusov	3.séria pokusov
úsek I. (so zákrutou)	terénne merania (Demetracopoulos, Stefan) $\in_y^M$ [$m^2 s^{-1}$]	0,403 0,403 0,165 0,197 0,197	1,3 1,3 1,061 0,896 0,896	1,242 1,242 0,612 0,860 0,860
	model MODI $\in_y^S$ [$m^2 s^{-1}$]	0,05 0,02 0,30 0,10 0,02	0,03 0,01 0,20 0,05 0,01	0,03 0,01 0,20 0,06 0,02
	a [–]	0,49 0,2 2,50 1,45 0,20	0,49 0,20 2,55 1,45 0,20	0,49 0,20 2,55 1,45 0,20
		1. séria pokusov	2. séria pokusov	3.séria pokusov
úsek II. (priama)	terénne merania (Demetracopoulos, Stefan) $\in_y^M$ [$m^2 s^{-1}$]	0,145 0,145 0,407 0,044 0,044	0,727 0,727 0,361 0,333 0,333	0,863 0,863 0,078 0,044 0,044
	model MODI $\in_y^S$ [$m^2 s^{-1}$]	0,01 0,02 0,01 0,01 0,01	0,006 0,013 0,007 0,006 0,005	0,007 0,015 0,007 0,008 0,008
	a [–]	0,09 0,20 0,19 0,15 0,27	0,09 0,20 0,19 0,15 0,27	0,09 0,20 0,19 0,15 0,27

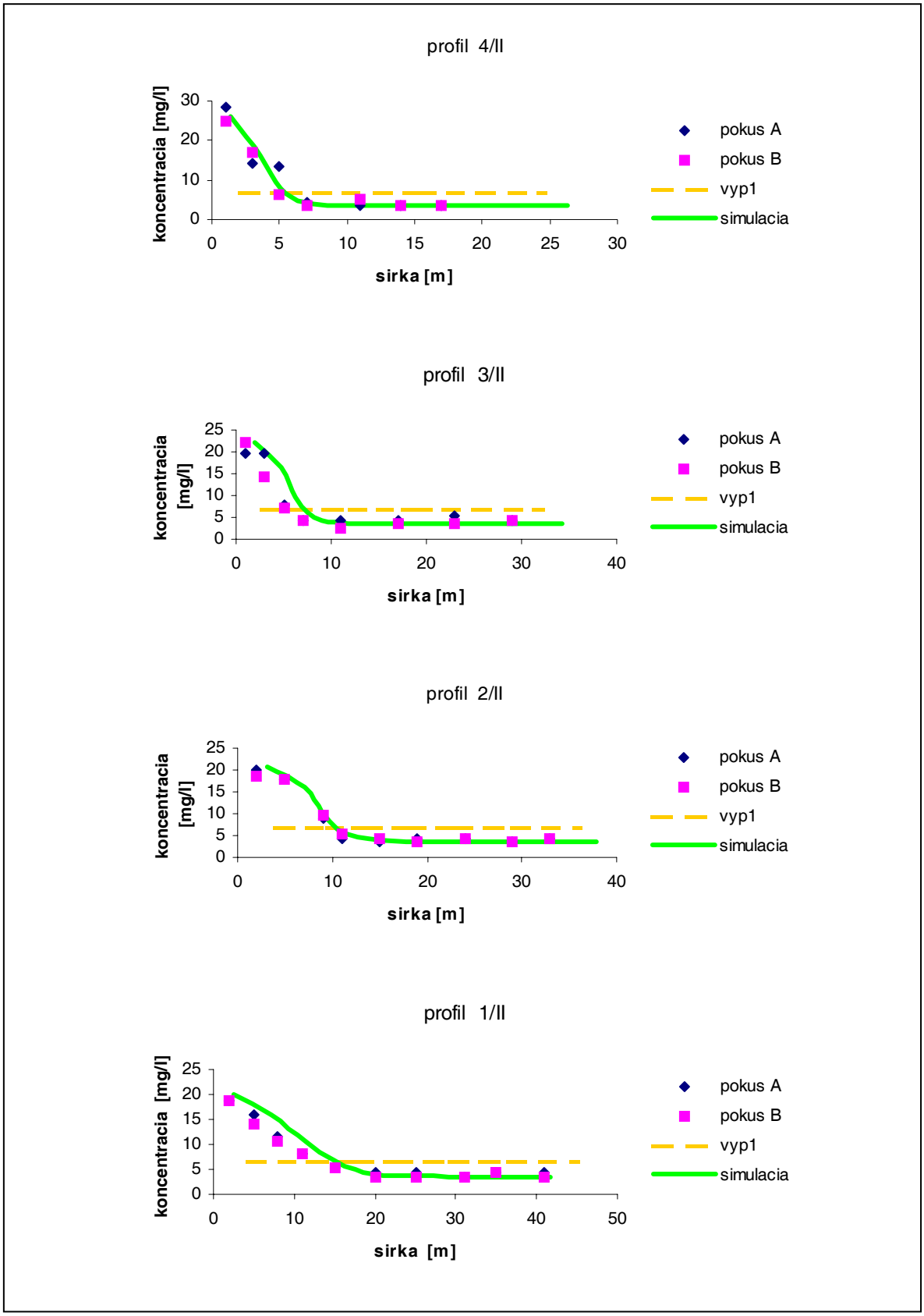
disperzie *a*. Preto z konečných hodnôt $\in_y$ boli následne vyčíslené hodnoty bezrozmerného koeficienta priečnej disperzie *a* podľa rovnice (2) – pozri tabuľku 1.

Vo všeobecnosti môžeme konštatovať, že v prvom úseku koeficient priečnej disperzie, i jeho bezrozmerná forma, dosahuje v priemere vyššie hodnoty ako v druhom úseku, čo je ale pravdepodobne spôsobené smerovým vedením toku (Fischer, 1979; Yotsukura, Sayre, 1976), keďže prvý úsek charakterizuje pravotočivá zákruta a druhý sa nachádza v priamej časti.



Obr. 2 Grafické zobrazenie rozdelenia koncentrácie stopovača v úseku I („vyp1“ – hodnota $\in_y$ stanovená metódou Demetracopoulosa a Stefana)

Fig. 2 The graphical presentation of the tracer concentration in the part I („vyp1“ –$\in_y$ estimated by the Demetracopoulos a Stefan method)



Obr. 3 Grafické zobrazenie rozdelenia koncentrácie stopovača v úseku II („vyp1“ – hodnota $\in_y$ stanovená metódou Demetracopoulosa a Stefana)

Fig. 3 The graphical presentation of the tracer concentration in the part II („vyp1“ –$\in_y$ estimated by the Demetracopoulos a Stefan method)

ZÁVER

V predkladanom príspevku je opísaný spôsob stanovenia hodnôt koeficienta priečnej disperzie na cca 4 km dlhom úseku rieky Hron medzi zaústením toku Istebník a mostom v Banskej Bystrici-Šalkovej. Koeficienty priečnej disperzie boli v prvom kroku stanovované z terénnych meraní. V druhom kroku boli ich hodnoty overované a korigované aplikáciou numerického modelu MODI, ktorý je schopný dvojrozmerne modelovať disperziu nesených látok v prirodzenom povrchovom toku. Pri terénnych meraniach aplikovaná metóda stanovenia priečneho disperzného koeficienta publikovaná Demetracopoulosom a Stefanom (1983) využíva konštantný zdroj stopovacej látky a je aplikovateľná pre široké plytké korytá. Na základe tejto metódy boli z výsledkov terénnych meraní určené hodnoty priečnych disperzných koeficientov. Spomínaná metóda však dáva vo všeobecnosti nadhodnotené výsledky týchto koeficientov, čo sa potvrdilo aj pri stanovení $\in_y$ na rieke Ondave (Pekárová, Velísková, 1998), kde pôvodne stanovená priemerná hodnota $\in_y = 0{,}149\ m^2\ s^{-1}$ sa zmenila na $\in_y = 0{,}011\ m^2\ s^{-1}$ ($a = 0{,}892$). Preto hodnoty koeficientov priečnej disperzie stanovené z terénnych meraní metódou Demetracopoulosa a Stefana (1983) boli použitím numerického modelu následne korigované. Výsledky sú zhrnuté v tabuľke 1. Konečné hodnoty $\in_y$ korešpondujú s hodnotami týchto veličín, ktoré boli publikované inými autormi pre podobné podmienky prúdenia a typ prirodzeného toku. Ich poznanie a korektné hodnoty dávajú záruku reálnosti predpovedí šírenia látok v tomto úseku horného Hrona v budúcnosti.

Poďakovanie
Spracovanie štúdie bolo podporené Agentúrou na podporu vedy a techniky prostredníctvom finančnej podpory č. APVT-51-044802 a č. APVT-51-017804, ako aj z projektu VEGA č. 2/5054/25.

Literatúra

Demetracopoulos, A.C., Stefan, H.G. (1983): Transverse mixing in wide and shallow river. Case study. J.Environ. Emgineering ASCE, *109*, No. 3, 685−699.

Fischer, H.B. et al. (1979): Mixing in inland and coastal waters. New York, Acad.Press.

Kališ, J. (1972): Příčné mísení v otevřených tocích. Vodohosp. Čas., 20, č. 5, 535−566.

Lau, Y.L., Krishnappan, B.G. (1977): Transverse dispersion in rectangular channels, J. Hydraul. Div. Proc. Am. Soc., Civ. Eng., 103, 1173−1189.

Luk, G.K.Y., Lau, Y.L., Watt, W.E. (1990): Two-dimensional mixing in rivers with unsteady pollutant source. J. Environ. Eng. ASCE, 116, No. 1.

Okoye, J.K. (1970): Characteristics of transverse mixing in open-channel flows. California Institute of technology, Pasadena, California.

Pekárová, P., Velísková, Y. (1998): Modelovanie kvality vody v povodí Ondavy, VEDA, ÚH SAV, Bratislava.

Říha, J., Daněček, J., Glac, F. (1997): Vliv disperze na průběh koncentrací látek v toku. J. Hydrol. Hydromech., 45, 1-2, 69−80.

Sumer, S.M., Fischer, H.B. (1977): Transverse mixing in partially stratified flow. J. Hydraul. Div., Proc. Am. Soc. Chem. Eng., 103, 587−600.

Velísková, Y., Kohutiar, J. (1992a): K dvojrozmernému modelovaniu disperzie v prirodzených korytách. Vodohosp. Čas., 40, č. 5, 409−424.

Velísková, Y., Kohutiar, J. (1992b): Určenie koeficientov priečneho zmiešavania v širokých plytkých tokoch. Vodohosp. Čas., 40, č. 6, 506−516.

Velísková, Y. (2002): Charakteristiky priečneho zmiešavania v povrchových tokoch. 2. Vplyv geometrických parametrov koryta, strednej rýchlosti prúdenia a trecej rýchlosti. Acta Hydrologica Slovaca, 3, č. 1, 76−80.

Yotsukura, N., Sayre, W.W. (1976): Transverse mixing in natural channels. Water Resour. Res., 12, No. 4, 695−704.

Autor

Ing. Yvetta Velísková, PhD.
Ústav hydrológie SAV
Račiansja 75
831 02 Bratislava 3
Slovenská republika
E-mail: Yvetta.Veliskova@savba.sk

SIMULÁCIA TRANSPORTU KONZERVATÍVNEHO ZNEČISTENIA V POVRCHOVÝCH TOKOCH

Yvetta Velísková

Modely, ktoré sa používajú na simuláciu šírenia znečistenia v toku využívajú buď jednoduchú bilančnú rovnicu aplikovanú na sledovanom úseku toku alebo vo väčšine vychádzajú z riešenia advekčno-difúznej rovnice. Obsahom príspevku je porovnanie výsledkov simulácie šírenia sa znečistenia v toku Ondavy troma numerickými modelmi:

1. *modelom SIRENIE;*
2. *modelom MODI;*
3. *modelom WQMCAL.*

Nasimulované výsledky boli porovnané s meranými hodnotami koncentrácií fosforečnanov v toku. Zdrojom tejto látky bolo vyústenie mestskej kanalizácie zo Svidníka do toku Ondavy.
Z porovnania výsledkov simulácií s meranými hodnotami fosforečnanov v Ondave pod Svidníkom vyplýva, že model WQMCAL a SIRENIE je možné použiť na rýchly, ale hrubý odhad šírenia sa vlny znečistenia v toku. Na detailnejšie zobrazenie možnej situácie na toku v prípade úniku znečistenia je vhodnejší model MODI, ktorý je však aj náročnejší na vstupné údaje.

Kľúčové slová: numerická simulácia, znečistenie, povrchové toky, modelovanie, terénne merania

Simulation of pollution spreading in open channels. *Simulation models of pollution spreading in open channels are based on balance equation applied at a section of channel or they are based on solution to advection-diffusion equation. The paper deals with the comparison of results from three types of transverse-mixing model:*

1. *SIRENIE*
2. *MODI*
3. *WQMCAL.*

The results of simulation were compared with measured values of phosphate concentration along real part of open channel (the Ondava River between Svidník and Stropkov). The results of comparison show that it is possible to use WQMCAL and SIRENIE for prompt, but rough estimate of pollution spreading in channel. However, for more detailed analysis it is better to use MODI, which is more accurate. On the other hand, MODI requires as well as more detailed input data than previous models.

Key words: numerical simulation, pollution, surface water, open channels, field measurement

---

ÚVOD

Vzhľadom na existenciu a rozmiestnenie urbanizovaných oblastí pozdĺž povrchových tokov sa neustále zväčšuje potreba vedieť tieto toky hodnotiť či už z hľadiska kvantitatívneho alebo kvalitatívneho. Z hľadiska kvantitatívneho sú to hlavne povodne, ktoré v poslednom období ohrozujú životy a majetok ľudí sídliacich v okolí tokov. Z hľadiska kvalitatívneho sú to problémy, ktoré vyplývajú z používania povrchových tokov ako recipientov odpadových vôd na jednej stane, no a na druhej mnohé povrchové toky môžu byť zdrojmi úžitkovej vody. V mnohých prípadoch sa ale stávajú dokonca aj zdrojmi pitnej vody alebo majú v svojich príbrežných oblastiach zdroje pitnej vody, ktoré môžu svojou kvalitou ovplyvňovať.
Riešenie kvalitatívnych zmien v povrchových tokoch úzko súvisí s transportom látok v týchto tokoch a s poznaním mechanizmu zmiešavania nesených látok s vodou. Neodmysliteľným prostriedkom riešenia úloh spojených s problémami kvality povrchových vôd je v dnešnej dobe práve matematické a numerické modelovanie.

MOŽNOSTI URČENIA KONCENTRÁCIÍ ZNEČISŤUJÚCICH LÁTOK V TOKU

Modely kvality vody v toku môžeme rozdeliť na:

- modely, ktoré vychádajú z riešenia jednoduchej bilančnej rovnice

- modely postavené na základe analytických riešení advekčno-difúznej rovnice
- modely postavené na základe numerického riešenia advekčno-difúznej rovnice.

Jednoduchá bilančná rovnica

V prípade ustáleného stavu na toku (s konštantným prietokom a koncentráciou nemeniacou sa v čase) sa na výpočet koncentrácie c znečisťujúcej látky v recipiente využíva jednoduchá bilančná rovnica v tvare (Jólankai, 1992):

$$c = \frac{c_o Q_o + c_p Q_p}{Q_o + Q_p} \tag{1}$$

kde: c_o - pôvodná koncentrácia znečisťujúcej látky v recipiente [kg.m^{-3}];
c_p - koncentrácia znečisťujúcej látky [kg.m^{-3}];
Q_o - prietok v recipiente [m^3.s^{-1}];
Q_p - výdatnosť (prietok) znečisťujúcej látky vtekajúcej do toku [m^3.s^{-1}].

Advekčno-difúzna rovnica a jej analytické riešenia

Mnohé modely šírenia znečistenia v toku vychádzajú zo základnej advekčno-difúznej rovnice:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v_x \frac{\partial c}{\partial x} + v_y \frac{\partial c}{\partial y} + v_z \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \in_x \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \in_y \frac{\partial c}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \in_z \frac{\partial c}{\partial z} \pm \alpha . c \pm F , \tag{2}$$

kde: t - čas [s],
$c(x, y, z, t)$ - koncentrácia látky [kg.m^{-3}],
$\in_x , \in_y , \in_z$ - koeficient disperzie v pozdĺžnom, priečnom a vertikálnom smere [m^2.s^{-1}],
v_x , v_y , v_z - stredná profilová rýchlosť prúdenia recipientu [m.s^{-1}],
α - reakčný koeficient (rozpadu, samočistenia) látky [s^{-1}],
$F(x, y, z, t)$ - funkcia, reprezentujúce zdroje znečistenia [kg.m^3.s^{-1}],
x, y, z - priestorová premenná [m].

V ďalšej časti sú uvedené používané analytické riešenia tejto rovnice pre konkrétne podmienky prúdenia a zdroje znečistenia.

Priečna disperzia z kontinuálneho bodového zdroja

Za podmienok, že znečisťujúca látka má konzervatívny charakter, po hĺbke toku je dokonale premiešaná, pri zanedbaní zmien rýchlosti v priečnom smere (pri širokých plytkých tokoch splnené), a za predpokladu, že hĺbka v koryte je konštantná a pozdĺžna disperzia je vzhľadom na advekciu zanedbateľná, možno vzťah (2) pre kontinuálny bodový zdroj znečisťujúcej látky zjednodušiť na tvar:

$$v_x \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\in_y \frac{\partial c}{\partial y} \right). \tag{3}$$

V danom prípade popisuje rovnica (3) šírenie sa znečistenia v priečnom smere v profile nekonečne širokom. Analytické riešenie tejto rovnice pri centrálnom zdroji bodového znečistenia s výdatnosťou M má tvar:

$$c = \frac{M}{2h\left(\pi \in_y v_x x\right)^{1/2}} \; exp\left(- \frac{v_x}{4 \in_y x} y^2 \right), \tag{4}$$

kde M - prítok znečisťujúcej látky [kg.s^{-1}].

V reálnych prípadoch samozrejme nemôžeme uvažovať s nekonečne širokým tokom. Akonáhle znečistenie dosiahne breh, je potrebné do riešenia zahrnúť brehový efekt. V prípade plného brehového efektu a bodového zdroja znečistenia vo vzdialenosti y_o od brehu má analytické riešenie tvar:

$$c = \frac{M}{2h\left(\pi \in_y v_x x\right)^{1/2}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left\{ exp\left[-\frac{v_x}{4 \in_y x}\left(y - y_o + 2nB\right)^2 \right] + exp\left[-\frac{v_x}{4 \in_y x}\left(y + y_o - 2nB\right)^2 \right] \right\}, \tag{5}$$

kde y_o -vzdialenosť zaústenia zdroja znečistenia do toku od brehu $y = 0$ [m].

Toto riešenie vychádza z práce Starosolszkého (1987), ktorý uvádza riešenie pre priečne šírenie znečistenia z kontinuálneho, centrálne umiestneného zdroja. Vychádzajúc z uvedeného riešenia pre centrálny zdroj bola rovnica upravená pre zdroj znečistenia vo vzdialenosti y_o od brehu.

Pozdĺžna disperzia z okamžitého bodového zdroja

V prípade priamych úsekov prirodzených tokov s dostatočným sklonom, ktoré vo väčšine prípadov spĺňajú podmienku širokých plytkých korýt, je pozdĺžna zložka rýchlosti prúdenia v_x v toku rozhodujúca. Zložky rýchlosti v_y a v_z možno zanedbať. Potom za predpokladu konzervatívnosti kontaminantu, jeho dokonalého premiešania v priečnom smere a ustáleného rovnomerného stavu v toku možno rovnicu (2) zjednodušiť na tvar:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \in_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - u\frac{\partial c}{\partial x} \tag{6}$$

kde u - priemerná profilová rýchlosť [m.s^{-1}];

$\in_x$ - koeficient pozdĺžnej disperzie (platný pre celý priečny profil).

Analytické riešenie tejto rovnice pri počiatočnej podmienke $c(x,0) = 0$ (pre $t=0$), okrajovej podmienke $c(0, t) = 0$ (*pre* $x=0$) a pri množstve vstupujúceho bodového znečistenia G má tvar:

$$c = \frac{G}{2A\left(\pi \in_x t\right)^{1/2}} exp\left(-\frac{\left(x - ut\right)^2}{4 \in_x t} \right), \tag{7}$$

kde G - množstvo znečisťujúcej látky v [kg], ktoré sa jednorázovo („okamžite“) dostalo do toku.

Samočistenie

Pre vyjadrenie nekonzervatívnosti látok, ako aj pre zmeny BSK, príp. rozpusteného kyslíka, bol vo svete zostavený celý rad modelov. V praxi sa najviac používajú modely vychádzajúce zo Streeterovej-Phelpsovej rovnice I. rádu:

$$\frac{dc(t)}{dt} = -\alpha . c(t). \tag{8}$$

Za predpokladu ustáleného rovnomerného prúdenia v toku a kontinuálneho zdroja znečistenia rieky v sledovanom úseku pre $c(t)$ platí:

$$c(t) = c_o(t).e^{-\alpha.t} \tag{9}$$

Využitie existujúcich modelov kvality vody je podmienené správnym určením parametrov toku, disperzných koeficientov, ako aj reakčných koeficientov.

Priečna a pozdĺžna disperzia z bodového zdroja znečistenia

Dvojrozmerná forma advekčno-difúznej rovnice s uvážením samočistenia má tvar:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v_x \frac{\partial c}{\partial x} = \in_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \in_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \alpha.c\,, \tag{10}$$

Riešenie rovnice (10) pri plnom zohľadnení brehového efektu pre bodový zdroj znečistenia má tvar (Pekár, Pekárová a Mendel, 1991; Pekárová a Pekár, 1993):

$$c(x,y,t) = \frac{G}{4\pi ht\left(\in_x \in_y\right)^{1/2}}.exp\left[-\frac{(x-v_x t)^2}{4\in_x t}\right].exp(-\alpha.t)\,.$$

$$.\sum_{n=-\infty}^{\infty}\left\{exp\left[-\frac{(y-y_o-2nB)^2}{4\in_y t}\right]+exp\left[-\frac{(y+y_o+2nB)^2}{4\in_y t}\right]\right\}, \tag{11}$$

kde: B - šírka toku,
y_o - vzdialenosť zdroja znečistenia od brehu y=0.

Analytické riešenie rovnice (10) vychádza z prác Starosolszkého (1987) a Jolánkaia (1997).

Numerické modely

Pri každom doteraz spomínanom analytickom riešení advekčno-difúznej rovnice sa uvažovalo s určitými zjednodušujúcimi predpokladmi, príp. s okrajovými podmienkami, ktoré limitovali použitie výsledných analytických riešení.

Je množstvo prípadov, kedy rovnica (2) nemá priame analytické riešenie. Vtedy je vhodné a možné ju riešiť numericky pomocou rôznych numerických metód (napr. diferenčné metódy, metóda konečných prvkov, metóda hraničných prvkov, metóda charakteristík, metóda konečných objemov a pod.). Výsledkom takého postupu je numerický model, ktorý v závislosti na okrajových podmienkach s určitou presnosťou dokáže simulovať prenos znečistenia v toku.

V príspevku sú porovnané výsledky simulácie šírenia sa znečistenia s rovnakými parametrami v rovnakom úseku toku Ondavy troma numerickými modelmi:

4. modelom SIRENIE;
5. modelom MODI;
6. modelom WQMCAL.

Nasimulované výsledky boli porovnané s meranými hodnotami koncentrácií fosforečnanov v toku Ondavy. Zdrojom tejto látky bolo vyústenie mestskej kanalizácie zo Svidníka do toku Ondavy.

Opis modelov

Model SIRENIE je založený na rovniciach (5) a (11). Týmto modelom je možné simulovať priečne šírenie znečistenia do toku z kontinuálneho zdroja i z okamžitého bodového zdroja znečistenia (Mendel a kol. 1992).

Model MODI bol vyvinutý na ÚH SAV autormi Velísková a Kohutiar. Model je založený na numerickom riešení dvojrozmernej formy advekčno-difúznej rovnice (2), ktorá vychádza z predpokladu, že zmiešavanie vo vertikálnom smere je možné zanedbať. Tento predpoklad je platný pre široké plytké toky, v ktorých zmiešavanie v horizontálnom smere prevláda nad vertikálnym, čo je pri väčšine prirodzených tokoch splnené. Model MODI využíva koncept tzv. prúdových trubíc. Tento koncept vychádza z často používanej súradnicovej sústavy Yotsukuru a Sayra (1976), ktorá rozdeľuje tok po šírke na sústavu trubíc nerovnakej šírky, ale s rovnakým prietokom. Model je schopný dvojrozmerne simulovať zmiešavacie procesy v neprizmatických korytách pri ustálenom prúdení. Pri simulácii šírenia látok nekonzervatívneho charakteru na dlhších úsekoch toku je možné zohľadniť vplyv samočistiacich procesov. Zdroje znečisťujúcich látok môžu byť simulované aj s neustáleným výtokom, a situované môžu byť v ľubovoľnom mieste posudzovaného úseku toku. Vstupné údaje modelu MODI pre ľubovoľný úsek akéhokoľvek povrchového toku sú pomerne dostupné. Je to popis posudzovaného úseku toku priečnymi a rýchlostnými profilmi v charakteristických miestach posudzovaného úseku a hodnotami koeficienta priečnej disperzie, príp. reakčného koeficienta. Podrobný opis a východiská modelu MODI sú uvedené v práci Velísková (1995).

Programový balík WQMCAL je založený na jednoduchých analytických riešeniach rovníc redukcie, disperzie a transportu znečistenia. Preto sú výpočty veľmi rýchle a vyžadujú iba základné charakteristiky opisujúce tok (zvyčajne prietoková plocha A, priemerná rýchlosť toku u, šírka toku B, priemerná hĺbka toku h, charakteristiky udávajúce množstvo znečistenia - koncentrácia alebo množstvo znečisťujúcej látky, počiatočná koncentrácia c_o a pod).

POROVNANIE VÝSLEDKOV SIMULÁCIÍ S NAMERANÝMI HODNOTAMI

Terénne experimenty boli vykonávané v rokoch 1990–1993 v experimentálnom povodí Ondavy po nádrž Veľká Domaša. Ich cieľom bolo určenie koeficientov priečnej a pozdĺžnej disperzie, ako aj určenie koeficientov samočistenia pre fosforečnany a dusičnany v toku Ondavy.

Na obr. 1 je znázornená schéma modelovaného úseku - sútok Ondavy s Ladomírkou vo Svidníku, naznačené je vyústenie mestskej kanalizácie, ako aj odberné profily A, B, C. V týchto profiloch bol tok hydrometrovaný a s krokom 1 m boli v zameraných profiloch odoberané vzorky vody (júl 1992). Podrobný opis experimentov možno nájsť v prácach Pekárovej a Pekára (1993), Mendela a Pekárovej (1995) a Pekárovej a Velískovej (1998).

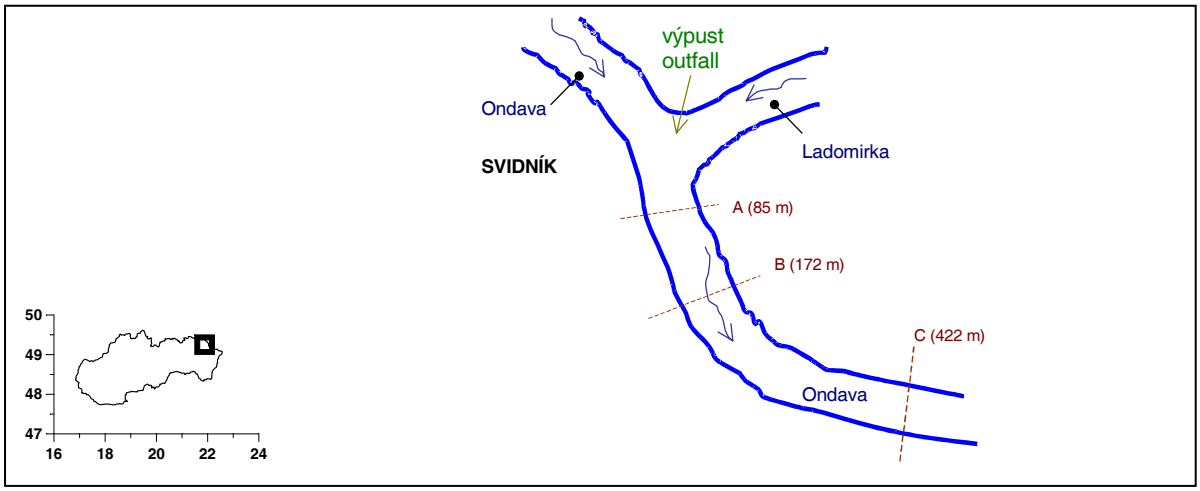
Výsledky experimentálnych meraní v povodí Ondavy boli použité v tejto štúdii na porovnanie s výsledkami už spomínaného modelu SIRENIE založenom na rovnici (5) autora Pekára (Pekár, Pekárová a Mendel., 1991; Pekárová a Pekár, 1993), modelu MODI založenom na numerickom riešení dvojrozmernej formy rovnice (2) (Velísková a Kohutiar, 1992; Velísková, 1995) a programového balíka WQMCAL[1] (Jolánkai, 1997).

Na obr. 2 sú vykreslené nasimulované hodnoty koncentrácií fosforečnanov troma modelmi**,** ako aj merané hodnoty získané počas experimentálnych meraní na toku Ondava.

ZÁVER

Priebehy nasimulovaných koncentrácií fosforečnanov modelmi WQMCAL a SIRENIE môžeme považovať za veľmi tesné, a to hlavne v profile C (x = 422m). Odchýlky v hodnotách vyplývajú z chýb zaokrúhľovania: model WQMCAL neumožňuje zadanie desatinných hodnôt.

[1] Programový balík spracovaný Dr. G. Jolánkaiom, je súčasťou záverečnej správy zhrňujúcej výsledky riešené v rámci Medzinárodného hydrologického programu V. projektu 8.1, ktorá vyšla v roku 1997 pod názvom Basic river water quality models (Technical Documents in Hydrology, No.13). Disketa s programom je súčasťou uvedenej správy.



Obr. 1. Schéma simulovaného úseku toku.
Zaústenie odpadových vôd a odberné profily A, B, C (vzdialenosť odberného profilu od zaústenia mestskej kanalizácie).

Fig. 1. Scheme of simulated stream part.
Outfall of wastewater and sampling profiles A, B, C (distance from outfall of urban sewerage system).

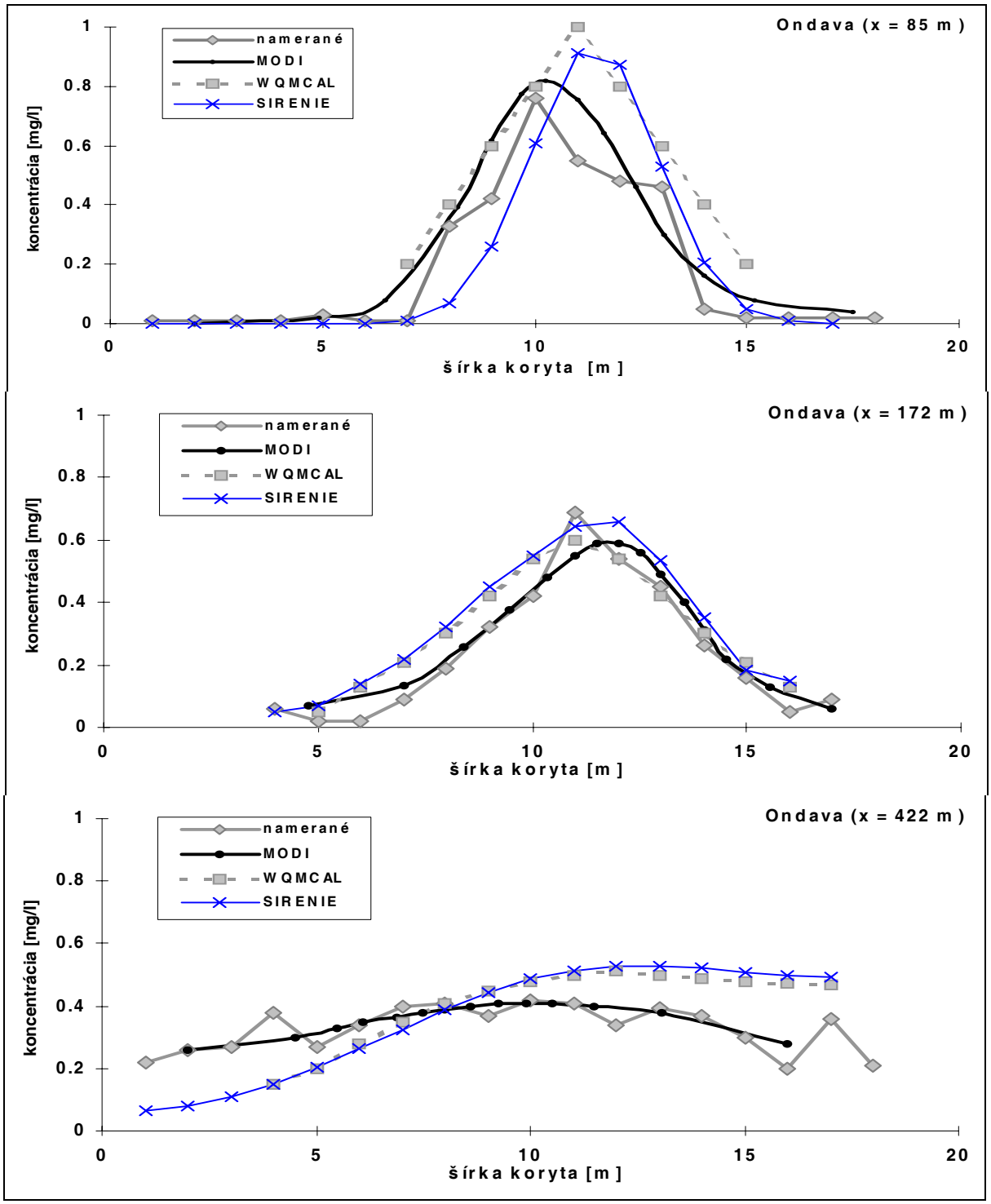
Korešpondovanie výsledkov oboch modelov pravdepodobne vyplýva z toho, že oba tieto modely sú založené na analytických riešeniach diferenciálnych rovníc. Na obr. 2 je možné ďalej pozorovať, že výsledky simulácie priečneho premiešavania v toku pri danom priečnom disperznom koeficiente $0{,}0126 m^2.s^{-1}$ sú posunuté vzhľadom na namerané hodnoty koncentrácií. Toto posunutie sa dá voľne interpretovať v tom zmysle, že reálne premiešavanie znečistenia v toku prebieha, resp. sa deje rýchlejšie ako pri simulovaní tohto deja. Je to pravdepodobne spôsobené tým, že ani jeden z týchto modelov nezohľadňuje rozdelenie rýchlosti po šírke prietočného profilu, čo môže v tomto smere ovplyvňovať výsledky vzhľadom na skutočnosť, že sledovaný úsek vykazuje mierne zakrivenie trasy toku.

Model MODI dosahuje vzhľadom na svoju detailnejšiu štruktúru, hydrodynamický prístup vyžadujúci zadanie morfológie koryta a rýchlostných profilov lepšie výsledky. Jeho zhoda s nameranými hodnotami by sa dala prípadne ešte zlepšiť podrobnejším delením oblasti na jednotlivé výpočtové elementy. Pri riešení konkrétnych úloh týkajúcich sa šírenia znečistenia v povrchových tokoch je táto podrobná simulácia opodstatnená do toho okamihu, než dôjde k úplnému premiešaniu kontaminantu po šírke toku.

Z porovnania výsledkov simulácií s meranými hodnotami fosforečnanov v Ondave pod Svidníkom vyplýva, že model WQMCAL a SIRENIE je možné použiť na rýchly, ale hrubý odhad šírenia sa vlny znečistenia v toku. Je možné ním operatívne simulovať rôzne havarijné situácie na tokoch (úniky rôznych množstiev znečistenia). Na detailnejšie zobrazenie možnej situácie na toku v prípade úniku znečistenia je vhodnejší model MODI, ktorý je však aj náročnejší na vstupné údaje oproti spomínaným dvom.

Výsledky tejto štúdie potvrdzujú nutnosť a opodstatnenosť i naďalej sa zaoberať problematikou simulácie transportu znečistenia v povrchových tokoch, pretože i keď modely simulujú realitu s rôznym stupňom presnosti, nie je možné zanedbať fakt, že pri skutočnej havárii v reálnom toku je možné ich aplikáciou odhadnúť rýchlosť postupu vlny znečistenia a jej šírenie, vytypovať miesta odberov vzoriek vody v toku, ako i miesta pre hydrometrovanie toku. Na druhej strane, výsledky štúdie, a nielen tejto, ale aj napr. štúdie Kosorina a Dulovičovej (Kosorin, Dulovičová, 2000) potvrdzujú, že pri výbere a aplikácii numerických modelov je potrebné poznať ich štruktúru, vedieť z čoho vychádzajú a akým spôsobom riešia daný problém, aby sa dala posúdiť správnosť ich použitia.

Poďakovanie
Spracovanie štúdie bolo podporené Agentúrou na podporu vedy a techniky prostredníctvom finančnej podpory projektu č. APVT-51-006502 a č. APVT-51-017804, ako aj z projektu VEGA č. 2/5054/25.



Obr. 2 Porovnanie nameraného a vypočítaného rozdelenia koncentrácí fosforečnanov v toku Ondavy (profily A, B a C sú rozmiestnené podľa obr.1).

Fig. 2 Comparison of measured values and phosphate concentration distribution acquired from simulations at the Ondava River (the cross-section A, B, C are situated according to fig.1).

Literatúra

Jolánkai, G. (1992): Hydrological, chemical and biological precesses of contaminant transformation and transport in river and lake system. IHP-IV. Technical Documents in Hydrology, UNESCO, Paris, 147 str.

Jolánkai, G. (1997): Basic river water quality models. IHP-V. Technical Documents in Hydrology 13. UNESCO, Paris, 52 str.

Kosorin, K., Dulovičová, R. (2000): K metodickým problémom viacrozmernej počítačovej simulácie pohybu povrchových a podzemných vôd. Acta Hydrologica Slovaca, 1, 217-222.

Mendel, O., Pekár, J., Pekárová, P. (1992): Modelovanie priečneho šírenia sa znečistenia vody v toku rieky. Vodohosp. Čas., 40, 2, 113–134.

Pekár, J., Pekárova, P., Mendel, O. (1991): A model of transverse spreading of water pollution in the river. In "Mathematical Modelling in Engineering", Technical University Praha, 64–66.

Pekárová, P., Mendel, O. (1995): The Influence of Municipal Sewage in the Ondava River. In: Proceedings of the International UNESCO-IHP Workshop "The Role of Water in Urban Planning", Wageningen and Emscher region, March 29. - April 2. 1993, (Ed. Hans van Engen, Dietrich Kampe, Sybrand Tjallingii), Backhuys Publishers, Leiden, 270–274.

Pekárová, P., Pekár, J. (1993): Experimentálne metódy určenia koeficientov matematického modelu pozdĺžnej disperzie a samočistenia. Vodohosp. čas., 41, 6, 398–411.

Pekárová, P., Velísková, Y. (1998): Modelovanie kvality vody v toku Ondavy. VEDA, Bratislava, 254 str.

Starosolszky, Ö. (1987): Applied surface hydrology. WRP. 141–149.

Velísková, Y., Kohutiar, J. (1992): Two-dimensional model of dispersion in natural channel. Vodohosp. Čas. 40, 5, 409–424.

Velísková, Y. (1995): Posudzovanie disperzných vlastností povrchových tokov pri dvojrozmernej idealizácii, KDP, ÚH SAV.

Yotsukura, N., Sayre, W.W. (1976): Transverse mixing in natural channels, WRR, Vol. 12,No. 4, 695–704.

Autor

Ing. Yvetta Velísková, PhD.
Ústav hydrológie SAV
Račiansja 75
831 02 Bratislava 3
Slovenská republika

E-mail: Yvetta.Veliskova@savba.sk

MODELOVÁNÍ HYPODERMICKÉHO ODTOKU

Tomáš Vogel

Hypodermický odtok často vzniká na rozhraní mezi dobře propustnou povrchovou vrstvou půdy a následující méně propustnou půdní vrstvou či horninovým podložím. K tvorbě mělkého nasyceného proudění dochází pouze při vydatných srážkách a má tedy výrazně tranzientní charakter. Odtok může být urychlen přítomností preferenčních cest (např. půdních makropórů). K simulaci proudění ve svahovém segmentu je použita kombinace modelu jednorozměrného vertikálního proměnlivě nasyceného proudění v systému s duální pórovitostí a modelu jednorozměrného nasyceného proudění podél rozhraní mezi půdními vrstvami. Pro vybranou letní sezónu je analyzována shoda simulovaných a měřených odtokových hydrogramů pozorovaných v průběhu významných srážkoodtokových epizod.

Klíčová slova: odtok ze svahu, hypodermický odtok, proudění v proměnlivě nasyceném prostředí, difuzní vlna, kinematická vlna, preferenční proudění, dynamika půdní vody, srážkoodtokové epizody

***Modelling shallow subsurface runoff**. Shallow subsurface runoff usually takes place at the interface of well permeable surface soil layer and less permeable underlying soil or bedrock strata. This type of flow is often encountered in hillslopes of mountain or upland catchments. Normally, it occurs for a short period of time as an immediate response to intense rainfall events. Within the proposed conceptual model, the flow in a hillslope segment can be regarded as superposition of two components: one-dimensional vertical component (combination of variably saturated matrix flow and preferential flow) and one-dimensional downhill component (saturated flow along impervious or semi-pervious soil-bedrock interface). Simulated hillslope runoff is compared with the measured runoff hydrographs observed during major rainfall-runoff episodes of a selected summer season.*

Key words: hillslope runoff, shallow subsurface flow, variably saturated flow, diffusion wave, kinematic wave, preferential flow, soil water dynamics, rainfall-runoff episodes

---

ÚVOD

Exaktní, fyzikálně založený popis proudění ve svahovém segmentu, se všemi přírodními nepravidelnostmi a komplexní mnohoúrovňovou heterogenitou, je s našimi současnými znalostmi prakticky nemožné. Proto se využívají podstatně zjednodušené modelové přístupy a pracovní hypotézy, které vedou k pouze přibližným řešením. Cílem modelování je kvalifikovaná kvantitativní předpověď chování systému (např. v extrémních podmínkách).

Pohyblivost vody, která se zúčastní hypodermického proudění, je určena hydraulickými vlastnostmi pórovitého prostředí nad nepropustným podložím nebo méně propustnou půdní vrstvou. Rychlost proudění může být výrazně zesílena, pokud jsou přítomny spojité preferenční cesty orientované podél svahu. Intenzita proudění do značné míry závisí na gravitačních silách úměrných místnímu sklonu. Avšak, vzhledem k transientnímu charakteru proudění, není zanedbatelný ani vliv tlakových sil, zvláště při vzniku a odeznívání podpovrchové odtokové epizody.

V tomto příspěvku jsou diskutovány dva modely proudění ve svahovém segmentu: (i) dvourozměrný model proudění ve svislém řezu vedeném spádnicí terénu, (ii) zjednodušený model kombinující jednorozměrné vertikální proudění v proměnlivě nasyceném půdním profilu s jednorozměrným nasyceným prouděním po nepropustném nebo málo propustném horninovém podloží nebo rozhraní půdních vrstev (viz obr. 1).

Stručně jsou popsány dva přístupy k modelování jednorozměrného hypodermického odtoku: (i) model difuzní vlny a (ii) model kinematické vlny.

MATERIÁL A METODY

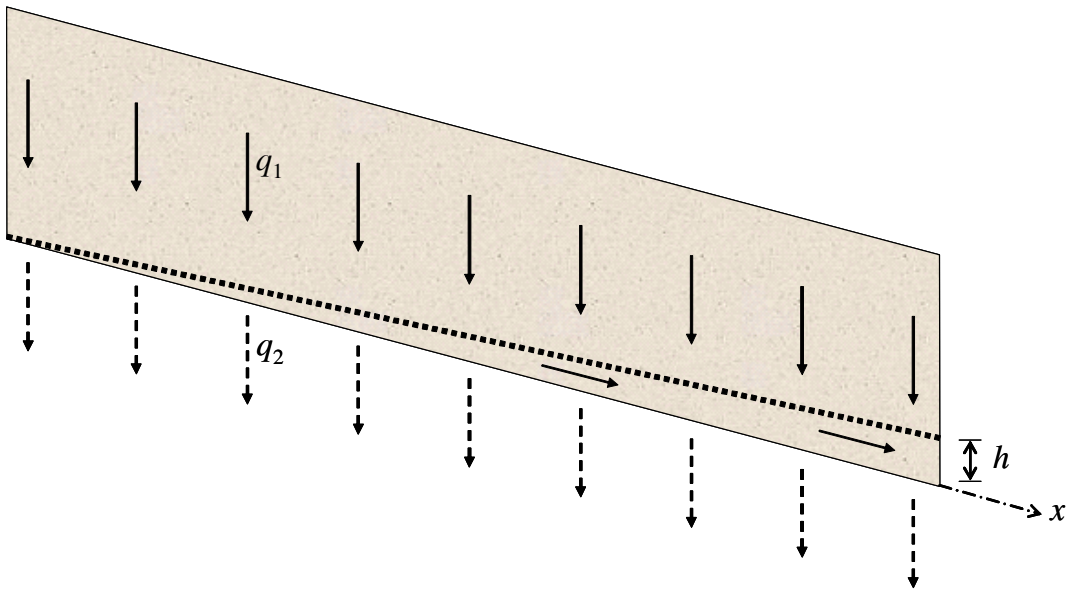
Experimentální lokalita

Ke studiu tvorby podpovrchového odtoku jsou využívána data z experimentálního povodí Uhlířská v Jizerských horách. Výsledky simulací jsou porovnávány s odtokovými hydrogramy pozorovanými na svahové lokalitě Tomšovka.

V povodí Uhlířská jsou dlohodobě monitorovány základní meteorologické a hydrologické veličiny. Povodí spravuje Český hydrometeorologický ústav. Experimentální výzkum zde provádějí také: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M., Stavební fakulta ČVUT, Ústav pro hydrodynamiku AVČR a další instituce.

Plocha povodí je 1.87 km^2, nadmořská výška závěrového profilu 776 m.n.m., průměrná délka svahů 450 m. Půdní profil je mělký a značně heterogenní. Na svazích je převládajícím půdním typem Kambisol na zvětralém žulovém podkladu, ve dně údolí Histosol. V půdě pokrývající svahy povodí Uhlířská byly opakovaně pozorovány projevy preferenčního proudění (Císlerová et al., 2002).

Podpovrchový odtok je měřen nad nejstrmější částí svahu v lokalitě Tomšovka (Šanda et al., 2001). Voda vytékající ze svahu je zachycována v experimentálním příkopu. Sklon svahu nad příkopem je přibližně 14%. Příkop je rozdělěn na dvě samostatné sekce (označené jako A a B) a tři jímací horizonty. Výtok z jednotlivých sekcí a horizontů je měřen odděleně překlopnými průtokoměry. Na svahu jsou monitorovány změny tlaku půdní vody pomocí tenzometrů.



Obr. 1 Proudění ve svahovém segmentu vyvolané přívalovou srážkou. Proudění je rozloženo do vertikální složky (jednrozměrné proudění v proměnlivě nasycené půdě) a složky odvádějící vodu dolů po svahu (jednorozměrné nasycené proudění podél nepropustného nebo polopropustného spodního okraje segmentu). V případě propustného podloží dochází k prosakování vody do hlubších horizontů.

Fig. 1 Flow in a hillslope segment in response to a rainstorm. The flow is decomposed into one-dimensional vertical component (variably saturated soil water movement) and one-dimensional downhill component (saturated flow along the impervious or semipervious lower boundary of the segment). In case of permeable subsoil or bedrock, vertical discharge to deeper horizons occurs.

Model dvourozměrného proudění v proměnlivě nasyceném prostředí

K popisu vertikálního rovinného proudění vody v proměnlivě nasyceném svahovém segmentu je možno použít dvorozměrnou Richardsovu rovnici (např. Freeze & Cherry, 1979):

$$C\frac{\partial h}{\partial t} = \nabla \cdot [\mathbf{K}(\nabla h + \nabla z)] \quad (1)$$

kde h je tlaková výška půdní vody (m), $\mathbf{K}$ je tenzor hydraulické vodivosti (m/s), C je specifická kapacita (1/m), z je vertikální prostorová souřadnice orientovaná kladně směrem vzhůru (m), t je čas (s). Po zavedení vhodných počátečních a okrajových podmínek můžeme pomocí této řídící rovnice simulovat proudění ve svahovém segmentu a vypočítat tak odtokové odezvy svahu na konkrétní srážkové epizody.

V případě, že je proudění v půdním profilu významně urychlováno díky přítomnosti preferenčních cest (např. vlivem makropórů), můžeme v dvourozměrném modelu napodobit přirozenou variabilitu pórovitého prostředeí prostorovou variabilitou hydraulických vlastností prostředí. Nejjednodušším variantou této metody je použití náhodně nebo deterministicky generovaného pole hydraulických vodivostí. Pomocí tohoto pole se vytvoří v oblasti proudění zóny zvýšené vodivosti, které v modelu zastupují preferenční cesty. Fyzikálně realističtější alternativou je nahrazení jednodoménového popisu proudění dvoudoménovým (Vogel et al., 2000). Proudění pak může být popsáno dvojicí řídících rovnic, zvlášť pro doménu půdní matrice a zvlášť pro doménu preferenčního proudění. Proudění tak probíhá ve dvou paralelních, vzájemně komunikujících doménách. Komunikace je zajištěna pomocí společného přenosového členu v řídících rovnicích proudění.

Detailní simulace dynamiky půdní vody ve svahovém půdním profilu pomocí dvourozměrného modelu klade, bez ohledu na přítomnost či nepřítomnost preferenčního proudění, značné nároky na výpočetní prostředky použité k numerickému řešení řídící rovnice proudění. Pro svahy delší než několik desítek metrů tyto nároky stále ještě přesahují současné možnosti běžných osobních počítačů.

Model difuzní vlny

Teto model je založen na kombinaci jednorozměrného vertikálního proudění s jednorozměrným hypodermickým odtokem. Při dostatečně vydatném dešti voda infiltruje půdním profilem verikálně až k nepropustnému podloží (nebo k hornímu okraji méně propustné půdní vrstvy), kde se postupně vytváří nasycená oblast. V této oblasti voda proudí ve směru určeném lokálním sklonem spodního okraje nasycené oblasti (ten se obvykle příliš neliší od sklonu terénu). Proměnlivě nasycené vertikální proudění je dobře popsáno jednorozměrnou Richardsovou rovnicí, zatímco hypodermický odtok můžeme aproximovat jednorozměrnou rovnicí difuzní vlny.

Kombinací Darcyho zákona s Dupuitovým předpokladem hydrostatického rozdělení tlaku po výšce nasycené oblasti proudění získáme:

$$Q = -Kh\left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{dz}{dx}\right) \quad (2)$$

kde Q je lokální specifický průtok jednotkovou šířkou svahu (m^2/s), h je hloubka hypodermického proudu, tj. vertiální rozsah nasycené oblasti proudění (m), K je efektivní nasycená hydraulická vodivost (m/s), dz/dx je lokální sklon svahu (-).

Rovnici kontinuity pro hypodermické proudění můžeme napsat ve tvaru:

$$\Theta\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = R \quad (3)$$

kde Θ je efektivní pórovitost (m^3/m^3), R je intenzita vertikálního přítoku srážkové vody na jednotkovou šířku a jednotkovou délku svahu (m/s).

Dosazením specifického průtoku do rovnice kontinuity získáme rovnici s jedinou závisle proměnnou *h*:

$$\Theta \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x}\left(Kh\left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{dz}{dx} \right) \right) = R \qquad R = q_1 - q_2 \qquad (4)$$

což je rovnice difuzní vlny (Zároveň je zřejmé, že tato rovnice je obdobou jednorozměrné Boussinesqovy rovnice).

Model kinematické vlny

Na model kinematické vlny můžeme nahlížet jako na zvláštní případ obecnějšího modelu difuzní vlny. Přístup založený na principu kinematické vlny je použitelný za předpokladu, že gravitační síly dominují nad silou tlakového gradientu.V takovém případě může být tlakový gradient zanedbán, tj.: $\partial h/\partial x = 0$. Pro hypodermický odtok pak dostáváme:

$$Q = -Kh\frac{dz}{dx} \qquad (5)$$

Tato rovnice zprostředkuje jednoznačný funkční vztah mezi odtokem a hloubkou hypodermického proudu. Funkci $Q(h)$ můžeme využít k náhradě časové derivace h v rovnici kontinuity za časovou derivaci Q:

$$\Theta \frac{dh}{dQ}\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = R \qquad (6)$$

tj.:

$$\frac{1}{c}\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = R \qquad (7)$$

což je rovnice kinematické vlny. V této rovnici je c rychlost postupu kinematické vlny, často označovaná jako kinematická celerita. V případě hypodermického proudění je celerita definována výrazem:

$$c = \frac{1}{\Theta}\frac{dQ}{dh} = -\frac{K}{\Theta}\frac{dz}{dx} = \frac{K}{\Theta}\sin\alpha \qquad (8)$$

kde α je úhel sklonu svahu. Celerita představuje rychlost postupu libovolné změny proudění, jako je náhlá změna průtoku, dále po proudu. Je zřejmé, že pro hypodermický odtok platí jednoduchý vztah mezi kinematickou celeritou a rychlostí proudění:

$$c = \frac{v}{\Theta} \qquad (9)$$

kde $v = Q/h$ je průměrná rychlost proudění. V jednoduchých případech může být rovnice kinematické vlny řešena analyticky (např. pro konstantní hodnoty K, Θ, α a R). Ve složitějších případech je třeba použít numerické řešení.

Pro velmi krátké svahy může být hypodermický odtok přibližně určen ze vztahu:

$$Q \approx R\,L \tag{10}$$

kde L je přispívající delka svahu (m). Tento vztah platí přesně pro ustálené proudění.

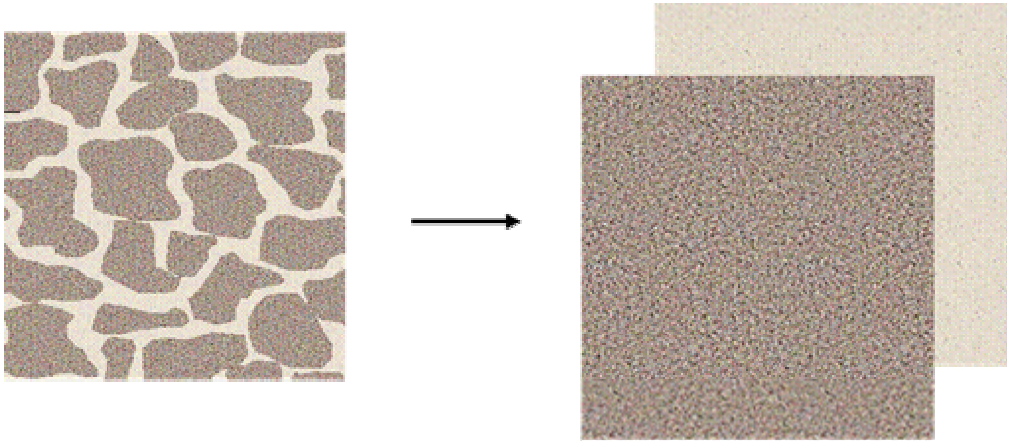
Použití modelu kinematické vlny při modelování podpovrchového odtoku diskutuje např. Beven (2001). Algoritmy pro řešení rovnic difuzní a kinematické vlny jsou zahrnuty do numerického modelu HYPO (Vogel, 2002).

Model preferenčního proudění – princip duálního kontinua

Preferenční proudění může významně urychlit hypodermický odtok. Často je efektivní hydraulická vodivost K, vystupující v rovnici difuzní vlny, určena právě vodivostí sítě preferenčních cest. Příspěvek vodivosti půdní matrice bývá menší nebo dokonce zanedbatelný. Preferenční cesty urychlují také vertikální pohyb vody v půdním profilu, reprezentovaný v rovnici difuzní vlny intenzitou vertikálního přítoku R.

Intenzitu přítoku R můžeme určit pomocí modelu vertikálního pohybu vody v proměnlivě nasyceném půdním profilu, tj. numerickým řešením jednorozměrné Richardsovy rovnice. Je-li podstatná část přítoku způsobena preferenčním prouděním, musí být tato řídící rovnice doplněna ještě rovnicí popisující proudění v síti preferenčních cest.

Poměrně jednoduchý model paralelního proudění vody v půdní matrici a v síti preferenčních cest vznikne aplikací metody duálního kontinua, která bývá také označována jako metoda duální pórovitosti (Gerke & van Genuchten, 1993) nebo duální propustnosti.



Obr. 2 Princip duálního kontinua – vnitřně strukturované pórovité prostředí je nahrazeno dvěma doménami proudění: doménou půdní matrice a doménou preferenčního proudění.

Fig. 2 Dual-continuum approach – internally structured porous medium is decomposed into two flow domains: the matrix domain and the preferential flow domain.

Princip duálního kontinua vychází z představy, že proudění vody probíhá ve dvou paralelních doménách: doméně půdní matrice a doméně preferenčního proudění (viz obr. 2). Proudění v každé z obou domén je popsáno Richardsovou rovnicí. Obě rovnice jsou vzájemně propojeny prostřednictvím přenosového členu, který umožňuje dynamickou výměnu vody mezi doménou preferenčního proudění a půdní matricí. V případě jednorozměrného proudění nabývá dvojice řídících rovnic následujícího tvaru:

$$w_f C_f \frac{\partial h_f}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(w_f K_f \left(\frac{\partial h_f}{\partial z} + 1 \right) \right) - w_f S_f - \alpha_w (h_f - h_m)$$
$$w_m C_m \frac{\partial h_m}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(w_m K_m \left(\frac{\partial h_m}{\partial z} + 1 \right) \right) - w_m S_m + \alpha_w (h_f - h_m) \quad (11)$$

kde m je index označující doménu půdní matrice, f je index označující doménu preferenčního proudění, h je tlaková výška (m), K je nenasycená hydraulická vodivost (m/s), C je diferenciální kapacita půdní vody (1/m), S je lokální intenzita kořenové extrakce (1/s), α_w je přenosový koeficient (1/s/m), w_m a w_f jsou objemové podíly příslušných domén.

K simulaci jednorozměrného proudění v proměnlivě nasyceném pórovitém prostředí je použit model S1D DUAL. Tento model je rozšířenou verzí modelu HYDRUS 5 (Vogel et al., 1996). Model S1D DUAL umožňuje výpočet proudění a transportu látek v pórovitém prostředí s preferenčními cestami.

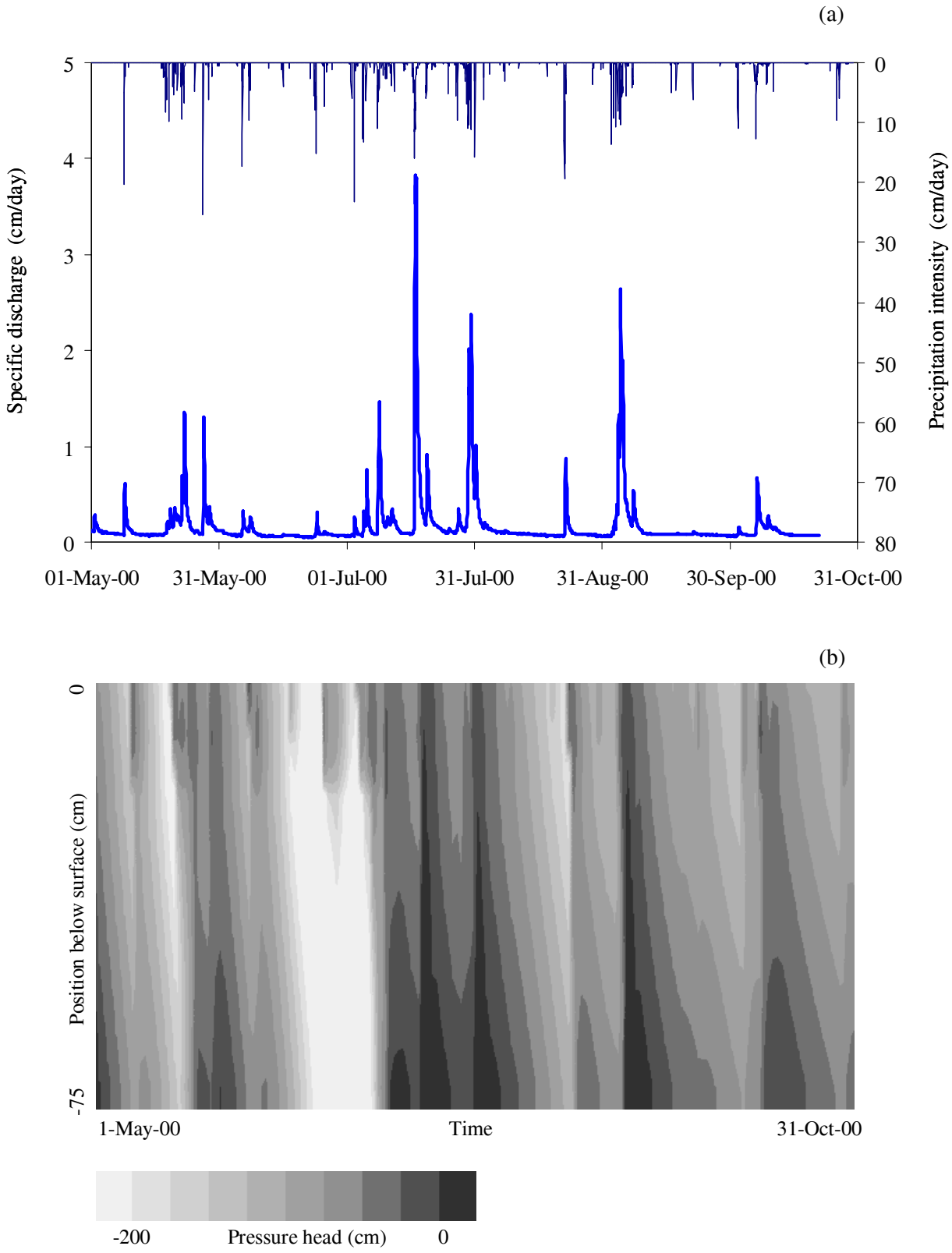
Simulace hypodermického proudění

Simulace hypodermického odtoku pomocí modelu difuzní nebo kinematické vlny probíhá ve dvou krocích. V prvním kroku se simuluje vertikální proudění v půdnm profilu pomocí modelu S1D DUAL. Předpokládá se, že voda vytékající ze spodního okraje domény půdní matrice prosakuje dále do hlubších horizontů (q_2 v obr. 1), zatímco výtok z domény preferenčního proudění přispívá k hypodermickému odtoku (q_1 - q_2 v obr. 1). Ve druhém kroku se simuluje vlastní hypodermický odtok pomocí modelu HYPO.

VÝSLEDKY A DISKUSE

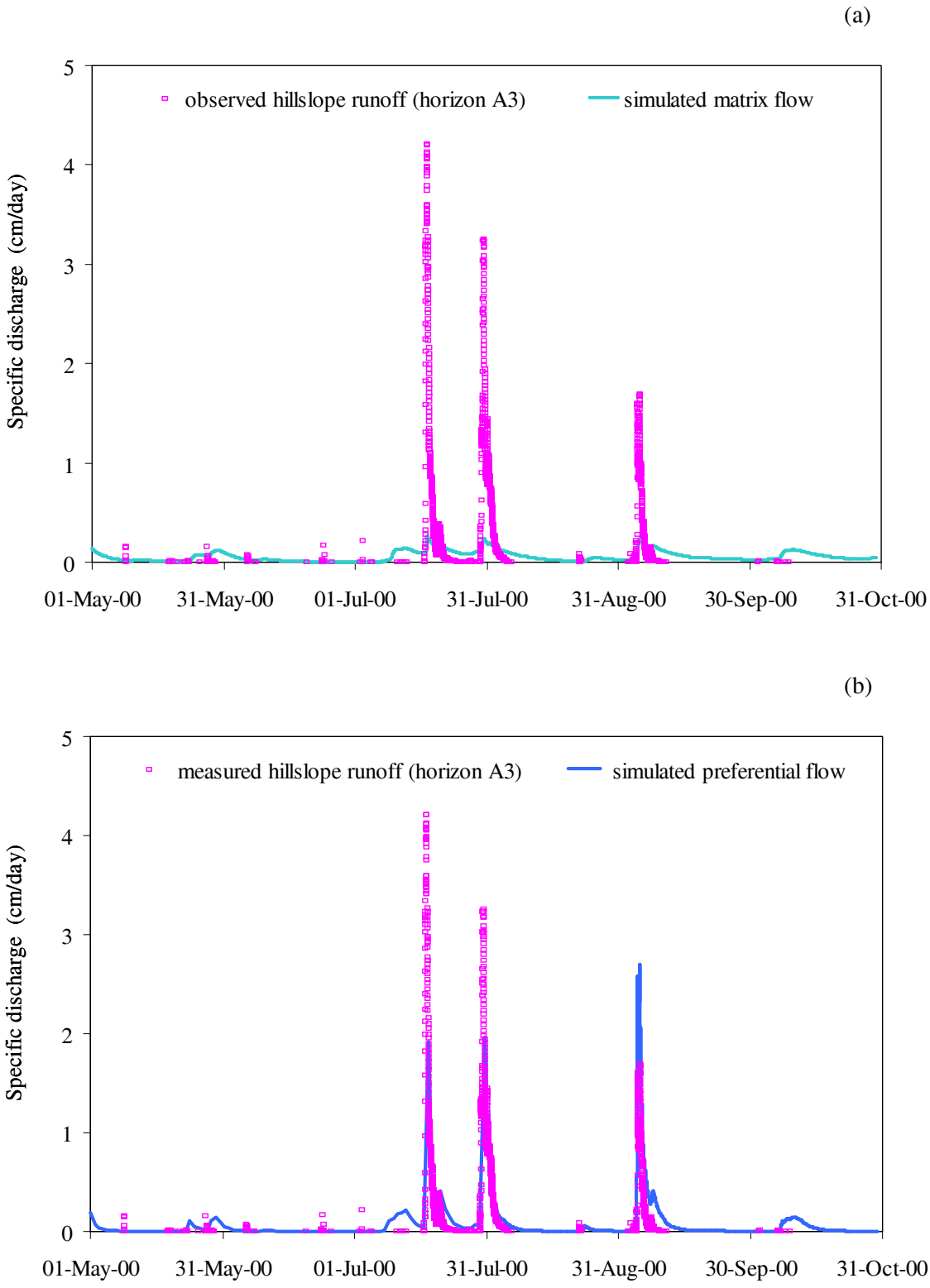
Popsaný model proudění je použit k simulaci tvorby podpovrchového odtoku na povodí Uhlířská. Srovnání výsledků simulací s měřenými hydrogramy je provedeno pro letní sezónu roku 2000. Obr. 3b ukazuje simulovanou odezvu půdního profilu vyvolanou sérií srážkoodtokovýchvých událostí (viz obr. 3a). Časoprostorové rozdělení tlaku půdní vody ukazuje zřetelně ohraničené epizody nasyceného podpovrchového odtoku. Simulovaný vývoj tlaku se vcelku dobře shoduje s pozorovaným průběhem tlaků zaznamenaným tenzometry umístěnými v blízkosti experimentálního příkopu (srovnání zde není prezentováno).

V obr. 4 jsou porovnávány simulované výtoky z půdní matrice a z domény preferenčního proudění s měřenými přítoky do experimentálního příkopu. Přítok do příkopu v litrech za časovou jednotku je převeden na specifický přítok v centimetrech za časovou jednotku. Při převodu se předpokládalo rovnoměrné rozdělení přítoku podél jímací stěny příkopu a přispívající délka svahu nad příkopem byla odhadnuta na 25 m. Z obrázku je zřejmé, že reakci půdního profilu na srážky nelze vysvětlit na základě simulace proudění v samotné půdní matrici bez uvážení preferenčních cest. Přiměřené shody s měřením je dosaženo teprve přidáním výtoku z domény preferenčního proudění. Zbývající rozdíly mohou být vysvětleny především nedostatkem informací o hydraulických vlastnostech sítě preferenčních cest a její značnou prostorovou variabilitou.



Obr. 3 Dynamika půdní vody v povodí Uhlířská: (a) pozorované srážky a odtokový hydrogram v závěrovém profilu povodí, (b) simulovaný časoprostorový vývoj tlaku půdní vody.

Fig. 3 Soil water dynamics in Uhlířská catchment: (a) observed precipitation and streamflow hydrograph at the catchment outlet, (b) simulated space-time development of soil water pressure.



Obr. 4 Porovnání pozorovaných a simulovaných výtoků ze svahu: (a) výtok z půdní matrice, (b) výtok z domény preferenčního proudění.

Fig. 4 Comparison of observed and simulated hillslope discharges: (a) soil matrix discharge, (b) discharge from preferential flow domain.

ZÁVĚR

Byl vyvinut zjednodušený model hypodermického odtoku ze svahového segmentu. Model umožňuje simulovat mechanismus tvorby podpovrchového odtoku a bere v úvahu urychlující účinek preferenčních cest. Model byl testován na reálných datech. Výsledky simulací jsou porovnávány s pozorovanými hydrogramy podpovrchového odtoku. Srovnání potvrzuje zásadní význam preferenčního proudění při tvorbě podpovrchového odtoku v dané lokalitě. Přes poměrně významné rozdíly mezi simulovanými a měřenými průběhy odtoku (rozdíly jsou hlavně ve velikosti kulminačních odtoků) můžeme konstatovat, že model v mnoha ohledech úspěšne napodobuje chování reálného systému.

Poděkování

Výzkum je financován z prostředků Grantové agentury ČR (č. grantu: 205/05/2312) a institucionální podpory výzkumných záměrů FSv ČVUT poskytované Ministrstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR (č. VZ: MSM 6840770002).

Literatura

Beven, K. (2001): Rainfall-Runoff Modelling: The Primer, John Wiley, Chichester.

Císlerová, M., T. Vogel, J. Votrubova, A. Robovska (2002): Searching Below Thresholds: Tracing the Origins of Preferential Flow Within Undisturbed Soil Samples, 265-274, Geophysical Monograph Series Volume 129, Water, Mass and Energy Transfer in the Biosfere, Edited by P.A.C. Raats, D.E. Smiles, and A. Warrick, AGU, Washington DC.

Freeze, R. A., and J.A. Cherry (1979): Groundwater, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J..

Gerke H. H. and van Genuchten, M. Th. (1993): A dual-porosity model for simulating the preferential movement of water and solutes in structured porous media. Water Resour. Res., 29(2), 305–319, AGU.

Šanda, M., P. Tachecí, A. Kulasová, (2001): Zajištění provozu tenzometrů, sběrných příkopů a lyzimetrů v experimentálních povodích, Progeo s.r.o., VÚV T.G.M., ČHMÚ, Výzkumná zpráva, Praha.

Vogel, T., Huang, K., Zhang, R. and van Genuchten, M.Th., (1996): The HYDRUS code for simulating One-Dimensional Water Flow, Solute Transport, and Heat Movement in Variably-Saturated Media, Version 5.0, Research Report No. 140, U.S. Salinity Lab., ARS, USDA, Riverside, CA.

Vogel, T, Gerke, H. H., Zhang, R. and van Genuchten, M. Th. (2000): Modeling flow and transport in a two-dimensional dual-permeability system with spatially variable hydraulic properties, J. Hydrol., 238, 78-89, Elsevier.

Vogel, T. (2002): One-dimensional saturated subsurface flow code HYPO (unpublished software documentation).

Autor

Tomáš Vogel, Fakulta stavební ČVUT, Katedra hydrauliky a hydrologie, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, vogel@fsv.cvut.cz.

MODERNÝ MONITORING HYDROMETEOROLOGICKÝCH PROCESOV

Blaškovičová L., Magulová R.
Metodika pre hydromorfologické hodnotenie kvality povrchových vôd ako súčasť monitoringu povrchových vôd, ukážka hodnotenia v povodí horného Váhu.....239

Daňhelka J., Řičicová P.
Vyhodnocení sněhových zásob a odtoku z tání v březnu roku 2005 v ČR..... 249

Fendeková M., Némethy P.
Analýza dopadu využívania vodárenských zdrojov Podzámčok a Dobrá Niva na kvantitatívny stav útvarov povrchových a podzemných vôd..... 256

Kocman T., Kožnárek Z.
Nové směry v oblasti hydrologické přístrojové techniky 267

Kulhavý Z., Burešová Z.,Čmelík M., Doležal F., Fučík P., Kvítek T., Peterková J., Pilná E., Soukup M., Tippl M.
Monitoring vlivu využití území a odvodňovacích systémů na hydrologii a jakost vody v malých zemědělských povodích.....272

Lichner Ľ., Holko L., Kostka Z., Píš V.
Systém na monitorovanie európskych vôd SEWING a jeho využitie v hydrológii 280

Nagy V., Štekauerová V.
Použitie nových metód merania vlhkosti pôdy za účelom optimalizácie vodného režimu pôd.....285

Nižnanská Z., Lichner Ľ., Šír M., Tesař M.
Vplyv biologických faktorov na infiltráciu vody do pôdy 293

Šálek M., Novák P.
Využití meteorologických radiolokátorů pro odhad a nowcasting srážek v ČHMÚ..... 298

METODIKA PRE HYDROMORFOLOGICKÉ HODNOTENIE KVALITY POVRCHOVÝCH VÔD AKO SÚČASŤ MONITORINGU POVRCHOVÝCH VÔD, UKÁŽKA HODNOTENIA V POVODÍ HORNÉHO VÁHU

Lotta Blaškovičová, Renáta Magulová

Ciele Rámcovej smernice o vodách (RSV - Smernica 2000/60/ES Európskeho parlamentu a rady z 23.10.2000) zahŕňajú sledovanie ekologického stavu povrchových vôd, vrátane hydromorfologických podmienok. Na tento účel bola vypracovaná metodika hydromorfologického mapovania a hodnotenia povrchových vôd pre Slovensko.

Metodika bola vytvorená v rámci Twinning-Light projektu financovaného EK v spolupráci SHMÚ s dánskymi partnermi, pričom vychádzala z konceptu navrhnutého pracovníkmi Geografického ústavu SAV (Lehotský, Grešková, 2003). Metodika tiež zohľadňuje európsku normu EN 14614 Kvalita vody – Návod na hodnotenie hydromorfologických vlastností tokov (v SR je STN EN 14614 v tlači).

Podľa spomínanej metodiky monitorovania hydromorfologických podmienok sa hodnotia pôdorysné vlastnosti toku (pôdorysný tvar toku, kľukatosť, skrátenie toku), vlastnosti brehov a dna toku (dnové prvky, dnový substrát, variácia v šírke, opevnenie brehov, typy prúdenia), svahová a príbrežná zóna a inundačné územie (laterálna spojitosť, vegetácia) a hydrologický režim. Jednotlivým parametrom sú priraďované body v závislosti od stupňa odchýlky reálneho stavu od stavu prirodzeného, z ktorého sa nakoniec vypočíta výsledné skóre. Na základe výsledkov hodnotenia sa následne zaraďujú vodné útvary do piatich tried kvality.

Na Slovensku sa začalo robiť hydromorfologické hodnotenie v miestach odberov monitoringu kvality povrchových vôd a na referenčných lokalitách, aby bolo možné analyzovať vzťahy medzi hydromorfologickými a biologickými prvkami kvality tokov, ktoré sú potrebné pre vývoj klasifikačnej schémy pre hodnotenie vôd. Referenčné lokality by mali odpovedať nenarušenému prirodzenému stavu, alebo sú len minimálne ovplyvnené. V ďalšej fáze sa v súčinnosti s metodikou bude vykonávať hydromorfologický prieskum vo vybraných lokalitách jednotlivých vodných útvarov.

V príspevku sa prezentujú výsledky hydromorfologického hodnotenia v časti povodia Váhu (horný Váh). Sieť odberových miest pre kvalitu vody sa vo veľkej časti nachádza v ovplyvnených lokalitách (pod zaústením odpadových vôd, v ústiach významných tokov), často priamo v obciach, preto je vo výsledkoch hydromorfologického hodnotenia zrejmé silné ovplyvnenie ľudskou činnosťou a umelými úpravami. Referenčné lokality reprezentujú najmenej ovplyvnené oblasti, čo sa prejavuje na výslednom skóre.

Kľúčové slová: hydromorfológia, , pôdorys koryta, tok, brehy, pririečna zóna, inundačné územie, hydrológia

Methodology for hydromorphological assessment of surface water quality as an integral part of the monitoring of surface water; sample of the assessment in the catchment of Upper Váh

The objectives of Water Frame Directive cover the monitoring of ecological status of surface water including hydromorphological conditions. For this purpose the methodology of hydromorphological mapping and assessment of surface water in Slovakia has been developed.

The methodology has been created in cooperation of SHMI with Danish colleagues in the frame of Twinning-Light project supported by the European Commission. The methodology is based on the draft designed by Lehotský and Grešková (2003). Methodology is also in accordance with European Standard EN 14614:2004 Water quality – Guidance standard for assessing the hydromorphological features of rivers.

According to this protocol of monitoring of hydromorphological conditions the following features of rivers are evaluated: channel form (sinuosity, channel type, channel shortening), bank and bed characteristics (bed elements, river bed substrate, variation in width, bank stabilization, flow types), bank and riparian zone and floodplain area (lateral connectivity, vegetation) and hydrological regime. Each parameter is assigned a score from 1 to 5, with 1 indicating the 'best' state and 5 indicating the 'worst' state, compared to natural, historical status. According to final score the water bodies are classified into the five quality classes. .

The hydromorphological assessment in Slovakia has been started at the sampling sites for water quality and at reference localities to enable the analysis of relations between hydromorphological and biological elements of river quality, needed for development of scheme of classification for water assessment. The reference localities should correspond with undisturbed natural status or are affected just minimally. In next stage according to the protocol the hydromorphological assessment will be provided in selected localities of particular water bodies.

In the article the results of hydromorphological assessment in the catchment of Upper Váh are presented. The water quality sampling site network is in greater part situated in influenced localities (under the waste waters mouth, in mouths of significant rivers), often in cities, therefore the results of this hydromorpho-

logical assessment show significant human influence and artificial changes. Reference localities represent the minimum affected areas, what is reflected by good final score.

Key words: hydromorphology, channel planform, in.stream parameters, bank, riparian zone, floodplain, hydrology

---

PROTOKOL MAPOVANIA HYDROMORFOLOGICKEJ KVALITY TOKOV PRE SLOVENSKÚ REPUBLIKU

Mapovanie a hodnotenie hydromorfologickej kvality tokov vyplynulo z Rámcovej smernice o vodách. Protokol mapovania hydromorfologickej kvality pre Slovenskú republiku je založený na koncepte pre Slovenskú republiku vytvorený RNDr. M. Lehotským, CSc. a RNDr. A. Greškovou, CSc. (2003) a na metodológii aplikovanej v Nemecku - LAWA. Podrobná metodika a protokol bol vypracovaný v spolupráci pracovníkov SHMÚ a odborníkov z Dánska (NERI) v rámci projektu Twinning light Project No. TLP 01 – 29 , SR 0110 01 01 0009.

Metodika obsahuje návod na výber prieskumného miesta, popis pracovného postupu v teréne, bodovací systém na vyhodnocovanie, ako aj návod na školenie a certifikáciu. Metodika je v súčinnosti s európskou normou EN 14614:2004 Water quality – Guidance standard for assessing the hydromorphological features of rivers, ktorá bola prevzatá na Slovensku ako STN EN 14614:2005 Kvalita vody - Návod na hodnotenie hydromorfologických vlastností tokov.

Samotné hydromorfologické hodnotenie pozostáva z piatich krokov:

1. Zber údajov

- podkladové údaje potrebné k hodnoteniu, ako vodohospodárske mapy, historické mapy, geologické mapy, letecké fotografie, GIS vrstvy, údaje o užívaní vody a manipuláciách na toku atď.

2. Určenie prieskumných jednotiek (SU) na jednotlivých tokoch (vodných útvaroch)

Výber miest na tokoch pre hydromorfologické hodnotenie sa má robiť tak, aby bola prieskumná jednotka reprezentatívna z hľadiska morfológie koryta, využívania pôdy, geológie a geomorfológie.
Prieskumná jednotka sa ďalej člení na 5 rovnako dlhých sub-jednotiek (SSU), v ktorých sa vyhodnocujú parametre toku, dna brehov a priľahlej nivy pre oba brehy.
Dĺžka prieskumnej jednotky závisí od šírky toku v mieste prieskumu. Pre účely hydromorfológie sa toky rozdeľujú do troch skupín podľa šírky toku v hladine:

A) Malé - šírka < 10 m
B) Stredné – šírka 10 – 30 m
C) Veľké - šírka > 30m

Pre malé toky je dĺžka prieskumnej jednotky 200 m, pre stredné je 500 m a pre veľké je 1000 m.

3. Vyhodnotenie mapových parametrov

Pred samotným terénnym prieskumom sa vyhodnotia údaje dostupné z mapových a digitálnych podkladov, ako aj údaje z databáz (pôdorysný tvar toku, typ koryta, porovnanie s historickým stavom, vzdialenosť od prameňa, plocha povodia k danému profilu, nadmorská výška, sklon toku, využitie pôdy, hydrologické charakteristiky, údaje o využívaní vody v toku a pod).

4. Terénny prieskum

Terénny prieskum sa má vykonávať na miestach, ktoré sa vybrali pomocou mapových podkladov (krok 2). Výnimky sa robia iba v prípade, ak sa v teréne zistí, že v zvolenom mieste nie je možný prístup k vode, resp. k brehom toku, alebo je značne obmedzený. V teréne sa hodnotia jednotlivé parametre a overujú sa charakteristiky určené z mapových podkladov. Hodnotenie sa priamo v teréne zapisuje do protokolu. Terénny prieskum sa má robiť pochôdzkou pozdĺž toku a brodením v toku v hodnotenej prieskumnej jednotke. Pri väčších tokoch sa môže na prieskum použiť aj čln.
Hydromorfologický prieskum sa odporúča vykonávať vo vegetačnom období od júna do septembra v čase malých prietokov.

5. Vyhodnotenie a prezentovanie výsledkov

Hodnotenie sa zaznamenáva do sprievodného protokolu a do vyhodnocovacieho protokolu.

Sprievodný protokol obsahuje základné identifikačné údaje o prieskumnej jednotke, informačné údaje o toku, povodí, pririečnej zóne a inundačnom území.

Vo vyhodnocovacom protokole sa hodnotené parametre členia do štyroch, resp. piatich kategórií: tvar koryta, vlastnosti toku, brehová a pririečna zóna a parametre inundačného územia. Piatou kategóriou je hodnotenie hydrologického režimu; táto kategória sa hodnotí samostatne. Zoznam parametrov v sprievodnom a vo vyhodnocovacom protokole je uvedený v tabuľkách 1 a 2.

Každému parametru sa priradí skóre od 1 do 5, kde 1 označuje najlepší stav, t.j. stav najbližší prirodzenému, historickému stavu a 5 označuje najhorší stav, t.j. stav silno ovplyvnený zásahom človeka, s málo prírodnými vlastnosťami. Skóre pre každý parameter sa priemeruje za prieskumnú jednotku (ak sa hodnotenie vykonáva na úrovni SSU) a hodnoty parametrov SU v rámci každej zo štyroch kategórií sa priemerujú, aby sa získalo skóre pre kategóriu SU. Výsledné morfologické skóre je tvorené priemerom hodnôt morfologických kategórií (1 – 4). Výsledné morfologické a hydrologické skóre sa použijú na určenie morfologických a hydrologických tried kvality. Hodnotenie kvality je v súlade s Európskou normou a Rámcovou smernicou o vodách navrhnuté do 5 tried kvality (tabuľka 3 – Triedy hydromorfologickej kvality).

Tab. 1 Parametre zahrnuté v sprievodnom protokole

Tab. 1 Parameters included in the site protocol

Parameter	Popis / zdroj informácie
1 IDENTIFIKÁCIA	
1.1 Názov toku	Názov
1.2 Názov miesta	Názov
1.3 Riečny kilometer	Číslo
1.4 Číslo toku / miesta	Číslo
1.5 Názov riečneho systému	Názov
1.6 Číslo mapy	Číslo
1.7 Rád toku	Číslo
1.8 Zemepisná šírka	Súradnica
1.9 Zemepisná dĺžka	Súradnica
1.10 Nadmorská výška (m n.m.)	Číslo
1.11 Typ toku podľa šírky	Typ
1.12 Riečny typ (WFD)	Typ
1.13 Nákres / foto	Obrázok
1.14 Prieskum vykonal	Meno
1.15 Číslo certifikátu	Číslo
1.16 Dátum prieskumu	Dátum
1.17 Využitie toku	Typ
2 PARAMETRE KORYTA A MIESTA	
2.1 Plocha povodia	Mapa alebo GIS
2.2 Vzdialenosť ku prameňu	Mapa alebo GIS
2.3 Priemerný sklon koryta	GIS alebo mapa
2.4 Typ priečneho profilu koryta	Typ
2.5 Stabilizácia brehov	Terénny prieskum / Typ
2.6 Rozmery priečneho profilu	Terénny prieskum
2.7 Hĺbka / variácia hĺbky	Číslo / Typ
2.8 Množstvo makrofytov	Typ
2.9 Pôdorys koryta (súčasný)	Typ
2.10 Typ údolia	Typ
2.11 Prítomnosť migračných bariér	Terénny prieskum / znalosť experta

3 PRIRIEČNA ZÓNA A INUNDAČNÉ ÚZEMIE	
3.1 Nepôvodná vegetácia v 20m pririečnej zóne	Terénny prieskum / Typ
3.2 Prevládajúce využitie pôdy v inundačnom území	Terénny prieskum
4 CHARAKTERISTIKY POVODIA	
4.1 Prevládajúca geológia	Mapa alebo GIS
4.2 Prevládajúci typ pôdy	Mapa alebo GIS
4.3 Prevládajúce využitie pôdy	Mapa alebo GIS
4.4 Topografia povodia (min. a max.)	Mapová analýza
5 HYDROLOGICKÉ PODMIENKY	
5.1 Priemerný prietok	Rady údajov
5.2 Zmeny v hydrologickom režime	Terénny prieskum / Znalosť experta

Tab. 2 Zoznam parametrov zahrnutých do vyhodnocovacieho protokolu

Tab. 2 List of parameters included in the protocol

Kategória/Parameter	Spôsob získania	Skóre sa hodnotí pre:
1 PÔDORYS KORYTA		
1.1 Kľukatosť	Mapa / Terénny prieskum	SU
1.2 Typ koryta	Mapa / Terénny prieskum	SU
1.3 Skrátenie toku	Mapa / Terénny prieskum	SU
2 TOK		
2.1 Prvky dna	Terénny prieskum	SSU
2.2 Dnové substráty	Terénny prieskum	SSU
2.3 Priestorová variácia šírky	Mapa / Terénny prieskum	SU
2.4 Typy prúdenia	Terénny prieskum	SSU
2.5 Veľké zvyšky dreva	Terénny prieskum	SU
2.6 Umelé prvky v dne	Terénny prieskum	SSU
3 BREHY /PRIRIEČNA ZÓNA		
3.1 Pririečna vegetácia	Terénny prieskum	SSU Ľ / P
3.2 Stabilizácia brehov	Terénny prieskum	SSU Ľ / P
3.3 Brehový profil	Terénny prieskum	SSU Ľ / P
4 INUNDAČNÉ ÚZEMIE		
4.1 Zaplavované územie	Mapa / Terénny prieskum	SSU Ľ / P
4.2 Vegetácia v inundácii	Mapa / Terénny prieskum	SSU Ľ / P
5 HYDROLÓGIA		
5.1 Priemerný prietok	Údaje / iné informácie	SU
5.2 Nízke prietoky	Údaje / iné informácie	SU
5.3 Rozsah vodných stavov	Údaje / iné informácie	SU
5.4 Časté kolísanie prietokov	Údaje / iné informácie	SU

Tab. 3 Triedy hydromorfologickej kvality

Tab. 3 The hydromorphological quality classes

Trieda hydromorfologickej kvality		Rozsah skóre	Farebné označenie
1	Veľmi dobrá	1.0 – 1.7	Modrá
2	Dobrá	1.8 – 2.5	Zelená
3	Priemerná	2.6 – 3.4	Žltá
4	Zlá	3.5 – 4.2	Oranžová
5	Veľmi zlá	4.3 – 5.0	Červená

Spôsob hodnotenia parametrov vo vyhodnocovacom protokole

Pôdorys koryta

Kľukatosť

Kľukatosť sa zistí meraním dĺžky koryta na mape a jej predelením dĺžkou údolia (Obr. 8). Kľukatosť (SI) sa počíta z nasledujúcej rovnice:

SI = Vzdialenosť v koryte toku : priama vzdialenosť pozdĺž dna riečneho údolia

Hodnoty SI z historickej mapy a z novej mapy sa porovnajú a pomocou tabuľky uvedenej v metodike sa stanoví skóre.

Typ koryta

Parameter sa hodnotí podľa zmeny typu koryta toku (jednoduché koryto, paralelné korytá alebo divočiaci tok) oproti minulosti. Ak sa stav nezmenil, je priradené skóre 1; ak sa zmenil od divočiaceho toku, alebo paralelných korýt k jednoduchému korytu, skóre sa podľa miery zmeny zhoršuje.

Skrátenie toku

Skrátenie toku sa meria na mapách. Vyjadruje sa ako percentuálna hodnota pôvodnej dĺžky koryta. Skóre sa určuje pomocou tabuľky uvedenej v metodike. Ak sa skrátenie koryta nedá zhodnotiť (absencia historických máp) a logicky sa dá usúdiť, že sa koryto toku skrátilo alebo inak zmenilo, hodnota skóre je 3.

Tok

Parametre toku sa hodnotia v teréne a obsahujú niekoľko parametrov súvisiacich so súčasnými podmienkami v toku a v dne koryta. Skúmajú sa z toku. Všetky vlastnosti toku sa vyhodnocujú v rozsahu SSU. Po zhodnotení vlastností toku sa najskôr spriemerujú skóre zo všetkých SSU a potom sa vypočíta skóre vlastností toku ako priemer skóre udaných pre SU.

Dnové prvky

Hodnotenie parametra závisí od počtu jednotlivých prvkov dna, ako sú ostrovy, rôzne lavicové formy a pereje (skalné lavice). Malý počet dnových prvkov v hodnotenom úseku skóre zhoršuje.

Dnové substráty

Hodnotenie sa vykonáva pri brodení v toku. Prirodzený dnový substrát sa hodnotí spočítaním počtu rôznych typov (skalné podložie, balvany, kamene, štrk, piesok, blato, íl, rašelina), ktoré pokrývajú viac ako 5% dna v SSU.

Variácia šírky

Variácia šírky je definovaná ako najväčšia omočená šírka predelená najmenšou omočenou šírkou v rámci SU v čase prieskumu. Šírkou sa rozumie vzdialenosť z pravého brehu k ľavému brehu kolmá na prúdnicu, nezávisle na tom, či sa v priečnom profile vyskytujú ostrovy. Pre veľké rieky sa hodnota stanoví z topografických máp alebo z leteckých fotografií. Pre menšie toky sa variácia šírky meria v teréne. Najmenšia a najväčšia šírka toku sa merajú v každej SSU a doplnia sa do vyhodnocovacieho formulára. Vypočíta sa pomer medzi najväčšou a najmenšou šírkou berúc do úvahy všetky merania v rámci všetkých SSU. Skóre sa určí z tabuľky.

Typy prúdenia

Parameter je hodnotený podľa počtu vyskytnutých sa typov prúdenia (vodopád, sklz, chaotické prúdenie, stojaté vlny, zvlnené, vyvierajúce a pokojné prúdenie, nebadateľné prúdenie)

v danom záujmovom úseku toku. Každý z typov prúdenia je započítaný len jedenkrát. Na základe počtu typov prúdenia sa z pomocnej tabuľky určí skóre.

Veľké zvyšky dreva

Parameter je hodnotený počtom napadaných kusov dreva v danom úseku toku (zvyškov stromov) v koryte toku, ktoré sú dlhšie ako 3m alebo majú priemer väčší ako 30cm. Nakoniec sa spočíta množstvo zo všetkých sub-jednotiek a prepočíta sa množstvo napadaných kusov dreva na jeden kilometer. V tabuľke sa pre daný počet odčíta skóre.

Umelé dnové prvky

Parameter zahŕňa konštrukcie ako je prievoz, vystuženie dna, paralelné konštrukcie, výhony, zemné prahy, križovanie s rúrami a kolmatácia. Umelé prvky v dne sú vždy vyrobené z umelých materiálov, ktoré nie sú endemické pre daný tok. Skóre sa udáva podľa dĺžky ovplyvneného toku.

Brehy a pririečna zóna

Prirodzená pribrežná vegetácia

Hodnotenie vychádza z percentuálneho pokrytia pririečnej zóny prirodzenou vegetáciou, umelo vysadenou vegetáciou a umelo vytvorenými prvkami.
Zahŕňa vegetáciu v pririečnej zóne pozdĺž oboch brehov koryta. Pririečna zóna je tu definovaná ako 20 metrov široký pás s nižším okrajom na úrovni brehu plného koryta. Ostrovy sa nezapočítavajú do prieskumu. Treba si uvedomiť, že v prípade stromov sa uvažuje plocha koruny stromu, nie kmeň stromu.

Stabilizácia brehov

Parameter sa používa na hodnotenie obmedzenia prirodzenej bočnej dynamiky spôsobeného stabilizovanými brehmi. Vykonáva sa oddelené hodnotenie pre ľavý a pravý breh. Prieskum sa vykonáva v teréne a vykonáva sa v každej z 5 sub-jednotiek. Percentuálna dĺžka brehu toku ovplyvnená stabilizačnými konštrukciami sa hodnotí v teréne.

Brehový profil

Hodnotenie je zamerané na dĺžku prirodzených brehov v SSU. Percentuálnym rastom umelých prvkov sa skóre zhoršuje.

Záplavové územie

Záplavová plocha

Hodnotená je veľkosť zaplavovanej plochy porovnaná s historickou. Najlepšie skóre sa pridelí, ak je veľkosť nezmenená, alebo sa záplavová plocha vôbec nevyskytuje a ani sa nevyskytovala. Ak sa veľkosť zaplavovaných plôch umelo znížila (hrádze a pod.), skóre sa zhoršuje.

Vegetácia v záplavovej oblasti

Hodnotí sa výskyt (plošná percentuálna hodnota) prirodzenej vegetácie v záplavovom území.

Hydrológia

V tejto časti sa hodnotia hydrologické charakteristiky (prietok priemerný a minimálny, kolísanie vodných stavov), ich miera ovplyvnenia ľudskou činnosťou (manipulácia na vodných dielach, odbery a pod.). Skóre v tejto kategórii sa nekombinuje so skóre z morfologických kategórií, hodnotí sa oddelene, prípadne sa v prvej fáze môže vynechať.

Pracovníci vykonávajúci hydromorfologické hodnotenie, musia byť predtým na túto činnosť špeciálne zaškolení, prakticky oboznámení so všetkými prvkami jednotlivých parametrov, ktoré sa v hodnotených úsekoch môžu vyskytnúť a preskúšaní, aby sa docielila čo najväčšia objektivita hodnotenia.

Upozornenie: Pri všetkých terénnych prieskumných prácach v toku a v jeho blízkosti sa dôrazne odporúča dbať na bezpečnosť pri práci.

UKÁŽKA HYDROMORFOLOGICKÉHO HODNOTENIA V POVODÍ HORNÉHO VÁHU

Na Slovensku sa začalo robiť hydromorfologické hodnotenie v miestach odberov monitoringu kvality povrchových vôd a na referenčných lokalitách, aby bolo možné analyzovať vzťahy medzi hydromorfologickými a biologickými prvkami kvality tokov, ktoré sú potrebné pre vývoj klasifikačnej schémy pre hodnotenie vôd. Referenčné lokality by mali zodpovedať nenarušenému prirodzenému stavu, alebo sú len minimálne ovplyvnené.

V tabuľke sa prezentujú výsledky morfologického hodnotenia v časti povodia Váhu (horný Váh). V tejto fáze sa hydrologická časť nehodnotila. Sieť odberových miest pre kvalitu vody sa vo veľkej časti nachádza v ovplyvnených lokalitách (pod zaústením odpadových vôd, v ústiach významných tokov), často priamo v obciach, preto je vo výsledkoch hydromorfologického hodnotenia zrejmé silné ovplyvnenie ľudskou činnosťou a umelými úpravami. Referenčné lokality reprezentujú najmenej ovplyvnené oblasti, čo sa prejavuje na výslednom skóre. V prílohe 1 je uvedená mapa s profilmi hydromorfologického hodnotenia v povodí horného Váhu. Jednotlivé profily sú farebne označené podľa výslednej triedy hydromorfologickej kvality.

V prílohe 2 je uvedené hydromorfologické hodnotenie 18 vybraných lokalít na hornom Váhu, z toho je 6 referenčných lokalít (Štiavnica 1 – Liptovský Ján, Revúca – Liptovská Osada, Oravica – Vitanová nad, Vôdky – Jasenská Dolina, Čierny Váh – Liptovská Teplička a Ipoltica – Čierny Váh). Výsledné hydromorfologické skóre u týchto staníc sa pohybovalo od 1,18 do 1,41, tzn. že sú všetky zatriedené do najlepšej triedy kvality (1 – „veľmi dobrá“).

Z ostatných 12 lokalít bolo 5 vyhodnotených v druhej triede kvality („dobrá“), 3 lokality v tretej triede kvality („priemerná“), 3 lokality v štvrtej triede kvality („zlá“) a 1 lokalita v najhoršej triede kvality („veľmi zlá“). Najhoršie výsledné skóre bolo v lokalite (Revúca – Ružomberok). Ide o upravený tok, v intraviláne obce, s umelo opevnenými svahmi (Obr. 1 Lokalita : Revúca - Ružomberok), čo spôsobuje nepriaznivé skóre vo všetkých štyroch morfologických kategóriách.



Obr. 1 Lokalita: Revúca – Ružomberok

Fig. 1 Survey place: Revúca - Ružomberok

Aj lokality s výsledným hodnotením 4. trieda - „zlá“ kvalita (Biely Váh – Važec, Orava – VN Tvrdošín a Váh - Pod Krpeľanmi) získali nepriaznivé skóre najmä vďaka tomu, že ich korytá sú v skúmanom úseku upravované (čím sa tok skrátil, zmenila sa jeho kľukatosť, má umelo spevnené brehy, nízku variáciu šírky toku a kvôli povodňovej ochrane zamedzené zaplavovanie bývalých inundačných oblastí).

V ďalšej fáze hydromorfologického hodnotenia sa v súčinnosti s metodikou bude vykonávať hydromorfologický prieskum vo vybraných lokalitách jednotlivých vodných útvarov. Tieto lokality sa budú vyberať v reprezentatívnom úseku daného vodného útvaru, mimo intravilánov obce, preto sa dá očakávať značne priaznivejšie výsledné skóre a prislúchajúce triedy kvality. Horšie hodnotenie sa dá očakávať na niektorých väčších tokoch, ktoré sú na dlhších úsekoch ohrádzované z dôvodu ochrany pred povodňami, ďalej toky s upravenými korytami, ktorých pôdorysný tvar oproti historickému bol napriamený a skrátený a pod.

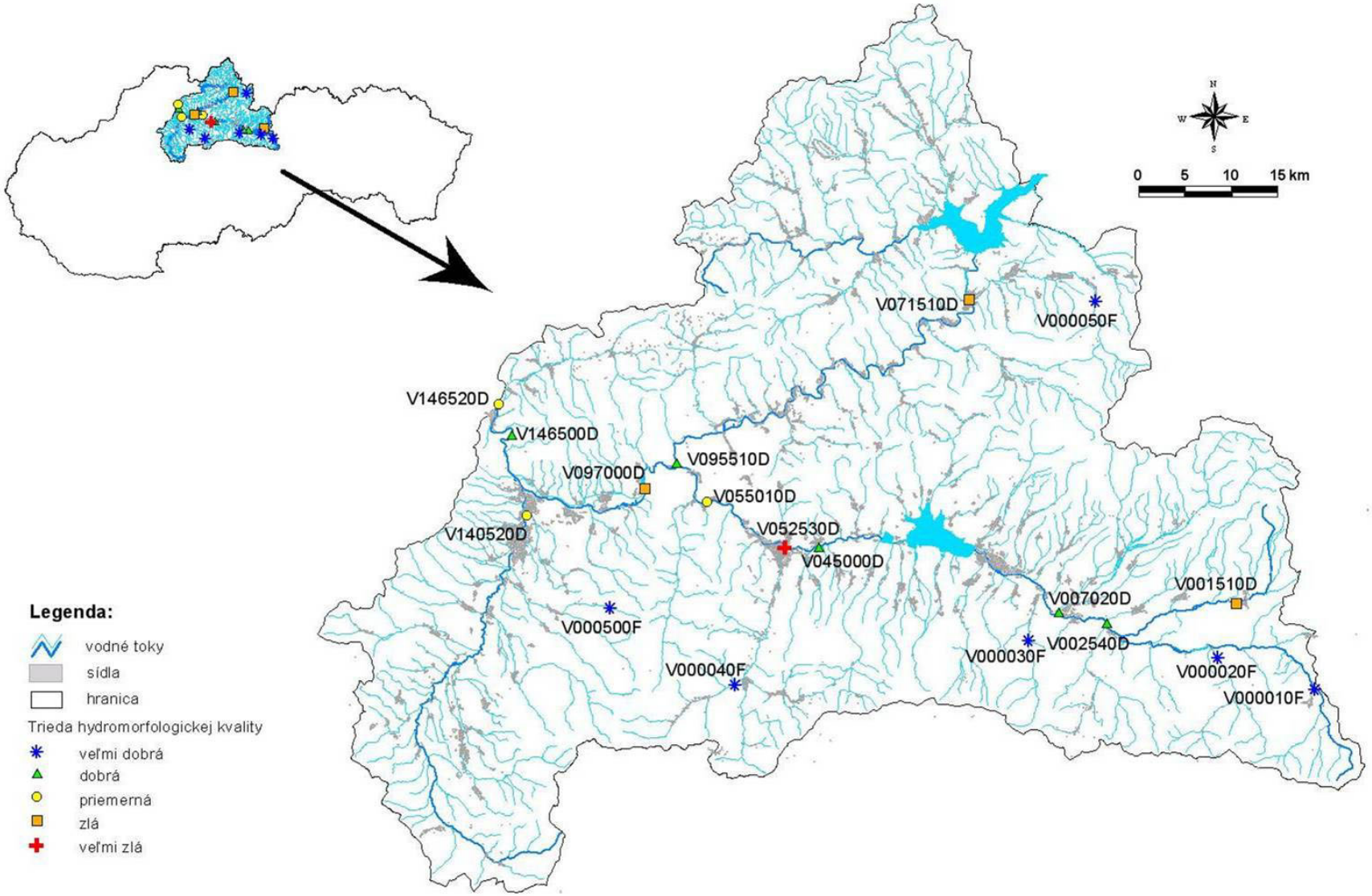
Autori

Ing. Lotta Blaškovičová, Ing. Renáta Magulová

SHMÚ, Jeséniova 17, Bratislava 833 15

lotta.blaskovicova@shmu.sk , renata.magulova@shmu.sk

Príloha 1: Profily hydromorfologického hodnotenia (v povodí horného Váhu)



Príloha 2 Hydromorfologické hodnotenie 18 vybraných lokalít na hornom Váhu

			1.Pôdorys koryta				2. Tok						
Kód toku	Názov toku	Názov miesta	1.1 Kľukatosť	1.2 Typ koryta	1.3 Skrátenie toku	**Skóre pôdorysnných parametrov toku**	2.1 Dnové prvky	2.2 Dnový substrát	2.3 Variácia šírky	2.4 Typy prúdenia	2.5 Veľké zvyšky dreva	2.6 Umelé dnové prvky	**Skóre charakteristík toku**
V000010F	Čierny Váh	Liptovská Teplička	1	1	1	**1,0**	4,4	1,4	1	1,2	1	1	**1,7**
V000020F	Ipoltica	Čierny Váh	1	1	1	**1,0**	1	1	3	2	2	1	**1,7**
V001510D	Biely Váh	Važec	5	3	5	**4,33**	2	1,6	3	1,4	5	1	**2,33**
V007020D	Belá	Liptovský Hrádok	1	1	1	**1,00**	1	2	4	2,4	1	1	**1,90**
V002540D	Váh	Nad Liptovským Hrádkom	4	1	3	**2,67**	1	1	3	2,6	1	1,2	**1,63**
V000030F	Štiavnica-1	Liptovský Ján	1	1	1	**1,00**	1	1,2	2	1	1	1	**1,20**
V045000D	Váh	Lisková	4	1	3	**2,67**	4,8	2	3	1,4	4	1	**2,70**
V000040F	Revúca	Liptovská Osada	1	1	1	**1,00**	1,4	1,6	3	2,2	1	1	**1,70**
V052530D	Revúca	Ružomberok	5	1	5	**3,67**	5	2	5	2	5	2	**3,50**
V055010D	Váh	Hubová	4	1	3	**2,67**	5	2	3	2,6	3	1	**2,77**
V000050F	Oravica	Vitanová nad	1	1	1	**1,00**	1	1	3	1	1	1	**1,33**
V071510D	Orava	VN Tvrdošín	4	1	3	**2,67**	5	2	5	3,2	4	1,6	**3,47**
V095510D	Orava	Kraľovany	1	1	1	**1,00**	4,8	2	4	3	3	1	**2,97**
V097000D	Váh	Pod Krpeľanmi	5	3	5	**4,33**	1,2	1,8	4	3,4	1	1,8	**2,20**
V000500F	Vôdky	Jasenská Dolina	1	1	1	**1,00**	1,6	1	3	1	1	1	**1,43**
V140520D	Turiec-1	Vrútky	4	1	3	**2,67**	4	3	3	2,6	4	1	**2,93**
V146500D	Váh	Dubná Skala	1	1	1	**1,00**	1,4	1	4	3,2	3	1	**2,27**
V146520D	Varínka	Varín	4	1	3	**2,67**	1,4	1,8	3	1,8	3	1	**2,00**

			3. Brehy a pririečna zóna				4. Záplavové územie					
Kód toku	Názov toku	Názov miesta	3.1 Prirodzená príbrežná vegetácia	3.2 Stabilizácia brehov	3.3 Brehový profil	**Skóre svahov a pririečnej zóny**	4.1 Zaplavovaná plocha	4.2 Vegetácia v záplavovej oblasti	**Skóre Záplavového územia**	**Skóre hydromorfologickej kvality**	**Trieda hydromorfologickej kvality**	
V000010F	Čierny Váh	Liptovská Teplička	1,8	1	1	**1,3**	1	1,2	**1,1**	**1,26**	1	High
V000020F	Ipoltica	Čierny Váh	2,2	2,2	2,2	**2,2**	1,8	1,8	**1,8**	**1,67**	1	High
V001510D	Biely Váh	Važec	4	3	4	**3,67**	5	5	**5**	**3,833**	4	Poor
V007020D	Belá	Liptovský Hrádok	2	3	3	**2,67**	2,2	2,7	**2,45**	**2,004**	2	Good
V002540D	Váh	Nad Liptovským Hrádkom	3	1	2	**2,00**	2	2	**2**	**2,075**	2	Good
V000030F	Štiavnica-1	Liptovský Ján	1	1	1	**1,00**	1,5	1,5	**1,5**	**1,175**	1	High
V045000D	Váh	Lisková	2,8	2	1	**1,93**	1	4	**2,5**	**2,450**	2	Good
V000040F	Revúca	Liptovská Osada	1,2	1	1	**1,07**	1,6	1,6	**1,6**	**1,342**	1	High
V052530D	Revúca	Ružomberok	5	5	5	**5,00**	5	5	**5**	**4,292**	**5**	**Bad**
V055010D	Váh	Hubová	3	1,5	1,5	**2,00**	5	5	**5**	**3,108**	3	Moderate
V000050F	Oravica	Vitanová nad	3	1	1	**1,67**	1	2	**1,5**	**1,375**	1	High
V071510D	Orava	VN Tvrdošín	4	3	4	**3,67**	5	5	**5**	**3,700**	4	Poor
V095510D	Orava	Kraľovany	1,4	1,2	1	**1,20**	2	2	**2**	**1,792**	2	Good
V097000D	Váh	Pod Krpeľanmi	3	3,1	3,8	**3,30**	5	5	**5**	**3,708**	4	Poor
V000500F	Vôdky	Jasenská Dolina	1,6	1	1	**1,20**	2	2	**2**	**1,408**	1	High
V140520D	Turiec-1	Vrútky	4	3	4	**3,67**	4	5	**4,5**	**3,442**	3	Moderate
V146500D	Váh	Dubná Skala	2	1	1	**1,33**	2,5	2,5	**2,5**	**1,775**	2	Good
V146520D	Varínka	Varín	4	1	1	**2,00**	5	5	**5**	**2,917**	3	Moderate

VYHODNOCENÍ SNĚHOVÝCH ZÁSOB A ODTOKU Z TÁNÍ V BŘEZNU ROKU 2005 V ČR

Jan Daňhelka, Pavla Řičicová

V průběhu února a března 2005 došlo v České republice k akumulaci relativně velkého množství vody ve formě sněhové pokrývky. Následně vznikly obavy z možnosti vzniku velké povodně v případě prudkého jarního tání. Z toho důvodu ČHMÚ zpracoval několik podrobných analýz sněhových zásob a možností vzniku jarních povodní, které byly podkladem pro uklidnění a pragmatické řešení nastalé situace. Příspěvek hodnotí sněhové zásoby a proběhlé tání v březnu 2005.

Klíčová slova: jarní povodně, sněhové zásoby, vodní hodnota sněhu, Česká republika

Evaluation of the snow cover and snow melting runoff in the Czech Republic in March 2005. *Snow water equivalent of the snow cover accumulated in the Czech Republic reach relatively high values in February and March 2005. Therefore the possibility of development of great snow melting flood was largely discussed in media and general public. CHMI analyzed the situation and prepared special reports on snow cover development and expected snow-melting runoff. These analyses showed that the probability of extreme flood is very low and were very valuable in preparation for flood. This article brings the evaluation of the situation from the point of view of snow cover and melting flood in March 2005.*

Key words: snow melting floods, snow cover, snow water equivalent, Czech Republic

---

ÚVOD

Průběh zimního období 2004/05 byl mimořádný z hlediska množství sněhových zásob, které v první polovině března dosáhly relativně velkých hodnot. Právě výrazně nadprůměrné množství sněhu vedlo k obavám z možného rozsáhlého a prudkého tání a tedy z nebezpečí vzniku povodňové situace.

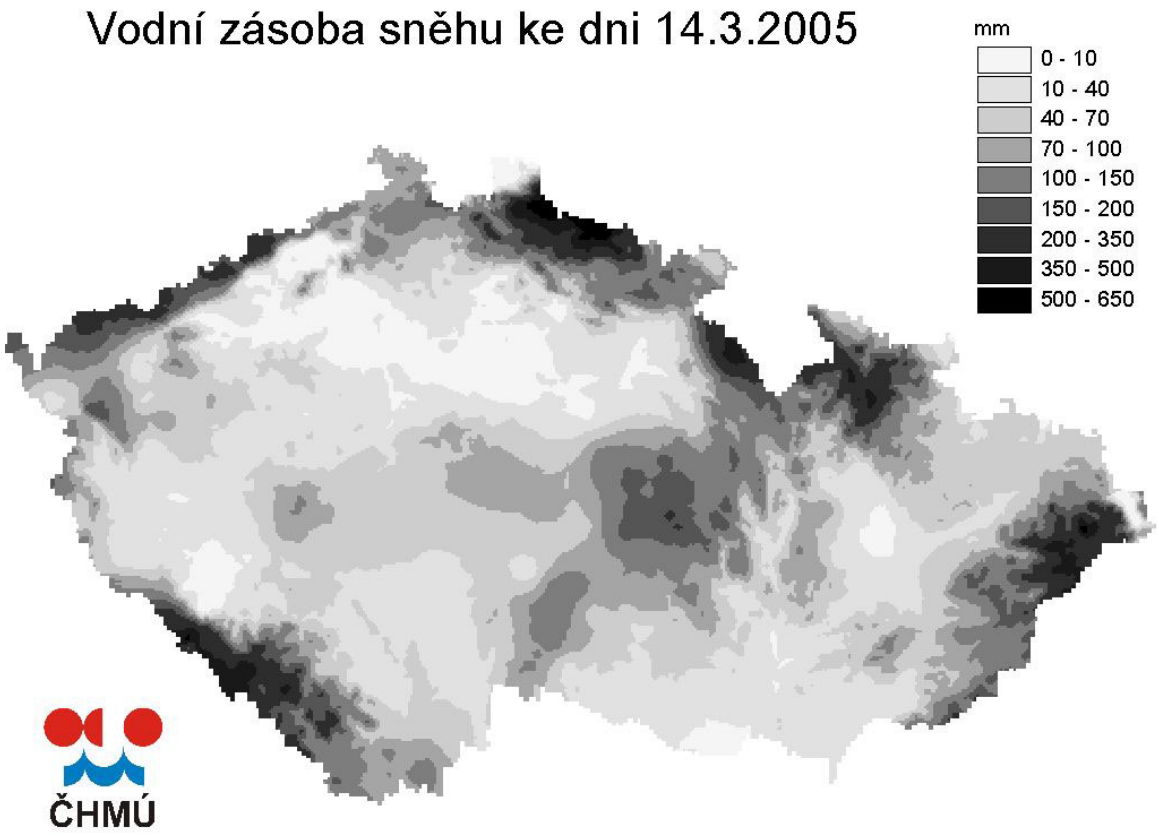
SNĚHOVÉ ZÁSOBY

ČHMÚ operativně měří a zpracovává informace o zásobě vody ve sněhové pokrývce na více než 300 místech v ČR jedenkrát týdně. Měření je pravidelně vyhodnocováno a počítá se množství vody akumulované ve sněhové pokrývce na určitém území (většinou jde o povodí významných nádrží, např. Lipno, Orlík, Nechranice, Vranov apod.). Tyto informace jsou pravidelně předávány státním podnikům Povodí a jejich dispečinky zohledňují tyto informace při rozhodování o preventivním prázdnění nádrží.

Zima 2004/05 byla charakteristická malým množstvím sněhu v průběhu prosince a počátku ledna. Ještě v polovině ledna se vyskytlo období výrazně nadnulových teplot s denními maximy přes 10°C. Sněhová pokrývka tak přetrvala pouze v horských polohách (nad 1000 metrů). Následně došlo k odtokové situaci způsobené dešťovými srážkami ve dnech 20. až 21.1.2005 s dosažením až 3. SPA na Radbuze. Další odtoková událost se odehrála ve druhé únorové dekádě, kdy byly dosaženy 3. SPA na Teplé Vltavě, Lužnici, Sázavě, Mži Radbuze, Klabavě, Úslavě a dolním Labi, přitom u menších toků byl průběh často komplikován ledovými jevy. Následně v únoru a na počátku března došlo k několika přechodům frontálních systémů, které přinesly vydatné srážky ve formě sněžení i do středních a nižších poloh. Díky faktu, že nedošlo k dalším obdobím oteplení a roztátí akumulovaného sněhu, celkové zásoby vody ve sněhové pokrývce neustále rostly a sníh přetrvával i ve středních a nižších polohách.

Maximálních hodnoty množství sněhu a vodní hodnoty sněhu byly naměřeny v pondělí 14.3.2005. Většinou šlo o největší sněhové zásoby naměřené a vyhodnocené od roku 1968. Poté došlo k oteplení

spojeném s vypadávání dešťových srážek, což mělo za následek prudké snižování sněhových zásob a to především ve středních a nižších polohách.

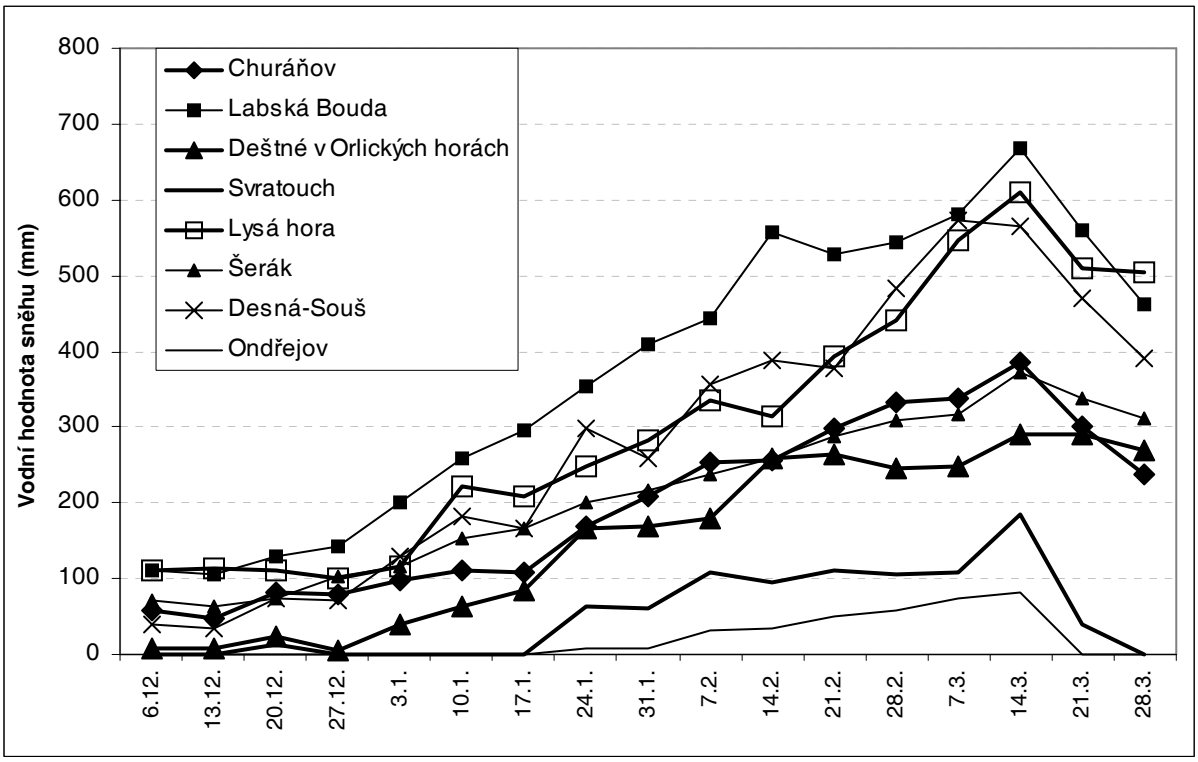


Obr. 1 Vodní hodnota sněhu k 14.3. 2005

Fig. 1 Snow water equivalent (14th of March 2005)

V průběhu hlavní odtokové reakce (v týdnu od 14.3. do 21.3.2005) došlo k roztátí a odtoku velké části akumulovaného sněhu na území ČR. Odtál především sníh ležící ve středních a nižších polohách. Zatímco v úterý 15.3.2005 byla sněhem pokryta většina našeho území s výjimkou Polabí, dolního Poohří a moravských úvalů (tedy nejnižších částí našeho území). O šest dní později 21.3.2005 se sněhová pokrývka udržovala již pouze v horských polohách (Jizerské hory, Krkonoše a podkrkonoší, Orlické hory, Jeseníky, Beskydy, Šumava, Krušné hory a vrcholové oblasti Českomoravské vrchoviny).

Množství vody akumulované ve sněhu za zmiňované období pokleslo v nižších a středních polohách o 60 až 100 %, v horských oblastech úbytek činil většinou 5 až 30 %. Celkové zásoby v jednotlivých hodnocených povodích poklesly o 39 až 100 % (VD Lipno o 39 %, VD Orlík o 67 %, povodí Berounky o 83 %, Labe po Přelouč 59 %, VD Nechranice o 59 %, VD Vranov 100 %, VD Šance o 18 %). Zásoby sněhu ve vyhodnocovaných povodích tak poklesly většinou na zanedbatelné, nebo pro jarní období normální hodnoty. Celkově na území ČR poklesla průměrná vodní hodnota sněhové pokrývky ze 67 mm na 24 mm, odtálo tedy téměř 65 % celkových sněhových zásob.



Obr.2 Průběh pozorovaných vodních hodnot sněhu na vybraných stanicích.

Fig. 2 Course of observed Snow water equivalents in selected meteorological stations

MOŽNOSTI VZNIKU VELKÝCH JARNÍCH POVODNÍ

Velké sněhové zásoby v povodí nejsou samy o sobě jednoznačnou příčinou vzniku velkých povodní. Na průběh tání a formování jarních povodní mají velký vliv další faktory, především vývoj a rozdělení nárůstu teplot vzduchu (v čase, ploše i nadmořské výšce) a vývoj a rozdělení dešťových srážek, pokud se vyskytnou ve větší míře během tání. Důležitým faktem je rovněž skutečnost, že voda akumulovaná ve sněhu nikdy neodteče všechna (část sublimuje, či se vypaří, část doplňuje zásobu podzemních vod).

Většina velkých jarních povodní byla způsobena táním sněhu v kombinaci s intenzivními dešťovými srážkami. Navíc pro vznik velkých povodní jsou rozhodující zásoby sněhu v nižších a středních polohách (které nedosahovaly extrémních hodnot). Příznivým faktorem v březnu 2005 bylo, že půda pod sněhem nebyla promrzlá. Před napadnutím sněhu totiž převládaly výrazně nadnulové teploty.

Velkoplošné extrémní zimní povodně postihující celé povodí Vltavy, respektive Labe se vyskytly v historické době zejména v 18. a v první polovině 19. století. Například v Praze na Vltavě byly s kulminací povodně dosahující 100 l.p. zaznamenány v letech 1784, 1845 a také v roce 1862. Ve všech těchto případech byly podmínky vedoucí k povodním mnohem nepříznivější než v březnu 2005. V uvedených letech došlo před napadnutím sněhu k hlubokému promrznutí půdy a tak téměř veškerá tající voda ze sněhu přímo po povrchu odtékala, aniž by docházelo k její infiltraci. Zmiňované povodně se pak zejména vyznačovaly extrémním množstvím sněhu akumulovaným v nižších a středních polohách (několikanásobně větším než v roce 2005), který naráz roztál při intenzivních dešťových srážkách.

Za posledních 50 let úroveň neškodného průtoku Prahou (1500 $m^3.s^{-1}$) překročila pouze jediná zimní povodeň v roce 1981 – extremita kulminace přitom dosáhla 5-leté povodně (l.p.). Největší zimní povodeň ve 20. století se vyskytla v roce 1940 (cca 3200 $m^3.s^{-1}$ – téměř 50 l.p.), tedy ještě v době neexistence nádrží Vltavské kaskády. Kaskáda v současné době, kromě zachycení části povodňové vlny, pozitivně působí také na eliminaci problémů s ledovými krami a bariérami.

HYDROMETEOROLOGICKÁ SITUACE V BŘEZNU 2005

Od 14. března začala nad jižní Evropou mohutnět oblast vysokého tlaku vzduchu, po jejíž severní straně k nám postupně začal proudit teplejší vzduch od západu až jihozápadu a naše území jen velmi okrajově ovlivňovaly frontální systémy postupující z Atlantiku přes západní Evropu dále k severovýchodu. Vliv tlakové výše nad jižní Evropou se projevil především úbytkem srážek a postupně rovněž úbytkem oblačnosti, což spolu s teplejším západním prouděním mělo za následek vzrůst průměrných denních teplot od 14. do 18. března z hodnot kolem 0°C na teploty mezi 5 až 8°C (maximální denní teploty se 18. března pohybovaly mezi 10 až 18°C). Takovýto rychlý nárůst teplot znamenal poměrně rychlé odtávání bohaté sněhové pokrývky nejen v nížinách, ale vzhledem ke kladným maximálním denním teplotám také na horách.

Odtoková situace

Na území ČR došlo ve třetím březnovém týdnu ke všeobecnému zvýšení průtoků. Přitom na tocích horského charakteru (Labe v Labské, Úpa, Teplá Vltava, Černá, Vydra, nejhořejší Morava) byly maximální dosažené vodnosti malé, většinou na úrovni 30-denního průtoku*. Zde se projevila schopnost velké vrstvy sněhu akumulovat vodu z dešťových srážek a z tající povrchové vrstvy sněhové pokrývky. Relativně malá vodnost (60-denní průtok) byla zaznamenána také na Mrlině, tedy na toku, který jako jediný ze sledovaných toků patřil z velké své části před povodní k území bez sněhové pokrývky.

Maximální stavy byly zaznamenány na horských a menších tocích většinou v noci z pátku (18.3.) na sobotu (19.3.), či v průběhu soboty, na větších tocích pak v průběhu neděle (20.3.) až pondělí (21.3.).

Celkově v průběhu povodně byly dosaženy maximálně průtoky odpovídající 5-leté vodě, pouze ojediněle v povodí Sázavy, Moravy a Dyje byly zaznamenány 10-leté vody.

V **povodí Labe** byly relativně největší průtoky podle doby opakování kulminačního průtoku (5-letá voda) zaznamenány na Metuji v Maršově nad Metují, Tiché Orlici v Dolních Libchavách, Výrovce, Lužnici v Pilaři, Nežárce v Lásenicích, Skalici ve Varvažově, Želivce v Poříčí a Teplé v Březové. Na Sázavě ve Zruči nad Sázavou byl zaznamenán maximální průtok odpovídající 10leté vodě. Nejvíce postiženy tedy byly toky a úseky ve středních nadmořských výškách. Na ostatních tocích byly zaznamenány kulminace do 2-leté vody, nebo nižší..

V **povodí Odry** byly maximální dosažené průtoky na úrovni 2-leté vody nebo nižší. Výjimkou byla pouze Stěnava v Otovicích s 5-letým průtokem.

V **povodí Moravy a Dyje** dosáhly maximální průtoky úrovní do 5-leté vody. V horní části povodí Moravy (Moravská Sázava, Třebůvka a Morava v Moravičanech), dále na Moravě ve Strážnici a na Dyji nad VD Vranov (Moravská Dyje a Dyje v Podhradí) kulminační průtoky odpovídaly 10-leté vodě.

Vzhledem k rozložení sněhových zásob a charakteru oblevy byly všeobecně dosaženy **stupně povodňové aktivity** na většině sledovaných toků. Výjimkou byly jen některé horské toky (např. Úpa, horní Jizera, Malše, horní Otava, Desná a nejhořejší Labe a Morava) a úseky ovlivněné provozem vodních děl (např. Ohře pod Skalkou a Nechranicemi, Vltava pod Lipnem, střední Vltava, Mže, Dyje ve Vranově, Svratka ve Víru aj.).

Třetí stupně povodňové aktivity byly zaznamenány ve 31 stanici sledované ČHMÚ - v povodí Tiché Orlice a na spojené Orlici, na Labi v Němčicích, Chrudimce v Nemošicích, Nežárce a dolní Lužnici, na Sázavě, dolní Střele, dolním Labi, horní Ploučnici, Opavě v Opavě, Stěnavě, Lužické Nise v Hrádku nad Nisou, na horní Moravě (s výjimkou Raškova) a jejích přítocích (s výjimkou Desné), na Moravě ve Strážnici a v celém povodí Dyje s výjimkou vlastní Dyje pod VD Vranov, Svratky ve Víru a Jihlavy v Mohelnu.

ČINNOST ČHMÚ PŘED A V PRŮBĚHU POVODNĚ

ČHMÚ před a v průběhu povodně zabezpečoval předpovědní povodňovou službu v souladu se zněním zákona o vodách č. 245/2001 Sb. a Metodického pokynu MŽP o Hlásné a předpovědní povodňové službě.

Před a v průběhu povodně ČHMÚ vydával výstražné a informační zprávy o hydrometeorologické situaci v rozsahu přesahujícím jejich běžnou formu. Velká pozornost byla věnována zejména analýze sněhových zásob, včetně srovnání s historickými povodněmi a událostmi, a modelování možných scénářů odtoku. Pro účely této zprávy bylo provedeno speciální měření vodní hodnoty sněhu ve čtvrtek 17.3. 2005.

První analýza pro interní potřebu byla vypracována již na konci února. V souvislosti s dalším růstem množství sněhových zásob a se vzrůstajícími obavami z možného nebezpečného vývoje hydrometeorologické situace ČHMÚ vypracoval a vydal 11.3.2005 rozsáhlou informační zprávu.

Ta obsahovala především popis stávajícího stavu sněhových zásob a nasycenosti povodí, vysvětlení principu vzniku a možné nebezpečnosti jarních povodňových situací a shrnutí výsledků provedených modelových simulací, které ukazovaly na fakt, že při běžných srážkových úhrnech spojených s oteplením, nehrozil vznik plošně rozsáhlé extrémní povodně. Simulace poskytly výsledky s maximálními průtoky většinou v rozmezí 1 až 5-leté povodně, maximálně pak až 20-leté povodně. Při extrémních dešťových srážkách (v tomto období velmi málo pravděpodobných) byl simulován přítok do vodního díla Orlík na úrovni 50-leté povodně. Ukázka provedených a prezentovaných simulací možného teoretického vývoje tání pro přítok VD Orlík, Orlici v Týništi je v příloze. Tato zpráva byla poskytnuta orgánům a organizacím zainteresovaným v protipovodňové ochraně, médiím a prostřednictvím internetových stránek ČHMÚ i široké veřejnosti.

S Povodím Vltavy s.p. byla navíc celá situace podrobně konzultována s cílem co nejlepšího využití volných prostorů vodních děl v povodí. Z toho důvodu byly Povodí Vltavy poskytnuty výsledky všech provedených simulací v celém povodí Vltavy výrazně přesahující rámec oficiálně vydávaných zpráv.

Bohužel v některých případech došlo k nepřesné interpretaci vydaných zpráv a do médií tak pronikla například informace o očekávané 50-leté povodni na Vltavě v Praze.

Poté v období 15. až 23.3.2005 následovalo vydání dalších 16 informačních zpráv o hydrometeorologickém vývoji. Přitom zprávy z 15.3. a 18.3. obsahovaly opět výrazně rozšířené informace o stávajících sněhových zásobách a předpokladech odtoku v důsledku oteplení. Zpráva z 22.3. pak již obsahovala první stručné zhodnocení průběhu celé povodně, opět s informacemi o sněhových zásobách a dosažených průtocích.

Před vlastní hlavní odtokovou vlnou bylo dne 18.3.2005 vydáno Upozornění č. 17/05 a dne 19.3.2005 pak Výstraha č. 04/05 informující o nebezpečí dosažení až 3. SPA na celém území ČR.

HYDROLOGICKÉ PŘEDPOVĚDI

Vzhledem k značným sněhovým zásobám, které se vyskytovaly od února na území naší republiky, a to nejenom v horských oblastech, ale i v podhůřích a nížinách a dále i k výskytu ledových jevů na tocích, byly předpoklady, že může dříve nebo později dojít ke komplikacím spojeným s táním sněhu. Z tohoto důvodu již od druhé poloviny února do poloviny března celkem třikrát provedla hydroprognózní pracoviště simulace předpokládaných odtoků na základě stávajících podmínek povodí (zásoby vody ve sněhu, procento pokrytí povodí sněhem, nasycenost půdy, průtoky v tocích) a zvolených variant „budoucích“ srážek a teplot. Na základě zkušeností meteorologů a hydrologů byly voleny dvě varianty srážek.

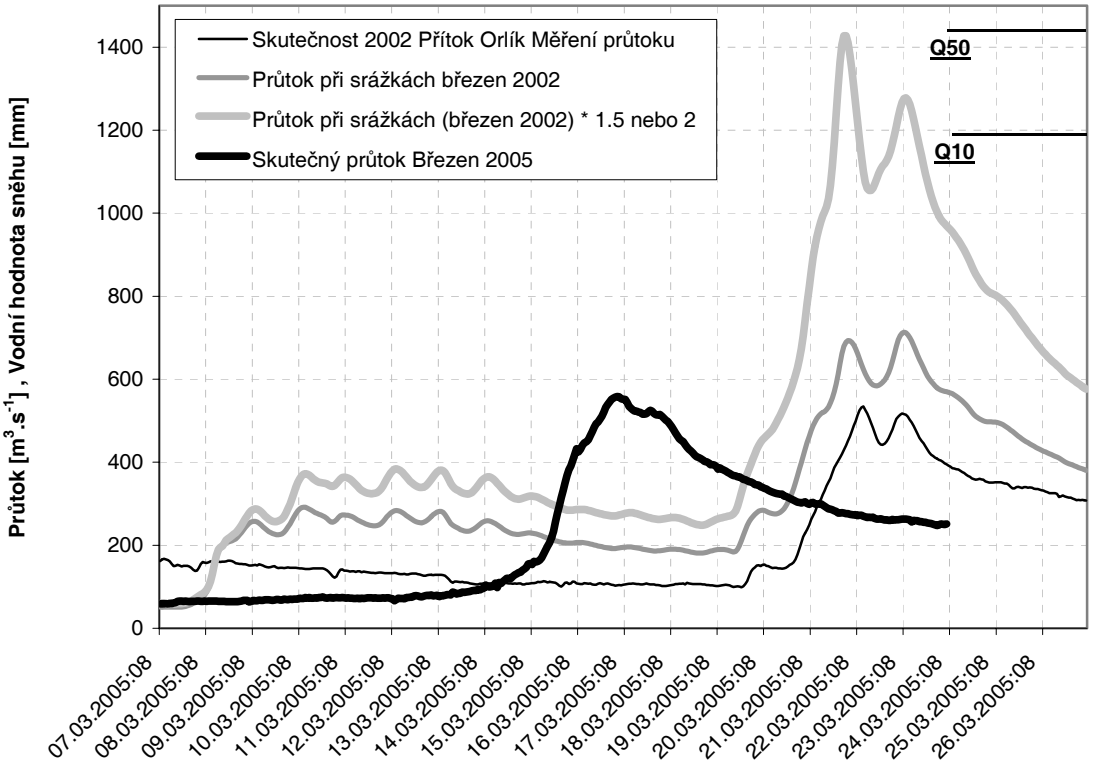
- „reálná“ varianta představovala velké srážky, které mohou v tomto ročním období nastat

- „maximální“ varianta byla zvolena na úrovni 1,5 až 2 násobku „reálných“ srážek.

Třetí možnost, která se nakonec uskutečnila, tání sněhu jen v důsledku relativně vysokých teplot a malých srážek, simulována nebyla.

Z hlediska průtoků byly při „reálné“ variantě, se srážkami od 40 mm pro nižší polohy až po 100 mm v horských oblastech za cca dva dny při teplotách 8 až 12 °C, dosahovány u všech provedených simulací 2. a 3. stupně povodňové aktivity. Z hlediska extremity simulované kulminační průtoky dosahovaly v povodí Labe nejčastěji 1 až 10 l.p., což se v průběhu skutečné povodně potvrdilo, i když vstupní hodnoty byly poněkud jiné – maximální teploty byly vyšší a úhrny srážek naopak menší. V povodí Moravy a Dyje na úsecích neovlivněných nádržemi simulované kulminační průtoky dosahovaly 5 až 20 l.p. Obdobné výsledky pak poskytly i simulace provedené na tocích v povodí Odry.

Varianta s maximálními srážkami, kdy simulace kulminačních průtoků byly na úrovni 5 až (výjimečně) 100-letých průtoků, představovala jakýsi teoretický horní limit.



Obr. 3 Ukázka provedených teoretických simulací a skutečného průběhu povodně pro přítok VD Orlík

Fig. 3 Theoretical simulations and observed inflow of Orlík reservoir

Takto spočítané odhady maximálních průtoků byly předávány vodohospodářským orgánům.

Vyhodnocování zásob vody ve sněhové pokrývce pro významná vodohospodářská díla, stejně tak i pro závěrové profily toků pramenících na horách, je dnes již běžnou rutinou a provádí se pravidelně vždy v pondělí v období se sněhovou pokrývkou. Tyto informace jsou pravidelně předávány státním podnikům Povodí a jejich dispečinky berou tyto informace v úvahu při rozhodování o preventivním prázdnění nádrží.

Vstupem do výpočtů jsou údaje o vodní hodnotě sněhu naměřené v síti stanic ČHMÚ (cca 300), ale v posledních letech jsou brány v úvahu i hodnoty získané ve 14, převážně horských nebo podhorských

stanicích, kde se měří v tzv. „profilech“, ve více bodech na volném prostranství i v lese. Tyto údaje mají pro výpočty mnohem větší reprezentativnost než jednobodová měření. Pro povodí Jizery je využíváno informací z pravidelného každotýdenního profilového měření výšky a vodní hodnoty sněhu pracovníky experimentálního pracoviště OHV v oblasti Jizerských hor a západních Krkonoš. Pro letošní povodeň byly zužitkovány pro vstupy do hydrologického modelu i výsledky expedičních měření, bezprostředně před povodňovou událostí, v Krkonoších a Orlických horách, v povodí Sázavy a ve vybraných lokalitách vodních děl v povodí Moravy, prováděné pracovníky poboček ČHMÚ. Tyto údaje potom také posloužily ke kontrole a updatingu vodní hodnoty generované předpovědním modelem.

Vyhodnocení operativních předpovědí

Před a v průběhu odtokové situace byly vydávány standardně předpovědi průtoků na 48 hodin, a odhad pravděpodobného vývoje s předstihem 120 hodin. Pro tento účel byla meteorology připravována speciální pětidenní předpověď srážek.

Při hodnocení vydaných předpovědí odtoku z tání, je vhodné si připomenout složitost procesu a množství faktorů, které tání ovlivňují (vliv větru, odhad množství sněhu, schopnost sněhu akumulovat dešťové srážky aj.). Tyto faktory způsobují, že předpovědi odtoku z tání sněhu kombinovaného s deštěm jsou obecně nejméně spolehlivé.

Výsledky předpovědí vlivem velké nejistoty vstupů a parametrů modelu v tomto konkrétním případě nebyly bohužel vždy uspokojivé. Model, ačkoliv reagoval velmi dobře z hlediska načasování povodně, velmi často výrazně podceňoval skutečnou velikost průtoku.

Při zpětných simulacích proběhlého tání byly učiněny četné pokusy se změnou sněhových parametrů, aby bylo parné do jaké míry mohl prognostik ovlivnit předpovědi. Výsledky poukázaly na relativně malou významnost parametrů oproti vstupním datům. Podstatný vliv měla však teplota vzduchu v průběhu povodně, kdy kladná změna o 1 °C, vykazovala podstatný nárůst průtoku. Domníváme, se, že právě nepřesnost určení teploty pro potřeby modelu způsobila v operativním provozu podcenění předpovědí.

ZÁVĚR

Situace v březnu 2005 byla významná především akumulováním relativně velkých zásob sněhu ve většině povodí v ČR, které budily obavy z možného nebezpečného vývoje tání. Přitom situace byla velmi podrobně monitorována a dramatizována médii. ČHMÚ před povodní rozpracoval rozsáhlé analýzy situace a možného vývoje jarního tání, které neindikovaly nebezpečí vzniku extrémní povodně. Tyto analýzy a předpovědi byly následně potvrzeny vlastním průběhem povodně. V průběhu povodně jednotlivá pracoviště plnila všechny úkoly a povinnosti dané legislativou a smlouvami.

Literatura:

ČHMÚ (2005): Zpráva o hydrometeorologické situaci v březnu 2005, ČHMÚ, Praha

Autoři

Jan Daňhelka, ČHMÚ, Na Šabatce 17, 143 06 Praha, danhelka@chmi.cz

ANALÝZA DOPADU VYUŽÍVANIA VODÁRENSKÝCH ZDROJOV PODZÁMČOK A DOBRÁ NIVA NA KVANTITATÍVNY STAV ÚTVAROV POVRCHOVÝCH A PODZEMNÝCH VÔD

Miriam Fendeková, Peter Némethy

Príspevok prezentuje výsledky hydrogeologického výskumu dopadov, ktoré vyvolali odbery podzemnej vody z vodárenských zdrojov Podzámčok a Dobrá Niva na stav útvarov povrchovej a podzemnej vody v povodí povrchového toku Neresnica. Pri analýze vplyvu odberov boli použité metódy dvojitej súčtovej čiary, analýzy časových radov prietokov a klimatických činiteľov ako aj metódy regresnej analýzy. Získané výsledky potvrdili výraznú zmenu prietokov na povrchovom toku Neresnica v dôsledku nadmerných odberov, ktorá sa prejavila hlavne v oblasti nízkych prietokov v čase maximálnych odberných množstiev v druhej polovici osemdesiatych a začiatkom deväťdesiatych rokov. Odbery spôsobili pokles hladiny podzemnej vody do hĺbky viac ako 20 m pod terénom. Zníženie odberov po roku 1993 sa prejavilo na postupnom náraste hladiny podzemnej vody a stabilizácii minimálnych prietokov povrchového toku.

Kľúčové slová: podzemná voda, odbery, minimálne prietoky, ovplyvnenie

Analysis of the impacts of water-supply sources Podzámčok and Dobrá Niva operation on the quantitative stage of surface and groundwater bodies. *Results of the hydrogeological research oriented on impacts of groundwater abstraction from water sources Podzámčok and Dobrá Niva on surface and groundwater bodies in the Neresnica brook catchment are presented in the paper. Methods of double-mass curve, time series analysis of discharges and precipitation, as well as regression analysis were used for assessment of the abstractions impacts. Obtained results confirmed distinct change in Neresnica brook discharges within the time of maximum abstraction values in the second half of 80-ties and early 90-ties of the last century. Abstractions were the cause of groundwater level decrease to the depths of more than 20 meters under the ground surface. Reduction of abstractions after 1993 was followed by gradual increase of groundwater levels and stabilization of minimum discharges in the surface stream.*

Key words: groundwater, abstractions, minimum discharges, influencing

---

ÚVOD

Smernica 2000/60/EC nazývaná Rámcová smernica o vode vytvorila podmienky pre integrovaný prístup k riadeniu ochrany a využívania vôd v rámci EÚ. Stratégiu pre implementáciu tejto smernice v Slovenskej republike schválila vláda SR svojím uznesením č. 46 z 21. januára 2004. Jedným z bodov tohto uznesenia bola aj úloha uložená ministrom životného prostredia, pôdohospodárstva, zdravotníctva a dopravy pôšt a telekomunikácií vytvoriť podmienky vo svojich rezortoch a zabezpečiť plnenie úloh v zmysle stratégie pre implementáciu Rámcovej smernice o vode v SR podľa schváleného harmonogramu prác do 31. decembra 2015. K tomuto termínu sa má vo všetkých členských štátoch EÚ dosiahnuť dobrý stav útvarov povrchových aj podzemných vôd. K dosiahnutiu tohto cieľa vedie veľké množstvo čiastkových krokov, ku ktorým patrí najmä analýza charakteristík povodí a v rámci nej vymedzenie a predbežné zhodnotenie útvarov povrchových a podzemných vôd, zhodnotenie vplyvov a dopadov ľudských aktivít na stav vôd, spracovanie ekonomickej analýzy, ďalej vymedzenie „výrazne zmenených“ a „umelých“ útvarov povrchovej vody, návrh monitorovacích programov a následne návrh, schválenie a realizácia plánov manažmentu povodí. Ďalším cieľom, už za horizontom roku 2015, je eliminácia vypúšťania a únikov prioritných nebezpečných látok do vôd s dobou dosiahnutia tohto cieľa v roku 2020.

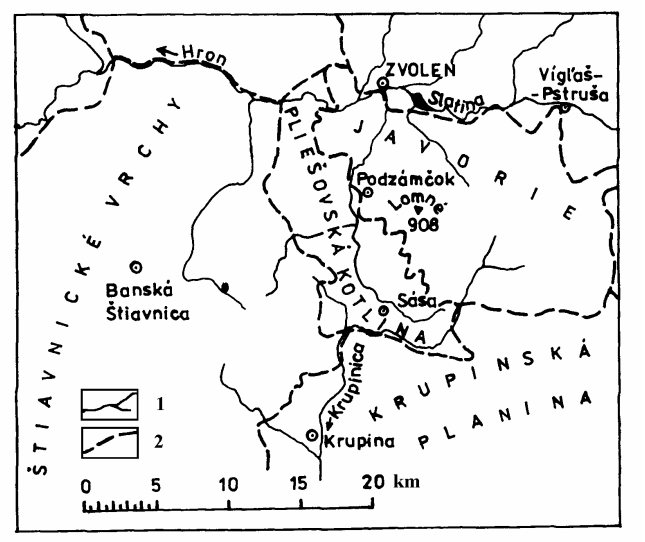
Príspevkom autorov k zhodnoteniu útvarov povrchových a podzemných vôd, hlavne k zhodnoteniu dopadov ľudských aktivít na stav vôd, je analýza dopadu využívania vodárenského zdroja Podzámčok na kvantitatívny stav povrchových a podzemných vôd. Vodárensky zdroj Podzámčok je situovaný v blízkosti vodného toku Neresnica asi 6 km južne od Zvolena. Intenzívne využívanie tohto zdroja malo nepriaznivý dopad na kvantitatívny stav útvarov povrchových aj podzemných vôd priľahlého územia, ako to dokumentujú predkladané výsledky.

Hydrogeologický výskum v predmetnom území začal v 60-tych rokoch minulého storočia a bol orientovaný na získanie zdrojov pitnej vody. Prieskumné práce tu vykonávali hlavne Litva (1963), Škvarka (1967), Škvarka a Valušiak (1968), Valušiak (1970). Druhá fáza prieskumu vykonaná Feckom a Hlavatým (1980), Feckom (1987) a Feckom et al. (1994) bola zameraná na zvýšenie odberných množstiev podzemnej vody vo vybudovaných vodárenských zdrojoch. V roku 1996 Fecek hodnotil vplyv využívania vodárenských zdrojov na podzemné vody.

Od roku 1991 bol v hodnotenom území vykonávaný detailný výskum vzťahu povrchových a podzemných vôd v závislosti na odberných množstvách vykonávaný kolektívom pracovníkov Katedry hydrogeológie PRIF UK v Bratislave (Škvarka et al., 1991; Šilar a Škvarka, 1991; Némethy et al., 1992). V predmetnom území boli zadané a vypracované diplomové práce poslucháčov Demoviča (1991), Vlčkovej-Michalíkovej (1999), Prelovského (2001) a Makišovej (2003), ako aj granty mladých pracovníkov UK Kupčovej (2002) a Makišovej (2004). Výsledky výskumov boli publikované v prácach Némethyho a Vlčkovej-Michalíkovej (2000), Makišovej a Ženišovej (2004) a Fendekovej (in Tallaksen a van Lanen, Eds., 2004) Uvedené práce hodnotili výsledky výskumu povrchových vôd so zameraním na nízke prietoky, pôvod podzemnej vody a zmeny v hladinovom režime v závislosti na odberoch, ako aj na kvalitu povrchovej a podzemnej vody a jej zmeny počas využívania vodných zdrojov v povodí

CHARAKTERISTIKA PREDMETNÉHO ÚZEMIA

Vodárensky zdroj Podzámčok leží v povodí potoka Neresnica v blízkosti obce Podzámčok asi 6 km južne od Zvolena. Predmetné územie z pohľadu územno-správneho členenia patrí do Banskobystrického kraja do okresu Zvolen. Z hľadiska geomorfologického členenia – obr. 1 (Mazúr a Lukniš, 1980) leží v celku Pliešovská kotlina, ktorý je zo severu ohraničený tokmi Hrona a Slatiny, na západe celkom Štiavnických vrchov – ich podcelkom Skalka, na východe celkom Javoria – jeho podcelkom Lomnianska vrchovina a na juhu chrbtami celku Krupinská planina – podcelkom Závozská vrchovina, ako aj tokom Krupinice.



Obr. 1 Geomorfologická situácia (Mazúr – Lukniš, 1980) 1-povrchový tok, 2-hranica geomorfologického útvaru
Fig. 1 Gemorphological situation (Mazúr – Lukniš, 1980) 1-surface stream, 2-geomorphological unit boundary

Pliešovská kotlina predstavuje depresnú štruktúru s dĺžkou približne 25 km a premenlivou šírkou s maximálnou hodnotou približne 7 km v oblasti Dobrej Nivy. Nadmorská výška územia sa pohybuje od 286 m n.m. v severnej časti územia až do 908 m n.m na vrcholoch pohoria Javorie.

Klimatické a hydrologické pomery širšieho okolia

Klimatologicky zaraďujeme predmetné územie v jeho údolnej časti do teplej oblasti, okrsku T7 teplého, mierne vlhkého s chladnou zimou s priemernou januárovou teplotou ≤ -3 °C. Priľahlé svahy Štiavnických vrchov a Javoria patria do mierne teplej oblasti, okrsku M3 mierne teplého, mierne vlhkého, pahorkatinového až vrchovinového s priemernou júlovou teplotou vzduchu > 16 °C v nadmorských výškach do 500 m n.m. (Lapin et al. in Atlas krajiny SR, 2002).

Charakteristické hodnoty teplôt vzduchu a zrážok zo stanice Sása (383 m n.m.) a z meteorologickej stanice Vígľaš – Pstruša, ktorá leží v porovnateľnej nadmorskej výške 368 m n.m. sú uvedené v tab. 1.

Hlavný tok hodnoteného územia – potok Neresnica tečie z juhu smerom na sever. Údolie potoka sleduje hlboké tektonické pásmo meridionálneho smeru nazývané neresnická vulkanotektonická zóna (Konečný et al., 1998). Hlavný tok má niekoľko menších pravo- i ľavostranných prítokov. Pravidelné monitorovanie vodných stavov a prietokov toku začalo v roku 1963 a je vykonávané vo vodomernom profile č. 7228 Neresnica – Zvolen s nadmorskou výškou nuly vodočtu 286,59 m n.m. v rkm 0,5 tesne nad ústím toku do Slatiny.

Tab. 1 Priemerné mesačné teploty vzduchu (1951-1980, podľa Kol. autorov, 1991) a priemerné mesačné úhrny zrážok v staniciach Sása (1963-1998) a Vígľaš-Pstruša (1951-1980, podľa Kol. autorov, 1991)

Tab. 1 Average monthly air temperatures (1951-1980, after Kol. autorov, 1991) and precipitation amounts in Sása (1963-1998) and Vígľaš-Pstruša (1951-1980, after Kol. autorov, 1991) gauging stations

Stanica	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Rok
Teplota vzduchu													
Sása	-4.2	-1.8	2.4	8.1	13.0	16.6	17.8	17.0	12.9	7.6	3.1	-1.8	7.6
Vígľaš-Pstruša	-4.2	-1.6	2.7	8.2	12.8	16.3	17.7	17.0	13.1	8.0	3.4	-1.4	7.7
Úhrn zrážok													
Sása	36	34	36	48	70	83	67	64	57	48	59	48	650
Vígľaš-Pstruša	31	35	34	43	56	80	74	60	48	44	53	47	609

Dĺžka riečneho údolia (L) je 25,6 km a plocha povodia (P) pokrýva 139,33 km^2. Povodie má pretiahnutý tvar s hodnotou koeficientu tvaru povodia $\alpha = 0.21$ ($\alpha = P/L^2$). Lesnatosť povodia dosahuje hodnotu 40 %. Absolútne minimum prietokov za obdobie rokov 1963 – 2002 kleslo na 0,009 m^3/s (august 1990), absolútne maximum za to isté obdobie dosiahlo 64,55 m^3/s (január a september 1984). Dlhodobý priemerný ročný prietok bol určený na 1,159 m^3/s. Neresnica je trvalý tok, avšak v mimoriadne suchých rokoch, hlavne v letnom období vo svojom hornom toku môže na kratšie časové obdobie vyschnúť a prietok sa objavuje až v nižšie ležiacej časti riečneho údolia.

Útvar povrchovej vody patrí do skupiny útvarov oblasti povodia Hrona s označením R0011 Slatina – VN Môťová – ústie (II. národná správy Slovenskej republiky o stave implementácie Rámcovej smernice o vode spracovanej pre Európsku komisiu, 2005). Útvar podzemnej vody patrí do skupiny predkvartérnych útvarov podzemných vôd v oblasti povodia Hrona s označením SK200220FP Puklinové a medzizrnové podzemné vody S časti Stredoslovenských neovulkanitov oblasti povodia Hrona (Kullman ml. et al., 2005).

Geologické a hydrogeologické pomery širšieho okolia

Základom geologickej stavby širšieho okolia predmetného územia sú produkty vulkanizmu stratovulkánov Štiavnických vrchov (ľavá strana povodia) a Javoria (pravá strana povodia). Tieto pohoria patria do stredoslovenského neovulkanického poľa (Biely et al., 1996) a sú veku báden až panón.

Najstaršou litostratigrafickou jednotkou štiavnického stratovulkánu je bazálny vulkanický komplex tvorený andezitovými lávovými prúdmi, často sa striedajúcimi s vulkanoklastickými horninami. V Z až SZ časti územia vystupuje studenská formácia predstavovaná opäť andezitmi a ich vulkanoklastikami. V JZ a J časti územia sa vyskytuje žibritovský efuzívny komplex (lávové prúdy andezitov), bielokamenské súvrstvie (tufy), sitniansky efuzívny komplex (lávové prúdy amfibolicko-pyroxenického andezitu), relikty alkalického bazaltového vulkanizmu (bazalty s výrastlicami plagioklasov a olivínov) a neresnická formácia vytvárajúca samostatnú štruktúru vo vzťahu k štiavnickému stratovulkánu a stratovulkánu Javoria. Zahrňuje komplex extrúzií a plytkých intrúzií andezitov a ich vulkanoklastík (hlavne epiklastických brekcií, blokových vulkanoklastík prechádzajúcich až do konglomerátových brekcií). Na pravej strane doliny potoka Neresnica, severne od obce Podzámčok vystupuje táto formácia na povrch. Formácia je spodnobádenského veku (Konečný et al., 1986).

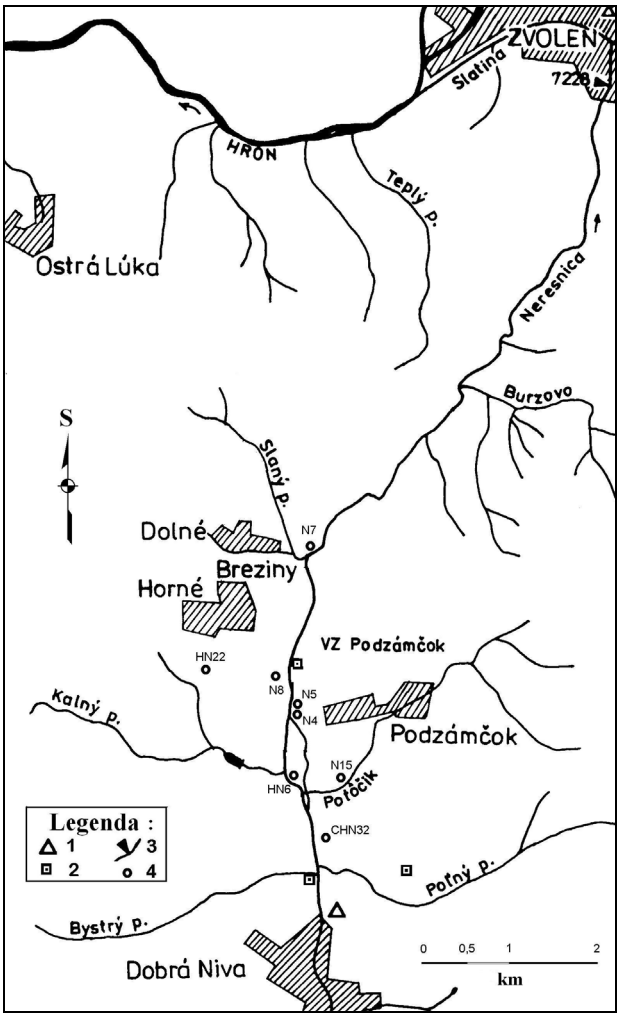
Vulkanity Javoria sú na východnej hranici predmetného územia zastúpené blýskavickou formáciou a na nej diskordantne uloženou javorskou formáciou (stratovulkanické komplexy andezitových lávových prúdov a ich vulkanoklastík – hlavne granulometricky veľmi rozmanitých epiklastík).

Geologickú stavbu dopĺňajú sedimenty pliocénnej výplne Pliešovskej kotliny a kvartérne sedimenty. Kvartérne sedimenty sú predstavované aluviálnymi náplavmi potoka Neresnica a svahovými sedimentmi. Aluviálne sedimenty sú tvorené náplavovými hlinami, pieskami, štrkmi a zahlinenými štrkmi s obsahom balvanov s priemernou hrúbkou sedimentov 3 – 10 m. Ich hydraulické vlastnosti nie sú veľmi priaznivé v dôsledku vysokého stupňa zahlinenia. Svahové sedimenty tvoria najmä deluviálne sedimenty zložené z hlín a ílovitých hlín, často obsahujúcich piesčitú prímes a miešajúcich sa s drobnokamenitými suťami. Hrúbka deluviálnych sedimentov v nižších polohách dosahuje až 10 m, so stúpajúcou nadmorskou výškou klesá na 3 – 5 m. Údolie Neresnice sleduje hlbokú tektonickú zónu, ktorú križujú longitudinálne zlomy smeru SZ-JV a JZ-SV. Stratovulkán Javorie a jeho formácie porušujú zlomy SV-JZ smeru, neresnickú formáciu aj zlomy smeru V-Z. Tektonická línia tohto smeru sa uplatňuje na severnom ohraničení územia. Neresnická tektonická štruktúra pôsobí ako drén podzemných vôd okolitých vulkanických pohorí.

Hydrogeologické pomery územia sú závislé od geologicko-tektonických pomerov. Horninové prostredie sa vyznačuje puklinovou (efuzívne horniny), puklinovo-medzizrnovou priepustnosťou (intenzívne porušené horniny drvených tektonických pásiem), ako aj medzizrnovou priepustnosťou (vulkanoklastické horniny). Pre tento typ horninového prostredia je charakteristický výskyt puklinových a suťových prameňov s malými výdatnosťami, obvykle do 1 l/s. Výnimkou bol pôvodný prameň v blízkosti Podzámčoku, ktorý vyvieral na pravom brehu potoka Neresnica a jeho výdatnosť dosahovala 25 – 30 l/s. Časť podzemnej vody súčasne prestupovala do potoka (140 l/s), čo bolo dokumentované hydrometrovacími prácami. V blízkosti prameňa boli neskôr odvŕtané prvé prieskumné vrty. Hodnoty hydraulických parametrov prostredia stanovené na základe výsledkov hydrodynamických skúšok sa pohybujú v intervale od $2{,}9 \times 10^{-4}$ do $6{,}97 \times 10^{-2}$ m^2/s pre koeficient prietočnosti a od $4{,}0 \times 10^{-5}$ do $3{,}79 \times 10^{-2}$ pre koeficient zásobnosti.

Odbery v povodí

V povodí Neresnice sa nachádzajú dva využívané vodárenské zdroje – Podzámčok a Dobrá Niva. Situovanie vodných zdrojov je uvedené na obr. 2. Vodárenský zdroj Podzámčok je intenzívne využívaný od roku 1973. Podzemná voda bola spočiatku odoberaná pomocou horizontálnych čerpadiel a celkový odber zo zdroja dosahoval v priemere okolo 140 l/s. Od augusta 1978 bola realizovaná intenzifikácia využívania vodného zdroja pomocou ponorných čerpadiel, pričom odberné množstvá stúpli a v niektorých obdobiach presiahli 270 l/s. To sa prejavilo na poklese hladiny podzemnej vody. Pokiaľ v období rokov 1973 – 1977 sa hladina podzemnej vody nachádzala v hĺbke 5 – 7 m pod terénom po roku 1978 začala zaklesávať a dosiahla hĺbku viac ako 20 m, v extrémnych prípadoch až 34 m pod terénom. Po roku 1993 došlo k postupnému znižovaniu odberných množstiev, ktoré sa ustálili na priemerných hodnotách okolo 80 l/s.



Obr. 2 Situácia záujmových objektov: 1-zrážkomerná stanica, 2-vodárenský zdroj, 3-prietokový profil, 4-vybraný pozorovací objekt SsVaK

Fig. 2 Situation of the objects of interest: 1-precipitation gauging station, 2-water supply source, 3-surface water gauging station, 4-selected monitoring well of the SsVaK (Middle Slovakian Waterworks)

Druhým využívaným vodárenským zdrojom je zdroj Dobrá Niva, nachádzajúci sa asi 6 km južne od Podzámčoku. Odbery podzemnej vody z vodárenského zdroja sú realizované čerpacími vrtmi. Odbery v období rokov 1980 – 1990 dosahovali v priemere 35 l/s s minimálnou hodnotou odberu zo zdroja 7,37 l/s. V rokoch 1990 – 1996 sa zvýšili odbery v priemere až na 60 l/s s maximálnou hodnotou 96,1 l/s. Priemerné odberné množstvo z tohto vodárenského zdroja v rokoch 1997 – 1999 dosahovalo okolo 23 l/s.

VSTUPNÉ DÁTA A POUŽITÉ METÓDY

Hodnotenie vplyvu odberov na kvantitatívny stav útvaru povrchovej vody bolo založené na analýze vzťahu prietokov v povrchovom toku a odberov, hodnotenie kvantitatívneho stavu útvaru podzemnej vody na analýze vzťahu odberov a hladiny podzemnej vody v pozorovacích objektoch v okolí vodárenského zdroja. Pri analýze boli využité aj údaje u úhrnoch zrážok v hodnotenom území.

Ako vstupné dáta boli použité údaje o prietokoch v povrchovom toku Neresnica z profilu č. 7228 za obdobie rokov 1964 – 1999, údaje o úhrnoch zrážok zo zrážkomernej stanice Sása za rovnaké obdobie, údaje o hladine podzemnej vody a údaje o odberoch. Keďže sme skúmali hlavne vplyv odberov na nízke prietoky, vyhodnotené boli najmenšie priemerné denné prietoky v jednotlivých mesiacoch. Pre účely spresnenia období, v ktorých došlo k zmene režimu odberov v povodí, boli pri

analýze využité aj priemerné minimálne ročné prietoky vypočítané ako aritmetický priemer z najmenších priemerných denných prietokov v jednotlivých mesiacoch roka a ročné úhrny zrážok. Keďže v hodnotenom území nie sú lokalizované žiadne monitorovacie objekty základnej pozorovacej siete podzemných vôd SHMÚ, boli pri analýze využité údaje o hladine podzemnej vody v objektoch účelovej siete Stredoslovenských vodární a kanalizácií v Banskej Bystrici. Z rovnakého zdroja pochádzajú aj údaje o sumárnych mesačných odberných množstvách z oboch vodárenských zdrojov.

Ako základné metódy analýzy boli využité:

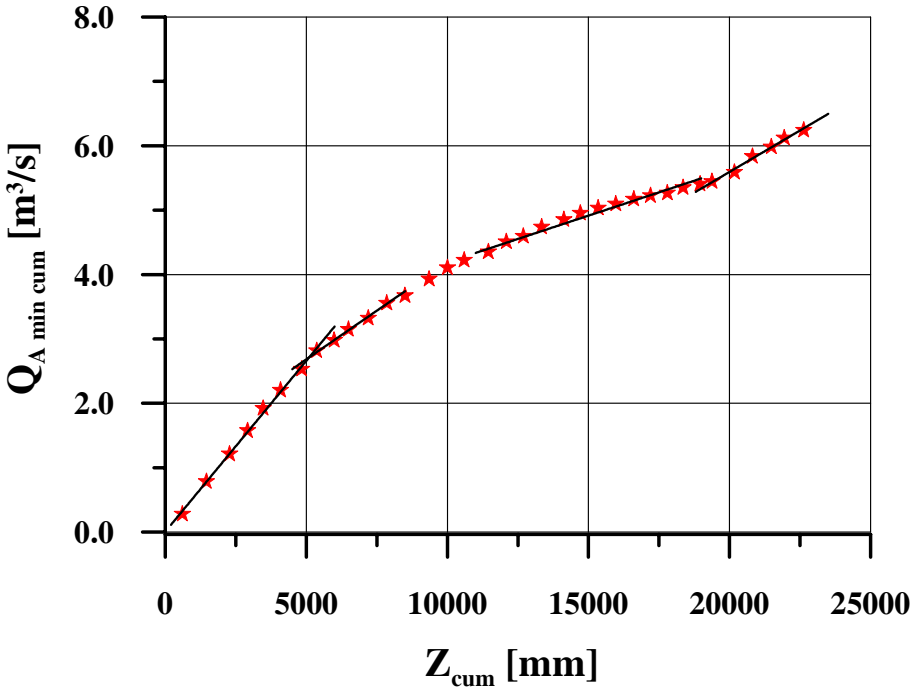
- metóda dvojitej súčtovej čiary,
- základné štatistické vyhodnotenie časových radov,
- analýza zložiek časových radov vstupných údajov,
- regresná analýza.

ZÍSKANÉ VÝSLEDKY A ICH INTERPRETÁCIA

Pre zistenie období významných zmien v režime nízkych prietokov povrchového toku bola použitá metóda dvojitej súčtovej čiary. Ako porovnávací časový rad bol použitý rad ročných úhrnov zrážok, vzťažným radom bol rad priemerných minimálnych ročných prietokov. Použiteľnosť metódy bola testovaná hodnotou korelačného koeficienta vzťahu uvedených premenných v neovplyvnenom období. Toto obdobie bolo zvolené na základe štúdia archívnych správ o hydrogeologickom prieskume realizovanom v hodnotenej štruktúre a predstavovalo ho obdobie do spustenia prevádzky vodárenského zdroja, teda obdobie rokov 1964 – 1972. Získaná hodnota korelačného koeficienta R_{xy} = 0,823 pre neovplyvnené obdobie je štatisticky významná na hladine významnosti $\alpha = 0,05$ čo podľa Sachsa (1984) indikuje štatisticky významný vzťah.

Ako je zrejmé z obr. 3, na základe priebehu dvojitej súčtovej čiary je možné rozdeliť celé obdobie na niekoľko čiastkových období oddelených zlomovými bodmi. Priradenie alebo vylúčenie jednotlivých rokov do určitého čiastkového obdobia sa riadilo zvyšovaním, resp. znižovaním hodnoty korelačného koeficienta pre daný úsek dvojitej súčtovej čiary. Zlomovými bodmi boli hodnoty rokov 1972, 1978, 1980 a 1993. Podrobná analýza archívnych materiálov dokumentovala, že obdobie rokov 1964 – 1971 predstavovalo neovplyvnené obdobie, obdobie rokov 1972 – 1977 bolo obdobím s odbermi pomocou horizontálnych čerpadiel, obdobie rokov 1978 – 1979 zhruba zodpovedalo obdobiu, v ktorom boli vykonávané krátko- a dlhodobé čerpacie skúšky (od augusta 1978 do septembra 1979). Pozícia roku 1980 nie je celkom jasná a je možné vysloviť predpoklad, že predstavuje obdobie nábehu odberov z vodárenského zdroja po dlhodobej čerpacej skúške. Obdobie rokov 1981 – 1992 je obdobím s maximálnymi odbermi a obdobie rokov 1993 – doteraz obdobím poklesu odberov z vodárenských zdrojov v povodí.

Pre jednotlivé vyčlenené úseky boli vypočítané hodnoty korelačných koeficientov jednoduchého regresného vzťahu, pričom pre obdobie rokov 1964 – 1971 bola získaná hodnota R_{xy} = 0,998 a pre obdobie rokov 1972 – 1977 to bola hodnota R_{xy} = 0,995. Pre roky 1978 – 1980 regresnú analýzu z dôvodu nízkeho počtu údajov nebolo možné realizovať. Pre obdobie rokov 1981 – 1992 bol získaný koeficient korelácie R_{xy} = 0,978 a pre obdobie rokov 1993 – 1999 koeficient R_{xy} = 0,989.



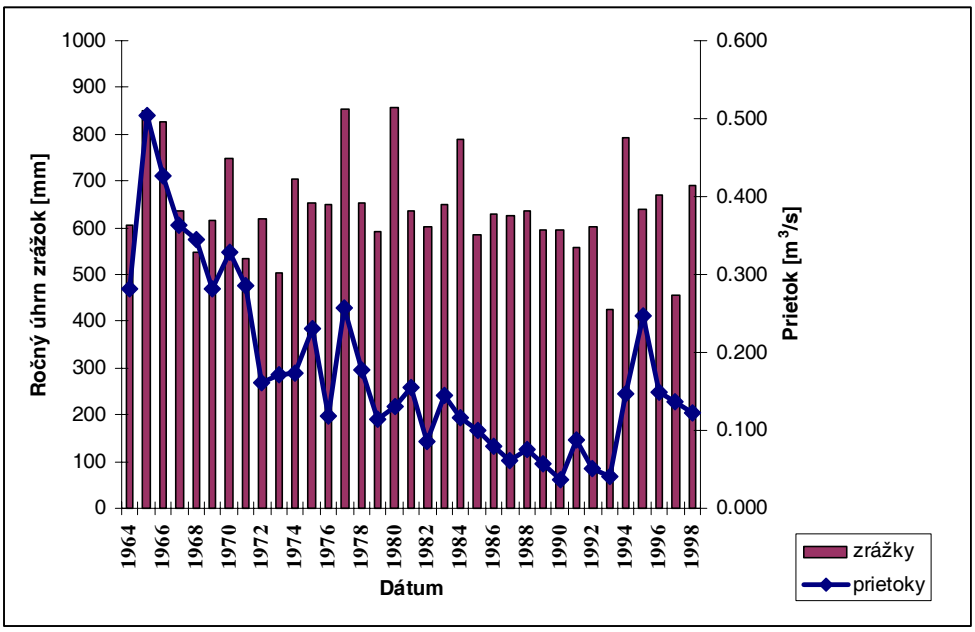
Obr. 3 Dvojitá súčtová čiara kumulatívnych zrážok priemerných minimálnych ročných prietokov
Fig. 3 Double mass curve of cumulative precipitation and average minimum yearly discharges

Na základe analýzy získaných výsledkov bolo nakoniec celé hodnotené obdobie rozdelené do troch čiastkových období, pre ktoré boli vykonané ďalšie analýzy:

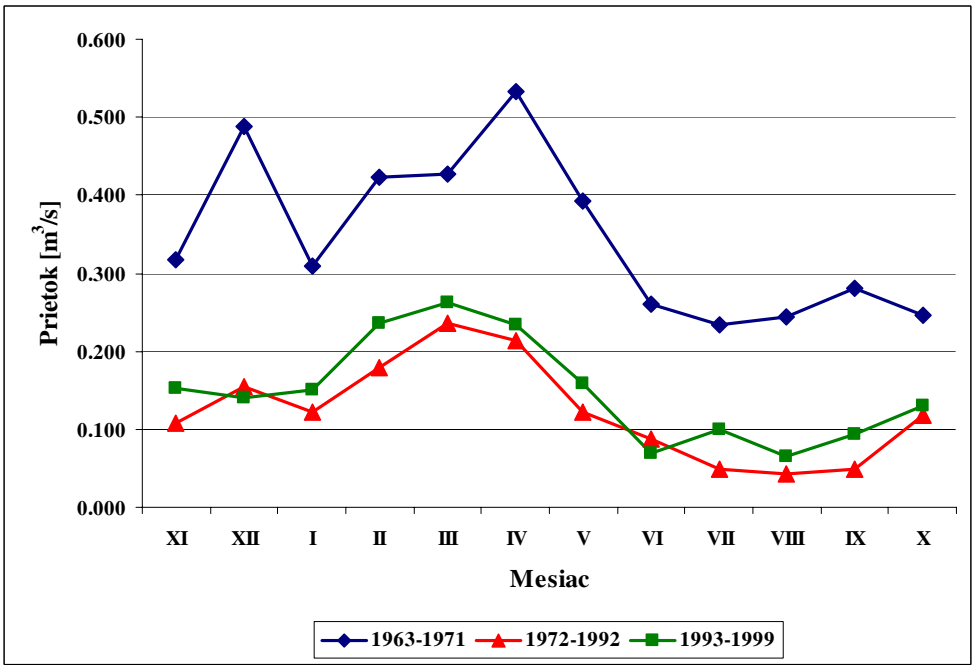
- neovplyvnené obdobie rokov 1964 – 1971,
- obdobie rokov 1972 – 1992 s najvyššími hodnotami odberov pohybujúcimi sa v intervale 140 – 270 l/s,
- obdobie rokov 1993 – 1999 reprezentujúce obdobie poklesu odberov pod 80 l/s.

Po vykonaní analýzy dvojitej súčtovej čiary bol vyhodnotený vzťah nízkych prietokov a zrážok. Ako charakteristické hodnoty nízkych prietokov boli použité najmenšie priemerné denné prietoky v jednotlivých mesiacoch. Celé obdobie bolo rozdelené do vyčlenených troch čiastkových období, ktoré boli posudzované samostatne použitím analýzy sezónnej zložky časového radu metódou sezónnej dekompozície. Navzájom bol porovnaný priebeh troch čiastkových radov reprezentujúcich vyčlenené čiastkové obdobia časových radov prietokov a zrážok. Porovnanie dokumentovalo, že priebeh sezónnej zložky prietokov a zrážok nie je synchrónny. Zatiaľ čo maximálne úhrny zrážok sú viazané na letnú sezónu (jún – august) a minimálne na zimnú a začiatok jarnej sezóny, hodnoty prietokov sú najnižšie v letných a skorých jesenných mesiacoch a najvyššie v apríli. Korelačný koeficient vzťahu radov hodnôt sezónnej zložky prietokov a zrážok bol štatisticky nevýznamný. Porovnanie priebehu zrážok a prietokov v ročnom časovom kroku je uvedené na obr. 4

Na obr. 5 je uvedený priebeh sezónnej zložky prietokov pre všetky tri vyčlenené čiastkové obdobia. Z obrázku je zrejmé, že vo vyčlenených obdobiach došlo tak k zmene hodnôt sezónnej zložky, ako aj k zmene režimu nízkych prietokov. Hodnoty sezónnej zložky v ovplyvnených obdobiach sú nižšie, ich priebeh je viac vyhladený a došlo k posunu maxima hodnôt z apríla na marec. V treťom čiastkovom období sa síce hodnoty prietokov zvýšili, ale nedosiahli pôvodné hodnoty z rokov 1964 – 1971.



Obr. 4 Porovnanie priebehu zrážok a prietokov v ročnom časovom kroku
Fig. 4 Comparison of precipitation and discharges time course in a yearly step



Obr. 5 Porovnanie sezónnej zložky prietokov pre vyčlenené čiastkové obdobia
Fig. 5 Comparison of discharges seasonal component for respective sub-periods

Existencia vzťahu medzi hodnotami minimálnych prietokov a odberov v povodí bola posudzovaná na základe výsledkov regresnej analýzy odberov a prietokov. Aby bolo možné vylúčiť rušiaci vplyv sezónnosti v časových radoch, boli na analýzu použité ročné hodnoty. Štatistická významnosť vzťahu bola opäť testovaná Fischerovým testom (Sachs, 1984). Najvyššie hodnoty korelačných koeficientov boli získané pre logaritmický regresný vzťah a pre polynomickú regresiu 4. rádu. Zostavené rovnice majú tvar:

- $y = -0{,}0675\ln(x) - 0{,}1009$ $[R_{xy} = 0{,}695]$

- $y = -16789.x^4 + 8783{,}9.x^3 - 1669.x^2 + 135{,}49.x - 3{,}8995$ $[R_{xy} = 0{,}808]$

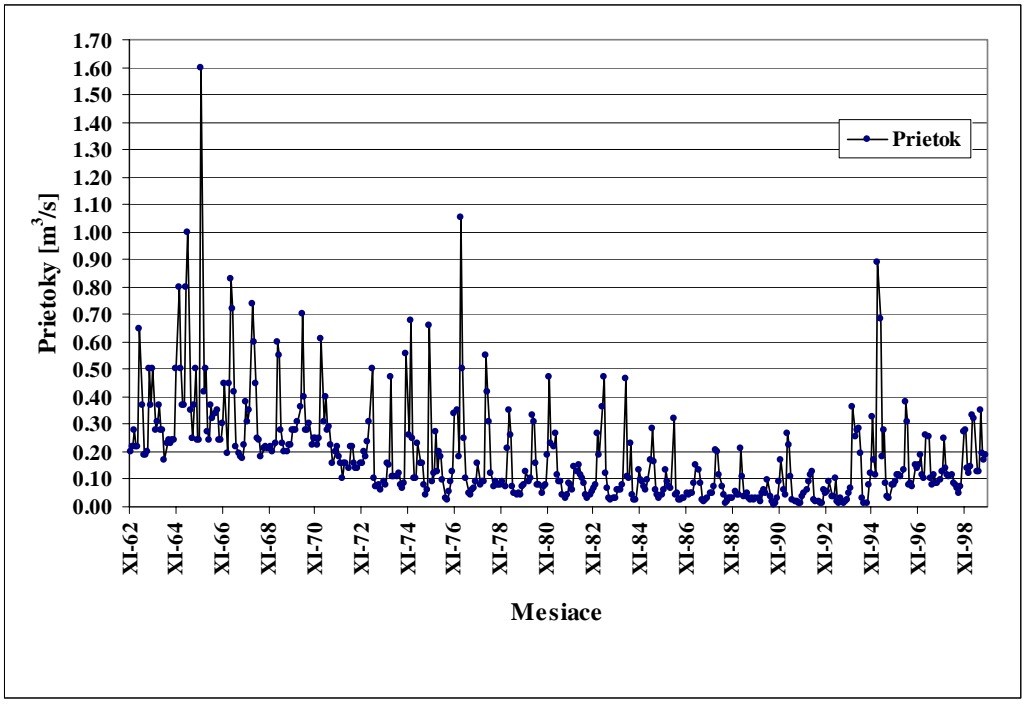
Korelačné koeficienty oboch vzťahov boli štatisticky významné na hladine $\alpha = 0{,}01$.

V hodnotenom území sa nenachádza žiadny monitorovací objekt základnej pozorovacej siete podzemných vôd SHMÚ, ktorý by dokumentoval dlhodobé zmeny hladiny podzemnej vody. Pre posúdenie týchto zmien boli použité údaje poskytnuté Stredoslovenskými vodárňami a kanalizáciami a.s. Banská Bystrica (SsVaK), ako aj údaje zo správ archivovaných v Geofonde. Tieto umožnili formulovať nasledujúce závery:

- V 80-tych a začiatkom 90-tych rokov minulého storočia poklesla hladina podzemnej vody v hodnotenom území do hĺbky 24 m pod terénom, v niektorých vrtoch aj viac.
- Bolo prerušené hydraulické spojenie povrchových a podzemných vôd.
- Vyschlo pôvodné prirodzené pramenisko.

Po výraznom znížení odberov po roku 1993 začali hladiny podzemnej vody opäť stúpať. Vzostup hladín si vyžiadal použitie jednej z pôvodných odberných studní ako odvodňovacieho vrtu, ktorý umelým znižovaním hladiny podzemnej vody zabezpečuje funkčnosť ostatných odberných studní, ktoré by sa inak ocitli pod hladinou podzemnej vody. K ďalším znakom zlepšovania kvantitatívneho stavu telies povrchovej a podzemnej vody patria:

- vzostup a stabilizácia hladiny podzemnej vody
- vzostup minimálnych prietokov v povrchovom toku (obr. 6),
- obnovenie drenážnej funkcie povrchového toku.



Obr. 6 Priebeh prietokov v profile č. 7228

Fig. 6 Time series of discharges in gauging profile No. 7228

ZÁVERY

Vysoké dlhodobé odbery podzemnej vody z neresnickej vulkano-tektonickej zóny spôsobili výrazné zhoršenie kvantitatívneho stavu telies povrchovej aj podzemnej vody. Toto zhoršenie sa prejavilo na zreteľnom poklese prietokov povrchového toku hlavne v období minimálnych stavov, na zaklesnutí hladiny podzemnej vody v bližšom okolí vodárenského zdroja a na prerušení hydraulického vzťahu povrchovej a podzemnej vody.

Geologické prostredie neovulkanických hornín predstavuje z pohľadu odberov podzemnej vody vysoko zraniteľné prostredie, citlivé na intenzitu zásahov do prirodzeného režimu povrchovej aj podzemnej vody. Hydrogeologické pomery územia v kombinácii s konkrétnymi klimatickými pomermi neumožňujú adekvátne dopĺňanie zásob podzemnej vody pri odberoch prevyšujúcich 100 l/s.

Preto je potrebné v uvedenej lokalite navrhnúť optimálne odberné množstvá tak, aby sa zachovala hydraulická spojitosť povrchovej a podzemnej vody, zachovala drenážna funkcia povrchového toku a stabilizovali minimálne prietoky v povrchovom toku. Je tiež nanajvýš potrebné začať s pravidelným monitoringom hladiny podzemnej vody a pokračovať v monitoringu prietokov povrchového toku Neresnica. Len tak bude možné posúdiť a dosiahnuť dobrý stav útvarov povrchovej a podzemnej vody tak, ako to vyžaduje rámcová smernica o vode.

POĎAKOVANIE

Vedecký výskum vplyvu odberov podzemnej vody na kvantitatívny stav telies povrchovej a podzemnej vody v povodí Neresnice bolo možné uskutočniť vďaka finančnej podpore projektu VEGA č. 1/1025/04 – hlavný riešiteľ Miriam Fendeková a 5 RP projektu ASTHyDA (č. kontraktu EVK1-CT-2002-80023) – zodpovedný riešiteľ za UK Bratislava Miriam Fendeková. Autori tiež ďakujú SHMÚ Bratislava a SsVaK Banská Bystrica za poskytnutie podkladových hydrologických údajov.

Literatúra

Atlas krajiny SR. 1. vydanie. MŽP SR Bratislava, Slovenská agentúra životného prostredia Banská Bystrica.

Biely, A., Bezák,V., Elečko, M., Gross, P., Kaličiak, M., Konečný, V., Lexa, J., Mello, J., Nemčok, J., Potfaj, M., Rakús, M., Vass, D., Vozár, J. a Vozárova, A. (1996): Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenska. 1:500 000. Vydavateľstvo ŠGÚDŠ, Bratislava.

Demovič, M. (1991): Režim povrchového toku Neresnica vo vzťahu k využívaným zdrojom podzemnej vody v Podzámčoku a Dobrej Nive. Diplomová práca. Archív Katedry hydrogeológie PRIF UK.

Fecek, P. (1987): Podzámčok – Hydrogeologický prieskum. Manuskript. Archív Geofondu Bratislava.

Fecek, P. (1996): Podzámčok – režim podzemných vôd z pohľadu ich dlhodobého využívania. Podzemná voda II./1996, Č. 2: 47-51.

Fecek, P. a Hlavatý, Z. (1980): Podzámčok – Hydrogeologický prieskum. Manuskript. Archív Geofondu Bratislava.

Fecek, P., Ostrolucký, P. a Roháčiková, A. (1994): Podzámčok – podrobný hydrogeologický prieskum. II. etapa. Podzámčok – Hydrogeologický prieskum. Manuskript. Archív Geofondu Bratislava.

Konečný, V., Bezák, V., Halouzka, R., Konečný, P., Miháliková, A., Marcin, D., Iglárová, L., Panáček, A., Stohl, J., Žáková, E., Galko, I., Rojkovičová, L. a Onačila, D. (1998): Vysvetlivky ku geologickej mape Javoria 1:50 000. Vydavateľstvo ŠGÚDŠ, Bratislava.

Kolektív autorov (1991): Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave. Zväzok 33/I. Alfa, Bratislava.

Kullman ml., E., Malík, P., Patschová, A. a Bodiš, D. (2005): Vymedzenie útvarov podzemných vôd na Slovensku v zmysle Rámcovej smernice o vodách 2000/60/ES. Podzemná voda XI./2005, Č. 1: 5-18.

Kupčová, S. (2002): Vplyv odberov na prirodzený režim podzemnej vody na Neresnickej zlomovej línii. Záverečná správa za Grant UK 78/2002. Archív RUK Bratislava.

Litva, J. (1963): Zhodnotenie predbežného hydrogeologického prieskumu v katastri Podzámčok. Manuskript. Archív Geofondu Bratislava.

Makišová, Z. a Ženišová, Z. (2004): Hydrogeochemická charakteristika vodného zdroja Podzámčok. Podzemná voda X./2004, Č. 1: 106-114.

Mazúr, E. a Lukniš, M. (1980): Geomorfologické členenie územia Slovenska. Geografický ústav SAV, Bratislava.

Nemethy, P. and Michalikova–Vlckova, D. (2000): Rational utilization of groundwater for water supply engineering. In: Groundwater: Past Achievements and Future Challenges. Editors: Oliver Sililo et al., A. A. Balkema, Rotterdam Brookfield, pp 241-246.

Némethy, P., Škvarka, L., Böhm, V., Fendeková, M. a Hyánková, K. (1992): Pohronský skupinový vodovod – racionálne využitie podzemných vôd a zhodnotenie ich kvalitatívnych vlastností. Správa za II. etapu prác. Manuskript. Archív Katedry hydrogeológie PRIF UK Bratislava.

Prelovský, B. (2001): Model prúdenia podzemnej vody na lokalite Podzámčok. Diplomová práca. Archív Katedry hydrogeológie PRIF UK.

Sachs, L. (1984): Applied Statistics. A Handbook of Techniques, Second Edition, Springer-Verlag, New York Berlin Heidelberg Tokyo.

Silar, J. and Skvarka, L. (1991): Origin of groundwater in the tertiary volcanic complex in Central Slovakia. International Symposium on the Use of Isotope Techniques in Water Resources Development, extended synopsis, Vienna Austria 11 – 15 March 1991, pp 130-134.

Škvarka, L. (1967): Nálezová správa o nových zdrojoch podzemných vôd v oblasti Podzámčok a návrh na ich zachytenie. Manuskript. Archív Geofondu Bratislava.

Škvarka, L. a Valušiak, I. (1968): Podzámčok – hydrogeologický prieskum. Manuskript. Archív Geofondu Bratislava.

Škvarka, L., Némethy, P., Hyánková, K. a Fendeková, M. (1991): Pohronský skupinový vodovod – racionálne využitie podzemných vôd, ich kvalitatívne vlastnosti. Správa za I. etapu prác. Manuskript. Archív Katedry hydrogeológie PRIF UK Bratislava.

Tallaksen, L.M. and van Lanen, H.A.J. Eds.(2004): Hydrological drought. Processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Elsevier, Amsterdam, 579 p.

Valušiak, I. (1970): Vyhodnotenie hydrogeologických prieskumných vrtov RH-7, RH-8, RH-9, RH-10 v Podzámčoku. Manuskript. Archív Geofondu Bratislava.

Vlčková-Michalíková, D. (1999): Racionálne využitie podzemnej vody pre vodárenské účely. Diplomová práca. Archív Katedry hydrogeológie PRIF UK.

II. národná správy Slovenskej republiky o stave implementácie Rámcovej smernice o vode spracovanej pre Európsku komisiu, 2005, MŽP SR, Bratislava.

Autori

Miriam Fendeková, Katedra hydrogeológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave, Pavilón G, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, fendekova@fns.uniba.sk

Peter Némethy, Katedra hydrogeológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave, Pavilón G, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, nemethy@fns.uniba.sk

NOVÉ SMĚRY V OBLASTI HYDROLOGICKÉ PŘÍSTROJOVÉ TECHNIKY

Tomáš Kocman, Zdeněk Kožnárek

Technický rozvoj v posledních letech přináší zásadní změny i v oblasti hydrologické přístrojové techniky. Dochází k zásadním změnám v zažitých postupech a technologiích, které se odráží i do nové metodiky měření a nových způsobů zpracování a využití měřených dat. Cílem tohoto příspěvku je zdůraznění významu a přínosu nových měřících systémů pro hydrologickou praxi. Je zaměřen především na přístrojové vybavení vodoměrných stanic a hydrometrická měření včetně stanovení průtoků.

Klíčová slova: Radarový princip, „bubble" princip, měření ADCP

***New trends in the field of the hydrological equipment**. The technological development in last years brings important changes even in the field of the hydrological equipment. It comes to the important changes in standard processes and procedures, which is reflected even in the new measurement technology and in the new ways of the measuring and data proceeding and data useThe purpose of this article consists in the emphasis of the importance of the new measuring systems for the hydrological practice. It deals almost with the instruments fittigs of the stage-discharge gauging stations and with the hydrological measurements including the discharges assessment.*

Key words: Radar principle, „bubble" principle, ADCP measurement

---

1. Měřící technika pro vodoměrné stanice

Měření stavů hladin ve vodoměrných stanicích bylo v minulosti standardně prováděno (a je ještě i v současnosti) mechanickým principem pomocí plováku a protizávaží, které byly součástí limnigrafických přístrojů se záznamem měřených dat na limnigrafický papír.

Nástup automatických měřících systémů s sebou přinesl změnu způsobu řízení sběru a záznamu měřených hodnot (datalogery) a současně i změnu principu měření stavů hladin (kontaktní, bezkontaktní čidla).

Vývoj v oblasti **datalogerů** se nyní soustřeďuje na minimalizaci jejich nároků na odběr elektrického proudu, sleduje trend vývoje interního řízení sběru a záznamu dat, unifikovatelnosti vstupů a zjednodušení a zpřístupnění datových přenosů (GPRS, SMS).

Vývoj v oblasti měřících **čidel** se zaměřuje na snižování jejich energetické náročnosti, dosahování vyšších přesností měření a na produkci nových bezkontaktních způsobů měření stavů hladin. Přínosem pro monitoring stavů hladin pro vodoměrné stanice ČHMÚ jsou zejména aplikace jiných způsobů měření než doposud standardně využívaných plovákových a manometrických sond.

Od roku 2004 je na vybraných stanicích zaváděn pro měření stavů hladin bublinkový princip (tzv. „bubble" princip) a radarové měření.
„Bubble" princip měření stavů hladin je dlouhodobě rozšířen a tradičně používán v západní Evropě. Tyto měřící systémy jsou určeny především pro lokality, kde není funkční - nebo jen omezeně - měrná šachta, resp. přívodní kanál.
Radarový princip (24 GHz) využívá výhod bezkontaktního měření stavů hladin s vyloučením ovlivnění měření změnou teploty vzduchu mezi čidlem a měřenou hladinou.

Přínos nových principů měření stavů hladin

- Podstatné snížení stavebních investic (vodoměrné stanice bez měrných šachet a přívodního kanálu)
- Zabezpečení měření na objektech s problematickou měrnou šachtou nebo přívodním kanálem
- Provoz na vlastní bateriové zdroje bez nutnosti zavádění přípojky 230V
- Jednoduchá instalace, operativnost při výběru měrného bodu



Obr. 1 Radarové měření vodního stavu hladiny
Bílovice nad Svitavou, Radar SEBAPULS, výrobce SEBA, Německo

Fig. 1 Radar water-level stage measurement
Bílovice nad Svitavou, Radar SEBAPULS, producer SEBA, Germany



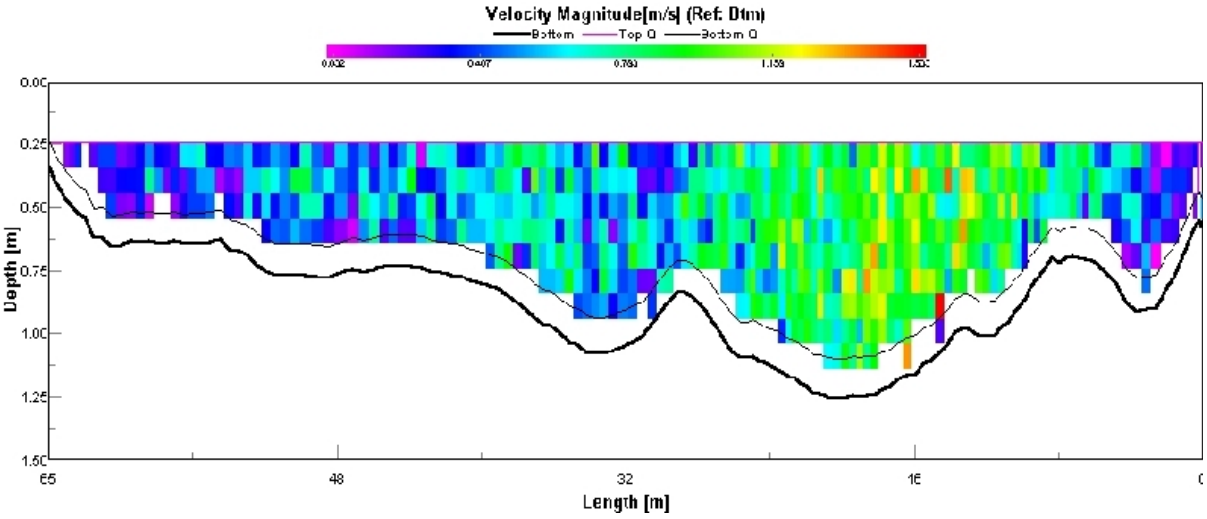
Obr. 2 „Bubble“ princip měření stavů hladin
Komponenty měřícího systému PS-LIGHT, výrobce SEBA, Německo

Fig. 2 „Bubble“ principle water-level stage measurement
Measuring system PS-LIGHT components, producer SEBA, Germany

2. Hydrometrická měření

Více než 150 let se provádí měření a výpočet průtoků z hlediska principu měření stejnou metodou. Jedná se o vyjádření průběhů rychlostí v rychlostním poli změřením bodových rychlostí vody nejčastěji pomocí hydrometrické vrtule. Princip měření spočívá ve změření rychlosti rotace vrtule za časovou jednotku v definované poloze měrného profilu.
Po celou dobu používání tohoto principu měření docházelo ke zkvalitňování jak hydrometrických vrtulí, tak zejména výpočetních postupů pro určení průtoků a rychlostních charakteristik měřeného profilu.
Moderní výpočetní postup objektivizuje v prostorovém vyjádření výpočet jako objem tělesa ohraničeného kolmou rovinou řezu a průběhy rychlostních obrazců ve svislicích a v celém profilu. Zpracování hydrometrických měření obsahuje ve své poslední verzi výpočet průtoků metodou prostorového splinu.
Jednou z posledních změn ve standardně využívané přístrojové technice byl měřící systém BIBER (výrobce OTT, Německo), který měl zabudovanou manometrickou sondu v koncové části těla vrtule a umožňoval přenos měřených dat do PC (měřená rychlost, poloha vrtule ve svislici).
Princip měření – měření rychlosti otáček v měrném bodě za časovou jednotku – zůstává ale stále stejný.

Nebývalý technický rozvoj posledních let přinesl zásadní změnu i v oblasti hydrometrických měření. Dochází k nástupu měřících systémů ADCP (Acoustics Doppler Current Profiler – akustický měřič průtoků založený na Dopplerově jevu).
Původně byly tyto akustické přístroje určeny pro měření rychlosti lodí, následně z nich byly vyvinuty systémy pro měření rychlosti vody v segmentech v prostoru mezi sensorem a dnem měřeného profilu.
První generace ADCP (NarrowBand) byla využívána především v oceánografii, v roce 1991 je vyroben první prototyp ADCP (BroadBand) s možností využití pro měření průtoků na povrchových tocích.



Obr. 3 Průtočný profil s měřenými rychlostními segmenty - program WinRiver (ADCP měření)

Fig. 3 Discharge cross-section with measured velocity segments - program WinRiver (ADCP measurement)

Oddělení hydrologické přístrojové techniky sledovalo tento princip měření od roku 1998. V té době se ještě jednalo o systémy umístěné pouze na lodích s různými technickými omezeními. Mezi nejvíce limitující omezení patřil požadavek na minimální 2 m hloubku měřeného profilu, a proto nebylo možné tento systém použít pro většinu českých řek.

Během katastrofálních povodní v roce 2002 bylo v České republice téměř nemožné provádět hydrometrické měření klasickou metodou (hydrometrickou vrtulí). V Drážďanech však prováděl pracovník BWG (Bundesamt für Wasser und Geologie, Švýcarsko, Bern) řadu unikátních měření kulminace povodně novým systémem ADCP WorkHorse RIO GRANDE. O rok později byl zakoupen a je provozován pro potřeby hydrologické služby celého ČHMÚ první měřící systém ADCP, jehož parametry odpovídají velké většině českých toků. V roce 2004 byla stejným systémem vybavena i pobočka ČHMÚ Praha.



Obr. 4 Přístroj ADCP WorkHorse Rio Grande

Fig. 4 ADCP WorkHorse Rio Grande device



Obr. 5 Přístroj ADCP StreamPro

Fig. 5 ADCP StreamPro device

Výhody systému ADCP

- měření povodňových průtoků za situací, kdy nelze využít standardní hydrometrickou metodu
- výrazné zkrácení času měření
- detailní zastižení změn průtočného profilu a rychlostí vody (v libovolném bodě profilu lze určit rychlost proudění vody)
- okamžitá znalost aktuálního průtoku, oproti metodě rychlostního pole odpadá následné zpracování dat
- minimální nároky na výběr měrného bodu, měření i mimo standardně využívané měrné profily

Technický pokrok v této oblasti směřuje ještě k výraznějšímu zpřesnění měření v mělkých tocích.
V roce 2004 byl vyvinut měřící systém ADCP StreamPro určený pro toky o maximální hloubce 2 m, s minimální hloubkou 0.15 m, s rozsahem měřených rychlostí ±2m/s a s minimální velikostí cely 0,02 m, což umožní detailní měření rychlostí v průtočném profilu. Tento systém se tak již stává vážným konkurentem hydrometrických vrtulí.
V dlouhodobém výhledu se předpokládá, že se měřící systém StreamPro (resp. WorkHorse RIO GRANDE) stane součástí hydrologického přístrojového vybavení každé pobočky ČHMÚ.

Závěr

Využití nových měřících systémů přináší zásadní změny v principech měření, pracovních postupech a ve způsobech vyhodnocování a zpracování dat.
Důsledkem zavádění nových měřících systémů by mělo být především zkvalitnění vlastního procesu měření a vyhodnocení měřených dat. Posuzování ekonomické náročnosti nových řešení je možné pouze při komplexním hodnocení celé řady faktorů, kdy cena vlastní přístrojové techniky a jejího servisního zabezpečení je pouze jedním, v mnoha případech ne zcela rozhodujícím prvkem .
Zkušenosti z konkrétních aplikací potvrzují očekávané cíle a jsou předpokladem pro další cílené využívání moderní hydrologické přístrojové techniky v Českém hydrometeorologickém ústavu.

Literatura :

Adler, M. (1994): Abflußmessungen an Rhein und Mosel während des Weihnachtshochwasssers 1993 mit einem Ultraschall-Doppler-Gerät (ADCP), Sonderdruck aus DGM, 38. Jahrgang, Heft 1,2, Mai 1994, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

RD Instruments (1996): Acoustic Doppler Current Profiler – Principles of Operation, A Practical Primer, RD Instruments, San Diego, California

Autoři :

Tomáš Kocman, Český hydrometeorologický ústav Praha, pracoviště Brno, Kroftova 43, kocman@chmi.cz
Zdeněk Kožnárek, Český hydrometeorologický ústav Praha, pracoviště Brno, Kroftova 43, koznarek@chmi.cz

MONITORING VLIVU VYUŽITÍ ÚZEMÍ A ODVODŇOVACÍCH SYSTÉMŮ NA HYDROLÓGII A JAKOST VODY V MALÝCH ZEMĚDĚLSKÝCH POVODÍCH

Zdeňka Burešová, Milan Čmelík, František Doležal, Peter Fučík, Zbyněk Kulhavý, Tomas Kvítek, Jana Peterková, Eva Pilná, Mojmír Soukup, Martin Tippl

VÚMOP Praha dlouhodobě provozuje několik experimentálních povodí (Cerhovický potok, Černičí, Kopaninský potok, Žejbro) souběžně s řadou dílčích sledování na dalších plochách. Cílem těchto aktivit je kvantifikace hydrologické bilance, srážko-odtokových vztahů a mechanismů tvorby odtoku a jakosti vod v podmínkách převážně zemědělsky využívaných malých povodí v parovinných a pahorkatinných oblastech ČR. Ve výzkumných projektech je na těchto povodích zkoumán vliv využití území (zejména stupně zornění a zatravnění) i funkce řízených či tradičních odvodňovacích systémů. Metody monitoringu reflektují současné trendy výzkumu i rozvoj automatizace měření, správy a přenosu dat. Jsou sledována nejen povodí jako celek, ale i jejich dílčí součásti, v souladu s moderním trendem výzkumu vnořených povodí. Relativní různorodost přírodních a zemědělsko-hospodářských podmínek jednotlivých lokalit umožňuje realizovat srovnávací analýzy a zobecňovat navržené analytické postupy. Vedle interní spolupráce jednotlivých výzkumných týmů při využívání experimentálních povodí jsou tato povodí systematicky včleňována do celostátních i mezinárodních výzkumných programů.

Klíčová slova: experimentální povodí, monitoring, vnořená povodí

Monitoring of landuse and drainage systems influence on hydrology and water quality in the small agriculture basins. *RISWC (Research Institute for Soil and Water Conservation) in Prague has operated a number of experimental watersheds (Cerhovický stream, Černičí, Kopaninský stream, Žejbro river) in parallel with range of partial observations in another sites. The aim of these activities is quantification of hydrological balance, precipitation – runoff relations and mechanisms of runoff formation and water quality at conditions of small watersheds used mainly by agriculture and located in peneplain and hilly regions of the Czech Republic. Influence of landuse (especially tilling and grassing level) and function of controlled and traditional drainage systems are explored in watersheds mentioned above in the frame of the research projects. Methods of monitoring reflect today´s trends of research, development of measuring automation, data management and data transport.*

The watersheds are observed not only as a whole, but as a complex of their partial components in accordance with the advanced trend of nested watersheds research. Relative heterogeneity of the natural and agro–economic conditions of the individual locations make possible to realize comparative analysis and to generalize proposed analytical processes. In addition to the internal cooperation among the separate research teams at experimental watersheds utilization, there are these watersheds incorporated systematicly into the national and international research programmes.

Key words: experimental catchments, monitoring, nested catchments

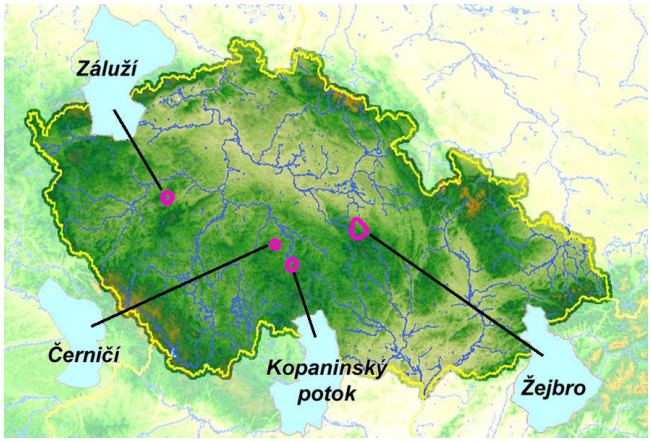
---

ÚVOD

Hydrologický monitoring je při Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy Praha orientován na podporu řešení úkolů, souvisejících s vodním režimem zemědělských půd (odvodnění, závlahy, protierozní opatření, využití půdního fondu a pozemkové úpravy). Experimenty byly v minulosti realizovány na celé řadě povodí a dílčích ploch, v posledním desetiletí se z praktických důvodů zúžil počet těchto povodí na několik hlavních, které vyhovují většině řešeným úkolům a přitom nabízí dlouhodobou řadu základních pozorování i zázemí ověřených popisných a dalších informací. Neméně důležité je i místní povědomí a technické zázemí experimentální plochy, otevřená komunikace s uživateli či majiteli dotčených pozemků. Mezi hlavní, dlouhodobě systematicky měřená povodí náleží experimentální povodí: Cerhovického potoka, Černičí, Kopaninského potoka a Žejbra. Pro tato povodí byla zpracována v předchozích dvou letech jednotná metadata, která jsou východiskem účelného využívání měřených dat a zachování vazeb na již ukončené studie a experimenty. Jednotnost zpracování umožňuje využít podklady pro presentaci těchto povodí vně organizace, pro navazování nových spoluprací a vícenásobné využívání dat, což přináší spektrum pohledů na procesy v povodí probíhající, jejichž základem je hydrologický režim.

STRUKTURA EXPERIMENTÁLNÍCH POVODÍ

Koncepce experimentálních povodí pro obory vodohospodářských meliorací a hydrologii malých povodí se vyvíjela s ohledem na řešená témata a materiální i personální zázemí. Redukce počtu výzkumných objektů a výzkumných stanic v 90.letech 20.století souvisela s restrukturalizací ústavu. Úkoly související s četnějším výskytem extrémních hydrologických jevů v povodích a potřeba popsat vliv jednotlivých antropogenních činitelů na odtokový proces včetně odhadu vývoje kvality vod v souvislosti se změnami zemědělsko-hospodářských podmínek vyvolal nutnost využívat numerické simulační modely. Pro jejich kalibraci jsou nezbytná experimentální data s dostatečně dlouhou řadou relevantních pozorování. Proto došlo k přehodnocení reprezentativnosti v minulosti vybudovaných experimentálních povodí či ploch a sdružením prostředků se podařilo stabilizovat hlavní experimentální základnu ústavu. Kritická byla z tohoto pohledu léta 1992-1995. Tímto opatřením se podařilo prodloužit řady měření na období 15-25 let a shromáždit unikátní data, platná pro malá zemědělsko-lesní povodí s rozlohami v řádu jednotek km^2. Význam spatřujeme také v kontinuitě předchozích výzkumů, které poskytují popis povodí z různých pohledů a jsou zdrojem cenných údajů, které slouží pro zařazení současných měření a pro jejich vzájemné srovnání.



Obr. 1 Lokalizace hlavních experimentálních povodí VÚMOP Praha

Fig. 1 Situation of main experimental catchments of RISWC Prague

V posledních deseti letech se koncepce hlavních výzkumných povodí VÚMOP Praha ustálila na čtyřech vyjmenovaných (Obr.1). V povodích se provádí monitoring základních hydrologických charakteristik, které slouží pro zpracování hydrologické bilance a pro popis vodního režimu půd i potřeb pěstovaných plodin resp. rostlinných společenstev. Na příkladu povodí Žejbro (okr. Chrudim) můžeme dokumentovat úspěšné uplatnění koncepce vnořených povodí, což snižuje rozsah monitoringu při zachování jeho reprezentativnosti. V závěrovém profilu povodí Žejbro (s plochou cca 50 km^2) využíváme měření průtoků, zajišťované ČHMÚ, které doplňujeme vlastními šetřeními (sledování kvality vod, kalibrace a měření extrémních průtoků atd.). Závěrné profily povodí nižších řádů (Dolský potok – 4,78 km^2, Kotelský potok – 3,21 km^2; viz Tab.1) jsou monitorována vlastními limnigrafickými stanicemi (Thompsonův přeliv a měrná trať) s intenzivnějším experimentálním provozem v povodí. Vedle srovnávací meteorologické stanice ČHMÚ (Svratouch), nalézající se poblíž jižní rozvodnice, je instalována ve střední části experimentálního povodí automatická stanice (VÚMOP), doplněná plošným monitoringem srážek a dalších veličin (viz Obr 2b).

Vlastní monitoring poskytuje experimentální data z období předcházející realizaci i po provedení souboru experimentů. Účelu využití naměřených podkladů je přizpůsoben rozsah a zaměření monitoringu, zejména s ohledem na speciální témata, jakými jsou například měření drenážních odtoků, jakosti vod a obsah nerozpuštěných látek v určujících profilech povodí, vlhkost půdy resp. charakteristiky pohybu vody půdním prostředím. Ústav disponuje poměrně dlouhými řadami režimových měření i množstvím speciálně zaměřených experimentů. Přehled těchto aktivit s odkazy

na literaturu, případně s převzatými hlavními výsledky poskytuje sjednocené zpracování metadat. K dispozici je v písemné podobě, v letošním roce je připravováno základní zpracování v digitální formě, které bude souhrnné informace o povodích poskytovat i prostřednictvím Internetu (rozšíření základní verze, publikované na http://www.hydromeliorace.cz/povodi/index.html).

V současnosti je zpracovávána 2. verze koncepce databáze o experimentálních povodích. Zahrnuje následující kapitoly:
- Geografie (obecné charakteristiky)
- Hydrologie (obecné charakteristiky)
- Monitoring (struktura a charakteristiky)
- Fotogalerie
- Aplikace .... představení souhrnných výsledků - tabulky, grafy, mapy
- Odkazy na literaturu s citací experimentálních povodí
- Administrace exp. povodí (kontaktní adresy, další informace)

UPLATNĚNÍ EXPERIMENTÁLNÍCH DAT

V souvislosti s útlumem zemědělské produkce v devadesátých letech jsou na experimentálních povodích studovány aktuálně následující témata:
- ochrana půd a hydrosféry jako základní princip realizovaného výzkumu;
- dopady restrukturalizace zemědělské výroby (změna využití půdy, delimitace kultur, snížení potřeby intenzit odvodnění, vliv těchto aspektů na kvalitu povrchových a podzemních vod);
- problematika vodní a větrné eroze, účinnost agrotechnických protierozních opatření, vliv erozních smyvů na kvalitu povrchových vod;
- hodnocení retenční kapacity půd a krajiny, uplatnění systémů retardace drenážních vod a řízení odtoku mělkých podpovrchových vod, transportní procesy v povodí (živiny a rizikové látky);
- zpřesnění složek hydrologické bilance a vyjádření podílu drenážních vod na celkovém odtoku z povodí (za běžných i extrémních situací).

PŘEDSTAVENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH POVODÍ

Tab. 1 Základní charakteristiky hlavních experimentálních povodí VÚMOP Praha

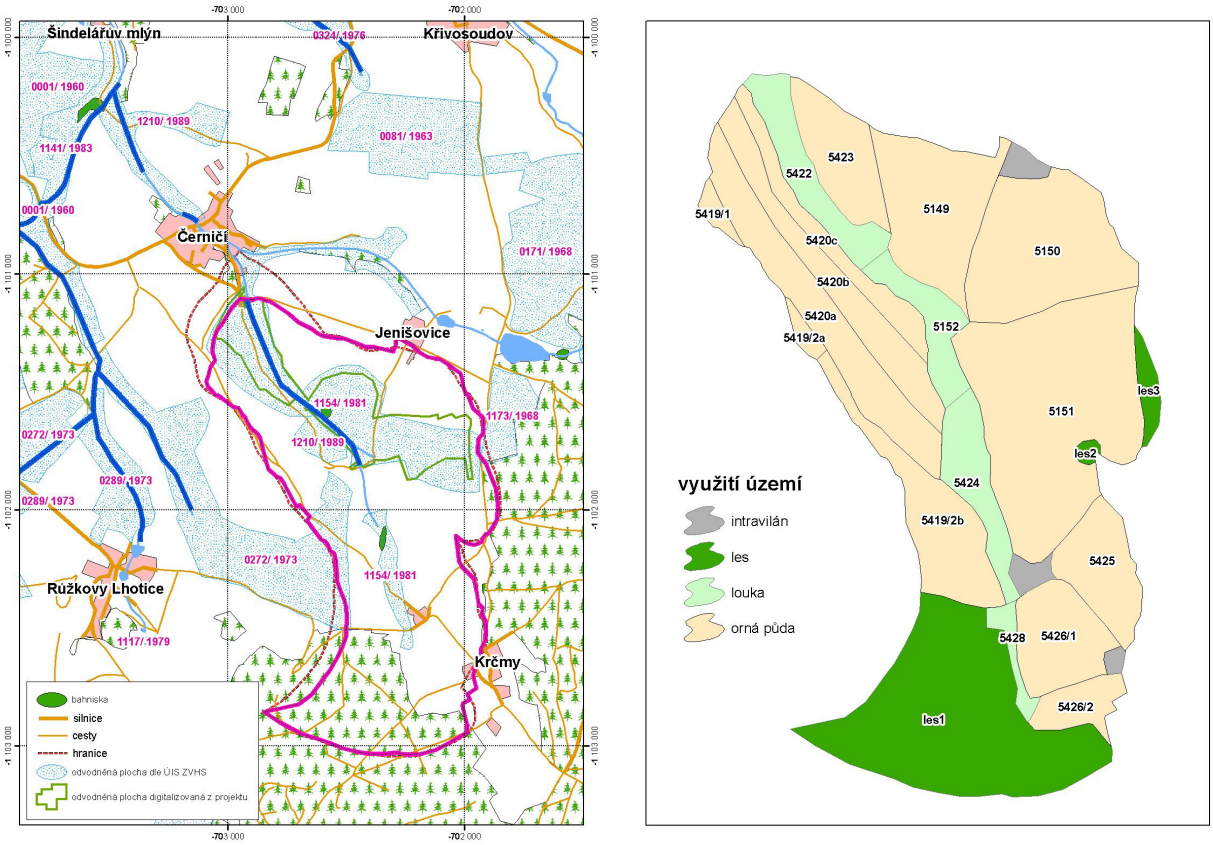
Tab. 1 Basic characteristics of the main RISWC experimental catchments

Jméno povodí	Cerhovický potok	Černičí	Dolský potok /*	Kopaninský tok	Kotelský potok /*	Žejbro /**
Prům.zem.šířka	49° 51' E	49° 37' N	49° 47' N	49° 28' N	49° 47' N	49° 48' N
Prům.zem.délka	13° 50' E	15° 04' E	15° 59' E	15° 17' E	15° 59' E	15° 59' E
Výšky (m n.m.) min – max (avg.)	390 – 572 (481)	448 - 543 (496)	456 - 676 (566)	467 - 578 (523)	438 - 663 (551)	355-676 (516)
Plocha (km^2)	7.36	1.42	4.78	6.69	3.21	48.3
% orné půdy	18 %	73 %	68 %	52 %	76 %	63 %
% louky	22 %	7 %	7 %	14 %	10 %	15 %
% les	60 %	17 %	1 %	30 %	3 %	16 %
% system.drenáž	16 %	17 %	22 %	10 %	38 %	23 %
Srážkový úhrn roční prům.(mm)	617	722	764	665	764	764
Prům. teplota vzduchu (°C)	7.5	7.5	6.3	7.0	6.3	6.3
Hlavní matečná hornina	svor	pararula	fylity	pararula	fylity	fylity, hlubinné vyvřeliny, křída

/ Dolský potok a Kotelský potok je dvojice povodí nižšího řádu v povodí vodního toku Žejbro*

*/** Měrná limnigrafická stanice ČHMÚ*

Experimentální povodí Černičí u Čechtic bylo založeno v roce 1990. Jde o typické malé povodí bez významných bodových zdrojů znečištění (komunálního či zemědělského). Původním účelem byl monitoring erozního smyvu a odnosu půdy spolu s hodnocením plošného znečištění vod zemědělskou výrobou v povodí VD Želivka - Švihov. Povodí bylo využíváno pro kalibraci modelů pohybu půdní vody a půdních roztoků, analyzován byl i chemizmus povrchové, podzemní a drenážní vody. Území je součástí paroviny Středočeské pahorkatiny, klimatická oblast mírně teplá, mírně vlhká. Geologické podloží je předprvohorního až prvohorního stáří (Moldanubikum), půdy jsou středně hluboké až hluboké, převážně středně těžké. Poměry povodí jsou znázorněny na Obr.2.



Obr. 2 Situace povodí Černičí: a/ rozsah odvodnění drenáží; b/ využití území

Fig. 2 Situations of Černičí basin: a/ drainage systems; b/ landuse

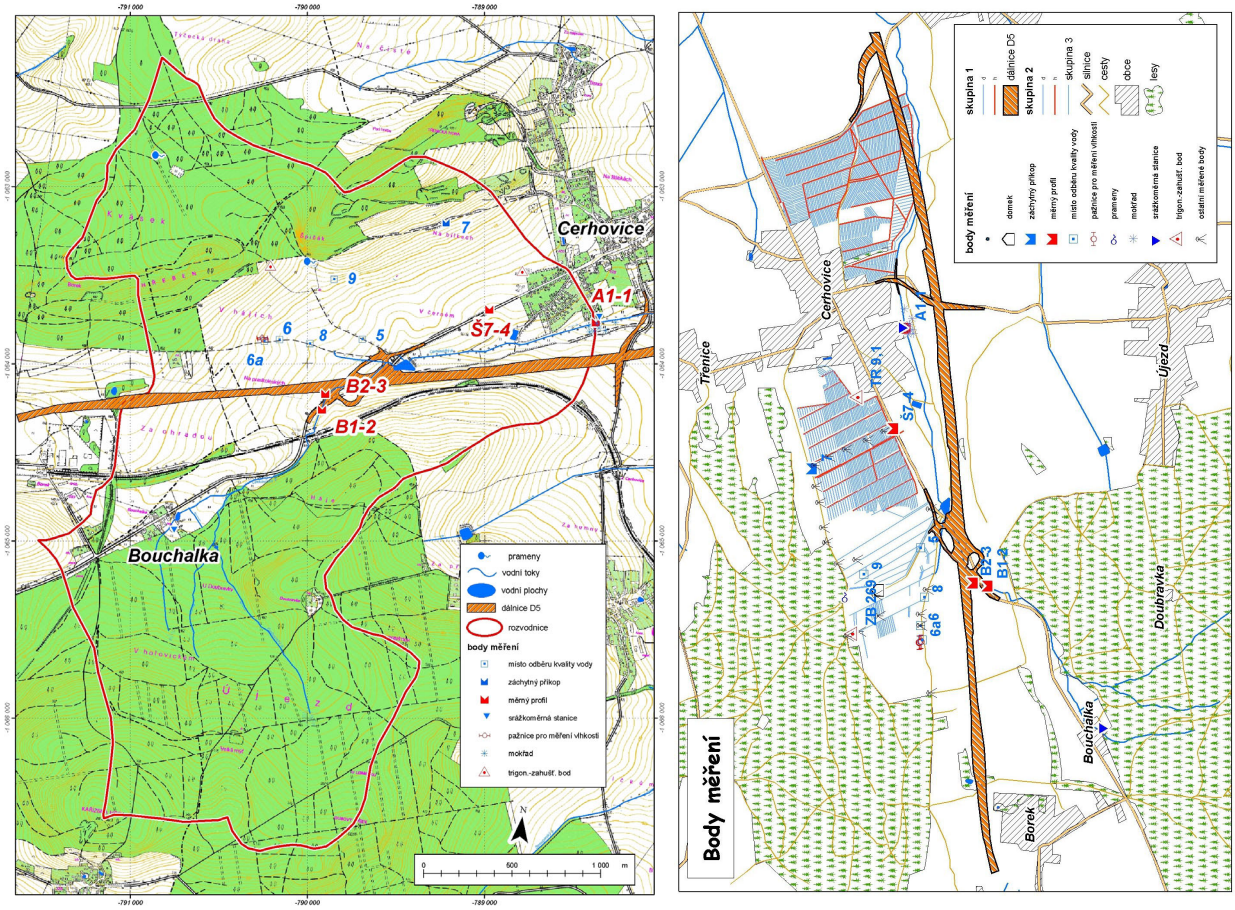
Experimentální plocha Záluží-Cerhovice byla založena v roce 1973/4 pro účely řešení problematiky funkce drenážního zásypu, obsypu a filtru. V roce 1977 bylo měření rozšířeno pro řešení úkolů, zabývajících se úpravou odtokových poměrů odvodňovacími zařízeními v malém povodí a studiem vlivu zemědělské činnosti na kvalitu podzemních vod. Výstavba dálnice v roce 1994 si vyžádala provedení řady opatření (přeložení závěrového profilu - redukce plochy z 8,98 km^2 na 7,36 km^2). Povodí patří do oblasti bramborářsko-pšeničné, klimatická oblast mírně teplá, mírně vlhká, zemědělské půdy zaujímají cca 286 ha; na 450 ha jsou smíšené lesy (smrk a dub). Povodí se nachází na území středočeské pánve (Barrandien) - komplex nejmladšího proterozoika. Situování objektů v povodí a kategorie využití území popisuje Obr.3. V současnosti se s ohledem k rozšiřování intravilánu obce a stavebním činnostem výrazně mění podmínky u závěrového profilu povodí.

Skupina pěti experimentálních povodí vodního toku Žejbro se nachází v okrese Chrudim. V posledním desetiletí byl monitoring soustředěn vedle uceleného povodí Žejbro na dvě dílčí povodí: Dolský a Kotelský potok. Experimentální provoz byl zahájen v roce 1981 s účelem měření průtoků před chystanou stavbou velkoplošných odvodnění zemědělských půd. Geologicky je povodí součástí hlinecké zóny - spodní paleozoikum (kambrium až devon) a svrchní proterozoikum. S ohledem na

velikost povodí se jednotlivé charakteristiky (geologické poměry, klima, půdní poměry) mění v poměrně širším rozmezí a vhodněji je proto popisují mapové přílohy (viz literatura). Odlišnost vnitřních povodí Dolského a Kotelského potoka je dána zejména existencí sídel a vodních nádrží i rozsahem ploch odvodněných drenáží. Na povodích byly řešeny výzkumné projekty, související s úpravou odtokových poměrů v malém povodí v důsledku odvodnění půd a úprav malých toků. Řešena byla problematika regulace odtoku povrchové a půdní vody, i vliv změn zemědělského hospodaření. Data o průtocích v uzavíracím profilu povodí Žejbra jsou přebírána od ČHMÚ. Situace využití území a rozmístění měrných objektů je znázorněna na Obr.4.

Obr. 3 Situace povodí Cerhovice: a/ měřící objekty; b/ rozsah odvodnění drenáží

Fig. 3 Situation of Cerhovice basin: a/ object of measurements; b/ localization of drainage systems



Tab. 2 Podíl ploch zemědělských půd, odvodněných drenáží (povodí Žejbro)

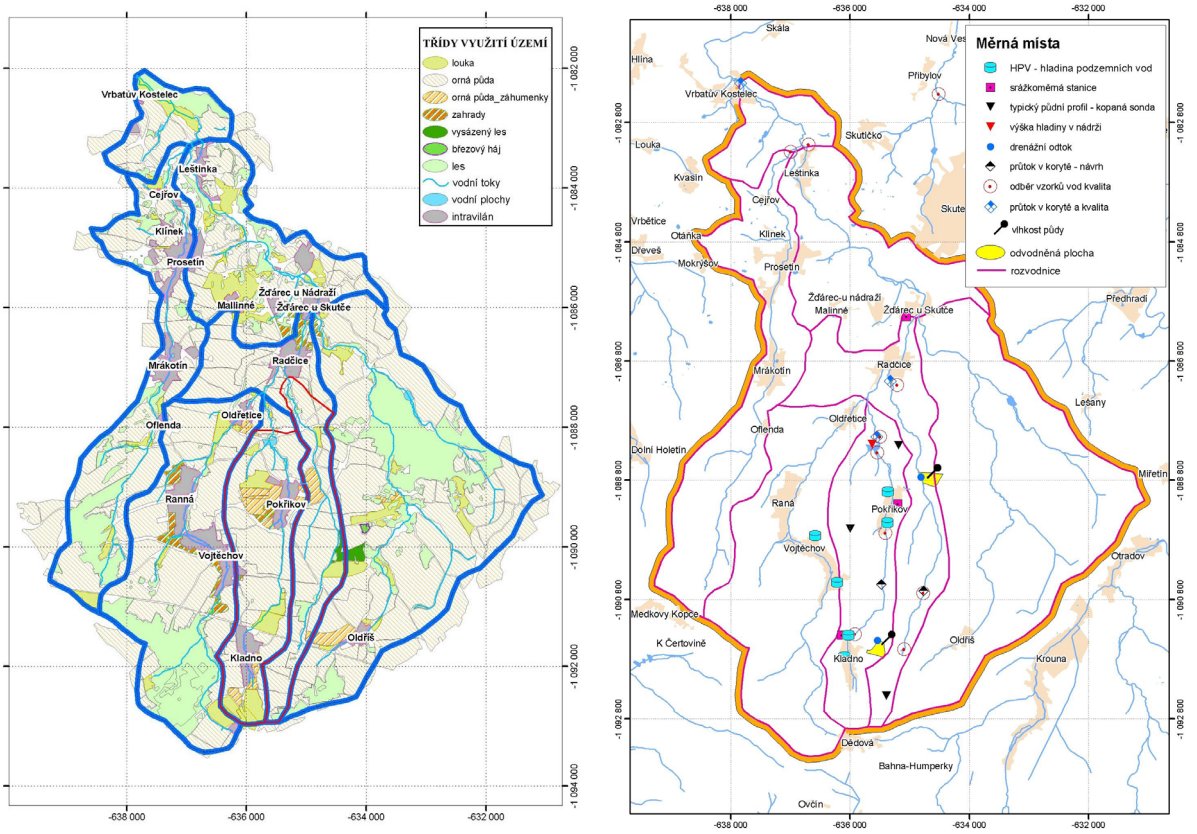
Tab. 2 Portion of agriculture land with drainage systems (Žejbro catchment)

Číslo povodí	Plocha pozemků odvodněných drenáží [ha]	Podíl odvodněné plochy k ploše dílčího povodí [%]
1-03-03-069- Hesinský potok	556	39
1-03-03-070- Ranský potok	153	17
1-03-03-071- Dolský potok	151	30
1-03-03-072- Kotelský potok	299	54
1-03-03-073- Žejbro	72	13
1-03-03-074- Mrákotínský potok	154	22
1-03-03-075a- Žejbro	4	2

Intenzita zemědělského odvodnění plošnou drenáží je v povodí Žejbra poměrně vysoká (29%), pro jednotlivá povodí ji uvádí následující Tabulka 2 a graficky vyjadřuje mapa na Obr.5a.

Obr. 4 Povodí Žejbro: a/ využití území; b/ místa měření

Fig. 4 Situation of Žejbro basin: a/ landuse; b/ object of measurements

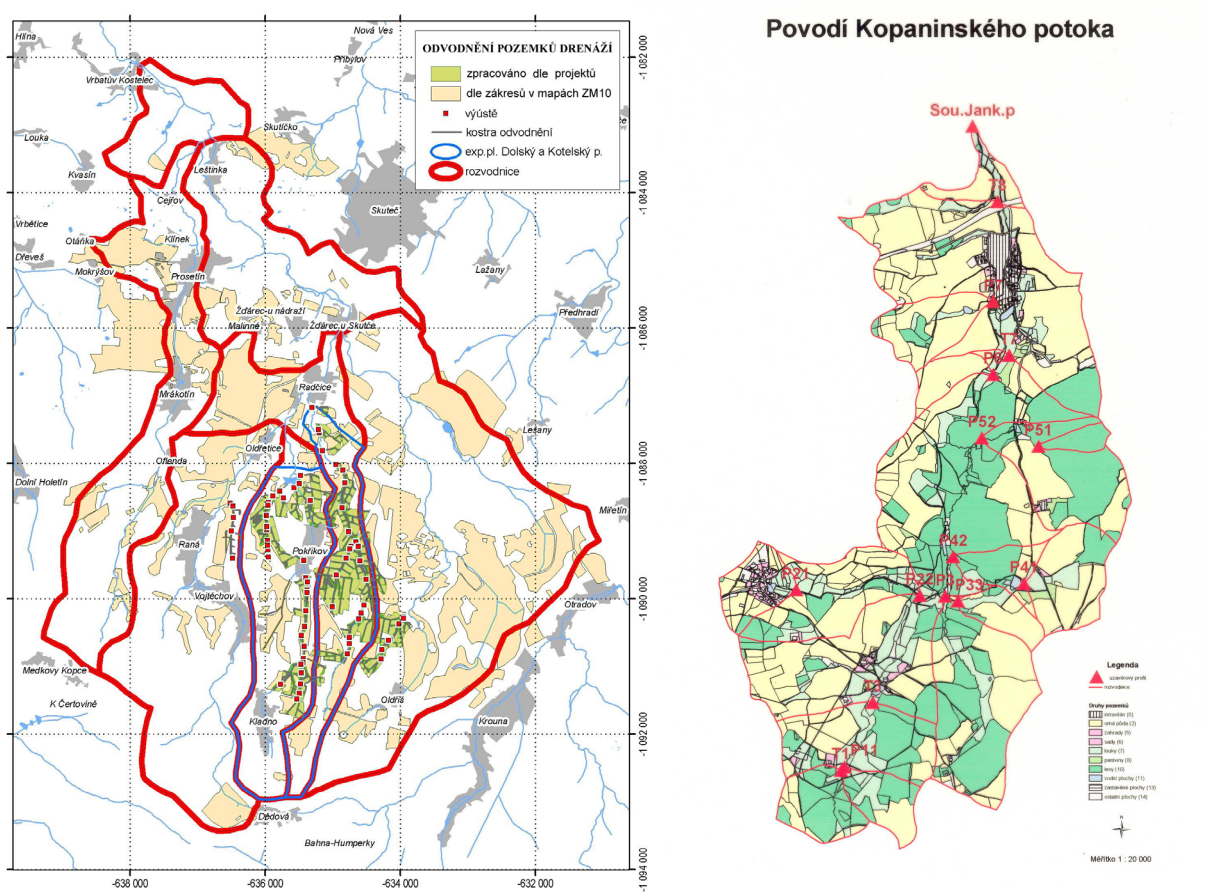


Pokusné plochy v povodí Kopaninského toku byly založeny v roce 1985, původně pro výzkum regulační drenáže na lučních stanovištích. Povodí se nachází mezi Humpolcem a Pelhřimovem v kraji Vysočina, geologickým podložím je krystalinikum, půdy jsou převážně kambizemě districké. Od roku 1992 je zde systematicky sledována kvalita vody nejen v hlavním toku, ale také na cca 17-ti přítocích (potocích, drenážích a pramenech), což umožňuje podrobné provedení bilance dusíku a identifikaci lokalit, které se nejvíce podílejí na odnosu tohoto nutrientu, tzv. zdrojových (infiltračních) oblastí povodí. Výsledky šetření slouží pro stanovení dopadu zatravnění na kvalitu vod a pro návrh rozsahu tohoto opatření k zajištění vyhovující jakosti vody. Využití území, tvar povodí a rozmístění měrných objektů vyjadřuje Obr. 5b.

ZÁVĚR

V průběhu posledních let se podařilo integrovat a koordinovat výzkum na experimentálních povodích do různých programů, napříč průběžně vznikajícími prostorovými a časovými zájmy. Podařilo se opakovaně porovnat a koordinovat výsledky činností, což vytvořilo ve vztahu k monitoringu pozitivně hodnocený efekt zpětné vazby. Data z komplexně sledovaných experimentálních ploch nachází využití v resortních i nadresortních projektech, současně se zvyšuje zájem o vnější i vnitřní spolupráci.
V posledních 5-ti letech byly na všech uvedených povodích monitorovací systémy modernizovány ve smyslu automatizace sběru dat, případně jejich distribuce k uživatelům bezdrátovými technologiemi či prostřednictvím Internetu (archivace dat na zabezpečeném serveru). Reprezentativnost měřících

profilů byla zhodnocena vzhledem k mnohačetnému využívání dat, přitom byla iniciována doplnění řady nových měrných profilů.
Jak je uvedeno v závěrech prvního sborníku s tématikou pokusných povodí VÚMOP Praha (2002), srovnání a koordinace experimentálních činností na malých povodích ozřejmuje některé aspekty sledovaných jevů, které by jinak unikaly pozornosti nebo by byly považovány za samozřejmé. Takovými aspekty jsou např. značná převaha skutečné evapotranspirace nad odtokem v rovnici hydrologické bilance malých zemědělských povodí v podhorských oblastech středočeského krystalinika, zvláštní charakter drenážního odtoku ve srovnání s obvyklými složkami odtoku z povodí, chování vodních toků za extrémních situací, náchylnost jednotlivých povodí k erozi půdy, komplikované trendy vývoje jakosti vody v drobných vodních tocích a mechanismy tvorby jakosti vody v půdním profilu.



Obr. 5 *a/ Odvodnění zemědělských půd systematickou drenáží v povodí Žejbra*

b/ Využití území povodí Kopaninského potoka

Fig. 5 *a/ Situation of drainage systems on Žejbro catchment*

b/ Landuse on basin 'Kopaninský potok'

Závěrem bychom chtěli poděkovat za podporu provozu experimentálních povodí zejména z prostředků výzkumného záměru ústavu (do roku 2003: MZE-M07-99-01, po roce 2004: MZE0002704901), která se tak stává součástí trvalé a systematické péče o experimentální základnu výzkumu na malých zemědělsko-lesních povodích v podmínkách VÚMOP Praha.

Literatura

Burešová Z., Čmelík M., Eichler J., Kulhavý Z. (2003): Informační zpracování databází experimentálního povodí Žejbro. Samostatná část výstupu etapy 14 výzkumného záměru VÚMOP Praha MZE-M07-99-01, VÚMOP Praha, 18s + 66s příloh

Johanovský Z. (2004): Metadata výzkumného povodí Černičí. VÚMOP Praha, 55s + 13s příloh

Kolektiv autorů (2002): Pokusná zemědělsko-lesní povodí VÚMOP ve středočeském krystaliniku. Sborník z Workshopu Nové Hrady, editor Doležal F., VÚMOP Praha, 96 str.

Peterková J., Kvítek T. (2003): Experimentální povodí Kopaninský tok a Dehtáře – stav po vybavení novou přístrojovou technikou. In Zborník príspevkov na CD 11 Posterový deň s medzinárodnou účasťou „Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda – rastlina – atmosféra". Bratislava, SR : ÚH SAV / GFÚ-SAV, s. 319-325. ISBN 80-89139-02-7.

Pilná E. (2002): Metadata výzkumné plochy Cerhovice. VÚMOP Praha, 55s + 20 s příloh

Pilná E. (2003): Metadata výzkumné plochy Kopaninský tok, VÚMOP Praha, 66 s. +13 s. příloh

http://www.hydromeliorace.cz/povodi/index.html (2003): Experimentální povodí VÚMOP Praha, 1.verze WEB-ové presentace

Autorský kolektiv

Zdeňka Burešová, Milan Čmelík, František Doležal, Petr Fučík, Zbyněk Kulhavý, Tomáš Kvítek, Eva Pilná, Jana Peterková, Mojmír Soukup, Martin Tippl

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5 - Zbraslav, Česká republika

Tel: +420 257 921 640, E-mail: dolezal@vumop.cz; kulhavy@hydromeliorace.cz

SYSTÉM NA MONITOROVANIE EURÓPSKYCH VÔD SEWING A JEHO VYUŽITIE V HYDROLÓGII

Ľubomír Lichner, Ladislav Holko, Zdeněk Kostka, Vladimír Píš

V rámci riešenia projektu 5. Rámcového programu EÚ č. IST-2000-28084 „System for European Water Monitoring" (SEWING) sa v r. 2001 – 2004 vyvinulo zariadenie na meranie koncentrácie iónov NO_3^-, NH_4^+, Na^+, Ca^{2+} a H^+ vo vode. Ako jeho senzory slúžia chemicky upravené iónovoselektívne FET tranzistory (nazývané CHEMFET-y), údaje z ktorých sú spracovávané, kódované, uschovávané a prenášané mikrosystémami, ktoré sú flexibilné a špecifické pre konkrétneho používateľa. V rámci riešenia projektu bol vyvinutý aj hydraulický systém, odoberajúci vzorky meranej vody, štandardné kalibračné vzorky a softvér na vizualizáciu výsledkov. Ako subkontraktor (konečný používateľ) projektu, slovenská skupina riešiteľov využila toto zariadenie pri stanovovaní časovej variability koncentrácie dusičnanov vo vzorkách vody, odobratých na dvoch odberných miestach Jaloveckého potoka počas hydrologického roka 2004 a na jar 2005, a jej závislosti od využitia krajiny Jedno odberné miesto bolo horskej časti povodia v Západných Tatrách, kde je ľudská činnosť veľmi obmedzená, druhé v obývanej časti povodia s poľnohospodárskou činnosťou v Liptovskej doline. Koncentrácie dusičnanov v toku sa v dvoch odberných miestach nelíšili s výnimkou obdobia topenia snehu, keď dochádza k vyplavovaniu iónov akumulovaných v snehu. Pozdĺžne monitorovanie vody v Jaloveckom potoku potvrdilo, že k najväčším zmenám v koncentrácii dochádza v obývanom území.

Kľúčové slová: meranie, koncentrácia, dusičnany, Jalovecký potok

System for European water monitoring SEWING and its use in hydrology. *A device for measurement of NO_3^-, NH_4^+, Na^+, Ca^{2+}, and H^+ ions was developed as an output of the 5th European Commission Framework Programme Project No. IST-2000-28084 „System for European Water Monitoring" (SEWING), solved in 2001–2004. Sensors of this device are chemically modified ion-selective field-effect transistors (called CHEMFETs). Output data of the sensors are processed, coded, maintained, and transferred by flexible and user-specific microsystems. The SEWING-device contains a hydraulic system for water sampling, standard calibration samples, and software for visualization of the results. As a subcontractor (end-user) of the project, the Slovak team used this device for estimation of the temporal variability in nitrate concentration in water samples, collected in two sampling sites of Jalovecký potok creek during the hydrological year 2004 and in spring 2005, depending on land use. The first sampling site was in the mountainous part of the catchment with very restricted human activities in the Western Tatra mountains, the second one in rural area with villages and agriculture in Liptov valley. Concentrations of nitrates in the creek at both sites typically do not differ very much except of the snowmelt period. Leaching of nitrates from the inhabited areas during the snowmelt is the reason of large differences between the two sites during the snowmelt period.*

Key words: measurement, concentrations, nitrates, Jalovecký potok creek

---

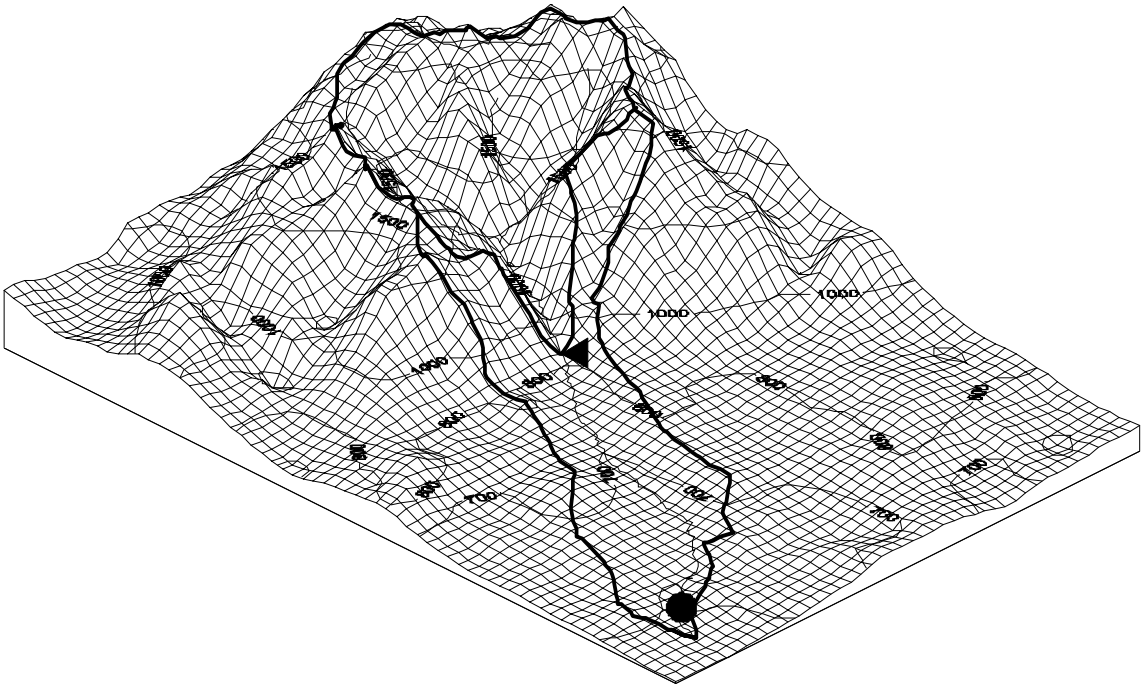
ÚVOD

Deficit pitnej vody sa v súčasnosti stáva problémom aj v Európe (Falkenmark et al., 1999). Na získanie informácií o najčastejšie stretávaných typoch znečistenia povrchovej a podzemnej vody sa v rámci riešenia projektu 5. Rámcového programu EÚ č. IST-2000-28084 „System for European Water Monitoring" (SEWING) v r. 2001 – 2004 vyvinulo zariadenie na meranie koncentrácie iónov NO_3^-, NH_4^+, Na^+, Ca^{2+} a H^+ vo vode. Ako jeho senzory slúžia chemicky upravené iónovoselektívne FET tranzistory (nazývané CHEMFET-y), využívajúce rôzne iónovo-senzitívne polymérové membrány, ktoré umožňujú výber rôznych cieľových polutantov. Údaje zo senzorov sú spracovávané, kódované, uschovávané a prenášané mikrosystémami, ktoré sú flexibilné a špecifické pre konkrétneho používateľa. V rámci riešenia projektu bol vyvinutý aj hydraulický systém, odoberajúci vzorky meranej vody, ako aj štandardné kalibračné vzorky. Zariadenie má slúžiť na kontinuálne monitorovanie znečistenia vody v reálnom čase a tiež ako systém včasnej výstrahy (http://www.sewing.mixdes.org).

Ústav hydrológie SAV v Bratislave je subkontraktorom (konečným používateľom) projektu SEWING. Autori článku použili prototyp tohto zariadenia pri stanovovaní časovej variability koncentrácie dusičnanov vo vzorkách vody, odobratých na dvoch odberných miestach Jaloveckého potoka počas hydrologického roka 2004 a na jar 2005, a jej závislosti od využitia krajiny.

MATERIÁLY A METÓDY

Trojrozmerná mapa povodia Jaloveckého potoka je na obr. 1. Jedno odberné miesto („Mountains“) sa nachádza na výtoku z horskej časti povodia Jaloveckého potoka v Západných Tatrách s nadmorskou výškou až 2178 m n. m., kde je ľudská činnosť veľmi obmedzená. Na obr. 1 je označené trojuholníkom. Druhé odberné miesto („Valley“) sa nachádza v obývanej časti povodia s poľnohospodárskou činnosťou v Liptovskej doline v blízkosti uzáveru povodia. Na obr. 1 je označené krúžkom.

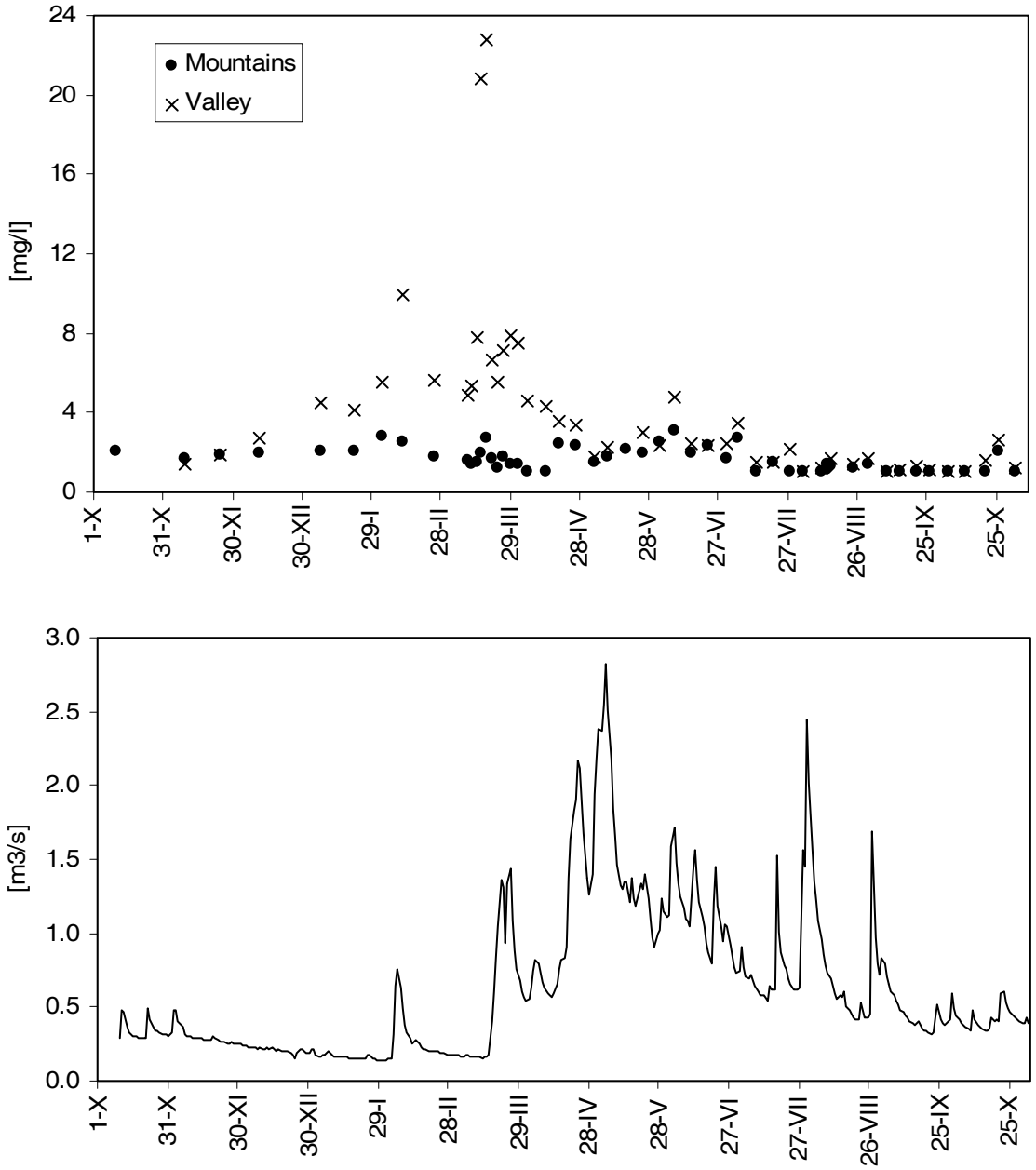


Obr. 1 Povodie Jaloveckého potoka a odberné miesta na výtoku z horskej časti povodia (trojuholník) a v blízkosti uzáveru celého povodia (krúžok).
Fig. 1 The Jalovecký potok creek catchment and the sampling points at the outlet of the mountain part (triangle) and near the end of the whole catchment (circle).

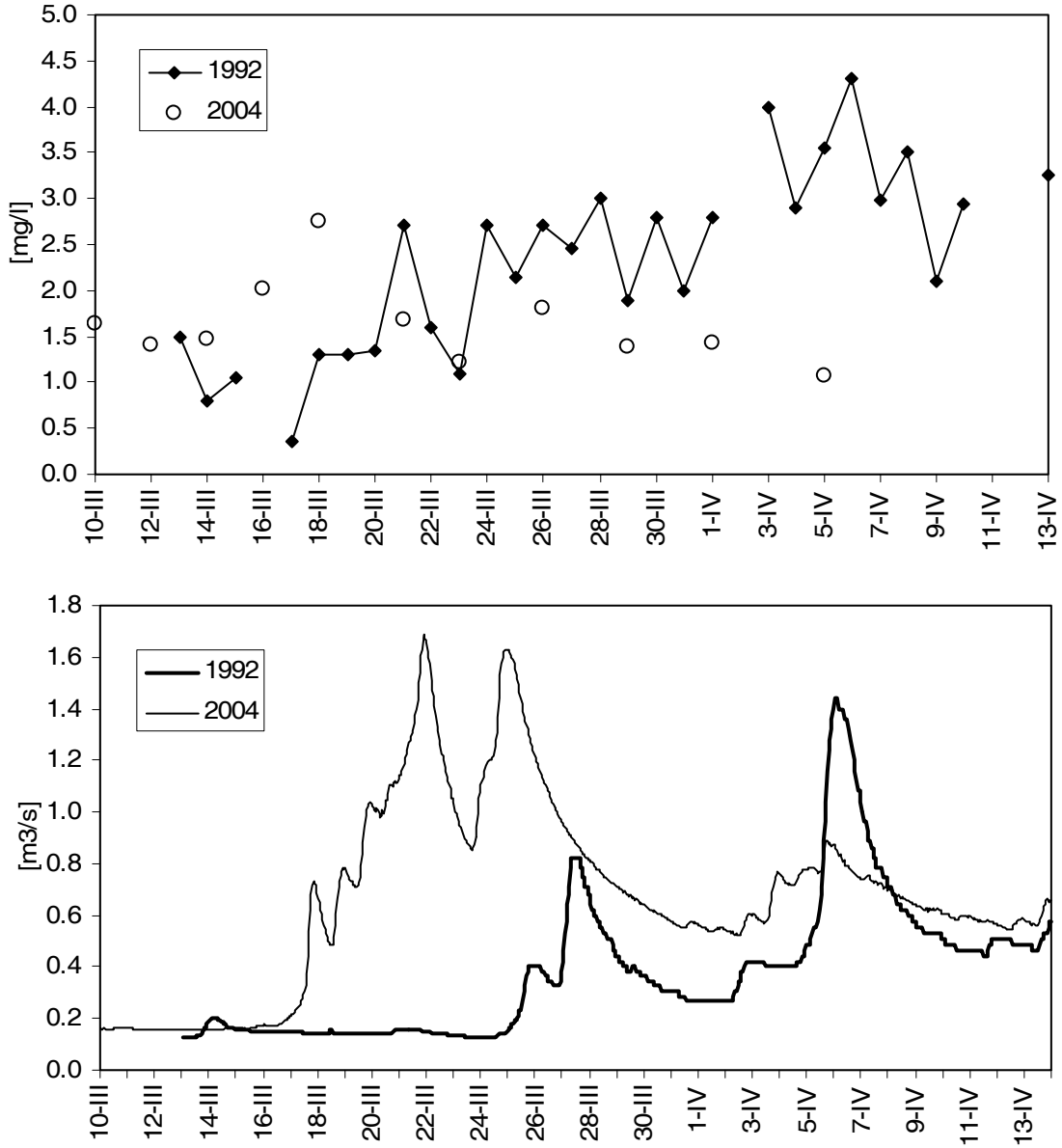
Vzorky vody sa odoberali od októbra 2003 s premenlivou frekvenciou – počas studenej časti roka (október 2003 – apríl 2004) raz za dva týždne a počas teplej časti roka (máj – október 2004) raz týždenne. Ešte častejší odber vzoriek sa vykonával na začiatku topenia snehu v marci 2004 a počas zrážkovo-odtokovej udalosti v auguste 2004. Koncentrácia dusičnanov vo všetkých vzorkách sa merala kolorimetrickým spektrometrom spektrofotometrickou metódou na prietokovom segmentovom analyzátore SKALAR SAN Plus system (výrobca: SKALAR ANALYTICAL BV Breda, Holandsko) (Píš, 1996). Detekčný limit (LOD) je 0,49mg/l a medza stanoviteľnosti (LOQ) je 1,00mg/l. Koncentrácia dusičnanov v niekoľkých vzorkách sa merala aj na prototype zariadenia SEWING.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Koncentrácie dusičnanov vo vode, odobranej na dvoch odberných miestach Jaloveckého potoka (obr. 2), sa v priebehu roka nelíšili s výnimkou obdobia topenia snehu. Vzorkovanie pozdĺž Jaloveckého potoka vykonané na jar 2005 ukazuje, že k najväčším zmenám koncentrácií dochádzalo v osídlenych oblastiach.



Obr. 2 Koncentrácia dusičnanov [mg.l^{-1}] a prietok [m^3.s^{-1}] v Jaloveckom potoku v odberných miestach "Mountains" a "Valley" v hydrologickom roku 2004.
Fig. 2 Concentration of nitrates [mg.l^{-1}] and stream discharge [m^3.s^{-1}] in the Jalovecký potok creek at the sampling sites "Mountains" and "Valley" in hydrological year 2004.



Obr. 3 Koncentrácia dusičnanov [mg.l^{-1}] a prietok [m^3.s^{-1}] v Jaloveckom potoku v odbernom mieste "Mountains" na jar 1992 a 2004.
Fig. 3 Concentration of nitrates [mg.l^{-1}] and stream discharge [m^3.s^{-1}] in the Jalovecký potok creek at the sampling site "Mountains" in springs 1992 and 2004.

Koncentrácia dusičnanov v odbernom mieste „Mountains“ bola v rozmedzí od < 1 mg.l^{-1} do 3,09 mg.l^{-1}. Koncentrácia dusičnanov v odbernom mieste „Valley” bola v rozmedzí od < 1 mg.l^{-1} do 22,8 mg.l^{-1}. Od mája do novembra boli koncentrácie v oboch odberných miestach skoro rovnaké, pričom od septembra do polovice októbra často klesali pod prah citlivosti meracieho zariadenia. Rozdiely koncentrácií dusičnanov, namerané obomi zariadeniami, boli nepatrné.

Koncentrácia dusičnanov v zrážkach, vzorkovaných v najvyššej časti povodia v lete 2003 (od polovice mája do polovice októbra) bola v rozmedzí od 0,7 mg.l^{-1} do 4,8 mg.l^{-1}. Maximálna koncentrácia dusičnanov vo vzorkách snehu, odoberaných od polovice marca do začiatku apríla 2004, bola 1,63 mg.l^{-1}; vo väčšine z 15 odobraných vzoriek bola koncentrácia dusičnanov pod prahom citlivosti meracieho zariadenia. Hodnoty koncentrácie však mohli byť ovplyvnené počas topenia vzoriek snehu.

Porovnanie našich výsledkov so staršími výsledkami, nameranými v chladnom období roka na konci osemdesiatych (Babiaková et al., 1990) a na začiatku deväťdesiatych rokov, ukázalo, že koncentrácia dusičnanov v odbernom mieste „Mountains“ bola skoro rovnaká (obr. 3). Aj keď variácia koncentrácie dusičnanov v horských oblastiach nie je veľmi vysoká, všetky série údajov ukazujú, že týždňový vzorkovací krok počas topenia snehu môže viesť k záverom, ovplyvneným systematickou chybou. Správny odhad odnosu dusičnanov počas obdobia topenia snehu by mal byť založený na vzorkách odoberaných s dennou frekvenciou.

Poďakovanie

Autori ďakujú za podporu poskytnutú z prostriedkov projektu 5. Rámcového programu EÚ č. IST-2000-28084 „System for European Water Monitoring“ (SEWING).

Literatúra

Babiaková, G., Bodiš, D., Palkovič, D. (1990): Hydrologická a hydrochemická odozva povodí. Vodohosp. Čas., 38, 4, 427 – 452.

Falkenmark, M., Andersson, L., Castensson, R., Sundblad, K. (1999): Water, a reflection of land use. Swedish Natural Science Research Council, 128 s.

Píš, V. (1996): Stanovenie dusičnanov vo vode na prietokovom segmentovom analyzátore SKALAR SAN Plus System. Vedecké práce 22, Výskumný ústav závlahového hospodárstva v Bratislave, s. 159 – 163.

Autori

Ing. Ľubomír Lichner, CSc., Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava, lichner@uh.savba.sk

RNDr. Ladislav Holko, CSc., Experimentálna hydrologická základňa ÚH SAV, Ondrašovecká 16, 031 05 Liptovský Mikuláš, holko@uh.savba.sk

RNDr. Zdeněk Kostka, PhD., Experimentálna hydrologická základňa ÚH SAV, Ondrašovecká 16, 031 05 Liptovský Mikuláš, kostka@uh.savba.sk

RNDr. Vladimír Píš, Hydromeliorácie, š. p., Vrakunská 29, 825 63 Bratislava, pis@hmsp.sk

POUŽITIE NOVÝCH METÓD MERANIA VLHKOSTI PÔDY ZA ÚČELOM OPTIMALIZÁCIE VODNÉHO REŽIMU PÔD

Viliam Nagy, Vlasta Štekauerová

Vodný režim zóny aerácie pôdy vyjadruje priebeh integrálneho obsahu vody v zóne aerácie pôdy počas sledovaného obdobia. Závisí od rôznych faktorov. Jeho dlhodobé sledovanie umožňuje klasifikovať vodný režim pôd v určitej lokalite, resp. regióne, z rôznych pohľadov: hydrologického, ekologického, agronomického a podobne. Pre kvantifikáciu vodného režimu pôd sa využíva vlhkostný režim pôd, ktorý si vyžaduje stanovenie priebehu vlhkosti pôdy v danom časovom intervale v jednotlivých horizontoch zóny aerácie pôdy. Vlhkostný režim zóny aerácie pôdy je možné určiť monitoringom, t.j. priamym meraním vlhkosti pôdy v jednej, resp. viacerých vertikálach vo vybraných lokalitách tak, aby termíny medzi meraniami boli čo najmenšie. Monitoring vlhkosti pôdy je náročný na čas, prístroje, pracovníkov, ale má svoje nezastupiteľné miesto. Získajú sa priebehy vlhkostí v pôdnom profile počas celého roku s dostatočnou presnosťou. Metódy na meranie vlhkosti pôdy prešlo mnohoročným vývojom. Cieľom práce je podať informáciu o najnovších metódach merania vlhkosti pôdy, ktoré boli vyvinuté a použité na vyhodnotenie vlhkostného režimu pôd v niektorých zahraničných lokalitách v oblasti Dunaja.

Kľúčové slová: vlhkosť pôdy, senzorI, kapacitná metóda, neutrónová sonda

***Using of new methods of soil water content measurement for intention of soil water regime optimalization**. Soil water regime express course of soil integral water content during yeasr. It depends on various factors. Soil water regime of localities or regions can be assessed from this course from point of view of hydrology, ecology,agricultural and so on. For qualification of soil water regime was used the soil moisture regime, which requires to assessed of course of soil moisture within given time intervals in each horizon of the all aeration zone. It is possible to specify the soil moisture regime of the aeration zone with monitoring, measuring directly the soil moisture in one or more verticals from chosen locations, so the terms are shottest possible, between the measurements. The monitoring is time, equipment and workers consuming, but has its hight importance. With monitoring of soil profiles we receive precise data of the behaviour of the soil moisture during the whole year. Methods of soil moisture measurement were developed many years. The aim of the contribution is to inform about new methods. They were used to assess of soil water regime in localities on both side of Danube.*

Key words: soil water content, senzor I, capacity method, neutron probe

---

ÚVOD

Vodný režim zóny aerácie pôdy vyjadruje priebeh integrálneho obsahu vody v zóne aerácie pôdy počas sledovaného obdobia.Jeho dlhodobé sledovanie umožňuje jeho klasifikáciu z rôznych hľadísk, ako z: hydrologického, ekologického, agronomického a podobne.Pri každom pohľade dôležitú úlohu hrajú hydrofyzikálne charakteristiky daného druhu pôdy, pomocou ktorých sa sleduje aktuálny integralny obsah vody v pôde, podľa potreby v determinovanej vrstve, z rôzneho hľadiska ako napríklad: ochrana proti povodniam, ekológia regionu, produkcia potravín, produkcia biomasy pre alternatívne zdroje energie a podobne. V každom zo spomínaných odvetví je potrebné monitorovať sezónný, ročný alebo aj dlhodobejší chod pôdnej vlhkosti. Táto práca je veľmi náročná na čas, prístrojové vybavenie, na počet pracovníkov a na financie. Vyžaduje veľa terénnej ako aj laboratórnej práce, vyžaduje značné finančné zdroje, ale zatiaľ monitorovanie chodu vlhkostného režimu nie je nahraditeľné, lebo má svoje nezastupiteľné miesto. Získajú sa priebehy vlhkostí v pôdnom profile počas celého roku s dostatočnou presnosťou. Z viacročných monitorovaných hodnôt vlhkostných profilov možno vypočítať trend vývoja integrálneho obsahu vody v jednotlivých horizontoch alebo v požadovaných vrstvách pôdneho profilu a vyhodnotiť ho vo vzťahu k zabezpečenosti porastu vodou.
Dopad klimatických zmien ovplyvňuje integrálny obsah vody v pôde a tým aj zabezpečenosť porastu vodou (Štekauerova, Nagy, 2001a; Šútor a kol., 1999; Šútor, Rehák, 1999b; Mikulec a kol., 2001; Majerčák a kol., 1999; Šútor, 2000b; Štekauerova 2001;).

Výsledky z monmitorovania vlhkosti pôdy sú v centre záujmu ekológov a poľnohospodárov pre hodnotenie zásob vody v pôde, pre zásobovanie rastlinného krytu vodou, geografov za účelom hodnotenia retenčných vlastností jednotlivých horizontov pôd, hydrológov pre kvantifikáciu smeru pohybu vody v zóne aerácie pôdy ako časti hydrologického cyklu, odborníkov pre ochranu podzemných vôd proti znečisteniu prienikom látok rôzneho druhu a pôvodu z pôdneho profilu, odborníkom z oblasti závlahového hospodárstva pre zefektívňovanie závlah polnohospodárskych plodín, krajinným inžinierom pre kvantifikáciu akéhokoľvek navrhovaného zásahu do prírodného prostredia a na posúdenie dopadu globálnej klimatickej zmeny (Štekauerová, 2002).
Cieľom práce je podať informáciu o najnovších metódach merania vlhkosti pôdy, ktoré boli vyvinuté a použité na vyhodnotenie vlhkostného režimu pôd v niektorých zahraničných lokalitách v oblasti Dunaja.

METÓDY MERANIA VLHKOSTI PÔDY

Meracie metódy vlhkosti pôdy prešli mnohoročným vývojom delíme ich na niekoľko skupín podľa požadovanej podľa toho akú veličinu merajú, či sú priame alebo nepriame. Je uvedený stručný prehľad meracích metód používaných na meranie vlhkosti pôdy.

- Gravimetrická metóda
- Odporová metóda
- Kapacitná metóda
- Gammaskopická metóda
- Neutrónová sonda
- Na základe merania koncentrácie látok
- Reakčnej teploty
- Karbidová metóda
- Klorometrická metóda
- Na princípe tepelnej vodivosti pôdy
- TDR metóda
- Na základe mikrovlnného žiarenia
- Na základe magnetickej rezonancie
- Na základe odsávania vlhkosti
- Viacparametricke metôdy
- Penetrometer
- Szenzor I

Práca sa v ďalšom bude venovať len niektorým z týchto metód.

A. Gravimetrická metôda, ktorá slúžila ako základná a definičná metóda (6) s presnosťou merania 0,01%, a ktorá slúži aj na kalibráciu iných metód.
B. Neutrónová sonda
C. Kapacitná metóda
D. Senzor I

Posledné dve metódy boli pomocou Neutrónovej sondy a gravimetrickej overované v rámci medzinárodného Slovensko-Maďarského projektu.
Na UH-SAV sa v súčastnosti používa na monitorovanie sezónneho chodu pôdnej vlhkosti neutrónová sonda doplnená gravimetrickou metódou pre vrstvy 0-10cm. Nakoľko táto metóda v rámci vyspelých štátov a EÚ začína byť utlmovaná kvôly možnému znečisteniu okolia, nákladnému uskladneniu, nutnej ročnej kontrole tesnosti a nutnosti sledovania dávky žiarenia u obsluhujúceho personálu je požiadavka hladať novú metódu, ktorá bude výhodnejšia a plne vyhovie požiadavkám kladeným z hľadiska ďalšieho výskumu a monitorovania pôdnej vlhkosti a jeho sezónneho chodu.

V rámci spolupráce na medzinárodnom projekte - Hydropedologické základy pestovania rastlín na poľnohospodárských pôdach so zvláštným zreteľom na Žitný Ostrov a Szigetkoz- ÚH SAV spolu so Západomaďarskou Agrárnou univerzitou v Mosonmagyaróvári a Agrárnou univerzitou v Debrecíne boli overené metódy C a D pre sledovanie sezónneho chodu pôdnej vlhkosti. Súčastný smer vývoja meracích prístrojov sa snaží vyhovieť rastúcim požiadavkám na množstvo aktuálných údajov a ich presnosť súčastne. Vývoj počítačovej techniky otvára nové možnosti zhodnotenia výsledkov ale aj kladie zvýšený nárok na kvantitu a kvalitu vstupných údajov. Preto je nutné vyvynúť buď nové metódy a prístroje alebo z už jestvujúcich pomocou novej techniky vytvoriť modernizovanú a pre požiadavky vyhovujúcu metódu, t.j. zmodernizovať, zdokonalovať už existujuce pristroje a metódy.V rámci spolupráce boli overené dve meracie metódy:

A. Zdokonalená kapacitná sonda pod názvom BR-150 vyvinutá Maďarskou akadémiou vied, na Ústave Agrochémie a Pôdoznalecstva, ktorá je používaná Agrárnou Univerzitou v Mosony a slúži na monitorovanie sezónneho chodu pôdnej vlhkosti pre Szigetkoz v 60 merných bodoch.

B. Inteligentný Senzor z Agrarnej Univerzity Debrecín vyvinutý kolektívom prof. Sinórosa. Metóda pracuje na známom princípe hydromolekulárnej polarizácie, čo v praxi znamená vytvorenie silného elektromagnetického poľa so stabilizovanou energiou, ktorého polaritu v rámci určených pravidiel meníme. Polarizačný čas je priamo úmerný počtu molekúl vody H_2O, t.j. dlhší čas väčšia vlhkosť, mensí čas menšia vlhkosť. Zmena magnetického poľa sa deje podľa dopredu určenej frekvenčnej úrovne.

Pre meranie podnej vlhkosti v rôzných hĺbkách (podľa požiadaviek), je zostrojená špeciálna sonda zavedená do pôdy s podobným systémom ako TDR. Senzory su dvojmo izolované a s pôdou neprichadzajú do priamého styku. Merajú nepretržite v čase, aby požadovaná aktuálna hodnota vlhkosti mohla byť určená pre požadovaný čas. Pre tento pripad je v sonde zabudovaná pämať, z ktorej sa dajú hodnoty odčitať podľa potreby, alebo sa dá nastaviť požadovaný čas merania počas dňa alebo sezóny. Nameraní hodnoty sa dajú preniest na pocitač modulárne, alebo pomocou rádiových vĺn (napr. mobilný telefón). Údaje sa udávajú v percentách poľnej voľnej kapacity.

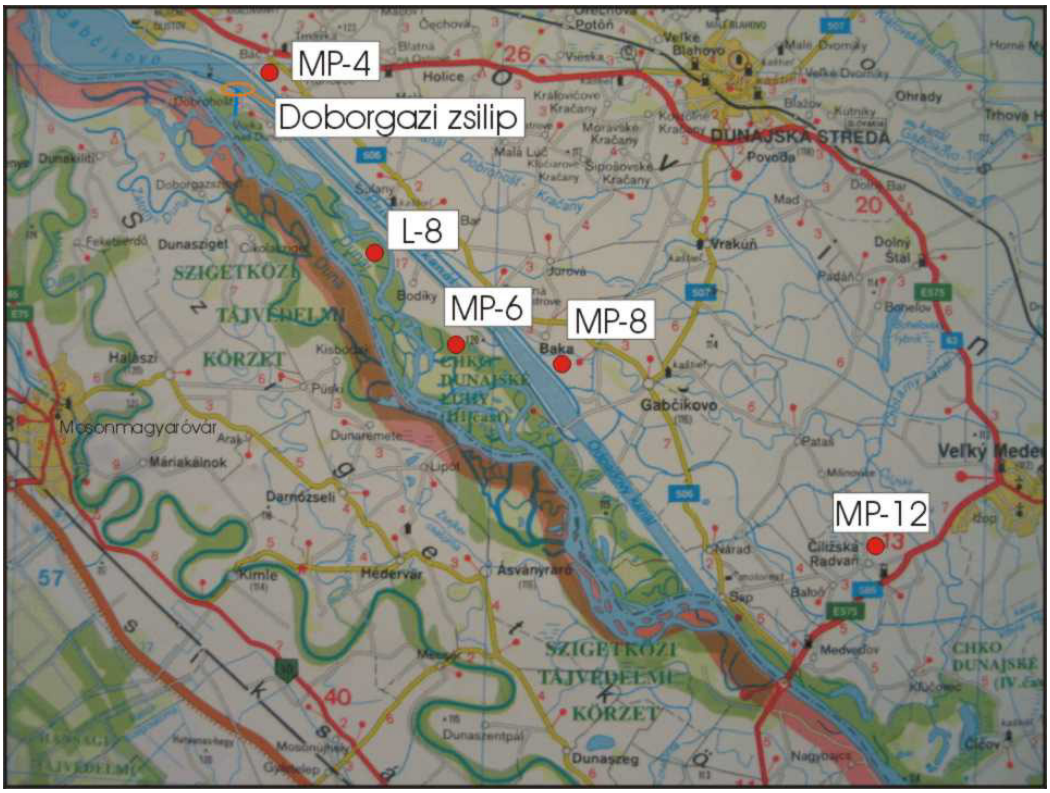
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Porovnanie hodnôt meraných vlhkostí pôdy uvedenými metódami sa vykonalo na 10-tich pozorovacích bodoch, 5 na Maďarskej a 5 na Slovenskej strane. Pozorovacie miesta boli vybraté, aby zabrali celú škálu vyskytujúcích sa pôd a zároveň bolo zohľadnené aj ich využitie. Z pôd boli vybrané ťažke, poloťažké a ľahké pôdy. Podľa využitia sa jednalo o lesné ekosystémy z inundačního územia Dunaja (lužné lesy) a poľnohospodársky intenzývne využívaná pôda.

Príslušné lokality a ich umiestnenie na obidvoch stranách Dunaja (slovenskej a maďarskej) sú zobrazené na obrázkoch 1 a 2.

Porovnanie výsledkov meraní pôdnej vlhkosti neutrónovou sondou a kapacitnou metódou BR150

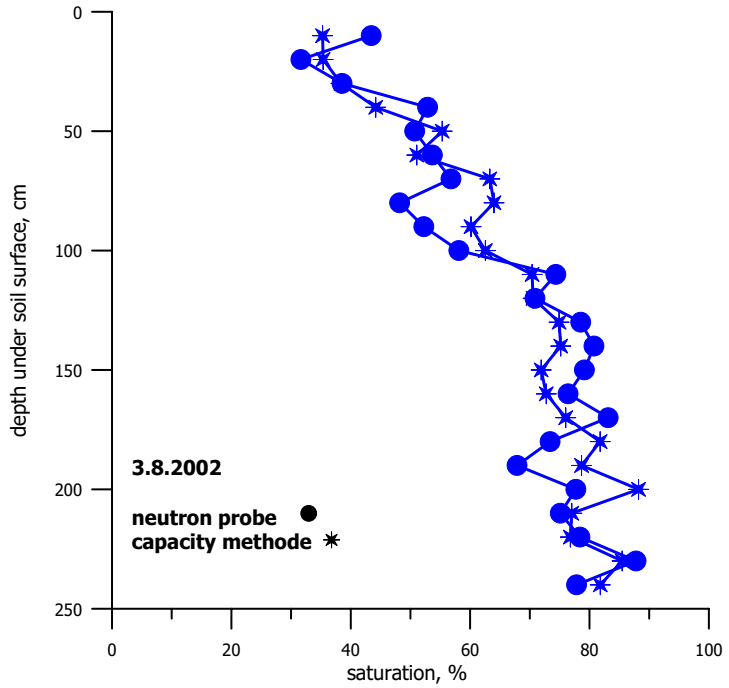
Na obr.3 sú zobrazené hodnoty nasýtenosti pôdy vodou, ktoré boli vypočítané z nameraných hodnôt vlhkosti pôdy metodou kapacitnou KS BR150 a metódou neutrónovej sondy NS.
Nasýtenosť pôdy bola vypočítaná ako pomer nameranej aktuálnej vlhkosti a hodnoty vlhkosti pôdy (Θ_S), ktorá bola úplne nasýtena vodou. Θ_S bola určená na izolovaných vzorkách v laboratóriu pre každý pôdny horizont.



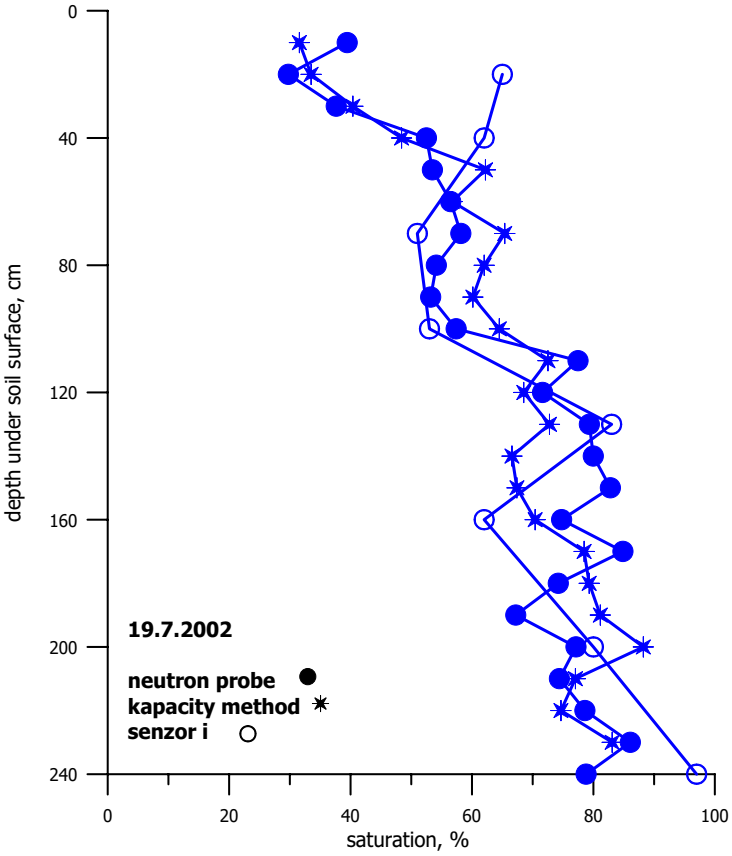
Obr.1 Mapa oblasti kde boli situované odberné miesta na Slovensku(Žitný Ostrov).
Fig. 1 Map of area where localities of Slovakia (Žitný Ostrov) were located.



Obr..2 Mapa oblasti kde boli situované odberné miesta v Maďarsku(Szigetköz).
Fig. 2. Map of area where localities of Hungary (Szigetköz) were located.



Obr. 3. Stupeň nasýtenosti pôdy vodou meraný neutrónovou sondou a kapacitnou metódou
Fig. 3. Saturation of soil measured by capacite method and neutron probe.



Obr. 4. Stupeň nasýtenosti pôdy vodou meraný neutrónovou sondou, kapacitnou metódou a senzorom I
Fig. 4. Saturation of soil measured by capacite method, neutron probe and senzor I.

Po štatistickom spracovaní a porovnaní nameraných hodnôt obidvomi metódami sme dospeli k záveru, že koeficient korelácie sa pohybuje okolo 0,82-0,91 čo je podobné, ako uvádzajú zdroje v súčastnej literatúre (MTA – TAKI 2003-2004 083-090, Barcelona 1990-1995 085-090).

Hodnoty korelačných koeficientov sú uvedené v tabuľke 1 a grafické zobrazenie nameraných vlhkostných profilov je na obrázku 4..

Tab. 1. Koeficient korelácie pre hodnoty namerané v roku 2002 neutrónovou sondou a kapacitnou metódou
Tab. 1. Correlation coefficient of soil moisture measured in yaer 2002 by capacite method and neutron probe.

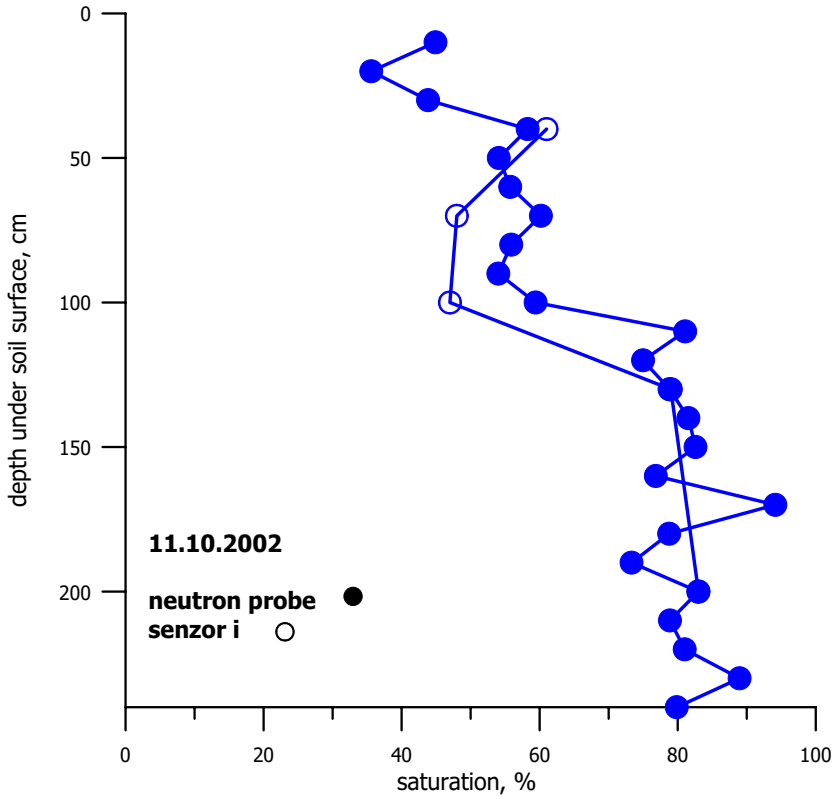
Dátum	**Neutronova sonda Kapacitná metoda**
	Koeficient kolerácie „r“
24. 05. 2002	0, 826594
06. 06. 2002	0. 850506
20. 06. 2002	0. 859911
04. 07. 2002	0. 894080
19. 07. 2002	0. 909511
03. 08. 2002	0. 909127
16. 08. 2002	0. 906805
30. 08. 2002	-
18. 09. 2002	-
11. 10. 2002	0. 892831
26. 10. 2002	-
15. 11. 2002	0.837918

Na obr.5 sú zobrazené hodnoty nasýtenosti pôdy vodou, ktoré boli vypočítané z nameraných hodnôt vlhkosti pôdy metodou neutrónovej sondy NS senzorom I.

Porovnaním vlhkostných profilov nameraných neutrónovou sondou a I senzorom bola zistená tiež úzka súvislosť čo vzjadrujú koeficienty kolerácie, ktorých hodnota bola v intervale hodnôt 0,85-0,94, tab. 2.

Tab. 2. Koeficient korelácie pre hodnoty namerané neutrónovou sondou a senzorom I
Tab. 2. Correlation coefficient of soil moisture measured by capacite method and senzor I

dátum	**Neutrónová sonda I senzor**	**Neutrónová sonda I senzor**
	r^2	koeficien r
24. 5. 2002	0, 891114	0, 943988
6. 6. 2002	0, 910078	0, 935980
20. 6. 2002	0, 748203	0, 864987
19. 7. 2002	0, 805232	0, 897347
3. 8. 2002	0, 722822	0, 850189
11. 10. 2002	0, 857483	0, 926600
15. 11. 2002	0, 878511	0, 937290



Obr. 5. Stupeň nasýtenosti pôdy vodou meraný neutrónovou sondou a senzorom I
Fig. 5. Saturation of soil measured by neutron probe and senzor I.

ZÁVER

Boli porovnané tri metódy merania vlhkosti pôdy v poľných podmienkach: kapacitná metóda, neutrónová sonda a senzor I. Senzor I (ako najnovšia metóda) bol porovnaný s uvedenými dvomi metódami.

1. Senzor I, ktorý pracuje na základe hydromolekulárnej polarizácie je vyhovujúci pre meranie pôdnej vlhkosti.
2. Při porovnaní s meraniami vlhjkosti pôdy neutronovou sondou a kapacitnou metodou sa koeficienty korelácie pohzbujú rozmedzí 0,85 až 0,94, čo vyjadruje veľkú tesnosť výsledkov.
3. Početnosť merania senzorom I je nastaviteľná a namerané hodnoty sú archivované priamo prístrojom po dobu jedného roka.
4. Senzor I môže merať nepretržite a namerané hodnoty je možné vyhľadať spätne.
5. Namerané hodnoty možno získať pomocou vysielača alebo ak modul je napojený na počítač pomocou príkazu vyhladať požadovaný údaj v databáze.
6. Namerané hodnoty su vyjadrené v percentách hodnoty nasýtenej vlhkosti pôdy, čo je neobvyklé (je nutné pre každý pôdny horizont v ktorom prebieha meranie túto hodnotu poznať).
7. Pristroj je schopný pomocou programu cez modul riadiť závlahový systém a na sledovanom území udržiavať vlhkosť pôdy v dopredu dohodnutom intervale.
8. Merania sú po počiatočnej inštalácií automatické, nepožadujú obsluhujúci personál čím sú náklady nižšie ako u ostatných meracích metód.
9. Metódy neutrónovej sondy a kapacitnej metódy majú svoje nevýhody v tom, že vyžadujú obsluhujúci presonal pri meraniach a namerané hodnoty treba spracovať a načítať do počítača.
10. U neutrónovej sondy je nebezpečná rádioaktivita, žiarenie ktoré u obsluhujúcého personálu treba stále kontrolovať a sú potrebné kontroly tesnosti prístroja.

11. Výhodou kapacitnej metódy a neutrónovej sondy oproti senzoru I je, že meracie sondy možno prenášať, to znamená, možno operatívnejšie meniť miesta merania, ďalej na meranie je potrebný 1 kus y týchto meracích metód. Pri použití senzora I treba v každom meracom bode použiť samostatný prístroj. Tieto pristroje potom potrebné chrániť proti odcudzeniu a poškodeniu.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu vedy a techniky na základe Zmluvy č. APVT-51-019804 a Zmluvy č. APVT-51-044802 a agenturou VEGA č.2/5018/5.

Literatura:

Štekauerová V., Nagy V., Maniak S.: (2004) Vlhkostné pomerý pôd na obydvoch stranach Dunaja. Acta Hydrologica Slovaca, No 2. 168-186 s.

Nagy V.: (2004) Hydropedologické základy pestovania rastlín na poľnohospodárskych pôdach zo zvlástným zreteľom na Žytný Ostrov a Szigetköz. PhD Mosonmagyaróvár,

Rajkai K.: (2004) A víz mennyisége, eloszlása és áramlása a talajban. MTA-TAKI, Budapest

Šútor J., Štekauerová V.: (2000) Hydrofyzikálne characteristiky pôd Žytneho Ostrova. UHSAV, Bratislava

Štekauerová V.: (1988) Simulácia pohybu vody v polnohospodársky využívánej pôde. J. Hydrol. Hidromech., 1988, 6, 417-429 s.

Kordik D., Lichner L.: (1996) Metrológia vlhkosty tuhých látok. UHSAV, Bratislava

Štekauerová V.: (2002) Vplyv globálných zmnien na zásobý vody v zone aeracie pôdy. Acta Hydrologica Slovaca, No 2, 276-280 s.

Velebný V, Novák V., Skalová J., Štekauerová V., Majerčák J.: (2000) Vodný režim pôd edičné stredisko STU, Bratislava

Štekauerová V., Nagy. V.: Vplyv klimatických podmienok zabezpečenosť porastu vodou v lokalitách Báč a Bodíky. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, Bratislava, 2001, 2/1, p. 58-63

Štekauerová V., Nagy. V.: Dynamika zásob vody nenasýtenej oblasti pôdy v lokalitách Žitného ostrova v rokoch 1999-2000. IV. Vedecká konferencia v Michalovciach, ÚH SAV, Bratislava, VHZ ÚH SAV Michalovce, 2001, p. 243-247.

Štekauerová V., Nagy. V.: Hodnotenie vodného režimu zóny aerácie pôdy v lokalitách Žitného ostrova. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, 2003, 1, p. 65-73.

Štekauerová V., Nagy. V.: Zabezpečenosť zóny aerácie pôdy vodou v lokalitách Bodíky (Žitný ostrov) a Dunasziget (Szigetköz) 2002, Poster, ÚH SAV, 2003, x.

Štekauerová V., Nagy. V.: Zabezpečenosť zóny aerácie pôdy vodou v lokalitách Bodíky (Žitný ostrov) a Dunasziget (Szigetköz) 2002,

Štekauerová V., Nagy. V.: Hodnotenie vodného režimu zóny aerácie pôdy v lokalitách Žitného ostrova. Konferencia s medzinárodnou účasťou " Hydrológia na prahu 21. Storočia – Vízie a realita", CD-ROM, ÚH SAV, 2003,p. 233-242.

Štekauerová V., Nagy. V.: Vplyv klimatických podmienok na zabezpečenosť porastu vodou v lokalitách Báč a Bodíky. Acta Hydrologica Slovaca, 2000 no.1.

Štekauerová V., Nagy. V.: Hydrofyzikálne charakteristiky pôd v lokalite Gabčíkovo. VII. Poster Day Bratislava, 2001.

Ing. Viliam Nagy, PhD., Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 83102 Bratislava, tel: 49268325, e-mail: nagy@uh.savba.sk

RNDr. Vlasta Štekauerová, CSc. Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 83102 Bratislava, tel: 49268302, e-mail: stekauer@uh.savba.sk

VPLYV BIOLOGICKÝCH FAKTOROV NA INFILTRÁCIU VODY DO PÔDY

Zuzana Nižnanská, Ľubomír Lichner, Miloslav Šír, Miroslav Tesař

V príspevku prezentujeme vplyv biopórov a vodoodpudivosti povrchovej a podložnej vrstvy pôdy na priebeh infiltračnej krivky. Infiltráciu do vodoodpudivej pôdy na lokalite Most a infiltráciu do zmáčavej pôdy s biopórmi a bez nich na lokalite Macov sme merali dvojvalcovým infiltrometrom. Rýchlosť infiltrácie do pôdy s biopórmi bola omnoho vyššia ako do pôdy bez biopórov a vodoodpudivej pôdy. U vodoodpudivej pôdy došlo k zániku vodoodpudivosti po 139 minútach od začiatku infiltrácie, čo sa prejavilo nárastom infiltračnej rýchlosti.

Kľúčové slová: infiltrácia, biopóry, vodoodpudivosť

Effect of biological factors on infiltration of water into the soil. *An influence of biopores and soil water repellency on infiltration of water into the soil is presented. Infiltration into water repellent soil (locality Most), and into wettable soil with and without biopores (locality Macov) was measured with double-ring infiltrometer. The infiltration rate measured in the soil with biopores was much higher than that measured in the soil without biopores and in the water repellent soil. Breakdown of water repellency was observed in the water repellent soil for 139 min. after the beginning of infiltration, resulting in an increase in infiltration rate.*

Key words: infiltration, biopores, water repellency

ÚVOD

V mnohých prípadoch voda a v nej rozpustené látky pri svojom pohybe cez pôdu neprechádzajú celým jej objemom, ale využívajú preferované cesty, čo sú také vertikálne orientované dráhy prúdenia, ktoré sú počas prívalovej zrážky vlhkejšie a vedú viac vody cez jednotkovú plochu prierezu ako okolitá pôda (Steenhuis et al. 1996). Preferované prúdenie môže byť vyvolané heterogenitou alebo nestabilitou. Heterogenitou podmienené preferované prúdenie sa vyskytuje napríklad v pôdach s makropórmi, keď sú makropóry otvorené na povrchu pôdy a intenzita závlahy alebo dažďa je vyššia ako rýchlosť infiltrácie do pôdnej matrice (Beven, Germann 1982). Nestabilitou podmienené preferované prúdenie (prúdenie prstami) sa vyskytuje v podmienkach, ktoré navodzujú vratkú rovnováhu medzi kapilaritou a gravitačnou silou pôsobiacou na vodu v pôde. Sú to prípady, keď kapilárna sila, ktorá v pôde púta (stabilizuje) vodu, je porovnateľná s gravitačnou výškou, ktorá vodu uvádza do pohybu (destabilizuje). Nestabilitou hnané prúdenie nastáva v situácii, keď množstvo vody v niektorej časti pôdy spôsobí, že dôjde k hydraulickému prepojeniu pórov v takej výške, že tiaž takto vzniknutého vodného telesa prekoná stabilizujúce kapilárne sily. Potom dôjde k rýchlemu prúdeniu vody do hlbších partií pôdy. K prúdeniu prstami dochádza aj u vodoodpudivej pôdy, kde nastáva účinné zmenšenie prípadne až úplnému odstránenie stabilizujúcich kapilárnych síl.

Biopóry (makropóry vytvorené pôdnou faunou alebo priestorom po odumretých koreňoch vyšších rastlín) ako aj biologickými faktormi spôsobená vodoodpudivosť povrchovej a podložnej vrstvy pôdy spôsobujú zmenu rýchlosti infiltrácie vody do pôdy a s tým spojenú zmenu povrchového odtoku, prúdenie prstami, ako aj zmenu trojrozmerného rozdelenia a dynamiky pôdnej vlhkosti. Hĺbka a tvar biopórov môže závisieť nielen od spôsobu ich vzniku, t.j. od živočíšneho prípadne rastlinného druhu a jeho životného cyklu, ale aj od typu pôdy, či iných abiotických podmienok (Wang et al. 1994). Hydrologicky efektívne (= na povrchu pôdy otvorené) biopóry značne ovplyvňujú infiltráciu a pohyb vody v pôde. Beven a Germann (1982) uvádzajú, že po otvorení jediného makropóru na parcele s plochou 1,35 m^2 sa skoro dvojnásobne zvýšila rýchlosť infiltrácie (z $1{,}7.10^{-5}$ m s^{-1} na $2{,}8.10^{-5}$ m s^{-1}).

Vodoodpudivosť pôdy (hydrofóbnosť) je dôsledkom malého povrchového napätia pôdy (menšieho než povrchové napätie vody, ktoré sa rovná $72{,}75.10^{-3}$ N m^{-1}) vyplývajúceho z pokrytia minerálnych častíc pôdy amfifilickými uhľovodíkmi. Zdrojom týchto uhľovodíkov môže byť rozpadajúca sa organická hmota, pôdna fauna, mikroorganizmy, sliz z koreňov rastlín, vosky erodované mechanicky z listov

rastlín, lipidy uvoľnené z rozkladajúceho sa rastlinného opadu a pod. (Dlapa et al. 2004). Vodoodpudivé látky v povrchovej vrstve pôdy veľmi spomaľujú infiltráciu vody do pôdy (DeBano 1971) a spôsobujú tvorbu výtopy. Voda neinfiltruje do vodoodpudivej pôdy, ak výška výtopy neprekročí vstupný tlak vody h_p. Feng et al. (2001) zistili, že časová závislosť infiltračnej rýchlosti je funkciou výšky výtopy h_0. Zatiaľ čo pri menších výškach výtopy ($h_0 = 1{,}8 – 2{,}4\ h_p$) infiltračná rýchlosť rástla s časom, pri väčších výškach výtopy ($h_0 = 2{,}9 – 3{,}6\ h_p$) infiltračná rýchlosť klesala s časom tak, ako je to typické pre zmáčavé pôdy. Vodoodpudivosť ovplyvňuje trojrozmerné rozdelenie pôdnej vlhkosti tak, že môže spôsobiť rozdiel vlhkosti až 28 % (obj.) vo vzorkách organozeme, odobratých tesne vedľa seba (Dekker, Ritsema 1996a). Priestorová variabilita vodoodpudivosti povrchovej vrstvy pôdy má za následok aj priestorovú variabilitu evapotranspirácie, lebo vodoodpudivá vrstva na povrchu pôdy zabraňuje kapilárnemu pohybu vody z nižších horizontov smerom k povrchu a tak eliminuje vyparovanie (Novák 1995). Priestorová variabilita vlhkosti pod dlhodobo neobrábaným trávnikom je vysoká v dôsledku prúdenia prstami, v prípade obrábanej pôdy treba brať do úvahy, že priestorová variabilita pôdnej vlhkosti nie je len dôsledkom priestorovej variability vodoodpudivosti, ale je spôsobená aj stokom po kmeni rastlín, intercepciou a mikrodepresiami medzi riadkami poľnohospodárskych plodín (Dekker, Ritsema 1996b; 1997).

Nepravidelné rozdelenie pôdnej vlhkosti, spôsobené vodoodpudivosťou, môže mať za následok nerovnomerné klíčenie a rast poľnohospodárskych plodín, ako aj rýchle vylúhovanie povrchovo aplikovaných agrochemikálií a zvýšené riziko kontaminácie povrchovej a podzemnej vody (Ritsema et al. 1993). Počas dažďa s dostatočnou intenzitou možno preto pozorovať Hortonovské povrchové prúdenie, ktoré vzniká vtedy, keď intenzita zrážky prekročí rýchlosť infiltrácie do pôdy (Hlavčová et al. 2001). Lokalizácia a frekvencia hydrologicky efektívnych preferovaných ciest (makropórov otvorených na povrchu pôdy) a plôch zmáčavej alebo menej vodoodpudivej pôdy (priestorová variabilita vodoodpudivosti povrchovej vrstvy pôdy) určuje plošný rozsah povrchového prúdenia. Vplyv hydrofóbnosti pôdy na časový priebeh infiltračnej rýchlosti je zanedbateľný, ak dráhy preferovaného prúdenia prechádzajú cez vodoodpudivú vrstvu pôdy a spájajú povrch pôdy so zmáčavou podpovrchovou vrstvou, ktorá má vysokú hodnotu nasýtenej hydraulickej vodivosti. Vodoodpudivosť môže mať za následok buď zníženie rýchlosti prúdenia vody v pôdnej matrici a nasmerovanie časti vody do makropórov alebo prúdenie prstami (fingering) vo vodoodpudivej pôdnej matrici. Makropórové prúdenie má však aj nepriaznivé účinky, lebo znižuje efektívnosť zavlažovania a hnojenia, keď časť závlahovej vody a a časť rozpustených agrochemikálií obtekajú pôdnu matricu a dostávajú sa do podkoreňovej oblasti bez úžitku pre poľnohospodárske plodiny. Veľká rýchlosť pohybu vody a prenosu rozpustených látok v makropóroch spôsobuje, že aj veľmi reaktívne rozpustené látky sa prakticky bez adsorpcie dostanú do veľkých hĺbok a predstavujú reálne nebezpečenstvo pre plytké podzemné vody (Lichner 1998, Nováková et al. 2000). Nepriaznivým dôsledkom makropórového prúdenia možno zabrániť napr. plytkou orbou, ktorou sa zničia vyústenia makropórov na povrchu pôdy a tým sa anuluje ich schopnosť viesť gravitačnú vodu z povrchu pôdy do podložia. Rýchlemu prenosu agrochemikálií do podložia možno zabrániť ich podpovrchovou aplikáciou.

Cieľom štúdie bolo stanoviť vplyv biopórov a vodoodpudivosti pôdy na priebeh infiltračnej krivky (= závislosti infiltračnej rýchlosti od času).

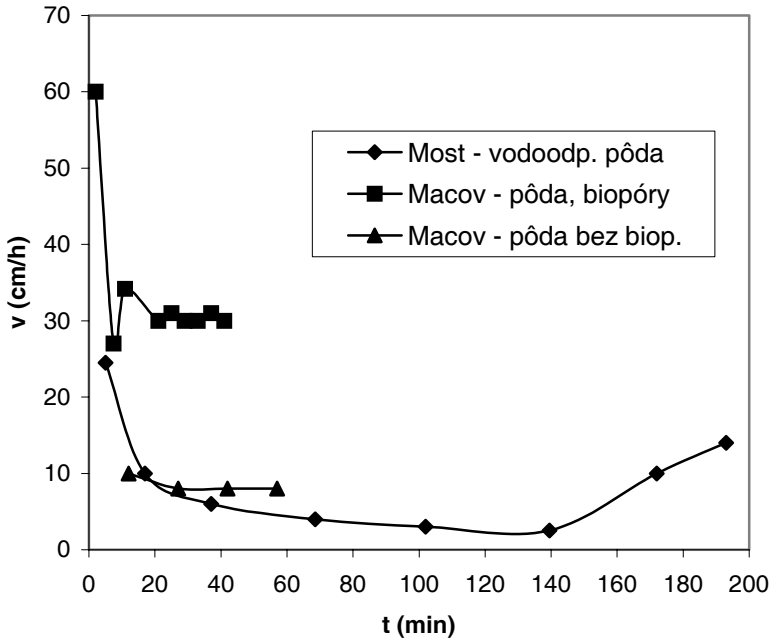
MATERIÁL A METÓDY

Infiltráciu vody do pôdy sme merali v Moste a v Macove. V Macove sa jedná o stredne ťažkú hlinitú pôdu, pôdny typ černozem kultizemná čiernicová karbonátová – $ČMač^c$ (MKSPS 2000). Pôda bola poľnohospodársky využívaná, pestovaná bola na nej striedavo kukurica a ozimná pšenica. Substrátom je karbonátový sprašoidný aluviálny náplav, podzemná voda sa nachádza v hĺbke 320 cm. V Moste ide o dlhodobo neobrábanú, zatrávnenú hlinitú pôdu, černozem modálnu karbonátovú $ČM^C$ (MKSPS 2000). Merania boli uskutočňované v teplom období bez zrážok.

Infiltračný test sme vykonávali pomocou dvojvalcového infiltrometra podľa Krejču a Kutílka (1988). Vnútorný valec mal priemer 30 cm, vonkajší 55 cm. Infiltrácia bola vykonávaná pod malou tlakovou výškou h_0 = 3 – 5 cm. Merali sme čas potrebný na infiltráciu 2 cm (pre t = 0 – 139 min) alebo 5 cm vody v prípade, keď infiltračná rýchlosť náhle rástla. V Moste sme pred meraním odstránili vegetačný kryt. V Macove sme merania robili na pôde s biopórmi a na pôde, kde sme vstup do biopórov mechanicky porušili, čím sme znemožnili ich účasť na infiltrácii.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledky meraní závislosti infiltračnej rýchlosti od času na vodoodpudivej pôde na lokalite Most a na pôde s biopórmi a bez biopórov na lokalite Macov sú na obr. 1.



Obr. 1 Časový priebeh infiltrácie do vodoodpudivej pôdy v Moste, ako aj do pôdy s biopórmi a pôdy bez biopórov v Macove

Fig. 1 The time course of infiltration rate in the water repellent soil in Most, and in the soil with and without biopores in Macov

U vodoodpudivej pôdy v prvej fáze časového priebehu (0 – 37 min) klesla infiltračná rýchlosť v z 24 cm h^{-1} na 6 cm h^{-1}. V druhej fáze časového priebehu (37 – 139 min) mala infiltračná rýchlosť v skoro ustálenú hodnotu 3 – 5 cm h^{-1}. V tretej fáze časového priebehu (139 – 191 min) sa infiltračná rýchlosť v zvýšila z 3,3 cm h^{-1} na 13,6 cm h^{-1}. Podobný časový priebeh nenasýtenej infiltračnej rýchlosti pri tlakovej výške h_0 = –40 mm pozorovali Clothier et al. (2000). Prvú fázu časového priebehu títo autori interpretovali ako proces tvorby distribučnej zóny v niekoľko cm hrubej povrchovej vrstve pôdy. V druhej fáze časového priebehu vo vodoodpudivej pôde rástol prst (fingering) a v tretej fáze časového priebehu tento prst dosiahol zmáčavú podložnú pôdu a prúdenie z neho divergovalo. Výsledky nášho infiltračného experimentu ukázali zánik vodoodpudivosti po 139 minútach od začiatku infiltrácie. Aby sa takéto výsledky získali, infiltračný experiment sa nesmie skončiť hneď po dosiahnutí ustáleného stavu. Clothier et al. (2000) uzatvárajú, že podobné výsledky sú zriedkavé práve preto, že infiltračné experimenty bežne končia hneď po dosiahnutí ustáleného stavu..

U pôdy s biopórmi dosahovala infiltračná rýchlosť na začiatku infiltrácie hodnotu 60 cm h^{-1}, potom prudko klesla a asi po dvadsiatich minútach sa ustálila na hodnote 30 – 31 cm h^{-1}. U pôdy bez

biopórov dosahovala infiltračná rýchlosť na začiatku infiltrácie hodnotu 10 cm h^{-1}, potom sa ustálila na hodnote 8 cm h^{-1}. Ako vidno, prítomnosť hydrologicky efektívnych ciest preferovaného prúdenia mala za následok vyššiu rýchlosť infiltrácie do pôdy s biopórmi. Infiltračná rýchlosť u pôdy s biopórmi bola podstatne vyššia ako u pôdy bez hydrologicky efektívnych biopórov a u vodoodpudivej pôdy. Na začiatku infiltrácie dochádzalo k rýchlemu vtekaniu vody do makropórov. Hodnota infiltračnej rýchlosti sa ustálila, keď sa makropóry naplnili vodou. Infiltračná rýchlosť však ostávala väčšia ako u pôdy bez hydrologicky efektívnych makropórov, pretože k vsakovaniu vody do matrice nedochádzalo len cez povrch pôdy, ale aj laterárnym prúdením cez steny makropórov.

ZÁVER

Z prezentovaných výsledkov závislosti infiltračnej rýchlosti od času pre pôdu s hydrologicky efektívnymi biopórmi, pôdu bez hydrologicky efektívnych biopórov a vodoodpudivú pôdu je vidieť, že infiltračná krivka dobre vystihuje nielen odlišnosti v pôdnej textúre, ale aj vplyv biologických faktorov na infiltráciu a prúdenie vody v pôde.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu vedy a techniky prostredníctvom finančnej podpory č. APVT-51-006502, grantovou agentúrou VEGA (projekty č. 2/3032/23) a Akadémiou vied Českej republiky v rámci projektu S2060104 Programu na podporu cieleného vývoja a výskumu.

Literatúra

Beven, K., Germann, P. (1982): Macropores and water flow in soils. Water Resour. Res., 18: 1311–1325.

Clothier, B.E., Vogeler, I., Magesan G.N. (2000): The breakdown of water repellency and solute transport through a hydrophobic soil. J. Hydrol. 231–232: 255–264.

DeBano, L.F. (1971): The effect of hydrophobic substances on water movement in soil during infiltration. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 340–343.

Dekker, L.W., Ritsema, C.J. (1996a): Variation in water content and wetting patterns in Dutch water repellent peaty clay and clayey peat soils. Catena 28: 89–105.

Dekker, L.W., Ritsema, C.J. (1996b): Uneven moisture patterns in water repellent soils. Geoderma 70: 87–99.

Dekker, L.W., Ritsema, C.J. (1997): Effect of maize canopy and water repellency on moisture patterns in a Dutch black plaggen soil. Plant & Soil, 195: 339–350.

Dlapa, P., Doerr, S.H., Lichner, Ľ., Šír, M., Tesař, M. (2004): Alleviation of soil water repellency: effect of kaolinite and Ca-montmorillonite. Plant, Soil Environ. 50: 358–363.

Feng, G.L., Letey, J., Wu, L. (2001): Water ponding depths affect temporal infiltration rates in a water-repellent sand. Soil Sci. Soc. Am. J. 65(2): 315–320.

Hlavčová, K., Holko, L., Szolgay, J. (2001): Tvorba a modelovanie odtoku na svahoch a z malých povodí. Životné prostredie 35: 126–132.

Krejča, M., Kutílek, M., 1988: Vyhodnocení terénního měření infiltrace výtopou (dvouválcová metoda). Vodní hospodářství 38: 123–129.

Lichner, Ľ. (1998): Vplyv makropórového prúdenia na prenos kadmia v pôde. J. Hydrol. Hydromech. 46: 207–217.

MKSPS (2000): Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia. VÚPOP, Bratislava, 76 s.

Novák, V. (1995): Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania. Veda, Bratislava, 260 s.

Nováková, K., Píš, V., Kazda, R. (2000): Prenos iónov kadmia v zóne aerácie pôdy. In: Majerčák, J., Hurtalová, T. (eds.): VIII. posterový deň Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda – rastlina – atmosféra. Zborník plných textov na CD, Bratislava, 5 s.

Ritsema, C.J., Dekker, L.W., Hendrickx, J.H.M., Hamminga, W. (1993): Preferential flow mechanism in a water repellent sandy soil. Water Resour. Res. 29: 2183–2193.

Steenhuis, T.S., Ritsema, C.J., Dekker, L.W. (1996): Introduction to Special Issue: Fingered flow in unsaturated soil: from nature to model. Geoderma 70: 83–85.

Wang, D., Normann, J.M, Lowery, B., McSweeney, K. (1994): Nondestructive determination of hydrogeometrical characteristics of soil macropores. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 294–303.

Autori

Mgr. Zuzana Nižnanská, Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 83102 Bratislava, niznanska@uh.savba.sk

Ing. Ľubomír Lichner, CSc., Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 83102 Bratislava, lichner@uh.savba.sk

Ing. Miloslav Šír, CSc., Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Pod Paťankou 5, 166 12 Praha 6, msir@mereni.cz

Ing. Miroslav Tesař, CSc, Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Pod Paťankou 5, 166 12 Praha 6, miroslav.tesar@iol.cz

VYUŽITÍ METEOROLOGICKÝCH RADIOLOKÁTORŮ PRO ODHAD A NOWCASTING SRÁŽEK V ČHMÚ

Milan Šálek, Petr Novák

Největší výhodou meteorologických radiolokátorů je plošné pokrytí a poskytování naměřených údajů v téměř reálném čase. Z hodnot radiolokační odrazivosti je možné vypočítat intenzitu srážek a jejich akumulaci na delší časové období, nicméně výsledný odhad srážek může být zatížený nezanedbatelnými chybami, které jsou způsobeny mnoha činiteli a jejich vzájemnou kombinací. Proto je užitečné opravovat radarový odhad srážek pomocí vhodných algoritmů, mezi nimiž jsou nejznámější korekce pomocí vertikálních profilů a různé metody adjustace radarového odhadu pomocí vztahu srážkoměrných měření a územně příslušných radarových odhadů. U Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) je v provozu procedura adjustace radarových odhadů a kombinace adjustovaných radarových odhadů se srážkoměrnými měřeními. Výsledky kombinované analýzy se již využívají jako srážkové vstupy v některých hydrologických modelech, zároveň se v některých aplikacích testují i výsledky extrapolace srážkových intenzit (nowcasting srážek). V příspěvku je uveden stručný popis zpracování radarových odhadů srážek u ČHMÚ a využití v hydrologii a varovné protipovodňové službě.

Klíčová slova: Meteorologický radar, odhad srážek, varovná protipovodňová služba, hydrologické modelování

The use of weather radars for the estimation and nowcasting of precipitation at the CHMI. *The best advantage of weather radar is the areal coverage and prompt quasi-real-time availability of the data. Radar reflectivity can be recalculated to precipitation rate and then to precipitation accumulation for longer time period but the resulting estimate can be accompanied by non-negligible errors stemming from many factors and their combinations. Therefore it is useful to correct the radar quantitative precipitation estimate (QPE) by suitable algorithms, among which vertical profile of reflectivity and raingauge adjustment methods are the best known. At the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) there is a running procedure of adjustment of the radar precipitation estimates and the combination of the adjusted radar estimate with available raingauge measurements. The resulting combined precipitation estimates are being used as inputs in some hydrological models. Moreover, some tests of using extrapolated ("nowcasted") precipitation intensities have been performed. The contribution briefly describes the radar-based and combined QPE at and presents examples of its use in hydrology and flood warning system.*

Key words: Weather radar, precipitation estimation, flood warning system, hydrological modelling

---

ÚVOD

Meteorologický radar poskytuje v současné době hojně používané informace o aktuálním stavu a vývoji počasí. Výsledkem měření radaru jsou především údaje o srážkově významné oblačnosti, ale je možné jej využít i pro odhad vertikálního profilu proudění. Stále více je používán k detekci nebezpečných povětrnostních jevů spojených se srážkami, zejména s konvektivními bouřemi, a může poskytovat též operativní odhady plošných srážek.

Tradiční metoda odhadu plošných srážek spočívá ve využívání srážkoměrných měření a následném přepočtu na plochu pomocí známých algoritmů, mezi nimiž můžeme jmenovat Thiessenovy polygony či krigování. Výhodou tohoto postupu je sice relativně vysoká přesnost vstupních srážkoměrných měření, ale mezi nevýhody je nutné uvést zejména problematickou reprezentativnost měření pro okolí srážkoměrné stanice, zejména při konvektivních srážkách. Naproti tomu je hlavní výhodou radarových odhadů plošné pokrytí území až v řádu stovek tisíc km^2 s věrně zachycenou prostorovou proměnlivostí a rychlá dostupnost naměřených dat, nicméně radarová měření jsou poměrně složitá a výsledný odhad srážek může být zatížen mnoha chybami.

Základem odhadů srážek konvenčními meteorologickými radary pracujícími pouze s jednou polarizací je přepočet radarové odrazivost z na intenzitu srážek R [mm/h] pomocí vztahu z-R (též známý jako Marshall-Palmerův vztah) :

$$z = aR^b \qquad [1]$$

V Evropě (včetně ČHMÚ) je nejčastěji používán s konstantami a=200, b=1,6, které byly odvozené pro vrstevnaté srážky ve středních zeměpisných šířkách.

Z hodnot radarové odrazivosti, která by měla být co nejreprezentativnější pro zemský povrch, se vypočítá intenzita deště a integrací se získá akumulace srážek pro příslušný časový interval.

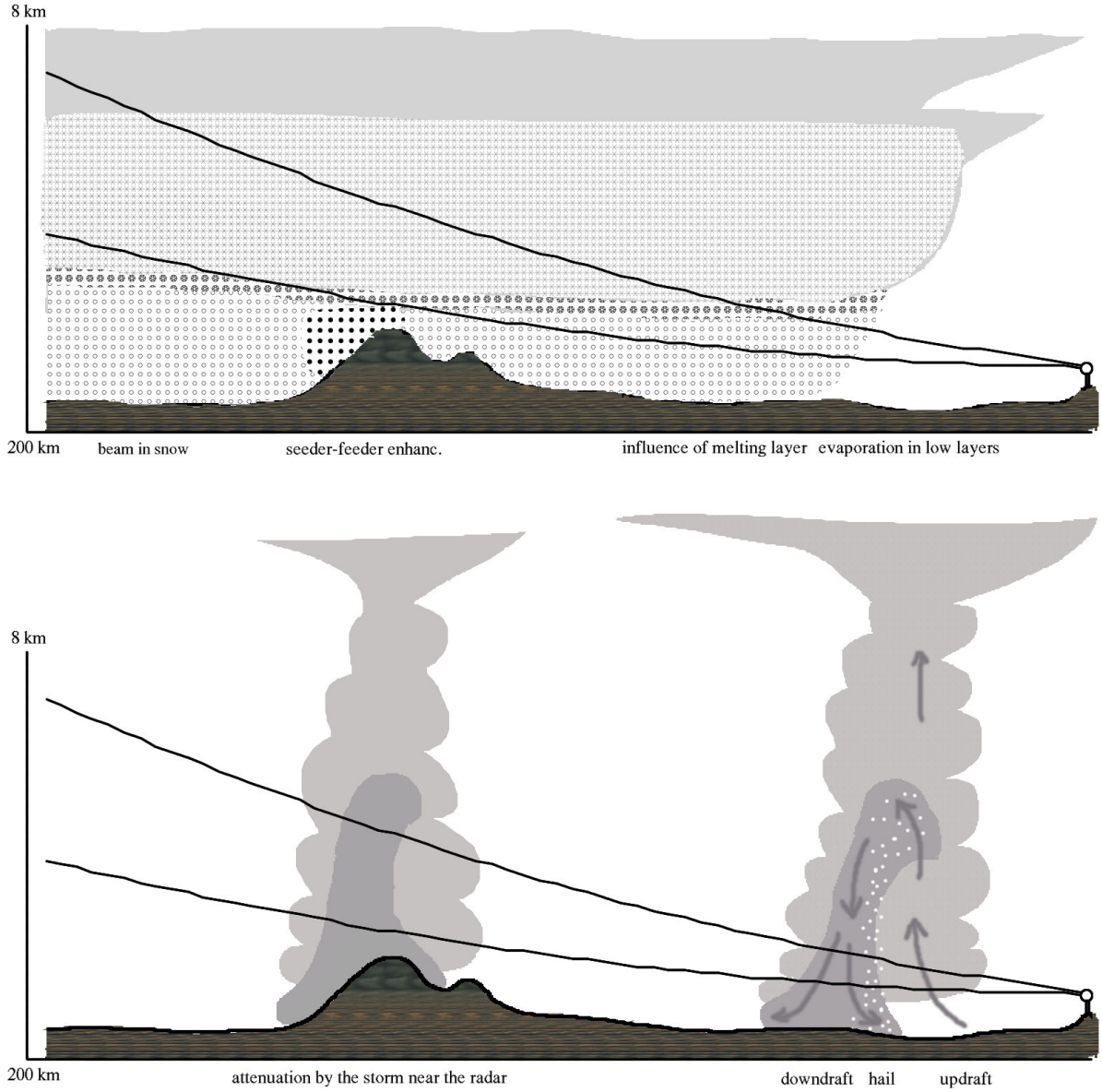
Digitalizace radarových měření v 90. letech a zejména instalace nového dopplerovského radiolokátoru na kótě Skalky na střední Moravě v letech 1995-1996 významně iniciovaly zájem českých odborníků o využívání radarových odhadů srážek [Šálek a Kráčmar, 1996]. Již při prvních testech, které srovnávaly denní radarové odhady srážek radaru Skalky s korespondujícími srážkoměrnými měřeními, se ukázaly mnohé chyby a problémy. Mezi nejdůležitější vlivy patří proměnlivá šířka radarového paprsku a jeho výška nad zemí, které rostou se zvětšující se vzdáleností od radaru a způsobují systematické podceňování srážek v závislosti na vzdálenosti od radaru. Dále je nutné brát do úvahy možné blokování radarového paprsku terénními či jinými překážkami, mezi které patří stožáry, stromy či v poslední době stále častěji vztyčované větrné elektrárny. Při vlnových délkách radarového signálu blízkých 5 cm není také možné zanedbat útlum ve srážkách. V úvahu je nutné brát též efekt rozdílné fáze srážek, zejména pak v chladné polovině roku. Ve vzdálenosti několika desítek kilometrů od radaru se při velkoprostorových deštích často projevuje tzv. „bright band“, což je nadměrně zesílená odrazivost v zóně tání pevných srážek pod nulovou izotermou.

Poněkud překvapujícím zjištěním byla velikost odchylek radarových odhadů a korespondujících srážkoměrných měření v horských oblastech, především při velkoprostorových srážkách (krajinných deštích) a silnějším větru. Jak např. uvádí Grey a Seed [2000], dokonce kopce o výšce 50 m mohou při vhodných podmínkách způsobit zesílení srážek o 10-40%, přičemž uvedené zesílení nastává především ve výšce do 500 m nad terénní vyvýšeninou. Tento druh orografického zesílení je v literatuře známé jako „seeder-feeder“ a nastává při velkoprostorových deštích a silnějším větru, kdy se na návětrných svazích tvoří vlivem orograficky podmíněných výstupných pohybů mlha, která je „vymývána“ srážkami vznikajícími většinou ve střední troposféře. Při extrémních situacích může uvedené orografické zesílení dosáhnout až stovek procent, což se následně projevuje příslušnou chybou radarových odhadů [např. Šálek et al., 1997, 2002]. Odchylky radarového měření od údajů srážkoměrů jsou v horských oblastech navíc ovlivněny terénními překážkami, které omezují radarovou „viditelnost“ nižších hladin, a specifickým rozdělením velikosti kapek, které přispívá k podcenění radarových odhadů. Tyto chyby se špatně korigují; možným řešením je vhodnější místo radarové stanice, což je málokdy proveditelné, případně korekce založené na klimatologii orografického zesílení [Collier, 1996, Šálek et al., 2004].

Orografické zesílení srážek mechanismem „seeder-feeder“ je nutné odlišit od orografií vyvolané konvekce („triggered convection“), viz Grey a Seed [2000]. Pro detekci i kvantitativní odhad *konvektivních* srážek (nejenom vyvolaných orografií) je radar relativně nejlepším nástrojem, a to především z důvodu velké časoprostorové proměnlivosti tohoto druhu srážek a též vlivem podstatně většího vertikálního rozměru konvektivní oblačnosti a tudíž její lepší radarové viditelnosti.

Stručný souhrn meteorologických chyb radarových odhadů srážek je na obr. 1. Z běžných problémů můžeme ještě zmínit vypařování srážkových částic v suchých níže ležících vrstvách vzduchu, což má za následek mírné přecenění srážkových úhrnů, které ale většinou nabývá malých absolutních hodnot. Přecenění srážkových úhrnů je někdy pozorovatelné u konvektivních srážek při výskytu krup, či obecně při větším výskytu větších srážkových částic, a to z důvodu závislosti odrazivosti na šesté mocnině průměru částic. V případě detailního zkoumání konvektivních srážek je důležité si uvědomit, že v místech intenzivních sestupných proudů dochází k podcenění intenzity srážek, zatímco vzestupné pohyby mají za následek menší tok srážek k zemskému povrchu, tudíž přecenění srážkové intenzity. Proto je vhodnější integrovat (průměrovat) srážkové úhrny pro větší oblast (od 5 km^2 výše, spíše desítky km^2), kde se oba vlivy alespoň částečně kompenzují.

Při porovnávání radarových odhadů se srážkoměrnými měřeními je potřeba jisté opatrnosti, neboť srovnáváme „bodová“ měření srážkoměrů s radarovým odhadem reprezentujícím plochu typicky 1 km^2, přičemž i denní úhrny zejména konvektivních srážek mohou vykazovat až řádové rozdíly na vzdálenost jednoho kilometru.



Obr. 1. Schématický obrázek meteorologických příčin chyb radarových odhadů srážek ve velkoprostorových (nahoře) a konvektivních (dole) srážkách. Horizontální rozsah konvektivních buněk je uměle zvětšen pro lepší zobrazení.

Fig. 1. Diagram of typical meteorological errors of radar-based QPE of stratiform (top) and convective (bottom) precipitation. The horizontal extent of the storm cells (bottom) is artificially amplified for better depiction.

TVORBA OPTIMÁLNÍHO OPERATIVNÍHO ODHADU SRÁŽEK V ČHMÚ

Digitalizace radarových měření a možnost rychlého zpracování dat pomocí stále dostupnější a rychlejší výpočetní techniky vedlo v posledních deseti letech k lepšími využití radarových dat a k vývoji algoritmů, které alespoň částečně chyby radarového měření korigovaly. Radarové odhady je možné korigovat buď statistickými korekcemi [Kráčmar et al., 1998, Sokol, 2003, Sokol a Řezáčová, 2001] nebo pomocí vertikálních profilů odrazivosti [Novák, 2000, Novák a Kráčmar, 2000], případně je možné radarové odhady adjustovat pomocí měření srážkoměrů [Gjersen et al, 2004]. Stále více se objevují kombinace radarových odhadů srážek se srážkoměrnými měřeními [Fulton et al, 1998, Seo, 1998, Šálek et al., 2004], které zřejmě vytvářejí nejúplnější operativní obraz rozložení atmosférický srážek z dostupných informačních zdrojů.

V Českém hydrometeorologickém ústavu je již několik let v provozu procedura, adjustace radarových odhadů srážek a kombinace adjustovaných odhadů s dostupnými srážkoměrnými měřeními. Radarové odhady se počítají z hodnot odrazivosti nejbližší hladině 2 km (pseudoCAPPI 2km) pomocí standardního Marshall-Palmerova vzorce a s možností využít korekce pomocí vertikálních profilů odrazivosti.

Dalším krokem zpracování radarových odhadů srážek je adjustace. Podobně jako v proceduře popsané Fultonem et al. [1998] se pro adjustaci používá jeden adjustační koeficient pro celou radarovou doménu. U výpočtu adjustačního koeficientu však vyvstává následující problém. Srážkoměrná měření a korespondující radarové odhady nemusejí vždy přesně odpovídat vztahu „skutečných“ spadlých srážek a radarových odhadů pro celé území, a to z důvodu výše zmíněného problému reprezentativnosti srážkoměrných měření a reprezentativnosti poměru „radar/srážkoměr“ pro celou radarovou doménu. Jestliže však sčítáme tyto odhady pro delší časové období, pak se nám výpočet adjustačního koeficientu stabilizuje a jeho fluktuace jsou menší. Proto se u většiny podobných adjustačních procedur bere v úvahu několikadenní až několikatýdenní klouzavé časové „okno“ [Gjertsen et al., 2004]. Po určitém testování délky časového okna bylo jako optimální určeno pružné klouzavé období, které musí obsahovat srážkové údaje alespoň tří dnů, ve kterých byl příslušný radar v provozu alespoň 90% času a celkový průměrný úhrn srážek za toto období činil alespoň 5 mm, přičemž se nemusí jednat o spojité období. Zároveň musí být počet srážkoměrných stanic vykazujících naměřené úhrny srážek větší než pět. K sumám srážek posledního dne se přičítají i srážky za aktuální hodinová období od konce posledních „denních“ srážek, tj. období 07-07 SEČ, takže se adjustační koeficient může slabě měnit i každou hodinu v závislosti na aktuálně naměřených srážkách a příslušných radarových odhadech. Adjustační koeficient (bias) se v popisované proceduře počítá podle následujícího vzorce:

$$bias = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \left(\sum_{j=1}^{m} G_j \right)_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i \left(\sum_{j=1}^{m} R_j \right)_i} \quad , \qquad (2)$$

kde G_j, resp. R_j, jsou denní úhrny srážkoměrných měření, resp radarových odhadů na místě srážkoměrných stanic, zatímco w_i jsou váhy určené tak, aby byl jejich součet 1 a zároveň poslední (časově nejvíce vzdálené) použité denní srážkové sumy měly váhu 0.05, přičemž „pokles“ vah je dán negativně exponenciálním vztahem $w_i = \exp(-\lambda i)$, kde parametr λ se počítá pomocí výše uvedené podmínky $w_n = 0.05$. Členy v závorce odpovídají územním sumám příslušných srážkových úhrnů. Započítávají se pouze stanice do 150 km od radaru a do výšky 700 m nad hladinou moře, protože příliš vzdálené či horské stanice nejsou pro radarovou doménu reprezentativní.

Adjustovaný radarový odhad se poté kombinuje s operativně dostupnými srážkoměrnými měřeními pomocí zjednodušené metody optimálního odhadu autora D.-J. Seo [1998]. U této metody se předpokládá, že srážkoměrné měření je reprezentativní pro daný radarový územní element (1x1 km) a že zde platí údaj srážkoměru. V ostatních pixelech je výsledný optimální odhad počítán jako lineární

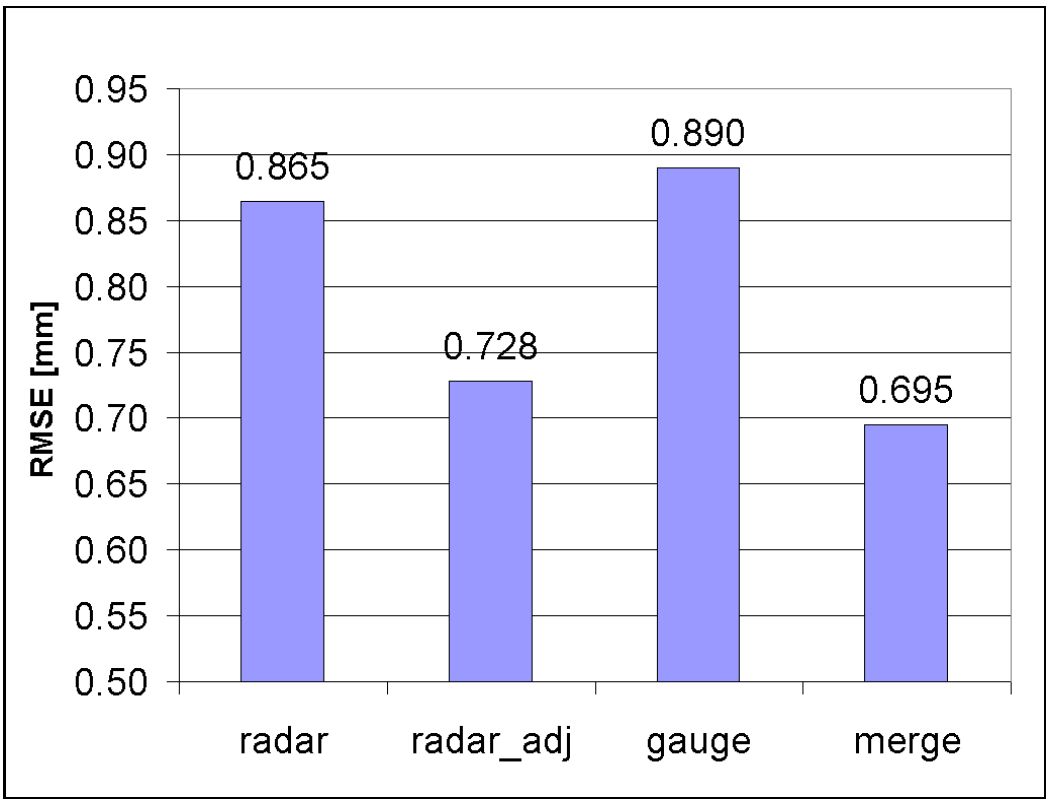
kombinace srážkoměrných měření a radarových odhadů, přičemž váhy srážkoměrných měření klesají s rostoucí vzdáleností od srážkoměrných stanic podle negativně exponenciální funkce. Zjednodušeně to vyjadřují rovnice (3):

$$R_m = a \cdot G + (1-a) \cdot R, \qquad a = \exp(-d / konst.), \tag{3}$$

kde R_m je výsledný „kombinovaný“ odhad v daném územním elementu, G nejbližší srážkoměrné měření či odhad z nejbližších měření, R radarový odhad a d vzdálenost od nejbližšího srážkoměru.

VERIFIKACE POČÍTANÝCH ODHADŮ SRÁŽEK

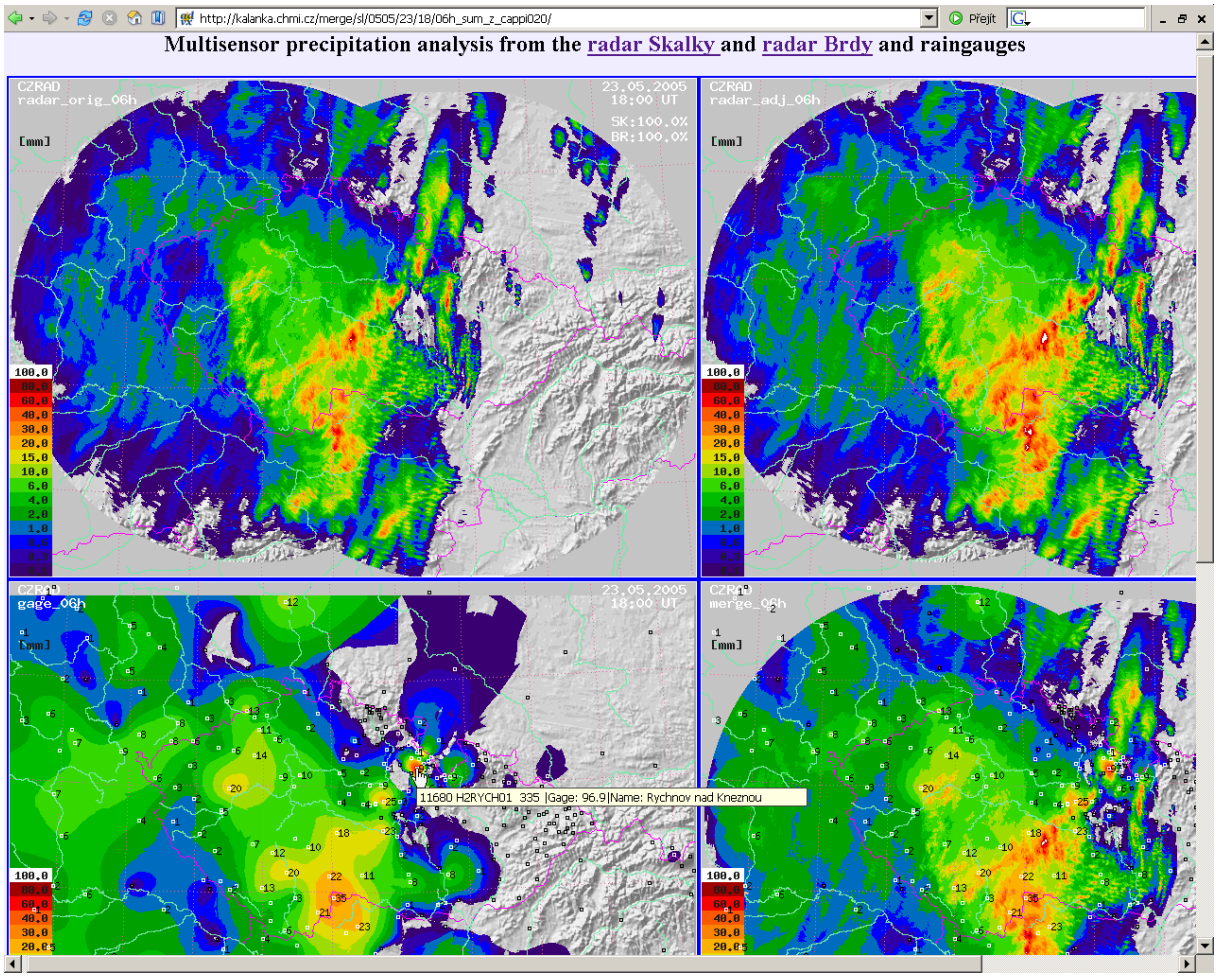
Pro zhodnocení relativní přesnosti hodinových odhadů byly pro období 6. –16. srpna 2002 vypočteny všechny odhady pro lokality (územní elementy 1x1 km) stanic, u kterých byly zjištěny hodinové úhrny digitalizací „klasických“ ombrogramů. Tato data z ombrografů pak sloužily jako verifikační údaje a vůči nim byla vypočtena střední směrodatná odchylka (Root Mean Square Error, RMSE) všech odhadů v doméně radaru Brdy. Z uvedeného srovnání (viz obr. 2) vyplývá, že pro radar Brdy relativně nejmenší průměrnou chybu vykazuje kombinace, jen o málo je horší adjustovaný radarový odhad, přičemž neadjustovaný radarový odhad a operativně dostupné srážkoměrné údaje zaznamenávají odchylku největší.



Obr. 2. Střední směrodatná odchylka (Root Mean Square Error, RMSE) hodinových radarových odhadů, adjustovaných radarových odhadů, srážkoměrných odhadů a kombinovaných odhadů pro lokality (územní elementy 1x1 km) ombrografických stanic za období 6. - 16. 8. 2002. V operativních analýzách byla použita data 40 srážkoměrů, přičemž použitá doména byla omezena na kruh o průměru 150 km od radaru Brdy. Pro verifikaci bylo využito 74 ombrografických stanic.
Fig. 2. Root Mean Square Error of hourly radar estimates, adjusted radar estimates, raingauge-only estimates and merged estimates for pixels of pluviograph stations for 6-16 August 2002. In the analyses 40 raingauges were used, the domain reached up to 150 km far from radar Brdy. For the verification 74 pluviograph station were used.

VIZUALIZACE ODHADŮ SRÁŽEK

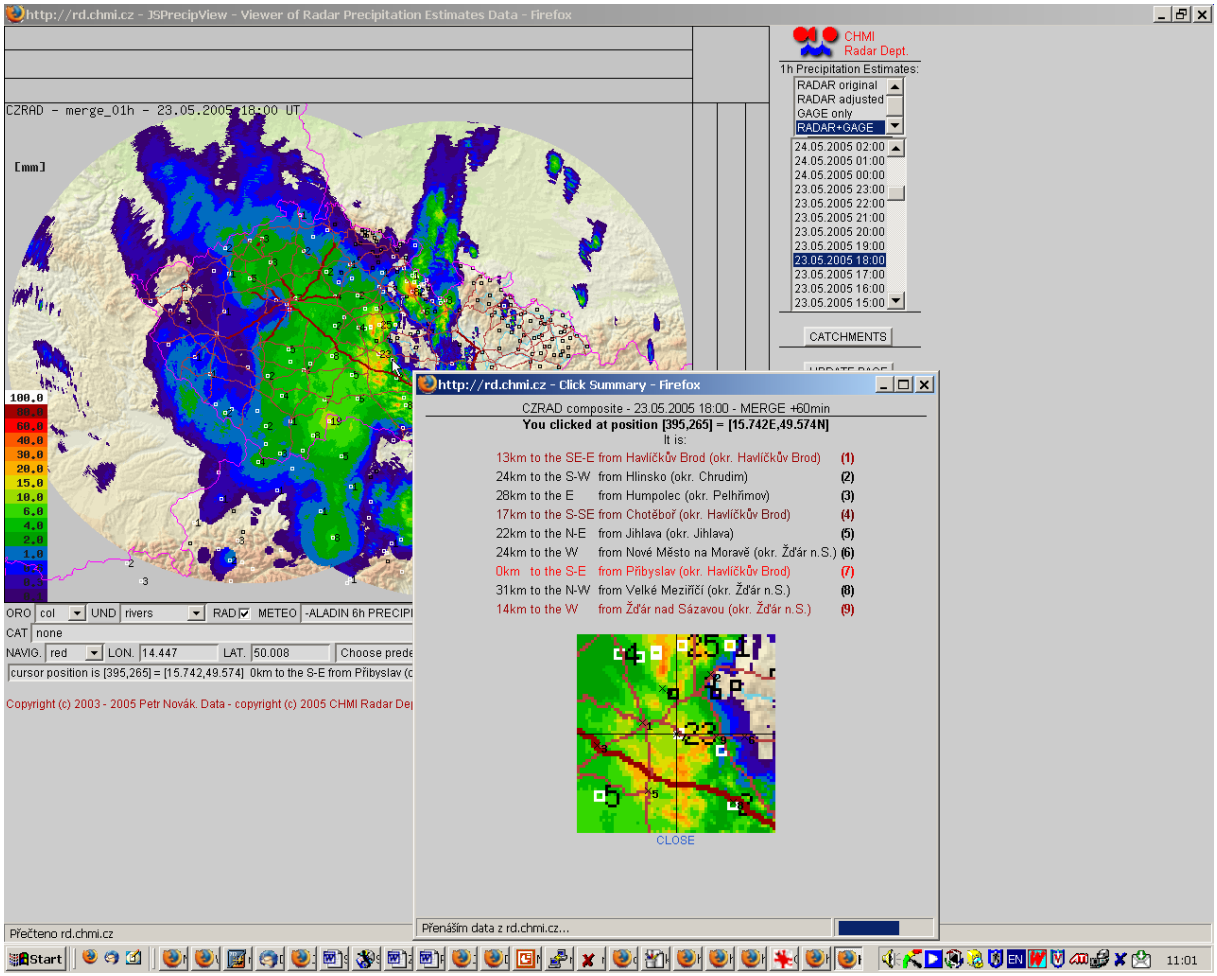
Pro zobrazování a porovnávání všech typů odhadu (původní radarový odhad, adjustovaný radarový odhad, odhad srážek pouze s využitím srážkoměrů a výsledná kombinace) se využívají dvě internetové aplikace (využívající technologie DHTML, JavaScript a PHP). Obě ukazují všechny možnosti odhadu plošného rozložení srážek v doméně radarů Skalky a Brdy: původní radarový odhad, radarový odhad adjustovaný pomocí srážkoměrů, odhad pouze s využitím srážkoměrných údajů a kombinaci adjustovaného radarového odhadu se srážkoměrnými měřeními. Pro detailnější rozbor vztahů srážkoměrných měření a příslušných radarových odhadů slouží diagnostická verze, která poskytuje podrobnější statistické údaje srážkoměrných a radarových údajů a kde je možné snáze identifikovat příslušné stanice (obr. 3). Součástí každého odhadu je i korelační pole ukazující těsnost vztahu srážkoměrných měření a příslušných radarových odhadů a výpis „podezřelých“ a chybných měření srážkoměrů.



Obr. 3. Ukázka diagnostické verze kombinované analýzy srážek ve formě sloučené informace z obou radarů české meteoradarové sítě CZRAD. Vlevo nahoře je původní radarový odhad, vpravo nahoře je adjustovaný radarový odhad, vlevo dole srážkoměrné pole a vpravo dole výsledná kombinace. Na všech obrázcích je možné zjistit jména srážkoměrných stanic přesunutím kurzoru nad příslušnou lokalitu, což je demonstrováno na srážkoměrném poli.

Fig. 3. Example of diagnostic version of the combined precipitation analysis in a form of composite of both radars of the Czech weather radar network CZRAD. Top left is original radar estimate, top right is adjusted radar estimate, bottom left is raingauge-only field and bottom right is the merged estimate. At all the pictures you can find the raingauge name by pointing of the cursor to the station location as shown at the gauge-only estimate.

Pro rutinní přehled o spadlých srážkách a též pro účely varovné protipovodňové služby je v ČHMÚ v provozu systém JSPrecipView, který přehledně ukazuje všechny možnosti odhadů srážek, přičemž jen vybaven poměrně kvalitními možnostmi navigace (lokalizace na mapě, viz obr. 4) i dalšími vlastnostmi geografických informačních systémů. Aplikace navíc počítá plošné odhady srážek na předdefinovaná povodí třetího řádu s volitelným zobrazením časového vývoje do 21 dnů od aktuálního data (obr. 5).



Obr. 4. Aplikace JSPrecipView zobrazující kombinaci radarových odhadů srážek a srážkoměrných měření. Zde je ukázáno přiblížení a navigace.
Fig. 4. Application JSPrecipView showing the merged precipitation estimate with the zooming and geographical navigation.

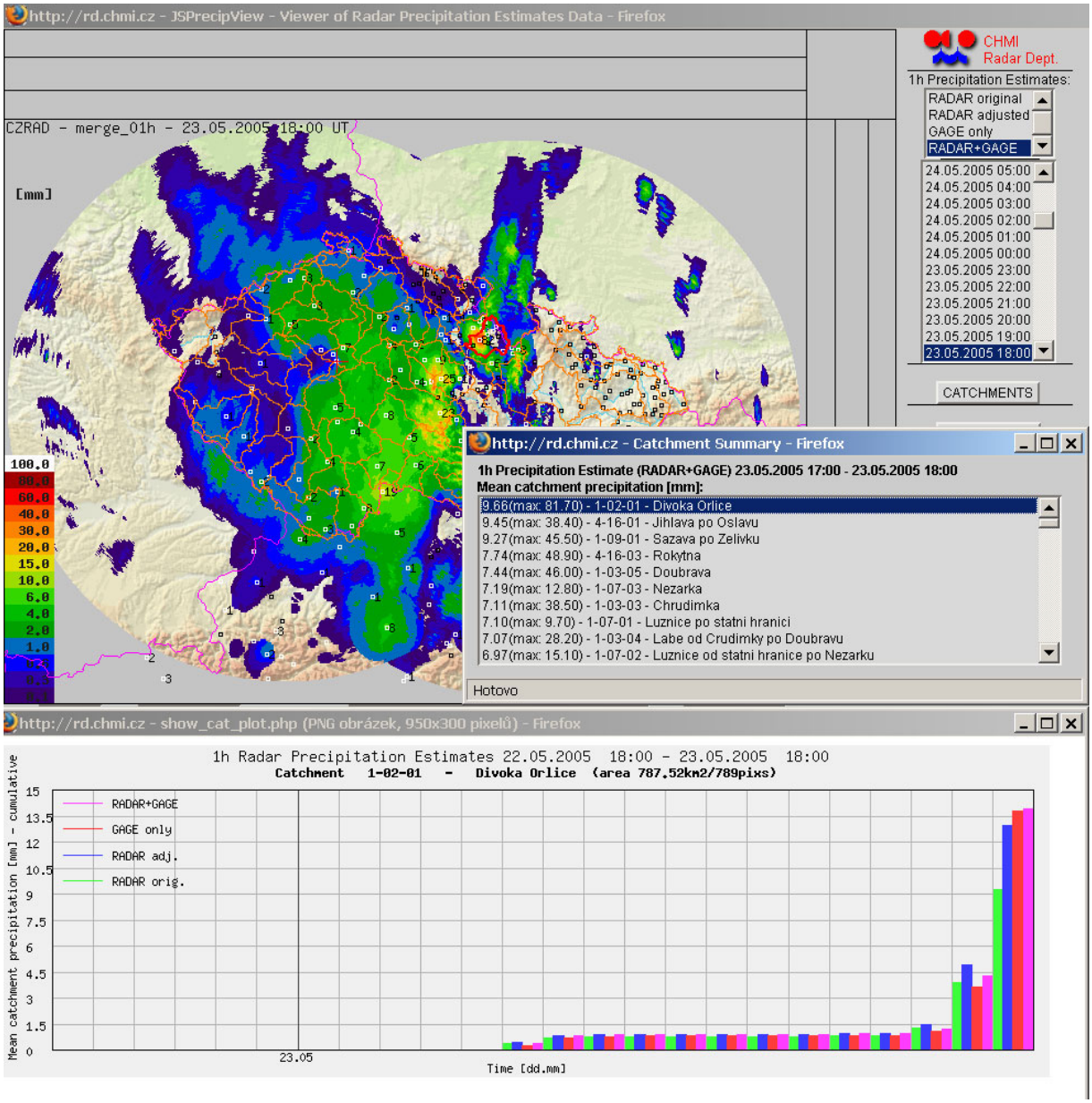
U těchto odhadů se též obrazují důležité relativní údaje o dostupnosti radarových měření, tj. podíl uskutečněných měření k plánovaným, a dále hodnoty adjustačních koeficientů, jejichž neobvyklé hodnoty mohou indikovat problémy s technickým zařízením radaru. Na počátku roku 2004 byla též vyvinuta aplikace, která vykresluje časový vývoj srážkoměrných měření a korespondujících radarových odhadů, což mj. velmi napomáhá při vyhledávání chyb srážkoměrů.

VYUŽITÍ KOMBINOVANÉ ANALÝZY V HYDROLOGICKÝCH MODELECH

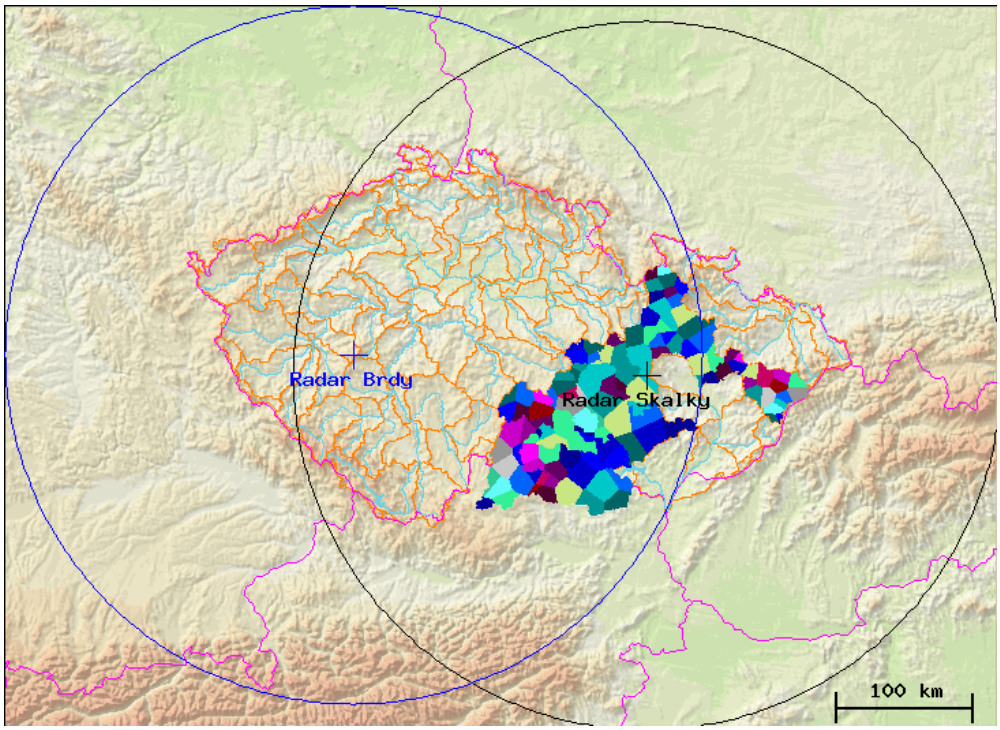
Na brněnském a ostravském Regionálním předpovědním pracovišti ČHMÚ se kromě těchto aplikací využívají výsledné kombinace adjustovaných radarových odhadů a srážkoměrných měření jako alternativní vstupní údaj do hydrologického modelu HYDROG. V současné době (léto 2005) se rutinně počítají plošné odhady kombinovaného odhadu pro Thiessenovy polygony příslušné

instalovaným nebo předpokládaným stanicím, přičemž proběhly první případové studie s modelováním významných epizod a zejména silných konvektivních srážek [Šálek et al., 2004]. Případy silné konvekce ukazují, že rozdělení povodí na Thiessenovy polygony je velmi hrubé a že pro věrnější modelování těchto případů je nutné podstatně jemnější dělení až do velikosti dílčích povodí kolem 10 km^2. Z důvodu jednoduchého alternativního využití kombinovaných odhadů srážek se však budou kombinované odhady i nadále rozpočítávat na Thiessenovy polygony.

O hydrologickém modelu Hydrog a též o využívání zmíněných odhadů srážek pojednává též práce Soukalové a Březkové [2005], která je uvedena v tomto sborníku.



Obr.5. Výpočet hodinových průměrných srážek na povodí aplikace JSPrecipView s vykreslením časového vývoje všech uvažovaných typů odhadů. Na mapě je zobrazena výsledná kombinace.
Fig. 5 Calculation of the hourly mean areal precipitation for given catchment provided by the application JSPrecipView with the time series of all the considered estimates. The maps shows the merged estimate.



Obr. 6. Thiessenovy polygony, pro které se v r. 2005 operativně počítají kombinované radaro-srážkoměrné odhady srážek, využívané v hydrologickém modelu Hydrog.
Fig. 6. Thiessens polygons used for the calculation of mean areal precipitation of the merged radar-raingauge estimates which are used in hydrological model Hydrog. Situation dates to 2005.

VYUŽITÍ KOMBINOVANÉHO ODHADU VE VAROVNÉ PROTIPOVODŇOVÉ SLUŽBĚ ČHMÚ

Uvedený systém kombinovaného odhadu srážek se též využívá pro proceduru detekce nadlimitních srážkových úhrnů. Algoritmus detekce spočívá v hledání nejvyšších srážkových úhrnů všech typů odhadů a v případě, že je překročena předdefinovaná hodnota, je v interním komunikačním systému ČHMÚ vydán varovný bulletin WGCZ61. V něm jsou pro danou lokalitu vypsány všechny odhady včetně interpolace ze srážkoměrů, což slouží pro porovnání a pro případné odhalení chyb příslušných měřících systémů. Ukázka bulletinu je zde:

```
WGCZ61 OKTB 231510

Termin: 23.5.2005 15 UTC.     Akumulace: 1 h.
Vydano: 23.5.2005 15.10 UTC.

   39.6      43.8 *     0.1      43.8     Vysocina              15.282 49.390
   37.6      41.6 *     0.3      33.9     Jihocesky             14.714 48.970

   80.9      89.6 *     0.1      89.6     Mimo CR               15.022 48.440

-------------------------------------------------------------------------------
Rad. orig. Rad. adj. Srazkom.  Kombinace   Kraj                  Delka  Sirka

-------------------------------------------------------------------------------
    Vypis vyznamnych srazek (v mm) z oblasti CR a okoli z meteorologickych
          radiolokatoru site CZRAD a dostupnych mereni srazkomeru.

            UPOZORNENI: Tato informace musi byt vizualne proverena
          na http://rd.chmi.cz/rad/ nebo http://kalanka.chmi.cz/merge.
             Vysoke hodnoty mohou vzniknout tez chybou systemu.
-------------------------------------------------------------------------------
                    Pripravil: Milan Salek, salek@chmi.cz
-------------------------------------------------------------------------------
```

Součástí výpisu je uvedení kraje, kde k překročení došlo, dále zeměpisná délka a šířka ve tvaru, který je možné okamžitě použít pro lokalizaci v systému JSPrecipView. Jak je uvedeno v ukázce bulletinu,

po obdržení bulletinu je nutné vizuálně prověřit, zda vydání bulletinu skutečně odpovídá nebezpečnosti vývoje nebo zda nejde o planý poplach způsobený nějakou chybou systému nebo čidel.

NOWCASTING SRÁŽEK

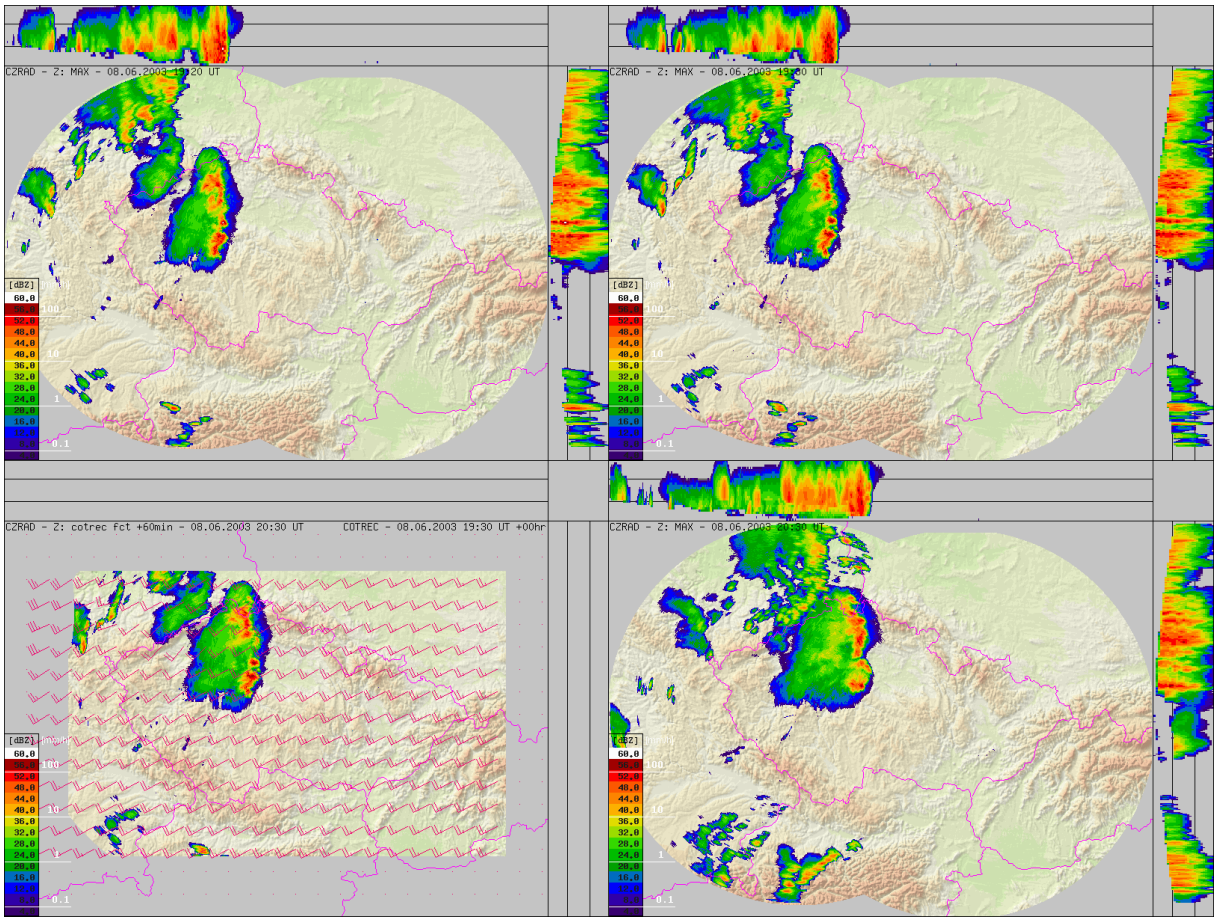
Po testování několika různých procedur [Novák et al., 2002] byly v roce 2003 do operativního provozu ČHMÚ zavedeny dvě metody předpovědi radarového echa či nowcastingu srážek [Novák, 2004]. Obě metody, označené COTREC a ALADIN, se neomezují pouze na identifikaci a předpověď konvektivních buněk, ale slouží k předpovědi radarového echa v celé radarové doméně,. Pro předpovědi je využito produktu maximálních odrazivostí s prostorovým rozlišením 1x1km generovaným každých 10 minut z plných objemových měření.

Metody se liší v způsobu získání pohybového pole použitého v druhém kroku k extrapolaci aktuálního radarového produktu pomocí metody zpětných trajektorií. Metoda COTREC využívá pro určení pohybového pole zkoumání podobnosti mezi aktuálním radarovým snímkem a různě posunutým předchozím snímkem. Z posun, při kterém byla nalezena nejlepší podobností, je poté určen vektor posunutí. Algoritmus probíhá v několika krocích s postupně se zmenšujícími oblastmi ve kterých je hledána podobnost. Je použito několik metod, které zajišťují konzistenci a hladkost výsledného pohybového pole. V druhé metodě ALADIN je využito předpovědní pole hladiny AT 700hPa (zobrazující tlakové pole v přibližné výšce 3 km) z lokálního předpovědního modelu ALADIN, které je pomocí geostrofické aproximace, tj. předpokladu geostrofického proudění v dané hladině, přepočteno na pohybového pole.

Obě metody předpovídají rozložení radiolokační odrazivosti až na 90 minut dopředu s krokem 10 minut. Během předpovědní doby se předpokládá neměnnost pohybového pole, zároveň není uvažováno zesilování či zeslabování radarového echa. Standardně je předpovídáno pole maximálních odrazivostí, ale lze použít například i pole pseudoCAPPI 2km využívané pro odhady srážek.

Vyhodnocení kvality předpovědi provedené porovnáním se skutečně naměřenýma hodnotami ukázalo výrazné zkvalitnění v porovnání s perzistentní předpovědí. Výsledky metody ALADIN a COTREC jsou hodně podobné, COTREC však ukazuje přeci jen trochu lepší výsledky. Kvalita předpovědi s časem klesá u obou metod obdobně. Využitelnost předpovědí závisí na typu srážek. Pro izolovanou konvekci je většinou využitelnost pouze do cca 30 minut, v případě stratiformních srážek či frontální oblačnosti (i konvektivní) je často možné využít i plných 90 minut. Při interpretaci výsledků předpovědí je vždy třeba zkušeného meteorologa.

Předpovědi jsou v ČHMÚ zatím operativně využívá pouze kvalitativně. Hydrologické aplikace nowcastingu intenzit srážek byly prozatím zkoušeny pouze pro případové studie přívalových povodní na Hodonínce (Blanensko, červenec 2002) a ve Sloupu (opět Blanensko, květen 2003). První studie ukázaly, že přes zřejmá omezení daná nelinearitou vývoje konvektivní oblačnosti jsou tyto extrapolační procedury částečně využitelné a mohly by se v budoucnu stát součástí srážkového vstupu do modelových hydrologických výpočtů.



Obr. 7.Ukázka předpovědi radarového echa metodou COTREC. Horní dva obrázky zobrazují vstupní data pro předpověď (z nich je počítáno pohybové pole), vlevo dole je znázorněna 60ti minutová předpověď společně s vypočteným pohybovým polem, vpravo dole je znázorněn skutečně naměřený radarový snímek pro dobu předpovědi.

Fig. 7. Example of COTREC radar echo prediction. Top figures show input data for COTREC method (measurements used for motion wind field calculation), left bottom figure show 60-min prediction of radar echo and calculated motion wind field, right bottom figure show true measured radar image for time of prediction.

ZÁVĚR

Meteorologické radary mohou značně přispět k věrnějšímu zobrazení územního rozdělení srážek, ale pro jejich optimální využití je vhodné znát nebo kvalifikovaně odhadovat procesy tvorby srážek, případně další vlivy ovlivňující přesnost radarového měření. Rozhodně není možné doporučit využívání radarových (nebo kombinovaných) odhadů v hydrologii bez alespoň vizuální kontroly výsledků nebo bez srovnání radarových odhadů srážek s dostupnými údaji srážkoměrů. Také by mělo platit, že oba druhy měření či odhadů srážek jsou komplementární a nikoliv konkurenční.

Literatura

Collier, C.G. (1996): Applications of weather radar systems: a guide to uses of radar data in meteorology and hydrology. Ellis Horwood Limited Publishers. Chichester UK, 408 pp.

Fulton, R., Breidenbach, J., Seo., D.-J., Miller., D., and O'Bannon., T. (1998): The WSR-88D rainfall algorithm,Wea. Forecasting, 13, 377–395.

Gjertsen, U., Šálek, M., Michelson, D. B. (2004): Gauge adjustment of radar-based precipitation estimates. COST Action 717, Use of radar observation in hydrological and NWP models. Review. COST Office, Brussels.

Gray, W.R. and A.W. Seed (2000): The characterisation of orographic rainfall. Meteorol. Appl., **7**, 105-119.

Novák P. (2000): Meteorological Interpretation of Doppler Weather Radar Measurements, Ph.D. Thesis, the Faculty of Mathematics and Physics of the Charles University, Prague, p.89

Novák P., Kráčmar J. (2000): Exploiting 3D volume data from the Czech weather radar networks. 1st European Conference on radar meteorology (ERAD), Bologna, Italy, September 2000, Phys. Chemistry of the Earth, 2000, vol. 25, 1163-1168.

Novák P., Walder J., Kráčmar J. (2002): The First Attempts At The Radar Echo Prediction In The Czech Weather Radar Network, ERAD Publication Series, Vol 1, Delft University of Technology, 18-22 November 2002, ISBN 3-936586-04-7, 55-58

Novak P. (2004): Czech weather radar data utilization for precipitation nowcasting, In: ERAD 2004 proceedings, ERAD publication series, Vol. 2, p. 459-463.

Seo., D.-J.: Real-time estimation of rainfall fields using radar rainfall and rain gage data, J. Hydrol., 208, 37–52, 1998b.

Sokol, Z (2003): Utilization of Regression Models for Rainfall Estimates Using Radar-Derived Rainfall Data and Rain Gauge Data. Journal of Hydrology, Vol. 208, p. 37-52.

Sokol, Z, Řezáčová, D. (2001): Statistická korekce denních srážkových úhrnů stanovených radarem s využitím klasifikované regrese. Meteorol. Zpr., 54, č. 6, s. 46-56.

Soukalová, E., Březková, L. (2005). Předpovědní hydrologická služba na ČHMÚ Brno. Sborník Hydrologických dnů 2005.

Šálek M., Kráčmar, J. (1997): Odhady srážek z meteorologického radiolokátoru Skalky. Meteorolog. Zpr., 50, č.4, s. 99–109.

Šálek, M., Kráčmar, J., Novák, P., Setvák, M (1997): Využití metod dálkové detekce při povodňových událostech v červenci 1997. Meteorol. Zpr., 50, č. 6, s. 177–178.

Šálek, M, Novák, P., Kráčmar, J. (2002): Údaje metod dálkové detekce během povodní v srpnu roku 2002. Meteorolog. Zpr., 55, č. 6, s. 177–179.

Šálek, M., Cheze J.-L., Handwerker J., Delobbe, L., Uijlenhoet, R. (2004): Radar techniques for identifying precipitation type and estimating quantity of precipitation. Review. COST Office, Brussels.

Šálek, M., Novák, P, Seo, D-J. (2004): Operational application of combined radar and raingauges precipitation estimation at the CHMI. ERAD 2004 proceedings, ERAD publication series, Vol. 2, 16-20.

Autoři:

Milan Šálek, ČHMÚ, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno, Česká republika, salek@chmi.cz

Petr Novák, ČHMÚ, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4, Česká republika, petr_novak@chmi.cz

NESTACIONARITA PRÍRODNÉHO PROSTREDIA A HYDROLOGICKÉ PROCESY

Brázdil R., Dobrovolný P., Elleder L., Kakos V., Kotyza O., Macková J., Valášek H.
Studium historických povodní v České republice jako příspěvek k historické hydrológii 311

Burger B., Čelková A.
Vhodnosť zdrojov vody pre závlahy a umelú infiltráciu v období sucha
z hľadiska salinity v juhovýchodnej časti Podunajskej roviny 330

Elleder L.
Kolísaní sezonality a frekvence katastrofických povodní v povodí Vltavy
z pohledu dokumentárních zdrojů 344

Halmová D
Schopnosť vodnej nádrže Orava zabezpečiť požadovaný odber vody
za zmenených klimatických podmienok 348

Janeček M., Kubátová E., Tippl M.
Změny četnosti výskytu erozně nebezpečných dešťů v České republice 361

Kliment Z., Matoušková M.
Změny ve vývoji odtoku ve vybraných povodích horské a podhorské části Šumavy 370

Krátká M., Kašpárek L.
Regionální dopady klimatické změny na hydrologický režim v ČR 389

Mati R., Kotorová D.
Vplyv poveternostných podmienok na charakteristické stavy vody v ťažkých pôdach 395

Nováková P., Procházková P.
Bilanční hodnocení vybraných ukazatelů jakosti vody na významných přítocích do nádrže 400

Pekárová P., Miklánek P. Koníček A.†
Vplyv využitia krajiny vodnosť tokov v experimentálnych mikropovodiach ÚH SAV 406

Pekárová P., Pekár J., Pacl J.
Časová variabilita ročných prietokov vysokohorského povodia Belá za obdobie 1901-2000 417

Sněhota M., Císlerová M.,
Nestabilita proudění pozorovaná na úrovni representativního elementárního objemu půdy 430

Spitz P., Hemerka I.
Dlouhodobá potřeba závlahové vody jako ukazatel pro posouzení hypotézy
nárůstu výskytu zemědělského sucha v klimatu České republiky 440

Šanda M., Hrnčíř M., Novák L., Císlerová M.
Variabilita srážkoodtokových vztahů v půdním profilu 453

Šútor J.
Tretí vodný zdroj v systéme vodných zdrojov v podmienkach klimatickej zmeny 463

STUDIUM HISTORICKÝCH POVODNÍ V ČESKÉ REPUBLICE JAKO PŘÍSPĚVEK K HISTORICKÉ HYDROLOGII

Rudolf Brázdil, Petr Dobrovolný, Libor Elleder, Vilibald Kakos, Oldřich Kotyza, Jarmila Macková, Hubert Valášek

Příspěvek přestavuje jednotlivé typy dokumentárních pramenů, které obsahují informace o povodních před začátkem přístrojových měření v České republice. Na základě databáze historicko-klimatologických údajů byly sestaveny chronologie dosud známých historických povodní pro řeku Vltavu od Českých Budějovic po Mělník, Labe od Brandýsa nad Labem po státní hranici, Ohři od Kadaně po Litoměřice a Moravu. Povodně s minimálně dvouletým kulminačním průtokem z období systematických pozorování a povodně určené z dokumentárních pramenů byly použity k syntéze jejich výskytu pro období 1351–2000.

Klíčová slova: historické povodně, dokumentární prameny, kolísání četnosti povodní, Vltava, Labe, Ohře, Morava

Study of historical floods in the Czech Republic as a contribution to the historical hydrology. *The article deals with several types of documentary evidence which contains information about floods before the beginning of systematic instrumental measurements in the Czech Republic. The chronology of the historical floods for four main rivers (the Vltava, the Elbe, the Ohře, the Morava) was compiled on the basis of the database of historical-climatological records. A synthesis of the frequency of floods during the period 1351–2000 was compiled based on the floods exceeding two-year discharge in the instrumental period and existing documentary evidence in the previous time.*

Key words: historical floods, documentary evidence, fluctuation of the flood frequency, the Vltava, the Elbe, the Ohře, the Morava

1 ÚVOD

Meteorologické a hydrologické extrémy způsobují v České republice téměř každoročně značné materiální škody a nezřídka i ztráty na lidských životech. Např. v červenci roku 1997 postihla zejména povodí horní a střední Moravy a Odry nejkatastrofálnější povodeň 20. století, při které zahynulo 52 osob a škoda na majetku činila 62,6 miliard Kč. O rok později přišla ničivá povodeň ve východních Čechách (6 obětí a za 2 miliardy Kč škod). Ještě v živé paměti je povodňová pohroma na Vltavě, Labi a dalších tocích ze srpna roku 2002, při níž zahynulo 19 osob a materiální škody se pohybovaly kolem 73 miliard Kč.

I když dosavadní pozorování nedávají při značné časové a prostorové proměnlivosti meteorologických a hydrologických extrémů jednoznačnou odpověď na otázku, do jaké míry jsou a budou ovlivněny procesem současného globálního oteplování, předpokládá se, že by jejich četnost a intenzita mohla narůstat (Karl, Easterling, 1999; Houghton et al., eds., 2001). Pro seriózní analýzu této hypotézy je ovšem třeba poznat přirozenou variabilitu extrémů v dostatečně dlouhém časovém intervalu.

Systematická přístrojová hydrologická pozorování v českých zemích začala z větší části teprve ve druhé polovině 19. století. Relativně krátké průtokové řady tak nemusí postihnout ani extrémní povodně s dlouhou dobou opakování, ani významné změny v jejich frekvenci či sezonalitě. Přitom informace tohoto typu mohou mít zásadní význam pro hodnocení povodňového rizika. Proto je třeba pracovat také s jinými datovými zdroji.

Údaje o povodních v období před začátkem přístrojových měření lze získat buď na základě analýzy přírodních údajů (tzv. paleopovodně) nebo z různých dokumentárních pramenů (tzv. historické povodně). Pro analýzu paleopovodní se využívají stopy po jejich činnosti zanechané v krajině, k nimž patří např. povodňové sedimenty, říční eroze, škody na vegetaci atd. (viz např. Starkel, 2001, 2002; Benito et al., 2003). Četné výzkumy vedené v této oblasti převážně od 80. let 20. století vedly ke

konstituování tzv. hydrologie paleopovodní (Paleoflood Hydrology) (viz např. Baker, 2003; Benito, 2003; Benito et al., 2004).

V oblasti střední Evropy ohrožovaly povodně původní obyvatele svými ničivými účinky patrně již od paleolitu, jak dokazují mnohé archeologické vrstvy a říční náplavy. Vzhledem k archeologickému datování (tzv. dlouhého času) a přesnosti geologického datování je ale stěží možné stanovit přesně dobu, kdy v pravěku a v raném středověku k těmto katastrofickým jevům docházelo. Může to však ukázat na zvýšenou frekvenci povodní v delším časovém úseku (viz např. Opravil, 1983). Např. v údolním dně Odry u Bohumína spadá hlavní fáze ukládání povodňových sedimentů do svrchního subatlantiku, resp. subrecentu, tedy na konec středověku a do novověku (Czudek, Hiller, 2001).

S přesnější datací velkých vod se lze setkat teprve v písemných pramenech dokumentární povahy. Protože povodně byly často doprovázeny ztrátami na lidských životech a velkými škodami na majetku, staly se informace o povodních významnou součástí písemných dokumentárních údajů (viz např. Brázdil, Kotyza, 1995, 2001; Pfister, 1999; Brázdil, 2000, 2003; Glaser, 2001; Brázdil et al., 2005a). Vedení takovýchto záznamů bylo odrazem přirozeného zájmu člověka o přírodní katastrofy, které bezprostředně ovlivňovaly jeho praktický život. Záznamy většinou nemají systematický charakter, umožňují však složit (v závislosti na hustotě záznamů) mozaiku povodní s nejvýraznějšími dopady.

2 DOKUMENTÁRNÍ PRAMENY JAKO ZDROJ DAT O POVODNÍCH

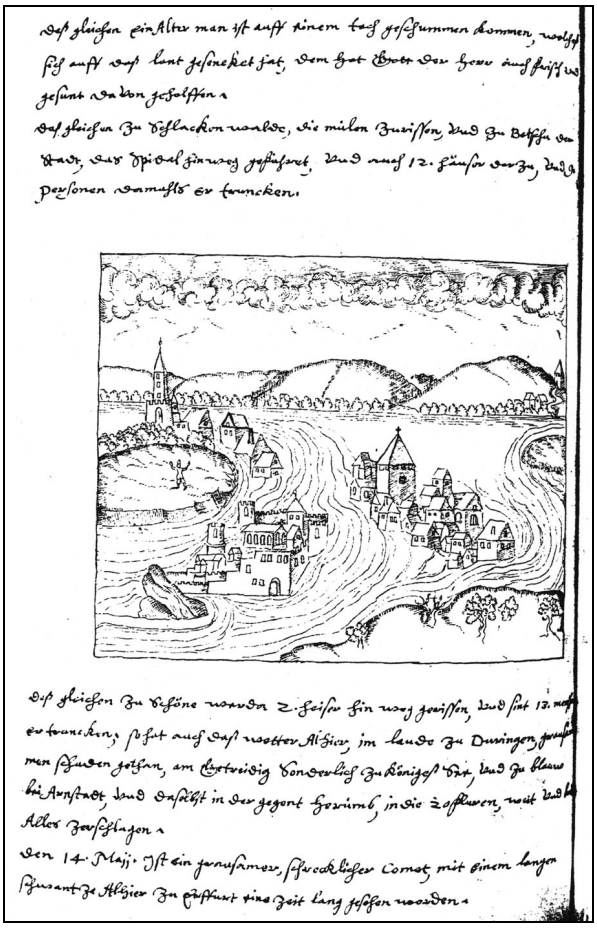
V České republice se pro studium historických povodní dá využít několik typů pramenů, které jsou dále stručně charakterizovány.

2.1 Prameny narativní povahy

Jedná se o tradiční vyprávěcí písemné prameny v podobě análů, kronik a pamětí. S různým stupněm podrobnosti, často velmi emotivně, popisují zpravidla průběh povodně, škody a případné lidské oběti. V některých případech se snaží porovnávat aktuální událost s jinou povodní, kterou pisatel zprávy sám zažil, popř. se o ní dověděl jiným způsobem (např. z novin, z jiných písemných pramenů, z doslechu, z dochované povodňové značky). Popis povodně může být doprovázen i jejím vyobrazením, které je ale spíše odrazem autorovy percepce existence povodně než vyjádřením reálného stavu události (obr. 1).

Kvalita a přesnost záznamu je odvislá od intelektuální úrovně autora (např. v závislosti na jeho vzdělání, pozorovací schopnosti, motivaci pro vedení záznamů) a především od jeho vztahu k popisované události, tj. zda byl např. jejím přímým svědkem. Naopak přebírání zpráv z jiných pramenů nebo z doslechu může být příčinou chyb v datování a popisu povodní, které je pak nutné eliminovat srovnávací analýzou s jinými dostupnými dobovými prameny.

První věrohodná zpráva o povodni v Čechách z pramenů narativní povahy se vztahuje k roku 1118 a pochází z kroniky pražského kanovníka Kosmy, který ve třetí knize své Kroniky Čechů píše (v českém překladu): „Léta od vtělení Páně 1118. V měsíci září byla taková povodeň, jaké tuším nebylo od potopy světa na zemi. Neboť řeka naše Vltava, náhle prudce vyrazivši ze svého řečiště, ach, kolik vsí, kolik v našem podhradí domů, chalup a kostelů svým přívalem pobrala! Neboť kdežto jindy, ač se to málokdy stává, hladina vody sotva dosahovala podlahy mostu, za této povodně vystoupila voda přes deset loktů [asi 593 cm] nad most." (Kosmas, s. 219).



Obr. 1. Ukázka popisu povodně ze dne 9. května 1582 na řece Teplé v Karlových Varech od Samuela Fritze z Erfurtu (Fritz, s. 152 – poskytnuto a otištěno s laskavým svolením dr. Mathiase Deutsche)

Fig. 1. Description of the flood of 9 May 1582 on the Teplá River in Karlovy Vary by Samuel Fritz of Erfurt (Fritz, p. 152 – supplied and published by courtesy of Dr. Mathias Deutsch)

Nejstarší záznam vztahující se k Moravě popisuje bleskovou povodeň u Brna z průtrže mračen v roce 1257 (v českém překladu): „1257. Náhle vznikla obrovská povodeň z průtrže mračen u města Brna na Moravě, 6 mil země se stromy a staveními bylo zničeno, a co je politováníhodnější přes tisíc osob zahynulo.“ (Cont. Lambacensis, s. 559–560). Podle letopisů z Krakova to ale mělo být v noci z 12. na 13. července: „1257. Na Moravě kolem Brna topila povodeň, mnoho lidí se utopilo v noci na den sv. Markéty panny.” (Ann. Polonorum, s. 634).

2.2 Denní záznamy počasí

V systematických vizuálních denních záznamech počasí nebo v zápisech majících podobnou strukturu se objevují informace o průběhu počasí a o výskytu extrémů (včetně povodní) s případnou charakteristikou jejich ničivých následků. Počet zpráv o povodních včetně jejich podrobnějšího popisu vzrůstá v případech, kdy pisatel žil v blízkosti vodního toku nebo povodní byly bezprostředně ovlivněny některé jeho aktivity (např. práce na polích a loukách). Příkladem tohoto typu pramene mohou být záznamy milčického rychtáře Františka Jana Vaváka, které obsahují informace o povodních nejen na Labi, ale i na Vltavě v Praze (Skopec, 1907–1938).

2.3 Osobní korespondence

Osobní korespondence obsahuje zprávy o povodních tehdy, pokud se takováto událost nějakým způsobem dotýkala pisatele dopisu. Sdělení pak nezřídka popisuje i panující ráz počasí a charakterizuje škody způsobené povodní.

2.4 Speciální tisky

U příležitosti katastrofických nebo dobově pozoruhodných událostí byly vydávány speciální tisky (tzv. noviny), které si kladly za cíl buď jen o nich informovat nebo z nich vyvozovaly nějaká ponaučení. Příkladem mohou být letákové noviny z almanachu Dobřenského z roku 1582 (obr. 2), které popisují vedle morové epidemie z téhož roku rovněž převržení voru při povodni na Vltavě v Praze dne 27. února 1581, kdy se utopilo na 150 lidí. Pokud se jednalo o mravoučné spisy či kázání, pak se přímo konstatuje, že povodně jsou Božími skutky, jimiž Bůh trestá lidi a nabádá je k nápravě. Speciální tisky týkající se vybraných povodní jsou tak nejen významným zdrojem informací o jejich výskytu, průběhu, způsobených škodách a případných lidských obětech, ale i dobovým vyjádřením percepce těchto přírodních jevů. Cenné mohou být také četnými odkazy na další zaznamenané extrémy.



Obr. 2. Vyobrazení vltavské povodně z února 1581 v Praze, kdy došlo k převržení voru s asi 150 lidmi (horní část), a ilustrace morového průvodu v roce 1582 z almanachu Dobřenského (Knihovna Královské kanonie premonstrátů Praha-Strahov, Dobřenského kodex, sign. DR I 21, opus 317)

Fig. 2. Depiction of the Vltava flood of February 1581 in Prague, when a raft carrying about 150 people capsized (upper part) and illustration of a plague procession in 1582 from the Dobřenský almanac (library of the Royal Premonstratensian Canonry in Prague-Strahov, Dobřenského kodex, sign. DR I 21, opus 317)

2.5 Úřední hospodářské záznamy

Do této skupiny pramenů patří především tzv. knihy počtů, které obsahovaly údaje o příjmech a vydáních dané obce. V nich se mohou objevovat informace, které souvisely nějakým způsobem s povodněmi (Brázdil, Kotyza, 2000). Jednalo se např. o platby řemeslníkům za opravu mostů a lávek po povodních, poskytnutou materiální pomoc na obnovu poškozených obydlí, finanční pomoc postiženým v jiných obcích, atd.

Další významná skupina zpráv o povodních v úředních hospodářských záznamech souvisí s výběrem daní a žádostmi o jejich snížení v důsledku způsobených škod. V těchto případech sepsal zpravidla rychtář postižené obce žádost o snížení daně s detailním vyčíslením způsobených škod, která byla postoupena na příslušný krajský úřad, který stanovil komisi k prověření vykazovaných škod. Teprve po vyjádření komise rozhodl krajský úřad o přiznání daňové bonifikace poddaným. Tyto typy zpráv

mohou být v archivních materiálech propojeny se zprávami správců panství jejich majitelům, v nichž zpravidla sdělovali závažné události, včetně živelných pohrom, které se přihodily na panství a ovlivnily jeho chod. Jejich sdělení se týkala především panského majetku a jen v menší míře majetku a škod způsobených poddaným. Často informovali i o opatřeních, která následně přijali, nebo žádali vrchnost o pomoc (Brázdil, Valášek, 2003; Brázdil et al., 2003).

2.6 Noviny

Informace o povodních stejně jako dalších katastrofických událostech se v novinách objevovaly a objevují dosud velmi často. Jsou cenné především pro období před začátkem pravidelných hydrologických pozorování, kdy se zveřejňované zprávy o povodních týkaly událostí v místě jejich vydání, pocházely z dopisů zasílaných redakci z jiných míst nebo byly přejímány z jiných novin. Často obsahovaly informaci o příčinách a průběhu povodně, podrobný výčet škod nebo zprávy o dalších dopadech povodně.

Svůj význam neztrácejí noviny ani v novější době se systematickými hydrologickými pozorováními, kdy mohou přispívat k úplnému postižení událostí v širším kontextu, včetně popisu přímých škod a dalších dopadů, přinášejí obrazovou dokumentaci, vyzývají k pomoci a solidaritě s poškozenými, napomáhají povodňové osvětě a k šíření poznatků o povodních na veřejnosti.

2.7 Obrazová dokumentace

Do této skupiny pramenů patří nejrůznějšími technikami zhotovená vyobrazení povodní, která doplňovala písemné zprávy o nich nebo charakterizovala některé velké povodňové katastrofy novější doby. Takovéto obrázky však byly často spíše odrazem autorovy představivosti, zkušenosti nebo percepce než reálným zobrazením událostí. Motivy povodní se objevovaly dokonce i na střeleckých terčích (obr. 3).



Obr. 3. Střelecký terč (olej na dřevě) z roku 1846, připomínající tragickou březnovou povodeň roku 1845 v Ústí nad Labem (Kaiserová, Kaiser, 1995)

Fig. 3. A shooting target (oil on wood) from 1846 commemorating the tragic March flood of 1845 in Ústí nad Labem (Kaiserová, Kaiser, 1995)

K citovaným vyobrazením později přistupují fotografie povodní, které jsou významným dokumentačním zdrojem zpráv o jejich rozsahu a ničivých dopadech. V řadě případů mohou i v období systematických pozorování dokumentovat průběh povodní v místech, kde chybí hydrologické stanice nebo kde jsou měřící objekty při povodni zaplaveny, poškozeny nebo odneseny.

2.8 Kramářské a trhové písně

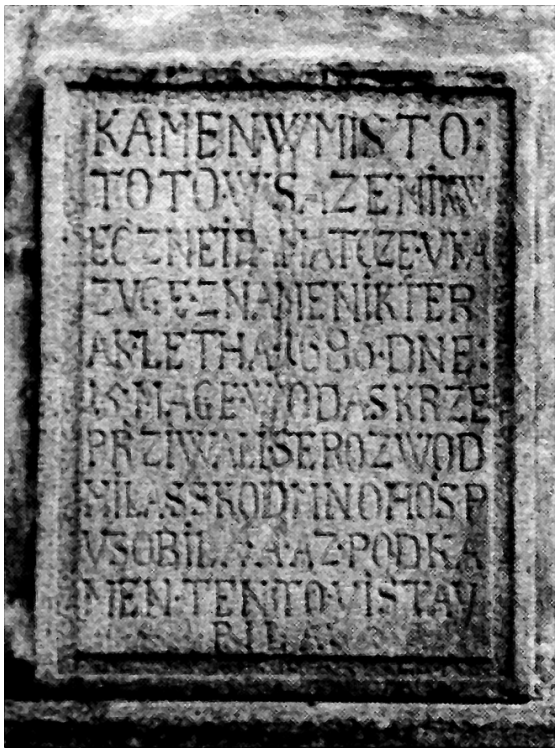
Povodně byly vděčným tématem také pro trhové a kramářské písně. Jednalo se buď o katastrofální povodně nebo bleskové povodně po bouřkách a přívalových srážkách, které díky náhlému a často nečekanému vzniku měly za následek lidské oběti a velké škody v lokálním či regionálním měřítku. I když písně obsahovaly zmínky o datu události, její popis a dopady, je třeba kriticky hodnotit reálnost nebo zkreslení prezentovaných informací.

2.9 Vědecké práce a sdělení

Řada informací o povodních je obsažena v různých pracích, informujících v odborném tisku o jejich výskytu, meteorologických příčinách nebo dopadech. Z těchto pramenů je třeba uvést zejména práce podávající soupis informací o povodních pro určitou oblast nebo místo. Z nich vynikají především práce gymnaziálního profesora v Litoměřicích Wenzela Katzerowského, který shromáždil pro období několika století historicko-klimatologické údaje z Žatce (Katzerowsky, 1883), z Litoměřic (Katzerowsky, 1887, 1895, 1896) a zabýval se i periodicitou litoměřických povodní (Katzerowsky, 1886). Z dalších přehledů historických povodní na českých řekách lze uvést např. práce kněze Václava Krolmuse (Krolmus, 1845), profesora Emanuela Purkyněho a lesního kontrolora Heinricha Vogla (Purkyně, Vogel, 1872), profesora Františka Augustina (Augustin, 1894) nebo královského zemského inženýra Josefa Dlouhého (Dlouhý, 1899). Ve všech takovýchto kompilacích je však třeba pracovat velmi obezřetně zejména se staršími údaji o povodních, kdy zprávy mohou být zatíženy chybami (např. v dataci) nebo jsou špatně interpretovány, popř. i zcela smyšlené. Bohužel řada starších i novějších soupisů povodní (např. Pötzsch, 1784; Strnadt, 1790; Brožková, Friedel, 2000; Votruba, Patera, 2004) se opírá i o historicky nevěrohodné prameny, k nimž patří např. Kronika česká od Václava Hájka z Libočan (Hájek).

2.10 Epigrafické prameny

Epigrafické prameny mohou obsahovat krátký popis konkrétní události (obr. 4) nebo jen charakterizovat úroveň, kterou voda dosáhla během povodně. Maximální výšky vodní hladiny při povodních byly obvykle vyjádřeny značkami vytesanými do kamene nebo zaznamenanými na domech, mostech a bránách (obr. 5). U takovýchto značek velkých vod je třeba posuzovat především jejich původnost, a to zejména s ohledem na stáří objektu, na kterém jsou zaznamenány, protože značky byly nezřídka přenášeny z jiných míst. Jedná se o informace, které jsou důležité s ohledem na určení extremity povodní, případně pro kvantifikaci průtoků při historických povodních.



Obr. 4. Pamětní kámen na stěně bývalého hřbitovního kostela sv. Marka v Soběslavi, připomínající povodeň na řece Lužnici a na Černovickém potoce dne 15. května 1686 (fotoarchiv Oblastního muzea v Litoměřicích)

Fig. 4. A memorial stone in a wall of the former cemetery church of Saint Mark in Soběslav commemorating the 15 May 1686 flood on the Lužnice River and Černovický stream (Regional museum Litoměřice)



Obr. 5. Značky velkých vod v Křešicích na domě čp. 19 (foto L. Elleder). Rozhraní světlejší a tmavší barvy nad vraty indikuje výšku, do které vystoupila voda v Labi při povodni v srpnu 2002

Fig. 5. Watermarks on the house no. 19 in Křešice (photo by L. Elleder). The line between lighter and darker colors above the gate indicates the height reached by the Elbe during the August 2002 flood

V Praze byly úrovně velkých vod zaznamenávány s ohledem na vousatou hlavu tzv. Bradáče (obr. 6) (Elleder, 2003). Podle některých historiků umění se patrně jednalo o Kristovu tvář – Veraikon (Kořán, 1991), vzniklý nejdříve po roce 1270. Plastika bývala prokazatelně umístěna na zachovaném oblouku Juditina mostu, který se stal později součástí budovy Křížovnického kláštera. První věrohodná zmínka o Bradáči se vztahuje k povodni ze dne 8. června 1481 (SLČ, s. 191; SLČ-G, s. 289), kdy byla plastika zatopena po pleš. Tato povodeň je porovnávána s dřívější méně významnou povodní (voda sahala Bradáči jen do nosu), ovšem kategoricky se tvrdí, že se jedná o největší povodeň od „prolomení mostu pražského“ (tedy v červenci roku 1432). Podle Krolmuse to mělo být v roce 1445, neboť již „tenkrát [1445] počítali výšku vody podle hlavy vytesané u kláštera čili špitálu křížovnického, kteráž později krátce Bradáčem se nazývala“ (Krolmus, 1845, s. 43). Nelze ale vyloučit, že se mohlo jednat až o povodeň ze dne 25. května 1481 (DAzV, s. 284) nebo o jiný případ.



Obr. 6. Plastika Bradáče na nábřeží Vltavy vedle Karlova mostu v Praze (foto L. Elleder)

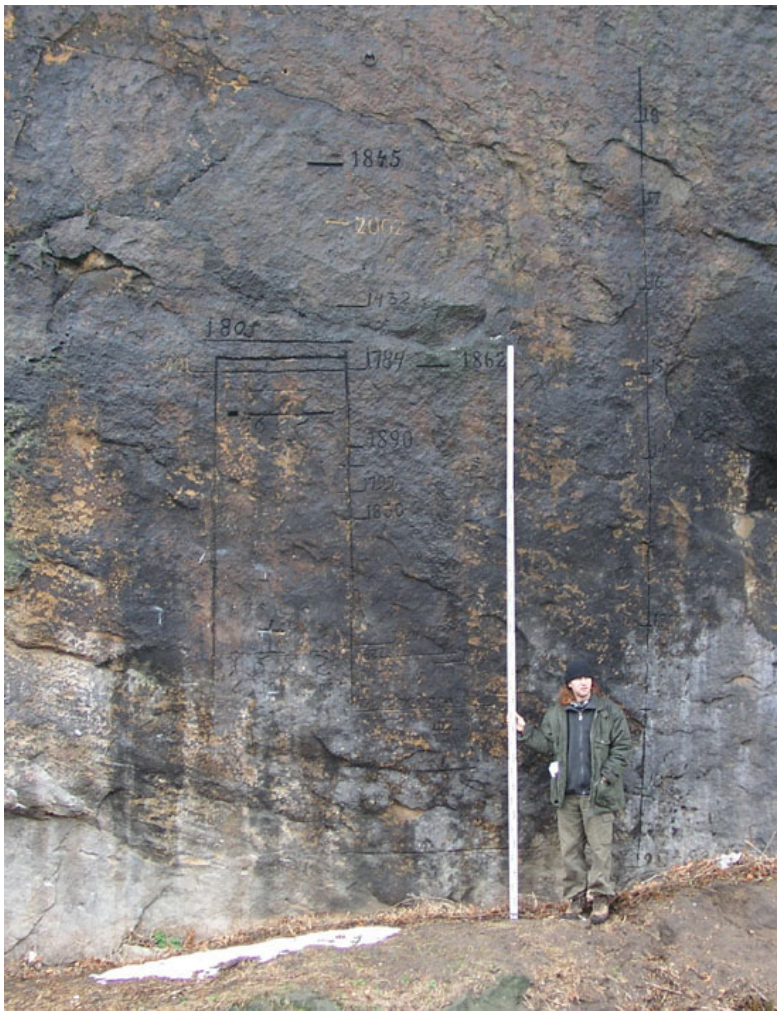
Fig. 6. The Bradáč sculpture on the Vltava riverbank next to Charles Bridge in Prague (photo L. Elleder)

Vedle první nejasné datace je k Bradáči vztaženo celkem 12 autentických zmínek o povodních z let 1481, 1501, 1531, 1537, 1569, 1570, 1582, 1587, 1598 (dvě povodně), 1615 a 1736, k nimž z pozdějších pramenů přistupují ještě roky 1515, 1566, 1568 a 1582. Nověji byl Bradáč zmíněn rovněž Krolmusem (1845, s. 134) při povodni dne 28. března 1845, kdy mu voda sahala na bradu. V roce 1847 byla plastika přenesena z budovy kláštera Křížovníků na nábřeží vedle Karlova mostu, patrně ale o 7–17 cm níže.

Nejstarší známá značka v Praze v podobě rysky je z roku 1675 na ohradní zdi Křížovnického kláštera, kterou je dnes uzavřena jeho zahrada proti Vltavě. Další značky se vztahují k letům 1717, 1736, 1750, 1771 a 1784. Spolu s hladinami vztaženými k Bradáči je tak na jedné budově ve vzdálenosti asi 50 m zachyceno celkem 25–26 výšek velkých vod.

Nejznámější soubor povodňových značek je ale vytesán na pravém břehu řeky Labe na zámecké skále v Děčíně (obr. 7). Jejich soupis zveřejnil s udáním výšek Krolmus (1845). Původní seznam zaměřených značek z roku 1966 (Značky velkých vod na Labi, 1966), doplněný o nově zaměřené

L. Ellederem a spolupracovníky v roce 2004, se v sestupném pořadí vztahuje k rokům 1845, 2002, 1432, 1805, 1862, 1784, 1655, 1890, 1799, 1830, 1595, 1824, 1682 (29. leden), 1827, 1821, 1814, 1712, 1771 a 1794. V roce 2005 pak O. Kotyza nalezl zbytky dalších značek uváděných Krolmusem pro roky 1570, 1501 a také 1118, která je nejvyšší značkou na tomto vodočtu (blíže viz Brázdil et al., 2005b).



Obr. 7. Celkový pohled na zámeckou skálu v Děčíně se značkami velkých vod na řece Labi (foto J. Kašpárek)

Fig. 7. A view of the castle rock in Děčín with high water marks for the Elbe River (photo J. Kašpárek)

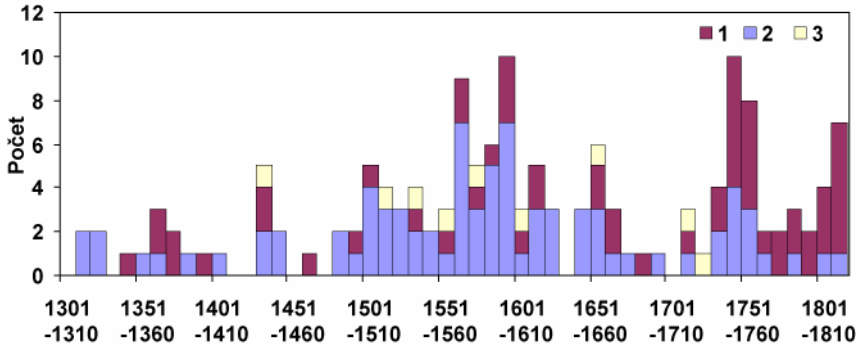
3 CHRONOLOGIE HISTORICKÝCH POVODNÍ V ČESKÉ REPUBLICE

Na základě databáze historicko-klimatologických údajů, budované od začátku 90. let minulého století a vedené při Geografickém ústavu Masarykovy univerzity v Brně, byly sestaveny chronologie dosud známých historických povodní pro Vltavu, Labe, Ohři a Moravu. Počet zjištěných povodní na těchto tocích je podmíněn množstvím dochovaných zpráv a jejich dosavadní excerpcí. Chronologie by bylo možné jistě doplnit na základě metody analogie ze znalosti chování povodní v období systematických hydrologických měření, kdy povodeň je uváděna např. na jednom toku a je velká pravděpodobnost, že se projevila i jinde (např. Vltava versus Labe), z hlediska korektnosti prezentace však byly brány v potaz jen skutečně dokumentované případy. Povodně byly dále členěny na povodně letního (dešťové povodně) a zimního typu (smíšené, sněhové, ledové povodně), pokud je bylo možné z excerpovaných zpráv určit. Případy s neuvedenými příčinami vzniku (zejména z dubna a listopadu) byly popsány jako „nejasný“ typ.

3.1 Vltava

Na řece Vltavě, v úseku od Českých Budějovic po ústí do Labe, bylo do zahájení systematických pozorování v roce 1825 doloženo dokumentárními prameny 161 povodní. Dosud nejstarší zpráva se vztahuje k povodni ze září 1118 (viz kap. 2.1).

Informace o povodních před rokem 1500 jsou spíše sporadické a týkaly se především významnějších povodní (12. století – 4 případy, 13. století – 7 případů, 14. století – 13 případů, 15. století – 12 případů). Zvláštní pozornost zasluhuje rok 1432, kdy se povodně v Praze vyskytly dokonce třikrát. Obr. 8 ukazuje chronologii vltavských povodní v prostoru mezi Českými Budějovicemi a ústím Vltavy do Labe (tedy včetně Prahy) pro jednotlivé dekády období 1301–1820. Z obrázku je patrná výrazná koncentrace povodní v letech 1501–1630 s nejčastějším výskytem ve druhé polovině 16. století (1561–1600), v 50. letech 17. století a kolem poloviny 18. století (1741–1760). Obě hlavní maxima lze přičítat i dobrému pokrytí těchto období existujícími dokumentárními prameny.



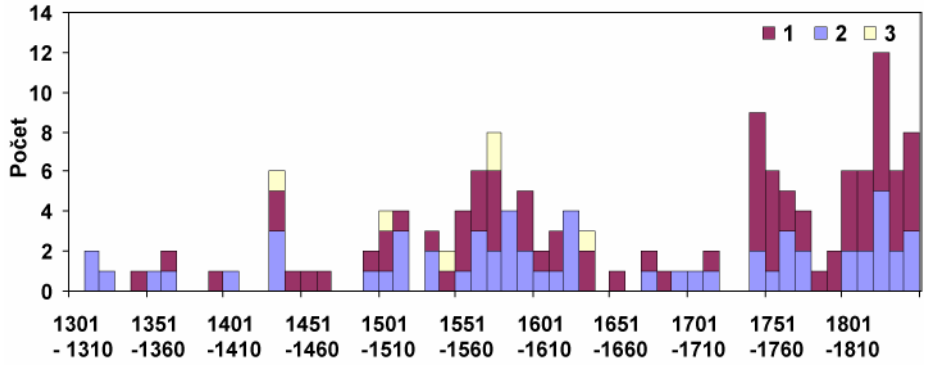
Obr. 8. Dekádové četnosti povodní na Vltavě v úseku od Českých Budějovic po její ústí do Labe u Mělníka podle dokumentárních pramenů v období 1301–1820 s rozlišením podle typu povodně (1 – zimní, 2 – letní, 3 – nejasný)

Fig. 8. Decadal frequencies of floods on the Vltava River on the section from České Budějovice to its confluence with the Elbe near Mělník according to documentary sources in the period 1301–1820, and the differentiation of flood types (1 – winter, 2 – summer, 3 – unclear)

3.2 Labe

Historické povodně na Labi do roku 1851 byly brány pro část toku od Brandýsa nad Labem po státní hranici. Před rokem 1500 byly vzhledem ke sporadičtějším údajům přiřazeny Labi i povodně v dalších částech toku, popř. i případy, kdy byly povodně zmiňovány pro celé Čechy. Celkem tak bylo dokumentárními údaji doloženo 149 povodní.

Od 12. do 14. století je počet povodní dokladovaných na Labi menší než na Vltavě (po jednotlivých stoletích postupně 2, 2 a 8 případů), zatímco v 15. století byl výskyt velkých vod zaznamenán na obou tocích shodně ve 12 případech. Pokud jde o kolísání dekádových četností výskytu labských povodní v období 1301–1850 (obr. 9), lze v něm vymezit tři období se zvýšenou povodňovou aktivitou: druhá polovina 16. století, polovina 18. století (1741–1770), první polovina 19. století (zejména desetiletí 1821–1830). Pozoruhodný je také vyšší výskyt povodní v desetiletí 1431–1440, do kterého ale spadají tři povodně v roce 1432. Jinak jsou informace o labských povodních před rokem 1500 omezeny nejvýše jen na 1–2 povodně za dekádu.



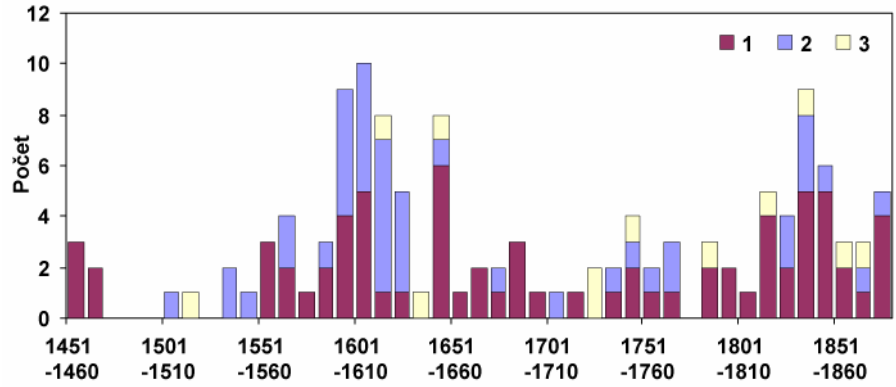
Obr. 9. Dekádové četnosti povodní na Labi v úseku od Brandýsa nad Labem po státní hranici podle dokumentárních pramenů v období 1301–1850 s rozlišením podle typu povodně (1 – zimní, 2 – letní, 3 – nejasný)

Fig. 9. Decadal frequencies of floods on the Elbe River on the section from Brandýs nad Labem to the state border according to documentary sources in the period 1301–1850, and the differentiation of flood types (1 – winter, 2 – summer, 3 – unclear)

3.3 Ohře

Pro horní tok Ohře se vztahuje první zpráva o povodni k 11. listopadu 1310 a v části toku od Kadaně po soutok s Labem z Loun k 1. září 1359. Dokumentárními údaji je v této části toku dosud dokladováno 132 případů velkých vod.

Dekádové četnosti povodní podle daného typu pro řeku Ohři v prostoru od Kadaně po ústí do Labe v Litoměřicích jsou prezentovány pro období 1451–1880 (obr. 10). Dobře patrná jsou dvě výrazná maxima se zvýšenou frekvencí povodní, a to v letech 1591–1630 (k tomu přistupuje i desetiletí 1641–1650) a 1831–1850. První z uvedených období je do jisté míry odrazem bohatých kronikářských záznamů z kroniky města Loun od Pavla Mikšovice (Mikšovic).



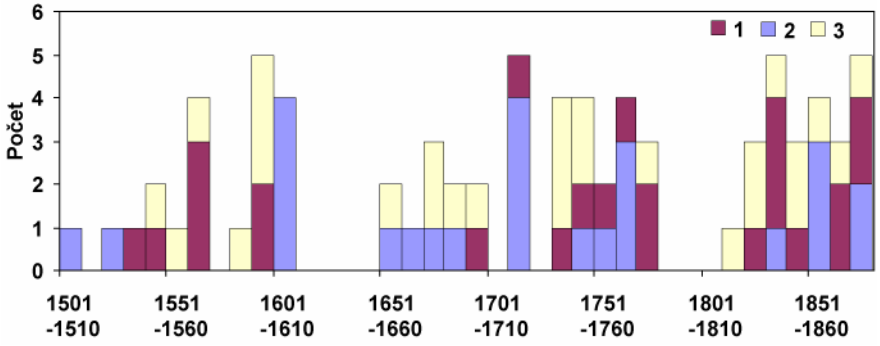
Obr. 10. Dekádové četnosti povodní na Ohři v úseku od Kadaně po její ústí do Labe v Litoměřicích podle dokumentárních pramenů v období 1451–1880 s rozlišením podle typu povodně (1 – zimní, 2 – letní, 3 – nejasný)

Fig. 10. Decadal frequencies of floods on the Ohře River on the section from Kadaň to its confluence with the Elbe in Litoměřice according to documentary sources in the period 1451–1880, and the differentiation of flood types (1 – winter, 2 – summer, 3 – unclear)

3.4 Morava

Řeka Morava je počtem povodní excerpovaných z dokumentárních pramenů (75 případů do roku 1880) reprezentována hůře než tři zpracovávané české řeky. Navíc údaje jsou vztaženy na celý tok řeky, kdy zejména povodně z přívalových dešťů v horní části toku se již nemusely v podobě povodní projevit na středním či dolním toku. Z pohledu historických povodní jsou pro Moravu lépe dokumentovány její přítoky (např. Bečva nebo Dyje s Jihlavou a Svratkou – viz např. Brázdil et al.,

2003). Desetiletí bez povodní na řece Moravě je tak třeba přičítat spíše chybějícím nebo dosud neexcerpovaným dokumentárním pramenům než přirozenému kolísání jejich frekvencí (obr. 11). Nejvyšší počty povodní v letech 1591–1610, 1711–1720, 1831–1840 či 1871–1880 tak mohou souviset, v porovnání s ostatními dekádami, i s množstvím dosud excerpovaných dokumentárních pramenů.



Obr. 11. Dekádové četnosti povodní na řece Moravě podle dokumentárních pramenů v období 1501–1880 s rozlišením podle typu povodně (1 – zimní, 2 – letní, 3 – nejasný)

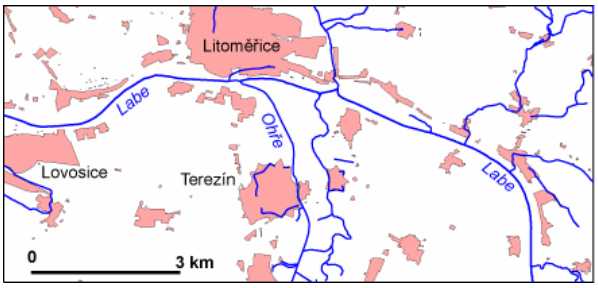
Fig. 11. Decadal frequencies of floods on the Morava River according to documentary sources in the period 1501–1880, and the differentiation of flood types (1 – winter, 2 – summer, 3 – unclear)

4 VÝZNAM DOKUMENTÁRNÍCH ÚDAJŮ PRO STUDIUM POVODNÍ V ČESKÉ REPUBLICE

V souladu s percepcí povodní byly historické povodně chápány jako případy, kdy došlo k vybřežení vodního toku. Protože se však tento jev na přirozených vodních tocích opakoval nepochybně častěji než na současných regulovaných tocích, zůstával většinou bez povšimnutí. Dlouhodobá zkušenost člověka s povodněmi ho navíc nutila, aby omezoval své aktivity v zaplavovaných údolních nivách. To se projevilo např. zanikáním středověkých vsí v blízkosti vodních toků v důsledku povodní nebo výstavbou významných objektů (např. kostely) mimo dosah povodňových vod. Proto se v historických záznamech objevovaly spíše větší povodňové katastrofy, které si vyžádaly lidské oběti nebo způsobily větší materiální škody (zbořená a poškozená stavení, škody na úrodě, zaplavené louky, odnesené dříví atd.). Pro evidenci historických povodní to znamená, že většina povodní o nižších N-letostech je z dokumentárních pramenů nepostižitelná. Opačná je ale situace u větších povodní, jejichž evidenci lze považovat v některých povodích (např. na Vltavě, Ohři či dolním Labi) za blízkou reálnému stavu. To má značný význam z hlediska jejich studia a hodnocení povodňového rizika, protože velké povodňové katastrofy se opakují v dlouhých časových intervalech, které poměrně krátká pravidelná hydrologická měření nejsou schopna reprezentativně postihnout.

Na příkladu záznamů o pražských povodní lze ukázat, že ani velmi dlouhá řada z období přístrojových pozorování není dostatečně reprezentativní pro stanovení povodňového režimu v průběhu roku. Např. od roku 1825 do roku 2001 se na Vltavě v Praze v letních měsících (červen až srpen) vůbec nevyskytla povodeň s kulminačním průtokem větším než padesátiletým a pro Labe v Děčíně dokonce ani dvacetiletým. Z tohoto dlouhého období systematických pozorování by se tak dalo mylně usuzovat, že v obou vodoměrných profilech velké povodně v těchto měsících vůbec nehrozí.

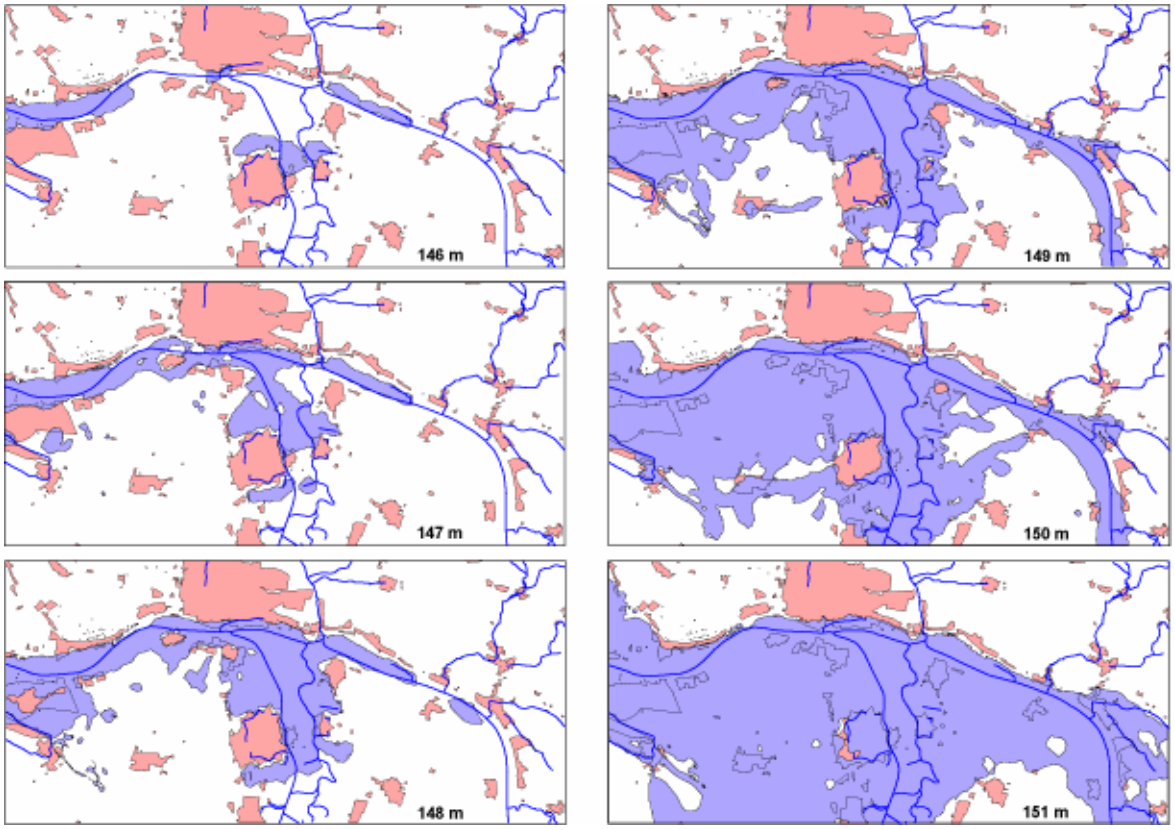
Informace o dosažených vodních stavech (např. značky velkých vod) mohou být využity např. k modelování možného zaplaveného území při jednotlivých historických povodních. Rozsah zaplaveného území může být následně konfrontován s písemnými zprávami o těchto událostech. Jako modelové území pro takové odhady se nabízí Litoměřicko (obr. 12), kde existují jednak početné údaje o úrovni jednotlivých velkých vod z dokumentárních pramenů, zaměřené povodňové značky (Značky velkých vod na Labi, 1966) a systematická měření vodních stavů z let 1851–1969.



Obr. 12. Modelové území Litoměřicka s vyznačením sídel a vodních toků

Fig. 12. A model area of the Litoměřice region indicating settlements and watercourses

Modelování v prostředí GIS s terénem s výškovým rozlišením po jednom metru bylo prováděno se zřetelem na nadmořské výšky hladiny labské vody v rozmezí 146–151 m n. m. (s krokem 1 m), kdy nadmořská výška hladiny 148 m n. m. odpovídá asi desetileté vodě a výška 150 m asi stoleté vodě. Percentuální plocha rozlivů na modelovém území roste od asi 3,9 % pro výšku hladiny Labe 146 m n. m. do 57,8 % při výšce 151 m n. m. (obr. 13). Modelově zaplavená oblast pro povodeň z března 1845 (výška hladiny Labe 151 m n. m.) dobře koreluje se zprávou Katzerowského (1886), že voda vytvořila doslova jezero sahající od předměstí Litoměřic na jih až k úbočí obce Keblice. Obyvatelé zcela zaplavených Mlékojed a Prosmyk byli spolu s dobytkem zachráněni před utonutím na loďkách.



Obr. 13. Potenciálně zaplavená plocha (modře) na modelovém území Litoměřicka pro nadmořské výšky hladiny Labe v rozmezí 146–151 m n. m. (s krokem 1 m)

Fig. 13. Potential inundation (blue) in a model area of the Litoměřice region for the water level of the Elbe ranging from 146 to 151 m above sea level (1 m intervals)

5 DLOUHODOBÉ KOLÍSÁNÍ POVODNÍ V ČESKÉ REPUBLICE – SYNTÉZA ÚDAJŮ O POVODNÍCH Z DOKUMENTÁRNÍCH ÚDAJŮ A SYSTEMATICKÝCH MĚŘENÍ

Systematická vodoměrná pozorování v České republice umožnila sestavit chronologie povodní přesahujících hodnoty dvouletého kulminačního průtoku pro Vltavu v Praze, Ohře v Lounech, Labe v Děčíně a Moravu v Kroměříži (Brázdil et al., 2005b). I když porovnání těchto povodní s povodněmi doloženými z dokumentárních pramenů, které zpravidla indikují nějaké škody, je problematické, četnosti jejich výskytu v jednotlivých padesátiletích od 16. století se zdají být konzistentní.

V České republice se střídaly v měřítku několika století časové úseky s různou frekvencí výskytu povodní (tab. 1). Na Vltavě byla zjištěna nejvyšší frekvence povodní v letech 1851–1900 (46 případů), s bezkonkurenčním maximem zimních povodní (30 případů). Maximum letních povodní připadlo na 2. polovinu 16. století (23 z celkového počtu 33 případů). V pořadí jednotlivých století následuje za 19. stoletím (74 povodní) právě 16. století s 51 povodněmi. Stejně tak na Labi bylo dominující 19. století (rovněž se 74 povodněmi, z toho 50 případů zimního typu), za nímž následovalo 16. století se 40 povodněmi a 20. století s 37 případy. Poněkud nadhodnocený se zdá počet 38 povodní v první polovině 19. století, související patrně s podrobnými záznamy Katzerowského z Litoměřic, které podchytily nepochybně i menší povodně.

Pro řeku Ohři byl nejvyšší počet povodní zjištěn mezi léty 1551 a 1650 (z celkem 52 případů jich bylo 32 v letech 1601–1650) s téměř shodnými četnostmi velkých vod zimního typu. V porovnání se 44 povodněmi v 19. století (s trojnásobnou převahou výskytu zimních případů nad letními) se zdá, že některé povodně letního typu na Ohři v období 1551–1650 mohly být zčásti lokálního charakteru a souviset s místními přívalovými dešti.

Výrazně proměnlivý počet povodní v jednotlivých časových intervalech ukazuje na nestacionaritu povodňových řad, kterou ale Thorndycraft et al. (2003) nepovažují za překvapující. Navíc nestacionarita je předpovídána i ve scénářích budoucí klimatické změny.

Tab. 1. Četnosti výskytu povodní po padesátiletích v období 1351–2000 pro Vltavu (Vl), Ohře (Oh) a Labe (La), dokumentovaných na základě vodoměrných pozorování a dokumentárních pramenů s rozlišením na povodně zimního (Z) a letního (L) typu a na povodně, u nichž podle existujících pramenů nebylo možné typ určit (N).

Table 1. Frequencies of floods for fifty-year periods in the period 1351–2000 for the Vltava (Vl), Ohře (Oh), and Elbe (La) rivers, documented on the basis of water gauge observations and documentary sources with distinguishing on floods of the winter (Z) and summer (L) types and floods for which it was not possible to determine their type according to the existing sources (N).

Řeka-typ	1351-1400	1401-1450	1451-1500	1501-1550	1551-1600	1601-1650	1651-1700	1701-1750	1751-1800	1801-1850	1851-1900	1901-1950	1951-2000
Vl-L	3	4	3	15	23	10	6	8	5	7	16	7	6
Vl-Z	5	2	2	2	8	3	5	8	12	21	30	18	8
Vl-N	0	1	0	1	2	1	1	2	0	0	0	0	0
Vl-∑	**8**	**7**	**5**	**18**	**33**	**14**	**12**	**18**	**17**	**28**	**46**	**25**	**14**
Oh-L	1	1	0	4	8	16	1	3	3	7	3	0	1
Oh-Z	1	0	5	0	12	13	8	4	6	16	14	13	2
Oh-N	0	0	0	1	0	3	0	3	1	2	2	0	2
Oh-∑	**2**	**1**	**5**	**5**	**20**	**32**	**9**	**10**	**10**	**25**	**19**	**13**	**5**
La-L	2	4	1	6	12	6	2	4	6	14	10	5	6
La-Z	2	3	3	5	13	5	3	8	12	24	26	16	10
La-N	0	1	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0
La-∑	**4**	**8**	**4**	**13**	**27**	**12**	**5**	**12**	**18**	**38**	**36**	**21**	**16**

Z předchozího rozboru tedy vyplývá, že od roku 1501 do současnosti připadla maximální povodňová aktivita v České republice na 19. století se zjevnou převahou povodní zimního synoptického typu a na druhou polovinu 16. století (pro Ohři až na první polovinu následujícího století) s vyšším podílem

povodní letního synoptického typu. Počet povodní ve 20. století je porovnatelný s jejich frekvencí v 18. století a pro Vltavu a Labe je vyšší než v 17. století, v němž je ale třeba počítat s dosud zjevně neúplnou databází dostupných údajů. Větší část studovaných povodní tedy spadá do období klasicky vymezené tzv. malé doby ledové (Lamb, 1984). Pokles počtu povodní zimního typu ve 20. století jde především na vrub procesu globálního oteplování.

Maximum povodní v Čechách ve druhé polovině 16. století je v souladu s výsledky studie Brázdila et al. (1999) typické i pro další středoevropské řeky a vodní toky v Andalusii, zatímco italské a katalánské řeky vykázaly maximum povodní již v první polovině 16. století. Glaser (2001) a Sturm et al. (2001) analyzovali dlouhodobý chod povodní na řadě německých řek. Maximum druhé poloviny 16. století se projevilo v různé intenzitě např. pro střední Labe, Dunaj, střední Rýn, Veseru a Mohan. Naproti tomu na českých tocích nebyl nalezen výrazný vzestup četnosti výskytu povodní ve druhé polovině 17. století, jak ho vykázaly např. Vesera, Mohan nebo Pegnitz v Norimberku. Pro Odru cituje Glaser (2001) slabší maximum četnosti velkých vod kolem roků 1550 a 1600, přičemž další maximum se vyskytlo mezi léty 1655–1740 s následným poklesem povodňové aktivity.

6 ZÁVĚR

Dokumentární údaje jsou jedním z nejvýznamnějších a u nás nejdostupnějších zdrojů informací o hydrometeorologických extrémech. Tyto údaje o povodňových katastrofách v českých zemích umožňují rozšířit poznatky o povodních před začátkem systematických vodoměrných pozorování o několik století dozadu. Práce s těmito údaji však vyžaduje kritickou analýzu použitých pramenů, kterou bohužel postrádá většina starších i novějších prací v České republice, zveřejňujících přehledy historických povodní. Kriticky vyhodnocené informace lze potom využít ke studiu frekvencí výskytu povodní, jejich sezonality, synoptické typologie a dopadů. Díky tomu je možné poměrně spolehlivě dokumentovat katastrofální povodně v českých zemích pro posledních osm až devět století. Nejkatastrofálnější dobře zdokumentované povodně postihly naše území v září 1118, lednu–únoru 1342, červenci 1432, srpnu 1501, v březnu a srpnu 1598, v únoru 1655, červnu 1675, únoru 1784 a v únoru 1799, k nimž přistupují velké povodně z období přístrojových pozorování z března 1845, února 1862, května 1872, září 1890, července 1897, července 1903, července 1997 a srpna 2002 (blíže viz Brázdil et al., 2005b).

Jestliže dosavadní vývoj klimatologie jako vědní disciplíny vyústil ve zformování dnes obecně uznávané historické klimatologie na pomezí historie (popř. environmentální historie) a klimatologie (viz např. Brázdil, 2000, 2003; Brázdil, Kotyza, 2001; Glaser, 2001; Pfister, 2001; Brázdil et al., 2005a), v rámci níž byly dosud studovány historické povodně, byla do současné doby publikována již celá řada hydrologických prací (např. Deutsch et al., 2004; Camuffo, Enzi, 1996; Barriendos, Martín-Vide, 1998; Archer, 1999), které by mohly vést ke koncipování na podobných základech postavené historické hydrologie. Měla by se zabývat komplexním studiem historických změn odtokového procesu v období před začátkem systematických hydrologických pozorování, v nichž bude nutné aplikovat poznatky historického, hydrologického a vodohospodářského charakteru. Není pochyb o tom, že by měla zahrnovat také znalosti o historických povodních, jejichž prezentace pro Českou republiku je jedním z příspěvků k jejímu obsahovému naplnění.

Poděkování: Tento příspěvek byl vypracován s finanční podporou pro řešení výzkumného záměru MŠM0021622412 (INCHEMBIOL). Za poskytnutí obr. 2 patří poděkování Královské kanonii premonstrátů Praha-Strahov.

Literatura

Archer, D. (1999): Practical application of historical flood information to flood estimation. In: Gottschalk, L., Olivry, J.-C., Reed, D., Rosbjerg, D., eds.: Hydrological Extremes: Understanding, Predicting, Mitigating. IAHS Publ. č. 255, s. 191–199.

Augustin, F. (1894): Sucha v Čechách v době od roku 962–1893. A. Reinwart, Praha, 37 s.

Baker, V. R. (2003): A bright future for old flows: origins, status and future of paleoflood hydrology. In: Thorndycraft, V. R., Benito, G., Barriendos, M., Llasat, M. C., eds.: Palaeofloods, Historical Data and Climatic Variability: Applications in Flood Risk Assessment. CSIC, Madrid, s. 13–18.

Barriendos, M., Martín-Vide, J. (1998): Secular climate oscillations as indicated by catastrophic floods in the Spanish Mediterranean coastal area (14th–19th centuries). Climatic Change, 38, č. 4, s. 473–491.

Benito, G. (2003): Palaeoflood hydrology in Europe. In: Thorndycraft, V. R., Benito, G., Barriendos, M., Llasat, M. C., eds.: Palaeofloods, Historical Floods and Climatic Variability: Applications in Flood Risk Assessment. CSIC, Madrid, s. 19–24.

Benito, G., Diéz-Herrero, A., Fernández de Villalta, M. (2003): Magnitude and frequency of flooding in the Tagus basin (Central Spain) over the last millennium. Climatic Change, 58, č. 1–2, s. 171–192.

Benito, G., Thorndycraft, V. R., Enzel, Y., Sheffer, N. A., Rico, M., Sopeña, A., Sánchez-Moya, Y. (2004): Palaeoflood data collection and analysis. In: Benito, G., Thorndycraft, V. R., eds.: Systematic, Palaeoflood and Historical Data for the Improvement of Flood Risk Estimation. Methodological Guidelines. CSIC, Madrid, s. 15–27.

Brázdil, R. (2000): Historical climatology: definition, data, methods, results. Geografický časopis, 52, č. 2, s. 99–121.

Brázdil, R. (2003): Historical climatology and its progress after 1990. In: Laszlovszky, J., Szabó, P., eds.: People and Nature in Historical Perspective. Central European University, Department of Medieval Studies & Archaeolingua, Budapest, s. 197–227.

Brázdil, R., Dobrovolný, P., Elleder, L., Kakos, V., Kotyza, O., Květoň, V., Macková, J., Müller, Štekl, J., Tolasz, R., Valášek, H. (2005): Historické a současné povodně v České republice. Masarykova univerzita a Český hydrometeorologický ústav, Brno, Praha, v tisku.

Brázdil, R., Glaser, R., Pfister, C., Dobrovolný, P., Antoine, J.-M., Barriendos, M., Camuffo, D., Deutsch, M., Enzi, S., Guidoboni, E., Kotyza, O., Rodrigo, F. S. (1999): Flood events of selected European rivers in the sixteenth century. Climatic Change, 43, č. 1, s. 239–285.

Brázdil, R., Kotyza, O. (1995): History of Weather and Climate in the Czech Lands I (Period 1000–1500). Zürcher Geographische Schriften 62, Zürich, 260 s.

Brázdil, R., Kotyza, O. (2000): History of Weather and Climate in the Czech Lands IV. Utilisation of economic sources for the study of climate fluctuation in the Louny region in the fifteenth-seventeenth centuries. Masaryk University, Brno, 350 s.

Brázdil, R., Kotyza, O. (2001): Současná historická klimatologie a možnosti jejího využití v historickém výzkumu. Časopis Matice moravské 120/2001/Supplementum, s. 17–59.

Brázdil, R., Pfister, C., Wanner, H., von Storch, H., Luterbacher, J. (2005a): Historical climatology in Europe – the state of the art. Climatic Change, v tisku.

Brázdil, R., Valášek, H. (2003): Use of historic data in studying damage due to natural disasters at the domain of Pernštejn in the period 1694–1718 and as a source of information for the study of meteorological and hydrological extremes. Meteorologický časopis, 6, č. 1, s. 3–13.

Brázdil, R., Valášek, H., Sviták, Z. (2003): Meteorological and hydrological extremes in the Dietrichstein domains of Dolní Kounice and Mikulov between 1650 and 1849 according to official economic records of natural disasters. Geografický časopis, 55, č. 4, s. 325–353.

Bretholz, B., ed. (1923): Die Chronik der Böhmen des Cosmas von Prag. Weidmann, MGH SRG NS II, Berlin, 393 s.

Brožková, B., Friedel, J. (2000): Povodně a jejich škodlivé účinky. Zpravodaj sdružení vodohospodářů ČR, 10, č. 1, s. 23–32.

Camuffo, D., Enzi, S. (1996): The analysis of two bi-millenary series: Tiber and Po river floods. In: Jones, P. D., Bradley, R. S., Jouzel, J., eds.: Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, s. 433–450.

Czudek, T., Hiller, A. (2001): Vývoj údolní nivy řeky Odry v Ostravské pánvi. Geografie – Sborník České geografické společnosti, 106, č. 2, s. 94–99.

Deutsch, M., Böhner, J., Pörtge, K.-H., Rost, K. T. (2004): Untersuchungen historischer Hochwasserereignisse in Thüringen – dargestellt am Beispiel der Werra. Zeitschrift für Geomorphologie N.F., 135, Suppl., s. 11–32.

Dlouhý, J. (1899): Povodně na řekách českých. Zvláštní otisk ze „Zpráv spolku architektů a inženýrů v království Českém“ za rok 1899, Praha, 49 s.

Elleder, L. (2003): Pražský Bradáč, jeho stáří, účel a historie. In: Historica Pragensia 1. Muzeum hl. města Prahy, Praha, s. 301–334.

Glaser, R. (2001): Klimageschichte Mitteleuropa. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. Primus Verlag, Darmstadt, 227 s.

Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Xiaosu, D., eds. (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press, Cambridge, 944 s.

Kaiserová, K., Kaiser, V. (1995): Dějiny města Ústí nad Labem. Město Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, 372 s.

Karl, T. R., Easterling, D. R. (1999): Climate extremes: selected review and future research directions. Climatic Change, 42, č. 1, s. 309–325.

Katzerowsky, W. (1883): Meteorologische Aufzeichnungen aus Saaz. Mitteilungen des Vereins für Geschichte der Deutschen in Böhmen, 21, č. 4, s. 345–353.

Katzerowsky, W. (1886): Periodicität der Überschwemmungen. Mitteilungen des Vereines für Geschichte der Deutschen in Böhmen, 25, č. 2, s. 156–171.

Katzerowsky, W. (1887): Die meteorologischen Aufzeichnungen des Leitmeritzer Rathsverwandten Anton Gottfried Schmidt aus den Jahren 1500 bis 1761. Ein Beitrag zur Meteorologie Böhmens. Im Selbstverlag, Prag, 29 s.

Katzerowsky, W. (1895): Meteorologische Nachrichten aus den Archiven der Stadt Leitmeritz. Im Selbstverlage des Verfassers, Leitmeritz, 30 s.

Katzerowsky, W. (1896): Meteorologische Nachrichten aus den Archiven der Stadt Leitmeritz. In: Jahres-Bericht des k. k. Staats-Ober-Gymnasiums zu Leitmeritz in Böhmen für das Schuljahr 1895/96, Leitmeritz, s. 3–32.

Kořán I. (1991): Gotické veraikony a svatolukášské madony v pražské katedrále. Umění, 39, č. 4, s. 287–307.

Krolmus, W. (1845): Kronyka čili dějepis všech povodní posloupných let, suchých i mokrých, úrodných a neúrodných na obilí, ovoce a vína, hladů, morů a jiných pohrom v Království Českém. Tiskem Karla Wetterla, Praha, 261 s.

Lamb, H. H. (1984): Climate in the last thousand years: natural climatic fluctuations and change. In: Flohn, H., Fantechi, R., eds.: The Climate of Europe: Past, Present and Future. D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht, Boston, Lancaster, s. 25–64.

Opravil, E. (1983): Údolní niva v době hradištní (ČSSR – povodí Moravy a Poodří). Studie Archeologického ústavu ČSAV v Brně XI. Academia, Praha, 80 s.

Palacký, F., ed. (1941): Staří letopisové čeští od roku 1378 do 1527 čili pokračování v kronikách Přibíka Pulkavy a Beneše z Hořovic z rukopisů starých vydané. In: Charvát, J.: Dílo Františka Palackého. Díl 2. L. Mazáč, Praha, 472 s.

Pfister, C. (1999): Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496–1995). Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 304 s.

Pfister, C. (2001): Klimawandel in der Geschichte Europas. Zur Entwicklung und zum Potenzial der Historischen Klimatologie. Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaften, 12, č. 2, s. 7–43.

Pötzsch, C. G. (1784): Chronologische Geschichte der grossen Wasserfluthen des Elbstroms. Walther, Dresden, 232 s.

Purkyně, E., Vogel. H. (1872): Die Katastrophe des im westlichen Böhmen am 25. Mai 1872 erfolgten Wolkenbruches vom forstlichen Standpunkte beleuchtet. In Commission bei Karl Reichenecker, Prag, 60 s.

Skopec, J. (1907): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha první (Rok 1770–1783). Část I. (1770–1780). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 148 s.

Skopec, J. (1908): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha první (Rok 1770–1783). Část II. (1781–1783). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 222 s.

Skopec, J. (1910): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha druhá (Rok 1784–1790). Část I. (1784–1786). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 114 s.

Skopec, J. (1912): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha druhá (Rok 1784–1790). Část II. (1787–1790). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 169 s.

Skopec, J. (1915): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha třetí (Rok 1791–1801). Část I. (1791–1794). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 150 s.

Skopec, J. (1916): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha třetí (Rok 1791–1801). Část II. (1795–1797). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 111 s.

Skopec, J. (1918): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha třetí (Rok 1791–1801). Část III. (1798–1800). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 132 s.

Skopec, J. (1924): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha třetí (Rok 1791–1801). Část IV. (Rok 1801 a dodatky). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 114 s.

Skopec, J. (1936): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha čtvrtá (Rok 1802–1806). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 210 s.

Skopec, J. (1938): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha pátá (Rok 1807–srpen 1810). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 232 s.

Starkel, L. (2001): Extreme rainfalls and river floods in Europe during the last millennium. Geographia Polonica, 74, č. 2, s. 69–79.

Starkel, L. (2002): Change in the frequency of extreme events as the indicator of climatic change in the Holocene (in fluvial systems). Quaternary International, 91, č. 1, s. 25–32.

Strnadt, A. (1790): Chronologisches Verzeichniss der Naturbegebenheiten im Königreiche Böhmen vom Jahre Christi 633 bis 1700 mit einigen ökonomischen Aufsätzen samt der periodischen Witterung auf das Jahr 1790. Gerlische Buchhandlung, Prag, 259 s.

Sturm, K., Glaser, R., Jacobeit, J., Deutsch, M., Brázdil, R., Pfister, C., Luterbacher, J., Wanner, H. (2001): Hochwasser in Mitteleuropa seit 1500 und ihre Beziehung zur atmosphärischen Zirkulation. Petermanns Geographische Mitteilungen, 145, č. 6, s. 14–23.

Šimek, F., Kaňák, M., eds. (1959): Staré letopisy české z rukopisu křížovnického. Státní nakladatelství krásné literatury a umění, Praha, 488 s.

Thorndycraft, V. R., Benito, G., Llasat, M. C., Barriendos, M. (2003): Palaeofloods, historical data & climatic variability: applications in flood risk assessment. In: Thorndycraft, V. R., Benito, G., Barriendos, M., Llasat, M. C., eds.: Palaeofloods, Historical Data and Climatic Variability: Applications in Flood Risk Assessment. CSIC, Madrid, s. 3–9.

Votruba, L., Patera, A. (2004): Povodně v Čechách v 11. až 19. století v dílech českých historiků a kronikářů. ČVTVHS, Praha, 38 s.

Značky velkých vod na Labi v úseku od státní hranice u Hřenska po ústí Vltavy. Ředitelství vodních toků v Praze, Správa vodohospodářského rozvoje, Praha 1966, 49 s.

Prameny

Ann. Polonorum: Annales Polonorum. Ed. MGH SS, XIX, s. 616–692.

Cont. Lambacensis: Continuatio Lambacensis. Ed. MGH SS, IX, s. 556–561.

DAzV: Daniel Adam z Veleslavína, Kalendář Historický. To jest krátké poznamenání všech dnuov jednoho každého měsíce přes celý rok. K nim přidány jsou některé paměti hodné Historiae o rozličných příhodách a proměnách, jak národuov jiných a zemí v Světě, tak také a obzvláštně národu i Království Českého z hodnověrných Kronik. S pilnosti sebráno, vytištěno a vydáno prací a nákladem M. Daniele Adama z Veleslavína. Vytlačeno v Starém Městě Pražském. Leta posledního věku: MDXC [1590, 2. doplněné vydání]. Oblastní muzeum Litoměřice, inv. č. SV H 14142.

Fritz: Samuel Fritz, Cosmographia. Fortsetzung der Erfurtischen Chroniken von Samuel Fritz. Stadtarchiv Erfurt, sign. 5/100/21.

Hájek: Václav Hájek z Libočan, Kronika Česká Cum gracia et Privilegio Regie Maiestatis. Vytištěno v Menším Městě Pražském prací a mistrovstvím opatrných mužuov Severýna Mladšího měštěnína Starého Města Pražského u Ondřeje Kubše z Ziepuov. Leta Božího Tisicího Piatistého XXXXI. Tu středu po svaté[m] Lukáši evangelistu [19 octobri 1541].

Kosmas: Cosmae Pragensis Chronica Boemorum. Ed. Bretholz, 1923.

MGH SRG NS: Monumenta Germaniae historica, Sriptores rerum Germanicarum, Nova series, Berlin, 1922 sq.

MGH SS: Monumenta Germaniae historica inde ab anno Christi quingentesimo usque ad annum millesimum et quingentesimum, Series I. Scriptores. Hannoverae, Lipsiae et Berolini, 1826 sq.

Mikšovic: Chronica civitatis Launensis in Boemia Auctore Paulo Mikssowicz servo consulari. SOkA Louny, fond AM Louny – kroniky, sign. Ch 1.

SLČ: Staří letopisové čeští od roku 1378 do 1527 čili pokračování v kronikách Přibíka Pulkavy a Beneše z Hořovic z rukopisů starých vydané. Ed. Palacký, 1941.

SLČ-G: Staré letopisy české – redakce G. Eds. Šimek, Kaňák, 1959.

Autoři

prof. RNDr. Rudolf Brázdil, DrSc. – Geografický ústav PřF MU, Kotlářská 2, Brno, 611 37, brazdil@geogr.muni.cz

doc. RNDr. Petr Dobrovolný, CSc. – Geografický ústav PřF MU, Kotlářská 2, Brno, 611 37, dobro@ics.muni.cz

Ing. Libor Elleder – ČHMÚ Praha, Na Šabatce 17, Praha 4 – Komořany, 143 06, elleder@chmi.cz

RNDr. Vilibald Kakos – Ústav fyziky atmosféry Akademie věd ČR, Boční II 1401, Praha 4, 141 31

PhDr. Oldřich Kotyza – Oblastní muzeum, Mírové nám. 40, Litoměřice, 412 01, muzeum.ltm@telecom.cz

Mgr. Jarmila Macková, Ph.D. – Geografický ústav PřF MU, Kotlářská 2, Brno, 611 37, jmackova@sci.muni.cz

PhDr. Hubert Valášek, CSc. – Moravský zemský archiv, Žerotínovo nám. 3–5, Brno, 656 01 Brno, valasek@mza.cz

VHODNOSŤ ZDROJOV VODY PRE ZÁVLAHY A UMELÚ INFILTRÁCIU V OBDOBÍ SUCHA Z HĽADISKA SALINITY V JUHOVÝCHODNEJ ČASTI PODUNAJSKEJ ROVINY

František Burger, Anežka Čelková

Vhodnosť vody na závlahy, ale aj na umelú infiltráciu v období sucha, závisí od toho, ako sa dá voda využiť za špecifických podmienok. Tieto zahŕňajú toleranciu plodín na soli, rôzne fyzikálne a chemické vlastnosti pôdy, manažment závlahových a infiltračných spôsobov a klimatické podmienky územia. Kritériá pre hodnotenie vlasností vody musia obsahovať všetky uvedené faktory. Problém je tak komplexný a komplikovaný, že doposiaľ nebola vyvinutá žiadna univerzálna a všeobecná platná schéma klasifikácie kvality závlahovej vody.

Potenciálna možnosť sekundárnej salinizácie pôdy si nevyhnutne vyžaduje posúdiť kvalitu zdrojov vody. Charakteristiky salinity a sodicity (elektrická vodivosť EC a sodíkový adsorpčný pomer SAR) vody v otvorených tokoch juhovýchodnej časti Podunajskej roviny mali v oblasti východnej časti Žitného ostrova a ľavej strany dolného Váhu za monitorované obdobie rokov 1989 – 1999, stúpajúci trend. Ide o vody stredne až vysoko salinizované so stredným až vysokým rizikom salinizácie a podľa hodnôt SAR ide o vody nízko sodíkové s nízkym rizikom sodíkového ohrozenia pôdy vplyvom závlahovej vody. Vzhľadom na prognózovaný nástup suchých vegetačných období je najpravdepodobnejšie využívanie vody na závlahy a umelú infiltráciu prevažne z veľkých riek Dunaja a Váhu. Súčasná kvalita vody dolného Váhu a Dunaja (profil: Dunaj-Komárno a Váh-Komárno), je z hľadiska salinity a sodicity vyhovujúca a je vhodná na závlahy aj umelú infiltráciu. Prezentovaná je distribúcia charakteristík salinity a sodicity podzemnej vody pri procesoch fluktuácie hladiny plytkej mineralizovanej podzemnej vody, resp. pri režimových procesoch v prípade využívania takejto podzemnej vody. Problematika bola riešená pre podpovrchový environment juhovýchodnej časti Podunajskej roviny za časové obdobie rokov 1991 až 1994. Namerané údaje a prevzaté dáta z archívnych zdrojov boli spracované do grafických príloh - mapiek, interpolačnou metódou krigingu. Podzemné vody na záujmovom území patria do skupiny vysoko mineralizovaných vôvysokou mierou nebezpečia salinizácie. Hodnoty SAR poukazujú na lokálne nízke, stredné až vysoké riziko sodíkového zasolenia environmentu vplyvom podzemných vôd.

Kľúčové slová: podzemná voda, povrchová voda, elektrická vodivosť, sodíkový adsorpčný pomer, hazard salinity, hazard sodicity, Podunajská rovina

Water resources availability for irrigation and artificial infiltration in drought season in term of salinity in the south-east of Danube Lowlands. *The suitability of water depends on how it can be used under specific conditions. These conditions include the tolerance of crops to salts, various physical and chemical properties of soil, management of irrigation methods, and climatic conditions in the given region. The criteria for the evaluation of water properties for irrigation must include all the aforementioned factors. The problem is so complex and complicated that so far no universal and generally valid scheme for the classification of irrigation water quality has been developed.*

The results of a distribution of groundwater salinity characteristics (electrical conductivity – EC and sodium adsorption ratio – SAR) are presented, and based on the results, it reports on the evaluation of the salinity and sodicity hazard in the fluctuation processes of the shallow mineralized groundwater level, or in regime processes if such groundwater is utilized for irrigation. The area studied was the soil-water environment in the south-east of the Danube Lowlands for the period from 1991 to 1994. The distribution of EC and SAR on the regional scale may serve as a reference basis for the evaluation of changes in the groundwater salinity after 1994. The measured data and data taken from archives were processed in the form of graphical attachments – maps, by means of the kriging interpolation method. Groundwater in the area in question are classified as highly mineralized waters with a large degree of danger of salinization of the subsurface environment. The shortage of water resources of good quality is becoming an important issue in the Danube Valley. For this reason the availability of water resources of marginal quality has become an important consideration. Nevertheless, the use of these waters in irrigated lands requires the control of soil salinity by means of leaching and drainage of excess water and salt. The irrigation return flows with water or poor quality are a source of pollution of the surface water bodies situated downstream of the drainage outlet. Deep percolation could also contaminate the groundwater. Therefore, irrigation with saline water requires a comprehensive analysis even beyond the area where water is applied. The problem should be treated beyond the scope of the irrigation scheme, taking into consideration the groundwater and downstream surface water resources of the river basin. This paper describes a preliminary evaluation of the suitability of chanel´s water for irrigation. The final goal is to obtain sustainable agriculture and maintain the quality of the water resources in the river basin. Surface water quality in the

territory in question was assesed from aspect of salinity (electrical conductivity – EC) and sodicity (sodium adsorption ratio – SAR) in the period from 1989 to 1999. Based on the acquired data we may gather that the chemism of the monitored surface waters (Dunaj and Váh river) shows a slightly alkaline reaction. They are classified as medium mineralized and low sodium irrigation waters with a medium degree of salinization danger and low sodium hazard of subsurface environment.

Key word: groundwater, surface water, electrical conductivity, sodium adsorption ratio, salinity hazard, sodicity hazard, Danube Lowlands

---

ÚVOD

Na základe zhodnotenia možných dôsledkov klimatických zmien na vodné hospodárstvo, na Slovensku sa ukazuje potreba nového prehodnotenia programu rozvoja závlah i hydromeliorácií ako celku. Okrem kvantitatívnej stránky manažnentu závlahovej vody nemenej dôležitá je jeho kvalitatívna stránka. Vhodnosť vody na závlahy, ale aj na umelú infiltráciu v období sucha závisí od toho, ako sa dá voda využiť za špecifických podmienok. Tieto zahŕňajú toleranciu plodín na soli, rôzne fyzikálne a chemické vlastnosti pôdy, manažment závlahových a infiltračných spôsobov a klimatické podmienky územia. Kvalita vody je významná pre každé posúdenie podmienok salinity a sodicity na zavlažovanom území. Klasifikačné schémy závlahovej vody, zamerané na definíciu nebezpečenstva salinizácie a alkalizácie pôdy pre danú vodu boli navrhnuté viacerými autormi (Ayers, Westcot, 1985; Carter, 1969; Shalhevet, Kamburov, 1976) a sú založené na širokej generalizácii, vrátane plodín, klímy, manažmentu závlah, vlastností pôdy, atď.

Potenciálna možnosť sekundárnej salinizácie pôdy si nevyhnutne vyžaduje posúdiť kvalitu zdrojov závlahovej vody. Kvalita vody sa hodnotí podľa viacerých kritérií, v ktorých sa prihliada na jej chemické zloženie, fyzikálne a biologické vlastnosti, najmä z hľadiska jej pôsobenia na vývin a rast plodín a vplyvu zavlažovania na pôdu.
Najvýznamnejšie charakteristiky vody určujúce jej kvalitu z aspektu salinity a sodicity sú:

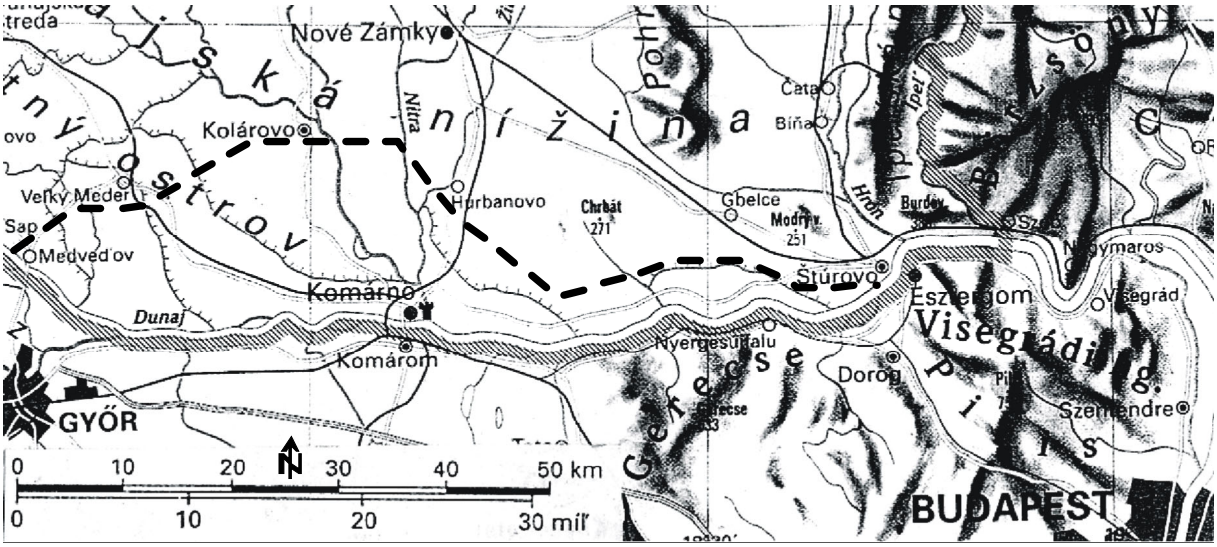
- celková koncentrácia rozpustených solí,vyjadrená vyjadrená elektrickou vodivosťou (EC), ktorá je vyjadrená v jednotkách deci Siemens na meter ($dS.m^{-1}$ alebo $\mu S.cm^{-1}$).
- relatívny pomer sodíka k ostatným katiónom vyjadrený sodíkovým adsorpčným pomerom (sodium adsorption ratio) SAR,
- nadmerná koncentrácia bóru a ďalších prvkov, ktoré majú toxické účinky,
- pri určitých podmienkach koncentrácia hydrogénuhličitanov, vzťahujúca sa ku koncentrácii vápnika a horčíka.

Pokiaľ ide o elektrickú vodivosť sú vody podľa Richardsa (1954) rozdelené do štyroch tried C1 – C4. Deliace hodnoty medzi triedami sú 0,25; 0,75 a 2,25 $dS.m^{-1}$. Tieto limity boli určené na základe vzťahu medzi elektrickou vodivosťou závlahovej vody a elektrickou vodivosťou nasýteného extraktu pôdy.
Slabo salinizovaná voda (C1) – ($EC < 0,25\ dS.m^{-1}$), môže sa používať u väčšiny plodín a pôd s malou pravdepodobnosťou, že dôjde k ich salinizácii.
Stredne salinizovaná voda (C2) - ($0,25 < EC < 0,75\ dS.m^{-1}$), môže sa používať, ak je pôda premývaná stredným množstvom vody. Plodiny so strednou toleranciou na soli môžu rásť vo väčšine prípadoch bez špeciálnych metód na kontrolu salinity.
Vysoko salinizovaná voda (C3) - ($0,75 < EC < 2,25\ dS.m^{-1}$), nemôže sa používať na pôdach s obmedzenou drenážou. Dokonca s primeranou drenážou je vyžadovaný špeciálny manažment na kontrolu salinity a voľbu plodín s dobrou odolnosťou na soli.
Veľmi vysoko salinizovaná voda (C4) – ($EC > 2,25\ dS.m^{-1}$), nie je vhodná na aplikáciu pri bežných podmienkach, ale môže byť použitá za veľmi špeciálnych okolností. Pôdy musia byť priepustné, drenáž musí byť primeraná, voda musí byť aplikovaná v nabytočnom množstve, aby sa zabezpečilo vysoké premývanie pôdy a mohli by sa pestovať plodiny veľmi tolerantné na soli.

Klasifikácia vody s ohľadom na SAR je založená predovšetkým na vplyve výmenného sodíka na fyzikálne podmienky v pôde. Plodiny citlivé na sodík môžu byť poškodené v dôsledku akumulácie sodíka v rastlinných tkanivách.
Nízko-sodíková voda (S1) – (SAR = 0 – 10), môže byť použitá u väčšiny pôd s nízkym rizikom vzniku škodlivých úrovní výmenného sodíka. Avšak plodiny citlivé na sodík môžu akumulovať škodlivé koncentrácie sodíka.
Stredne-sodíková voda (S2) - (SAR = 10 – 18), predstavuje zjavný sodíkový hazard v pôdach s jemnou štruktúrou, ktoré majú vysokú katiónovo výmennú kapacitu, zvlášť pri podmienkach nízkeho premývania pôdy, pokiaľ v nej nie je prítomný sadrovec. Takáto voda môže byť použitá na hrubozrnných pôdach alebo organických pôdach s dobrou priepustnosťou.
Vysoko-sodíková voda (S3) - (SAR = 18 – 26), môže produkovať škodlivé množstvo výmenného sodíka a bude si vyžadovať špeciálny pôdny manažment - dobrú drenáž, vysoké premývanie a pridávanie organických látok.
Veľmi vysoko-sodíková voda (S4)- (SAR > 26), je nevhodná voda (Burger, F., Čelková, A. (2003).

Vymedzenie záujmového územia

Záujmové územie (obr.1) predstavuje juhovýchodnú časť Podunajskej roviny a je vcelku vymedzené pririečnou zónou prívodného a odpadového kanála stupňa Gabčíkovo spolu s územím, na ktorom je výskyt soľných pôd spravidla v komplexe s čiernicami a plytkou hladinou mineralizovanej podzemnej vody. Južnú hranicu tvorí rieka Dunaj (Červenka, 1970; Čelková, Burger, 1993; Fulajtár a kol.,1998; Čelková, 2002).



Obr. 1. Záujmové územie

Fig. 1. The area in question

Stupeň salinizácie a alkalizácie pôd

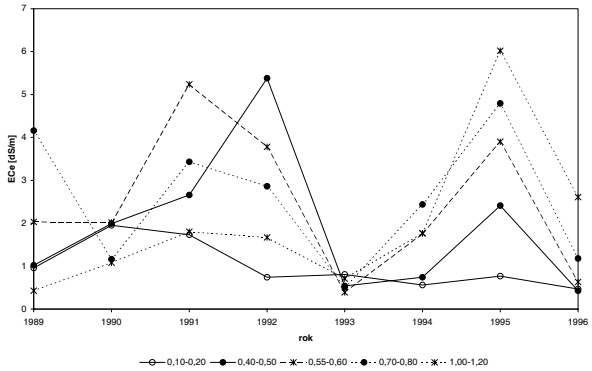
Je všeobecne známe, že väčšina zavlažovaných oblastí je vystavená riziku vzniku sekundárne zasolených, prípadne zamokrených pôd. Sekundárne zasolené a alkalické pôdy sú tie, ktoré vznikli v dôsledku antropogénneho vplyvu, predovšetkým zavlažovania, alebo zmenou režimu hladín podzemnej vody, ako dôsledok výstavby vodohospodárskych objektov.

Možné riziká sekundárneho zasoľovania v oblastiach sú determinované nasledovnými faktormi:
1. klimatické faktory ako teplota, zrážky, humidita, evapotranspirácia, ich kolísanie a dynamika,

2. geologické, geomorfologické, geochemické, hydrologické, hydrogeologické a hydrochemické faktory ako sú prirodzená drenáž, hĺbka a kolísanie hladiny vody, rýchlosť a smer prúdenia podzemnej vody, obsah solí a zloženie podzemnej vody,
3. pôdne faktory, ako je pôdny profil, textúra, štruktúra, nasýtená a nenasýtená hydraulická vodivosť, obsah vodorozpustných solí, zloženie solí, výmenné katióny pH,
4. využívanie krajiny, agrotechnika, plodiny, kultivačné metódy a pod.,
5. závlahová prax, hlavne množstvo závlahovej vody, frekvencia a intenzita zavlažovania, obsah solí a zloženie závlahovej vody, prirodzená a umelá drenáž.
Základné ciele prieskumu a štúdia potenciálnej salinizácie a alkalizácie pôd majú predpovedať brzdiace procesy a vypracovať metódy vhodné pre prevenciu možného sekundárneho zasolenia pôd.

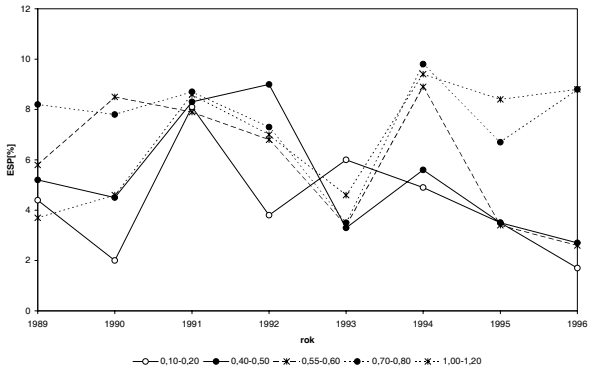
Výsledky monitoringu pôd, t.j. údaje analýz nasýteného extraktu pôdnej pasty a analýz vodného výluhu pôd potvrdzujú, že na záujmovej oblasti aj v súčasnosti prebieha formovanie soľných pôd, a to procesom salinizácie a alkalizácie. Hlavným kritériom salinizácie pôd je elektrická vodivosť nasýteného extraktu pôdnej pasty (EC_e). Za zasolené-slaniskové pôdy sa považujú tie pôdy, v ktorých EC_e prevyšuje hodnotu 4 $dS.m^{-1}$, alebo váha odparku vodného výluhu pôdy (pri 105°C) presahuje 0,3%. Slabé zasoľovanie však prebieha už pri hodnotách EC_e nad 2 $dS.m^{-1}$. Kritériom pre rozlíšenie začínajúceho procesu alkalizácie pôd je obsah výmenného sodíka (ESP) v pôdnom koloidnom komplexe nad 5%. Obsah výmenného sodíka v intervale 5-10% svedčí o slabej intenzite alkalizácie pôd, ktorej výsledkom sú slabo slancové pôdy.

Pre ilustráciu priebehy EC_e a ESP na lokalite čiernice černozemnej karbonátovej – Komárno v jednotlivých hĺbkach pôdneho profilu sú znázornené na obr. 2 a 3.



Obr. 2. Priebeh EC_e na lokalite čiernice černozemnej karbonátovej – Komárno v jednotlivých hĺbkach pôdneho profilu

Fig.2. Course of EC_e values in the locality of fluvi-haplic phaeozem carbonate - Komárno in the individual depth of soil profile



Obr. 3. Priebeh ESP na lokalite čiernice černozemnej karbonátovej – Komárno v jednotlivých hĺbkach pôdneho profilu

Fig.3. Course of ESP values in the locality of fluvi-haplic phaeozem carbonate - Komárno in the individual depth of soil profile

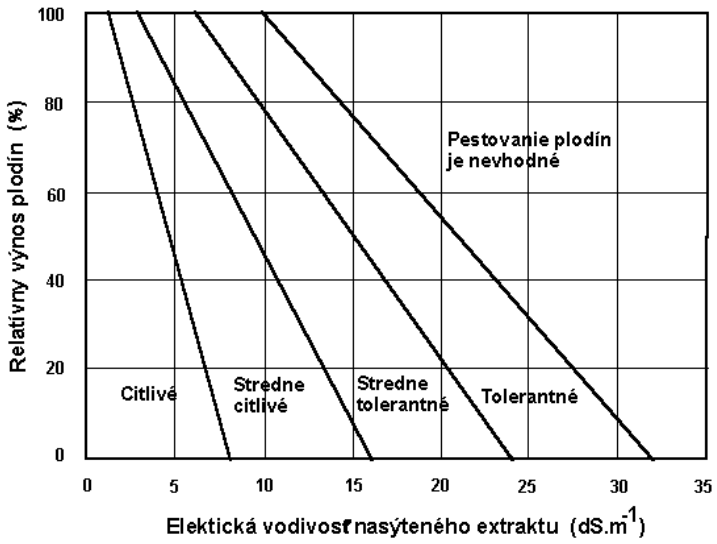
V suchých rokoch 1990-1993 je výskyt slancových pôd zaznamenaný vo väčšom rozsahu ako v rokoch vlhkejších (1994-1996), v ktorých dochádza k vymývaniu solí z povrchových do spodných vrstiev pôdneho profilu. Striedanie suchých a vlhkých rokov je preto v záujmovej oblasti hodnotené ako významný činiteľ rozširovania a formovania soľných pôd.

Výsledky monitoringu pôd t.j. analytické výsledky sledovania procesu salinizácie a alkalizácie pôd ukazujú, že hodnoty EC_e sa pohybujú prevažne v rozmedzí 2 - 4 $dS.m^{-1}$, ojedinele nad 4 $dS.m^{-1}$ a váha odparku vodného výluhu do 0,1%. Hodnoty ESP sa pohybujú v rozmedzí 5 – 10%. To svedčí o slabom, resp. počiatočnom štádiu salinizácie a slabej intenzite alkalizácie pôd. Značná variabilita hodnôt EC_e a ESP v jednotlivých rokoch poukazuje na ich závislosť od klimatických, predovšetkým

zrážkových podmienok (Fulajtár, 1991, 1997; Čelková, 1999).

Tolerancia plodín na soli

Antropogénna činnosť, ako sú napríklad závlahy pôd mineralizovanou vodou, alebo zvýšenie hladín mineralizovanej podzemnej vody ako dôsledok vodohospodárskych úprav krajiny, vytvára podmienky pre sekundárny vznik sol'ných pôd. Zhoršujúca sa kvalita podzemných vôd a vôd v kanálovej sieti z hľadiska salinity zvyšuje riziko salinizácie pôd.
Pri adaptácii rastlín na zasolenie má významnú úlohu typ zasolenia, ako aj skutočnosť, či rastliny boli vystavené náhlemu účinku vysokých koncentrácií solí, alebo sa zasolenie zvyšovalo postupne, s možnosťou adaptácie rastlín na zmenené podmienky. Citlivosť na zasolenie je zvlášť veľká v prvých fázach ontogenézy rastlín, pričom nadbytok solí ovplyvňuje rastové procesy i metabolizmus rastlín. Prítomnosť alebo akumulácia nadmerného množstva rozpustených solí v pôdnej koreňovej zóne a jeho negatívny vplyv na produktivitu plodín je všeobecný problém, zvlášť v suchých a polosuchých regiónoch. Hoci v niektorých prípadoch môže byť pôdna salinita účinne kontrolovaná aplikáciou vhodných schém vodného manažmentu, je ťažké zabrániť vysokej pôdnej salinite vzhľadom k nedostatku kvalitnej závlahovej vody. V takom prípade efektívny úžitok dostupnej pôdy a vodných zdrojov ovplyvňuje produkciu poľnohospodárskych (alebo iných) plodín, ktoré sú pomerne tolerantné na vysoké zasolenie pôd. Z toho dôvodu bolo na určenie tolerancie rôznych plodín na salinitu vykonaných množstvo poľných a laboratórnych experimentov. Výsledky týchto experimentov sú najlepšie analyzované z hľadiska príslušnej funkcie odražajúcej toleranciu na salinitu. Na ilustráciu bežného spôsobu vyjadrenia tolerancie sú na obr. 4 zobrazené pásma tolerancie plodín na salinitu.



Obr. 4. Rozdelenie pásiem pre klasifikáciu tolerancie plodín na salinitu (Maas, Hoffman, 1977)

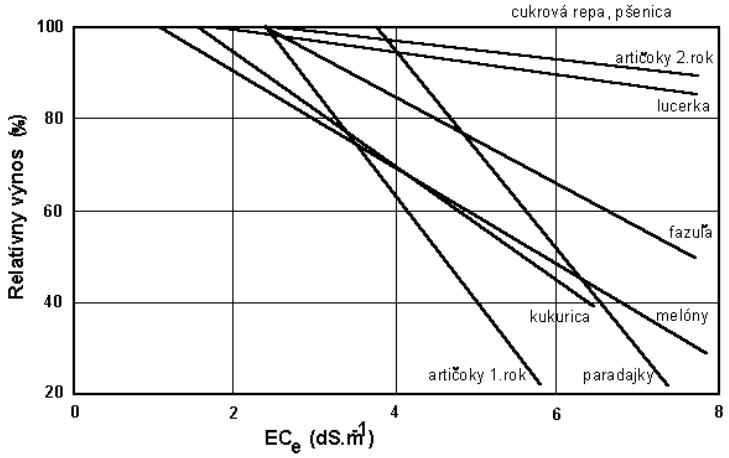
Fig.4. Dividing of fields for classification of crops salt tolerance. Relative yield vs.soil salinity (Maas, Hoffman, 1977)

Tolerancia na salinitu závisí tiež od typu, metódach a frekvencie zavlažovania. Akonáhle pôda vyschne, plodiny prekonajú šoky, ktoré tiež obmedzujú absorpciu vody. Bežne rozšírené údaje o tolerancii na salinitu sa aplikujú priamo na plodiny zavlažované metódami povrchového zavlažovania (brázdová a záplavová metóda) a tradičného závlahového manažmentu. Koncentrácie solí sa môžu líšiť niekoľkonásobne v rámci zavlažovaného pôdneho profilu a menia sa nepretržite. Plodina je najcitlivejšia na salinitu v tej časti koreňovej zóny, kde sa objaví najviac absorbovanej vody.

Klíma je hlavný faktor, ktorý ovplyvňuje toleranciu plodín na salinitu. Najviac plodín toleruje väčšie zaťaženie salinitou, ak je počasie studené a je vlhko, než keď je teplé a sucho. Výnos vplyvom salinity

klesá viac, ak je atmosferická vlhkosť nízka. Ozón znižuje výnos plodín viac v nezasolených ako v zasolených podmienkach, takže vplyv ozónu a vlhkosti zvyšuje toleranciu niektorých plodín na salinitu.

Vzťah medzi výnosom a salinitou sa približuje priamke, pre dôležitý rozsah výnosu klesá od 0,95 do 0,25. Na obr. 5 je vyjadrený vzťah medzi relatívnym výnosom a EC_e (elektrická vodivosť nasýteného extraktu pôdnej pasty) v $dS.m^{-1}$ pre určitý druh plodín sledovaných v poľných podmienkach. Hodnota EC_e reprezentuje priemernú hodnotu jarných a jesenných vzoriek odobraných z koreňovej zóny 0,0 m – 0,8 m. Pre mnoho plodín výnos začína klesať od hodnoty EC_e 2 $dS.m^{-1}$ a pri hodnote EC_e 4 $dS.m^{-1}$ vykazuje pokles až o 20 –25%.



Obr. 5. Vzťah medzi relatívnym výnosom plodín a salinitou pôdy vo vrstve od 0,0 m do 0,8 m (Unesco 1970 in Ritzema, (ed.) 1994)

Fig.5. Relation between relative yield and soil salinity in soil layer 0 – 0,8m (Unesco, 1970 in Ritzema, (ed.) 1994)

Rozširovanie soľných pôd na Podunajskej nížine má vytvorené všetky potenciálne podmienky. Patria k nim veľmi teplé a suché klimatické pomery, výparný typ vodného režimu pôd, vysoká potenciálna evapotranspirácia, nadmerná a stále sa zvyšujúca mineralizácia podzemných vôd s hladinou podzemnej vody plytko pod povrchom terénu, a vysoký obsah síranov a hydrogénuhličitanov v podzemnej vode. Pestujú sa tu prevažne odrody a sorty poľnohospodárskych plodín s pomerne nízkou odolnosťou na soli. Charakter chemického zloženia podzemných vôd, ako aj striedanie suchých a vlhkých klimatických periód, v ktorých dochádza k akumulácii a následne k infiltrácii solí do nižších vrstiev pôdneho profilu, vyvoláva relatívne nízku intenzitu vzniku a postupu tvorenia sa soľných pôd. Významnejšie rozšírenie týchto pôd je však aj napriek uvedenému reálne. Vyplýva z dvoch faktorov: z klimatických zmien smerom k semiarídnym podmienkam a z antropogénnej činnosti, ktorá značne ovplyvňuje hydrologické pomery územia.

ZDROJE VODY

Potenciálna možnosť sekundárnej salinizácie a alkalizácie pôdy si vyžaduje posúdiť kvalitu zdrojov vody z hľadiska salinity a sodicity, (vzhľadom na využívanie intenzívnych závlah alebo umelej infiltrácie), ktorými sú:

Povrchová voda

- ***Voda z otvorených tokov a kanálovej sieti***

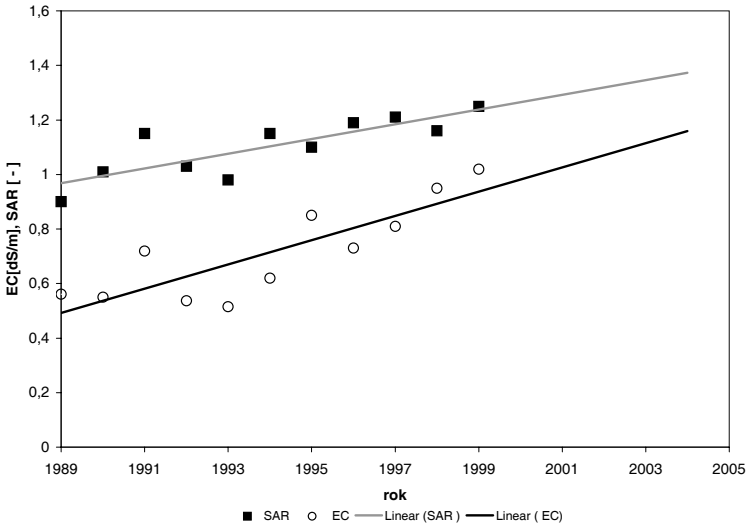
Účel sústavy kanálovej siete Podunajskej roviny úzko súvisí s odvodnením zamokrených pôd vo vlhkom jarnom období a za povodní, so závlahami v suchom vegetačnom období a s regulovaním režimu hladín podzemnej vody, celkovou potrebou závlahovej vody, prevodmi vody medzi jednotlivými oblasťami a s rozvojom a využitím vodných zdrojov podzemných vôd. Na koncepciu odvodnenia adekvátne nadväzuje koncepcia závlah, ktorá sa priamo vnucuje rentabilnosťou závlahového hospodárstva v najteplejšej oblasti republiky s najdlhšie trvajúcim vegetačným obdobím a s najbohatšími prírodnými vodnými zdrojmi podzemných vôd. Zameriava sa predovšetkým na výber najhospodárnejších zdrojov závlah pre definované oblasti. Ako zdroje závlahovej vody prichádzajú do úvahy povrchové vody okolitých riek, ďalej odvodňovacích, závlahových a infiltračných kanálov a podzemné vody zo štrkovísk, jazier a studní v zmysle platných noriem akosti vody pre chránenú vodohospodársku oblasť.

Vplyv sústavy kanálov na ich rozvoj a využitie sa prejavuje v množstve a kvalite vody nielen v procese prirodzeného obehu vody, ale aj v procese manipulácie vody s prvkami sústavy vzhľadom na stanovené kritériá. Základnými prvkami sústavy kanálov sú hlavné kanály, čerpacie stanice a stavidlá, ktoré sú zamerané predovšetkým na odvodňovaciu činnosť. K nim sa pridružujú vtokové, nápustné a odberné objekty zamerané na zavlažovanie. Sústava kanálov je viacúčelová. Jej viacúčelovosť spočíva v odvodnení, závlahách a regulovaní režimu hladín podzemných vôd.

Monitorovacie miesta na povrchových tokoch - kanáloch boli vybrané tak, aby sa približne rovnomerne pokryla celá oblasť, a aby bol zohľadnený aj hydrologický režim toku. Na týchto miestach boli v rokoch 1989 až 1999 vykonané terénne merania (charakteristiky vody, profil toku, hĺbka vody, parametre nánosov) a odbery vzoriek povrchovej vody.

Pre spracovanie prezentovaných charakteristík salinity a sodicity vôd (EC a SAR) z otvorených tokov a kanálov v záujmovej oblasti boli tiež použité údaje a poznatky z monitoringu a z výskumných úloh (Burger a kol., 1991; Čelková, Burger, 1993; Burger, 1995). Po roku 1994 boli vybrané ďalšie monitorovacie lokality vo východnej časti Žitného ostrova, na ľavej strane dolného Váhu a v oblasti údolnej nivy Dunaja medzi Komárnom a Štúrovom. Na týchto lokalitách boli vykonané terénne merania a odbery vzoriek povrchových vôd. Vo vzorkách povrchových vôd bola stanovená koncentrácia zasoľujúcich iónov, EC a vypočítané hodnoty SAR.

Výsledky monitoringu charakteristiky EC vody z otvorených tokov a kanálov v rokoch 1989 – 2000 preukazujú, že jeho priemerné vegetačné hodnoty sa pohybovali od od 0,51 do 1,02 $dS.m^{-1}$ a ich trend je stúpajúci. Taktiež stúpajúci trend vykazujú priemerné vegetačné hodnoty SAR, ktoré sa počas sledovaného obdobia pohybovali v medziach 0,9 do 1,25 (obr.6).



Obr. 6. Priemerné hodnoty EC a SAR vody v povrchových tokoch a kanáloch a ich lineárne trendové čiary

Fig.6. The average values of EC and SAR of surface streams and channels and their trendlines

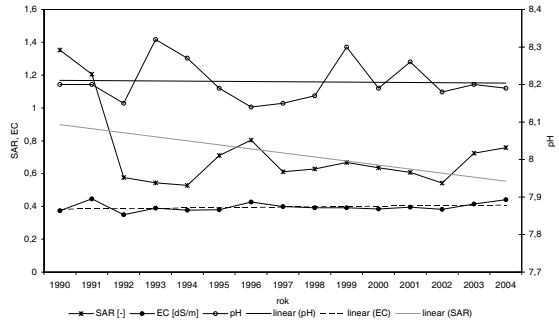
Podľa klasifikačného diagramu závlahovej vody (US Salinity Laboratory) definujúceho hazard salinity a sodocity, patria tieto vody podľa hodnôt EC do triedy C2 a C3 (C2 ak 0,25<EC<0,75; C3 ak 0,75<EC<2,25 $dS.m^{-1}$). Ide o vody stredne až vysoko salinizované so stredným až vysokým rizikom salinizácie pôdy. Podľa zistených hodnôt SAR patria do triedy S1. Ide o vody nízko sodíkové s nízkym rizikom sodíkového ohrozenia (SAR<10) vplyvom závlahovej vody. Kvalita vody v prípade jej využitia na závlahy je z aspektu sodicity vyhovujúca a nie je potrebné žiadne obmedzenie jej použitia, avšak z hľadiska salinity je vyžadovaný špeciálny manažment na kontrolu salinity a voľbu plodín s dobrou odolnosťou na soli. Stúpajúci trend oboch parametrov do budúcnosti predikuje zhoršovanie kvality vody na závlahy z povrchových tokov a kanálov a nevyhnutnosť prijatia nízkeho až stredného stupňa obmedzenia jej využívania (Burger, F, Čelková, A. (2004).

- ***Voda Dunaja a Váhu***

Vzhľadom na prognózovaný nástup suchých vegetačných období je najpravdepodobnejšie využívanie vody na závlahy a umelú infiltráciu prevažne z veľkých riek Dunaja a Váhu. Na základe údajov o kvalite povrchových vôd poskytnutých SHMÚ, boli zistené trendy vývoja kvality vôd Váhu a Dunaja v juhovýchodnej časti Podunajskej roviny z hľadiska salinity a sodicity. V období rokov 1990 – 2004 boli sledované ukazovatele, ktoré charakterizujú salinitu a sodicitu vôd (EC a SAR), na základe ktorých bola zisťovaná vhodnosť použitia tejto vody na závlahy. Monitorovacie miesta na povrchových tokoch boli vybrané v profiloch, kde sa čakáva zvýšené znečistenie povrchových vôd odpadovými vodami či už z priemyslu, poľnohospodárstva alebo mestských aglomerácií (Klaučo, Michalič, 1992; Vikiszályová a kol., 1996).

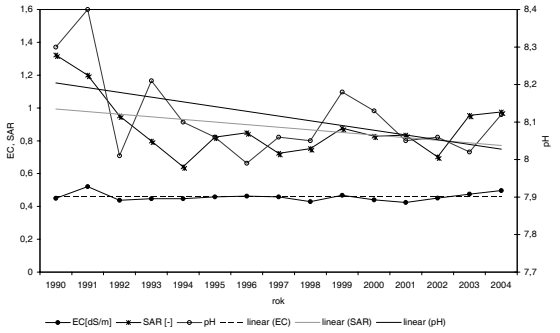
Na základe zistených skutočností možno konštatovať, že súčasná kvalita povrchovej vody v juhovýchodnej časti Podunajskej roviny, kde bola v období rokov 1990 – 2004 hodnotená povrchová voda dolného Váhu a Dunaja (profil: Dunaj-Komárno a Váh-Komárno), je z hľadiska salinity a sodicity vyhovujúca a je vhodná na závlahy a umelú infiltráciu. Sú to slabo alkalické vody, ktorých priemerné ročné hodnoty pH sa pohybujú v intervale 7,99<pH<8,4 (pH vody vhodnej na závlahy sa pohybuje v rozsahu 6,5 – 8,4). Podľa klasifikačného diagramu závlahovej vody (US Salinity Laboratory) definujúceho hazard salinity a sodocity, patria tieto vody podľa hodnôt EC do triedy C1 a C2 (C1 ak EC<0,25 $dS.m^{-1}$ a C2 ak 0,25<EC<0,75 $dS.m^{-1}$). Ide o vody slabo až stredne salinizované s nízkym až stredným rizikom salinizácie pôdy. Podľa zistených hodnôt SAR patria do triedy S1. Ide o vody nízko sodíkové s nízkym rizikom sodíkového ohrozenia (SAR<10) vplyvom závlahovej vody. Na základe dlhodobejšieho monitoringu možno z uvedeného hľadiska konštatovať mierne zlepšujúci sa trend kvality povrchových vôd. Koncentrácie všetkých sledovaných iónov, hodnoty pH a SAR vykazujú klesajúcu tendenciu v obidvoch profiloch. Trend hodnôt priemerných ročných hodnôt EC v

profile Dunaj – Komárno je stúpajúci a v profile Váh – Komárno vyrovnaný (obr.7. a 8.). Kvalita vody Dunaja a Váhu je z aspektu salinity a sodicity vyhovujúca a nevyžaduje sa žiadne obmedzenie pri jej využívaní. Používanie tejto vody je preto vhodné aj na závlahy bez rizika salinizácie a alkalizácie pôd a rizika znižovania výnosov plodín.



Obr.7. Priebeh priemerných ročných hodnôt pH, EC a SAR povrchovej vody a lineárne trendové čiary v profile Dunaj – Komárno v rokoch 1990 – 2004

Fig.7. Course of pH, EC and SAR average values of surface water and trendlines in Dunaj – Komárno profile for the period from 1990 to2004



Obr. 8. Priebeh priemerných ročných hodnôt pH, EC a SAR povrchovej vody a lineárne trendové čiary v profile Váh – Komárno v rokoch 1990 – 2004

Fig.8. Course of pH, EC and SAR average values of surface water and trendlines in Váh – Komárno profile for the period from 1990 to2004

Podzemná voda

Výsledky z monitoringu vývoja soľných pôd (Fulajtár, a kol.,1998) dokazujú, že hlavným zdrojom solí v pôde je salinita plytkej podzemnej vody, z hladiny ktorej sa vertikálnym tokom v oblastiach s výparným vodným režimom pôdy, napr. ako je juhovýchodná časť Podunajskej roviny alebo Východoslovenská nížina, transportujú rozpustené soli do pôdneho profilu. Ďalším procesom a zdrojom akumulácie solí v pôdnom profile sú závlahy takouto podzemnou vodou. Podzemná voda sa pri oboch procesoch evapotranspiráciou odčerpáva a rozpustné soli sa v pôde vyzrážajú na povrchu pôdnych častíc a ióny sodíka sorbujú na pôdny koloidný systém. Procesy pohybu vody sú determinované hydrofyzikálnymi charakteristikami a hydraulickými parametrami pórovitého podpovrchového environmentu a tokmi vody od hladiny a do hladiny podzemnej vody. Výsledkom týchto procesov je vznik a rozširovanie soľných pôd. Závlahový a odvodňovací manažment predstavuje manipuláciu environmentu pôda-voda v koreňovej zóne plodín za účelom minimalizácie akumulácie solí a nepriaznivých vlhkostných podmienok.

Hodnoty EC podzemnej vody spolu s hodnotami SAR sú hlavnými kritériami charakterizujúcimi mieru nebezpečia salinizácie a alkalizácie pôdy pri procesoch fluktuácie hladiny plytkej mineralizovanej podzemnej vody, resp. pri režimových procesoch prúdenia v prípade využívania takejto podzemnej vody ako závlahovej vody.

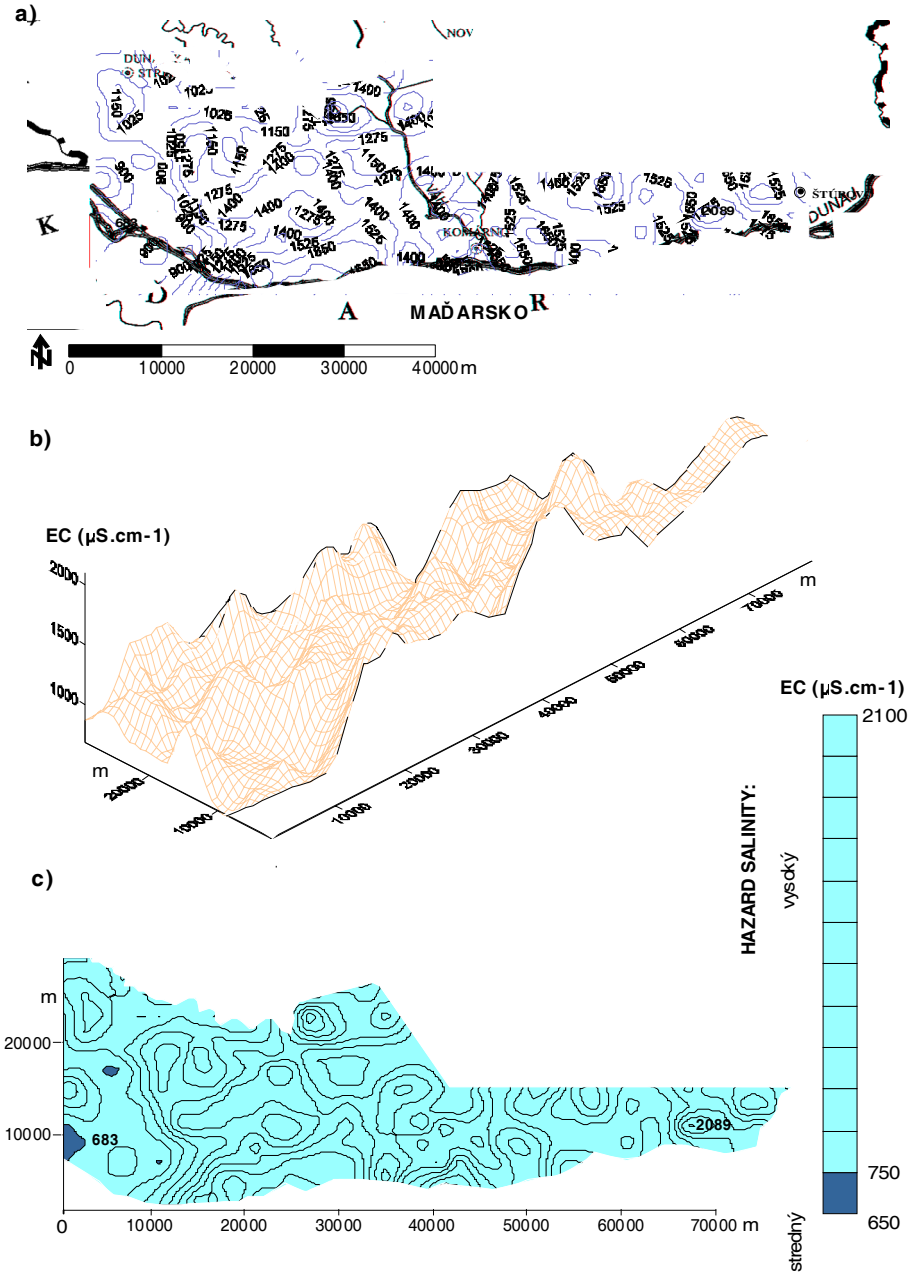
Pre spracovanie charakteristík salinity podzemnej vody boli použité údaje a poznatky z monitoringu a výskumných úloh Ústavu hydrológie a hydrauliky SAV v Bratislave (Burger, a kol., 1991; Čelková, Burger, 1993; Burger, 1995), ako aj z ďalších nižšie uvedených archívnych a databázových zdrojov. Monitorovacie lokality boli vybrané vo východnej časti Žitného ostrova, na ľavej strane dolného Váhu a v oblasti údolnej nivy Dunaja medzi Komárnom a Štúrovom. Na týchto lokalitách boli v rokoch 1990-1992 vykonané terénne merania a odbery vzoriek podzemnej vody. Vo vzorkách podzemných vôd bola stanovená koncentrácia zasoľujúcich iónov, namerané hodnoty pH a EC a boli vypočítané hodnoty SAR. Ďalšie poznatky a údaje o hydrochémii podzemných vôd územia boli výsledkom kompilácie údajov získaných pri hydrogeologickom prieskume zdrojov podzemných vôd, ktorý v rámci geologického prieskumu zabezpečoval hlavne IGHP, š.p. Žilina, z ktorého sa neskôr vyčlenili INGEO, a.s. Žilina, GEOCONSULT, a.s. Košice a GEOS, a.s. Bratislava. Významným zdrojom

informácií sú aj práce Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) v Bratislave (Kollár a kol., 1995). Ďalšie údaje a informácie boli získané z monitoringu vývoja soľných pôd, ktorý v rámci čiastkového monitorovacieho systému "Pôda" vykonáva Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy v Bratislave (Fulajtár a kol., 1998) a z výsledkov geochemického mapovania podzemných vôd na území Slovenska, ktoré bolo jednou z najvýznamnejších prác v rámci úlohy "Geochemický atlas Slovenska" v rokoch 1991 až 1995. Atlas podáva obraz chemického zloženia podzemných vôd prvého zvodneného kolektora na území Slovenska za roky 1991 – 1994 (Rapant a kol., 1996).

Namerané údaje a prevzaté dáta z archívnych zdrojov (EC a SAR) boli spracované do grafických príloh - mapiek (obr. 9a, 10a) interpolačnou metódou krigingu pomocou programov PMWIN a SURFER a prostredníctvom nich stanovený hazard salinity a sodicity pri procesoch fluktuácie hladiny plytkej mineralizovanej podzemnej vody, resp. pri režimových procesoch v prípade využívania takejto podzemnej vody na závlahy a umelú infiltráciu. Problematika bola riešená pre podpovrchový environment juhovýchodnej časti Podunajskej roviny za časové obdobie rokov 1991 až 1994.

Podzemné vody na záujmovom území patria do skupiny stredne až vysoko salinizovaných vôd s vysokou mierou nebezpečia salinizácie podpovrchového environmentu. V skúmanom období sa priemerné ročné koncentrácie EC podzemných vôd pohybovali v intervale od 600 $\mu S.cm^{-1}$ až do 2 100 $\mu S.cm^{-1}$ (0,6 – 2,1 $dS.m^{-1}$). Hodnoty SAR, ktoré sa pohybovali v širokom rozmedzí $1,7 < SAR < 22$ poukazujú na lokálne nízke, stredné až vysoké riziko sodíkového zasolenia environmentu vplyvom podzemných vôd.

Vytvorené mapky distribúcie EC (obr. 9a, b) a SAR (obr. 10a, b), ako aj mapky hazardu salinity (obr.9c) a hazardu sodicity (obr.10c) umožňujú vhodne doplniť poznatky o hydrogeochemickom zložení podzemných vôd záujmového územia z hľadiska salinity a sodicity a môžu slúžiť ako referenčná báza pri posudzovaní zmien v ich vývoji v nasledujúcich rokoch.

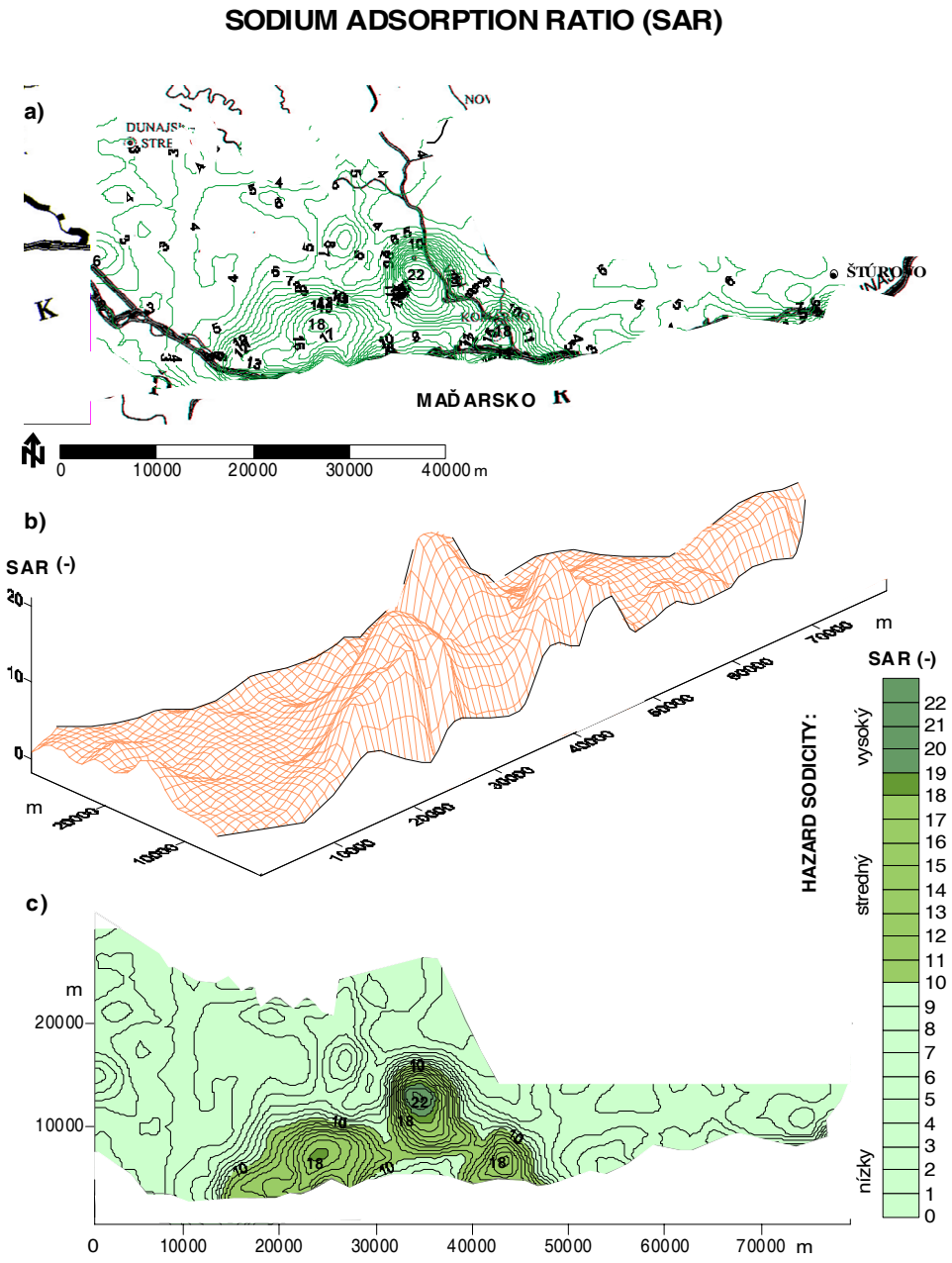


Obr. 9. Distribúcia hodnôt elektrickej vodivosti EC (v µS.cm^{-1}) podzemnej vody prvého zvodneného kolektora juhovýchodnej časti Podunajskej roviny

- *a) Polohopisná situácia a izolínie EC*
- *b) 3-D zobrazenie hodnôt EC*
- *c) Situácia - hazard salinity pri procesoch fluktuácie hladiny podzemnej vody alebo pri použití podzemnej vody na závlahy, resp. umelú infiltráciu*

Fig. 9. Distribution of electrical condutivity (EC) values (in µS.cm^{-1}) of groundwaters of the first aquifer of the south-east Danube Lowlands

- *a) Position situation and EC isolines*
- *b) 3-D depiction of the EC values*
- *c) Salinity hazard in the groundwater level fluctuation processes or in the use of groundwater for irrigation and artificial infiltration purposes*



Obr. 10. Distribúcia hodnôt sodíkového adsorpčného pomeru SAR (-) podzemnej vody prvého zvodneného kolektora juhovýchodnej časti Podunajskej roviny

a) Polohopisná situácia a izolínie SAR
b) 3-D zobrazenie hodnôt SAR
c) Situácia - hazard sodicity pri procesoch fluktuácie hladiny podzemnej vody alebo pri použití podzemnej vody na závlahy, resp. umelú infiltráciu

Fig.10. Distribution of the sodium adsorption ratio (SAR) (-) of groundwaters of the first aquifer of the south-east Danube Lowlands

a) Position situation and SAR isolines
b) 3-D depiction of the SAR values
c) Sodicity hazard in the groundwater level fluctuation processes or in the use of groundwater for irrigation and artificial infiltration purposes

ZÁVER

Záujmové územie predstavuje juhovýchodnú časť Podunajskej roviny. Formovanie chemického zloženia podzemných vôd záujmového územia je zložitým komplexom fyzikálnych, fyzikálno-chemických, chemických a biochemických procesov, ktoré sa uplatňujú v jednotlivých konkrétnych hydrogeologických pomeroch. Súčasný prietokový a hladinový režim v okolitých riekach a kanáloch územia úzko súvisí s režimom podzemných vôd, t.j. so zväčšovaním a zmenšovaním ich množstva, s ich prúdením a aj s ich kvalitou.

Potenciálna možnosť sekundárnej salinizácie pôdy si vyžaduje posúdiť kvalitu zdrojov vody. Charkteristiky salinity a sodicity v otvorených tokoch juhovýchodnej časti Podunajskej roviny mali v oblasti východnej časti Žitného ostrova a ľavej strany dolného Váhu za sledované obdobie rokov 1989 – 1999 a Čenkovskej nivy Dunaja v roku 1999 stúpajúci trend. Podľa klasifikačného diagramu závlahovej vody (US Salinity Laboratory) definujúceho hazard salinity a sodocity, patria tieto vody podľa hodnôt EC do triedy C2 a C3 podľa zistených hodnôt SAR patria do triedy S1. Ide o vody stredne až vysoko salinizované so stredným až vysokým rizikom salinizácie a nízko sodíkové vody s nízkym rizikom sodíkového ohrozenia pôdy vplyvom závlahovej vody. Stúpajúci trend oboch parametrov do budúcnosti predikuje zhoršovanie kvality vody na závlahy z povrchových tokov a kanálov a nevyhnutnosť prijatia nízkeho až stredného stupňa obmedzenia jej využívania.

Súčasná kvalita riečnej vody v juhovýchodnej časti Podunajskej roviny, kde bola v období rokov 1990 – 2004 hodnotená voda Dunaja a Váhu (profil: Dunaj-Komárno a Váh-Komárno), je z hľadiska salinity a sodicity vyhovujúca. Hodnoty všetkých sledovaných parametrov vykazujú mierny pokles. Podľa hodnôt EC patria tieto vody do triedy C1 a C2. (slabo až stredne salinizovaná závlahová voda) a podľa hodnôt SAR do triedy S1(nízko sodíková voda). Kvalita vody v prípade jej využitia na závlahy a umelú infiltráciu je z aspektu salinity a sodicity vyhovujúca, a nie je potrebný žiaden stupeň obmedzenia jej použitia.

Podzemné vody na záujmovom území patria do skupiny vysoko mineralizovaných vôd s vysokou mierou nebezpečia salinizácie podpovrchového environmentu. V skúmanom období sa priemerné ročné koncentrácie EC podzemných vôd pohybovali v intervale od 0,6 až do 2,1 $dS.m^{-1}$, čo svedčí o existencii až vysoko salinizovanej podzemnej vody. Hodnoty SAR, ktoré sa pohybovali v širokom rozmedzí $1,7 < SAR < 22$ poukazujú na lokálne nízke, stredné až vysoké riziko sodíkového zasolenia environmentu vplyvom podzemných vôd.

Literatúra

Ayers, R.S., Westcot, D.W., (1985): Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1. FAO, Rome, 63 pp.

Bathurst, J.C. (1986): Physically-based distributed modelling of an upland catchment using the System europeen hydrologic. J. Hydrol. 87, 79–102.

Burger, F. a kol. (1991):Vodný a soľný režim pôd. Chemizmus podzemných vôd. ÚHH SAV, Bratislava, 62 s.

Burger, F. (1995): Modelovanie systémov prúdenia podzemných vôd. In: Proc. XVII-th Czech-Poland-Slovak Colloquium "Advanced simulation of systems", Tech. Univ. Ostrava, Vol.2, 132-138.

Burger, F. (2001): Hydraulické funkcie nenasýtenej zóny pôd údolnej nivy Dunaja. Acta Hydrologica Slovaca, 2,1, 24-28.

Burger, F., Čelková, A. (2001): Zasoľovanie pôd na Podunajskej nížine z hľadiska tolerancie plodín na soli. Acta Hydrologica Slovaca 2,2, ÚH SAV, Bratislava, s.284-293.

Burger, F, Čelková, A. (2004): Interakcia závlahovej vody z povrchových tokov a pôdy z aspektu salinity a sodicity. In: Acta Hydrologica Slovaca, roč.5, č.1, ÚH SAV, Bratislava, 112-121.

Burger, F., Čelková, A. (2005): Numerická simulácia transportu látok infiltráciou vody do charakteristických profilov aluviálnych kvartérnych sedimentov na Podunajskej rovine. In: Acta Hydrologica Slovaca 6, 1, ÚH SAV, Bratislava.

Carter, D. L. (1969): Managing moderately saline (salty) irrigation waters. Univ. Idaho Curr. Inf. Center, 107 pp.

Čelková, A., Burger, F. (1993): Kvalita vody na závlahy v oblasti SVD na Dunaji z hľadiska salinity. In: Zbor.medzinár. konf. "Sústava vodných diel Gabčíkovo-Nagymaros: zámery a skutočnosť", SZSI, Bratislava, 278-284.

Čelková, A. (1999): Trendy vývoja salinizácie pôdneho profilu vplyvom mineralizovanej podzemnej vody vo východnej časti Žitného ostrova. In: Zbor. z III. ved. konf.:"Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia". Michalovce - Zempl. Šírava, 310-314.

Čelková, A. (2001): Transport a iónovo - výmenné reakcie v pôdnych kolónach. In: Acta Hydrologica Slovaca 2, 2, ÚH SAV, Bratislava, 279-283.

Čelková, A. (2002): Chemizmus podzemnej vody v aluviálnej nive ľavej strany Dunaja v úseku Komárno – Štúrovo. Acta Hydrologica Slovaca, 1, 54-60.

Červenka, L. (1970): Vplyv podzemných vôd na vznik soľných pôd na Slovensku. Náuka o Zemi, V/70, Vyd. SAV, Bratislava.

Fulajtár, E. a kol. (1991): Súhrnné hodnotenie monitorovania východiskového stavu pôd a poľnohospodárstva na území dotknutom výstavbou VD Gabčíkovo. Záv. správa, VÚPÚ, Bratislava.

Fulajtár, E. a kol. (1997): Monitoring vplyvu vodného diela Gabčíkovo na pôdy a poľnohospodárstvo VÚPÚ, Bratislava.

Fulajtár, E., a kol. (1998): Vplyv vodného diela Gabčíkovo na poľnohospodárske pôdy. VÚPÚ, Bratislava, 199 s.

Klaučo, S., Michalič, J. (1992): Kvalita podzemných a povrchových vôd v okrese Komárno. Štúdia. SKOV, Bratislava, 28 s.

Kollár, A. a kol. (1995): Generel ochrany a racionálneho využívania vôd. MP SR, MŽP SR, Infopress, Bratislava, 264 s.

Maas, E. V., Hoffman, G. J. (1977): Crop salt tolerance – Current Assesment. J. Irrig. Drain. Div., Am. Soc. Civ. Eng., 103 (IR2), 115-134.

Rapant, S., a kol. (1996): Geochemický atlas Slovenska. Podzemné vody. GS SR, Bratislava, 127 s.

Richards, L. A. (ed.) (1954): Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Laboratory, Staff., U.S. Dept. of Agric., Agriculture Handbook 60.

Ritzema, H. P. (ed.) (1994): Drainage Principles and Applications. ILRI Publications 16, International Inst. for Land Reclamation. and Improvement. Wageningen, Netherlands.

Shalhevet, J., Kamburov, J. (1976): Irrigation and salinity – a world-wide survey. Int. Comm. Irrig. Drain, New Delhi.

Vikiszályová, A., a kol. (1996): Hydroekologický plán ľavého brehu Váhu, výustných úsekov Nitry a Žitavy a Parížskeho potoka. Časť A: Vodný fond. Povodie Dunaja, Bratislava, 138 s.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu vedy a techniky prostredníctvom finančnej podpory č. APVT-51-044802 a Vedeckou grantovou agentúrou VEGA č. 2/3049/23.

Autori

Ing. František Burger, CSc., Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava 3, e-mail: burger@uh.savba.sk

Ing. Anežka Čelková, Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava 3, e-mail: celkova@uh.savba.sk

KOLÍSANÍ SEZONALITY A FREKVENCE KATASTROFICKÝCH POVODNÍ V POVODÍ VLTAVY Z POHLEDU DOKUMENTÁRNÍCH ZDROJŮ

Libor Elleder

Příspěvek hodnotí kolísající sezonalitu a frekvenci velkých pražských povodní s využitím dokumentárních zdrojů a měření. Je použita řada objektivně hodnocených kronikářských zpráv (do r. 1481), přibližných výšek kulminačních stavů zachycených počínaje rokem 1481 ve vztahu k pražskému Bradáči, k povodňovým značkám (od r. 1675) a instrumentální měření (počínaje rokem 1781- příležitostně a 1825 pravidelně).

Klíčová slova: historické povodně, sezonalita, režimová data, minima sluneční aktivity

Úvod

Dosavadní režimové údaje podávající informaci o frekvenci povodní jsou v ČR založeny většinou na datech z 20. století. Možnost prodloužit tyto řady naráží na četné komplikace, neboť instrumentální období začíná ve střední Evropě zvolna koncem 18. století. Přesto je možné za využití doplňkových- tedy proxydat (povodňové značky) a dokumentárních zdrojů (kroniky) studovat přírodní cyklus i v předinstrumentálním období. Obvykle se používá v takových případech hodnocení frekvence povodňových případů a nebo právě hodnocení sezonality. Datum, nebo alespoň přibližné datum je jedním z relativně nejspolehlivějších údajů. Příspěvek nabízí vcelku jednoduchý souhrnný pohled na kolísání sezonality velkých pražských a zabývá se jeho příčinami.

Dosavadní zpracování sezonality povodní v povodí Labe

Na důležitost studia sezonality povodní upozornil např. Hladný (1995. Její analýzu pro dolní Labe v Děčíně zpracoval na základě dat období 1851-1995(+1845) Boháč (1995). Podle předložených výsledků je v povodí Labe nefrekventovanější zimní typ povodně v měsíci březnu. Analýza problému byla předložena v práci Kulasové et al. (1998) také pro období instrumentální hydrologie (1845- 1998) a pro kulminační průtoky (>Q_2). Letní povodně jsou podle zveřejněných výsledků frekventovanější v Praze (32%) než v Brandýse a Děčíně (23-24%). Je pochopitelné, že tyto otázky nově nastolila srpnová povodeň roku 2002. V rámci současných studií a grantových úkolů na toto téma, byly přehodnoceny průtoky historických povodní v Děčíně a Mělníce a byla také shromážděny další poznatky rozšiřující možnosti analýzy historických povodní hlouběji do minulosti.

Sezonalita velkých (>= Q_{100}) povodní v Praze na Vltavě má dva výrazné vrcholy, v zimním a letním období. Tento fakt v podobě grafu velmi výstižně prezentoval V. Kakos na výstavě „Povodně a Klima Prahy“, (Obrusník, 2002). Nověji se objevuje toto téma v rozsáhlé práci Brázdil et. al,2005, kde je stejný graf komentován též. Autor zde upozornil na skutečnost, že katastrofické povodně v Praze nastaly pouze v období únor-březen a červen-září. Potvrdil také s pomocí historických případů platnou skutečnost, že povodně menšího významu (Q_{10}-Q_{50}) můžeme (snad kromě listopadu) zaznamenat ve všech měsících. Tento typ chodu povodní je typický pro náš prostor a odlišuje se radikálně např. od sezonality např. povodní Seiny (zimní povodně), případně Pádu (podzim). Letní i zimní vrchol mají však také Dunaj, nebo Rýn. Tento pohled je jistě zajímavé rozšířit dále i o rozměr času, tedy zkoumat případné kolísání tohoto rozdělení v histotorii. Analýzy frekvencí povodní jsou podány(1500-1800) např. v Glaser (2000) pro Rýn, Odru, Labe a Weseru počínaje 16. stoletím. Pro povodí středního Labe je doložena nejvyšší frekvence povodní na konci 16. století, v povodí Dunaje kolem roku 1650, o něco později Wesery a Rýna na konci 17.

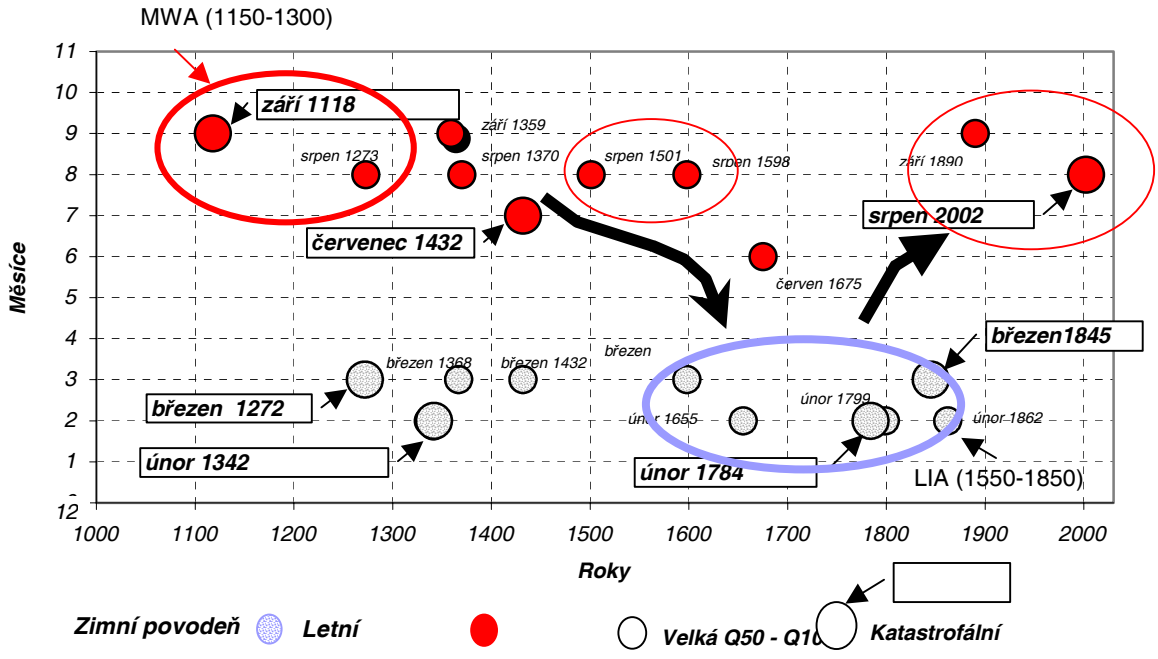
Skutečnosti určitého časového vývoje sezonality historických povodní si povšiml např. Fügner (1995). Uvádí, že období MWP (klimatické optimum 1150-1300) bylo z 24 zaznamenaných labských povodní 22 letních, naproti tom ve 14. století je již z počtu 10 celkem 8 povodní následkem tání a

ledových jevů. V 15. století nastalo opět většina případů v létě. V období LIA (malé doby ledové 1550-1850) převažovaly podle stejného autora významně zimní povodně. Stejnou skutečnost zmínil i Q. Poliwoda při své přednášce na konferenci ESEH (říjen 2004). Časový průběh letních a zimních povodní v Drážďanech vykazuje mezi léty 1500-1550 převahu letních událostí, období následující až do poloviny 19. století převahu událostí zimních (www.pages.unibe.ch). Je tedy zřejmé, že sezonalita povodní je skutečně časově proměnlivá.

Zhodnocení sezonality

Pro účely této studie byly vybrány katastrofické povodně v Praze, tak aby bylo možné dokumentovat tyto trendy také v povodí Vltavy na souboru přibližně srovnatelných případů. Byly přitom vybírány povodněna úrovni> $Q_{50,}$ kterých by za 1000 let mělo být teoreticky přibližně <20.. U starších případů (do r. 1481) jsou vřazeny ty případy, které v Praze přestoupily nižší terasu VIIc, což obvykle dokumentuje dosažení chrámů sv. Mikuláš a Jiljí, Hrdlička (2001). Od roku 1481 pak povodně se stavem vyšším než 4,5 mna vodočtu „U Křížovníků“, Brázdil (2005). Tento požadavek splňují podle nynějších poznatků případy 1118(9),1272(3),1273(8),1336 (?), 1342(3), 1359(9), 1367(3), 1370(8), 1432(3),1432(7),1501(8), 1598(8), 1598(3), 1655(2), 1675(6), 1784(2), 1799(2), 1845(3), 1862(2),1890 (9) a 2002(8). Je to tedy celkem 21 případů a je pravděpodobné, že nastavené kriterium je o něco níže než Q_{50} .

Podle grafu (obr. 1) byly velké či katastrofální povodně v Praze v období MWP (1150-1300) převážně letního charakteru. Období 14. a částečně 15. století je vcelku vyrovnané co do počtu zimních i letních případů. Návrat spíše k letním povodním je zřetelný v 16. století, kdy navíc převažují letní povodně nejen mezi extrémními případy, ale absolutně. Období LIA (1550-1850) přineslo řadu katastrofálních zimních povodní. Zprávy o povodních z let 1784, 1785, 1799, 1830 nebo 1845 (1785 a 1830 nejsou zařazeny do souboru) přinášejí informaci o extrémních zimách, spojených s ledovými jevy (přes 50cm silný led), které ve 20. století (vyjma roku 1929) nebyly zaznamenány. Jediným příkladem byla zimní povodeň v roce 1940, která však nedosahovala významu zmíněných katastrofálních povodní Q_{50}.



Obr.1 Vývoj sezonality velkých povodní
Obr. 1 Changing sezonality of Prague floods

V posledních 130 letech byly zaznamenány pouze dvě povodně na úrovni 100-leté události. Pokud přibereme i povodně na úrovni Q_{50} popřípadě i Q_{30} pak od 70. 19. století byly zaznamenány 4 letní (1872, 1890, 1954-bez vlivu kaskády, 2002) a jedna zimní povodeň (1940). Zdá se tedy, že v posledních 130 letech mají mezi významnějšími případy opět vyšší frekvenci povodně letní. Je také možné konstatovat, že povodí Vltavy je zjevně náchylné na kolísání klimatu, která posiluje zimní či letní vrchol sezonality jeho povodní. Přitom je pravděpodobné, že tato situace nemusí odpovídat u jiných a zejména větších povodí, kde tato „citlivost" je menší.

Frekvence povodní ve vztahu k obdobími minim sluneční aktivity

Diskutovaným problémem jsou i období minim sluneční aktivity, ovlivňované nepravidelnostmi pohybu slunce (solar inertial motion). Souvislostí mezi specifiky slunečního pohybu a obdobími minim sluneční aktivity prokázala Charvátová (2000). Tato období jsou obvykle spojena s výskytem extrémních jevů ať už geofyzikální či meteorologické podstaty. Ačkoliv souvislost povodní a projevů klimatu není jednoduchá, je jistě vhodné vřadit vybrané povodně do specifikovaných období a zabývat se hypotézou o vlivu solárního cyklu na frekvenci povodní. Zkoumejme tedy stejný soubor povodní výše uvedený.

Z hlediska období minim sluneční činnosti spadají povodně 1272, 1273,1336, 1342 do Wolfova minima (1270-1350). Do následujícího Spörerova minima (1430-1520) spadají katastrofální letní povodně v letech 1432 a 1501. Období Maunderova minima (1645-1715) zahrnuje zimní povodeň roku 1655 a letní roku 1675. Na hranici Daltonova minima (1787-1843) je povodeň roku 1784 a spadá do něj povodeň roku 1799, 1830. Za hranicí období je povodeň roku 1845. Posledním obdobím zatím bez jména je perioda (1985-2040). Do této periody spadají jak velká moravská povodeň roku 1997, tak povodeň roku 2002. Podle Charvátové(2000) představuje úplný přírodní solární cyklus 179 let , z čehož posledních 50 let je období pravidelného pohybu (trefoil pattern-trojlístek, podle trajektorie smyčkovitého pohybu) spojeného přibližně s příznivějším klimatem. Období nepříznivých (prvých) 130 let tohoto cyklu počínající v posledním tisíciletí roky 1241, 1420, 1598, 1777 a 1956. Tato období zahrnují všechny zde jmenované velké vltavské povodně včetně případů 1845 a 1862. Můžeme uzavřít, že alespoň v povodí Vltavy představuje 130-leté období slunečního cyklu podstatně větší riziko pro výskyt katastrofálních povodní, než následující příznivé období 50-leté. Posledním takovým obdobím by bylo období 1907-1955. Zde je nutné říct, že i v něm se vyskytly výraznější povodně v letech 1920, 1938 nebo 1940. Končilo povodní roku 1954 v povodí Dunaje velmi významnou. Závěrem je nutné zdůraznit, že přiřazení bylo provedeno pouze v povodí Vltavy a nejde zatím zevšeobecnit.

Závěr

Sezonalita povodní povodí Vltavy, horního Labe a další středoevropských toků má dva vrcholy. Přirozené a také případně člověkem ovlivněné kolísání klimatu vede zjevně k posílení jednoho z povodňových typů, buď letního či zimního. Tento aspekt frekvence povodní se projevuje zejména u velkých katastrofických povodní s velkým plošným rozsahem jako byly letní případy v roce 1118, 1432, 1501, 1598, 1890 a 2002, nebo zimní případy v letech 1342, 1598, 1655, 1784, 1799, 1845a 1862. Pozoruhodná je i vazba frekvence velkých povodní na pravidelná období nepravidelného pohybu slunce projevující se v častějších extrémech vulkanické činnosti a extrémech počasí vůbec.

Tento poznatek může hrát roli obzvláště v době probíhající klimatické změny ať už je podíl člověka na ní jakýkoliv. Je zároveň momentem, který zdůvodňuje další analýzu historických povodní.

Literatura:

Brázdil R. , Dobrovolný P., Elleder L., Kakos V. , Kotyza O. , Květoň V., Macková J., Štekl V., Tolasz R. Valášek H. (2004) : Historické a současné povodně v České republice, Masarykova Univerzita v Brně a Český hydrometeorologický ústav v Praze, Brno a Praha, 2004 (rukopis)

Boháč M. Řičica J. (1995): Režim povodní v profilu Děčín na Labi in: Sborník odborného semináře Povodňová ochrana na Labi-Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, ČHMÚ, Povodí Labe a.s., Praha,s. 125-138

Fügner D. (1995) Hochwasserkatastrophen des Elbestromes in Sachsen in: Sborník odborného semináře Povodňová ochrana na Labi-Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, ČHMÚ, Povodí Labe a.s., Praha,s. 56-70

Hrdlička J. (2001): Jak se měnila a rostla středověká Praha in: Neživá příroda Prahy a jejího okolí (Kovanda et. al), Praha, Academia, Český geologický ústav, s. 209-212

Hladný J. (1995): Odhad vývoje povodňových situací analýzou historických případů in: Sborník odborného semináře Povodňová ochrana na Labi-Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, ČHMÚ, Povodí Labe a.s., Praha, s. 161-183

Charvátová I. (200) Can origin of the 2400-yer cycle of the solar activity be caused by solar inertial motion?, Annales Geophysicae, EGS-Springer-Verlag 2000, s. 399-405

Glaser R. (2001): Klimageschichte Mitteleuropas, 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen,Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, s. 227

Kulasová B., Kakos V., Votavová B., Boháč M. (1998) : Analýza hydrologických aspektů vzniku povodní na Vltavě, ČHMÚ, Praha, s. 22

SCHOPNOSŤ VODNEJ NÁDRŽE ORAVA ZABEZPEČIŤ POŽADOVANÝ ODBER VODY ZA ZMENENÝCH KLIMATICKÝCH PODMIENOK

Halmová Dana

Cieľom predloženého príspevku je zistiť do akej miery by prítok do nádrže ovplyvnený klimatickými zmenami zmenil zabezpečenosť určitého odberu vody z nádrže. Odber vody z nádrže bol vopred definovaný ako reálny odber vody počas obdobia 1951-1980. Úlohou bolo zistiť ako by bola nádrž schopná zabezpečiť tento reálny chronologický rad v prípade zmeneného prítoku do nádrže a tiež v prípade zmeny minimálnej prevádzkovej hladiny v nádrži (t.j. zmeny zásobného objemu nádrže). Schopnosť nádrže zabezpečiť daný odber vody za zmenených podmienok (zmeny definované klimatickým scenárom; zmeny požadovanej minimálnej prevádzkovej hladiny v nádrži) je vyjadrená:

- *časovým priebehom objemu nedodanej vody za zmenených podmienok,*
- *časovým priebehom porúch (trvanie obdobia s nižšou dodávkou vody ako požadovanou),*
- *celkovou zabezpečenosťou objemu dodanej vody (za obdobie 30 rokov),*
- *celkovou zabezpečenosťou doby bezporuchovej prevádzky (za obdobie 30 rokov).*

Klimatické zmeny pre časové horizonty 2030, 2075 definoval scenár CCCM2000, jeden z najnovších scenárov klimatických zmien.

Simulovaný odtok z povodia, tak ako aj schopnosť nádrže zabezpečiť určitý odber vody z nádrže za zmenených klimatických podmienok nie sú presnou predpoveďou správania sa povodia v budúcnosti. Globálne cirkulačné modely (GCMs) rovnako ako zrážko-odtokové modely nesú v sebe prvky neistoty. Pokrok v modelovacích technikách je však stály a rýchly, takže výskum v klimatológii, hydrológii a v riadení vodného hospodárstva by mal pokračovať aj v budúcnosti.

Vyvinutý model WBMOD môže byť použitý pre alternatívne hypotetické manipulácie s rôznymi variantmi režimu odberu vody z nádrže, definovanými ako časový rad hodnôt.

Kľúčové slová: model WBMOD, vodná nádrž Orava, klimatický scenár CCCM2000

Impact of a potential climate change upon the required water supply by the Orava reservoir. *This paper presents an attempt to answer the question, how the expected climate change would influence the inflow into a multipurpose reservoir (water reservoir Orava). There is another question: Will be a reservoir able to supply a real demand for water during those climate conditions? These changes were calculated by rainfall-runoff balance model WBMOD that works with a monthly time step. The input data series of precipitation and air temperature and the observed reservoir outflows were used to express the expected changes of the total runoff and the required reservoir capacity. Input data (precipitation and air temperature) were modified in each month according to the last climate scenarios CCCM2000 estimated for the Orava reservoir catchment. Failures in the required water supply for climate change scenario were then compared with those observed during the real life reservoir operation.*

The conclusions, of course, pertain only the same water supply realised during the so far historical operation (1951-1980) of the structure. However, in relation to the changed climatic conditions, one would expect a rather significant change in management of the utilised water.

The developed tool can be of use for such alternative hypothetical reservoir operation runs with various variants of the water supply regime defined as a time series, and also for case studies for other similar water reservoirs.

The climate change impacts as presented, are not the exact forecasts. There are still uncertainties in the General Circulation Models (GCMs), as well as in the rainfall – runoff models outputs. Progress in modelling techniques for both is permanent and fast. So the research in climatology, hydrology, and in water resources management should be a continuous task also for future years and decades.

Key words: Monthly Balance Model WBMOD, Water Reservoir Orava, Climate Change Scenarios.

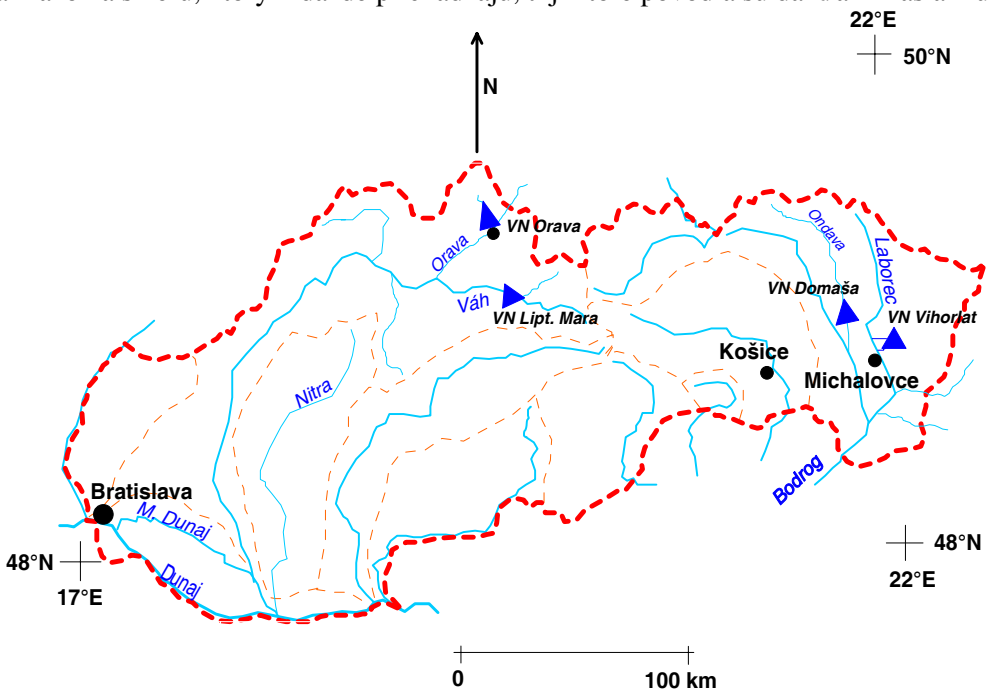
---

1. ÚVOD

V súčasnosti sa mení vodohospodárska politika SR a táto zmena so sebou prináša napr. aj zmeny v manipulácii na nádržiach. Na uspokojovanie hospodárskych a ostatných celospoločenských potrieb v rámci efektívnejšieho a racionálneho využívania vodných zdrojov, ako aj na minimalizovanie finančných požiadaviek zo štátneho rozpočtu, je nevyhnutné lepšie využitie vybudovaných vodných nádrží. Medzičasom sa zmenili požiadavky na vodu a protipovodňovú ochranu, rozšírili sa podkladové údaje (najmä hydrologické), zdokonalili sa metodické postupy vodohospodárskych výpočtov (presnejšie výpočty strát vody výparom z hladiny nádrže na základe hospodárenia s vodou), zmenili sa niektoré základné parametre nádrží (hlavne zanesenie časti priestorov nádrží).
Z hľadiska čoraz aktuálnejšej protipovodňovej ochrany sa navrhujú využiť nielen vymedzené ochranné priestory nádrží, ale aj možnosti ich zvýšenia pred vypustením zásobných objemov jednak na základe strednodobých predpovedí prítokov do nádrží (napr. na základe stavu snehovej pokrývky v povodí), ale aj podľa pravdepodobného hospodárenia s vodou v nádrži. Z dôvodov protipovodňovej ochrany je už dnes potrebné jednotne prehodnotiť aj lokality výhľadových vodných nádrží. Vodohospodárskymi možnosťami zvýšenia ochrany územia pod vodným dielom sa zaoberal aj Prof. Lukáč z STU, [LUKÁČ, 2003]. Na margo existujúcich priestorov nádrží ako celkových, tak aj ochranných i zásobných uvádza, že súčasné disponibilné objemy nádrží sa od projektovaných značne líšia. Takáto situácia je v povodiach s výraznými erózno-sedimentačnými procesmi, čo je typické pre povodia vo flyšovom pásme.

2. POVODIE VÁHU A VODNÁ NÁDRŽ ORAVA

Váh je po Dunaji najväčšia rieka na Slovensku a najväčší ľavostranný prítok Dunaja v SR (Obr. 1). Oblasť povodia Váhu zahŕňa dve čiastkové hydrologické povodia, a to Váhu a Nitry. Rozprestiera sa na západe a severe Slovenska, svojou rozlohou 11625+5144= 16969 km^2 zaberá 34% plochy celého územia Slovenska. Dôležitým prítokom Váhu je rieka Orava. Ničivá sila Váhu je známa už zo XVI. storočia. Povodne boli letné i zimné, spôsobené ľadovými zápchami. Veľkosť povodní je závislá od množstva zrážok a smeru, ktorým dažde prichádzajú, t. j. ktoré povodia sú dažďami zasiahnuté.



Obr. 1 Mapa Slovenska s vyznačenými najväčšími vodnými nádržami

Fig. 1 Map of Slovak republic with the biggest water reservoirs

Prietoky Váhu ovládajú dve kľúčové vodné nádrže Orava a Liptovská Mara. Spoločným účelom a cieľom týchto nádrží je:

- nadlepšovať prietoky Váhu na umožnenie odberu úžitkovej vody pre priemysel a závlahy,
- riediť odpadové vody,
- znížiť špičiek povodňových prietokov,
- využiť vodnú energiu toku v príslušnom úseku,
- zvýšiť objem a zabezpečenosť výroby elektrickej energie vážskych vodných elektrární,
- vytvoriť podmienky na rekreačno-športové využitie.

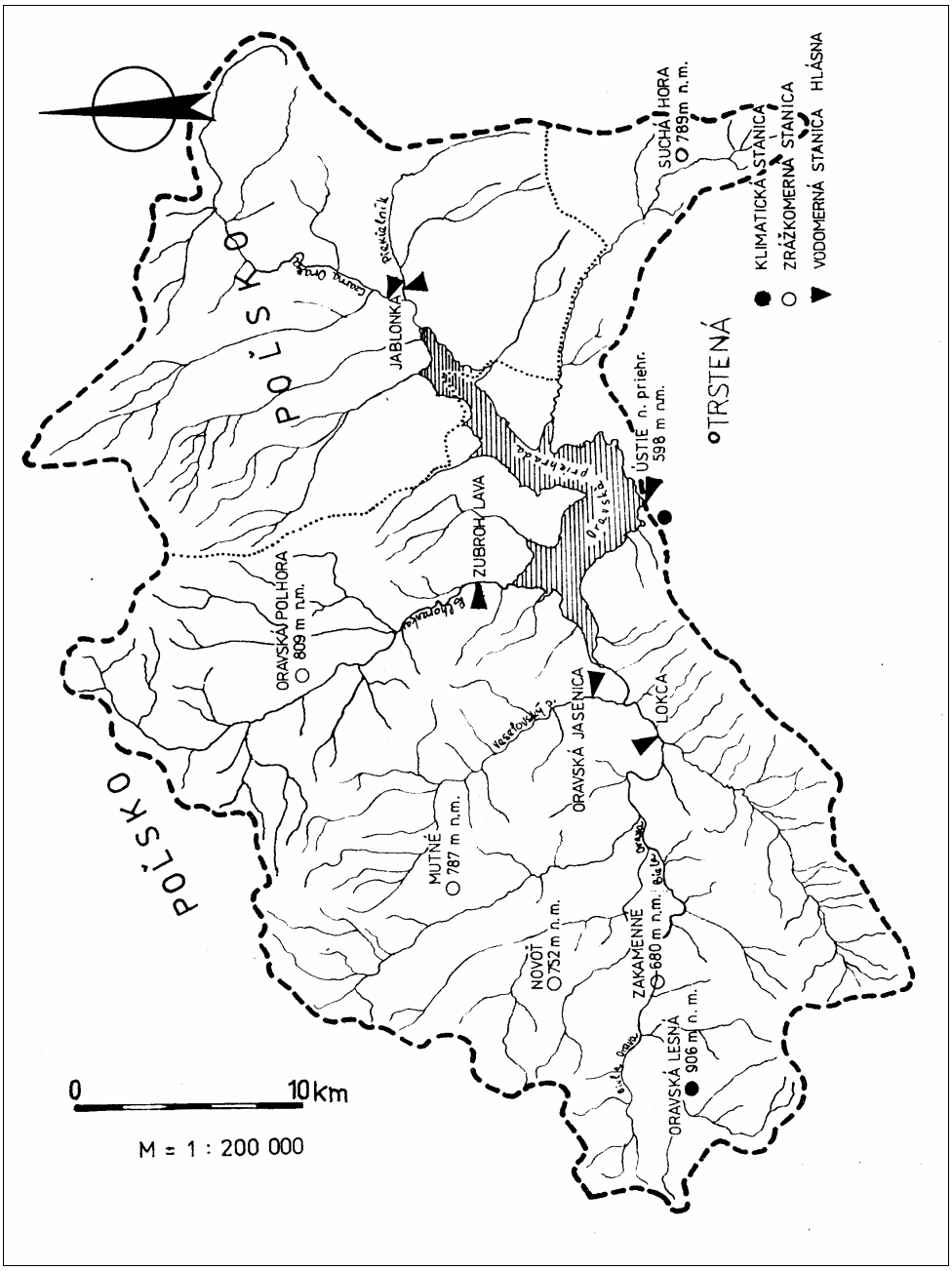
Pokiaľ nie sú na Váhu problémy so zvýšenými prietokmi, rešpektujú sa na vážských kaskádach vodných elektrární záujmy využitia vodnej energie.

2.1 Vodná nádrž Orava (VN Orava)

Sústava vodných diel Orava – Tvrdošín sa nachádza v údolí rieky Oravy, medzi Tvrdošínom a obcou Ústie nad Oravou. Tvoria ju vodné dielo Orava, ktoré bolo vybudované v rokoch 1941-1953 a vodné dielo Tvrdošín ako vyrovnávacia nádrž špičkovej vodnej elektrárne Orava, vybudovaná v rokoch 1972-1978. Vodné dielo Orava, vytvorené priehradou v Ústí nad Oravou, je vrcholovou nádržou na rieke Orava a z hľadiska celkového akumulovaného objemu je druhou najväčšou nádržou na Slovensku. Priehrada sa nachádza vo veľmi výhodnom morfologickom profile, a to pod sútokom Bielej a Čiernej Oravy. Celkový objem nádrže je V_c=346.0 mil.m^3, z toho stály objem Vs=27.3 mil.m^3, retenčný objem Vr v mesiacoch IX.-V. je 20.5 a v mesiacoch VI.-VIII. je 40.6 mil.m^3. Zásobný Vz je potom 298.1 alebo 278.0 mil.m^3.

Plocha povodia Oravskej priehrady je 1181,7 km^2 (Obr. 2), z toho 395 km^2 (40%) predstavuje les. Približne 35% plochy povodia (povodie Čiernej Oravy) sa nachádza na území Poľska. Z hydrologického hľadiska je priaznivou skutočnosťou, že takmer celé povodie je bohaté na zrážky, ktorých priemer prekračuje 1000 mm (v priehradnom profile 1024 mm) ročne. Z toho vyplýva relatívne veľký špecifický odtok q – 17 l.s^{-1}.km^{-2}. Na druhej strane je nevýhodou veľká rozkolísanosť prietokov.

Zrážky: V ročnom priebehu pripadá minimum zrážok prevažne na december a len v ojedinelých prípadoch na február. Zrážkové maximum sa vyskytuje v júli resp. v auguste. Pre tvorenie jarného odtoku nadobúdajú veľkú dôležitosť zimné zrážky.
Teplota vzduchu: Na rozdelení teploty vzduchu sa uplatňuje okrem základného vplyvu zemepisnej polohy tiež reliéf územia podobne, ako aj pri zrážkach. Najchladnejším mesiacom je január a najteplejším júl. Teplotné pomery ovplyvňujú veľkosť zimnej akumulácie, jej režim, spôsob a podiel, akým sa zúčastňuje na jarnom odtoku.
Odtok: Povodie Oravy po Oravskú priehradu je vejárovitého tvaru (α=0,42). Tento tvar a veľké sklony Bielej Oravy a prítokov v pramenných oblastiach vytvárajú priaznivé podmienky pre vytvorenie veľkých prietokových a povodňových vĺn. Odtok v jednotlivých ročných obdobiach vyjadrený v % je: zima – 16,2%, jar – 39,9%, leto – 23,5%, jeseň – 20,4%. Najvyššie mesačné odtoky sa vyskytujú na hornej Orave prevažne v apríli a čiastočne aj v marci, najnižšie mesačné odtoky v januári a februári, prípadne v auguste a septembri.



Obr. 2 Povodie VN Orava

Fig. 2 Orava reservoir catchment

3. KLIMATICKÝ SCENÁR PRE POVODIE VN ORAVA

V práci bol použitý jeden z najnovších klimatických scenárov ***CCCM2000***, pripravený Dr. M. Melom, ktorý počíta zmeny teploty vzduchu a zmeny zrážok pre jednotlivé stanice povodia VN Orava, pre časový horizont 2030 a 2075 a príslušné referenčné obdobie.

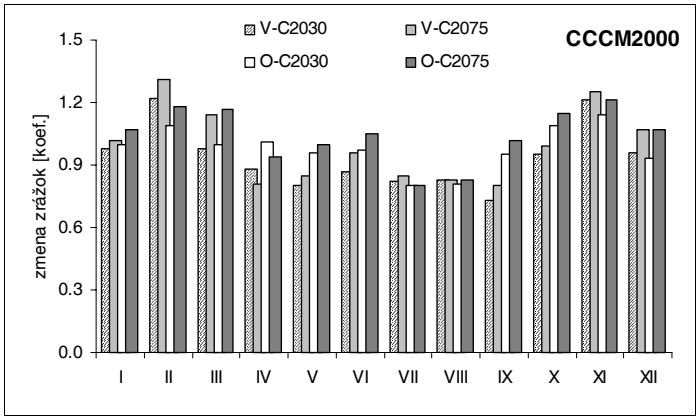
Hodnoty zmeny zrážok a teplôt pre povodie VN Orava boli porovnané s hodnotami pre povodie VN Vihorlat. Tieto dve nádrže sa nachádzajú v rôznych klimatických oblastiach Slovenska, VN Orava na severe Slovenska a VN Vihorlat v južnej časti východného Slovenska. Hodnoty zmeny zrážok a teplôt podľa scenára CCCM2000 sú spracované v tabelárnej forme (Tab. 1) a graficky (Obr. 3, Obr. 4).

Zmena mesačných úhrnov zrážok v povodí VN Orava dosahuje vyššie hodnoty v mesiacoch III.-VI. a IX (X.). Čo sa týka zmien teploty vzduchu sú predpokladané vyššie hodnoty v mesiacoch I.-III.,V. a VIII.

Tab. 1 Klimatický scenár CCCM2000 zmeny teplôt a zrážok pre povodia VN Vihorlat a VN Orava

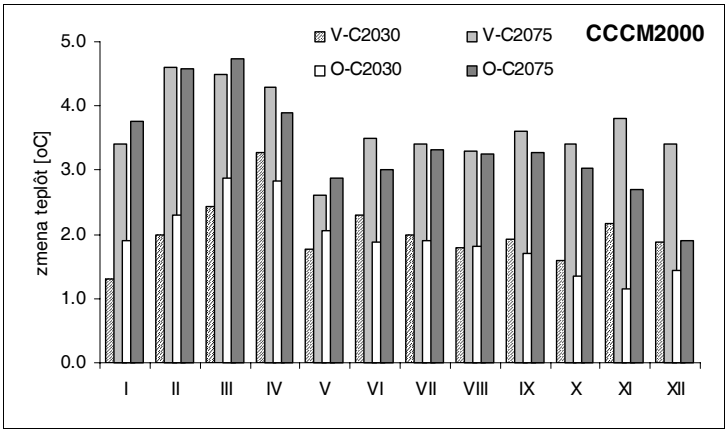
Tab. 1 Climate scenario CCCM2000 of temperature and precipitation changes for VR Vihorlat and VR Orava

Klim. scenár Povodie	**zmena [ºC]**	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**
CCCM2000	**2030**	**1.3**	**2.0**	**2.43**	**3.27**	**1.77**	**2.3**	**2.0**	**1.8**	**1.93**	**1.6**	**2.17**	**1.87**
VN Vihorlat	**2075**	**3.4**	**4.6**	**4.5**	**4.3**	**2.6**	**3.5**	**3.4**	**3.3**	**3.6**	**3.4**	**3.8**	**3.4**
CCCM2000	2030	1.90	2.31	2.88	2.83	2.06	1.88	1.90	1.81	1.71	1.35	1.15	1.44
VN Orava	2075	3.77	4.59	4.73	3.89	2.87	3.00	3.31	2.26	3.28	3.04	2.71	2.91
Klim. scenár Povodie	**zmena [koef.]**	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**
CCCM2000	**2030**	**0.98**	**1.22**	**0.98**	**0.88**	**0.8**	**0.87**	**0.82**	**0.83**	**0.73**	**0.95**	**1.21**	**0.96**
VN Vihorlat	**2075**	**1.02**	**1.31**	**1.14**	**0.81**	**0.85**	**0.96**	**0.85**	**0.83**	**0.8**	**0.99**	**1.25**	**1.07**
CCCM2000	**2030**	1.00	1.09	1.00	1.01	0.96	0.97	0.80	0.81	0.95	1.09	1.14	0.93
VN Orava	**2075**	1.07	1.18	1.17	0.94	1.00	1.05	0.80	0.83	1.02	1.15	1.21	1.07



Obr. 3 Porovnanie zmeny mesačných úhrnov zrážok [koef.] pre VN Vihorlat (V) a VN Orava (O) podľa klimatického scenára CCCM2000 pre oba časové horizonty

Fig. 3 Changes of monthly precipitation totals [coeff.] for the Vihorlat and Orava reservoirs according to climate scenario CCCM2000, for both time horizons



Obr. 4 Zmeny priemernej mesačnej teploty [ºC] pre VN Vihorlat (V) a VN Orava (O) podľa klimatického scenára CCCM2000, pre oba časové horizonty

Fig. 4 Changes of mean monthly temperature (a) in [ºC] for the Vihorlat and Orava reservoirs according to climate scenario CCCM2000, for both time horizons

4. METODICKÝ PRÍSTUP

Mesačné bilančné modely (alebo mesačné zrážkoodtokové modely) na báze povodia sú vhodné pre plánovanie a kontrolu systémov vodných zdrojov. Mesačný časový krok je obzvlášť vhodný pre systémy zásobovania vodou (pitnou alebo priemyselnou, závlahy, zmiernenie nízkych prietokov, zásobovanie vodnou energiou a pod.).
V práci bol použitý model, ktorý vychádzal z modelu vyvinutého na V.U.B. Pôvodný model bol použitý pre povodia v rôznych fyzicko-geografických regiónoch, rôznych klimatických oblastiach často veľmi odlišných. Navyše pre jednotlivé fázy odtokového cyklu používa postupy, ktoré sú aj v našich povodiach bežne používané. Vychádzajúc z popisu modelu, bol zostavený výpočtový program pod názvom WBMOD, ktorý po odladení, úpravách a preverení v používame v tejto práci. Model bol kalibrovaný pre viaceré povodia tokov SR.
Model opisuje pohyb vody v povodí v každom mesiaci na základe zrážok a prípadne ďalších údajov ako potenciálna evapotranspirácia, teplota, vlhkosť vzduchu a pod. v mesačnom kroku. Tieto premenné sú vstupnými údajmi modelu. Model je kalibrovaný na historických údajoch vstupných a výstupných dát. Dĺžka historického radu vstupných a výstupných údajov modelu by mala byť najmenej 10 rokov.

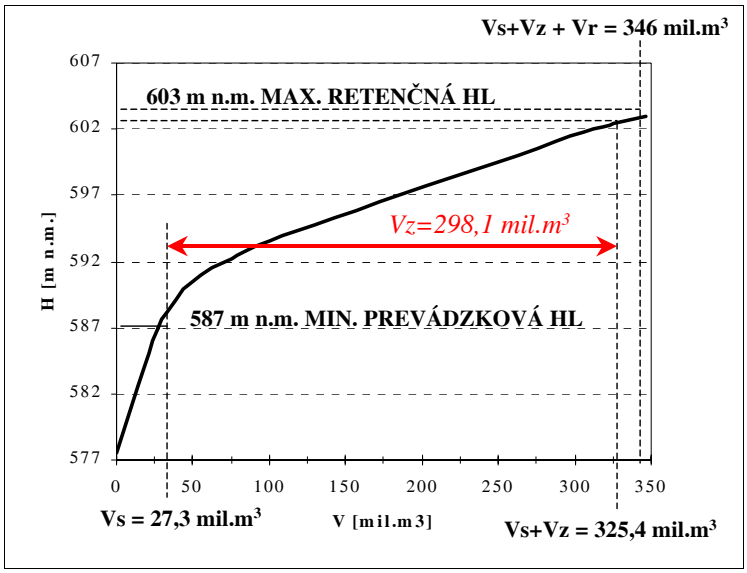
Základné vstupné údaje sú pre obdobie 1951-1980 a povodie VN Orava nasledovné:
- údaje o povodí: *veľkosť povodia VN Orava [km^2]*,
- priemerné mesačné prietoky v stanici *[$m^3.s^{-1}$]*: *Lokca, Zubrohlava, Jasenica, Jablonka (tok Čierna Orava), Jablonka (tok Piekelník),*

Odtok z častí povodia, ktoré nie sú zahrnuté v prietokoch spomenutých staníc bol vyčíslený na základe analógie so 4 stanicami podľa pomeru prislúchajúcich plôch povodia.
- mesačné úhrny zrážok v staniciach *[mm/mes.]*: *Lokca, Novoť, Oravská Lesná, Oravská Polhora, Zakamenné, Trstená,*
- priemerné mesačné teploty v staniciach *[°C]*: *Oravská Lesná, Oravská Polhora, Trstená,*
- údaje o nádrži Orava:
  zásobný objem [mil.m3],
  predefinovaný konštantný odber z nádrže [$m^3.s^{-1}$],
  odber z nádrže v mesačnom kroku počas základného obdobia [$m^3.s^{-1}$].

Pre zadefinovanie možných klimatických zmien sme mali k dispozícii najnovšie klimatické scenáre [MELO, 2003; osobná komunikácia], vypracované pre klimatické stanice povodia Oravy, ktoré sme použili pri výpočte zmeneného odtoku z povodia.
Chronologický rad skutočných historických odberov z nádrže nebol k dispozícii. Pri určovaní priemerných mesačných odberov z nádrže za 30-ročné obdobie prevádzky sme vychádzali z chronologického radu prietokov v hydrometrickej stanici Tvrdošín, poskytnutých SHMÚ.

Práca VN Orava za dobu od jej uvedenia do prevádzky (v roku 1951) sa značne odlišuje od schémy, orientovanej na konštantný odber. Účelom VN je najmä nadlepšiť nízke prietoky Oravy a Váhu na energetické využitie, priemysel a zadržanie špičiek povodňových prietokov. V súčasnosti je VN Orava využívaná aj na rekreačné účely čo si vyžaduje v letnom období určitú minimálnu výšku hladiny v nádrži. Z týchto dôvodov bolo vhodné zistiť, do akej miery by prítok do nádrže ovplyvnený klimatickými zmenami zmenil zabezpečenosť takého odberu vody, aký sa reálne uskutočnil od doby výstavby nádrže, teda za už spomínané obdobie 1951-1980. Aj pre túto nádrž boli vypracované klimatické scenáre podľa najnovšej verzie klimatického scenára CCCM2000 [MELO, 2003; osobná komunikácia]. Tieto scenáre boli použité pri výpočte zmeneného odtoku z povodia VN Orava.

Bol vypracovaný chronologický rad skutočných odberov z nádrže, ktorý bol manipuláciou na nádrži v období rokov 1951-1980 zabezpečený. Tento reálny chronologický rad predstavuje etalón, s ktorým sa porovnávali prípady zmeneného prítoku do nádrže a tiež alternatívne zmeny minimálnej prevádzkovej hladiny v nádrži (t.j. zmeny zásobného objemu nádrže).



Obr. 5 Čiara objemov VN Orava

Fig. 5 Reservoir-storage-elevation curve

Zmeny prítoku do nádrže sú uvedené v scenároch odtoku v povodí VN Orava, a to na základe klimatického scenára CCCM2000 (ďalej iba "C") a k časovým horizontom 2030 a 2075. Modelové výstupy pre časový horizont 2030 sú ďalej označované ako C1X, a pre časový horizont 2075 ako C2X. Rôzne alternatívy X (M, A až C) sú vysvetlené nižšie.

Aby bolo možné zistiť režim zabezpečenosti danej dodávky vody nádržou, uskutočnili sme viacero alternatívnych modelových behov za rôznych okrajových a počiatočných podmienok objemu vody v nádrži. Išlo len o zásobný objem alebo jeho časť, pohybujúcu sa v rozpätí minimálnej prevádzkovej (587 m n.m., 27.3 mil.m^3) a maximálnej prevádzkovej (602.4 m n.m., 298 mil.m^3 v mesiacoch IX.-V. a 601.0 m n.n., 278 mil.m^3 v mesiacoch VI.-VIII.) hladiny (Obr. 5). Tieto alternatívy sú uvedené v Tab. 2, Tab. 3. Počiatočné a okrajové podmienky v mil.m^3 (Tab. 2) nad minimálnou prevádzkovou hladinou 587.0 m n.m. a nad stálym objemom nádrže 27.3 mil.m^3 a v mm na povodie (Tab. 3). Okrajové podmienky sú rovnaké ako pri VN Vihorlat:

- ***STMA – maximálny prevádzkový objem vody v nádrži,***
- ***STMIL – minimálny prípustný prevádzkový objem v mesiacoch V.-IX.,***
- ***STMIZ - minimálny prípustný prevádzkový objem v mesiacoch X.-IV.,***
- ***SVZPO – počiatočný objem vody.***

Tab. 2 Okrajové podmienky manipulácie na VN Orava pre rôzne alternatívy výpočtu [mil.m^3]

Tab. 2 Boundary conditions of VR Orava operation [mil.m^3]

označenie alternatívy	prevádz. hlad. pri STMIL m n.m.	STMA mil.m^3	STMIL mil.m^3	STMIZ mil.m^3	SVZPO mil.m^3
C-M1	587	298.1	0	0	0
C-M2	587	298.1	0	0	0
C-1A	601.8	298.1	278.0	150.0	150.0
C-1B	599.5	298.1	250.0	100.0	100.0
C-1C	597.8	298.1	200.0	100.0	100.0
C-2A	601.8	298.1	278.0	150.0	150.0
C-2B	599.5	298.1	250.0	100.0	100.0
C-2C	597.8	298.1	200.0	100.0	100.0

Tab. 3 Okrajové podmienky manipulácie na VN Orava pre rôzne alternatívy výpočtu [mm/plocha povodia]

Tab. 3 Boundary conditions of VR Orava operation [mm/catchment area]

označenie alternatívy	**prevádz. hlad. pri STMIL** [m n.m.]	**STMA** [mm]	**STMIL** [mm]	**STMIZ** [mm]	**SVZPO** [mm]
C-M1	587	252.0	0	0	0
C-M2	587	252.0	0	0	0
C-1A	601.8	252.0	235.0	127.0	127.0
C-1B	599.5	252.0	211.7	84.7	84.7
C-1C	597.8	252.0	169.3	84.7	84.7
C-2A	601.8	252.0	235.0	127.0	127.0
C-2B	599.5	252.0	211.7	84.7	84.7
C-2C	597.8	252.0	169.3	84.7	84.7

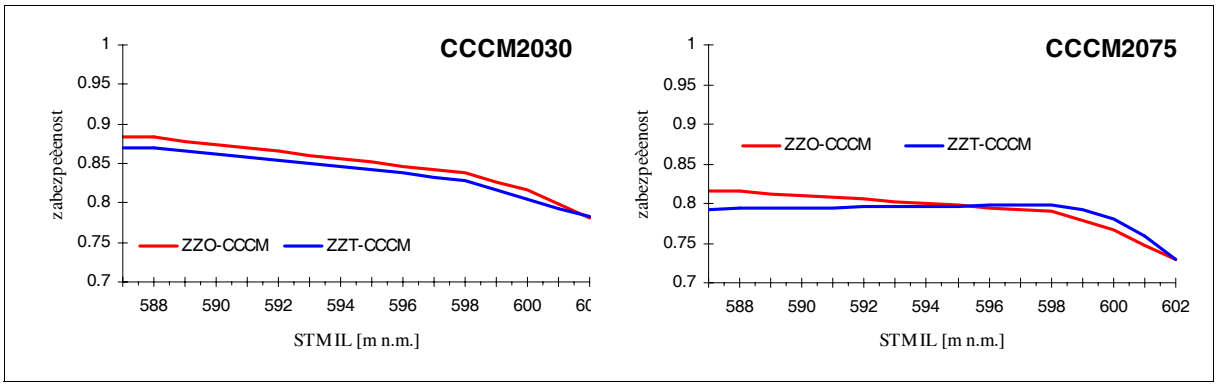
Jednotlivé alternatívy výpočtu podobne ako pri VN Vihorlat (C 1A – C, C 2A - C) sa líšia najmä minimálnou prípustnou prevádzkovou hladinou vody v nádrži v lete (pri objeme STMIL), avšak s ohľadom na skutočnosť, že VN Orava nie je v lete tak využívaná na rekreačné účely, bolo zvolených menej alternatív zmeny STMIL ako pri rovnakej štúdii pre vodnú nádrž Vihorlat.
Schopnosť vodnej nádrže zabezpečiť požadované množstvo vody (t.j. reálny odber z nádrže počas rokov 1951─1980) čo do objemu (ZZO) a trvania bezporuchovej prevádzky (ZZT) pre jednotlivé alternatívy je vyjadrená v Tab. 4. Závislosť zabezpečenosti na výške hladiny pri STMIL je zobrazená na Obr. 6.

Objemy STMIL ani STMIZ neboli obmedzené, a preto bol predpoklad, že pri alternatívach 1M (čas. horizont 2030) a 2M (čas. horizont 2075) riziko v dodávke požadovaného množstva vody nebude extrémne a zabezpečenosť tejto dodávky bude uspokojivá. Tento predpoklad sa však po aplikácii klimatického scenára CCCM2000 nepotvrdil, hodnoty zabezpečenosti výrazne klesali. Zabezpečenosť požadovaného objemu vody (ZZO) pre horizont 2030 a alternatívu C1M bola 88%, pre C2M – 81%.
Pri alternatívach výpočtu C 1-2A je minimálna letná hladina udržiavaná na svojej maximálnej prevádzkovej hladiny, čo môže spôsobiť závažné riziko v dodávke požadovaného množstva vody vodnou nádržou. Táto alternatíva je najnepriaznivejšia čo sa týka zabezpečenosti požadovaného množstva vody. Hodnoty ZZO boli pre časový horizont 2030 a pre jednotlivé alternatívy nasledovné: C1A - 78%, C2A - 73%.

Tab. 4 Zabezpečenosť danej manipulácie v objeme (ZZO) a trvaní bezporuchovej prevádzky (ZZT) pre časový horizont 2030, 2075 a klimatický scenár CCCM2000

Tab. 4 Certainty of the given water supply in amount (ZZO) and in duration of non-failure operation (ZZT) for time horizon 2030 and 2075 and climate scenario CCCM2000

časový klim. scenár	**horizont** ZZO	**2030** ZZT	**time** klim. scenár	**horizont** ZZO	**2075** ZZT
CCCM-1M	0.883	0.870	CCCM-2M	0.815	0.793
CCCM-1A	0.780	0.782	CCCM-2A	0.730	0.729
CCCM-1B	0.816	0.804	CCCM-2B	0.766	0.789
CCCM-1C	0.838	0.829	CCCM-2C	0.790	0.798



Obr. 6 Vzťah medzi zabezpečenosťou daného odberu (ZZO, ZZT) a minimálnou letnou prevádzkovou hladinou v nádrži (hladina pri objeme STMIL)

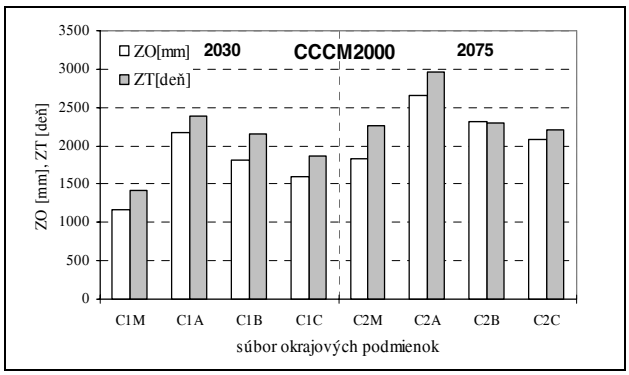
Fig. 6. Relationship between certainty of water supply (ZZO, ZZT) and minimum operating water level (water level for reservoir storage STMIL)

Celkový nedodaný objem vody a čas s nezabezpečenou požadovanou manipuláciou podľa scenárov CCCM2000 je vyjadrený v Tab. 5 a graficky znázornený na Obr. 7. Hodnoty celkového nedodaného objemu vody a času s nezabezpečenou bezporuchovou prevádzkou sú podľa klimatického scenára CCCM2000 pre časový horizont 2075 vyššie ako pre horizont 2030.

Tab. 5 Celkový požadovaný objem ZOC, celkový nedodaný objem ZO vody, celková doba ZTC a doba s nezabezpečenou dodávkou ZT za 30-ročné obdobie simulácie.

Tab. 5 Total required water supply volume ZOC, total failures in water supply volume ZO [mm], total time period ZTC and time period with non-ensured water supply ZT [day] during 30-years of simulation

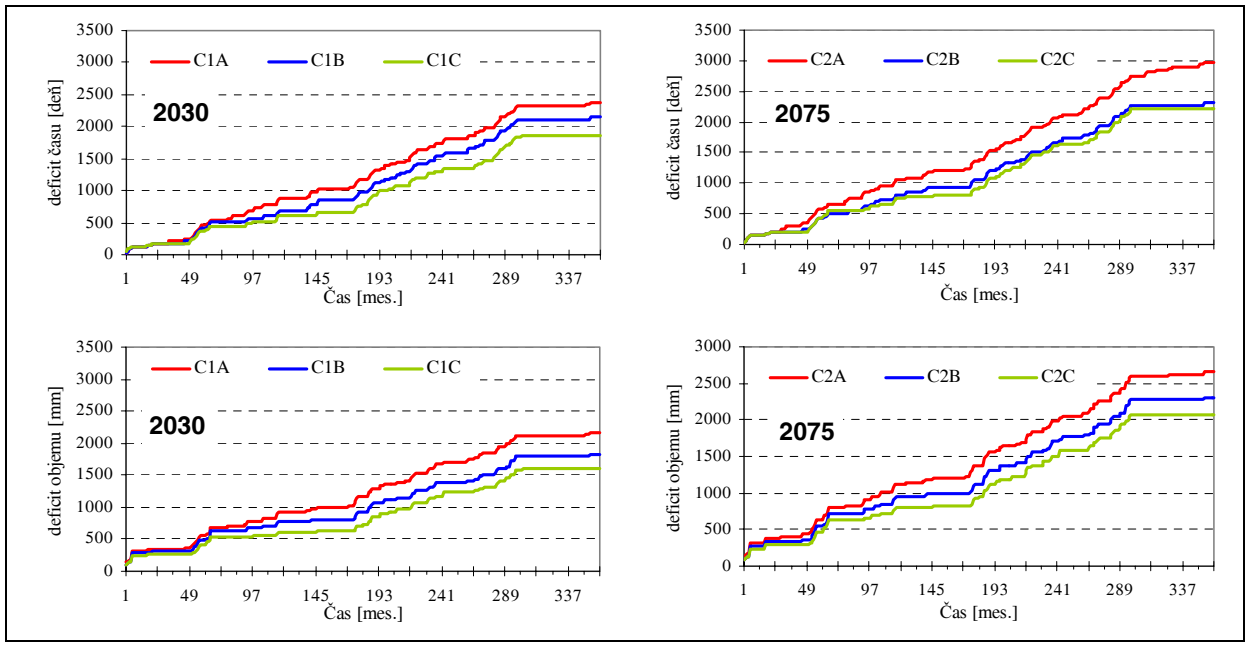
označenie alternatívy	ZOC[mm] 1971-1998	ZO[mm] CCCM2000	ZTC[deň] 1971-1998	ZT[deň] CCCM2000
C-M1	9884.6	1158.9	10950	1420
C-1A	9884.6	2172.4	10950	2383
C-1B	9884.6	1815.5	10950	2147
C-1C	9884.6	1602.0	10950	1869
C-M2	9884.6	1828.4	10950	2266
C-2A	9884.6	2664.6	10950	2966
C-2B	9884.6	2312.4	10950	2305
C-2E	9884.6	2080.6	10950	2656



Obr. 7 Celkový nedodaný objem vody (ZO) a čas s nezabezpečenou požadovanou manipuláciou (ZT) podľa scenárov CCCM2000

Fig. 7 Total not supplied water volume (ZO) and total time with failures in water supply (ZT) according to CCCM2000 climate scenario

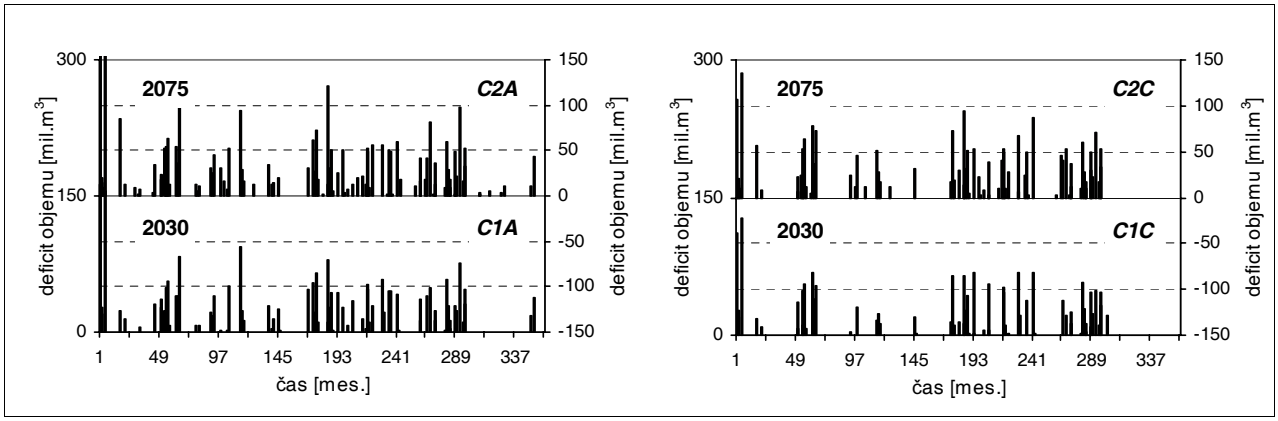
Na Obr. 8 sú vykreslené súčtové čiary nedodaného objemu vody (ZO v mm) a času s nezabezpečenou požadovanou manipuláciou (ZT v dňoch) pre obdobie 1951-1980, podľa scenára CCCM2000 a pre oba časové horizonty 2030 a 2075. Výsledky potvrdzujú predpoklad, že hodnoty nedodaného množstva vody (ZO v mm) a času s nezabezpečenou požadovanou manipuláciou (ZT v dňoch) budú podľa daného klimatického scenára CCCM2000 pre časový horizont 2075 vyššie ako pre časový horizont 2030.



Obr. 8 Súčtové čiary deficitov pre obdobie 1951-1980, rôzne alternatívy výpočtu podľa klimatického scenára CCCM2000 pre časové horizonty 2030 a 2075 [mm, deň]

Fig. 8 Cumulative curves of deficiencies for different computation alternatives [mm, day] according to climate scenario CCCM2000 and time horizons 2030 and 2075

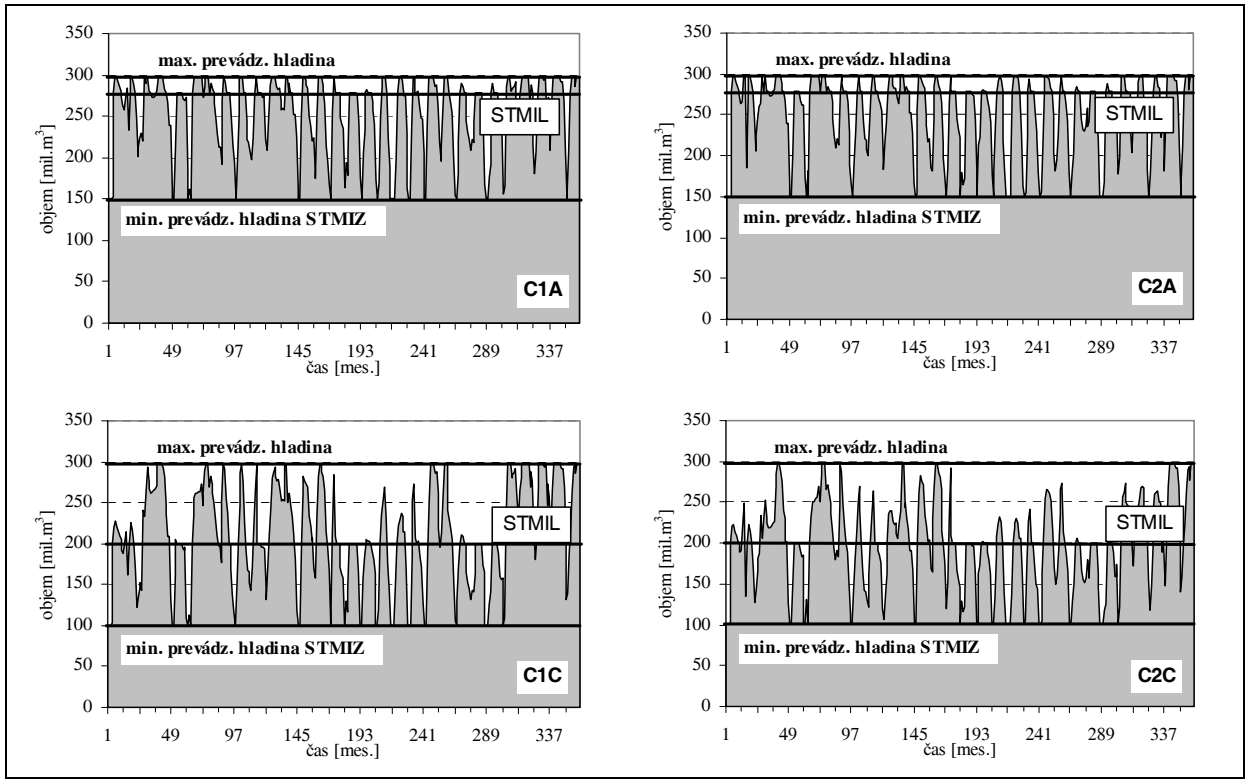
Obr. 9, na ktorom je graficky znázornený deficit objemu v mil.m^3, umožňuje porovnať rozdiely v celkovom nedodanom objeme vody (ZO) pre vybrané alternatívy výpočtu počas obdobia 1951─1980 pre klimatický scenár CCCM2000. Je zrejmé, že hodnoty nedodaného množstva vody (ZO v mm) podľa daného klimatického scenára CCCM2000 pre časový horizont 2075 sú vyššie ako pre časový horizont 2030, pre obe alternatívy výpočtu C1/2-A a C1/2-C. Rozdiely v ZO sú vyššie pre nepriaznivejšiu alternatívu C1/2-C.



Obr. 9 Deficit objemu pre rôzne alternatívy výpočtu počas obdobia 1951-1980 [mil.m^3]

Fig. 9 Storage deficiencies for different computation alternatives during 1950-1981 [mil.m^3]

Priebeh objemu vody v nádrži medzi maximálnou a minimálnou prevádzkovou hladinou nádrže počas celého 30-ročného obdobia je vykreslený na Obr. 10. Minimálnu letnú prevádzkovú hladinu (pri objeme STMIL) je potrebné zachovať v letných a minimálnu zimnú prevádzkovú hladinu (pri objeme STMIZ) v zimných mesiacoch.
V prípade VN Orava, zimná prevádzková hladina neklesla pod hladinu, ktorá zodpovedá približne tretine zásobného objemu nádrže. Deficit objemu predstavuje objem vody, ktorý nebude zabezpečený, pretože hladina vo vodnej nádrži by v lete, alebo zime poklesla pod hranicu minimálnej letnej resp. zimnej prevádzkovej hladiny.
Pri alternatívach C-1A, C-2A je minimálna letná hladina o 60 cm nižšia ako maximálna prevádzková hladina. Vzhľadom na malý rozdiel medzi týmito dvoma hladinami, deficity vody znovu môžu dosahovať najvyššie hodnoty zo všetkých troch alternatív manipulácie v nádrži.
Druhou hraničnou hladinou vo všetkých troch alternatívach je minimálna zimná hladina (pri objeme STMIZ). Z obrázku 10 je zrejmé, že na zabezpečenie požadovaného odberu vody v zimných mesiacoch, by musel objem v nádrži klesnúť pod STMIZ aj pri alternatívach C-1A, C-2A aj pri C-1C, C-2C. To znamená, že požadovaný objem vody nebol v zimných mesiacoch zabezpečený na 100%.



Obr. 10 Priebeh objemu nádrže [mil.m^3] počas celého pozorovaného obdobia 1951-1980 a pre vybrané alternatívy výpočtu

Fig. 10 Course of water storage within reservoir operation during 1951-1980 for selected alternatives of operation

5. ZÁVERY

V snahe zistiť vplyv klimatických zmien v prípade zložitejšej manipulácie na nádržiach, použila som rad skutočných odberov vodnej nádrže Orava (1951-1980). Tento rad je možné považovať za reálne požadovaný odber vody. Modelované prítoky do nádrže podľa GCM scenárov a ich transformácia nádržou, poskytujú scenáre hypotetických odberov a ich zabezpečenosti, čo do objemu a doby s bezporuchovou prevádzkou, v porovnaní s požadovaným (historickým) odberom vody z nádrže. Pri modelovaní prítoku do nádrží v zmenených klimatických podmienkach bola použitá najnovšia verzia klimatického scenára CCCM2000.

Cieľom tejto práce bolo zistiť schopnosť nádrže Orava zabezpečiť daný odber vody, definovaný ako reálny odber vody z nádrže počas obdobia 1951-1980, aj v zmenených klimatických podmienkach. Bola vyčíslená zabezpečenosť danej manipulácie v objeme a trvaní bezporuchovej prevádzky pre časové horizonty 2030 a 2075 a klimatický scenár CCCM2000.
Vzhľadom na geografickú polohu VN Orava, táto vodná nádrž nie je tak intenzívne využívaná na rekreačné účely počas letných mesiacoch ako VN Vihorlat, boli okrajové podmienky manipulácie na VN Orava vypracované v štyroch alternatívach. Bol vyhodnotený vzťah medzi zabezpečenosťou daného odberu vody a minimálnou letnou prevádzkovou hladinou v nádrži. Čo sa týka zabezpečenosti podľa scenára CCCM2000 je zrejmé, že hodnoty zabezpečenosti daného odberu sú nízke, a v prípade časového horizontu 2075 sa medzi hladinami 587 m n.m. 598 m n.m podstatne nelíšia.
Pri najoptimistickejších alternatívach výpočtu C/G-1M, C/G-2M, kedy je na manipuláciu na nádrži k dispozícii celý zásobný objem (objem medzi min. a max. prevádzkovou hladinou) je zrejmý výrazný pokles zabezpečenosti odberu vody čo do objemu aj čo do trvania po aplikácii scenára CCCM2000. Pre časový horizont 2030 zabezpečenosť nedosahuje ani 90%, pre časový horizont 2075 je zabezpečenosť objemu 81.5% a zabezpečenosť bezporuchovej prevádzky iba 79%.

Výsledky simulácií riadenia odtoku v podmienkach zmien klímy vodnou nádržou Orava boli spracované z pohľadu nárokov na odber vody a priority jej užívateľov v období 1951-1980. Do akej miery sa tieto nároky a priority v budúcnosti zmenia, sa v tejto práci neriešilo.

Vyvinutý model WBMOD môže byť použitý pre alternatívne hypotetické manipulácie s rôznymi variantmi režimu odberu vody z nádrže, definovanými ako časový rad hodnôt. Vypracovať alternatívne scenáre odberu vody pre rôzne alternatívy vývoja vodohospodárskych potrieb vody a následne vyčísliť ich zabezpečenosť, by bolo potrebné urobiť pre významné nádrže, predstavujúce hlavný vodný zdroj v určitej oblasti. Scenáre klimatickej zmeny a následne určený vplyv tejto zmeny na schopnosť nádrže zabezpečiť určitý odber vody z nádrže nie sú presnou predpoveďou správania sa odtoku z povodia, resp. klímy v budúcnosti. Treba si však uvedomiť, že tak ako globálne cirkulačné modely (GCMs), tak aj zrážko-odtokové modely nesú v sebe prvky neistoty.

Literatúra

Alley W.M. (1992): On the treatment of evapotranspiration, soil moisture accounting, and aquifer recharge in monthly water balance models, Water Resour. Res. 20(8), 1137─1149.

Arnell N.W. (1992): Factors controlling the effects of climate change on river flow regimes in a humid temperate environment, J. Hydrol. 132, 321─342.

Gleick P.H. (1986): Methods for evaluating the regional hydrologic impacts of global climatic changes, J. Hydrol. 88, 97─116.

Gleick P.H. (1987): Regional hydrologic consequences of increases in atmospheric CO_2 and other trace gases. Climatic Change 10, 137─161.

Gomboš M., Staňová J. (1998): Impact of water reservoir Vihorlat on hydrological regime of river Laborec (Vplyv nádrže Vihorlat na hydrologický režim Laborca). Zb. prác SHMI 42, 11─70.

Gomboš M., Staňová J., Paveleková D. (1996): Influence of Vihorlat reservoir on the river Laborec peak flow regime. (Vplyv nádrže Vihorlat na zmenu maximálnych ročných kulminačných prietokov v Laborci). J. Hydrol. Hydromech., 44, 5, 331─345.

Halmová D. (1999a): Expected consequences of climate changes in territory of water reservoir Domaša (Očakávané dôsledky klimatických zmien v oblasti vodného diela Domaša). III. vedecká konferencia: Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia, Michalovce, Zemplínska Šírava, 78─83.

Halmová D. (1999b): Consequences of climate change in Laborec-Humenné catchment (Dôsledky zmeny klímy v povodí Laborec – Humenné). Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda – rastlina - atmosféra. VII. Poster Day, IH and GPI SAS Bratislava, 29─30.

Halmová D. (1999c): Climate change and multipurpose water reservoir Vihorlat. In: XI. Conference of young hydrologists, meteorologists and climatologists (Klimatická zmena a viacúčelová nádrž Vihorlat. Zb.: XI. konferencia mladých hydrológov a mladých meteorológov a klimatológov), Práce a štúdie 62, SHMI Bratislava, 45─57.

Halmová D. (2002a): Total reservoir capacity simulation considering various climate change scenarios. Acta Hydrologica Slovaca, IH SAS, 2, 174─184.

Halmová D. (2002b): Changes of required water reservoir capacity under conditions of potential climate change. XXI Conference of the Danube Countries, Nat. Inst. of Meteorology and Hydrology, Bucharest, 120.

Hladný J. et al. (1996) Impact of potential climate change on hydrology and water resources in Czech Republic (Dopady možné změny klimatu na hydrologii a vodní zdroje v České Republice), NCP CR No.20.

Hladný J. (1997): Impact of a potential climate change on hydrology and water resources in the Czech Republic, NCP CR No.26.

Kundzewics Z. (2003): Water and Climate – The IPCC TAR Perspective. Nordic Hydrology, Vol. 34, No.5, 387─398.

Lapin M. (1997): Climate change scenarios for Slovak Republic (Scenáre klimatickej zmeny v Slovenskej Republike), NKP 6/97, 111─117.

Lapin M. (2000): Global (regional) climate change and hydrotechnical melioration for the climatologists point of view (Globálne (Regionálne) klimatické zmeny a hydromeliorácie z pohľadu klimatológov). Zb. referátov z vedeckej konferencie, VUMKI, Bratislava.

Lapin M., Melo M. (2000): Climate Changes and Variability, Climate Change Scenarios. Životné Prostredie, Vol. 34, No.2.

Lukáč, M. (2003): Vodohospodárske možnosti zvýšenia ochrany územia pod vodným dielom počas povodní. Zb. z konf. s medzinár. účasťou "Ochrana pred povodňami a bezpečnosť vodných stavieb", 60-65.

Majerčáková O. (1997): National Climate Programme SR (NCP SR) - hydrology and water management (Národný klimatický program SR – hydrológia a vodné hospodárstvo), NCP SR No.6, 5─9.

Melo M. (2003): Klimatické modely a ich využitie na odhad klimatických zmien na území Slovenska. Dizertačná práca, Geophysical Institute, SAS, Bratislava.

Nacházel K., Přenosilová E., Toman M. (1995): Uncertainty of climate changes and their impact on water resources (Neurčitost klimatických změn a jejich dopadů na vodní zdroje). J. Hydrol. Hydromech., 43, 3, 173─196.

Přenosilová E. (1994a): Possible impacts of climate changes on water supply from reservoirs (Důsledky klimatických změn na hospodaření s vodou v nádržích). NCP CR No.16.

Přenosilová E. (1994b): Possible impacts of climate changes on water supply from reservoirs (Důsledky klimatických změn na hospodaření s vodou v nádržích). Zb.: Prognózované zmeny klímy a zmiernenie ich negatívneho vplyvu na krajinné prostredie, 148─153.

Svoboda A. (1995): Water balance model – tool for solution of climate change impact on water resources (Bilančný model odtoku z povodia - nástroj na riešenie dopadov zmien klímy na vodné zdroje). Paper on scientific seminar IH SAS.

Svoboda A. (1996): Possible impact of the global climate change upon water supply of the Vihorlat reservoir (Možný vplyv globálnych zmien klímy na zásobovanie vodou nádrže Vihorlat). Zb. II. Ved. seminára "Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia", Michalovce, Zemplínska Šírava, IH SAS, Bratislava, 104─107.

Vandewiele G.L., Xu C.Y., NI-LAR-WIN (1992): Methodology and comparative study of monthly water balance models in Belgium, China and Burma, J. Hydrol., 134, 315─347.

Shaake J.C., Liu C. (1989): Development and applications of simple water balance models to understand the relationship between climate and water resources. New Directions for Surface Water Modelling, IAHS Publ. No. 181, 343─352.

Xu C.Y., Vandewiele G.L. (1995): Parsimonious monthly rainfall-runoff models for humid basins with different input requirements, Adv. Water Resour. 18, 39─48.

Halmová Dana

Dana, Halmová, Ústav hydrológie SAV, halmova@uh.savba.sk

Poďakovanie

Štúdia bola spracovaná v rámci riešenia grantového projektu VEGA 5056 a projektu APVT 17804.

ZMĚNY ČETNOSTI VÝSKYTU EROZNĚ NEBEZPEČNÝCH DEŠŤŮ V ČESKÉ REPUBLICE

Miloslav Janeček, Eliška Kubátová, Martin Tippl

K zjišťování změn četnosti výskytu erozně nebezpečných dešťů charakterizovaných R-faktorem, který vyjadřuje intenzitu, úhrn a kinetickou energii dešťů na ztráty půdy erozí, byla využity ombrografické záznamy z pozorování na 14-ti meteorologických stanicích ČHMÚ. Ze záznamů byly vybrány deště, jejichž srážkový úhrn překračoval 12,5 mm a intenzita byla větší než 24 mm.h^{-1} za co nejdelší dobu pozorování. Z výsledků jsou patrné rozdíly místní i časové.

Klíčová slova: vodní eroze, přívalové deště, faktor erozivity

Changes in the frequency occurence of the rainfalls in the Czech Republic. *For recognition of changes in the frequency occurence of therainfalls characterized by the R-factor (expressing the rainstroms intensity, their sum and their kinetic energy influencing the soil losses due to erosion), the ombrographic data recordings from the survey on 14 meteorological stations of the ČHMÚ (Czech Hydrometeorological Institute) have been utilized. From the data recordings the rains have been selected whose sum of precipitations exceeded 12,5 mm and whose intensity was more than 24 mm.hr^{-1} in the course of the longest possible period of observations. From the data both the local and temporal differences are evident.*

Key words: water erosion - rainfalls – erosivity factor

K určování ohroženosti půdy vodní erozí se i v našich podmínkách rozšířil postup dle WISCHMEIERA, SMITHE (1965) známý ve světě, jako tzv. univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí z pozemků:

$G = R \,.\, K \,.\, L \,.\, S \,.\, C \,.\, P$ [t . ha . rok^{-1}]

kde: G - průměrná dlouhodobá ztráta půdy
R - faktor erozní účinnosti deště - vyjádřený v závislosti na četnosti výskytu, úhrnu, intenzitě a kinetické energii deště
K - faktor erodovatelnosti půdy - vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a propustnosti
L - faktor délky svahu - vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí
S - faktor sklonu svahu - vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí
C - faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu - vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice
P - faktor účinnosti protierozních opatření

Erozní účinnost (tzv. erozivita) dešťových srážek se projevuje nejvýrazněji na počátku erozního procesu, kdy dešťové kapky dopadají na půdní povrch, na kterém se ještě nestačila vytvořit vrstva povrchově odtékající vody. Z fyzikálního hlediska vykonávají dešťové kapky na půdním povrchu práci, která způsobuje rozrušování půdních agregátů, uvolňování půdních částic a zhutňování povrchové vrstvy půdy.

Většina autorů se přiklání k názoru, že deformace půdy deštěm je výsledkem přeměny kinetické energie deště v práci, kterou vykonává na povrchu půdy a proto je kinetická energie deště základní charakteristikou pro stanovení erozní účinnosti deště.

Ve výpočetní metodě dle WISCHMEIERA a SMITHE (1978) se k určení kinetické energie deště používá vztah:

$E_i = (206 + 87 \log i) \,.\, H_s$

kde E_i - kinetická energie i-tého úseku deště ($J.m^2$)
i - intenzita deště v i-tém úseku ($cm.h^{-1}$)
H_s - úhn deště i-tého úseku (cm)

přičemž i-té úseky jsou vymezeny úseky o stejných intenzitách.

Celková kinetická energie deště E je:

$$E = \sum_{i=1}^{n} E_i$$

kde E_i - kinetické energie i-tých úseků deště ($J.m^{-2}$)
n - počet úseků deště o různých intenzitách

Faktor erozní účinnosti dešťů pak definují WISCHMEIER a SMITH (1958) vztahem:

$$R = (E/100).i_{30\max}$$

kde R - faktor erozní účinnosti deště ($MJ \,.\, ha^{-1} \,.\, cm \,.\, h^{-1}$)
E - celková kinetická energie deště ($J \,.\, m^{-2}$)
i_{30} - max. 30 minutová intenzita deště ($cm \,.\, h^{-1}$)

K zjišťování dlouhodobějších změn výskytu erozně nebezpečných přívalových dešťů, charakterizovaných R-faktory, byly použity ombrografické záznamy z pozorování na meteorologických stanicích ČHMÚ. Záznamy byly převzaty v textovém editoru v digitální podobě s časovým krokem po jedné minutě. Výhodou je, že údaje jsou vybaveny číselným kódem, vyjadřujícím kvalitu záznamu – jeho úplnost a informaci o jeho případném doplnění. Patrné jsou i různé počátky a konce pozorování v jednotlivých letech.

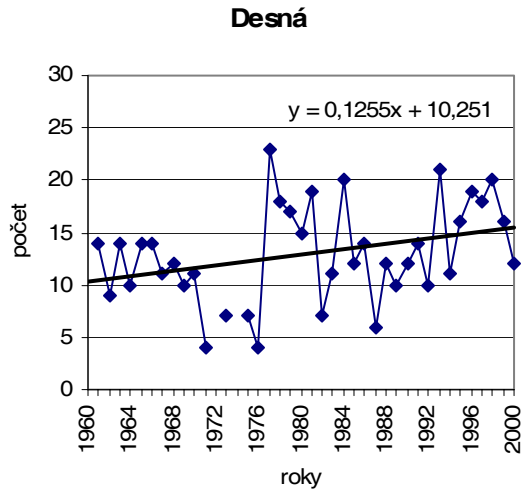
Ze záznamů byl v souladu s postupem dle WISCHMEIERA, SMITHE (1978) proveden výběr dešťů, které byly od ostatních izolovány přestávkou delší než 6 hodin a splňují následující podmínky: Jejich srážkový úhrn překračuje 12,5 mm nebo jejich intenzita je větší než 24 $mm.h^{-1}$. Při těchto deštích se předpokládá, že při nich již zpravidla dochází k odtoku vody po povrchu pozemků.

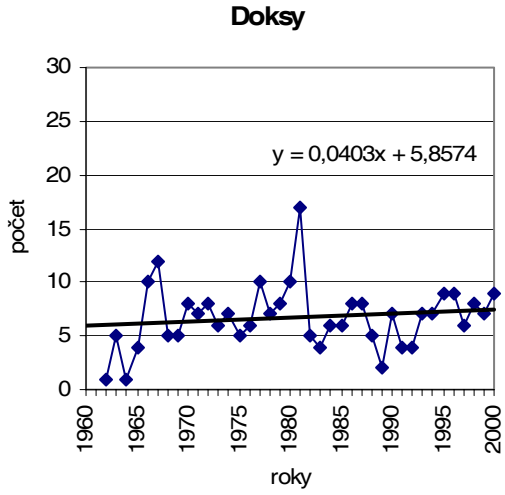
Uvedeným postupem byly získány údaje o počtu erozně nebezpečných dešťů, které se v jednotlivých letech a měsících pozorování na vybraných stanicích ČHMÚ vyskytly. Počty erozně nebezpečných dešťů za léta pozorování a jejich trendy změn jsou uvedeny v následujících grafech na obr. 1 a 2.

Pravděpodobnost jejich výskytu v jednotlivých měsících je uvedena na obr. 3.

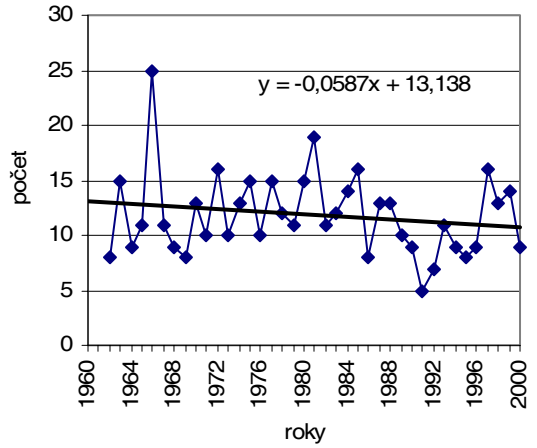
Tab. 1 : Přehled zpracovaných stanic ČHMÚ
Tab. 1: The survey of the elaborated stations of the Czech Hydrometeorological Institute

Stanice	Měřené období	Neměřené období	Počet let
Desná	1961-2000	1972,1974	38
Doksy	1962-2000		39
Horní Bečva	1962-2000		39
Cheb	1960-2000		41
Praha-Libuš	1972-2000		29
Přibyslav	1965-2000		36
Přimda	1957-1998	1991	44
Svratouch	1956-2000	1960	44
Třeboň	1923-2000	1942, 1943, 1981, 1997	74
Varnsdorf	1963-2000	1967	37
Vír	1961-2000		40
Vranov	1962-2000		39
Zbiroh	1963-2000	1965,1977	36
Židlochovice	1962-2000		39

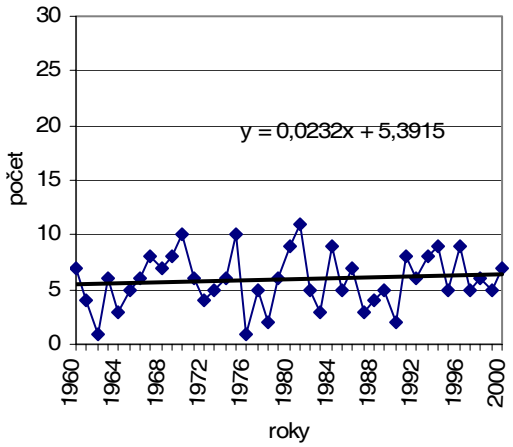




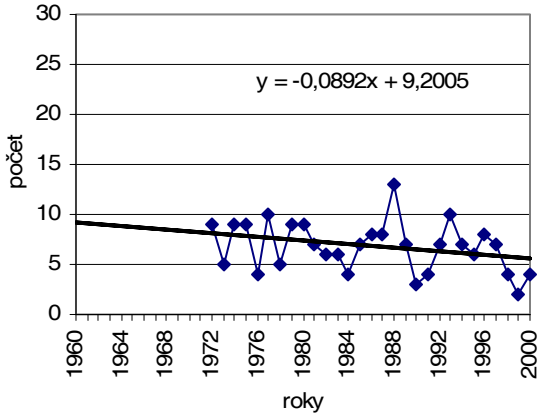
Horní Bečva



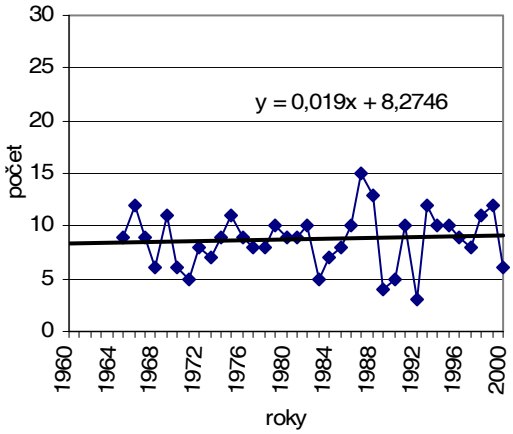
Cheb



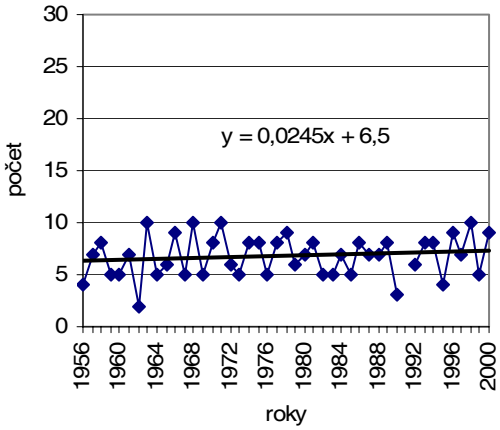
Praha - Libuš



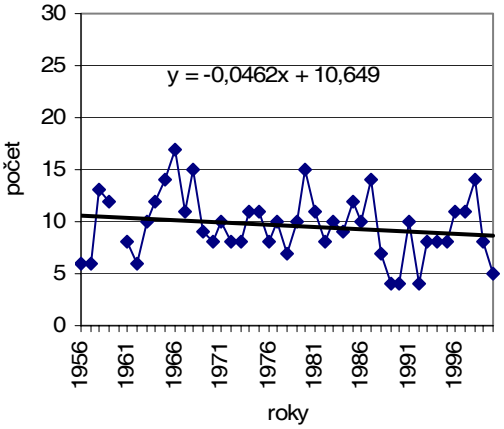
Přibyslav

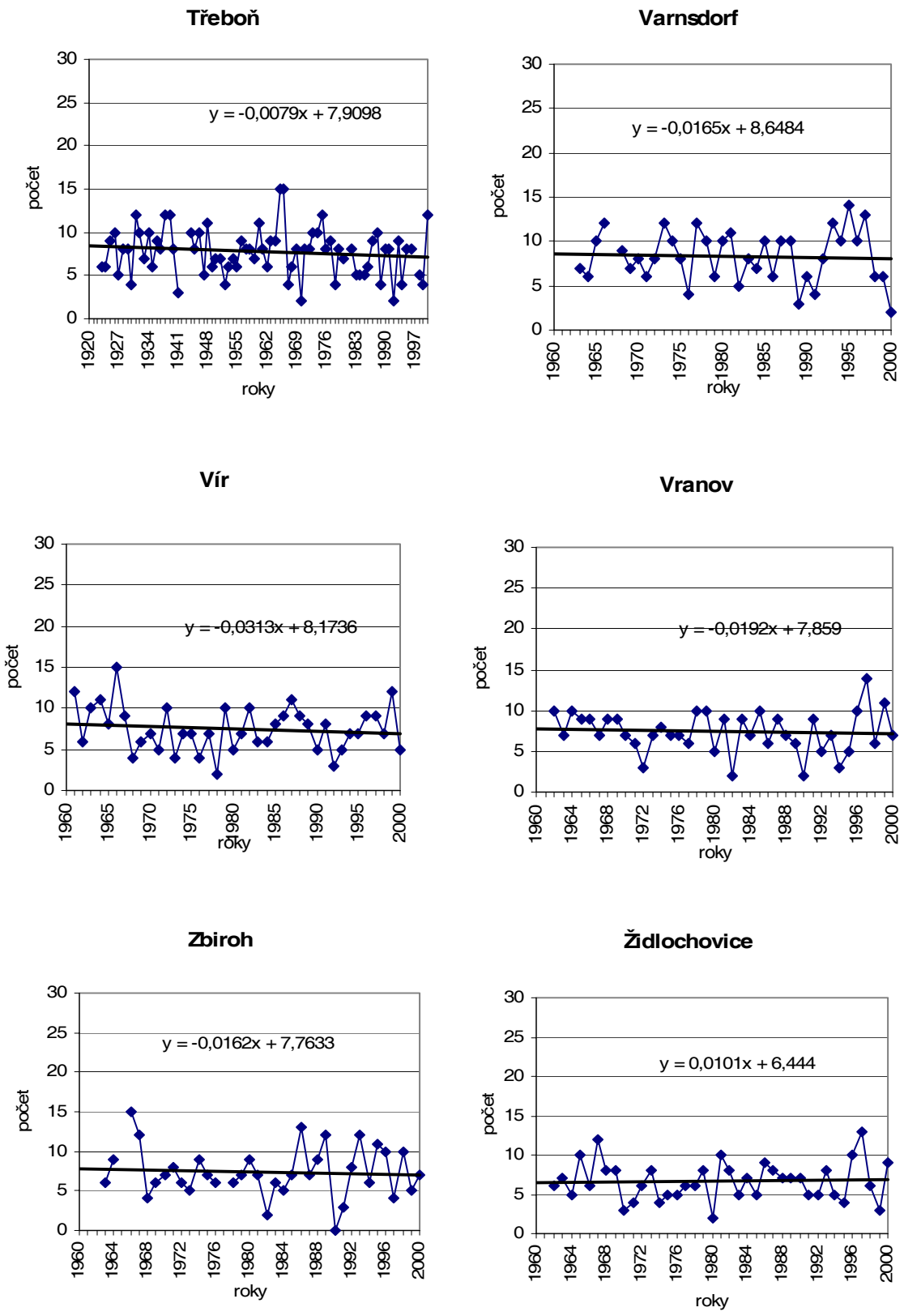


Přimda



Svratouch





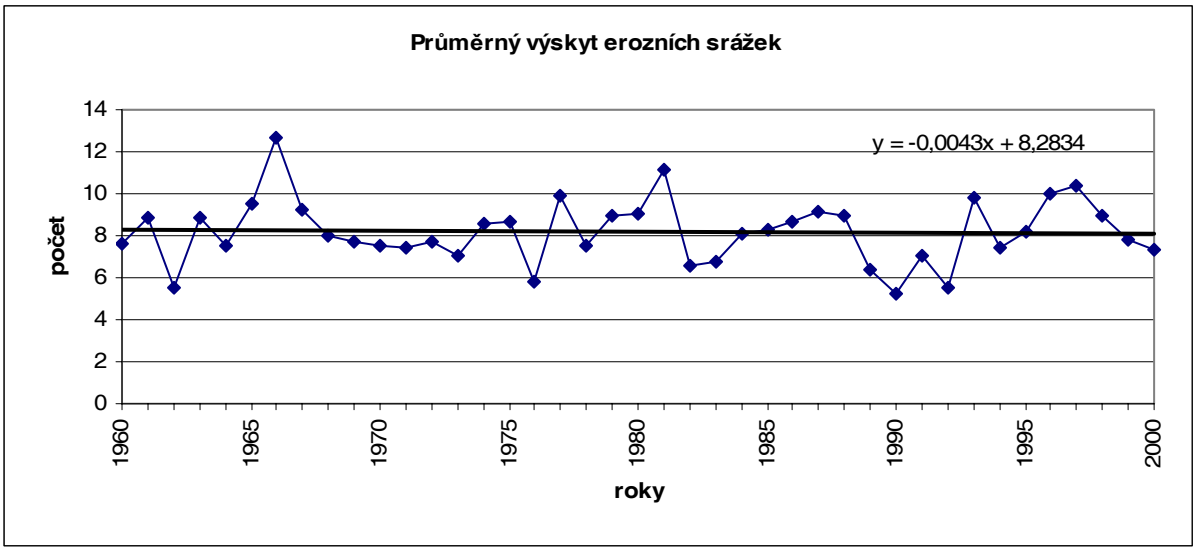
Obr. 1: Počty erozně nebezpečných dešťů a trend jejich změn na jednotlivých stanicích ČHMÚ

Fig.1: Numbers of the rainfalls and trends of their changes on the individual stations of the ČHMÚ (Czech Hydrometeorological Institute)

Z průběhu změn počtu erozně nebezpečných srážek na vyhodnocovaných stanicích ČHMÚ vyplývá, že na šesti stanicích (Desná, Doksy, Cheb, Přibyslav, Přimda a Židlochovice) byl zaznamenán ve vyhodnoceném období stoupající trend výskytu těchto srážek, zatímco na osmi stanicích (Horní Bečva, Praha – Libuš, Svratouch, Třeboň, Varnsdorf, Vír, Vranov a Zbiroh) klesající.

Za vyhodnocovaná léta se nejvíce erozně nebezpečných srážek v jednom v roce vyskytlo na stanici Horní Bečva – 25 a na stanici Desná – 23, poněkud méně -17 pak na stanicích Doksy a Svratouch; po 15-ti srážkách pak na stanicích Přibyslav, Třeboň, Vír a Zbiroh; po 14-ti ve Varnsdrofu a Vranově, po 13-ti v Praze – Libuši a Židlochovicích a nejméně v Chebu 11 a Přimdě maximálně 10 v jednom roce.

Až na stanici Zbiroh se na každé stanici vyskytl za rok alespoň jeden (Doksy, Cheb) nebo více erozně nebezpečných dešťů, minimálně dva v Praze – Libuši, Přimdě, Třeboni, Varnsdorfu, Víru, Vranově a Židlochovicích a po třech v Přibyslavi. Na stanicích Desná a Horní Bečva neklesl minimální počet erozně nebezpečných srážek pod 4 až 5 za rok. Vzhledem k tomu, že trend výskytu erozně nebezpečných srážek se na stanici Horní Bečva snižuje a na stanici Desná zvyšuje, lze očekávat, že se vyrovnají minimální a maximální počty těchto srážek na obou stanicích.

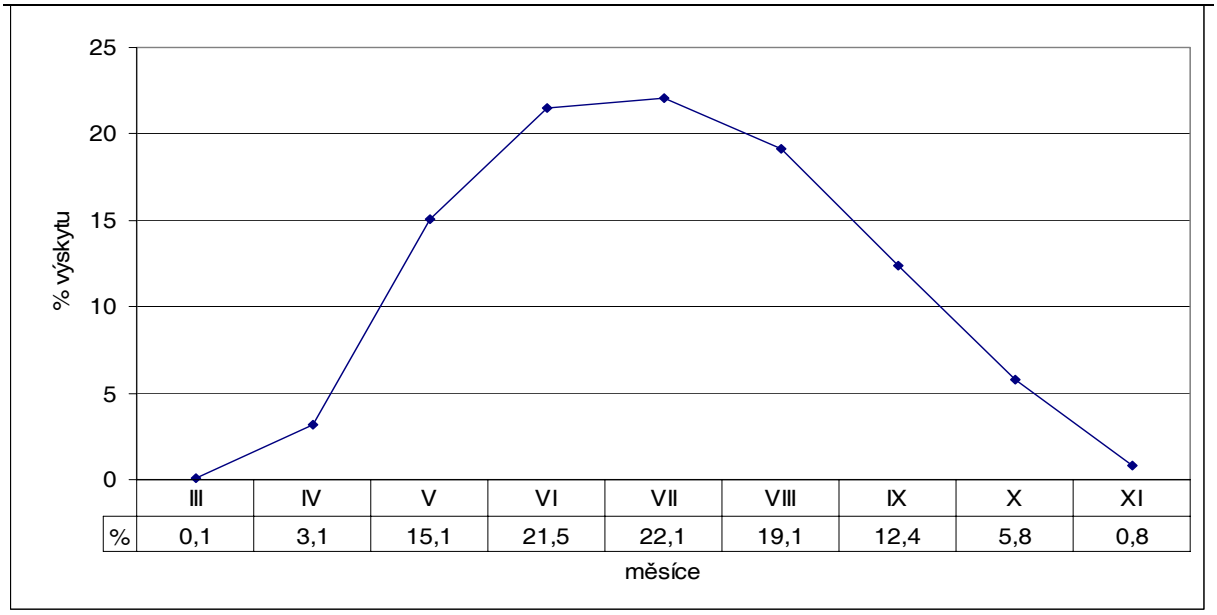


Obr. 2: Průměrné počty výskytu erozních srážek z vybraných stanic ČHMÚ v období 1960-2000

Fig.2: The average numbers of the rainfalls occurence from the individual stations data of the ČHMÚ (Czech Hydrometeorological Institute) in the course of period 1960-2000

Jak je patrné z grafu na obr. 2, celkový trend počtu erozních srážek v průměru 8 na stanici zůstává stejný a zatím prognózovanou změnu jejich počtu v důsledku probíhajících klimatických změn nepotvrzuje.

Hodnocení výskytu erozních srážek v jednotlivých měsících je zobrazeno v grafu na obr. 3. Z grafu je patrná nejvyšší četnost srážek v měsících červen, červenec a srpen.

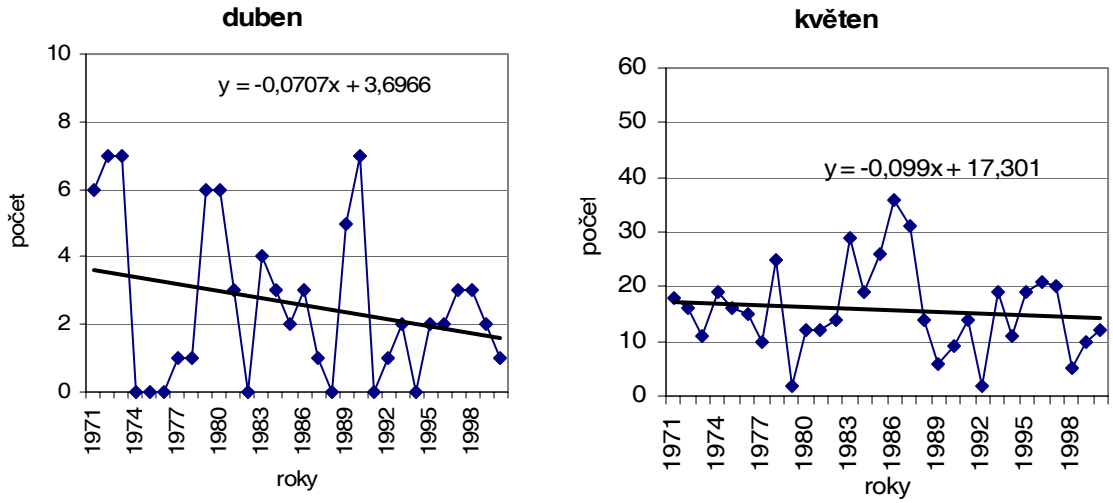


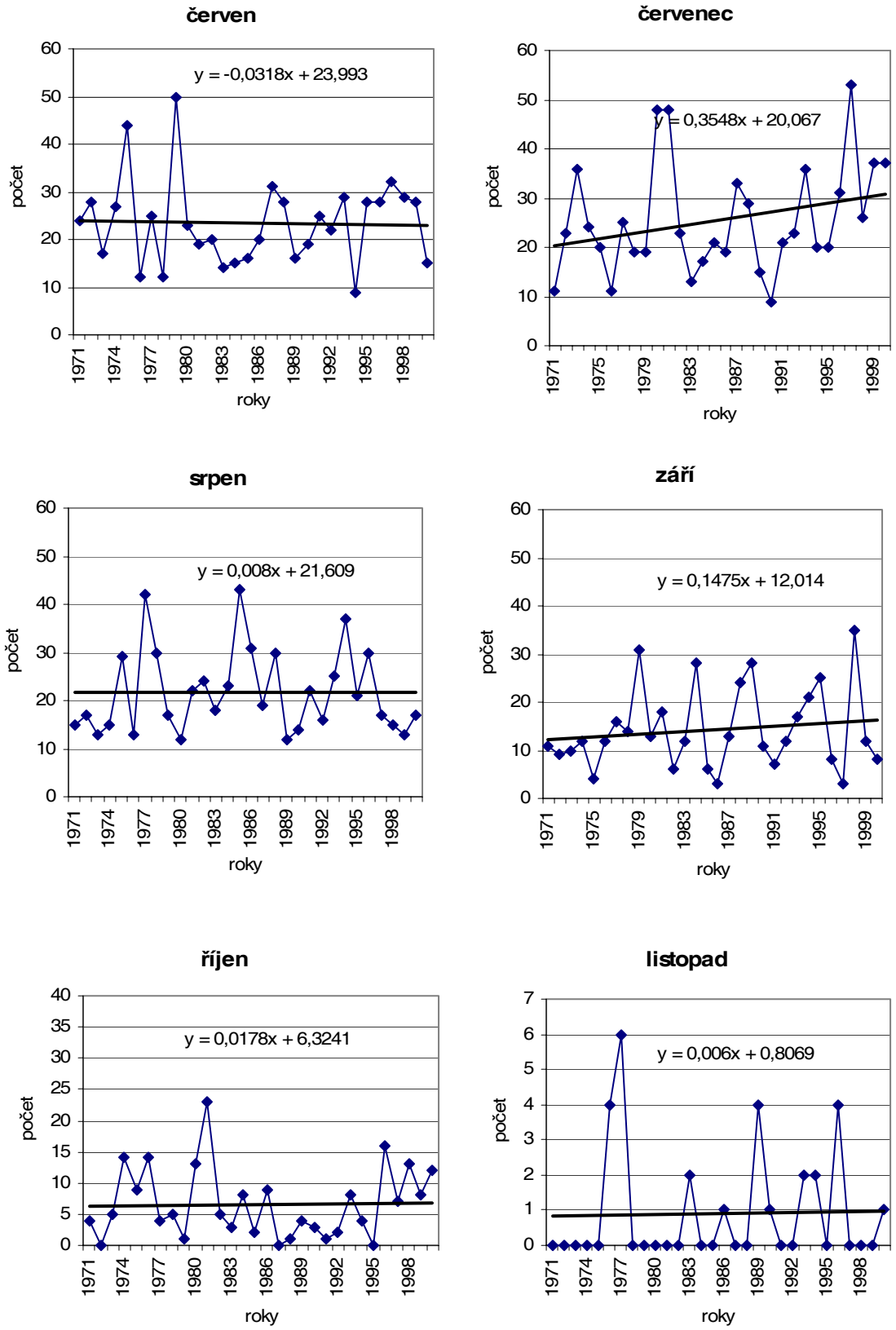
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
%	0,1	3,1	15,1	21,5	22,1	19,1	12,4	5,8	0,8

Obr. 3: Relativní četnost výskytu erozně nebezpečných srážek na vyhodnocovaných stanicích ČHMÚ v jednotlivých měsících v letech 1960-2000

Fig.3: Relative frequency of the rainfalls on the selected and evaluated stations of the Czech Hydrometeorological Institute in individual months of the period 1960-2000.

Z průběhu sledování v období let 1971 – 2000 však vyplývá, viz grafy na obr. 4, že v měsících dubnu a květnu se počet srážek mírně snižuje, v červnu, srpnu a říjnu se počty nemění a v září se mírně zvyšují. Poměrně značný nárůst počtu srážek je zaznamenán v červenci.





Obr. 4 : Počty erozně nebezpečných dešťů podle jejich výskytu v jednotlivých měsících v letech 1971 – 2000.

Fig.4: Numbers of the rainfalls in individual months of the period 1971-2000.

Závěr

Vyhodnocení výskytu erozně nebezpečných srážek na našem území na základě naměřených srážek na 14-ti stanicích ČHMÚ (do r. 2000) za období posledních ca 30-ti až 40-ti let a u stanice Třeboň za více než 70 let ukázalo, že změny počtu těchto srážek nejsou zatím nijak podstatné. Na 6-ti stanicích byl sice zaznamenán trend mírného zvyšování jejich počtu, ale oproti tomu na 8-mi stanicích byl zaznamenán pokles. Zajímavý je poměrně znatelný nárůst počtu výskytu těchto srážek v měsíci červenci. Vzhledem však k tomu, že téměř každý rok se tyto srážky na stanicích vyskytly a v některých letech i v počtu 10-ti až 20-ti i více, je nutné počítat s možným a v některých letech a lokalitách poměrně častým výskytem dešťů způsobujících zvýšený povrchový odtok a erozi zejména zemědělské půdy, a proto je nutné věnovat i zvýšenou pozornost skutečné realizaci protierozních opatření ať již organizačního, agrotechnického či technického charakteru (Janeček . 2004).

V příspěvku jsou použita data získaná z řešení projektu NAZV F 3098 „Zvyšování protierozní účinnosti pěstovaných plodin“.

Literatura

Janeček, M. a kol. (2005) : Ochrana zemědělské půdy před erozí, ISV Praha, s. 195

Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1958) : Rainfall energy and its relationship to soil loss, Am. Geoph. Union Trans., 39, č.9, s. 285 -291

Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1965) : Predicting rainfall erosion losses from cropland east of Rocky Mountains, Agricultural handbook No. 282, Washington

Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978) : Predicting rainfall erosion losses, Maryland, SEA USDA Hyatsville, 58s.

Autoři :

Miloslav Janeček a Martin Tippl, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5 – Zbraslav, janecek@vumop.cz, tippl@vumop.cz

Eliška Kubátová, Česká zemědělská univerzita, fakulta lesnická a environmentální, Kamýcká 1176,165 21 Praha 6 – Suchdol, kubatova@fle.czu.cz

ZMĚNY VE VÝVOJI ODTOKU VE VYBRANÝCH POVODÍCH HORSKÉ A PODHORSKÉ ČÁSTI ŠUMAVY

Zdeněk Kliment, Milada Matoušková

Nedávno proběhlé katastrofální povodně, které postihly Českou republiku, vyvolaly četné diskuse o negativním vlivu člověka na říční síť a následně i na změny ve srážko-odtokových poměrech. Hlavním cílem prezentované studie je objasnění příčin prokázaných změn ve vývoji srážko-odtokových poměrů ve třech modelových povodích horské a podhorské části Šumavy: povodí Vydry, Blanice a Ostružné. Změny v odtokovém režimu byly hodnoceny pomocí metody jednoduchých a podvojných součtových čar za období hydrologického pozorování. Vedle průměrných průtokových a srážkových charakteristik byly sledovány změny v rozložení odtoku během roku, v četnosti a časovém rozložení N-letých vod, v trvání a průměrné výšky sněhové pokrývky, ve vývoji průměrné teploty vzduchu. Dále byl analyzován vývoj krajinného pokryvu, antropogenní ovlivnění říční sítě a plošná odvodnění. Změny v odtoku se projevily nejvíce v povodí Ostružné. Ve 2. pol. 70. až do začátku 80. let došlo ke zřetelnému nárůstu odtoku. Nárůst odtoku je vázán na jedno z periodicky se opakujících na srážky bohatších období a koresponduje s významnými zásahy člověka do hydrografické sítě. Celý systém se od počátku 90. let pozvolna vrací k původním trendu odtoku ve vazbě na zvyšující se retenční schopnost krajiny a současné klimatické změny.

Klíčová slova: odtok, říční síť, srážko-odtokový proces, součtové čáry, vliv člověka, úpravy toků, krajinný pokryv

Runoff changes in the selected water basins in Šumava Mountains. *The floods experienced recently in the Czech Republic gave rise to numerous discussions over the changed environment and related potential impacts on the rainfall and runoff processes. The main aim of our research project was to determine the extent to which the outflow can be influenced by the human interventions in three-selected model water basins in Šumava Mountains: the Vydra river basin, the Blanice river basin and the Ostružná river basin. The outflow analyses using both the single and double mass curves over the period of the hydrologic observations were taken as a basic methodology. Beside the average discharge and the precipitation values, the outflow seasonal changes, the incidence of high water discharges, the snow cover height and duration, average air temperature trends. Analysis of land cover change, human impact on the river network and drainage areas development was applied too. The greatest deviations were widely observed within the Ostružná river basin. Obvious outflow increase was observed in the period between the 2nd half of the seventies and in the 1st half of the eighties. It has been related to the one of repeatedly coming rather humid episodes and corresponds to major human influences on the river network. The whole system came slowly back to its initial condition in the early nineties in relation to increase of landscape retention potential and to current climatic changes.*

Key words: outflow, river network, rainfall and runoff process, mass curves, human impact, river training, land cover

---

ÚVOD

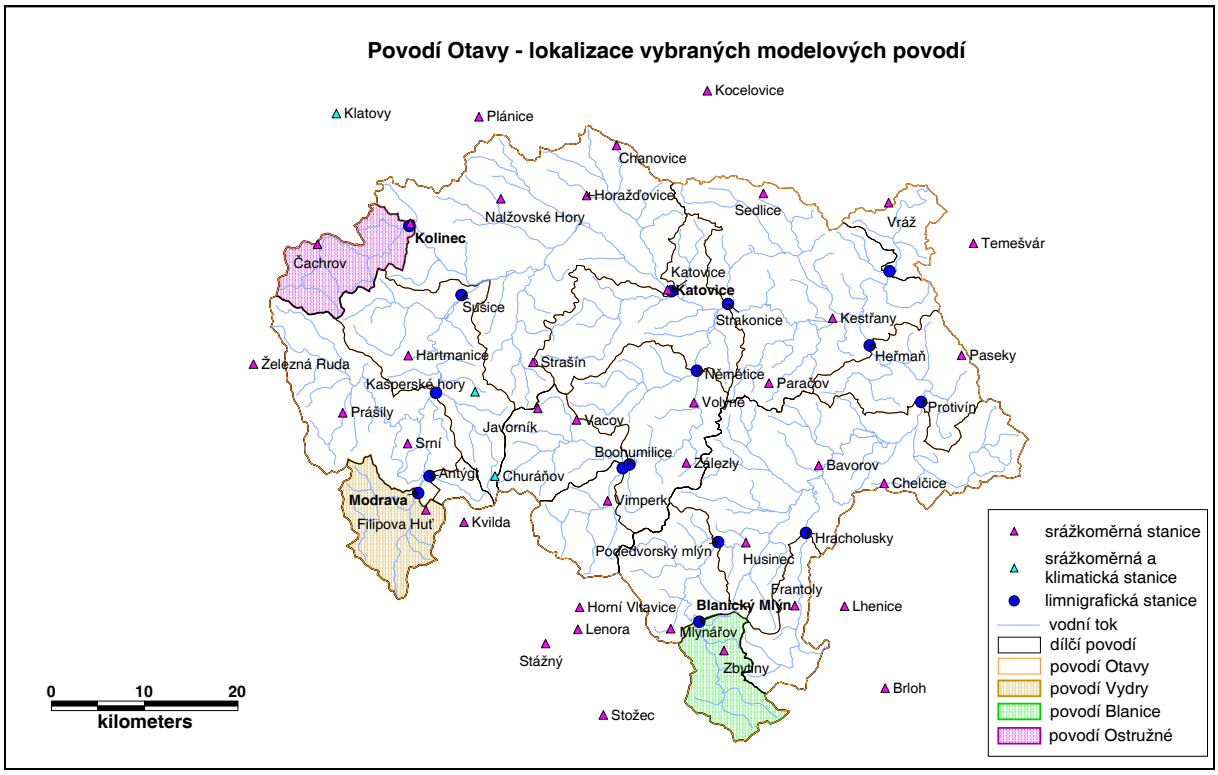
Proběhlé povodňové události v Česku vyvolaly četné diskuze o možném vlivu změn přírodního prostředí na srážko-odtokový proces. Vedle přirozeně podmíněných klimatických změn je pozornost věnována působení lidské společnosti. Česká krajina prošla specifickým vývojem, který v různých oblastech probíhal s odlišnou intenzitou antropogenních zásahů do oběhu vody a nevyhnul se ani horským a podhorským oblastem. Za podstatné lze považovat změny v krajinném pokryvu a ve využití ploch povodí, prováděné regulace a napřimování vodních toků spolu s výstavbou vodních nádrží, odvodňování zamokřených a rašelinných oblastí a odběry vody pro nejrůznější účely. Poslední dramatické změny ve struktuře krajině jsou spojeny s obdobím socialistického zemědělství ve 2. polovině minulého století, kdy scelováním pozemků dochází k likvidaci většiny stabilizačních prvků v krajině. Zvětšení výměry bloků orné půdy je provázeno úbytkem trvalých travních porostů, rozsáhlým plošným odvodněním zemědělsky obdělávaných ploch a dalšími úpravami zejména drobných vodotečí. Tyto zásahy spadají již do období limnigrafického pozorování u malých toků a nabízí se tedy možnost sledovat jejich odezvy na odtokový režim v plošně menších povodích.

Vliv přímé a nepřímé činnosti člověka na odtokový režim prokázala řada experimentálních studií z různých oblastí světa, včetně několika domácích. Někdy až protichůdné názory jsou výsledkem značné rozmanitosti sledovaných území a absencí komplexnějšího pohledu na působení člověka v krajině i návaznosti na některé přirozené změny. Příkladem může být dlouholetý výzkum v experimentálních povodích Kychové a Zděchovky v oblasti Javorníků (Válek, 1953; Netopil, 1955; Kříž, 1981), v povodích Malé Ráztoky a Červíku v Beskydech (Jařabáč, Chlebek, 1984; Křeček, 1980) zaměřený na sledování vlivu lesa a odlesnění. Na nejednoznačnost výsledků vlivu lesa na povrchový odtok vzhledem k jeho stáří a druhové skladbě upozornily studie Kulhavého (1999), Krečmera (2003). Změny v sezónním rozložení odtoku v imisemi poškozených oblastech Jizerských hor prokázaly Blažková (1994) a Šeborová (1994). V porovnání s lesem je celkově vyšší a méně vyrovnaný odtok pozorován ze zemědělsky obhospodařovaných ploch (Skořepa,1981). Změny krajinného pokryvu v systému les x louka x pole jsou provázány se změnami podmínek pro evapotranspiraci a intercepci a ovlivňují samotný vznik povrchového odtoku (Fohrer a kol., 2001; Robinson a kol. 2003). Samostatným problémem je odvodnění, které v Česku postihuje v průměru až 25,5 % zemědělského půdního fondu a řadí jej na čelní místo v Evropě. Odvodnění obecně snižuje hladinu podzemní vody, urychluje a zvyšuje průměrný a minimální odtok z území (Švihla, 1992). Při extrémním odtoku zvláště povrchový způsob odvodnění přispívá k zesílení průtokového efektu. Podzemní drenážní systémy mohou vzhledem k omezené hydraulice pohybu vody navýšit průtok jen při povodních menší extremity a jejich častějším výskytu (Doležal, 2004).

Zvláštní pozornost je věnována zastavěným plochám a celkovému vlivu urbanizace, která je často spojena s úpravami říční sítě, s výstavbou vodních nádrží a odběry a vypouštěním vody do toků (Goudie, 1992; Klocking, Haberlandt, 2002; Meyer, 2001; Sochorec, 1977; Lhotský, 1999; Kaňok, 1999; Kříž, 2003).

Hlavním cílem předložené studie je sledovat a pokusit se objasnit změny ve vývoji srážkoodtokových vztahů ve třech modelových povodích situovaných v pramenné oblasti řeky Vltavy: povodí Vydry, povodí Ostružné a horní část povodí Blanice. Povodí reprezentují rozdílně využívaná území s různou mírou antropogenních zásahů do odtokového režimu. Všechna tři modelová povodí se nacházejí v jaderné oblasti velkých povodní a sehrála významnou roli při počátečním formování odtoku při katastrofální povodni v srpnu 2002.

Výzkum orientovaný do modelových povodí navazuje na prostorově i tematicky široce pojatý výzkum v povodí Otavy, který se zabýval zhodnocením vlivů změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní (Langhammer a kol., 2003). Vedle změn ve využití území za posledních 150 let byla pozornost věnována úpravám a zkrácení říční sítě a také rozsahu plošného odvodnění. Součástí bylo i sledování změn srážkoodtokových vztahů, které prokázalo pro různé oblasti určité trendy ve vývoji odtoku (Kliment, Matoušková, 2005). Největší odchylky vykázala plošně menší zemědělsky využívaná povodí v podhorské části Šumavy, naopak nebyly pozorovány v přírodních zalesněných horských povodích.



Obr. 1 Povodí Otavy s vymezením modelových povodí Blanice, Ostružné a Vydry

Fig. 1 The Otava river water basin – location of model study areas: the Vydra river, the Blanice river and the Ostružná river basins

CHARAKTERISTIKA MODELOVÝCH POVODÍ

Povodí Ostružné zaujímá plochu 92,42 km^2 (po limnigrafickou stanici Kolinec). Ostružná je levým přítokem Otavy. Horní tok Ostružné odvodňuje vrcholovou část Šumavy (Kochánovské pláně), většina povodí spadá do Šumavského podhůří. Nejvyšší část povodí se nalézá ve výšce 1177 m n.m. (pramen Ostružné v 960 m n.m.), nejnižší v měrném profilu Kolinec (528 m n.m.). Povodí má protáhlý tvar ve směru JZ-SV, hlavní tok provází větší množství drobných přítoků. V podloží převažují silně metamorfované prekambrické horniny moldanubika (ortoruly, pararuly), do severní části zasahuje výběžek Středočeského plutonu. Převažujícím půdním typem jsou kambizemě, které směrem do vyšších poloh přecházejí v kryptopodzoly až podzoly. Na svažitějších polohách se vyskytují rankery. Povodí reprezentuje zemědělsky využívanou krajinu. V posledních 50 letech zde došlo k výrazným změnám ve využití ploch povodí a rozsáhlému plošnému odvodnění pozemků. Současná lesnatost povodí činí 40,7 %, louky zaujímají 30 %, orná půda pouze17,2 %. V dolní části povodí se nachází na Mlýnském potoce soustava menších rybníků. Pro oblast je charakteristické venkovské osídlení.

Povodí Vydry zaujímá plochu 93,41 km^2 (po limnigrafickou stanici Modrava). Vydra je pramennou zdrojnicí Otavy. Povodí Vydry odvodňuje vrcholovou část Šumavy (Kvildské pláně). Nejvyšší část povodí se nalézá ve výšce 1373 m n.m. (pramen Vydry v 1210 m n.m.), nejnižší v měrném profilu Modrava (935 m n.m.). Povodí má vějířovitý tvar vzniklý soutokem Modravského a Roklanského potoka. V podloží se vyskytují silně metamorfované prekambrické horniny moldanubika, místně prostoupené prvohorními biotitickými granity až granodiority. Převažujícím půdním typem jsou kryptopodzoly až podzoly, výrazné zastoupení mají hydromorfní a organozemní půdy. Povodí reprezentuje přírodní zalesněnou krajinu s výskytem rašelinišť bez výrazných antropogenních zásahů a sídleních struktur (obec Modrava). Výjimkou je historické odvodnění zamokřených poloh, včetně rašelinišť a těžba kůrovcem napadených smrkových monokultur od poloviny 80. let do současnosti spojená s výsadbou nových porostů. Povodí leží v NP Šumava.

Povodí horní Blanice zaujímá rozlohu 85,21 km^2 (po limnigrafickou stanici Blanický mlýn). Blanice pramení v Želnavské hornatině pod Knížecím stolcem v nadmořské výšce 960 m n.m. Povodí má protáhlý tvar ve směru SSZ-JJV. Odvodňuje Želnavskou hornatinu, Křišťanskou vrchovinu a Libinskou hornatinu. Geologické podloží představují metamorfity moldanubika v severní a střední části povodí. V jižní části povodí se vyskytují paleozoické migmatity. Nejrozšířenějším půdním typem jsou kryptopodzoly. Povodí horní Blanice je málo osídlené, což je dáno existencí VVP Boletice v jižní části povodí. Významnou část (necelých 50 %) povodí zaujímá CHKO Šumava. Území je ze 66,7 % zalesněné, významný podíl zaujímají rovněž louky (27,7 %). Zemědělská výroba je koncentrována převážně do severovýchodní části povodí, konkrétně do povodí Zbytinského potoka. V minulosti bylo toto území intenzivněji obhospodařováno něž dnes, typický je především chov dobytka (skotu).

Tab.1 Základní srážko-odtokové charakteristiky modelových povodí.

Tab. 1 Basic rainfall and runoff characteristics of the model water basins

DBČ	název	řeka	ČHP	měří od	P (km^2)	H * (mm)	Q_a (m^3/s)	q_a (l/s/km^2)	φ*
1350	Modrava	Vydra	10801013	1931	93,41	1327	3,18	35,2	0,84
1390	Kolinec	Ostružná	10801073	1949	92,42	916	1,20	13,1	0,45
1450	Blanický Mlýn	Blanice	10803011	1953	85,21	760	0,79	9,2	0,38

* Dané údaje jsou vztaženy k období 1961-2002, ostatní k počátku průtokového měření.

METODY A ZDROJE DAT

Metodika předloženého výzkumu v sobě zahrnuje analytické i syntetické postupy. Za základní můžeme považovat analýzu trendů srážkoodtokového režimu, doplněnou o analýzu vývoje teplotních a sněhových poměrů. K hodnocení trendu ve vývoji odtoku ve vybraných modelových povodí byla jako hlavní použita metoda jednoduchých a podvojných součtových čar. Významné odchylky od lineárního průběhu a zároveň nalezení zlomů může indikovat změny v odtokovém režimu. Vedle jednoduchých součtových čar základních průtokových charakteristik (*Q, Qmin, φ*) a srážkových úhrnů *(H*) byly pro přesnější identifikaci zlomů ve vývojovém trendu srážkoodtokového režimu vyneseny podvojné součtové čáry kumulativních srážkových úhrnů a průtoků. Vlastní analýze předcházela nezbytná homogenizace srážkových dat, při které byla chybějící data doplněna na základě výsledků regresní analýzy časových řad měsíčních srážkových úhrnů sousedních stanic. Pro odvození srážkových úhrnů v modelových povodích byla použita nejprve metoda Thiesenových polygonů, která se v horském terénu ukázala nepříliš vhodná. Následně byla použita metoda zohledňující nadmořskou výšku povodí. Výsledná srážka byla získána jako součet průměrné srážky odpovídající jednotlivým výškovým stupňům v povodí, odvozené na základě regresního vztahu mezi průměrným ročním úhrnem srážek a nadmořskou výškou měřících stanic (Kavan, 2004).

V dalším postupu byla provedena analýza četnosti velkých vod za dobu limnigrafického měření s ohledem na jejich vztah ke zjištěným trendům odtoku v daných modelových povodích. Četnost byla posuzována na základě výskytu 5-letých a větších vod, jejichž hodnoty byly odvozeny na základě pravděpodobnosti výskytu P (%) hodnot maximálních denních průtoků *Qmax* při respektování oddělenosti jednotlivých povodňových vln. Změny trendu odtoku doplnila analýza změn rozložení odtoku během roku, při které byl sledován vývoj procentuálního zastoupení odtečené vody a spadlých srážek v jednotlivých měsících a ročních sezónách. Základním souborem vstupních hodnot byla databáze ČHMÚ průměrných denních průtoků *Q* a srážkových úhrnů *H* od zahájení limnigrafického měření do r. 2004 (srážky od 1961).

Vývoj odtoku v daných povodích byl dále doplněn o analýzu vývoje teploty vzduchu a sněhových poměrů (počet dní se sněhovou pokrývkou, průměrná a maximální výška sněhu). Za reprezentativní byly vzaty údaje ze tří výškově různě položených klimatologických stanic pro období 1942-2004

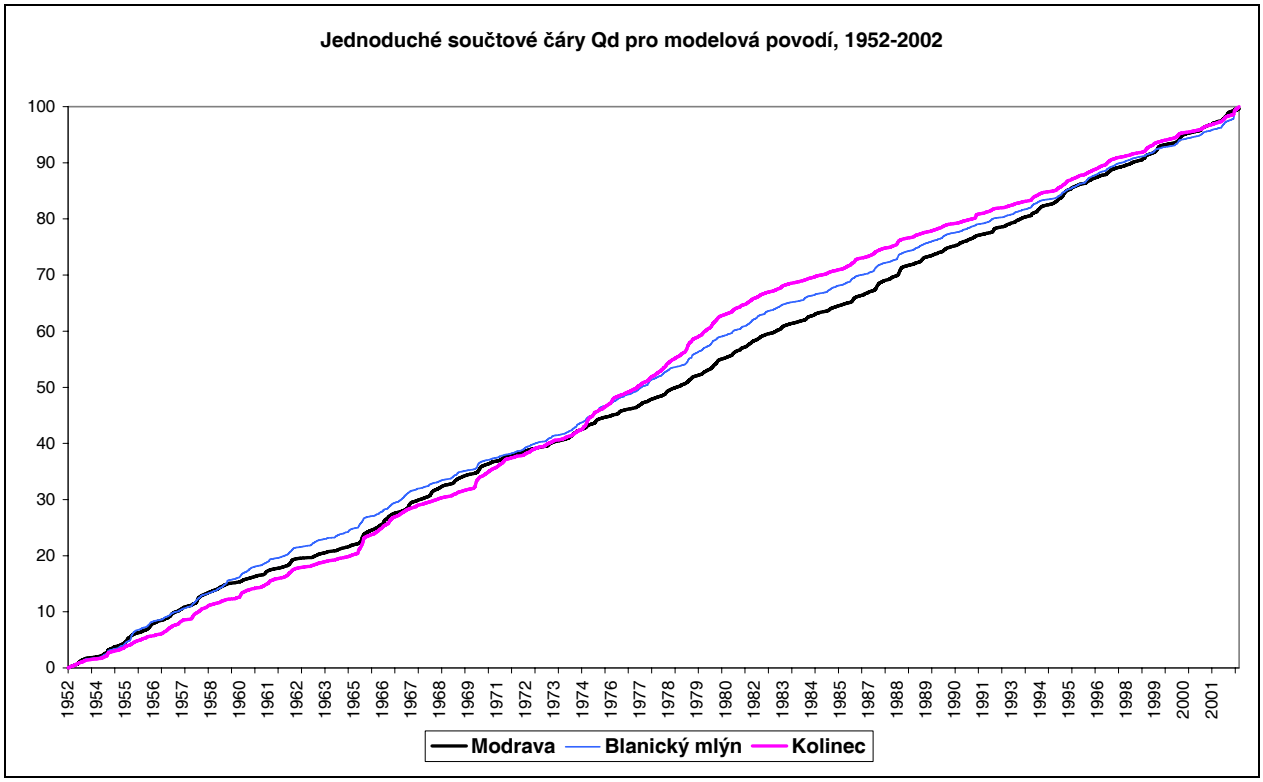
(ČHMÚ). Trendy byly vyjádřeny formou 5-letých klouzavých průměrů na úrovni měsíčních, ročních i sezónních hodnot.
V návaznosti na analýzy trendů odtokového, srážkového a teplotního režimu byly provedeny analýzy změn ve využití krajiny, upravenosti říční sítě a plošného odvodnění pozemků. Výsledky byly vztaženy k délce limnigrafického pozorování v daných povodích, tj. k období zhruba posledních 50-ti let. Při zpracování bylo využito jak existujících analogových a digitalizovaných databází, tak vlastního terénního průzkumu. Změny ve využití krajiny byly posuzovány jednak na základě evidence katastru nemovitostí v horizontech 1845-1948-1990 (Bičík a kol., 2003), jednak pomocí databáze CORINE Land cover (1992, 2000). Antropogenní transformace říční sítě byla vyhodnocena na základě Základních vodohospodářských map 1:50 000, dále na základě materiálů poskytnutých ZVHS a zároveň byla upravenost toků předmětem terénního mapování podle zadaných kritérií. Plošné odvodnění a jeho časový vývoj byl odvozen z mapových podkladů v měřítku 1:10 000 získaných od ZVHS.

ANALÝZA TRENDŮ SRÁŽKO-ODTOKOVÉHO REŽIMU

Analýza pomocí jednoduchých a podvojných součtových čar

Pro identifikaci významných změn v odtokovém režimu bylo použito metody jednoduchých součtových čar, které byly nejprve konstruovány pro kumulované průměrné denní průtoky. Pro možné vzájemné srovnání jednotlivých profilů jsou vynášeny hodnoty průměrných Qd v relativní podobě. Časové rozpětí datových řad bylo zvoleno shodně 1952-2002.

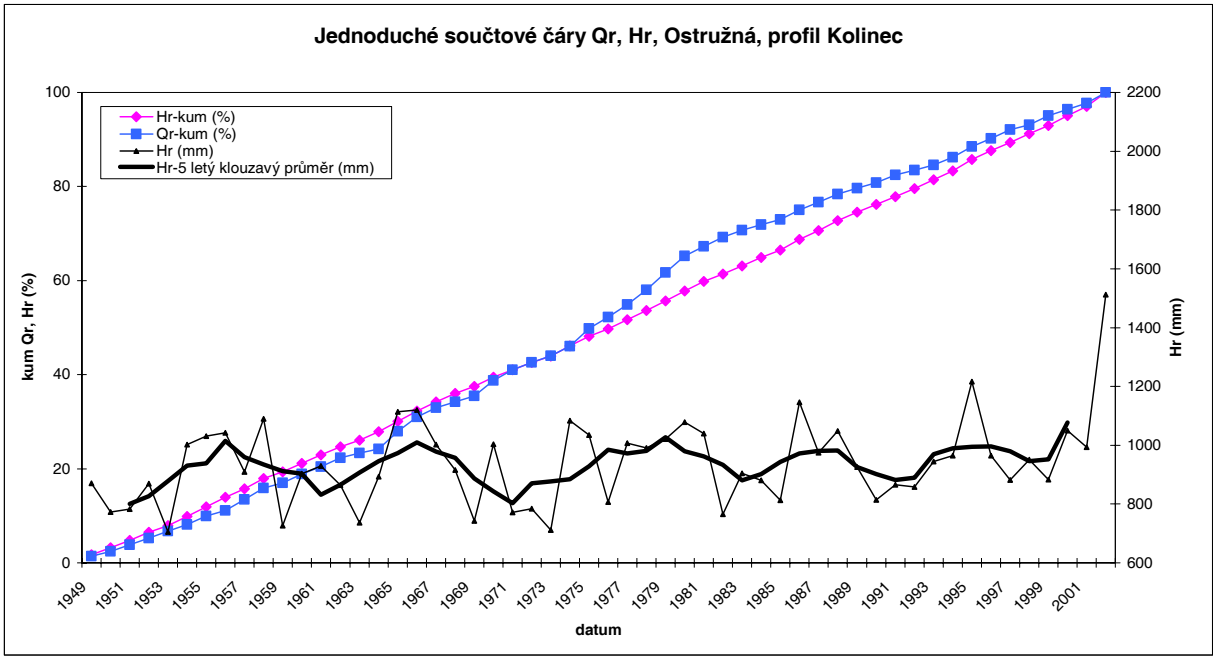
V profilech Ostružná-Kolinec a Blanice-Blanický mlýn byly identifikovány změny ve vývojovém trendu odtokového režimu. Výrazné změny byly rozpoznány v profilu Ostružná-Kolinec, kde byl zaznamenán zvýšený nárůst odtoku v období 1975-80. Méně výrazná změna vývojového trendu v období 1975-82 byla rovněž potvrzena na Blanici v profilu Blanický mlýn. Naopak v profilu Vydra-Modrava nebyly identifikovány změny v odtokovém režimu. Součtová čára Qd vykazuje pozvolný lineární nárůst bez výrazných zlomů (viz obr. 2).



Obr. 2 Jednoduché součtové čáry Qd pro profily: Modrava, Kolinec, Blanický mlýn, zdroj dat: ČHMÚ

Fig. 2 Simple mass curves of daily discharge values for gauging sites: Modrava, Kolinec, Blanický mlýn, source: CHMI

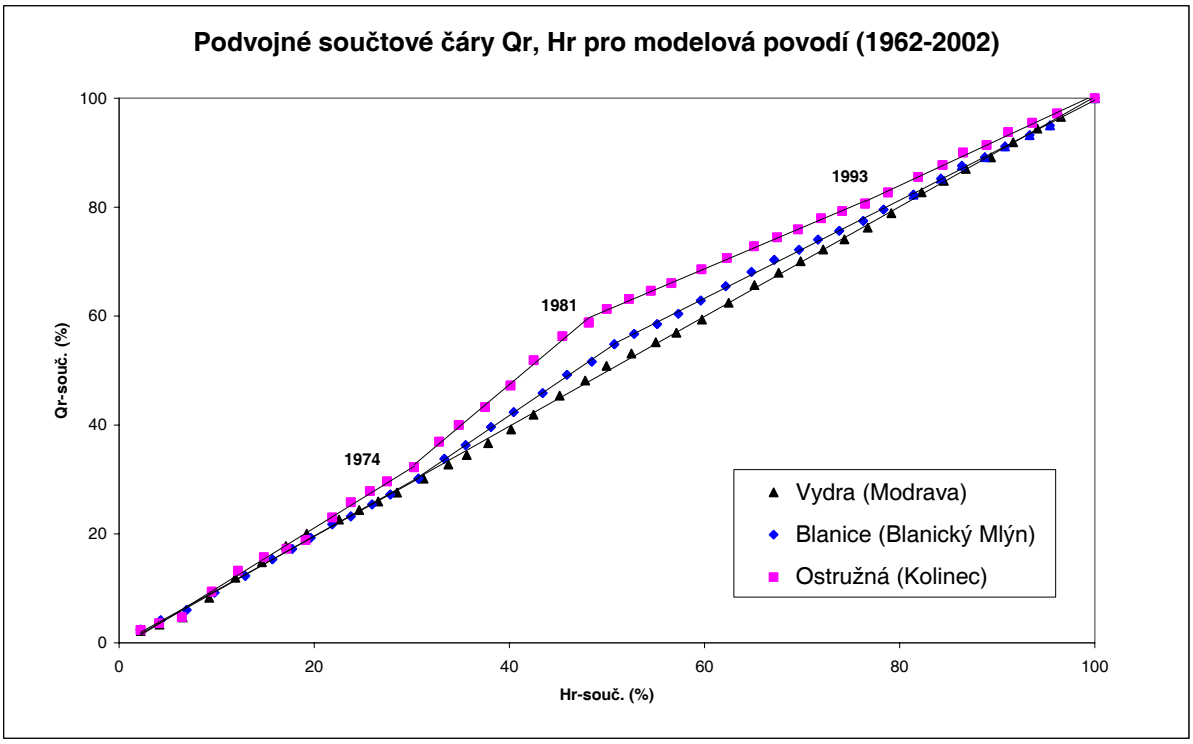
Pro detailnější sledování trendů v odtokovém režimu bylo použito dále společných jednoduchých čar průtoků vody a srážkových úhrnů pro povodí nad daným profilem. Ke konstrukci bylo použito nejprve kumulovaných měsíčních hodnot, posléze pro lepší přehlednost bez ztráty informace kumulovaných ročních hodnot. Délka hodnoceného hydrologické období byla ovlivněna dostupností srážkových dat potřebných pro odvození úhrnu srážky na plochu povodí. Průběhy součtových čar průtoků vody *Qr* a srážkových úhrnů *Hr* potvrzují shodné změny ve velikosti odtoku, které se projevují směrovým odklonem součtové čáry odtoku od součtové čáry srážek, která má bez výjimky lineární charakter. Při porovnání s čarou ročních úhrnů srážek vyplývá, že pozorovaný trend období zvýšeného nárůstu odtoku koresponduje se srážkově bohatšími obdobími a je typický právě pro 70. a 80. léta. Před tímto obdobím, podobně blíže do současnosti, nebyly odchylky pozorovány, součtové řady průtoku vody a srážkových úhrnů řady mají podobný průběh i ve vodných obdobích (viz obr. 3).



Obr. 3 Jednoduché součtové čáry Qr, Hr *v profilu Kolinec v povodí Ostružné*

Fig. 3 Simple mass curves of yearly discharge (Qr) and rainfall (Hr) for gauging sites: Kolinec in the Ostružná river basin

Pro zpřehlednění situace byly pro všechny sledované profily sestrojeny podvojné součtové čáry ročních průtoků vody a ročních úhrnů srážek, které nejlépe vystihují zjištěné změny ve vývoji odtoku. K lomovým bodům podvojné součtové čáry byly doplněny roky. Výsledky potvrdily poznatky z předchozích analýz. V profilu Vydra-Modrava nelze vysledovat změny v odtoku. Nejvýraznější změny je možné naopak pozorovat v profilu Ostružná-Kolinec (nárůst průtoku v období 1975-1980), podobně na Blanici (Blanický Mlýn: nárůst průtoku 1975-1982) – viz obr. 4).



obr. 4 Podvojné součtové čáry Hr, Qr pro profily: Modrava, Kolinec, Blanický Mlýn zdroj dat: ČHMÚ

Fig. 4 Double mass curves of yearly rainfall (Hr)l and yearly discharge(Qr) for gauging sites: Modrava, Kolinec, Blanický mlýn, source: CHMI

Analýza odtoku z pohledu výskytu a četnosti N-letých vod

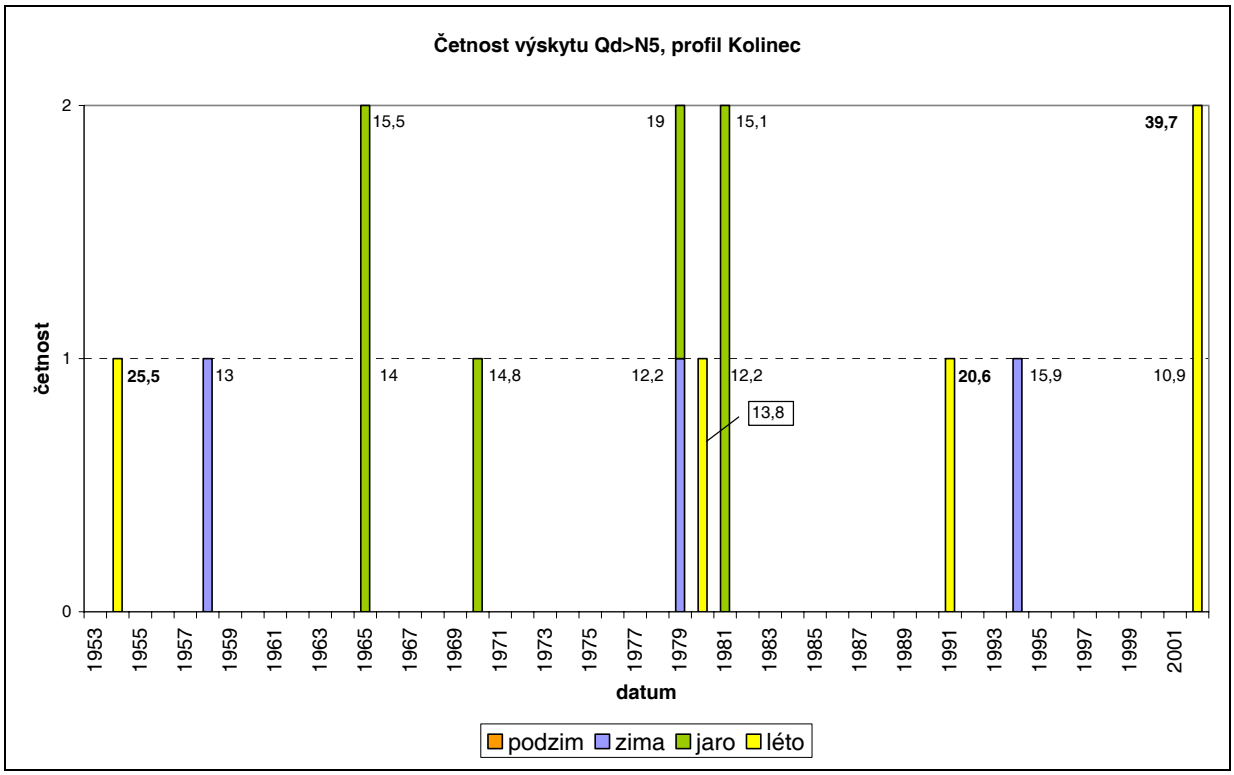
Pro objasnění příčin významných změn v trendu odtoku byly provedeny analýzy četnosti výskytu velkých vod. Hranicí pro vymezení velkých vod byla stanovena úroveň pětileté vody, která byla odvozena empiricky pomocí pravděpodobnostních křivek. Hladina 5-leté vody byla zvolena záměrně, neboť je takto zachycen významný počet zvýšených vodností, které se mohou projevit ve vývojovém trendu odtoku.

Tab. 2 Odvozené 5-leté vody v modelových povodích

Tab. 2 Derived 5-years event in the model water basins

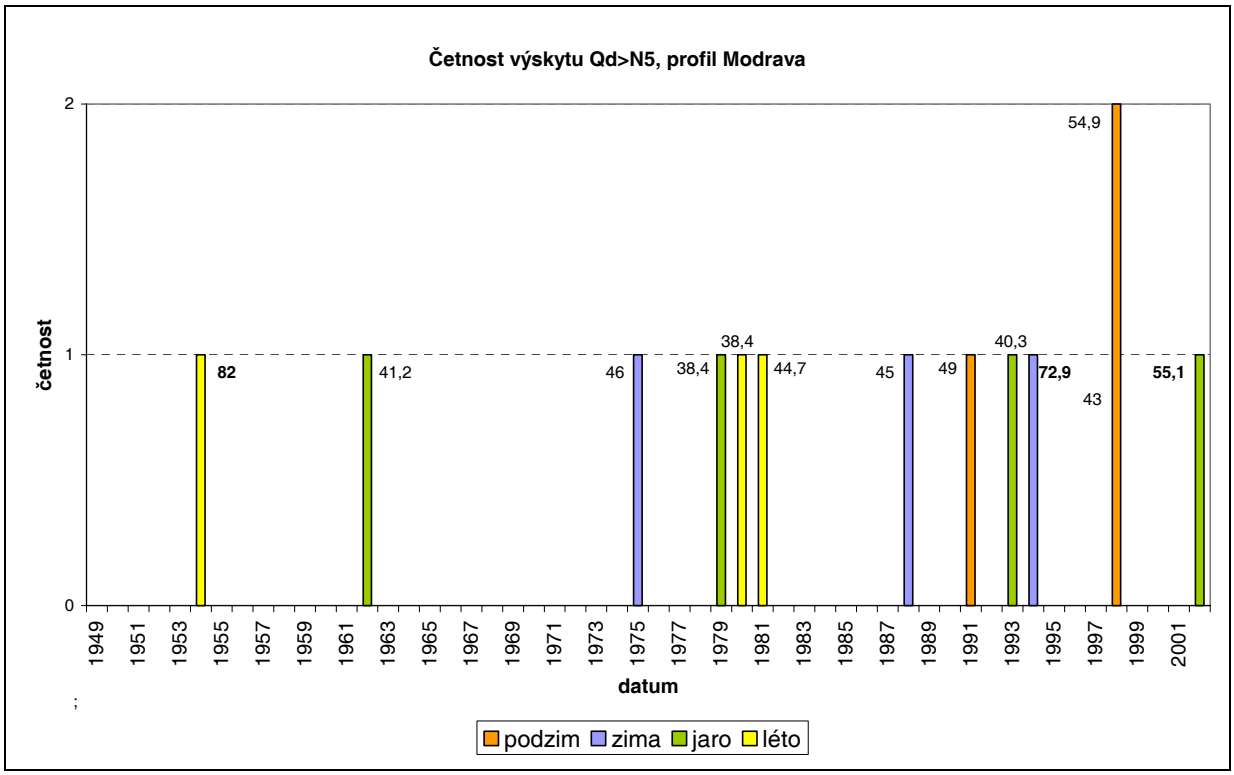
Profil	5-letá voda m^3/s	roční období s nejvyšší četností výskytu N5	Qd max m3/s (datum)
Modrava	38,0	jaro	82,0 (7.7. 1954)
Blanický mlýn	11,4	léto	64,7 (12.8. 2002)
Kolinec	10,5	jaro	39,7 (13.8.2002)

Provedená analýza potvrdila, že zjištěný trend v nárůstu odtoku souvisí s výskytem velkých vod. V období 1979-81 byl zaznamenán koncentrovaný výskyt 5-letých a vyšších vod ve všech profilech Kolinec, Blanický mlýn a Modrava (viz. obr. 5, 6). V profilu Modrava na Vydře byl pozorován výskyt velkých vod rovněž i v období 1988-94, které se stejně jako období 1979-1981 nijak významně v dlouhodobém trendu odtokového režimu neprojevilo. Podobně se neprojevily i velké vody mimo období zjištěného nárůstu odtoku u zbylých povodí. Na základě těchto skutečností je možno konstatovat, že výskyt povodňových průtoků může být průvodním jevem změny trendů, ale není určujícím faktorem změn ve vývoji odtoku.



Obr. 5 Četnost výskytu 5-letých vod v profilu Kolinec, zdroj dat ČHMÚ

Fig. 5 Frequency analysis of 5-years even for gauging site Kolinec, source: CHMI



Obr. 6 Četnost výskytu 5-letých vod v profilu Modrava, zdroj dat ČHMÚ

Fig. 6 Frequency analysis of 5-years event for gauging site Modrava, source: CHMI

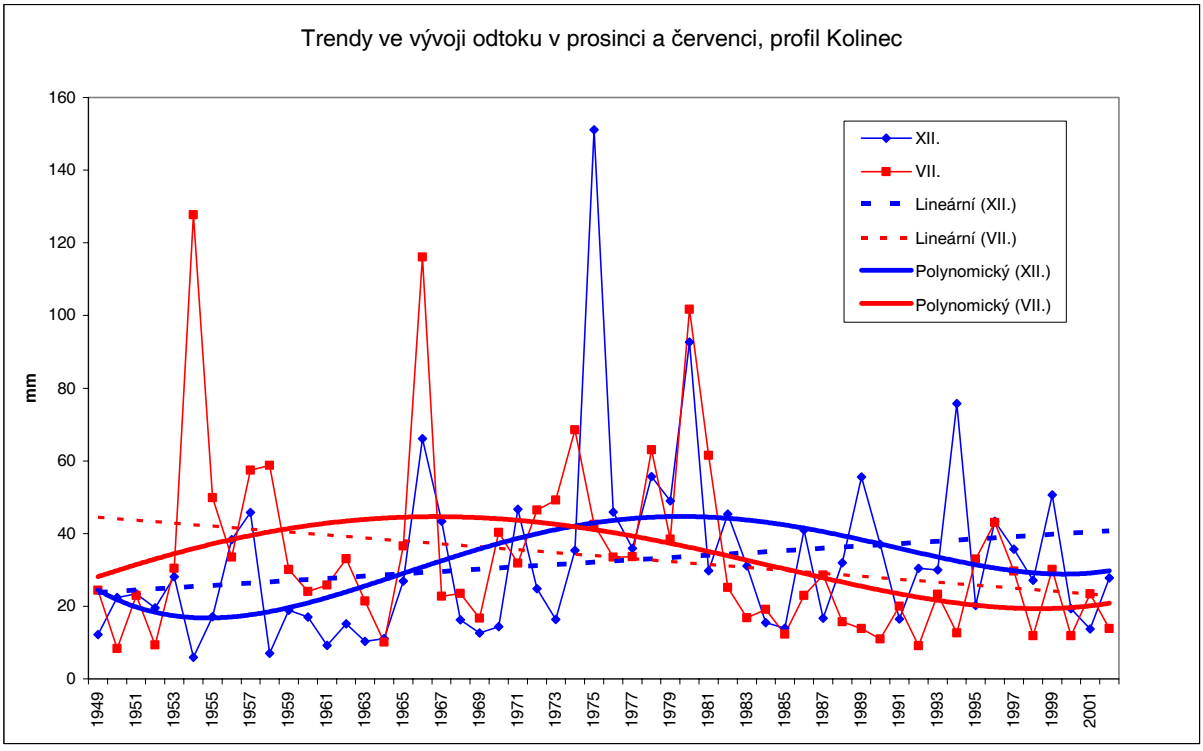
Změny sezónního rozložení odtoku

Změny v rozložení odtoku během roku byly posuzovány na základě vývoje procentuálního zastoupení odtečené vody v jednotlivých měsících, tak pro jednotlivé roční sezóny. Pro odtokový režim za poslední půlstoletí je charakteristické zřetelné navýšení podílu odtoku v zimních měsících zejména po r. 1975 (až o více než 5 %). Na druhé straně můžeme pozorovat ve stejném období až na výjimky (srpen 2002) postupný úbytek odtoku v letních měsících. Největší nárůst procentuálního podílu na celoročním odtoku vykazuje prosinec, hlavní úbytek připadá na červenec. Podíly měsíčních i sezónních srážkových úhrnů zůstávají přitom v uvedených ročních obdobích na přibližně stejné úrovni bez znatelných trendů a odchylek. Pouze v jarním období dochází k určitému snížení podílu, naopak se zvyšuje podíl srážek v podzimním období, který se projevuje i v podílu odtoku. Příkladem může být Ostružná, profil Kolinec (viz. tab. 3 a obr. 7). V povodí Vydry nedochází k významným změnám rozložení odtoku. Změny v podílu odtoku v posledních desetiletích mohou být spojovány s oteplováním klimatu i vyšším zapojením evapotranspirace vlivem změn v krajinném pokryvu.

Tab. 3 Trendy ve vývoji odtoku a srážek podle ročních období, Ostružná, profil Kolinec

Tab. 3 Trends of the runoff and rainfall regime in seasonal periods, profile: Kolinec

Období	*XII.-II.*		*III.-V.*		*VI.-VIII.*		*IX.-XI.*	
	O (%)	**H** (%)	**O** (%)	**H** (%)	**O** (%)	**H** (%)	**O** (%)	**H** (%)
1949-1960	22,3	16,8	35,1	25,9	25,6	38,5	17,0	18,8
1961-1970	17,0	16,9	37,4	27,8	27,3	35,4	18,3	19,9
1971-1980	24,6	16,4	30,4	24,7	25,1	36,0	19,8	22,8
1981-1990	25,4	21,4	36,9	24,3	20,1	33,7	17,5	20,5
1990-2002	25,2	16,4	32,3	21,7	21,9	37,6	20,6	24,2
Průměr	*22,9*	*17,6*	*34,4*	*24,9*	*24,0*	*36,2*	*18,6*	*21,2*



Obr. 7 Trendy ve vývoji odtoku v prosinci a červenci, profil Kolinec

Fig. 7 Trends of runoff regime in December and July,gauging site: Kolinec

VÝVOJ TEPLOTNÍCH A SNĚHOVÝCH POMĚRŮ

Za jednu z přirozených příčin změn odtokového režimu můžeme považovat zjištěné odchylky ve vývoji teplotních poměrů, které ovlivňují sněhové charakteristiky a celkovou hydrologickou bilanci. Pro období několika posledních desetiletí jsou často diskutovány změny v souvislosti s globálním oteplováním. Sněhové a teplotní charakteristiky byly zpracovány pro tři v současnosti měřící klimatické stanice, které reprezentují zastoupením různé nadmořské výšky horskou a podhorskou část Šumavy. Získané poznatky je tak možné vztáhnout na všechna tři modelová povodí. Jednalo se o stanice Churáňov, Kašperské hory a Klatovy (viz tab. 4). Klatovy mají z vybraných stanic nejdelší pozorovací řadu, která umožňuje teplotní a částečně i sněhové charakteristiky vztáhnout k počátku minulého století. Porovnáním průměrů za období 1901-1950 (viz. Tabulky podnebí ČSSR, 1960) a 1951-2003 byl zjištěn nárůst teploty vzduchu ze 7,6°C na 8,1°C. Větší pozornost byla věnována v souvislosti s hodnocenými změnami režimu odtoku ve vybraných modelových povodí období limnigrafického pozorování. Více jak 50. leté řady pozorování prokázaly výraznější nárůst teploty vzduchu v 80. letech a hlavně od začátku 90. let. Určité náznaky je možné, zejména pro zimní období, vysledovat již v 70. letech Největší nárůst teploty vzduchu pozorujeme v únoru a srpnu, déle v lednu, květnu a březnu. Situaci přehledně ukazuje obr. 10 Velmi podobný trend se projevil u všech třech sledovaných stanic.

Sněhové poměry jsou vedle teploty vzduchu ovlivněny množstvím zimních srážek. Ze sněhových charakteristik byla sledovány pro trendy ve vývoji průměrné a maximální sněhové pokrývky a v počtu dní se sněhovou pokrývkou.

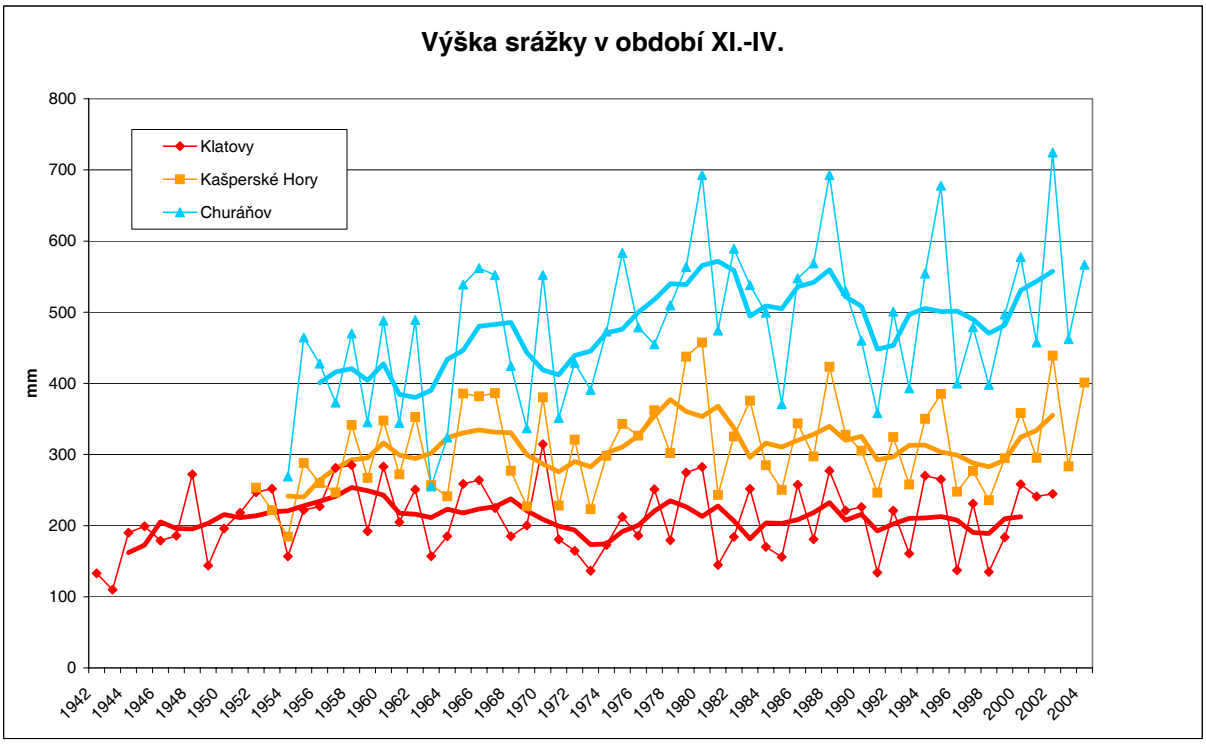
Tab. 4 Charakteristiky teploty vzduchu a sněhové pokrývky (1953-2003)

Tab. 4 Air temperatures and snow cover characteristics

Stanice	Klatovy	Kašp. Hory	Churáňov
Nadmořská výška (m)	430	737	1118
Průměrná roční teplota vzduchu (°C)	8,1	6,2	4,4
Průměrný roční úhrn srážek (mm)	607	830	1098
Průměrná výška sněhové pokrývky (cm)	6,6	14,3	39,1
Průměrná maximální výška sněhové pokrývky (cm)	17,5	39,3	97,5
Průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou	49,9	88	143,9

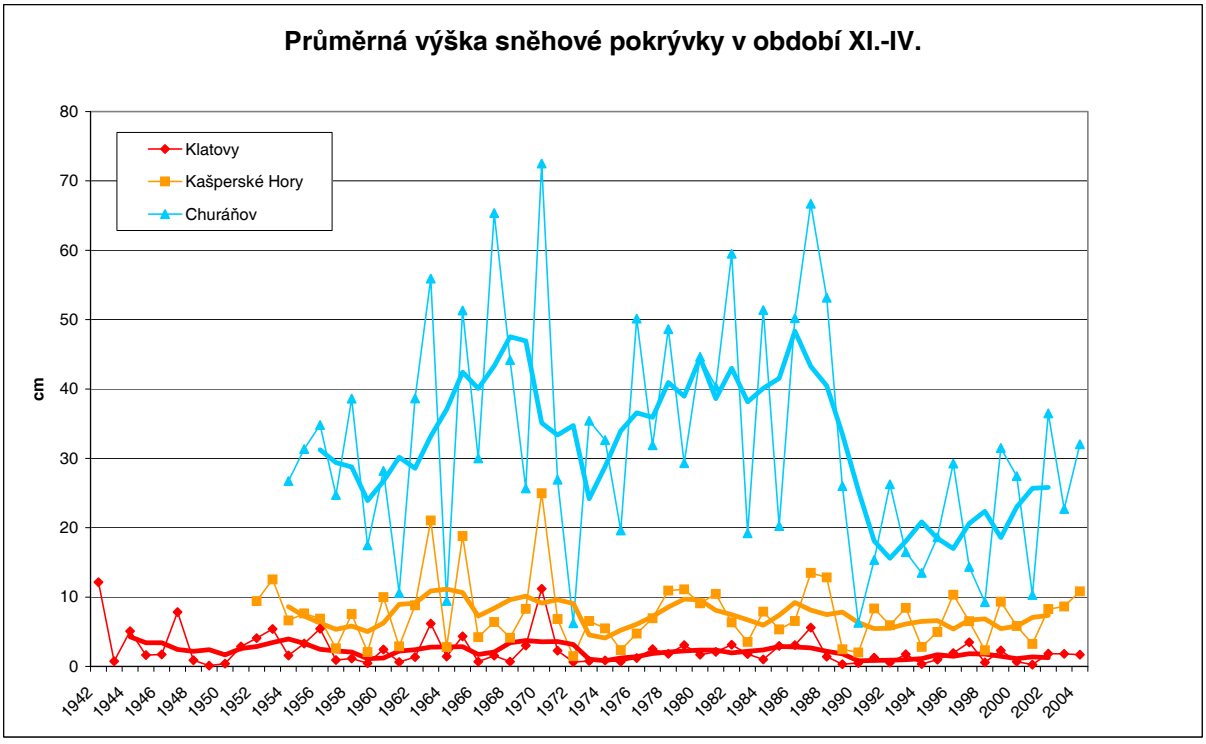
Průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou za období 1950/51-2003/04 (50,2) se prakticky neliší od průměru za období 1920/21-1949/50 (49,1) – viz. Tabulky podnebí ČSSR, 1960. V řadě posledních 50 let můžeme sledovat určitý úbytek počtu dní se sněhovou pokrývkou především u nejníže položené stanice Klatovy od 70. let a výrazně v 90. letech. Současně došlo i přes znatelný nárůst zimních srážek ke snížení průměrné výšky sněhové pokrývky, a to téměř o polovinu při srovnatelném množství zimních srážkových úhrnů. Tento trend je dobře patrný u horské stanice Churáňov, kde jsou ze všech sledovaných stanic nejlepší sněhové podmínky obr 8, 9.

Období zjištěného nárůstu odtoku (1975-1982) můžeme charakterizovat jako teplotně průměrné, v zimě s vyšší průměrnou výškou sněhové pokrývky a vyšším počtem dnů se sněhovou pokrývkou v návaznosti na bohatší zimní srážky. Zejména v nižších polohách se již začíná projevovat určitý úbytek počtu dní se sněhovou pokrývkou, který se projevuje vyšším zastoupením zimního odtoku. Tento trend spolu s nárůstem zimních srážkových úhrnů, zejména ve vyšších polohách a snižováním výšky sněhové pokrývky pokračuje až na výjimky do současné doby. Výraznější zvýšení jarních a letních teplot od začátku 80. let mohlo přispět následně k poklesu odtoku, zejména v letních měsících. V delší pozorovací řadě pro stanici Klatovy bylo podobné zvýšení jarních a letních teplot na rozdíl od zimních teplot v průměrné hodnotě prokázáno i v minulosti, zejména v období po roce 1945.



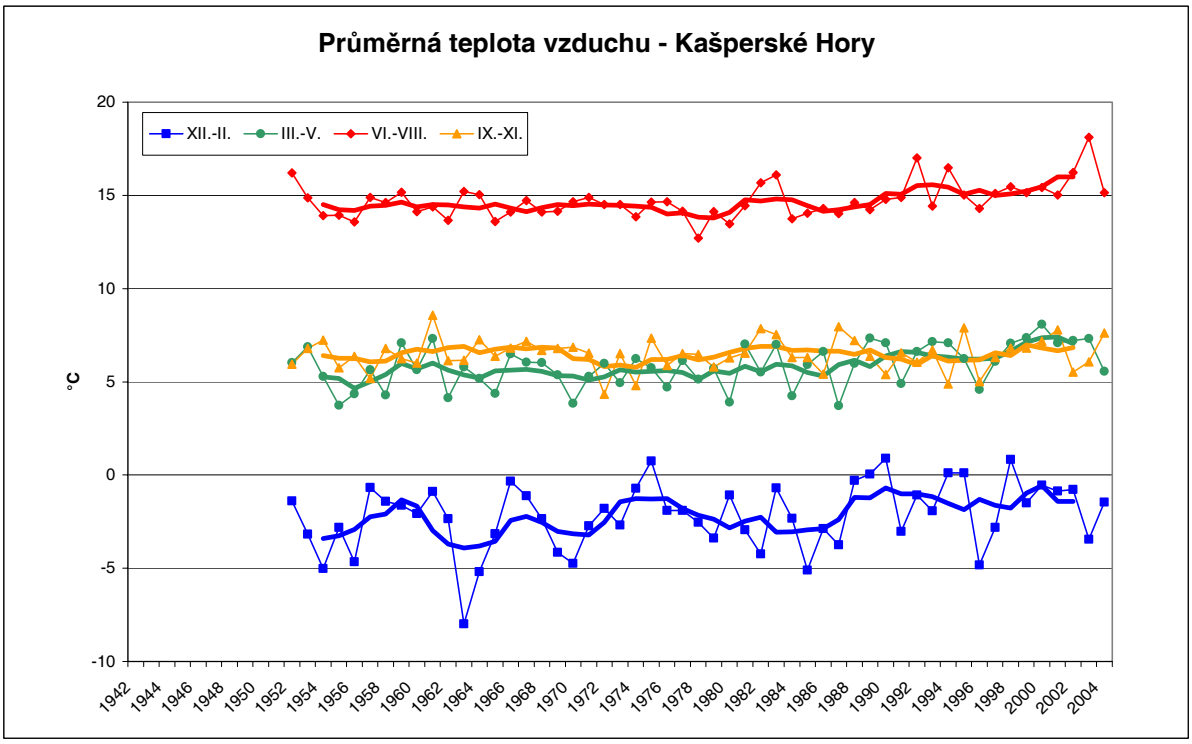
Obr. 8 Průměrná výška srážky, stanice Klatovy, Kašperské hory, Churáňov, zdroj: ČHMÚ

Fig. 8 Average precipitation, stations Klatovy, Kašperské hory, Churáňov, source: CHMI



Obr. 9 Průměrná výška sněhové pokrývky, stanice Klatovy, Kašperské hory, Churáňov, zdroj: ČHMÚ

Fig. 9 Average snow cover height, stations Klatovy, Kašperské hory, Churáňov, source: CHMI



Obr. 10 Chod průměrných teplot vzduchu v jednotlivých ročních období, zdroj TSU+SCE/T-měsíční průměry), ČHMÚ

Fig 10 Development of average air temperatures in season periods, source: TSU+SCE/T-monthly averages, CHMI

ZMĚNY VE VYUŽITÍ KRAJINY

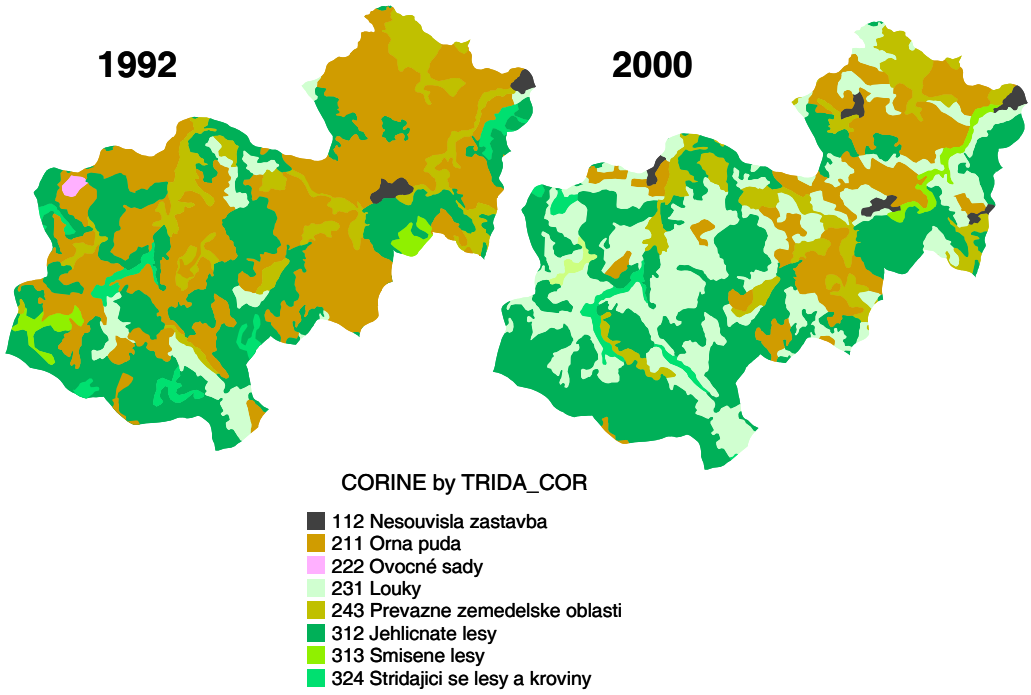
Typ krajinného pokryvu významně ovlivňuje vznik a průběh povrchového odtoku. Vzhledem k svému propojení na procesy evapotranspirace a intercepce má způsob využití území přímý vliv na hydrologickou bilanci a odtokový režim povodí. Dlouhodobé tendence ve vývoji horské a podhorské krajiny Šumavy můžeme v modelových povodích sledovat na základě statistických dat z evidence katastru nemovitostí. Změny v krajině byly odrazem změn politickoekonomických podmínek. Podle studie Bičíka a kol. (2003), která navzájem porovnávala strukturu využití ploch v časových úrovních 1845-1948-1990, dochází po r. 1948 k výraznému úbytku orné půdy ve vyšších polohách (nad 800 m n.m.). Do té doby jde spíše o mírný vzestup jako důsledek pozdní kolonizace. Jednalo se většinou o malá políčka s nekvalitní kamenitou půdou. Úbytek orné půdy je kompenzován zejména nárůstem lesních porostů.V nižších polohách Šumavského podhůří v období 1948-1990 zůstala až na výjimky plocha orné půdy na přibližně stejné úrovni jako v předchozích letech. V období socialistického zemědělství se však značně mění krajinná struktura. Scelováním pozemků do větších celků dochází k likvidaci většiny stabilizačních prvků v krajině, intenzifikace zemědělství je doprovázena plošně rozsáhlým odvodněním zamokřených ploch a napřimováním drobných vodotečí. Tyto změny mohly negativně ovlivnit odtokové charakteristiky území. Po r. 1994 naopak dochází v oblasti Šumavském podhůří vlivem státních dotací k rozsáhlému zatravňování dříve obdělávaných pozemků a jejich přeměně na louky a pastviny. Poslední změny v krajinném pokryvu a jeho současný stav ve sledovaných modelových povodích ukazuje tab. 5.

Tab. 5 Změny v krajinném pokryvu (CORINE Landcover 1992,2000)

Tab. 5 Land cover changes (CORINE Land cover, 1992, 2000)

Třída	CORINE Land cover	**Ostružná** (Kolinec)		**Blanice** (Blanický Mlýn)		**Vydra** (Modrava)	
		1992 (%)	2000 (%)	1992 (%)	2000 (%)	1992 (%)	2000 (%)
112	Městská nesouvislá zástavba	0,9	1,3	0,3	0,3	0,0	0,0
211	Orná půda	45,7	17,2	5,7	0,3	0,0	0,0
222	Ovocné sady a keře	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
231	Louky	4,7	30,2	22,3	16,9	4,2	5,7
243	Území převážně zemědělské	11,1	10,1	6,7	3,9	0,0	0,0
311	Listnaté lesy	0,0	0,5	0,2	0,8	0,0	0,0
312	Jehličnaté lesy	32,5	37,9	41,9	61,2	65,2	58,1
313	Smíšené lesy	1,7	1,2	7,2	2,3	0,3	1,0
321	Trávníky a přirozené pastviny	0,0	0,0	3,0	10,8	1,1	1,1
324	Střídající se lesy a křoviny	3,0	1,7	12,6	3,4	29,2	34,2
Celkem		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Sledovaná povodí se odlišují způsobem i vývojem využití krajiny a krajinného pokryvu za posledních více jak 50 let. Zatímco pro povodí Vydry je charakteristické dominantní zalesnění bez významných změn ve vývoji využití ploch (s výjimkou ploch postižených kůrovcovou kalamitou od 2. pol. 80 let), u zbylých povodí můžeme sledovat výrazné změny v poměru zastoupení kategorií : orné půda x les x zatravněná plocha. K největším změnám dochází v povodí Ostružné, kde orná půda v minulosti zaujímala více jak 45 % plochy. V posledních deseti letech zde byla většina obdělávaných pozemků zatravněna. K podobným změnám, zalesňování dříve zemědělsky využívaných ploch, dochází i v povodí horní Blanice. Tyto změny mohly přispět ke zvýšení vodní retence krajiny a snížení průměrných a minimálních hodnot povrchového odtoku z daných území.



Obr. 11 Změny krajinného pokryvu v povodí Ostružné (CORINE Land cover, 1992, 2000), MŽP ČR

Fig.11 Land cover changes in the Ostružná river basin (CORINE Land cover, 1992, 2000), source: Ministry of Environment, Czech Republic

UPRAVENOST HYDROGRAFICKÉ SÍTĚ A PLOŠNÉ ODVODNĚNÍ

Dalšími významnými antropogenními zásahy v povodích jsou úpravy koryt vodních toků a plošná hydromeliorační opatření. K prvním historickým úpravám vodních toků docházelo zpravidla z důvodu výstavby náhonů k vodním mlýnům, pilám a hamrům. Dále byly prováděny z důvodu ochrany před pravidelným zaplavováním luk a obdělávané půdy v údolní nivě. Prvotní úpravy zpravidla nebyly významným zásahem do půdorysného průběhu koryt vodních toků, tzn. nedocházelo k výrazným délkovým změnám říční sítě. Zpravidla při nich bylo využíváno přírodních materiálů z blízkosti dané lokality. Příkladem je horní tok Blanice, kde byla provedeno opevnění koryta kamennou rovnaninou a kamennou dlažbou položenou na sucho. Úpravy prováděli drobní rolníci hospodařící v údolní nivě Blanice na přelomu 19. a 20. století. V současné době jsou tyto úpravy vodních toků patrné pouze v několika úsecích a charakter koryta toku je možno považovat za přírodě blízký.

K významnějším zásahům do hydrografické sítě docházelo dále v souvislosti s protipovodňovou ochranou, urbanizací krajiny a hydromeliračními opatřeními. V modelových povodích na horních tocích Ostružné a Blanice se jednalo především o úpravy toků související s plošným odvodněním zemědělské půdy, které byly realizované v období 1960-1987.

Nejvyšší stupeň upravenosti toků vykazuje povodí Ostružné, přičemž jsou ovlivněny především přítoky hlavního toku (21%). Úpravy byly prováděny zejména v souvislosti s hydromeliračními opatřeními. Koryta toků byla napřímena, zahloubena a zpevněna.

Povodí Blanice vykazuje výrazně nižší podíl upravených úseků, pokud nezohledníme historické úpravy. Novodobé úpravy jsou koncentrovány především do povodí Zbytinského potoka. Podíl upravených toků celkově dosahuje v povodí horní Blanice pouhých 6 %, přičemž se zde vyskytují výrazné rozdíly v rámci jednotlivých přítoků. Upravenost říční sítě Zbytinského potoka dosahuje 62% (Vondra, 2004). Koryta vodních toků zde byla napřímena, zahloubena a zpevněna betonovými prefabrikáty.

V povodí Vydry nebyly ze Základních vodohospodářských map identifikovány významné antropogenní zásahy do hydrografické sítě. Podle dostupných informací zde byly prováděny odvodnění lesních pozemků v průběhu 19. a 20. století, které souvisely s produkcí a těžbou dřeva (Hais, 2004)

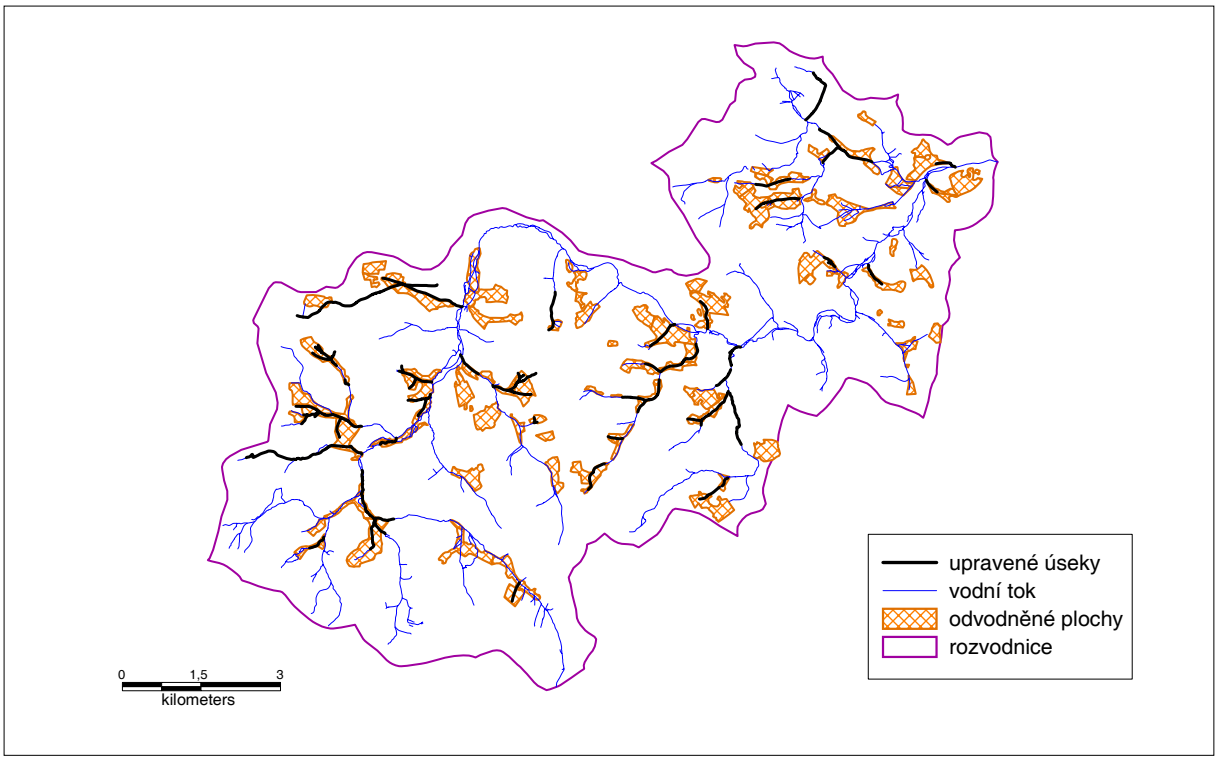
Tab. 6 Úpravy koryt vodních toků v povodí Ostružné a Blanice

Tab. 6 River training in the Ostružná and Blanice river basins

	Ostružná	Blanice
Délka říční sítě (km)	163,9	141,9
Délka upravených úseků (km)	33,7	8,5 (18,4*)
Stupeň upravenosti (%)	20,6	6 (13,0*)

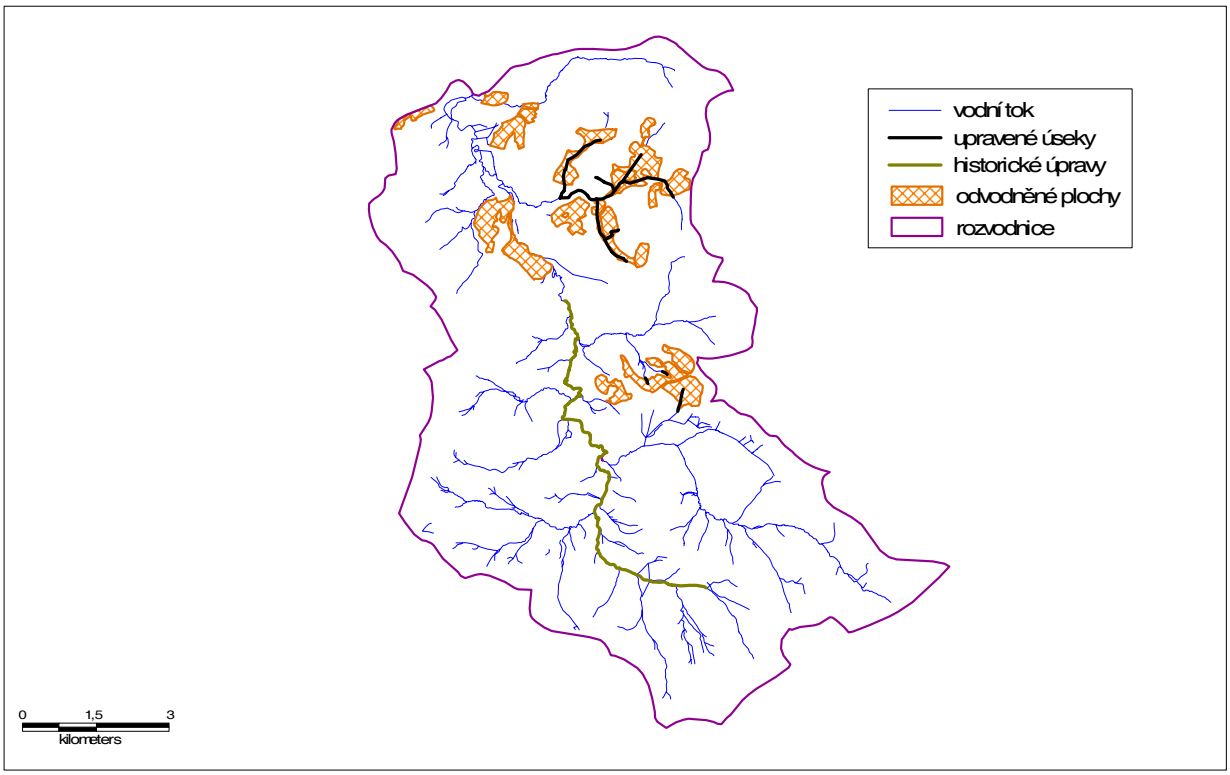
**včetně historických úprav, které dnes mají přírodě blízký charakter*

Dále byly vyhodnoceny realizovaná hydromeliorační opatření v povodí Ostružné a Blanice. Jedná se především o podpovrchové odvodnění. K odvodnění docházelo v souvislosti s intenzifikací zemědělské výroby. V povodí Ostružné byla první opatření realizována již v průběhu 60. let, přičemž k nejintenzivnějšímu nárůstu odvodněných ploch došlo v období 1975-1982. Provedená hydromeliorační opatření jsou relativně rovnoměrně rozprostřena v rámci povodí. Celkový rozsah realizovaných odvodnění v povodí Ostružné činí 829 ha, tj. 8,3 % plochy povodí. V případě Blanice byly prováděny hydromeliorace až od počátku 70. let, přičemž jsou výrazně koncentrovány do povodí Zbytinského potoka. Období největšího nárůstu odvodněných ploch 1972-1982 koresponduje s vývojem v povodí Ostružné. Celkový rozsah plošného odvodnění činí 450 ha, tj. 5,3 % plochy povodí (viz obr. 14).



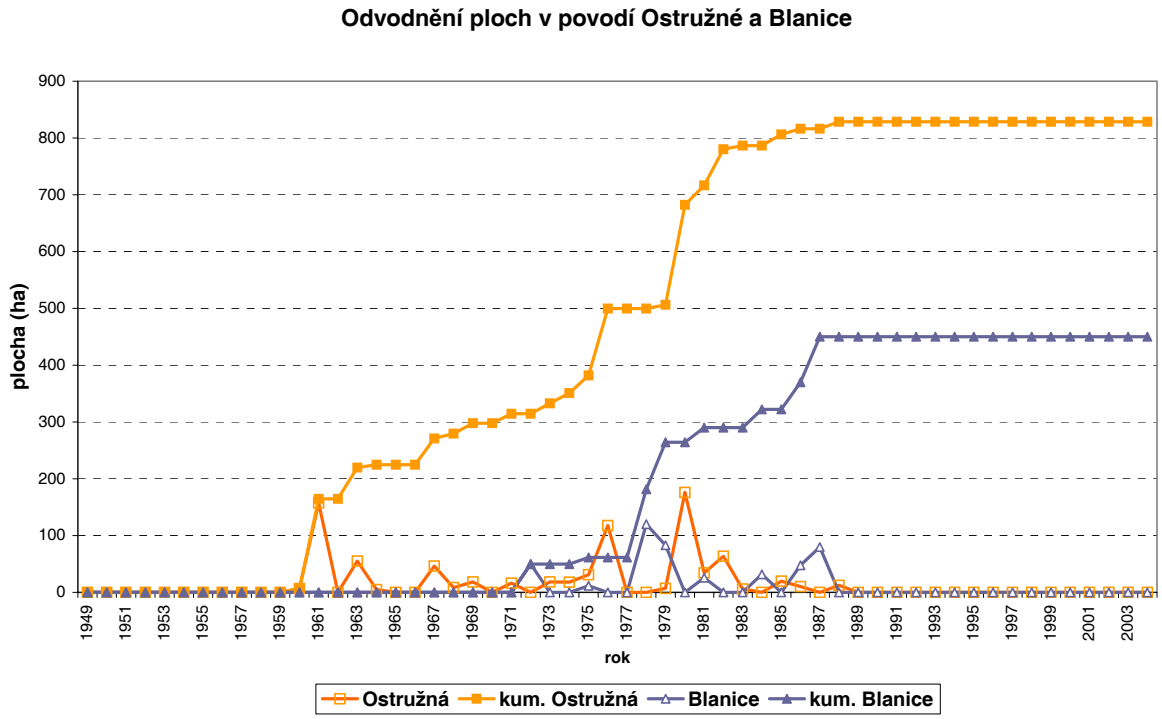
Obr. 12 Upravenost říční sítě a odvodnění ploch v povodí Ostružné, zdroj: ZABAGED, ZVHS Prachatice

Fig. 12 River training and land drainage in the Ostružná river basin, source: ZABAGED, ZVHS Prachatice



Obr. 13 Upravenost říční sítě a odvodnění ploch v povodí Blanice, zdroj: ZABAGED, ZVHS Prachatice

Fig. 13 River training and land drainage in the Blanice river basin, source: ZABAGED, ZVHS Prachatice



Obr. 14 Plošné odvodnění v povodí Ostružné a Blanice, Zdroj: ZVHS Prachatice

Fig. 14 Land drainage in the Ostružná river and the Blanice river basins, source: ZVHS Prachatice

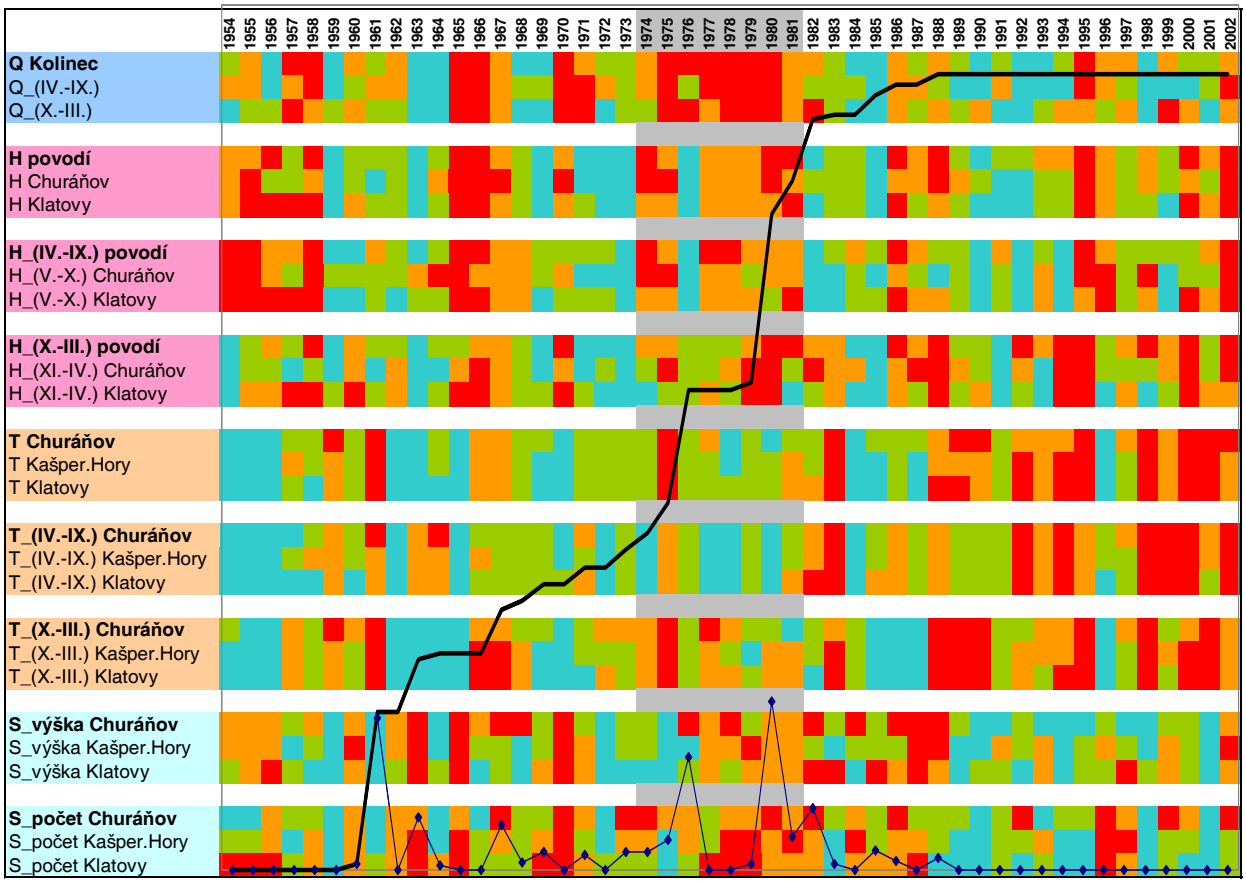
SHRNUTÍ POZNATKŮ

- Sledujeme-li průtokové charakteristiky, je zřejmé výrazné souvislé období vyššího odtoku v období 1975-1980, šířeji vymezené 1974-1982. Výrazně zvýšený odtok se přitom projevuje ve vegetačním i chladném období. Je patrné, že kratší období zvýšených vodností, většinou v délce 2-3 roky, se opakovala několikrát během sledované 50-leté řady: např. 1957-58, 1965-66(67), 1970-71, 1995-(97), 2002. Po r. 1982 můžeme sledovat v průměru nižší až nízké hodnoty odtoku, zejména ve vegetačním období.
- Období vyšších průtoků 1974-1982 souvisí se srážkově bohatším obdobím, v porovnání s obdobnými situacemi (1954-58, 1965-68, 1986-88, 1995-96, 2000-02 aj.) je však možné hodnotit uvedené období z hlediska velikosti průtoků jako nepříliš adekvátní vzhledem k velikosti spadlých srážek. Na druhou stranu se jedná o souvislé období srážkově průměrných až nadprůměrných let bez výrazných výkyvů. Sledujeme-li trendy v celé 50-leté řadě, střídají se vlhčí a sušší období, od konce 70. let je zřetelný úbytek a větší rozkolísanost srážek ve vegetačním období a nárůst srážek v chladném období, zejména ve vyšších polohách.
- Období 1974-1982 náleží mezi období teplotně podprůměrné až velmi chladné. Nízké průměrné teploty připadají zejména na vegetační období, v chladném půlroce je dosahováno naopak průměrné až mírně nadprůměrné teploty. Z hlediska 50-leté řady je zřetelný výrazný nárůst teplot od začátku 80. let a zejména v 90. letech, jak v letních, tak zimních měsících.
- Období 1974-1982 se vyznačuje jako celek nadprůměrnou výškou sněhové pokrývky a nadprůměrným počtem dní se sněhovou pokrývkou (souvislé období). Od konce 80. let se zřetelně projevuje v souvislosti s nárůstem teplot snižování výšky sněhové pokrývky (Churáňov) a pokles počtu dní se sněhovou pokrývkou (hlavně Klatovy). Jedním z důsledků je i změna rozložení odtoku během roku ve prospěch zimních měsíců (od pol. 70. let).

- V krajinného pokryvu nebyly v časovém horizontu 1845-1990 identifikovány významné změny z pohledu využití ploch v jednotlivých povodích, nicméně došlo k významné změně ve struktuře krajiny vlivem scelování pozemků, což se pravděpodobně odrazilo i v trendech odtoku. V období 1992-2002 dochází k významnému poklesu výměry orné půdy (zejména povodí Ostružné), který je kompenzován nárůstem luk a lesa. Tyto změny je možno hodnotit pozitivně z pohledu zvýšení retence vody v krajině a procesu evapotranspirace.
- V povodí Ostružné a Blanice došlo ve 2. polovině 20. století k rozsáhlým hydromelioračním opatřením. Byly provedeny rozsáhlá odvodnění zemědělských ploch a s nimi související úpravy koryt drobných vodních toků. K nejintenzivnějšímu nárůstu odvodněných ploch došlo v letech 1975-1982, což koresponduje se zjištěným trendem nárůstu odtoku v daném období.

ZÁVĚR

Sledováním změn ve srážkoodtokovém procesu s použitím metody jednoduchých a podvojných součtových čar byly prokázány odchylky ve vývoji odtoku. Ze třech vybraných modelových povodí v horské a podhorské části Šumavy se odchylky nejvíce projevily v zemědělsky využívaném povodí Ostružné, méně výrazně v povodí horní Blanice a nebyly naopak zjištěny v přírodním zalesněném povodí Vydry. Změny se projevily zřetelným nárůstem odtoku v 70. a 80. letech minulého století a postupným úbytkem odtoku v následném období. Analýzou vývoje rozložení odtoku a srážek v průběhu roku byly zjištěny určité vazby nárůstu odtoku na jedno ze srážkově bohatších období s vyšším podílem odtoku v mimovegetačním období. Teplotně chladné, relativně souvislé období bylo charakteristické výskytem srážkově průměrných až nadprůměrných let bez výrazných výkyvů s nadprůměrnou výškou sněhové pokrývky a nadprůměrným počtem dní se sněhovou pokrývkou. Po r. 1982, hlavně pak v 90. letech, lze pozorovat zejména v souvislosti s nárůstem teplot v letních i zimních měsících v průměru nižší až nízké hodnoty odtoku, především ve vegetačním období. Vzhledem ke specifičnosti a neopakovatelnosti zjištěného trendu odtoku za více jak 50-leté období můžeme předpokládat, že se vedle přírodních faktorů na něm podílely antropogenně podmíněné zásahy. V tomto smyslu se jedná zejména o rozsáhlá hydromelioračních opatření, provázaná úpravami hydrografické sítě a výstavbou povrchových i podpovrchových odvodňovacích systémů. Období nejintenzivnějšího nárůstu odvodněných ploch časově koresponduje se zjištěným trendem nárůstu odtoku. Významný pokles výměry orné půdy kompenzovaný nárůstem zatravněných a zalesněných ploch v posledním desetiletí mohl naopak přispět spolu se zjištěnými klimatickými trendy ke zvýšení podílu evapotranspirace a tím i k celkovému snížení odtoku. Stanovení váhy a vlivu faktorů ovlivňujících odtok vody z území bude předmětem synchronního monitoringu odtoku na různě využitých dílčích experimentálních plochách v povodí horní Blanice.



Obr. 15 Vývoj klimatu a nárůst plošného odvodnění v povodí Ostružné v období1954-2002, Zdroj:ČHMÚ, ZVHS

Fig. 15 Climate development and increase of land drainage in the Ostružná river basin in period 1954-2002, source CHMI, ZVHS

Vysvětlivky : Q-průměrný průtok, H-úhrn srážek, T-průměrná teplota vzduchu, S_výška – průměrná výška sněhové pokrývky, S_počet – počet dnů se sněhovou pokrývkou. Červeně: hodnoty > horní kvartil, žlutě: <horní kvartil, medián>, zeleně: <medián, dolní kvartil>, modře: <dolní kvartil. Graf, tenká čára: vývoj odvodněných ploch v jednotlivých letech, silná čára: vývoj odvodněných ploch (kumulovaně).

Notes: Q-average discharge, H-precipitation, T-average air temperature, S_výška – average snow cover height, S_počet – number of days with snow cover. Red colour: values > upper quartil, yellow: < upper quartil, median>, green: <median, lower quartil>, blue: <lower quartil. Graph: thin line: development of land drainage, thick line: development of land drainage (cumulative).

Literatura:

Blažková, Š., Kolářová, S. (1994): Vliv odlesnění na hydrologický režim v oblasti Jizerských hor. VÚV T.G.Masaryka. Praha, 76 s.

Bičík a kol. (2003): Vývoj struktury ploch v povodí Otavy. In: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní. Sborník výstupů z dílčích úkolů grantu GAČR, PřF UK, Praha, s. 113-121.

Doležal, F. a kol. (2004): Bilanční odhady příspěvku odvodňovacích soustav k průběhu povodní. VÚMOP, Praha.

Föhrer, N. a kol. (2001): Hydrological response to land use changes on the catchment scale. In: Physics and Chemistry of the Earth, 26, s.577-582.

Goudie, A. (1992): The Human Impact on the Natural Environment. Blackwell Publisher. Oxford. 388 s.

Hais, M. (2004): Influence of Drainage on Landscape Functioning in Šumava National Park. In.: Hermann A. (ed.) Extended Abstract – International conference on Hydrology of Mountains Environments. Berchtesgaden, Federal Republic of Germany, 27 September – 1 october 2004. 125 pp.

Jařabáč, M., Chlebek, A. (1984): Vliv lesů a lesního hospodářství na odtoky vod a erozi půdy v Beskydech. Vodní hospodářství, č. 4, Praha, s. 109-116.

Kaňok, J. (1999): Antropogenní ovlivnění velikosti průtoků řek povodí Odry po profil Kozle. Spisy prací Přírodovědecké fakulty Ostravské univerzity, č. 10, Ostravská univerzita, Ostrava.

Kavan, J. (2004): Změna odtokových poměrů v povodí Ostružné. Bakalářská práce, PřF UK Praha, 75 s.

Kliment, Z., Matoušková, M. (2005): Trendy ve vývoji odtoku v povodí Otavy. Geografie-Sborník ČGS, r. 112, č. 1.

Klöcking, B., Haberlandt, U.(2002): Impact of landuse changes on water dynamics – a case study in teperate meso and macroscale river basin. In: Physics and Chemistry of the Earth, 27, s. 619-629.

Křeček, J.(1980): Prognóza vlivu lesní těžby na změnu vodnosti malého povodí. Práce VÚLHM, 56, Praha.

Kříž, V. (1981): Nástin prognózy potenciálních změn hydrického režimu Moravskoslezských Beskyd. Sborník ČSG, 86, č.1, Academia Praha, s.19-27.

Kříž, V. (2003): Změny a zvláštnosti vodního režimu řeky Ostravice. Geografie, 2003, r.108, č. 1, s. 36-48.

Kulhavý, Z. (1999): Hodnocení vlivu zemědělského hospodaření na odtokové poměry malých povodí aplikací metod matematického modelování. ZZP EP 7062, VÚMOP, Praha.

Langhammer, J. a kol. (2003): Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní. Sborník výstupů z dílčích úkolů grantu GAČR, PřF UK, Praha, 200 s.

Meyer, W.B. (2001): Human impact on the Earth. Cambridge University Press, Cambridge, 253 s.

Netopil, R. (1955): Výzkum vlivu lesa na odtok. Sborník ČSZ, 60, č.1, Academia Praha, s.65-66.

Robinson, M. a kol. (2003): Studie sof the impact of forest on peak flows and baseflows: a European perspective, in: Forest ecology and management, 186, s.85-97.

Sochorec, R. (1997): Ovlivnění hydrologických charakteristik odběry povrchové vody a vypouštěním vody do toků v povodí Odry a horního toku Moravy. Vodní hospodářství, 47, č.9., s.291-292.

Šeborová, V. (1994): Režim a jakost povrchové vody v povodí Smědé. Diplomová práce, PřF UK Praha, 98 s.

Švihla, V.a kol. (1992): Výzkumný objekt Ovesná Lhota. Monografie. VÚMOP Praha, 92 s.

Válek, Z. (1953): Výzkum vlivu lesa na odtok v povodí Kychové a Zděchovky. Vodní hospodářství, č. 10-11, Praha.

Vondra, F. (2004): Fyzickogeografická charakteristika a antropogenní ovlivnění povodí horní Blanice. Bakalářská práce, PřF UK Praha, 68 s.

Autoři

Zdeněk Kliment, katedra fyzické geografie PřF UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2, kliment@natur.cuni.cz

Milada Matoušková, katedra fyzické geografie PřF UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2, matouskova@natur.cuni.cz

REGIONÁLNÍ DOPADY KLIMATICKÉ ZMĚNY NA HYDROLOGICKÝ REŽIM V ČR

Martina Krátká, Ladislav Kašpárek

Scénáře klimatické změny pro Českou republiku jsou odvozeny ze simulací modelů globální cirkulace atmosféry. Důsledky klimatické změny se v jednotlivých regionech ČR projeví na hydrologickém režimu různě v závislosti na přírodních podmínkách povodí.
Simulace změn hydrologického režimu ukázaly, že na území ČR by při předpokládaném vývoji klimatu došlo k významnému zmenšení průměrných průtoků. Minimální průtoky by se na většině povodí zmenšily velmi radikálně. To by se projevilo vážnými dopady na zásobní funkci nádrží. Zmenšení podzemního odtoku by bylo obdobné jako u celkového odtoku. Povodí na jihu a jihovýchodě ČR jsou na změny klimatu popsané použitými scénáři citlivější než povodí na ostatním území, nejméně jsou citlivá horská povodí v severní části území ČR.
Použití daných klimatických scénářů neindikuje zvětšení četnosti ani velikosti povodní, mění se jejich sezónní chod. Přibývá zimních povodí, zmenšují se povodně jarní.

Klíčová slova: scénář klimatické změny, hydrologická bilance, potenciální evapotranspirace, územní výpar, celkový odtok, základní odtok

The Regional Impacts of Climate Change on Hydrological Regime of the Czech Republic. *The climate change scenarios for the Czech Republic (CR) are deduced from the Global Circulation Model simulations. Consequences of climate change will display differently in individual regions of the CR in dependence on natural conditions.*
Simulations of changes in hydrological regime proved that the average discharges of rivers in the CR would significantly decrease owing to the presumed climatic trend. Minimum discharges would radically decrease in most basins. This fact would cause serious problems in reservoirs with insufficient active storage capacity. Reduction of baseflow would be similar to reduction of total runoff. Basins in the southern part of the CR are more sensitive to climate change delimited by the applied scenarios than highland basins in the north part of the CR.
Under the given climate scenarios flood frequency and magnitude is not increasing, but seasonal distribution changes. Floods occur more frequently in winter and less in spring.

Key words: climate change scenario, water balance, potential evapotranspiration, basin evaporation, total runoff, baseflow

---

SCÉNÁŘE KLIMATICKÝCH ZMĚN

Základním zdrojem fyzikálně konsistentních informací pro scénáře změny klimatu jsou globální klimatické modely (GCM). Pro scénáře vztahující se k malým regionům ideální nejsou, zejména z hlediska horizontálního a časového rozlišení, žádný vhodnější podklad však v době řešení úkolu „Vliv klimatických změn na množství a kvalitu vodních zdrojů a na hydrologické poměry v ČR“ (Kašpárek a kol., 2003) nebyl k dispozici. U modelů posuzovaných v ČR se potvrdily obecné rysy GCM - vystihují z hlediska konstrukce regionálních scénářů změny klimatu, nejlépe průměrnou teplotu vzduchu. Slabými místy GCM zůstává vypadávání srážek, včetně sněhových. Shoda mezi modelovými a pozorovanými atmosférickými srážkami je často nevyhovující.

V rámci projektu MŽP „Výzkum dopadů klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na Českou republiku“ byly na MFF UK zkonstruovány scénáře vycházející ze stavu vývoje GCM z roku 2000. Ze sedmi posuzovaných modelů byly vybrány jako nejvhodnější pro ČR dva modely: HadCM2* a ECHAM4[#].

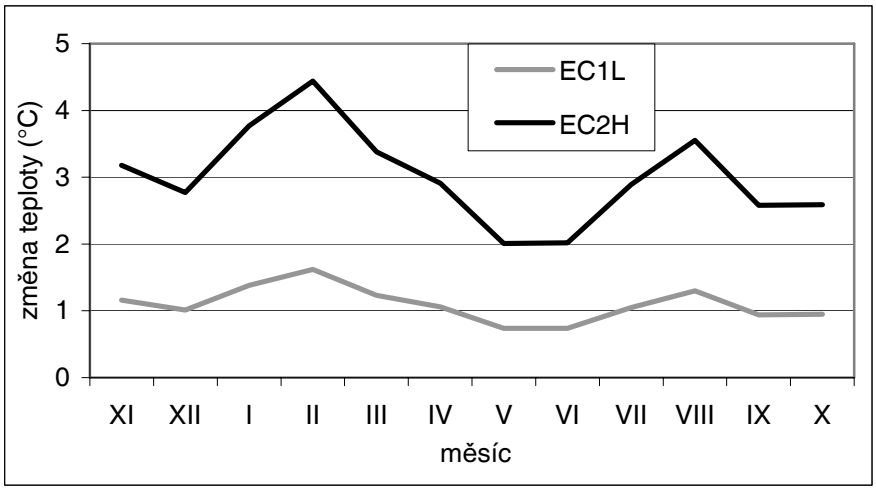
---

* HadCM2 - The Second Hadley Centre Coupled Ocean-Atmosphere GCM

[#] ECHAM4 - vyvinut z modelu European Centre for Medium-Range Weather Forecasts v Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

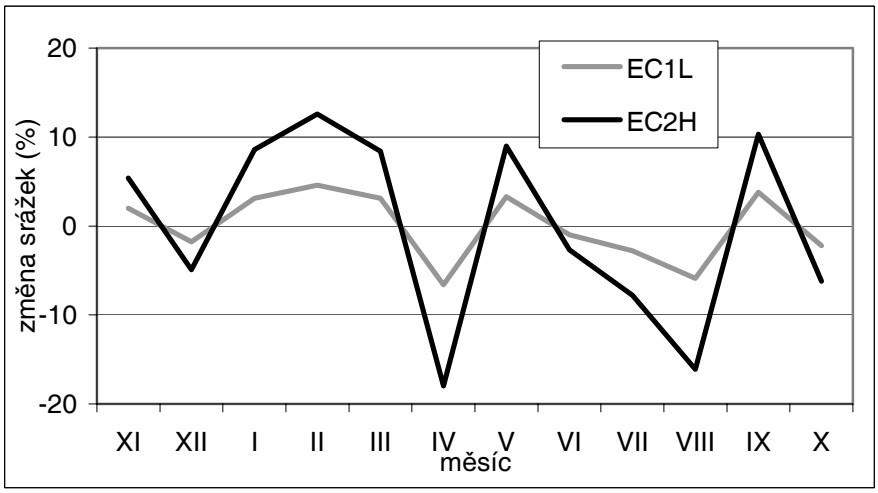
Scénáře emisí byly použity dva: SRESA2 jako pesimistická varianta nárůstu emisí CO_2 k roku 2050 na cca 17 Gt C a SRESB1 jako optimistická varianta vývoje (cca 10 Gt C k roku 2050). Pro citlivost klimatu (změna průměrné globální teploty při zdvojnásobení koncentrace CO_2 ekv.) byly zvoleny hodnoty 1,5 °C (nízká citlivost) a 4,5 °C (vysoká citlivost). Kombinace typu modelu, scénáře emisí a teplotní citlivosti vedou k osmi variantám scénářů. Na základě zkušeností z prací Národního klimatického programu ČR byly pro zkoumání vlivu klimatické změny na vodní zdroje použity pouze scénáře EC1L a EC2H, které vymezují rozmezí s nejpříznivějšími a nejméně příznivými kombinacemi scénářů emisí a klimatické citlivosti pro model ECHAM4. Použité varianty scénářů jsou popsány v tabulce 1. Výsledky podle modelu HadCM2 se od výsledků podle modelu ECHAM4 zásadně neliší, vliv rozdílnosti modelů je v porovnání s vlivem scénářů imisí i v porovnání s vlivem klimatické citlivosti nevýznamný.

Pro výpočty dopadu změn klimatu na hydrologický režim byly použity scénáře ve formě tabulek, které udávají pro každý scénář aditivní změnu pro teplotu vzduchu (viz obr. 1) a relativní změnu pro atmosférické srážky (obr. 2) a vlhkost vzduchu. Tabulky rozlišují roční chod změn v měsíčním kroku.



Obr. 1 Změna teploty v průběhu roku podle scénářů EC1L a EC2H pro časový horizont roku 2050

Fig. 1 Seasonal changes in temperature according to the EC1L and EC2H scenarios for time horizon of the year 2050



Obr. 2 Změna srážek v průběhu roku podle scénářů EC1L a EC2H pro časový horizont roku 2050

Fig. 2 Seasonal changes in precipitation according to the EC1L and EC2H scenarios for time horizon of the year 2050

Tab. 1 Použité scénáře klimatických změn

Tab. 1 Climate change scenarios used in this study

Označení	model GCM	scénář emisí	citlivost klimatu
EC1L	ECHAM4	SRESB1	nízká
EC2H	ECHAM4	SRESA2	vysoká

METODIKA

Vliv klimatických změn na hydrologický režim jsme zkoumali ve zvolených povodích, pro která lze formulovat obecně platné zákonitosti hydrologické bilance. To umožňuje modelovat povodí jako systém, jehož vstupy jsou atmosférické srážky, teploty vzduchu a další meteorologické veličiny významně ovlivňující územní výpar. Výstupem je odtok z povodí.

Vlastní model hydrologické bilance je tvořen strukturou vztahů, které popisují rozdělování srážek mezi výpar, průsak, různé typy akumulace vody v povodí a základní složky odtoku. Hydrologická bilance je vyhodnocována v měsíčním, příp. denním kroku, parametry bilančního modelu se určují optimalizací. Postup výpočtů metodou scénářů:

a) pro zvolené povodí na základě pozorovaných řad byly optimalizací stanoveny parametry modelu,
b) při použití těchto parametrů byl proveden výpočet hydrologické bilance pro pozorované řady teplot vzduchu, srážek a relativních vlhkostí vzduchu upravené o scénářem uvažované změny,
c) byl vyhodnocen účinek změn klimatických veličin na zvolenou hydrologickou veličinu

POUŽITÉ HYDROLOGICKÉ MODELY A DATA

Pro výpočty změn průměrných a minimálních průtoků i základního odtoku byl použit zejména model SIMBA (verze modelu BILAN), který počítá v měsíčním kroku chronologickou hydrologickou bilanci povodí. Pro modelování extrémních odtokových situací v denním kroku byl použit model SAC-SMA (Sacramento), pro modelování povodní frekvenční verze TOP modelu.

Výpočty modelem SIMBA (v měsíčním kroku) byly provedeny s daty, která poskytl ČHMÚ pro 50 povodí vodoměrných stanic vybraných z celého území ČR z jednotného období 1971-2002. Pro výpočty v denním kroku (model SAC-SMA) byla použita data z 8 povodí a simulace frekvenční verzí TOP modelu byly provedeny pro povodí nádrže Skalka na Ohři.

ZMĚNY SRÁŽEK A VÝPARU

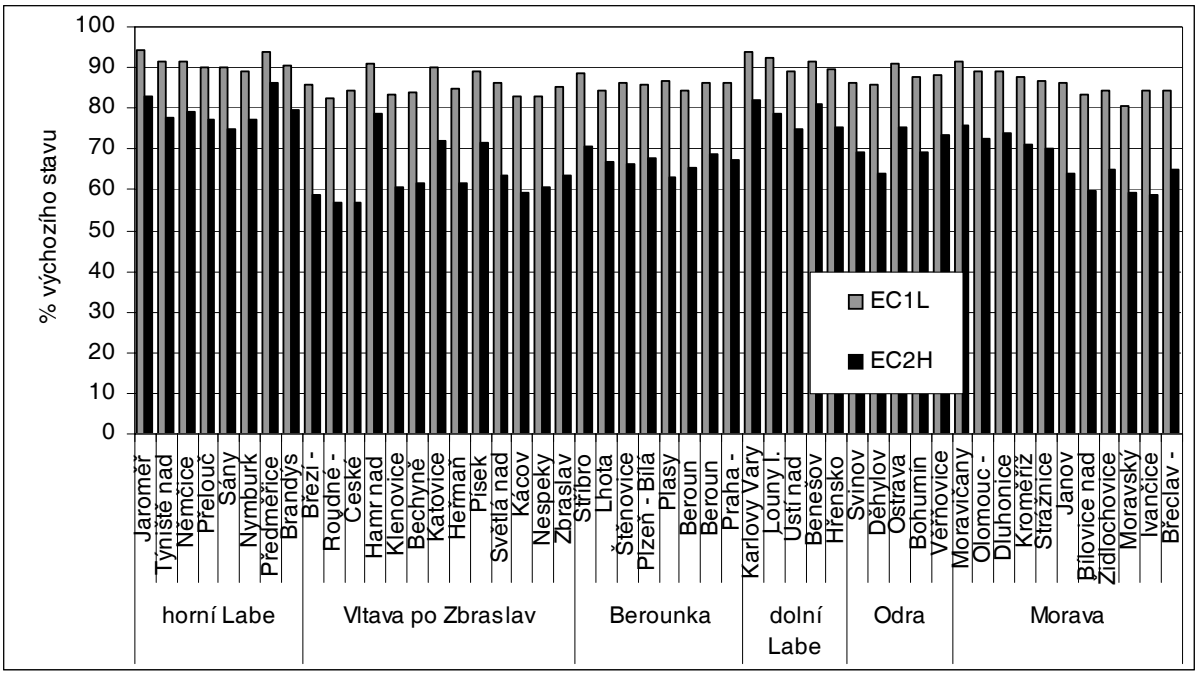
Nejdůležitější veličinou hydrologické bilance jsou srážky. Jejich změny vlivem klimatické změny v rozsahu použitých scénářů klimatické změny jsou sice z hlediska dlouhodobých průměrů zanedbatelné, mění se však jejich sezónní rozložení, zjednodušeně řečeno se zimní srážky zvětšují a letní zmenšují.

Druhou nejvýznamnější veličinou hydrologické bilance je územní výpar, který na většině území ČR je větší, než odtok. Územní výpar je v našich podmínkách většinou výsledkem dvou základních činitelů, dostupné energie (dána především teplotou vzduchu a řadou dalších veličin) a disponibilního množství vody (ze srážek, ze zásob vody v půdě). Výpočty ukázaly, že radikální zvětšení potenciální evapotranspirace (18 až 33 %) při vývoji klimatu podle scénáře EC2H se ve zkoumaných povodích projeví vlivem omezeného množství srážek ve vegetačním období jen podstatně menším zvětšením územního výparu (7 až 26 %).

ZMĚNY CELKOVÉHO ODTOKU

Základním důsledkem klimatické změny je pokles průměrné dlouhodobé odtokové výšky ve všech povodích. Pokles celkového odtoku pro scénář EC1L je na úroveň 80-94 % hodnot pro nezměněné klima, pokles celkového odtoku pro scénář EC2H je na úroveň 57-86 % hodnot pro nezměněné klima (viz obr. 3).

Rozložení velikosti poklesu odtoku není z regionálního hlediska náhodné, menší poklesy jsou v povodí horního Labe, v povodí Ohře, Ploučnice a na tocích které odtékají z Beskyd a Jeseníků. Největší poklesy odtoku jsou typické pro oblast jižních Čech s výjimkou Nežárky a Otavy, na Moravě v povodí Dyje. Důvodem tohoto rozložení jsou rozdíly v ročním chodu srážek. V povodích, kde jsou větší zimní srážky, je zimní zvýšení srážek významnější než u povodí, kde je podíl zimních srážek menší.



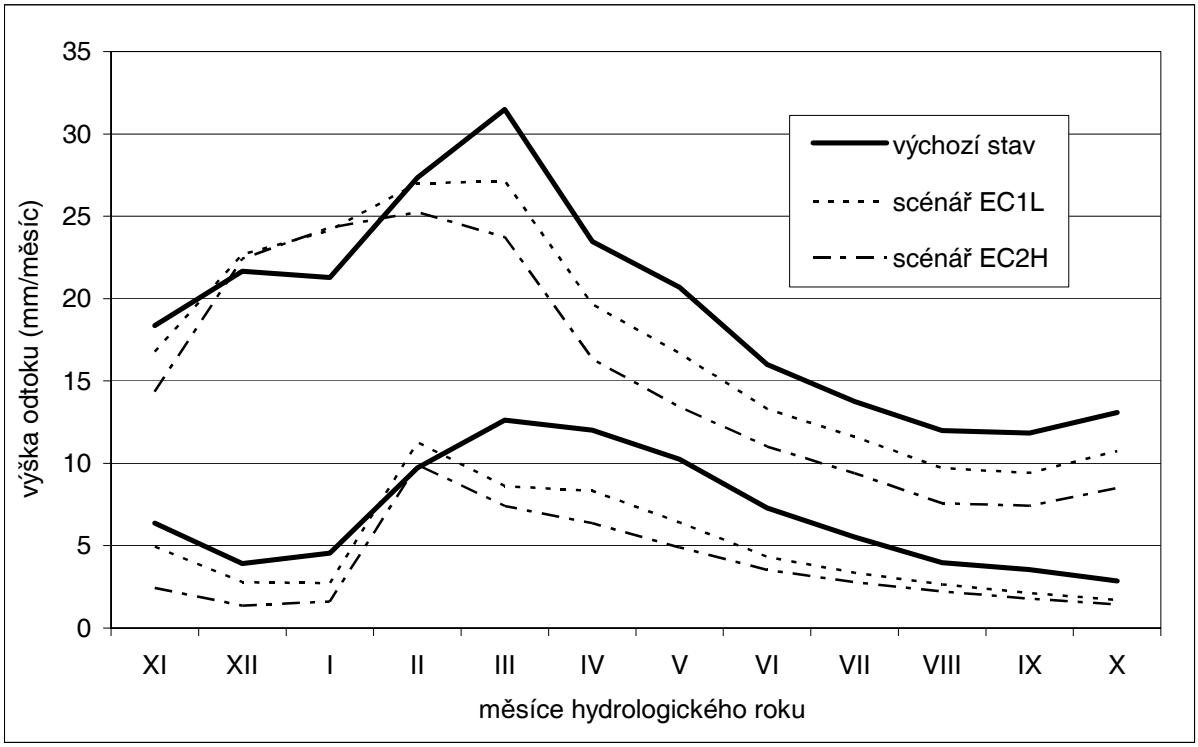
Obr. 3 Celkový odtok v jednotlivých povodích při změně klimatu podle scénářů EC1L a EC2H

Fig. 3 Total runoff in individual basins according to EC1L and EC2H climate change scenarios

ZMĚNY SEZÓNNÍHO CHODU PRŮMĚRŮ A MINIM CELKOVÉHO ODTOKU

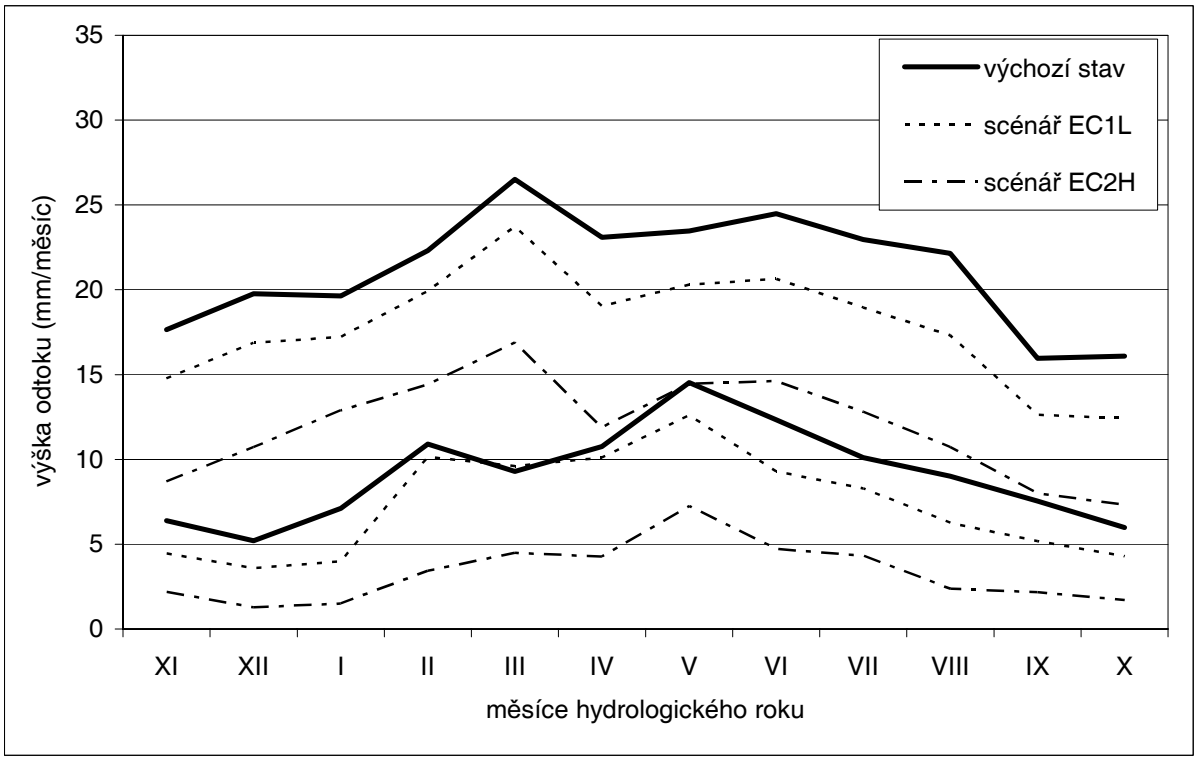
Celkový odtok klesá podle obou scénářů klimatické změny v průběhu jarních, letních a podzimních měsíců zejména na dolních tocích téměř konstantně o 10-20 % (EC1L), resp. o 30-40 % (EC2H). V zimních měsících je pokles méně výrazný, nulový nebo dochází k mírnému vzestupu. Na horních tocích jsou změny celkového odtoku různorodější, v závislosti na lokálních klimatických a hydrogeologických podmínkách. Na obr. 4 a 5 jsou znázorněny příklady odtoků z povodí Labe v Brandýse n. L. a z povodí Vltavy v Č. Budějovicích.

Poklesy minim měsíčních průměrných odtokových výšek jsou podstatné, v některých případech při aplikaci scénáře EC2H až drastické. Vyskytují se i poklesy do oblasti 12-15 % původní hodnoty (v měsíci srpnu, v povodí Moravy a Odry). Minima klesají v některém měsíci pod polovinu původní hodnoty ve všech zkoumaných povodích. Účinek klimatické změny na minimální průtoky je tedy velmi významný a indikuje ohrožení zásobní funkce vodních zdrojů, které nemají dostatečnou akumulaci pro překrytí období hydrologického sucha.



Obr. 4 Sezónní chod celkového odtoku z povodí Labe po Brandýs n. L. - průměry a minima ovlivněného a neovlivněného odtoku

Fig. 4 Seasonal course of total runoff from the Elbe River catchment (to Brandýs n. L.) – means and minimums of non-affected and affected runoff



Obr. 5 Sezónní chod celkového odtoku z povodí Vltavy po Č. Budějovice - průměry a minima neovlivněného a ovlivněného odtoku

Fig. 5 Seasonal course of total runoff from the Vltava River catchment (to Č. Budějovice) – means and minimums of non-affected and affected runoff

ZMĚNY POVODŇOVÉHO REŽIMU

Podle výsledků simulací vlivu předpokládaných změn klimatu na povodňový režim lze usuzovat, že základní změnou je zvětšení četnosti i velikosti zimních povodní, a to na úkor povodní jarních, které se zmenšují a posunují směrem k zimě. Letní povodně se téměř nemění, jen ojediněle se zmenšují. Povodně v podzimních měsících se zmenšují pouze v některých letech, v závislosti na tom, jak suché bylo jim předcházející období. Pokles podzimních povodní se objevuje u povodí s menšími dlouhodobými úhrny srážek.

Důvodem úbytku jarních povodní a nárůstu zimních povodní je jednak výrazné zvýšení teplot, jehož následkem jsou srážky v zimě deštivější, zásoba vody ve sněhu je menší a dříve taje, dalším důvodem je zvětšení úhrnů srážek v zimních měsících.

Celkové zvětšení evapotranspirace spolu s nezvětšenými dlouhodobými letními srážkami vede k poklesu zásoby vody v povodí. V letních měsících ještě není pokles tak významný, aby podstatně redukoval povodně z intenzivních a vydatných letních srážkových případů. Čím později se však povodeň vyskytne, tím větší je (v průměru) deficit vody v půdě, tím zřetelnější je pokles podzimních povodní.

Popsané změny povodňového režimu jsou zřetelné a významné pro scénář EC2H, u výsledků scénáře EC1L jsou patrné méně a redukují se zejména na zvětšení povodní zimních a zmenšení povodní letních.

Literatura

Kalvová, J., Kašpárek, L., Janouš, D., Žalud, Z., Kazmarová, H. a kol. (2002): Scénáře změny klimatu na území České republiky a odhady dopadů klimatické změny na hydrologický režim, sektor zemědělství, sektor lesního hospodářství a na lidské zdraví v ČR. Národní klimatický program ČR, svazek 32, Praha, 141 s.

Kašpárek, L. a kol. (2003): Vliv klimatických změn na množství a kvalitu vodních zdrojů a na hydrologické poměry v ČR. Závěrečná zpráva úkolu VaV/650/3/02. VÚV T.G.M., Praha, 192 s.

Autoři

Ing. Martina Krátká – Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M., Podbabská 30, 160 62 Praha 6, martina_kratka@vuv.cz

Ing. Ladislav Kašpárek, CSc. - Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M., Podbabská 30, 160 62 Praha 6, ladislav_kasparek@vuv.cz

VPLYV POVETERNOSTNÝCH PODMIENOK NA CHARAKTERISTICKÉ STAVY VODY V ŤAŽKÝCH PÔDACH

Rastislav Mati, Dana Kotorová

V podmienkach ťažkej fluvizeme glejovej (FM_G) bol v rokoch 1998 – 2002 sledovaný vplyv poveternostných faktorov (priemerná teplota vzduchu a suma zrážok) počas vegetačného obdobia na zásobu vody v pôde. Obsah vody v profile do 0,3 m sa zisťoval gravimetrickou metódou a hodnotil sa z pohľadu jej maximálnej, priemernej a minimálnej zásoby v ornici. Namerané hodnoty zásoby pôdnej vody boli prepočítané pri maximálnej zásobe na percento poľnej vodnej kapacity, pri priemernej zásobe na percento bodu zníženej dostupnosti a pri minimálnej zásobe na percento bodu vädnutia. Modelovou plodinou bol bôb obyčajný pestovaný s použitím konvenčnej agrotechniky. Pri hodnotení vegetačného obdobia jednotlivých experimentálnych rokov sa postupovalo podľa stupnice, ktorú publikovala Demeterová (2002). Prvky počasia boli zhodnotené podľa hydrotermického koeficientu Seľjaninova, klimatického ukazovateľa zavlaženia Tomlaina a agronomickej charakteristiky pre vegetačné obdobie Benetina – Šoltésza. Dopad poveternostných faktorov na zásoby vody v ornici fluvizeme glejovej na Východoslovenskej nížine poukazuje na významné diferencie v jej absolútnych hodnotách i časovom priebehu.

Kľúčové slová: prvky počasia, vegetačné obdobie, maximálna, priemerná a minimálna zásoba vody v pôde

The effect of meteorological conditions on specific state of water in heavy soils. *During vegetation period of 1998 – 2002 in conditions of heavy Fluvi-eutric Gleysol effect of weather factors (average air temperature and sum of precipitation) on soil water supply. Water content in profile to 0.3 m was determined by gravimetric method and it was valued from point of view of its maximum, average and minimum supply in topsoil. Measured values of soil water supply were re-calculated at maximum supply to percentage of soil water capacity, at average supply to percentage of point of decreased availability and at minimum supply to percentage of wilting point. Faba bean cultivated by conventional tillage was model plant. Vegetation period of individual experimental years were valued by Demeterová (2002). For evaluated of weather factors were used as follows: hydrotermic coefficient by Seľjaninov, climatic indicator of irrigation by Tomlain, agronomic characteristic for vegetation period by Benetin – Šoltész. Impact of meteorological factors on water supply in topsoil of Fluvi-eutric Gleysol on the East-Slovakian Lowland show to significant differences in its absolutely values and in time course, too.*

Key words: meteorological factors, vegetation period, maximum, average and minimum water supply in soil

---

ÚVOD

Produkčný proces poľných plodín sa realizuje v neustále sa meniacich podmienkach prostredia v systéme pôda – porast – atmosféra. Priebeh tohto procesu je veľmi zložitý a je ovplyvňovaný mnohými faktormi. Významnú úlohu v produkčnom procese poľných plodín zohráva počasie, ktoré je objektívnym činiteľom v rastlinnej výrobe. Poveternostné faktory, predovšetkým denné teploty a zrážky, pôsobia komplexne, pričom teplota výrazne ovplyvňuje rast rastlín a časové rozdelenie zrážok je dôležitým faktorom ovplyvňujúcim rastlinnú produkciu.

Predpokladaný dopad klimatickej zmeny na produkčný proces v poľnohospodárskej rastlinnej výrobe sa môže prejaviť zmenami teplotných pomerov, fenologických podmienok, zmenami globálnej radiácie v procese fotosyntézy, koncentráciou oxidu uhličitého a následne tvorbou úrody, teda zmenou produkčného potenciálu pestovaných plodín. Zmenené klimatické podmienky sa podľa všetkého prejavia aj zmenami vlhkostných pomerov pôdneho prostredia.

Poveternostné podmienky zvyknú mať na Východoslovenskej nížine extrémny priebeh. V tejto súvislosti sa významný vplyv na priebeh produkčného procesu pripisuje práve zmenám klímy. Pre optimálny priebeh produkčného procesu je dôležitá vyváženosť všetkých zložiek pôdneho prostredia a okolitého prostredia. Pre dosiahnutie určitej úrovne rastlinnej produkcie je nenahraditeľný optimálny obsah vody v pôde. V prípade hospodárenia s vodou, ako to uvádzajú Mati – Kotorová (1997), jedná

sa o schopnosť pôdy zadržať vodu, umožňovať jej pohyb v pôde a v potrebnom množstve a čase zásobovať vodou rastliny.

Charakteristickou a často zdôrazňovanou črtou Východoslovenskej nížiny (VSN) je, popri špecifickom priebehu poveternostných podmienok, aj vysoké zastúpenie pôd, ktoré sa vyvíjali v hydromorfných podmienkach, čo spôsobilo vysokú prítomnosť ílovitých častíc v ornici i v podornici. Vysoké zastúpenie ťažkých a veľmi ťažkých pôd (42,7 % z výmery poľnohospodárskej pôdy) výrazne sťažuje hospodárenie na pôde a zvyšuje predovšetkým materiálovú náročnosť produkčného procesu. Na VSN fluvizeme glejové (FM_G), čiernice glejové ($ČA_G$), pseudogleje glejové (PG) a gleje (GL) predstavujú až 65 % z výmery poľnohospodárskej pôdy (Vilček, 1998).

Jediným reálnym zdrojom vody pre poľnohospodárske plodiny je zásoba vody v pôdnom profile a pôdna voda nemá pre produkčný proces alternatívu (Demo, Bielek et al., 2000). Plnenie jej funkcií v produkčnom procese počas vegetačného obdobia závisí nielen od samotného obsahu pôdnej vody, ale aj od charakteristík pôdy a pestovaných plodín. Pre charakterizovanie vzťahu medzi rastlinou a vlhkosťou pôdy, resp. jej vlhkostným potenciálom (Antal, 1997; Šútor et al., 1995; Šútor – Štekauerová, 2000) sú používané hydrolimity vyjadrené charakteristickými vlhkosťami pôdy, a to poľná vodná kapacita (pF_{PK} = 2,0 – 2,9), bod zníženej dostupnosti (pF_{ZD} = 3,1 – 3,5) a bod vädnutia (pF_V = 4,18).

V predkladanej práci sú syntetizované výsledky získané vlastným experimentálnym výskumom zameraným na parametrizáciu zásob pôdnej vody na ťažkých pôdach Východoslovenskej nížiny pri konvenčnej agrotechnike počas vegetačného obdobia rokov 1998 – 2002.

MATERIÁL A METÓDY

Pôdne vzorky na zistenie obsahu pôdnej vody boli odoberané vo vegetačnom období rokov 1998 – 2002 v dvojtýždňových intervaloch z hĺbky 0,3 m fluvizeme glejovej (FM_G) vo vrstvách 0,1 m v troch opakovaniach. Vlhkosť sa stanovila gravimetricky. Vzorky boli odoberané v poraste bôbu obyčajného pestovaného konvenčným spôsobom. Denné zrážkové úhrny a priemerné teploty vzduchu boli merané na meteorologickej stanici Slovenského hydrometeorologického ústavu Bratislava v Milhostove.

Pre zhodnotenie prvkov počasia boli použité nasledovné metódy:
a) hydrotermický koeficient (K_{HT}) Seljaninova (in: Demo – Bielek et al., 2000):

$$K_{HT} = \frac{\Sigma H_Z}{0{,}1\ \Sigma t_{10}}$$

kde: ΣH_Z je úhrn zrážok za vegetačné obdobie [mm],
Σt_{10} teplotná suma priemerných denných teplôt za vegetačné obdobie [°C].

Tab. 1 Charakteristika vegetačného obdobia podľa K_{HT}
Tab. 1 Characteristics of vegetation period by K_{HT}

hydrotermický koeficient	< 0,3	0,31 – 0,50	0,51 – 0,99	1,0	1,01 – 2,00	> 2,0
charakteristika obdobia	katastrofálne sucho	sucho	nedostatok vlahy	zrážky sa rovnajú výparu	dostatok vlahy	prebytok vlahy

b) klimatický ukazovateľ zavlaženia (K_Z) podľa Tomlaina (in: Demo – Bielek et al., 2000):

$$K_Z = E_0 - H_Z$$

kde: E_0 – potenciálna evapotranspirácia sledovaného obdobia [mm],
H_Z – úhrn zrážok vo vegetačnom období [mm].

Kladné hodnoty K_Z charakterizujú nedostatok vlahy, záporné hodnoty jej nadbytok.

c) Pri hodnotení vegetačného obdobia podľa množstva atmosférických zrážok sa použila stupnica uvedená v tab. 2 (in Demeterová, 2002).

Tab. 2 Charakteristika vegetačného obdobia podľa dlhodobého normálu úhrnu zrážok [% DN]
Tab. 2 Characteristics of vegetation period by percentage of long-time normal [% DN]

úhrn zrážok	< 60	60 – 79	80 – 89	90 – 110	111 – 120	121 – 140	> 140
charakteristika	extrémne suché	veľmi suché	suché	normálne	vlhké	veľmi vlhké	extrémne vlhké

d) Z agronomického hľadiska sa rozlišuje desať typov vlhkostného režimu pôdy a požadovaný hodnotiaci pomer (A) sa pre bilancované obdobie vypočíta podľa Benetina – Šoltésza (1988):

$$A = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{\Theta_i - \Theta_V}{\Theta_{PK} - \Theta_V}$$

kde: n – počet dní hodnoteného obdobia,
Θ_i – priemerná vlhkosť aktívnej koreňovej zóny v i-tom dni bilancovaného obdobia,
Θ_V – bod vädnutia aktívnej koreňovej zóny,
Θ_{PK} – poľná vodná kapacita aktívnej koreňovej zóny.

Tab. 3 Typy vlhkostného režimu pôdy podľa agronomickej klasifikácie vlhkostného režimu pôd (Demo – Bielek et al., 2000)
Tab. 3 Types of moisture regime of soil by agronomic classification of soil moisture regime (Demo – Bielek et al., 2000)

Stupne obsahu pôdnej vlahy	**A**	**Typ vlhkostného režimu pôdy v bilancovanom období**
nedostatok pôdnej vody pre rastliny	< 0,10	úplne suchý
	0,11 – 0,20	veľmi suchý
	0,21 – 0,30	značne suchý
	0,31 – 0,40	suchý
optimálny obsah pôdnej vody pre rastliny	0,41 – 0,50	striedavo suchý
	0,51 – 0,60	striedavo vlhký
	0,61 – 0,75	vlhký
	0,76 – 0,90	značne vlhký
	0,91 – 1,00	mokrý
prebytok pôdnej vody	> 1,00	zamokrený

Zásoba vody v pôde sa hodnotila z pohľadu maximálnej, priemernej a minimálnej zásoby pôdnej vody. Maximálna zásoba pôdnej vody (W_{max}) predstavuje najvyššiu nameranú zásobu pôdnej vody v pôdnom profile 0 – 0,3 m vo vegetačnom období daného roku bez ohľadu na termín, kedy bola dosiahnutá. Minimálna zásoba pôdnej vody (W_{min}) predstavuje naopak najnižšiu nameranú zásobu pôdnej vody za podmienok uvedených pri W_{max}. Priemerná zásoba pôdnej vody ($W_{Ø}$) je aritmetickým priemerom nameraných zásob pôdnej vody z jednotlivých odberov pre ornicu v priebehu vegetačného obdobia daného roku.

Namerané hodnoty zásoby pôdnej vody boli prepočítané pri maximálnej zásobe pôdnej vody na percentá poľnej vodnej kapacity (Θ_{PK}), pri priemernej zásobe pôdnej vody na percentá bodu zníženej dostupnosti (Θ_{ZD}) a pri minimálnej zásobe pôdnej vody na percentá bodu vädnutia (Θ_V).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pre Východoslovenskú nížinu je typické nerovnomerné rozdelenie zrážok, čo potvrdzujú aj zrážkové úhrny jednotlivých vegetačných období rokov 1998 – 2002. Z údajov uvedených v tab. 4 je vidieť, že v danom časovom rade zrážkové úhrny dosahovali 74,4 – 154,0 % DN a vo vývoji zrážok

v Milhostove dochádzalo k prechodu od veľmi suchého vegetačného obdobia v roku 1999, cez vlhké v rokoch 2000 a 2002 až po veľmi vlhké v roku 2001 a dokonca extrémne vlhké v roku 1998.

Tab. 4 Vyhodnotenie vegetačných období rokov 1998 – 2002 podľa úhrnu zrážok
Tab. 4 Evaluation of vegetation periods by total precipitation during years 1998 – 2002

Rok	Suma zrážok [mm]	% DN	Charakteristika vegetačného obdobia
1998	536	154,0	extrémne vlhké
1999	259	74,4	veľmi suché
2000	418	120,1	vlhké
2001	439	126,1	veľmi vlhké
2002	401	115,2	vlhké
DN	348	100,0	normálne

Pre hodnotenie vlahových pomerov v Milhostove boli použité viaceré koeficienty. Hydrotermický koeficient Seľjaninova (tab. 5) sa pohyboval v intervale 0,88 – 1,77. Na základe zistených hodnôt K_{HT} možno konštatovať, že vegetačné obdobie roku 1999 (K_{HT} = 0,88) sa vyznačovalo nedostatkom vlahy, ale v ostatných rokoch bol vlahy dostatok.

Tab. 5 Vyhodnotenie vegetačných období rokov 1998 – 2002 podľa úhrnu zrážok
Tab. 5 Evaluation of vegetation periods according to total precipitation during years 1998 – 2002

Rok	K_{HT}	K_Z	A
1998	1,77	-233,06	0,67
	dostatok vlahy	nadbytok vlahy	optimálny obsah pôdnej vlahy
1999	0,88	61,81	0,56
	nedostatok vlahy	nedostatok vlahy	optimálny obsah pôdnej vlahy
2000	1,45	-103,49	0,34
	dostatok vlahy	nadbytok vlahy	nedostatok pôdnej vlahy
2001	1,01	-136,48	0,69
	dostatok vlahy	nadbytok vlahy	optimálny obsah pôdnej vlahy
2002	1,51	-77,77	0,26
	dostatok vlahy	nadbytok vlahy	nedostatok pôdnej vlahy

V prípade hodnotenia vegetačných období podľa Tomlainovho klimatického ukazovateľa zavlaženia sa nedostatkom vlahy vyznačoval len rok 1999, pričom v ostatných sledovaných rokoch bol vo vegetačnom období nadbytok vlahy.

Ako ďalej vyplýva z údajov uvedených v tab. 5, pri hodnotení vegetačných období rokov 1998 – 2002 podľa agronomickej klasifikácie vodného režimu pôd bol nedostatok pôdnej vlahy v rokoch 2000 a 2002, zatiaľ čo v ostatných sledovaných rokoch bol jej obsah optimálny.

Maximálna zásoba pôdnej vody (tab. 6) dosahovala 85,09 – 103,74 % poľnej vodnej kapacity a prezentované hodnoty poukazujú na jej vyrovnanosť počas vegetačných období sledovaných rokov. Najnižšie hodnoty boli zaznamenané v roku 2002, ktorý je charakterizovaný ako vlhký, najvyššie v roku 1999, ktorý je charakterizovaný ako veľmi suchý s úhrnom zrážok dosahujúcim len 74,4 % dlhodobého normálu.

Tab. 6 Maximálna [% Θ_{PK}], priemerná [% Θ_{ZD}] a minimálna [% Θ_V] zásoba pôdnej vody
Tab. 6 Maximum [% Θ_{PK}], average [% Θ_{ZD}] and minimum [% Θ_V] supply of soil water

rok	% Θ_{PK}	% Θ_{ZD}	% Θ_V
1998	99,29	102,18	120,15
1999	103,74	91,76	86,33
2000	96,79	83,38	79,84
2001	90,84	92,30	102,87
2002	85,09	81,26	80,66
∅	**95,15**	**90,18**	**93,97**

Aj pri priemernej zásobe pôdnej vody sú jej hodnoty nižšie vo vegetačných obdobiach rokov 2000 a 2002, ktoré sú podľa úhrnu zrážok vlhké. Priemerná zásoba pôdnej vody bola vyššia než hodnota vlhkosti bodu zníženej dostupnosti iba v extrémne vlhkom vegetačnom období roku 1998. Vo vegetačných obdobiach ostatných sledovaných rokov bola nižšia a dosahovala 81,26 – 92,30 % vlhkosti bodu zníženej dostupnosti.

Hodnoty minimálnej zásoby pôdnej vody, podobne ako maximálnej, sú uvedené v tab. 6 bez ohľadu na termín merania. Najnižšie hodnoty neboli dosiahnuté z pohľadu zrážkového úhrnu vo veľmi suchom roku 1999, kedy minimálna zásoba pôdnej vody dosahovala 86,33 % Θ_V, ale vo vlhkom roku 2000 to bolo len 79,84 % Θ_V. V roku 2002, ktorého vegetačné obdobie bolo tiež vlhké, bola minimálna zásoba pôdnej vody 80,66 % Θ_V. Vo vegetačnom období roku 1998, ktoré bolo extrémne vlhké, minimálna zásoba pôdnej vody dosahovala 120,15 % Θ_V a aj vo veľmi vlhkom vegetačnom období 2001 bola vyššia ako vlhkosť bodu vädnutia (102,87 %Θ_V).

ZÁVER

Výsledky hodnotenia hydrotermických pomerov vegetačných období rokov 1998 – 2002 a klasifikácia vlhkostného režimu ťažkých pôd na Východoslovenskej nížine poukazujú na nezanedbateľný príspevok kapilárneho prítoku k bilancii zásob pôdnej vody. Svedčí o tom agronomická klasifikácia vlhkostného režimu, podľa ktorej, na rozdiel od hydrotermického koeficientu a klimatického ukazovateľa zavlaženia, je napr. vo vegetačnom období roku 1999 optimálny obsah pôdnej vody a v rokoch 2000 a 2002 nedostatok pôdnej vody. Priemerná a minimálna zásoba pôdnej vody aj v rokoch so zrážkovým úhrnom vyšším ako je dlhodobý normál sú nižšia ako je úroveň zodpovedajúca vlhkosti bodu zníženej dostupnosti, resp. bodu vädnutia.

Literatúra

Antal, J. (1997): Aplikovaná agrohydrológia. 1. vyd. Nitra: VŠP, 1997. 154 s. ISBN 80–7137–363–X

Benetin, J., Šoltész, A. (1988): Hydrologické charakteristiky vodného režimu pôd a ich výpočet. In: Agromelio. Nitra: ČSTVS, 1988, s. 12 – 20.

Demeterová, B. (2002): Hospodárenie s vodnými zdrojmi. Košice: SHMÚ, 2002.

Demo, M., Bielek, P. et al. (2000): Regulačné technológie v produkčnom procese poľnohospodárskych plodín. 1. vyd. Nitra: SPU, 2000. 648 s. ISBN 80–7137–732–5

Mati, R., Kotorová, D. (1997): Hydrofyzikálne charakteristiky ťažkých pôd. In: Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda – rastlina – atmosféra. Bratislava: 1997, s. 70 – 71.

Šútor, J., Mati, R., Ivančo, J., Gomboš, M., Kupčo, M., Šťastný, P. (1995): Hydrológia Východoslovenskej nížiny. 1. vyd. Michalovce: Media Group v.o.s., 1995. 467 s. ISBN 80–88835–00–3

Šútor, J., Štekauerová, V. (2000): Hydrofyzikálne charakteristiky pôd Žitného ostrova. 1. vyd. Bratislava: ÚH SAV, 2000. 166 s. ISBN 80–968480–1–1

Vilček, J. (1998): Interpretácia bonitácie pôd na Východoslovenskej nížine. In: Trvalo udržateľný rozvoj poľnohospodárskej výroby na regionálnej úrovni. Michalovce: OVÚA, 1998. s. 207 – 212.

Ing. Rastislav Mati, CSc. – RNDr. Dana Kotorová, PhD. Výskumný ústav rastlinnej výroby Piešťany – Ústav agroekológie Michalovce, Špitálska 1273, 071 01 Michalovce

Kontaktná adresa:

RNDr. Dana Kotorová, PhD. VÚRV Piešťany - ÚAe Michalovce, Špitálska 1273, 071 01 Michalovce,
e-mail: kotorova@minet.sk

BILANČNÍ HODNOCENÍ VYBRANÝCH UKAZATELŮ JAKOSTI VODY NA VÝZNAMNÝCH PŘÍTOCÍCH DO NÁDRŽE

Nováková Petra, Procházková Pavla

Jakost vody byla hodnocena na nejvýznamnějších přítocích do vodní nádrže Vranov nad Dyjí – číslo hydrologického pořadí 4-14-02-051. Nádrž se nachází na jižní Moravě severozápadně od Znojma a Vranova nad Dyjí. Hydrologické povodí nádrže je velmi rozsáhlé (celkem 2 211,8 km^2, z toho v ČR 1159,0 km^2) a zasahuje do čtyř okresů – Znojmo, Třebíč, Jihlava, Jindřichův Hradec a tří krajů - Jihomoravského, Jihočeského a Vysočina. Velká část povodí leží v Rakousku (cca 47 %). Nádrž nepatří mezi vodárenské nádrže (není vyjmenovaná ve vyhlášce Ministerstva životního prostředí č. 137/1999 Sb.), avšak je zde zřízen vodárenský odběr a pitnou vodou z tohoto zdroje je zásobováno přibližně 85000 obyvatel. V bezprostřední blízkosti nádrže je silně rozvinuta rekreace a často dochází ke střetům zájmů mezi vodohospodářským a rekreačním využíváním nádrže a jejího okolí.
Vývoj jakosti vody byl sledován na hlavním toku – Dyji a na největším přítoku – na Želetavce. Údaje o koncentracích vybraných ukazatelů charakterizujících jakost vody (CHSK – Cr, dusičnany, dusitany, amonné ionty, fosforečnany,celkový fosfor, mangan, železo, chloridy, pH a koliformní bakterie) a hodnoty průtoků ve sledovaných profilech byly získány od ČHMÚ. Díky údajům o průtocích bylo možné bilančně vyhodnotit jednotlivé ukazatele a získat přehled o skutečném množství daných látek, které se do nádrže těmito přítoky dostávají.

Klíčová slova: jakost vody, vodní nádrž, znečištění vody

Balance evaluation of chosen water quality indicators on important basin tributaries. *The water quality was evaluated on the most important tributaries of Vranov nad Dyji water basin– hydrology number 4-14-02-051. The basin is located in South Moravia, northeast of cities Znojmo and Vranov nad Dyji. The hydrology catchment is very extensive (total area 2211,8 km^2,where 1159 km^2 belong to the Czech Republic) and stretch far into four districts – Znojmo, Třebíč, Jihlava, Jindřichův and three regions - Jihomoravského, Jihočeského and Vysočina. The big part of the catchment is situated in Austria (47 %). The basin does not belong to the sources of water supply (it is not on the list in the regulation of the Department of Environment no. 137/1999 Sb.). However, there is the water uptake established and the drinking water from this source supplies 85 000 habitants. There are a lot of recreation objects nearby the basin so there must be solved conflicts between water management and recreation function of the basin and vicinity from time to time.*
The monitoring of water quality was done in the main tributary – Dyje river and in the biggest tributary – Želetavka river. The data of concentration of chosen water quality indicators (COD – Cr, nitrate, nitrite, ammonium ions, phosphates, total phosphorus, manganese, iron, chlorides, pH and numbers of thermotolerant coliform bacteria) and value of flow were getting of the monitoring net of ČHMU (Czech Hydrometeorological Institute). The balance evaluation of individual indicators and the grasp about real number of matters flowing into the basin were analysed thanks to the flows data.

Key words: water quality, water basin, water pollution

ÚVOD

Ochrana zdrojů pitné vody se stává nejen v České republice, ale téměř v každé zemi všech kontinentů, jednou ze základních otázek udržitelného rozvoje. Kvalitní zdroje vody, které ještě odolávají znečištění nejrůznějšího původu, je nutno chránit nejen pro náš vlastní život, ale zejména pro generace následující. Pro zabezpečení zásobování populace pitnou vodou se využívají odjakživa přednostně podzemní zdroje, stále více je však nahrazují zdroje povrchové a za tímto účelem se zřizují vodárenské nádrže. Na území České republiky existuje řada vodárenských nádrží, povrchová voda je odebírána rovněž z vodních toků nebo i z víceúčelových nádrží. Často potom dochází ke střetům zájmů při využívání nádrže, při manipulaci s vodní hladinou i při způsobu hospodaření nejen v blízkém okolí, ale i v celém povodí nádrže.

Problematika jakosti vody byla řešena pro nádrž Vranov nad Dyjí – číslo hydrologického pořadí 4-14-02-051. Délka vzdutí nádrže je 29,8 km a zatopená plocha při maximální hladině je 7,625 km^2.

Pozemky v povodí (na území ČR) jsou využívány především jako zemědělská půda – 60,2 % a lesní porosty – 31 %, vodní plochy (včetně plochy vlastní nádrže) tvoří 2,5 %, zastavěné plochy 0,9 % a ostatní pozemky 5,4 % (Nováková, 2004). Vodní nádrž byla vybudována ve 30. letech minulého století, avšak vodárensky začala být využívána až od roku 1982. V této době byl zřízen vodárenský odběr a vystavěn skupinový vodovod Vranov – Moravské Budějovice – Dukovany. Odebíraná surová voda musí být upravována v úpravně vody ve Štítarech. Kapacita zdroje povrchové vody i úpravny vody je 240 $l.s^{-1}$, povolený odběr je v současné době pro množství Q = 200 $l.s^{-1}$ dle rozhodnutí vodoprávního úřadu ve Znojmě. Odběrný objekt je umístěn na 179,4. km toku Dyje při levém břehu v Jelení zátoce, 3,9 km od hráze (Novák, 2000).

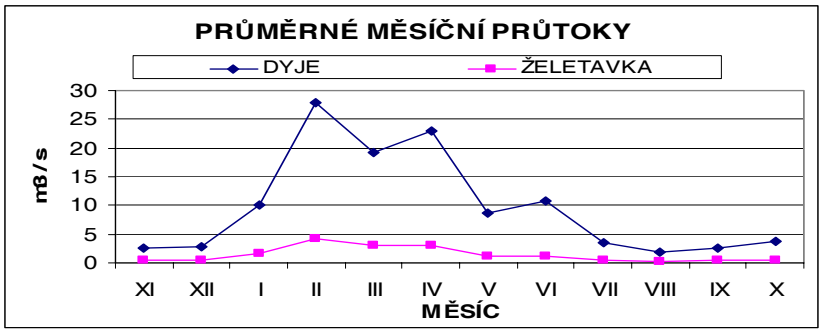
METODIKA

Cílem práce bylo vypočítat údaje o skutečném množství znečišťujících látek, které se dostávají do nádrže z přítoků. Bylo vybráno několik základních ukazatelů jakosti vody (CHSK – Cr, celkový fosfor, fosforečnany, dusičnany, dusitany, amonné ionty, mangan, železo, chloridy, pH a fekální koliformní bakterie).

Vzhledem k tomu, že se nejedná o vodárenskou nádrž, probíhá měření všech základních ukazatelů jakosti vody pouze na hlavním toku – Dyji, avšak na významném přítoku – Želetavce, jsou hodnoceny pouze některé ukazatele (z vybraných ukazatelů nejsou prováděny rozbory fosforečnanů, chloridů, manganu a železa). Na ostatních menších přítocích odběry prováděny nejsou. V daných profilech na Dyji a na Želetavce byly kromě koncentrací vybraných ukazatelů získány také údaje o průměrných měsíčních průtocích za hydrologický rok (listopad 2003 – říjen 2004). Údaje o koncentracích látek a průtocích na Dyji a Želetavce byly získány od ČHMÚ. Z hodnot koncentrací a průtoků byly spočítány hmotnosti jednotlivých látek za příslušné měsíce a dále suma za celý rok. Dále byl graficky vyjádřen vývoj koncentrací daných prvků za sledované období. Plocha povodí Dyje včetně území Rakouska je 1778 km^2 a plocha povodí Želetavky je 374 km^2. Z celkových sum jednotlivých látek za rok a z rozlohy povodí Dyje a Želetavky bylo vypočítáno množství každé látky na 1 km^2 povodí.

VÝSLEDKY

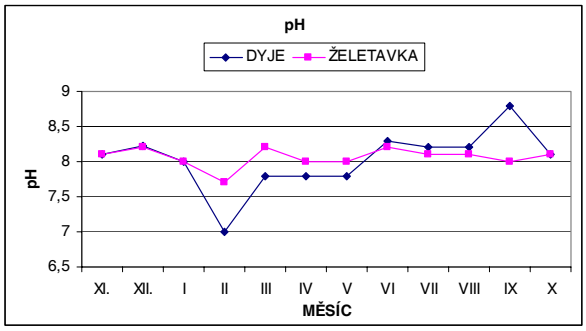
Hodnoty průměrných měsíčních průtoků jsou na hlavním toku přibližně sedmkrát vyšší než na Želetavce (Obr. 1). Průměrný průtok za sledovaný hydrologický rok je na Dyji 9,735 m^3/s a na Želetavce 1,421 m^3/s. Nejvyšší průtoky byly na obou tocích naměřeny v únoru a v dubnu 2004, nejnižší v srpnu 2004.

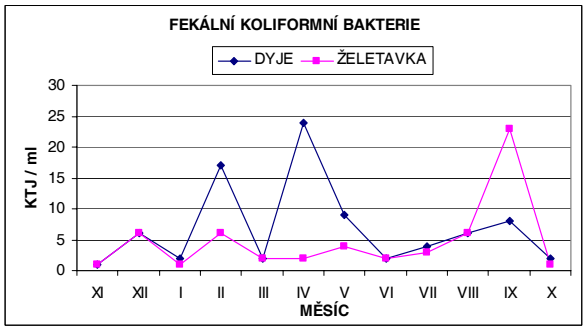


Obr. 1 Průměrné měsíční průtoky na Dyji a Želetavce (listopad 2003 – říjen 2004)

Fig. 1 Average month flow rate for Dyje and Želetavka river (November 2003 – October 2004)

U některých ze sledovaných látek byly velmi často naměřeny vyšší koncentrace na Želetavce než na hlavním toku (obr. 2,3,4,3,5). Jedná se především o celkový fosfor, dusitany, dusičnany a amonné ionty.

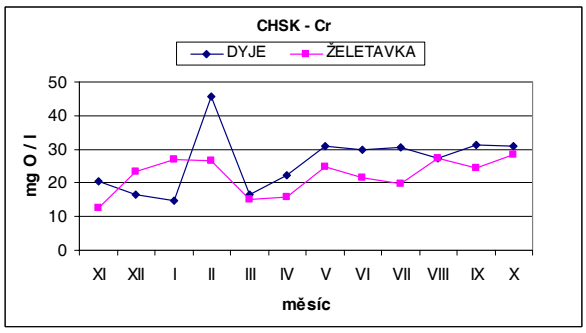


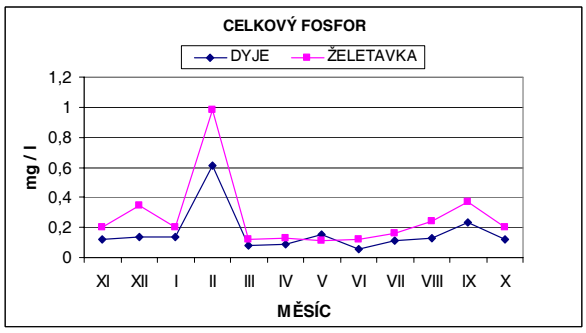


Obr. 2 pH a fekální koliformní bakterie na Dyji a Želetavce (listopad 2003 – říjen 2004)

Fig. 2 pH and thermotolerant coliform bacteria for Dyje and Želetavka river (November 2003 – October 2004)

Nejnižší hodnota pH byla naměřena na Dyji v únoru 2004, nejvyšší rovněž na Dyji v září 2004. Nejnižší pH na Želetavce bylo zjištěno také v únoru 2004, nejvyšší v listopadu 2003, březnu a červnu 2004.
Velmi vysoký počet fekálních koliformních bakterií byl zjištěn na Dyji v únoru a dubnu 2004 (až 24 KTJ / ml), na Želetavce v září 2004 (23 KTJ / ml) (Obr. 2).





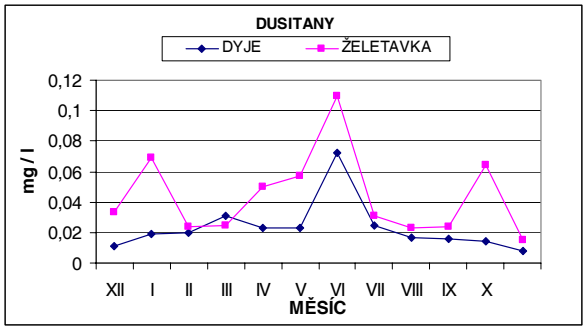
Obr. 3 koncentrace CHSK – Cr a celkového fosforu na Dyji a Želetavce (listopad 2003 – říjen 2004)

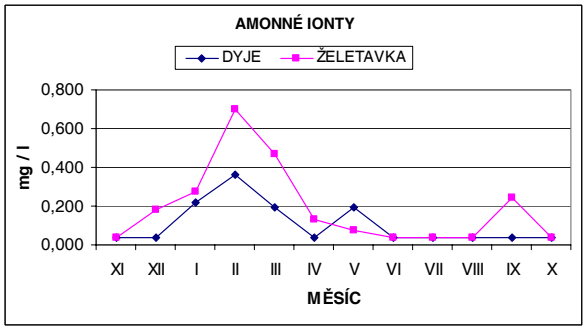
Fig 3 COD – Cr and total phosphorus concentration for Dyje and Želetavka river (November 2003 – October 2004)

Maximální hodnota CHSK – Cr (45,6 mg / l) byla naměřena na Dyji v únoru 2004. Na Želetavce nepřesáhla žádná hodnota 30 mg / l. Nejnižší hodnoty se na obou tocích pohybovaly od 12,5 mg / l do 15 mg / l.
Vývoj koncentrací celkového fosforu byl velmi podobný na obou sledovaných tocích. Nejvyšší hodnota byla zjištěna na Želetavce (0,98 mg / l) v únoru 2004, stejně tak na Dyji byla nejvyšší koncentrace v únoru 2004. Nejnižší hodnota (0,06 mg / l) byla naměřena na Dyji v červnu 2004, na Želetavce se nejnižší koncentrace pohybovaly kolem 0,12 mg / l (Obr. 3).

Nejvyšší koncentrace dusitanů (0,11 mg / l) byla zjištěna v červnu 2004 na Želetavce, v tomto měsíci byla maximální koncentrace naměřena i na Dyji (0,072 mg / l). Celkově nejnižší koncentrace kolem 0,01 mg / l se vyskytovaly na Dyji v zimních měsících.
U amonných iontů byly naměřeny nevyšší koncentrace na obou tocích v únoru 2004, na Želetavce 0,701 mg / l a na Dyji 0,364 mg / l. Nejnižší koncentrace kolem 0,04 mg / l se na obou tocích vyskytly několikrát (Obr. 4).

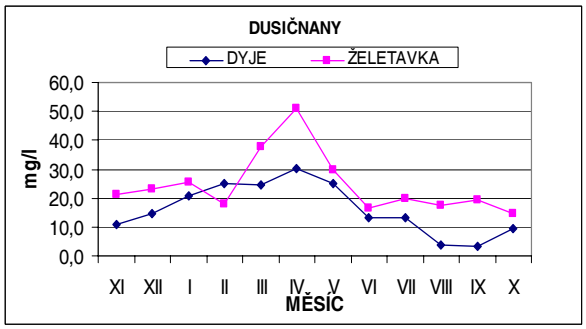
Stejně jako u dusitanů a amonných iontů, také u dusičnanů byly zjištěny nejvyšší koncentrace na Želetavce. Maximální hodnota (50,9 mg / l) byla naměřena v dubnu 2004. Ve stejném období byla naměřena nejvyšší hodnota i na Dyji (30,1 mg / l). Nejnižší hodnoty se pohybovaly na Dyji pod 10 mg / l, na Želetavce pod 20 mg / l. Koncentrace fosforečnanů byly měřeny pouze na hlavním toku, kde se nejvyšší hodnota vyskytla v únoru 2004 (Obr. 5).

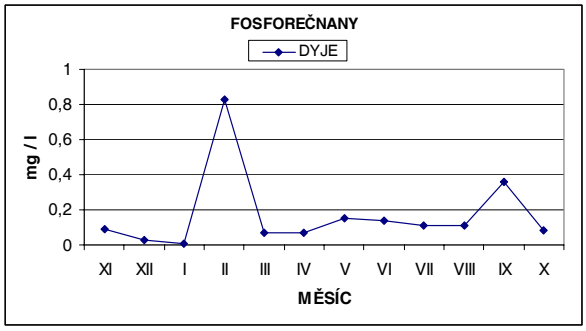




Obr. 4 Koncentrace dusitanů a amonných iontů na Dyji a Želetavce (listopad 2003 – říjen 2004)

Fig 4 Nitrite and amonium ions concentration for Dyje and Želetavka river (November 2003 – October 2004)





Obr. 5 Koncentrace dusičnanů Dyji a Želetavce a koncentrace fosforečnanů na Dyji (listopad 2003 – říjen 2004)

Fig. 5 Nitrate concentration for Dyje and Želetavka river and phosphate concentration in Dyje river(November 2003 – October 2004)

Výsledky měření celkového množství látek, které se dostávají do nádrže z obou přítoků za rok, vyjadřuje Tab. 1 a Obr. 5, 6, 7. Tab. 2 zobrazuje celkové množství látek, jejichž koncentrace jsou měřeny pouze na hlavním toku. U všech sledovaných ukazatelů kromě CHSK – Cr přináší hlavní tok třikrát až čtyřikrát větší množství látek do nádrže než Želetavka, z hodnot CHSK – Cr vyplývá, že celková spotřeba kyslíku na Dyji byla až osmkrát vyšší. Tato skutečnost souvisí s vyššími průtoky a větší rozlohou povodí řeky Dyje (průměrný roční průtok na Dyji je 6,9x vyšší a plocha povodí je 4,75x větší. Vzhledem k tomu, že se jedná o dva takto rozdílné toky, byla metodika zvolena tak, že průměrná množství jednotlivých látek byla vztažena k ploše 1 km^2 příslušného povodí (Tab. 3).

Tab.1 Suma látek za hydrologický rok (listopad 2003 – říjen 2004) na Dyji a Želetavce

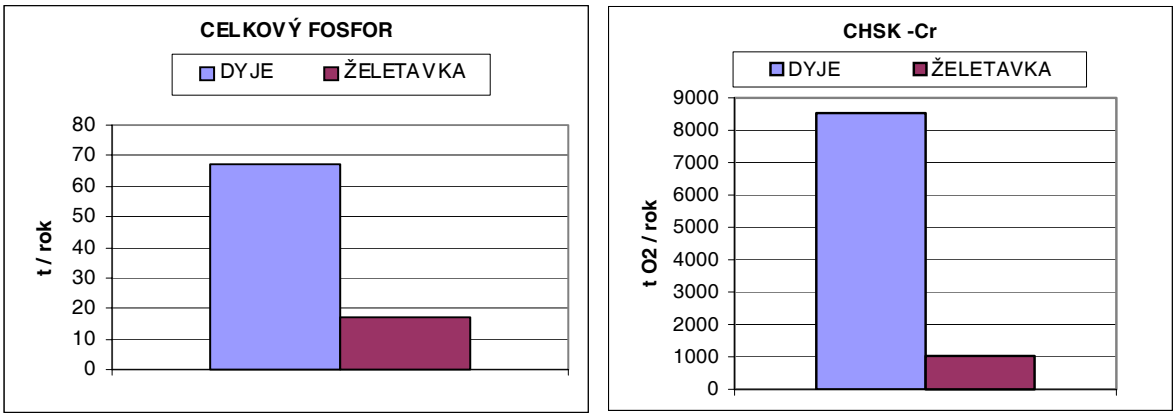
Tab. 1 Total substance for Dyje and Želetavka river per hydrological year (November 2003 – October 2004)

	CHSK-Cr	celk.fosfor	fekál.kolif.bakt.	dusičnany	dusitany	amonné ionty	pH
	(t O_2/ rok)	*(t / rok)*	*(ks / rok)*	*(t / rok)*	*(t / rok)*	*(t / rok)*	*prům./rok*
Dyje	8531,089	67,304	1088427542	6800,408	27,156	50,575	7,3
Želetavka	1030,277	16,995	472269139	1427,406	7,091	14,706	7,4

Tab.2 Suma látek za hydrologický rok (listopad 2003 – říjen 2004) na Dyji

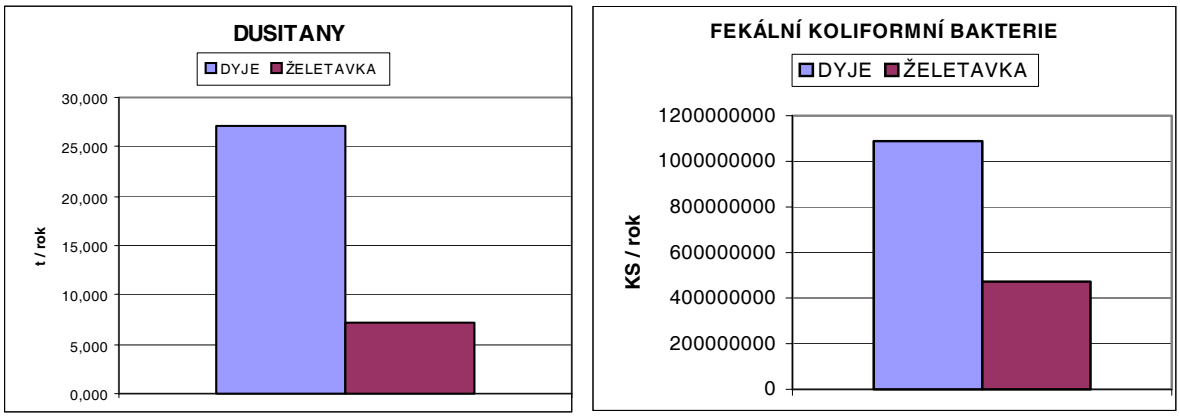
Tab. 2 Total substance for Dyje river per hydrological year (November 2003 – October 2004)

	Mangan	Železo	Chloridy	Fosforečnany
	(t / rok)	(t / rok)	(t / rok)	(t / rok)
Dyje	79,031	525,193	6900,669	79,031



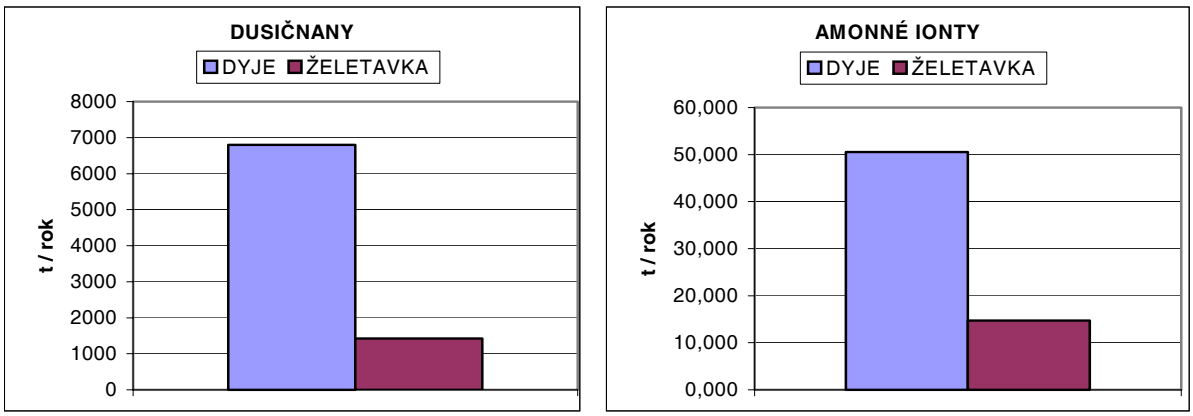
Obr. 5 Suma CHSK – Cr a celkového fosforu za rok na Dyji a Želetavce

Fig. 5 Total COD – Cr and phosphorus for Dyje and Želetavka river per year



Obr. 6 Suma dusitanů a fekálních koliformních bakterií za rok na Dyji a Želetavce

Fig. 6 Total nitrites and thermotolerant coliform bacteria for Dyje and Želetavka river per year



Obr. 7 Suma dusičnanů a amonných iontů za rok na Dyji a Želetavce

Fig. 7 Total nitrates and ammonium ions for Dyje and Želetavka river per year

Jak již bylo výše uvedeno, pro získání celkového přehledu o vlivu obou povodí na jakost vody v nádrži, byla množství jednotlivých látek vztažena k ploše jednoho km^2 povodí. U čtyř ze sledovaných ukazatelů bylo na Želetavce zjištěno vyšší množství látky z jednoho km^2 povodí. U celkového fosforu činí rozdíl 7 kg / km^2, u dusitanů 4 kg / km^2, u amonných iontů 11 kg / km^2 a u

fekálních koliformních bakterií byl rozdíl více než dvojnásobný – 650 588 KTJ / km^2. U dusičnanů byl tento rozdíl velmi malý (8 kg / km^2) a vzhledem k tomu, že se jedná o řády tisíců kilogramů, takřka zanedbatelný. Pouze u hodnot CHSK – Cr byla zjištěna vyšší spotřeba kyslíku na Dyji než na Želetavce (Tab. 3).

Tab. 3 Průměrné množství látky z 1 km^2 povodí Dyje a Želetavky

Tab. 3 Average substance quantity for 1 km^2 of the catchment for Dyje and Želetavka river

	CHSK - Cr	celkový P	dusičnany	dusitany	amonné ionty	fekál. kol. bakt.
	(kg / km^2)	*(kg / km^2)*	*(kg / km^2)*	*(kg / km^2)*	*(kg / km^2)*	*(KTJ / km^2)*
Dyje	4798	38	3825	15	28	612 163
Želetavka	2754	45	3817	19	39	1 262 751

ZÁVĚR

Ačkoliv povodí Želetavky není rozlohou rozhodující, znečištění, které se do nádrže dostává z jejího povodí, je dosti významné. V rizikové analýze celého povodí nádrže je nutné zaměřit se na povodí Želetavky a najít zdroje tohoto znečištění. Při návrhu ochranných pásem vodního zdroje navrhnout opatření na omezení dalšího znečišťování.

Vzhledem k tomu, že povodí Dyje zasahuje jak na území České republiky tak i na území Rakouska, bude nutné provést takovou analýzu, aby bylo zřejmé, z kterého území pochází více znečištění. V rizikové analýze a při stanovování limitujících opatření se pak zaměřit právě na to území, odkud by bylo zjištěno vyšší množství znečišťujících látek. Průtoky i koncentrace látek jsou sledovány na Moravské Dyji těsně před vtokem do Rakouska, proto by tato analýza mohla být snadno zpracována.

Vodní nádrž Vranov nad Dyjí nepatří mezi vodárenské nádrže, avšak je velmi významným zdrojem pitné vody. V současné době jsou prováděna opatření na omezení znečišťování vody v jejím bezprostředním okolí. V dalším kroku bude třeba se zabývat celým povodím nádrže. Podle získaných výsledků se pak zaměřit na konkrétní část povodí a tam vyhledat bodové zdroje znečištění.

Literatura

HLAVÁČ, J. et al. (2003): Učebnice vodárenství CD Rom, VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a. s., Brno

NOVÁK, J. (2000): OP ve smyslu zákona č. 14/1998 Sb. (novela zákona č. 138/1973 Sb. o vodách) a Vyhlášky č. 137/1999 Sb., VAS a. s., Brno

NOVÁKOVÁ, P. (2004): Zhodnocení vlivů vnějších činitelů povodí na jakost vody. Dizertační práce. Brno: MZLU v Brně,. 156 s.

PITTER, P. (1999): *Hydrochemie*. 2. vyd. Praha: VŠCHT, 568 s.

Zákon o vodách č. 254/2001 Sb. v platném znění

Autoři

Petra Nováková, Ústav aplikované a krajinné ekologie, MZLU v Brně, Zemědělská 1, Brno, 613 00, petra.novakova@uake.cz

Pavla Procházková, MZLU v Brně, Zemědělská 1, Brno, 613 00, pavcap@volny.cz

VPLYV VYUŽITIA KRAJINY NA VODNOSŤ TOKOV V EXPERIMENTÁLNYCH MIKROPOVODIACH ÚH SAV

Pavla Pekárová, Pavol Miklánek, Alojz Koníček†

V príspevku sú prezentované výsledky dlhodobej ročnej hydrologickej bilancie vody v troch experimentálnych mikropovodiach ÚH SAV v povodí Mošteníka v Strážovskej vrchovine:

- *Rybárik (poľnohospodárske povodie),*
- *Lesný (zalesnené povodie - hrabový porast),*
- *Cingeľová (zalesnené povodie - smrekový porast).*

Príspevok je zameraný na rozbor ročných a mesačných odtokových pomerov v daných experimentálnych mikropovodiach za 30-ročné obdobie 1964/65–1993/94 s dôrazom na vplyv zalesnenia povodia na ročný odtok. Priemerný ročný odtok z poľnohospodársky využívaného mikropovodia je 1,22 krát vyšší ako z povodia Cingeľová, resp. 1,46 krát vyšší, ako z povodia Lesný.

Kľúčové slová: experimentálny výskum, malé povodia, hydrologická bilancia, využitie povodia, lesnatosť

Impact of land use on runoff coefficients in experimental microbasins of IH SAS. *In the study the results are presented of long-term water balance of three microbasins of IH SAS in Strážov highland:*

- *Rybárik- an agricultural catchment (0.119 km^2);*
- *Lesný - a forested catchment (deciduous - hornbeam) (0.086 km^2);*
- *Cingeľová - a forested catchment (coniferous – spruce) (0.22 km^2).*

Paper deals with analysis of annual and monthly runoff in mentioned experimental microbasins for 30-years period of 1964/65–1993/94 with respect to the impact of forest percentage on runoff. Mean annual runoff from the agricultural catchment Rybárik is 1.22 times higher as from Cingeľová catchment, and 1.46 times higher as from Lesný catchment.

Key words: experimental research, small basins, hydrological balance, land use, forest percentage

---

ÚVOD

V roku 2004 uplynulo 45 rokov od založenia Prírodného hydrologického laboratória (PHL) ÚH SAV v povodí Mošteníka pri Považskej Bystrici. Experimentálne povodie potoka Mošteník po záverečný profil Fapšová má 17,2 km^2. Povodie bolo rozdelené na 8 čiastkových subpovodí s plochou od 0,0864 do 12,61 km^2. Počiatočný základný program vedecko-výskumných prác v experimentálnom povodí potoka Mošteník bol orientovaný na overovanie fyzikálnej podstaty hydrologických procesov a rozvoj teórií a metód na stanovenie a upresnenie parametrov jednotlivých komponentov týchto procesov so zameraním najmä na:

- tvorbu a režim odtoku,
- vodnú bilanciu malých povodí,
- a vsakovaciu schopnosť pôdy.

Jednou z najdôležitejších vedeckých úloh riešených na PHL bolo skúmanie vplyvu zalesnenia povodia na bilanciu vody v povodí. Napriek mnohým výskumom vo svete, stanovenie vplyvu lesa na vodnosť tokov dodnes nie je jednoznačné. Niektorí autori zastávajú názor, že zvyšovanie lesnatosti priaznivo vplýva na zvýšenie odtoku z povodia, iní, že zvyšovanie lesnatosti spôsobuje znižovanie odtoku (Valčičák 1967, Zelený 1977, Valtýni 1980). Podľa Zachara (1984) v prípade väčších povodí zvyšovanie lesnatosti zvyšuje ročný odtok z povodia, v prípade malých povodí, zvyšovanie lesnatosti spôsobuje znižovanie ročných odtokov.

V predloženom príspevku je zhodnotený vplyv lesnatosti povodia na priemerný ročný odtok v troch experimentálnych mikropovodiach ÚH SAV v povodí Mošteníka, a to:

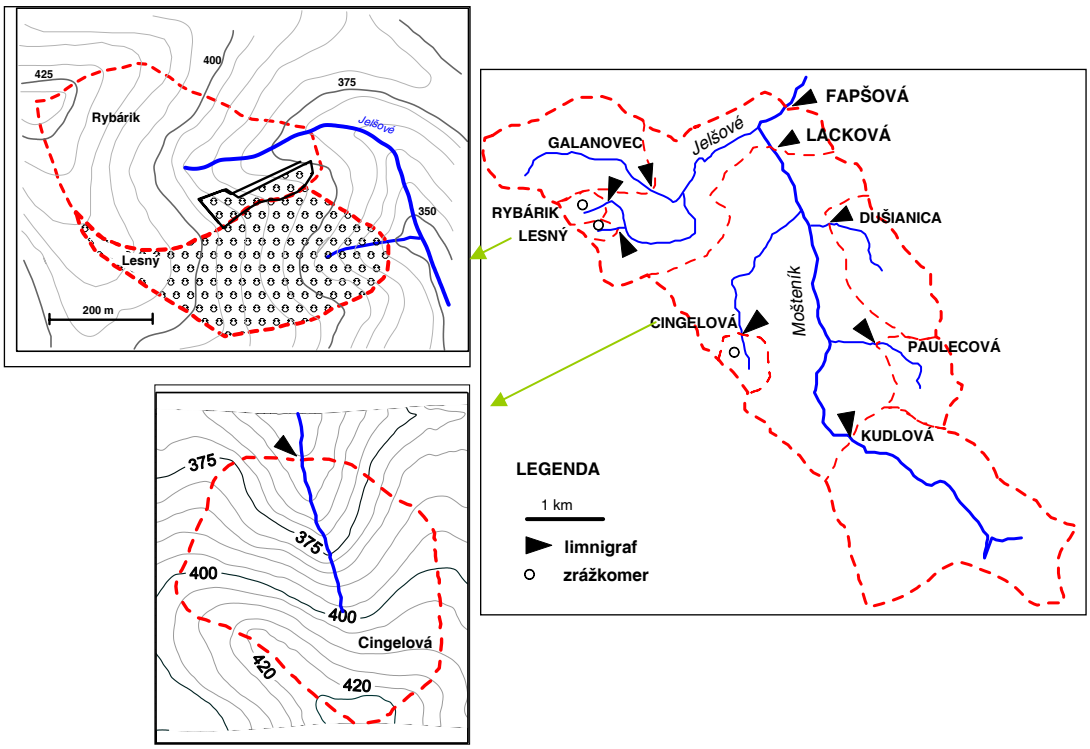
- Rybárik (poľnohospodárske povodie),
- Lesný (zalesnené - hrabový porast),
- Cingeľová (zalesnené - smrekový porast).

1 Opis povodí

Experimentálne mikropovodie Rybárik má po záverečný profil rozlohu 0,119 km^2. Dĺžka toku od prameňa po tento profil je 255 m, priemerný sklon toku je 9,1 %. Tvar povodia je výrazne vejárovitý, priemerný sklon povodia je 14,9 %. Geologické podložie je tvorené flyšoidnými súvrstviami (sliene, slienité bridlice, pieskovce), málo priepustnými pre prúdenie podzemnej vody. Povodie sa nachádza v nadmorskej výške 369–434 m n.m. (obr. 1), je súčasťou Strážovskej vrchoviny. Priemerný ročný úhrn zrážok v skúmanej lokalite za 30-ročné obdobie rokov 1965–1994 je 743,7 mm, priemerná ročná odtoková výška je 239 mm, bilančný výpar 504 mm, koeficient odtoku 0,32, priemerná ročná teplota vzduchu je 7,9°C.

Experimentálne povodie Lesný má po záverečný profil rozlohu 0,0864 km^2. Dĺžka toku od prameňa po záverečný profil je 214 m. Pôdny pokryv tvorí hnedá lesná pôda. Povodie má 90% lesnatosť s nasledujúcou druhovou skladbou: 75 % hrab, 20 % smrek, 5 % borovica. Vek porastu je 70–75 rokov, zakmenenie 0,86. Priemerná nadmorská výška povodia je 380 m n.m., záverečný profil - trojuholníkový merný priepad sa nachádza v nadmorskej výške 350 m.

Povodie Cingeľová s plochou 0,22 km^2 má 95,5 % lesnatosť (ihličnatý porast – 90 % smrek, 10 % borovica), vek porastu 75–90 rokov. Z geologického hľadiska je povodie taktiež budované flyšoidnými súvrstviami (sliene, slienité bridlice, pieskovce). Druh a typ pôdy je rovnaký ako v povodí Lesný. V povodí sa nenachádza lesná cesta, ktorá by ovplyvňovala odtokový režim v povodí. Priemerná nadmorská výška povodia je 382 m n.m (355–435 m n.m.). Priemerný sklon povodia je 17%.
K sledovaniu povrchového odtoku z povodí boli v záverečných profiloch mikropovodí vybudované 2 trojuholníkové merné priepady Thomson (veľký - 90° a malý - 45°; obr. 2), s kontinuálnym zaznamenávaním zmien hladiny vody limnigrafom Valdaj s denným chodom hodinového stroja. V každom modelovom povodí bola vybudovaná zrážkomerná stanica.



Obr. 1 Lokalizácia mikropovodí Jelšové: Rybárik, Jelšové: Lesný a Cingeľová v povodí Mošteníka.

Fig. 1 Localization of Rybárik, Lesný and Cingeľová microbasins in Mošteník catchment.

2 Vplyv zalesnenia povodia na vodnosť toku

2.1 Ročná hydrologická bilancia povodia

Metódam hydrologickej bilancie lesných povodí je venovaná značná pozornosť a sú opísané v odbornej hydrologickej i lesnícko-hydrologickej literatúre. Podrobne sa hydrologickou bilanciou lesných povodí zaoberal Zelený (1977, 1979), Chlebek a Jařabáč (1994), stanovením evapotranspirácie lesa inými metódami (hydropedo-logická, energetická) napr. Miklánek (1985, 1997), Tesař (1990), Molnár a kol. (1991), Kostka a Holko (1996) a iní.

Hydrologická bilancia kvantifikuje obeh vody v uzavretom systéme povodí s jedným sústredeným odtokom v záverečnom profile na vodnom toku. Jediným vstupom do povodia sú atmosférické zrážky v povodí. Rozdiel v zásobách vody v pôde na začiatku a na konci bilancovaného obdobia možno pre dostatočne dlhé obdobie (rok) zanedbať. V tom prípade môžeme stotožniť ročný úhrn evapotranspirácie s rozdielom zrážok a odtoku. Pri mesačnej bilancii, ak určíme mesačný úhrn evapotranspiracie nezávislým spôsobom, dokážeme z rovnice hydrologickej bilancie určiť zmenu zásoby vody v povodí v príslušnom mesiaci.

Pri bilancii sme použili bilančnú rovnicu v tvare:

$$ZR = R + ET + \Delta S, \qquad (1)$$

kde: ZR – priemerný ročný úhrn zrážok [mm];
R – priemerná ročná odtoková výška [mm];
ET – bilančný výpar [mm];
ΔS – priemerný úhrn strát Δt.

Ako už bolo povedané, člen ΔS má vyšší význam v kratších časových intervaloch Δt. Pri dlhodobej bilancii (30 rokov) môže byť tento člen zanedbaný a nahradený $\Delta S = 0$.

Z výsledkov hydrologickej bilancie v povodiach s rôznym využitím (poľnohospodársky využívané mikropovodie, zalesnené mikropovodia) vyplýva, že využitie krajiny má výrazný vplyv na vytváranie zásob vody v povodí, čiže na odtok, a to či už celkový ročný odtok, alebo rozdelenie odtoku počas roka. V tejto práci budeme analyzovať vplyv percenta zalesnenia na odtokovú výšku v experimentálnych mikropovodiach za obdobie 30-tich rokov 1964/65–1993/94. Tridsaťročné merania z experimentálnych mikropovodí majú už veľmi vysokú výpovednú hodnotu.

Pred začatím výpočtov je potrebné posúdiť homogenitu vstupných meraných údajov. Homogenitu radu mesačných odtokových výšok z povodia Rybárik sme testovali Alexanderssonovým testom pre zmenu strednej hodnoty ako aj pre zmenu strednej hodnoty a štandardnej odchýlky (Pekárová a kol. 2005). Homogenitu radu mesačných odtokových výšok Lesného v porovnaní s Rybárikom ako referenčnou homogénnou stanicou sme testovali taktiež Alexanderssonovým testom na období 1964/65–1993/94. Z výsledkov testov vyplynulo, že merania odtokových výšok v povodí Lesný počas prvých piatich rokov nemôžeme považovať (rok 1968/69) za homogénne a pri ďalších analýzach je potrebné tento fakt brať do úvahy. V prípade radu odtokových výšok z povodia Cingeľová sú výsledky testov uspokojivé. Rad mesačných odtokových výšok (a teda aj merania prietokov) z povodia Cingeľovej môžeme považovať za homogénny. Testami sa dokázalo, že oprávnene sa merný profil v stanici Cingeľová považoval za jeden z najlepšie udržiavaných a meraných profilov v povodí Mošteníka.

Vypočítané hodnoty základných zložiek vodnej bilancie poľnohospodárskeho povodia Rybárik za hydrologické roky 1964/65–1993/94 sú uvedené v tabuľke 1.V povodí Rybárik najmokrejší rok za uvedené obdobie bol hydrologický rok 1965/66. Ročný zrážkový úhrn dosiahol 996 mm a ročný odtok 408 mm. Najnižší ročný odtok bol v roku 1992/93 124 mm. Koeficient odtoku v povodí Rybárik kolíše od 21% do 42% s priemerom 32,2 percenta.

Hodnoty základných zložiek vodnej bilancie zalesnených povodí Lesný (hrabový porast) a Cingeľová (smrekový porast) za hydrologické roky 1964/65–1993/94 sú uvedené v tabuľke 2 a 3.

Koeficient odtoku v povodí Lesný kolíše od 11% do 37% s priemerom 23 percent.

V povodí Cingeľová Rybárik kolíše koeficient odtoku od 14% do 40% s priemernou hodnotou 26 percent.

Tab. 1 *Ročná hydrologická bilancia povodia Rybárik za obdobie 1964/65–1993/04; ZR – zrážkový úhrn, R – odtoková výška, ET – ročný bilančný výpar (rozdiel ZR–R), Qa – priemerný ročný prietok, k – koeficient odtoku; q – špecifický odtok, cs – koeficient symetrie (dekádne), cv – koeficient variácie (dekádne), T – teplota vzduchu*

Tab. 1 *Annual hydrological balance of Rybárik catchment during the period 1964/65–1993/04; ZR –precipitation total, R – runoff depth, ET – annual evapotranspiration (difference ZR–R), Qa – mean annual discharge, k –runoff coefficient; q – specific runoff, cs – coefficient of symmetry (decadal), cv – coefficient of variation (decadal), T – air temperature*

Rok	ZR	R	ET	Qa	q	k	c_s	c_v	T
	mm	mm	mm	$l.s^{-1}$	$l.s^{-1}.km^{-2}$				°C
1965	872,4	300,6	571,8	1,13	9,53	0,34			6,8
1966	996,0	408,3	587,7	1,55	13,06	0,41			8,3
1967	720,9	308,1	412,8	1,17	9,85	0,43	0,49	0,27	8,5
1968	822,0	265,0	557,0	1,01	8,47	0,32	0,66	0,28	7,7
1969	578,7	155,9	422,8	0,59	4,99	0,27	0,36	0,27	7,6
1970	854,9	247,0	607,9	0,94	7,90	0,29	0,47	0,27	7,1
1971	607,1	231,2	375,9	0,88	7,39	0,38	-0,23	0,21	7,9
1972	872,7	261,4	611,3	0,99	8,36	0,30	0,53	0,25	8,3
1973	539,6	191,9	347,7	0,73	6,14	0,36	0,77	0,27	8,3
1974	884,4	328,4	556,0	1,25	10,50	0,37	1,15	0,22	8,2
1975	721,3	278,4	442,9	1,06	8,90	0,39	1,11	0,22	7,9
1976	704,7	214,1	490,6	0,81	6,85	0,30	0,97	0,22	6,9
1977	912,5	381,0	531,5	1,45	12,18	0,42	1,09	0,23	7,9
1978	732,8	210,1	522,7	0,80	6,72	0,29	1,23	0,20	6,8
1979	738,4	248,9	489,5	0,95	7,96	0,34	0,91	0,24	7,0
1980	790,4	255,1	535,3	0,97	8,16	0,32	1,06	0,24	7,0
1981	839,0	263,6	575,4	1,00	8,43	0,31	1,05	0,25	7,6
1982	675,3	216,3	459,0	0,82	6,92	0,32	-1,35	0,16	6,8
1983	720,7	255,8	464,9	0,97	8,18	0,35	-1,34	0,16	9,3
1984	700,3	150,6	549,7	0,57	4,81	0,21	-0,72	0,18	7,15
1985	750,6	258,8	491,8	0,98	8,28	0,34	-0,38	0,21	6,7
1986	796,5	199,9	596,6	0,76	6,39	0,25	-0,08	0,24	7,7
1987	745,3	246,9	498,4	0,94	7,90	0,33	-0,15	0,24	6,8
1988	767,5	209,5	558,0	0,80	6,70	0,27	0,18	0,26	8,8
1989	699,5	172,1	527,4	0,65	5,50	0,25	0,13	0,29	8,5
1990	643,0	141,0	502,0	0,54	4,51	0,22	0,29	0,28	8,4
1991	543,2	133,4	409,8	0,51	4,26	0,25	0,48	0,29	8,2
1992	609,1	228,5	380,6	0,87	7,31	0,38	1,00	0,29	9,1
1993	559,0	124,0	435,0	0,47	3,96	0,22	1,12	0,29	8,5
1994	914,1	297,3	616,8	1,13	9,51	0,33	1,10	0,29	9,5
priemer	**743,7**	**239,4**	**504,3**	**0,91**	**7,65**	**0,322**	**0,44**	**0,28**	**7,89**
min	**539,6**	**124,0**	**347,7**	**0,47**	**3,96**	**0,215**			**6,79**
max	**996,0**	**408,3**	**616,8**	**1,55**	**13,06**	**0,427**			**9,55**

Tab. 2 *Ročná hydrologická bilancia povodia Lesný za obdobie 1964/65–1993/94; ZR – zrážkový úhrn, R – odtoková výška, ET – – ročný bilančný výpar (rozdiel ZR–R), Qa – priemerný ročný prietok, k – koeficient odtoku; q – špecifický odtok, c_s – koeficient symetrie (dekádne), c_v – koeficient variácie (dekádne)*

Tab. 2 *Annual hydrological balance of Lesný catchment during the period 1964/65–1993/04; ZR –precipitation total, R – runoff depth, ET – annual evapotranspiration (difference ZR–R), Qa – mean annual discharge, k –runoff coefficient; q – specific runoff, cs – coefficient of symmetry (decadal), cv – coefficient of variation (decadal)*

Rok	**ZR**	**R**	**ET**	**Qa**	**q**	**k**	**c_s**	**c_v**
	mm	**mm**	**mm**	**$l.s^{-1}$**	**$l.s^{-1}.km^{-2}$**			
1965	872,0	200,4	671,6	0,55	6,35	0,23		
1966	969,8	270,8	699,0	0,74	8,59	0,28		
1967	702,1	226,9	475,2	0,62	7,19	0,32	0,70	0,15
1968	811,8	177,1	634,7	0,49	5,62	0,22	0,74	0,16
1969	578,2	185,1	393,1	0,51	5,87	0,32	0,91	0,16
1970	855,2	229,0	626,2	0,63	7,26	0,27	0,82	0,16
1971	601,6	224,0	377,6	0,61	7,10	0,37	-0,59	0,17
1972	852,8	178,8	674,0	0,49	5,67	0,21	-0,66	0,16
1973	514,1	167,8	346,3	0,46	5,32	0,33	-0,50	0,18
1974	868,2	188,5	679,7	0,52	5,98	0,22	-0,19	0,20
1975	679,1	208,5	470,6	0,57	6,61	0,31	0,04	0,21
1976	672,5	128,1	544,4	0,35	4,06	0,19	0,07	0,18
1977	897,5	203,7	693,8	0,56	6,46	0,23	0,46	0,19
1978	712,5	137,1	575,4	0,38	4,35	0,19	0,26	0,20
1979	710,3	150,0	560,3	0,41	4,76	0,21	0,45	0,23
1980	772,3	124,6	647,7	0,34	3,95	0,16	0,79	0,20
1981	822,5	163,2	659,3	0,45	5,18	0,20	0,77	0,20
1982	654,7	133,6	521,1	0,37	4,24	0,20	0,80	0,20
1983	688,7	187,7	501,0	0,51	5,95	0,27	0,41	0,20
1984	698,4	105,1	593,3	0,29	3,33	0,15	0,54	0,21
1985	736,4	138,7	597,7	0,38	4,40	0,19	0,32	0,23
1986	775,5	133,7	641,8	0,37	4,24	0,17	0,07	0,30
1987	744,4	205,0	539,4	0,56	6,50	0,28	0,01	0,30
1988	774,1	171,0	603,1	0,47	5,42	0,22	0,17	0,35
1989	701,8	136,3	565,5	0,37	4,32	0,19	-0,14	0,36
1990	642,9	101,7	541,2	0,28	3,22	0,16	-0,11	0,38
1991	548,2	68,5	479,7	0,19	2,17	0,12	-0,12	0,41
1992	613,6	140,4	473,2	0,38	4,45	0,23	0,04	0,41
1993	564,2	61,8	502,4	0,17	1,96	0,11	0,52	0,43
1994	920,0	197,6	722,4	0,54	6,27	0,21	0,86	0,49
priemer	**731,8**	**164,8**	**567,0**	**0,45**	**5,23**	**0,23**	**-0,08**	**0,29**
min	**514,1**	**61,8**	**346,3**	**0,17**	**1,96**	**0,11**		
max	**969,8**	**270,8**	**722,4**	**0,74**	**8,59**	**0,37**		

Tab. 3 *Ročná hydrologická bilancia povodia Cingeľová za obdobie 1964/65–1993/94; ZR – zrážkový úhrn, R – odtoková výška, ET – – ročný bilančný výpar (rozdiel ZR–R), Qa – priemerný ročný prietok, k – koeficient odtoku; q – špecifický odtok, cs – koeficient symetrie (dekádne), cv – koeficient variácie (dekádne)*

Tab. 3 *Annual hydrological balance of Cingeľová catchment during the period 1964/65–1993/04; ZR –precipitation total, R – runoff depth, ET – annual evapotranspiration (difference ZR–R), Qa – mean annual discharge, k –runoff coefficient; q – specific runoff, cs – coefficient of symmetry (decadal), cv – coefficient of variation (decadal)*

Rok	**ZR**	**R**	**ET**	**Qa**	**q**	**k**	**c_s**	**c_v**
	mm	**mm**	**mm**	**$l.s^{-1}$**	**$l.s^{-1}.km^{-2}$**			
1965	848,90	241,20	607,70	1,68	7,65	0,28		
1966	981,40	337,20	644,20	2,35	10,69	0,34		
1967	694,40	276,70	417,70	1,93	8,77	0,40	0,97	0,25
1968	828,40	193,00	635,40	1,35	6,12	0,23	1,10	0,26
1969	585,20	153,40	431,80	1,07	4,86	0,26	1,18	0,25
1970	827,50	220,20	607,30	1,54	6,98	0,27	1,17	0,25
1971	625,90	200,30	425,60	1,40	6,35	0,32	0,66	0,19
1972	850,30	194,10	656,20	1,35	6,15	0,23	1,14	0,21
1973	489,60	168,20	321,40	1,17	5,33	0,34	1,18	0,22
1974	879,30	211,80	667,50	1,48	6,72	0,24	1,35	0,20
1975	676,90	243,10	433,80	1,70	7,71	0,36	1,63	0,21
1976	687,90	160,80	527,10	1,12	5,10	0,23	1,14	0,22
1977	890,50	300,50	590,00	2,10	9,53	0,34	1,17	0,22
1978	701,60	171,60	530,00	1,20	5,44	0,24	0,85	0,21
1979	697,80	189,40	508,40	1,32	6,01	0,27	0,14	0,27
1980	760,70	177,90	582,80	1,24	5,64	0,23	0,42	0,27
1981	837,40	247,10	590,30	1,72	7,84	0,30	0,42	0,27
1982	692,20	185,60	506,60	1,29	5,89	0,27	-0,48	0,23
1983	719,50	231,70	487,80	1,62	7,35	0,32	-0,52	0,22
1984	740,30	105,10	635,20	0,73	3,33	0,14	-0,26	0,24
1985	766,90	197,00	569,90	1,37	6,25	0,26	-0,06	0,26
1986	787,70	157,20	630,50	1,10	4,98	0,20	-0,17	0,31
1987	780,00	243,30	536,70	1,70	7,71	0,31	0,00	0,31
1988	798,30	176,60	621,70	1,23	5,60	0,22	0,31	0,34
1989	698,90	155,30	543,60	1,08	4,92	0,22	0,01	0,34
1990	652,60	133,10	519,50	0,93	4,22	0,20	0,23	0,36
1991	570,40	78,80	491,60	0,55	2,50	0,14	0,20	0,38
1992	627,10	160,70	466,40	1,12	5,10	0,26	0,45	0,37
1993	563,70	90,70	473,00	0,63	2,88	0,16	0,81	0,41
1994	921,50	241,80	679,70	1,69	7,67	0,26	1,00	0,46
priemer	**739,4**	**194,8**	**544,6**	**1,4**	**6,2**	**0,26**	**0,26**	**0,30**
min	**489,6**	**78,8**	**321,4**	**0,5**	**2,5**	**0,14**		
max	**981,4**	**337,2**	**679,7**	**2,4**	**10,7**	**0,40**		

Tab. 4 *Základné hydrologické charakteristiky experimentálnych mikropovodí Rybárik, Lesný a Cingeľová za obdobie 1964/65–1993/94*

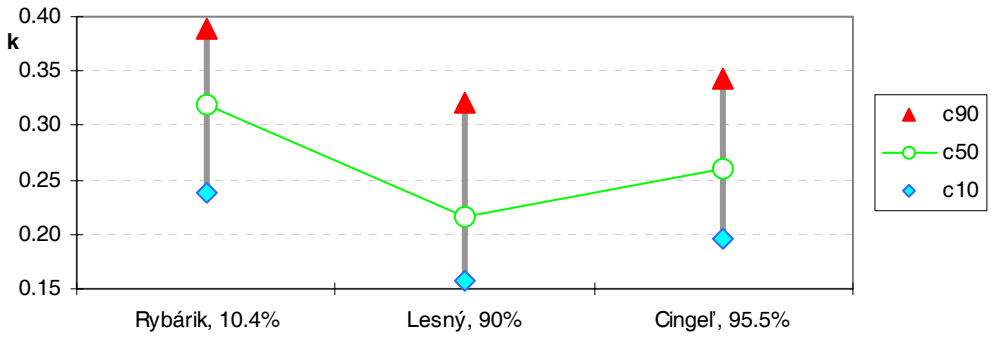
Tab. 4 *Basic hydrological characteristcs of the experimental microbasivs Rybárik, Lesný and Cingeľová during 1964/65–1993/94*

Povodie		Rybárik	Lesný	Cingeľová
Plocha	[km^2]	0,119	0,086	0,22
Lestnatosť	[%]	10,0	90,0	95,5
Priem. nadm. výška povodia	[m n.m.]	401	380	382
Min/Max nadm. výška	[m n.m.]	369/434	350/415	355/435
ZR – dlhodobý ročný zráž. úhrn	[mm]	743	732	739
R – dlhodobý ročný odtok	[mm]	239	163	194
ET - bilančný výpar – dlhodobý prm.	[mm]	504	569	545
K – koeficient odtoku		0,322	0,223	0,263

Základné hydrologické charakteristiky povodí sú zhrnuté v tabuľke 4.
Vypočítané hodnoty bilančného výparu poukazujú na vysoký podiel evapotranspirácie vo vodnej bilancii zalesneného povodia.

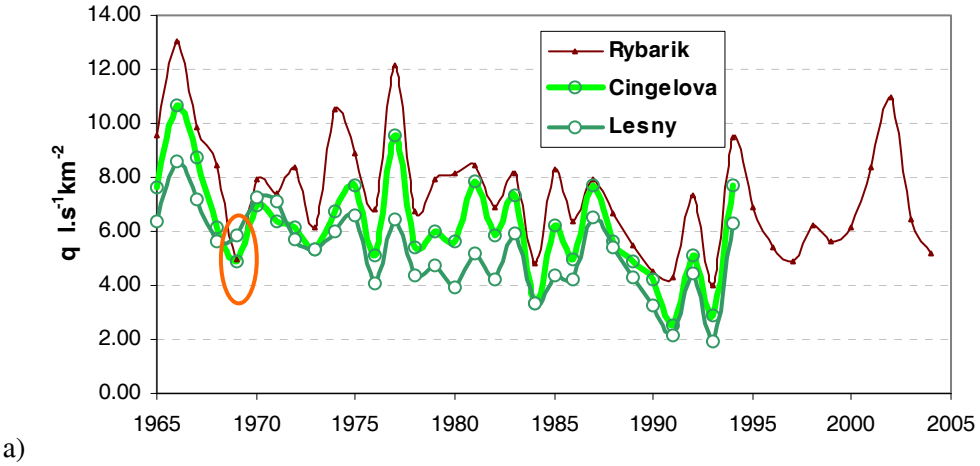
2.2 Vplyv zalesnenia povodia na priemerný ročný odtok

Počas skúmaného obdobia 1964/65–1993/94 sa pohyboval koeficient odtoku (podiel ročného odtoku na ročnom zrážkovom úhrne) v povodí Rybárik od 0,21 do 0,43 s priemerom 0,32. V prípade povodia Lesný sa podiel pohyboval v rozpätí 0,11–0,37 s priemerom 0,23. V povodí Cingeľová nadobúda uvedený koeficient odtoku priemernú hodnotu 0,26 (0,14–0,40). Na obr. 2 je znázornený priebeh horného decilu, mediánu a dolného decilu (c_{90}, c_{50} a c_{10}) koeficientu odtoku v troch experimentálnych mikropovodiach.
Podiel ročného odtoku na zrážkach z poľnohospodárskeho povodia Rybárik je v priemere o 9% vyšší, ako z povodia Lesný (hrab) a o 6% vyšší ako z povodia Cingeľová (smrek).
Na obrázkoch 3a-c sú vykreslené grafy a) priebehy priemerných ročných špecifických odtokov z troch povodí; b) priebehy koeficientov odtoku K z troch povodí v jednotlivých experimentálnych mikropovodiach a c) podiel odtoku Cingeľovej a Lesného na odtoku Rybárika..

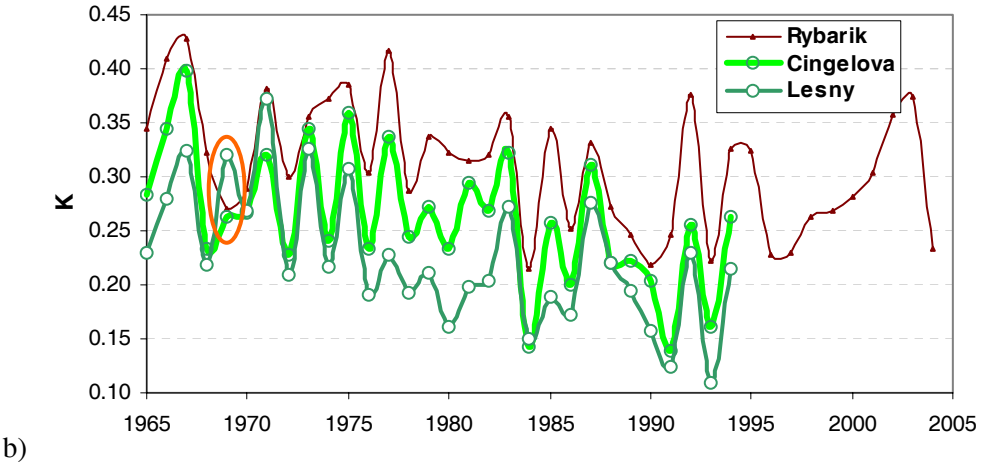


Obr. 2 *Horný decil, medián a dolný decil (c_{90}, c_{50} a c_{10}) koeficientu odtoku v troch experimentálnych mikropovodiach. Percento zalesnenia.*

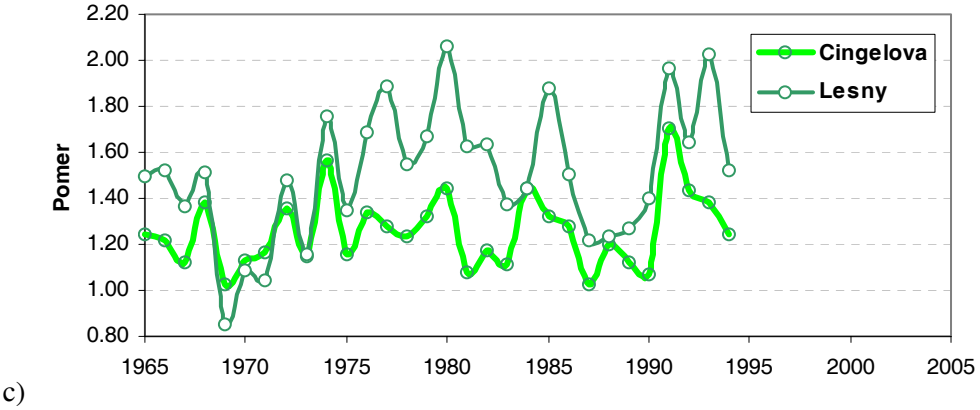
Fig. 2 *Upper decil, , median and lower decil (c_{90}, c_{50} a c_{10}) of runoff coefficients in experimental microbasins. Forest percentage.*



a)



b)



c)

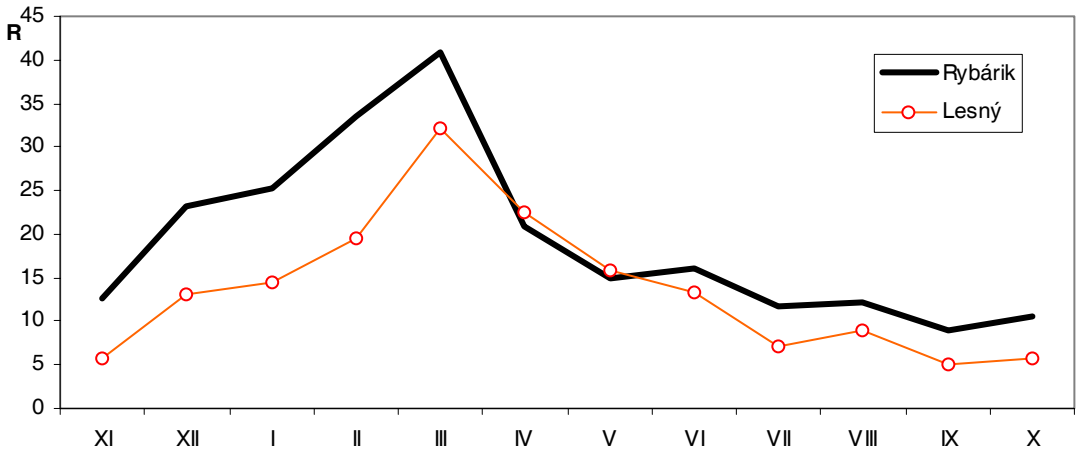
Obr. 3 *a) Priebeh priemerných ročných špecifických odtokov q z troch povod,*
b) Priebehy koeficientov odtoku K z troch povodí
c) Pomer odtoku Cingeľovej a Lesného ku odtoku Rybárika.

Fig. 3 *a) Course of the average specific runoff from three experimental basins,*
b) Course of runoff coefficients K from three experimental basins
c) Ratio of Cingeľová and Lesný runoff to Rybárik runoff.

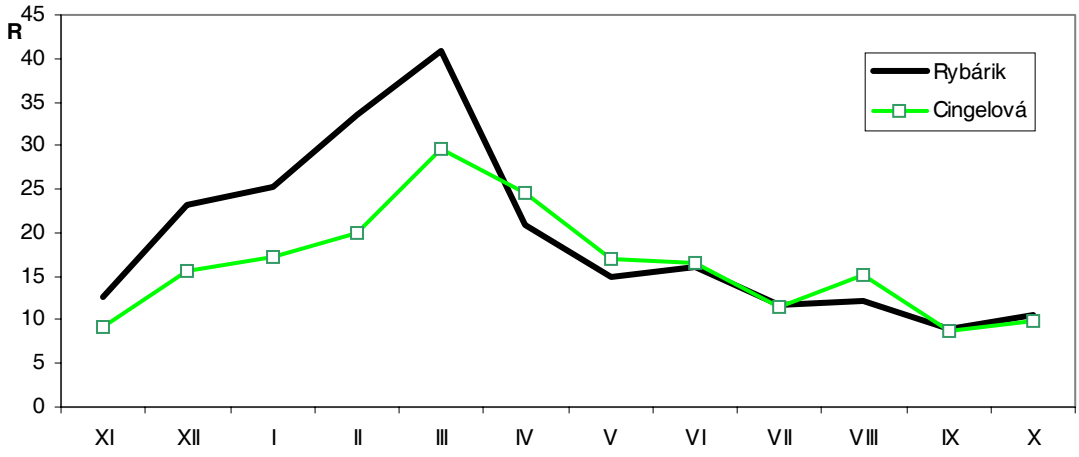
U ročných odtokov sa výrazne preukázal vyšší odtok v povodí Rybárik, využívanom k poľnohospodárskym účelom. Priemerný ročný odtok z tohto povodia je 1,22 krát vyšší ako u povodia Cingeľová, resp. 1,46 krát vyšší, ako u povodia Lesný, ktoré sú povodiami zalesnenými.

2.3 Vplyv zalesnenia povodia na odtok v jednotlivých mesiacoch roka

Na zhodnotenie vplyvu zalesnenia na mesačný odtokový režim sme použili dlhodobé mesačné odtoky z troch experimentálnych mikropovodí (obdobie 1964/65–1993/94).
Dlhodobé mesačné odtoky (priemer za 30-ročie) z troch mikropovodí sú graficky vyjadrené na obr. 4 a uvedené v tabuľke 5. Relatívne hodnoty mesačných odtokov k celoročnému odtoku sú znázornené na obr. 5. Hodnoty sú uvedené v tabuľke 6.



a)



b)

Obr. 4 Porovnanie priebehu priemerných mesačných odtokových výšok v mm a) Rybárik-Lesný; b) Rybárik-Cingeľová; 30-ročné obdobie.

Fig. 4 Comparison of the course of mean monthly runoff depths in mm a) Rybárik-Lesný; b) Rybárik-Cingeľová; 30-yearly period.

Tab. 5 Dlhodobé mesačné odtoky z troch mikropovodí v mm, (priemer za 30-ročie)

Tab. 5 Long-term mean monthly runoff depths in mm form 3 microbasins, (30-years averages)

	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	rok
Rybárik	13.0	23.2	25.2	34.0	39.9	20.6	15.3	15.1	11.7	12.0	8.9	10.6	229.56
Lesný	5.76	13.06	14.46	19.46	32.19	22.54	15.84	13.37	7.15	8.98	4.98	5.63	122.55
Cingeľ	9.22	15.66	17.11	19.92	29.64	24.55	17.02	16.56	11.55	15.12	8.70	9.84	146.17

Tab. 6 *Relatívne hodnoty mesačných odtokov k celoročnému odtoku v % z troch mikropovodí, (priemer za 30-ročie)*

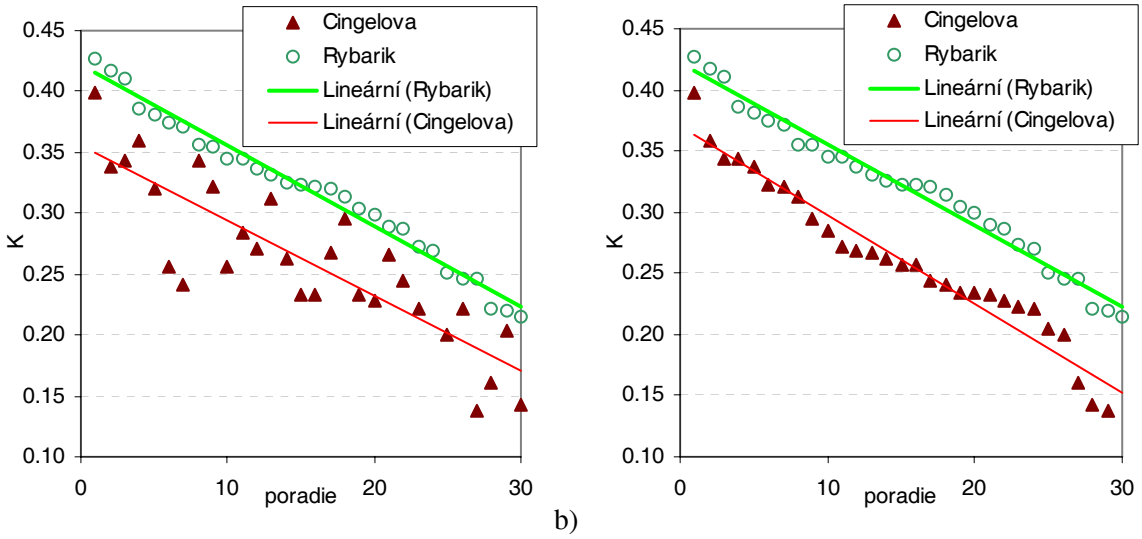
Tab. 6 *Relative values of the monthly runoff to yearly runoff in % form experimental microbasins, (average during 30-years)*

	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	rok
Rybárik	5.68	10.11	11.00	14.82	17.37	8.97	6.68	6.59	5.09	5.21	3.88	4.61	100.00
Lesný	3.52	7.99	8.85	11.91	19.70	13.80	9.69	8.18	4.37	5.49	3.05	3.44	100.00
Cingeľ	4.73	8.03	8.78	10.22	15.21	12.60	8.73	8.50	5.92	7.76	4.47	5.05	100.00

Maximálne odtoky vo všetkých troch povodiach sa vyskytujú v čase topenia snehovej pokrývky: vo februári - marci (Rybárik), resp. marci - apríli (Cingeľová, Lesný). Výskyt najnižších odtokov sa presúva na druhú polovicu vegetačného obdobia s absolútnym mesačným minimom v septembri, kedy záverečnými profilmi povodí odtečie iba 3-4,5 % celoročného odtoku. Je zaujímavé, že relatívne odtoky v mesiacoch júl - september sú rovnaké u Rybárika, i v povodí Lesný. Iba v dvoch mesiacoch (v apríli a máji) sú dlhodobé priemerné špecifické odtoky z hrabového povodia vyššie ako z poľnohospodárskeho povodia.

3 Záver

Medzi koeficientmi odtoku z povodia Rybárik a Cingeľová nie je rozdiel vzhľadom na vodnosť roka. Ak by les nadlepšoval odtok z povodia, tak v suchých rokoch by mal byť koeficient odtoku zo zalesneného povodia relatívne vyšší vzhľadom na povodie nezalesnené. Ako však vidieť na obr. 5a, obidve vyrovnávacie priamky usporiadaných radov koeficientov odtoku (podľa koeficientov odtoku Rybárika) majú takmer rovnaký sklon. Navyše, ak usporiadame oba rady koeficientov odtoku (obr. 5b), zdá sa, že v suchých rokoch je medzi radmi koeficientov odtoku väčší rozdiel (tj. les v suchých rokoch spotrebuváva viac vody v porovnaní s poľnohospodársky využívaným povodím, než v rokoch mokrých).



Obr. 5 *Vyrovnávacie priamky usporiadaných radov koeficientov odtoku*
a) podľa koeficientov odtoku Rybárika; b) podľa oboch radov koeficientov odtoku.

Fig. 5 *Fitted lines of sorted series of runoff coefficients*
a) according to runoff coefficients of Rybárik basin; b) according to runoff coefficients of two basins.

Z porovnania mesačnej bilancie vody v lesnom a poľnohospodárskom mikropovodí vyplýva nasledovný poznatok: Lesné povodie nenadlepší výrazne prietoky v mesiacoch jún až október, kedy je nedostatok vody v povodiach. Zvýšený odtok z poľnohospodárskeho povodia v mesiacoch november až marec, ktorý by mohol byť zachytený v nádrži, sa v zalesnenom povodí neakumuluje vo forme zásob vody, ale les ju spotrebuje a vyparí, čiže nie je k dispozícii v letných mesiacoch pri nedostatku vody v krajine.

Poďakovanie
Spracovanie štúdie bolo podporené Agentúrou na podporu vedy a techniky prostredníctvom finančnej podpory č. APVT-51-017804 a VEGA 5055.

Literatúra

Chlebek, A., Jařabáč, M. (1994): The factor analysis of research data from the Beskydy experimental basins. Vodohosp. Čas., 42, 4-5, 213–225.

Kostka, Z., Holko. L. (1996): Estimation of Hydrological Balance Components at Variable Conditions of the Mountainous Catchment. Proc. Ecohydrology of High Mountain Areas, ICIMOD, Kathmandu, 181–186.

Miklánek, P. (1985): Určenie potenciálnej evapotranspirácie s hodinovým krokom pre voľnú plochu a lesný porast. Vodohosp. čas., 33, 5, 506–521.

Miklánek, P. (1997): Study of Water Balance Elements in Slovak Experimental Basins. Proc. Int. Workshop Experimental hydrology with reference to hydrological processes in small research basins. St. Petersburg - Valdai (Russia):

Pekárová, P., Koníček. A., Miklánek, P. (2005): Vplyv využitia krajiny na režim odtoku v experimentálnych mikropovodiach ÚH SAV. Rukopis monografie, VEDA, v tlači, 216 str.

Tesař, V. (1990): Stanovení evapotranspirace povodí s lesním porostem metodou energetické bilance. In: Zborník zo seminára "Hydropedologie 1990", České Budějovice, Locus s.r.o., 14–21.

Valčičák, J. (1967): K otázke vplyvu lesnatosti na priemerný ročný odtok vo vybraných povodiach na území Slovenska. Vodohosp. čas. 15, 2, 133–160.

Valtýni, J. (1980): Vplyv lesnatosti povodia na odtok. Vodohosp. čas. 28, 3, 286–297.

Zachar, D., Krešl, J., Marko, J., Volný, S. (1984): Lesnícke meliorácie. Príroda Bratislava. 484 str.

Zelený, V. (1977): 100 let lesnické hydrologie na území našeho státu. Vodohosp. čas. 25, 1, 15–26.

Zelený, V. (1979): Výsledky lesnicko-hydrologického výzkumu v experimentálních beskydských povodích. Vodohosp. Čas., 27, 6, 584–600.

Autori

RNDr. Pavla Pekárová, CSc.

RNDr. Pavol Miklánek, CSc., ÚH SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava

pekarova@uh.savba.sk

ČASOVÁ VARIABILITA ROČNÝCH PRIETOKOV VYSOKOHORSKÉHO POVODIA BELÁ ZA OBDOBIE 1901–2000

Pavla Pekárová, Ján Pekár, Juraj Pacl

Pri posudzovaní vplyvu klimatických zmien na zmenu hydrologického režimu toku je nutnou podmienkou vyhodnocovať zmeny hydrologických charakteristík z povodí, ktoré nie sú ovplyvnené ľudskou činnosťou. Ďalšou požiadavkou je, aby analyzované časové rady boli čo najdlhšie a aby boli homogénne. Takýmto radom prietokov je rad toku Belá v stanici Podbanské, vyhodnocovaný od roku 1928. V predloženej štúdii bol tento rad regresnou analýzou predĺžený o obdobie 1895–1927. Ďalej bola analyzovaná homogenita radu, boli hľadané trendy rastu/poklesu a spektrálnou analýzou boli identifikované významné viacročné periódy ročného radu prietokov Belej za obdobie 1895–2002. Najvýznamnejšia perióda identifikovaná spektrálnou analýzou má 3,6 roka. Významné sú i periódy 29-rokov; 36-rokov; 13-rokov; 4,2-roka a 2,4-roka. Dĺžka cyklov ca 3,6-roka pravdepodobne súvisí s Južnou osciláciou, vyjadrenou SO indexom. Dĺžka cyklov ca 2,47-roka môže súvisieť s QBO osciláciou. Dĺžka cyklov ca 13 rokov súvisí s Severoatlantickou osciláciou, vyjadrenou NAO indexom. Vyplýva z toho, že na priebeh kolísania odtoku Belej má vplyv ako NAO, tak i SO fenomén. Iba dôkladnejšie poznanie telekonekcie NAO, AO, SO, PDO alebo QBO fenoménov so zrážkovými, teplotnými a teda aj prietokovými radmi nás môže posunúť dopredu pri objasňovaní viacročnej variability odtoku a posudzovaní vplyvov klimatickej zmeny na odtok.

Kľúčové slová: analýza časových radov, prietoky, Belá, telekonekcia NAO, AO, SO, QBO, dlhodobá predpoveď odtoku

Time variability of annual discharge in the Belá mountainous catchment during 1901–2000. *While analyzing the impact of climate change on hydrological regime changes it is necessary to evaluate changes of hydrological characteristics of the basins that are uninfluenced by men activity. Next, the analyzed time series must be as long as possible and homogeneously. Such a time series, satisfying these conditions, is that of Belá: Podbanské, measured since 1928. In the study the time series was prolonged by regression analysis backwards to 1895. Next, homogeneity, long-term trends as well as multi-annual cycles were analyzed for the entire (1895–2002) time series. The most significant period is that of 3.6 year. Other significant periods are those of 29 years, 13 years, 4.2 year, and 2.4 year. The cycle of about 3.6 year probably depends on the Southern Oscillation (SO) represented by the SO index. The 2.47 cycle can be connected with QBO oscillation. Finally, the cycle of about 13 years is connected with North Atlantic Oscillation (NAO) represented by the NAO index. This implies that the fluctuation of the Belá runoff can be influenced by both, NAO and SO phenomena. Only the deeper understanding the teleconnection between NAO, AO, SO, PDO, or QBO phenomena and precipitation, temperature, and discharge time series allow us to explain the discharge multi-annual variability as well as consider the impact of climate change on runoff.*

Key words: time series analysis, discharge, Belá, teleconnection, NAO, AO, SO, QBO, long-term runoff prediction

---

ÚVOD

Pri posudzovaní vplyvu zmien využitia krajiny na zmenu hydrologického režimu je nutnou podmienkou vyhodnocovať charakteristiky z povodí, ktoré sú čo najmenej ovplyvnené ľudskou činnosťou a v ktorých sú prietoky vyhodnocované za čo najdlhšie obdobie. Za týmto účelom bolo vybraných 36 staníc pre Národný klimatický program SR (Majerčáková, Šedík, 1994). Jedno z povodí NKP je povodie Belej po profil Podbanské, kde sú vyhodnocované prietoky už od roku 1928.

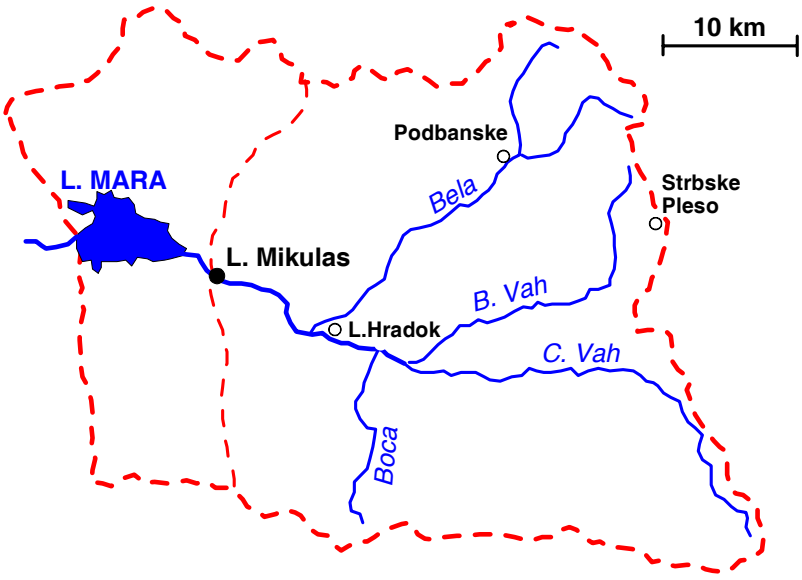
Belá, odvodňujúca rozhranie Západných a Východných Tatier je bystrinou, reprezentujúcou odtokové pomery najvyššej časti Karpát. Povodie Belej po Podbanské bolo do polovice 20. storočia veľmi málo zasiahnuté ľudskou činnosťou – bolo využívané salašníckym spôsobom na pasenie oviec a dobytka. Po uzákonení Tatranského národného parku (1948) bola pastva zrušená a lesy sú obhospodarované ako vodohospodársky významné ochranné porasty (Pacl, 1959-1994). Preto je povodie Belej po Podbanské mimoriadne vhodné pre štúdium prirodzeného hydrologického režimu.

Ciele práce sú:

1. Opis povodia Belej a doplnenie ročného radu prietokov Belej v stanici Podbanské od roku 1895 do roku 1928.
2. Štatistická analýza doplneného radu ročných prietokov za obdobie 1895–2002 (homogenita a stacionarita, trendová analýza, autokorelačná a spektrálna analýza daného radu.
3. Spracovanie dlhodobej predpovede vývoja priemerných ročných prietokov Belej v stanici Podbanské pre budúce desaťročie metódou skrytých periód (harmonickým modelom).

1 ANALÝZA PRIETOKOVÉHO RADU BELEJ

Záujem o rieku Belú má svoje začiatky krátko po 1.svetovej vojne, v dvadsiatych rokoch minulého storočia. Z hľadiska energetického využitia pravostranných bystrinných prítokov Váhu z oblasti Vysokých a Západných Tatier, ako aj z hľadiska protipovodňovej ochrany sa uvažovalo o ich prevedení do laterálneho kanála vedúceho podhorím od Belej až po Jaloveckú dolinu. Tento projekt bol zakrátko nahradený projektom generálnej úpravy Váhu. Povodiu Belej, ako najvodnejšiemu prítoku Váhu nad Liptovským Mikulášom – ale aj najnebezpečnejšiemu v čase povodní – sa dostalo mimoriadnej pozornosti. Už roku 1924 bola na Podbanskom zriadená vodomerná stanica, pod sútokom jej hlavných zdrojníc, Tichého a Kôprového potoka. Záznamy o vodných stavoch sa vykonávali 3 x denne, v čase zvýšenej vodnosti sa konali tzv. mimoriadne pozorovania, v prípade nutnosti aj v nočných hodinách. Pozorovania vykonávali až do roku 1938 príslušníci finančnej pohraničnej stráže, potom ich prevzali zamestnanci lesných správ. V roku 1949 boli pozorovania vodných stavov spresnené doplnením vodomerného profilu limnigrafom. Od povodne v r.1958 (100-ročná voda takmer v celom povodí Horného Váhu) hydrologický prieskum v tatranskej oblasti dostal širšie dimenzie, zvyšoval sa počet vodomerných staníc a zintenzívnili sa merania prietokov za účelom precíznejšieho vyhodnocovania denných, v niektorých prípadoch aj hodinových hodnôt. Od roku 1949 sa Správa Tatranského národného parku podieľala na údržbe vodomerných profilov v spravovanom území a zabezpečila pozorovania svojimi vonkajšími pracovníkmi, strážcami národného parku a technikmi. Všetky tieto postupy zabezpečili sústredenie hydrologických podkladov v takom rozsahu, že v r.1959 (po katastrofálnej povodni na Hornom Váhu a Poprade) bola v rámci výskumu prírodných pomerov národného parku riešená aj úloha Vodná bilancia územia Tatranského národného parku, ktorej predchádzalo podrobné vyhodnotenie katastrofálnej povodne z júna 1958 v osobitnej štúdii. Pri riešení uvedenej výskumnej úlohy sa hydrologické údaje z dvadsaťročných pozorovacích radov pre 30 vodomerných staníc z územia Tatranského národného parku spracovávali počítačmi, čo bol priekopnícky krok v dejinách slovenskej hydrológie. Pri všetkých týchto prácach sa povodiu Belej venovala osobitná pozornosť, lebo sa z neho získavali cenné hydrologické poznatky o tvorbe a režime odtoku v horských oblastiach a vodomerná stanica Podbanské bola začlenená ako varovná hlásna stanica protipovodňovej ochrany. Mimoriadne zefektívnenie hydrologických meraní a prieskumov v povodí Belej podnietila celosvetová spolupráca hydrológov v rámci programu UNESCO, nazvanom Medzinárodná hydrologická dekáda (1965-1974). Povodie Belej bolo (práve pre svoju hydrologicky dominantnú časť po Podbanské) zaradené medzi reprezentatívne povodia. Malo charakterizovať hydrologický režim v najvyššej, činnosťou človeka málo ovplyvnenej časti masívu Karpát, s možnosťou porovnávania hydrologického režimu v dolnej časti povodia, činnosťou človeka ovplyvnenej. V uvedenom období hydrologický režim povodia Belej po Podbanské charakterizovali údaje z 3 vodomerných profilov s limnigrafmi, 3 totalizátory, 1 meteorologická stanica doplnená ombrografom; na tokoch sa konali expedičné merania súčasne zameraných prietokov v pozdĺžnych profiloch toku, expedičné merania vodnej hodnoty snehovej pokrývky, z ktorých jedno bolo takrečeno celoplošné, pri ktorom bolo 6 skupín meračov dopravených vrtuľníkom a snehovými skútrami do najvyšších a najneprístupnejších častí povodia odkiaľ pri zostupe robili snehomerné snímky. V rámci medzinárodnej spolupráce bola možnosť využitia údajov z poľského meteorologického observatória na Kasprowom wierchu, vo výške okolo 2000 metrov n.m. Doplňovanie a overovanie údajov umožnili hydrologické merné profily, totalizátory a zrážkomery v nižších častiach povodia Belej, ako aj tie, ktoré sa nachádzali na opačnej strane rozvodnice. Značná časť prístrojového vybavenia zostala v povodí aj po skončení Medzinárodnej hydrologickej dekády a slúži zberu údajov až do súčasnosti.



Obr. 1. Schéme povodia horného Váhu po Liptovský Mikuláš.

Fig.1. Scheme of the Upper Vah basin up to L. Mikulas.

Belá vzniká sútokom dvoch zdrojníc – Tichého a Kôprového potoka, v nadmorskej výške 977 metrov (obr. 1). V reliéfe povodia Tichého potoka majú prevahu hôľne tvary, zodpovedajúce reliéfu Západných Tatier, pre povodie Kôprového potoka je typická prevaha výrazného vysokotatranského reliéfu. Takmer celú vysokohorskú časť povodia tvorí kryštalinikum (žuly, ruly, migmatity); malá časť pravostranného povodia Tichého potoka je budovaná vápencami a dolomitami s výrazným krasovým reliéfom, najmä v povodí Tomanovho potoka. Kryštalinická časť povodia je prevažne nepriepustným podložím; spolu s vysokohorským a hôľnym reliéfom vytvára dobré podmienky pre rýchle stekanie zrážkovej vody dolu strmými svahmi. Retenčná schopnosť dobre priepustných sutín a osypov sa nemôže uplatniť v potrebnej miere s ohľadom na malú rozlohu aj mocnosť týchto útvarov.

Klimatické pomery. Povodie Belej je viac-menej rovnako vzdialené od Baltického mora, Atlantického oceánu a Jadranského mora (600-850-700 km), má relatívne kontinentálnu polohu. Jeho základný podnebný ráz (stredoeurópske vnútrozemie) je výrazne ovplyvnený prudko sa meniacou nadmorskou výškou povodia (na vzdialenosť 10 km sa povodie prevýši o 575 metrov, až do pásma s vysokohorskými prvkami podnebia).
Režim zrážok má typický jednoduchý ročný chod, s jedným minimom v zime (zvyčajne vo februári) a s jedným maximom v lete (jún až júl). Pribúdanie zrážok s rastom nadmorskej výšky je v povodí viac-menej pravidelné.

Odtokové pomery. Povodie Belej leží v oblasti najvyšších zrážkových úhrnov na území Slovenska. V povodí jednoznačne prevládajú letné povodne, podmienené intenzívnymi lejakmi z výrazného teplotného rozhrania nad Karpatami. Priaznivé morfologické aj klimatické faktory podmieňujú rýchly povrchový odtok dažďovej vody a jej sústreďovanie do riečnych korýt. Dlhodobý priemerný špecifický odtok Belej pri Podbanskom je 37 $l.s^{-1}km^{-2}$. Podobne vysoké odtoky sa vyskytujú v povodiach na severnej strane Západných a Východných Tatier. Tabuľka 1 podáva názorný obraz o vytváraní vodných zásob v povodí a o ich zmenách. Akumulácia vodných zásob prebieha od septembra predchádzajúceho roku do marca nasledujúceho roku, kedy dosahuje najvyšších hodnôt (obr. 2). V apríli a máji sú odtoky vyššie ako zrážky, odtok je krytý zásobou vody uloženej v snehovej pokrývke a v podpovrchovej zóne. Od júna je povrchový odtok krytý zrážkami, ale straty, najmä z výparu, sú ešte natoľko vysoké, že vyčerpávanie zásob vody z povodia pokračuje až do výrazného prebytku zrážok, za súčasného poklesu výparnosti v priebehu septembra-októbra. V tabuľke 2 je uvedený prehľad charakteristík plies v povodí Belej.

Tab. 1 Základné charakteristiky povodia Belej a vodná bilancia povodia Belej po stanicu Podbanské

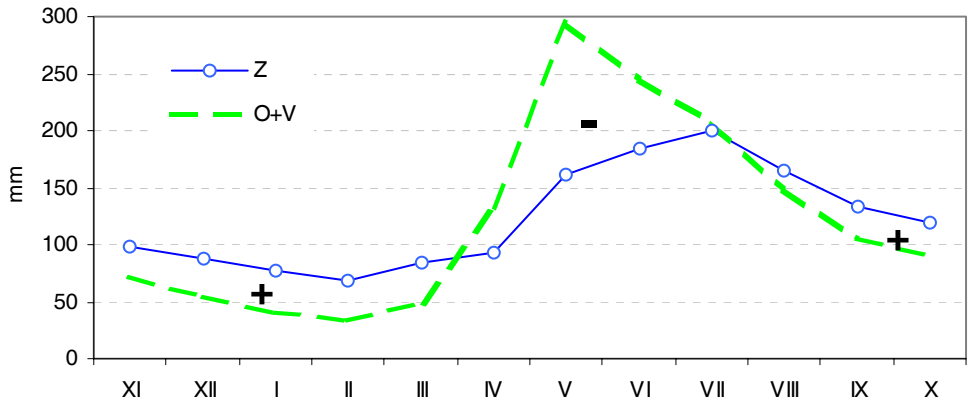
Tab. 1 Basic characteristics of the Belá basin, water balance

Tok	Tichý potok	Kôprový potok	Belá
Plocha povodia km^2	57,45	31,24	93,49
Najvyšší bod povodia m n.m.	2371	2495	2495
Najnižší bod povodia m n.m.	977	977	920
Rozdiel nadm. výšok v m	1394	1518	1575
Priemerná výška povodia m n.m.	1585	1636	1572
% zalesnenia	33	30	36
1931–1960	1931–1960	1931–1960	1901-2000
Priemerný ročný úhrn zrážok mm	1640	1720	1473
Priemerný ročný odtok mm	1250	1480	1181
Priemerná ročná stratová výška mm	390	240	292
Priemerný ročný prietok m^3.s^{-1}	2,28	1,47	3,5
Priemerný ročný špecif. odtok l.s^{-1}km^{-2}	39,7	47	37,4
Koeficient odtoku	0,76	0,86	0,8
Maximálny prietok m^{3}s^{-1}	125	90	170
Minimálny prietok m^{3}s^{-1}	0,29	0,18	0,48

Tab. 2 Jazerá v povodí Bele, morfometrické údajej

Tab. 2 Tarns in the Belá basin

Pleso	Nadm. v. m	Nadm. v. m	Plocha m^2	Objem m^3	Hĺbka max. m	str. m	Dolina
Temnosmrečinské Vyšné	1725	1725	55625	414712	20	7,45	Kôprová
Temnosmrečinské Nižné	1677	1677	117045	1501500	38,1	12,83	Kôprová
Terianske Vyšné	2124	2124	5550	8470	4,3	1,53	Nefcerka
Terianske Nižné	1940	1940	55580	871668	47,3	15,68	Nefcerka
Kobylie	1734	1734	2975	735	1	0,25	Kôprová
Tomanove Vyšné	1597	1597	1925	1234	1,7	0,64	Tomanova
Tomanove Nižné	1592	1592	945	284	0,9	0,3	Tomanova
Tomanove Malé	1617	1617	272	90	1	0,33	Tomanova



Obr. 2.Priebeh prvkov vodnej bilancie povodia Belá určená z dlhodobých priemerných mesačných hodnôt.

Fig.2 Monthly water balance in Belá basin.

1.1 Doplnenie prietokových radov Belej za obdobie 1985–1928

Pri doplnení prietokového radu zo stanice Belá: Podbanské za obdobie 1895–1928 sa postupovalo nasledovne (Rein, 1954; Kajetanowicz, 1960; Hladný a Pacl, 1974; Hlubocký 1974; Binark, 1979; Giesecke, 1983; Jordan a Meylan, 1986; Gutknecht, 1992):

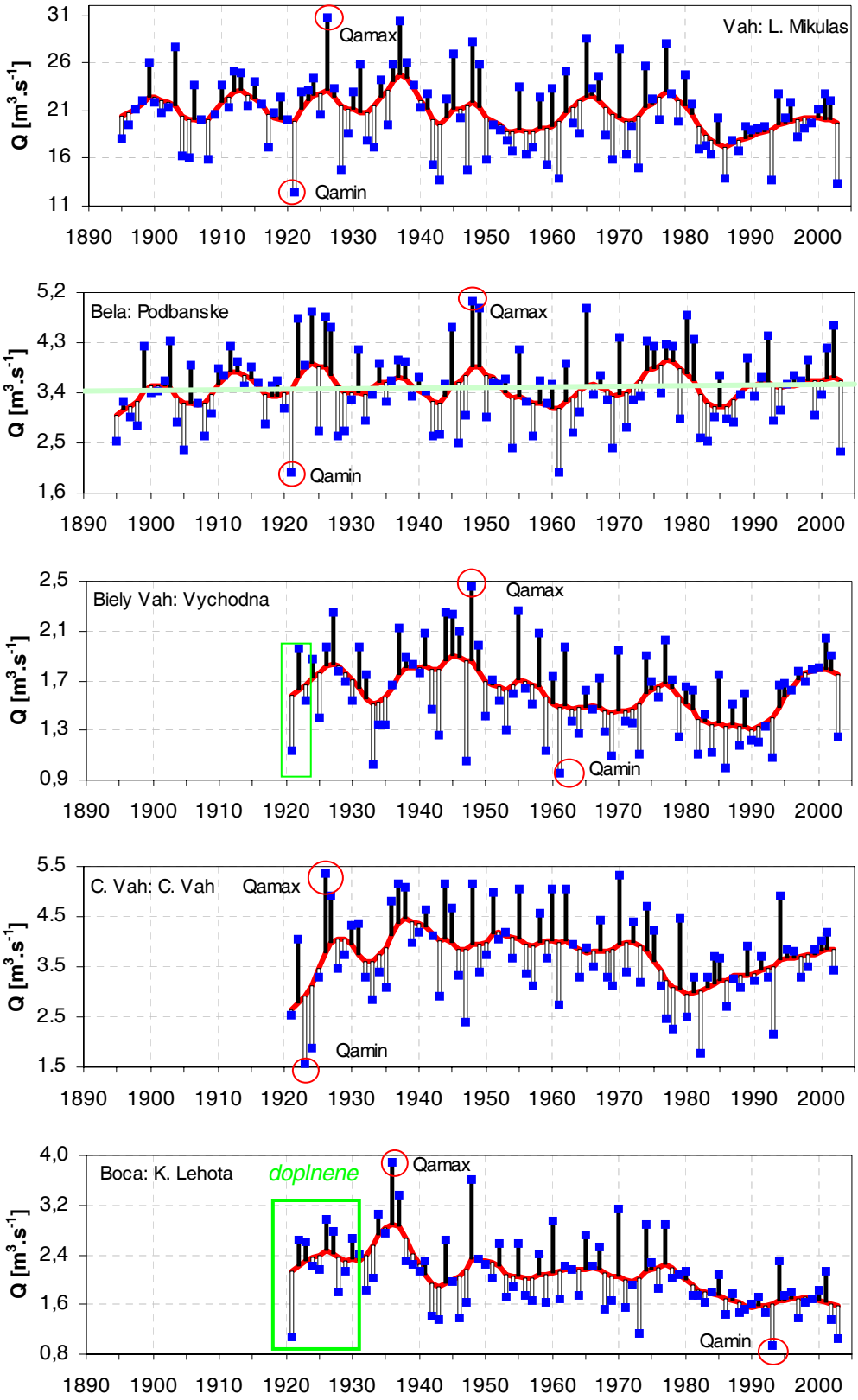
- Bola analyzovaná presnosť zrážkomerných údajov zo staníc Liptovský Hrádok, Podbanské, Štrbské Pleso, údajov z 3 totalizátorov situovaných priamo v povodí (doliny Tomanova, Tichá a Kôprová), z 2 totalizátorov v blízkej Bystrej doline a údajov z poľského meteorologického observatória na hraničnom Kasprowom vrchu.
- Boli vypočítané párové korelácie medzi jednotlivými miestami merania.
- Boli vyhodnotené závislostí medzi zrážkami a nadmorskou výškou povodia.
- Bolo vykonané plošné zahustenie bodových zrážkomerných údajov polygónovou metódou a metódou Krigeho.

Najhodnovernejšími sa ukázali postupy: Gradient zrážok s rastom nadmorskej výšky medzi stanicami Liptovský Hrádok-Podbanské-totalizátory v Tichej a Kôprovej doline. Z tejto korelačnej závislosti sa mohli odvodiť zrážkové úhrny pre priemernú nadmorskú výšku povodia, ktorá je zhodná s nadmorskou výškou zodpovedajúcou polovici plochy povodia Belej po Podbanské, a je takmer zhodná s ťažiskom povodia. Uvedenými postupmi boli podľa ročných úhrnov zrážok v Liptovskom Hrádku z obdobia 1895–1930 stanovené ročné úhrny zrážok pre ťažisko povodia. K vyhodnoteniu odtoku z tejto primárnej informácie bolo nutné poznať súčinitele odtoku v rôzne vodných rokoch, od mimoriadne suchých, cez priemerné, po mimoriadne vodné. Tieto hodnoty sa získali určením odtokových súčiniteľov pre roky, z ktorých už boli známe priemerné ročné prietoky (pravidelné vyhodnocovanie priemerných denných prietokov od r.1930, nepravidelné – overovanie presnosti merných kriviek od r.1928, údaje o priemerných vodných stavoch a mimoriadnych v čase povodní od r. 1925). Hodnoty odtokových súčiniteľov z tak krátkeho radu bolo nutné overiť údajmi z dlhšieho radu. Získali sa výpočtom ročných súčiniteľov odtoku z jednotlivých rokov obdobia 1931–1960 a ich zatriedením podľa pomernej početnosti prekročenia zrážok, ako aj prietokov za toto obdobie. Orientačne bolo možné overiť hodnoty odtokových súčiniteľov ešte na údajoch z 30 profilov v tatranskej oblasti, pre ktoré boli vypočítané priemerné denné prietoky za roky 1941–1960, pričom s profilom Podbanské bezprostredne susedilo 5 vodomerných profilov. Z ročných úhrnov zrážok vynásobených koeficientom odtoku sa určili ročné hodnoty odtoku. Kontrolnou hodnotou bola stratová výška, ktorú bolo možné ešte overovať podľa údajov z uvedených 30-tich povodí tatranskej oblasti. Záverečná kontrola hodnôt ročných prietokov z obdobia 1895–1918 sa vykonala porovnaním s údajmi o vodných stavoch v stanici L. Mikuláš, podľa ročeniek maďarskej hydrografickej služby.
Priemerné ročné prietokové rady z B. Váhu a Boce (1921–1930) boli doplnené regresnou analýzou na základe ročných úhrnov zrážok a teploty vzduchu. Na základe korelačnej analýzy bola na doplnenie prietokového radu B. Váhu vybraná stanica Š. Pleso a pre prietoky Boce zrážky so staníc V. Boca a L. Hrádok. V tabuľke 4 je uvedená korelačná matica párových korelácií analyzovaných klimatických a prietokových ročných radov údajov za existujúce úseky obdobia (1901–1990). Doplnenie priemerných ročných prietokov o údaje od roku 1921 je dôležité pre výpočet hydrologických charakteristík a trendov (tab. 3), nakoľko v roku 1921 boli zaznamenané mimoriadne nízke hodnoty ročných prietokov v SR i v iných stredoeurópskych tokoch. Naopak, rok 1926 bol v strednej Európe extrémne vodný. Priebehy priemerných ročných prietokov z piatich staníc sú vykreslené na obr. 3.

Tab. 3 Základné štatistické charakteristiky vybraných tokov z povodia horného Váhu za vybrané obdobie, A – plocha povodia, Qa – dlhodobý priemerný ročný prietok, qa –špecifický odtok , b - dlhodobý trend

Tab. 3 Basic statistical characteristics of selected rivers in the Upper Vah basin, A –area, Qa – average annual discharge, qa – specific runoff , b – long-term trend

Rieka - stanica	Obdobie	Nadm. výška		A	Qa	qa	c_s	c_v	b
	roky	min	priem.	km^2	m^3s^{-1}	$l.s^{-1}km^{-2}$			
Belá – Podbanské	1901–2000	922	1651	93,49	3,50	37,3	0,18	0,20	0,0
Biely Váh – Východná	1921–2000	732	1032	105,	1,60	15,3	0,16	0,22	–,0039
Čierny Váh – Č. Váh	1921–2000			244,	3,70	15,3	-0,10	0,24	–,0053
Boca – Kráľ. Lehota	1921–2000			116,6	2,08	18,0	0,73	0,28	-0,0102
Váh – L. Mikuláš	1901–2000	569	1136	1107	20,70	19,0	0,221	0,19	-0,0246



Obr. 3. Priebehy priemerných ročných prietokov tokov z horného Váhu, odchýlky od dvojnásobných 5-ročných kĺzavých priemerov, Qamin – absolútne minimum, Qamax – absolútne maximumí. Prietoky z Č. Váhu sú očistené od prevodu vody.

Fig. 3. Course of average discharge of selected rivers in the Upper Vah basin, , residuals of 5-year moving averages values, Qamin – absolute minimum, Qamax – absolute maximum.

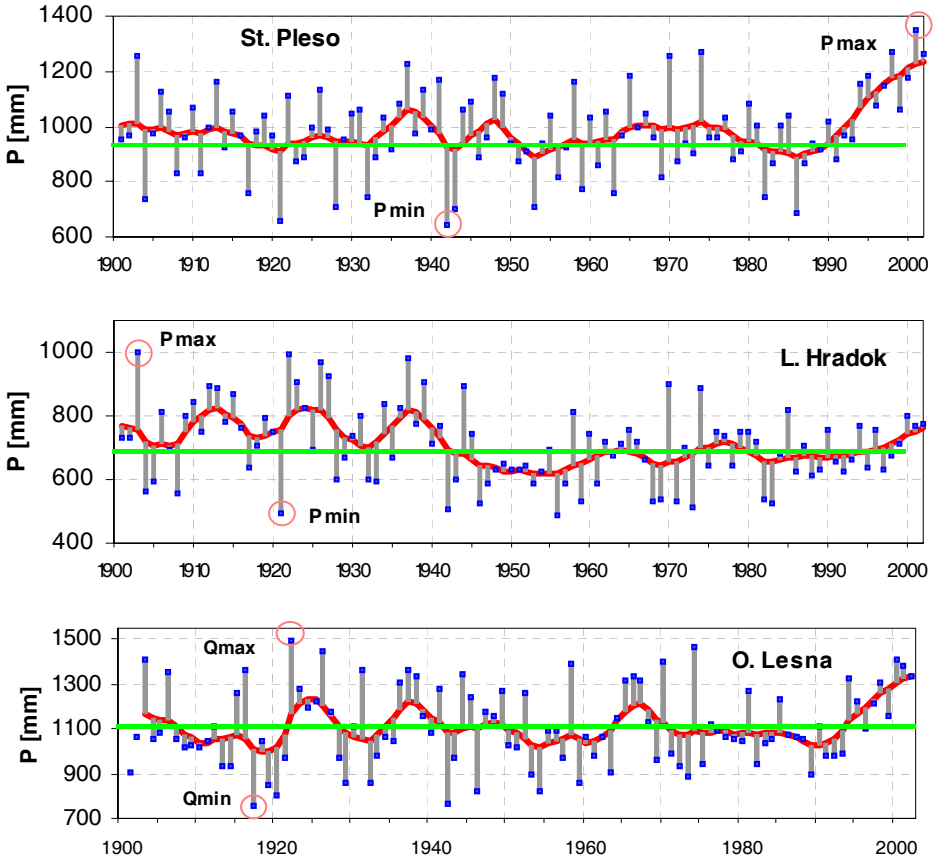
Na obrázku 4 sú vykreslené priebehy ročných úhrnov zrážok zo staníc Liptovský Hrádok (1901–2003), Štrbské Pleso (1901–2003) a Oravská Lesná (1951–2003).

Tab. 4 Príklad korelačnej matice vybraných priemerných ročných radov

Tab. 4 Example of the correlation matrix for selected annual time series

	T_S.P.	*T_L.H.*	*Z_Pop.*	*Z_L.H.*	*Z_S.P.*	*Z_Mik*	*Z_Boca*	*Q_Belá*	*Q_B.Vah*	*Q_C.Vah*	*Q_Boca*	*Q_VLM*	*Q_VS*
T_S.P.	1.00												
T_L.H.	0.89	1.00											
Z_Pop.	-0.03	0.04	1.00										
Z_L.H.	-0.14	-0.03	**0.72**	1.00									
Z_S.P.	-0.20	-0.04	**0.78**	**0.75**	1.00								
Z_Mik	-0.01	0.15	**0.79**	**0.86**	**0.83**	1.00							
Z_Boca	-0.08	0.03	**0.72**	**0.73**	**0.82**	**0.78**	1.00						
Q_Belá	-0.19	-0.12	0.53	0.49	**0.66**	0.51	**0.60**	1.00					
Q_B.Vah	-0.22	-0.16	0.57	0.50	**0.63**	0.55	0.47	**0.62**	1.00				
Q_C.Vah	-0.13	-0.11	**0.61**	0.53	0.53	0.59	0.46	0.54	**0.73**	1.00			
Q_Boca	-0.08	0.00	0.59	**0.67**	**0.68**	**0.65**	**0.73**	0.57	0.57	**0.67**	1.00		
Q_VLM	-0.11	-0.07	**0.69**	**0.71**	**0.80**	**0.71**	**0.77**	**0.81**	**0.77**	**0.72**	**0.79**	1.00	
Q_VS	-0.21	-0.10	**0.69**	**0.70**	**0.79**	**0.75**	**0.69**	**0.66**	**0.81**	**0.67**	**0.67**	**0.84**	1.00

T_S.P. - priemerná ročná teplota vzduchu, Š. Pleso, L. Hrádok
Z_Pop -ročný zrážkový úhrn, Poprad, L. Hrádok, Š. Pleso, Mikuláš, V. Boca
Q_Boca - priemerný ročný prietok, Boca, B. Váh, Č. Váh, Váh: L. Mikluláš, Váh: Šaľa



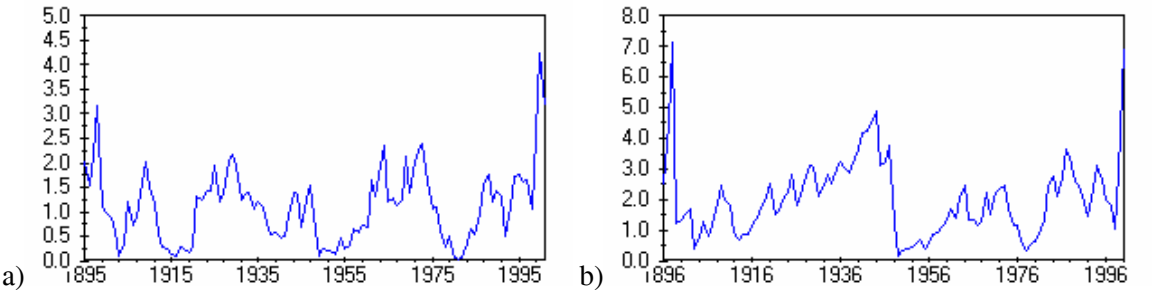
Obr. 4. Priebehy vybraných radov priemerných ročných úhrnov zrážok, odchýlky od dvojnásobných 5-ročných kĺzavých priemerov, Pmin – absolútne minimum, Pmax – absolútne maximum.

Fig. 4. Course of mean annual precipitation totals, residuals of 5-year moving averages values, Pmin – absolute minimum, Pmax – absolute maximum.

2 ANALÝZA RADU ROČNÝCH PRIETOKOV V STANICI BELÁ: PODBANSKÉ

2.1 Testovanie homogenity radu ročných prietokov Belej 1895–2002

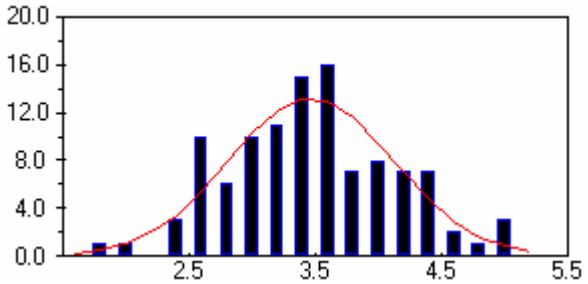
Homogenitou hydrologických radov v SR sa zaoberali napr. Hlubocký (1986), Benický (1992) alebo Majerčáková, Šedík (1994). Pri testovaní homogenity prietokového radu Belej (1885–2002) sme použili softvérový balík AnClim (autor Štepánek, 2003). Homogenitu radu ročných prietokov Belej sme testovali Alexanerssonovým testom (Alexandersson, Moberg, 1997; Alexandersson, 1986):
a) pre zmenu strednej hodnoty; b) pre zmenu strednej hodnoty a variancie.
Hodnoty testovanej charakteristiky (pozri obr. 5) sú pod hlboko kritickými hodnotami (pre zmenu strednej hodnoty je kritická hodnota 7,85 na hladine významnosti 90% a 9,15 pre 95%). Rad priemerných ročných prietokov Belej v stanici Podbanské je homogénny. Z hľadiska dĺžky radu je rad prietokov Belej jedinečný v celej strednej Európe. Povodie Belej po profil Podbanské môžeme považovať za povodie neovplyvnené činnosťou človeka. Preto je tento rad mimoriadne vhodný na analýzu vplyvu prípadnej klimatickej zmeny na tvorbu odtoku.



Obr. 5 Alexanerssonov test. Výstup z AnClim softvéru (autor Štepánek, 2003).
a) pre zmenu strednej hodnoty, kritická hodnota 9,15 pre hladinu významnosti 95%;
b) pre zmenu strednej hodnoty a variancie, kritická hodnota 16,85 pre hladinu významnosti 95%.
Fig. 5 Alexanerssons test. AnClim software (Štepánek, 2003).
a) for changes in mean values, critical value 9.15 on 95% significance level;
b) for changes in mean value and variance, critical value 16.85 on 95% significance level.

2.2 Testovanie normality radu ročných prietokov Belej 1895–2002

Niektoré štatistické testy a postupy vyžadujú normalitu testovaného radu.
Pri testovaní normality rozdelenia radu ročných prietokov bol použitý test dobrej zhody (X^2-test) a Kolmogorovov-Smirnovov test. Z výsledkov testov vyplynulo, že daný rad na zvolenej hladine významnosti spĺňa podmienky normaliry. Na vykreslenie čiary prekročenia priemerných ročných prietokov (obr. 6) sme použili normálne rozdelenie (μ=3,4648; σ=0,653). Za mimoriadne suchý rok budeme považovať rok s prietokom nižším ako Q_{99} = 1,94 m^3s^{-1} (dlhodobý ročný prietok s pravdepodobnosťou prekročenia 99%). Za mimoriadne vodný rok budeme považovať rok s prietokom vyšším ako Q_{10} = 4,3 m^3s^{-1} (dlhodobý ročný prietok s pravdepodobnosťou prekročenia 10%). Základné štatistické charakteristiky ročných prietokov Belej za obdobie 1895–2002 sú uvedené v tabuľke 5.



Obr. 6 Histogram rozdelenia priemerných ročných prietokov Belej v stanici Podbanské za obdobie 1895–2002.

Fig. 6 Histogram of mean annual discharge of Belá River in Podbanské, period 1895–2002.

Tab. 5 Základné štatistické charakteristiky ročných prietokov Belej za obdobie 1895–2002

Tab. 5 Basic statistical characteristics of annual discharge time series, Belá River, 1895–2002

Length of the Series	108	C. of Kurtosis	-0.0881
Arithmetic Mean	3.4648	Maximal Value	5.0 (Year: 1948)
Standard Deviation	0.6533	Minimal Value	1.7 (Year: 1921)
Variance	0.4268	1st Quartile (25%)	3.0
C. of Variance	18.85%	Median	3.4
C. of Skew	0.0997	3rd Quartile (75%)	3.9

2.3 Testovanie existencie dlhodobého trendu radu ročných prietokov Belej 1895–2002

Pri testovaní existencie dlhodobého trendu rastu alebo poklesu prietokového radu Belej (1885–2002) sme použili softvérové balíky AnClim (autor Štepánek, 2003) a CTPA (autori Procházka a kol., 2001). Nájdený mierny rastúci trend – koeficient rastu 0,0026 m^3s^{-1} za rok – bol testmi vyhodnotený ako štatisticky nevýznamný (tab. 6) van Gelder a kol. (2000).

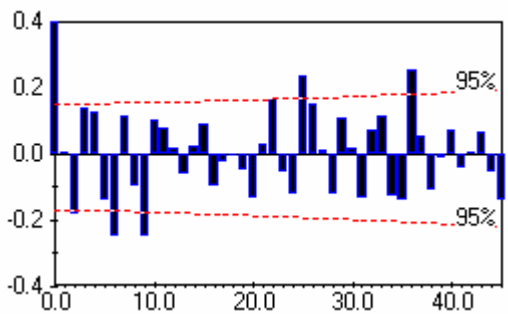
Tab. 6 Test významnosti trendu ročných prietokov Belej za obdobie 1895–2002

Tab. 6 Test of change in trend, discharge series of Belá, 1895–2002

Linear Regression Model (x=Time):
(y=b0+b1*x): y = 3.3223+0.0026*x
T-test for Coefficient b1 : T=1.301 <? 1.982 (95%)
: (NON significant)
Trend /10 years: 0.026
Index of Determination (Correlation): 0.0157 (0.1254)
Variance (Residuals+Estimates=Total) : 0.4162+0.0066=0.4228

2.4 Autokorelačná a spektrálna analýza radu ročných prietokov Belej 1895–2002

Analýza časových radov obsahuje viaceré užitočné metódy identifikácie periodickosti v časových radoch, napr. autokorelačnú analýzu (AC), singulárnu spektrálnu analýzu SSA (Singular Spectrum Analysis), spektrálnu analýzu maximálnej entropie MESA (Maximum Entropy Spectrum Analysis - Power Spectrum PS), metódu empirických ortogonálnych funkcií EOFs (Empirical Orthogonal Functions Method) / Fouriérovu analýzu FA (Fourier Analysis), alebo metódu hlavných komponentov MMC (Method of Main Components), (Nobre & Shukla, 1996; Jevrejeva & Moore, 2001; Ramachandra Rao & Hamed, 2003; Liritzis & Fairbridge, 2003; Van Gelder et al., 2000; Prochazka et al.,2001). V tejto štúdii sme pri identifikácii dĺžky períód použili autokorelačnú analýzu - autokorelogram, FA - periodogram a MESA metódu.
Na obr. 7 je vykreslený autokorelogram radu priemerných ročných prietokov Belej. Z grafu vyplýva, že medzi hodnotami radu priemerných hodnôt existuje významná korelácia (záporná pre 2, 6 a 9 rokov, kladná pre 22, 25 a 36 rokov).



Obr. 7. Autokorelogram radu priemerných ročných prietokov Belej.

Fig. 7. Auto-correlogram of discharge series of Belá River.

2.5 Telekonekcia radu ročných prietokov Belej s NAO, AO, SO a QBO fenoménmi

Najvýznamnejšia perióda, identifikovaná spektrálnou analýzou metódou MESA, má 3,6 roka (obr. 8c). Významné sú i periódy 12,8 roka 5,3; 4,2 roka a 2,47 roka. Metódou kombinovaného periodogramu (Pekárová a kol., 2003) boli identifikované dlhé periódy 15,5; 22,5 a 31 rokov (obr. 9).

Keďže dĺžky viacročných období nie sú celé čísla, nie je ich možné autokorelogramom radov ročných hodnôt identifikovať. Napr. najvýznamnejšia perióda – 3,6 roka – sa na autokorelograme výrazne nezobrazí. Prejavuje zvýšenými autokorelačnými koeficientmi pre 3 a 4 roky. Čiastočne tento nedostatok možno odstrániť tým, že by sme použili na autokorelogram mesačné hodnoty prietokov, očistené od ročného cyklu. Pri vyhodnocovaní mesačných autokorelogramov sa totiž väčšina autorov uspokojí s nájdením 12 mesačného (prípadne ešte 6 mesačného a 4 mesačného cyklu) a nepokračujú v hľadaní ďalších cyklov odstránením 12, 6 a 4 mesačného cyklu.

Nájdenie cyklu 3,6 roka v prietokových radoch Slovenska a celej Európy dokazuje, že viacročné kolísanie prietokov (cez zrážkové úhrny) ovplyvňuje Južná oscilácia (SO), a teda známy fenomén ENSO. Dĺžka cyklov ca 3,6-roka, ktorá bola nájdená v prietokovom rade Belej, bola nájdená i v rade indexov SO (SOI).

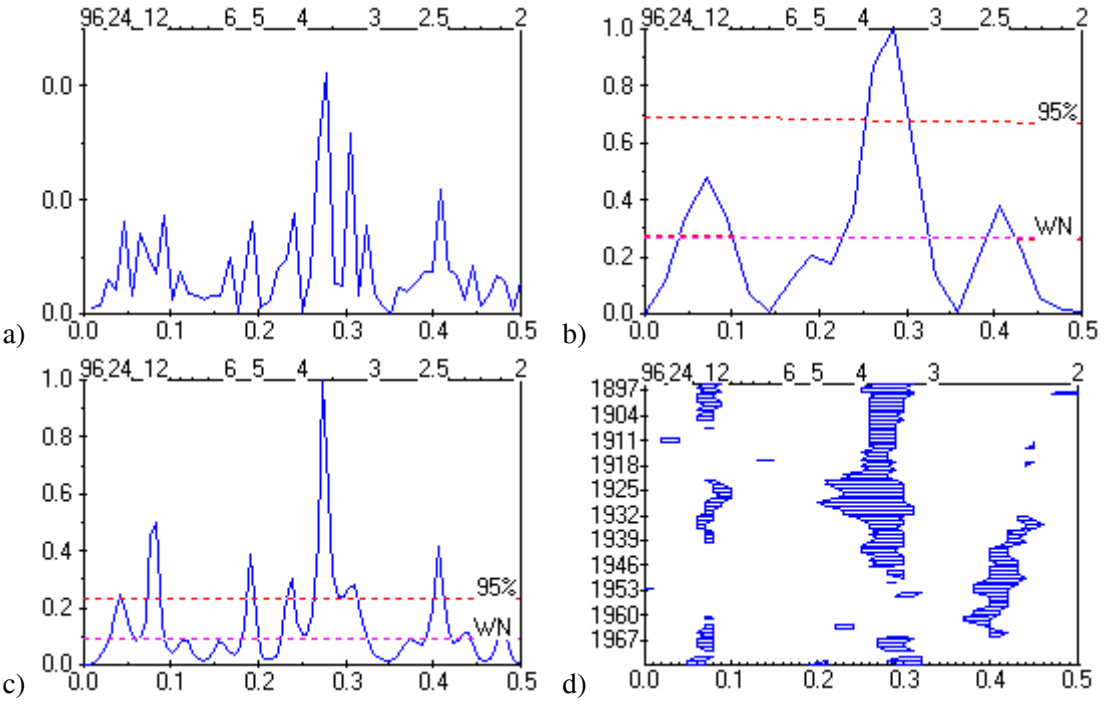
Dĺžka cyklov ca 2,47-roka môže súvisieť s QBO osciláciou.

Dĺžka cyklov ca 13 rokov súvisí s Severoatlantickou osciláciou, vyjadrenou NAO indexom.

Dĺžka cyklov ca 28-31 rokov súvisí s Arktickou osciláciou, vyjadrenou AO indexom.

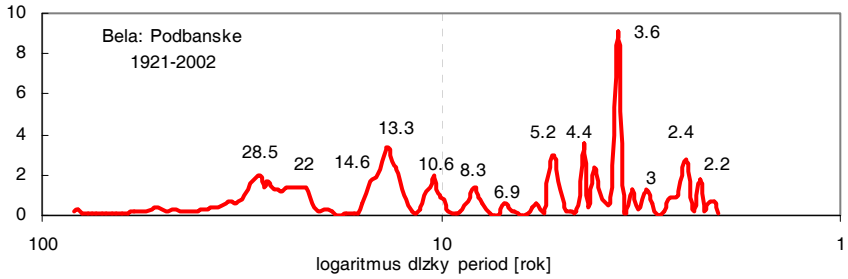
Vyplýva z toho, že na priebeh kolísanie odtoku Belej má vplyv ako NAO, AO, tak i SO fenomén. Povodím Belej (Vysokými Tatrami) prechádza pomyselná hranica (tiahnúca sa od Marseille po st. Peterburg) medzi severozápadnou Európou, kde ročné prietoky v poslednom desaťročí rástli a juhovýchodnou Európou, kde bol trend prietokov klesajúci (Pekárová, Pekár, 2004; Pekárová a Miklánek, 2004a,b).

Pred skúmaním vplyvu klimatických zmien na odtok je potrebné tieto cylkické zložky z ročných radov odstrániť, a pri analýze dôsledkov klimatických zmien používať očistené rady prietokov od cyklickej zložky. Technicky je to však mimoriadne náročné na dôkladné analýzy.

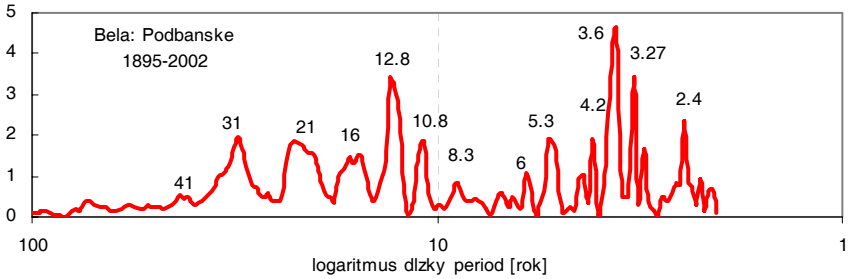


Obr. 8 Spektrálna analýza priemerných ročných prietokov Belej (softvér AnClim, Štepánek, 2003). a) Periodogram; b) PS Tukey; c) PS MESA; d) dynamic MESA.. Hore na osi x sú roky.

Fig. 8 Spectral analysis of mean annual discharge of Belá River (software AnClim, Štepánek, 2003). a) Periodogram; b) PS Tukey; c) PS MESA; d) dynamic MESA..



a)



b)

Obr. 9 Kombinovaný periodogram priemerných ročných prietokov Belej pre dve obdobia, periódy v rokoch a) 1921–2002, b) 1985–2002.

Fig. 9 Combined periodogram of the mean annual discharge of Belá River for two periods, periods in years a) 1921–2002, b) 1985–2002.

3 DLHODOBÁ PREDPOVEĎ ROČNÝCH PRIETOKOV

Cieľom posledného paragrafu je spracovať konkrétnu dlhodobú predpoveď vývoja priemerných ročných prietokov Belej v stanici Podbanské, vychádzajúc z teórie cyklickosti odtoku. Použitý bol postup opísaný v (Pekárová a Pekár, 2005; alebo Pekárová, 2003). Podobný postup použili napr. Hermann a Egger (1980) pri predpovedi prietokov rieky Isar.
Testovaný bol celý rad lineárnych autoregresných modelov.

- model založený na harmonických funkciách (skryté periódy);
- lineárne B-J autoregresné modely AR, MA, ARMA a SARIMA;
- model obsahujúci harmonickú (deterministickú) zložku i B-J autoregresnú zložku;
- model obsahujúci harmonickú zložku, B-J autoregresnú zložku a regresnú zložku modelujúcu vplyv NAO.

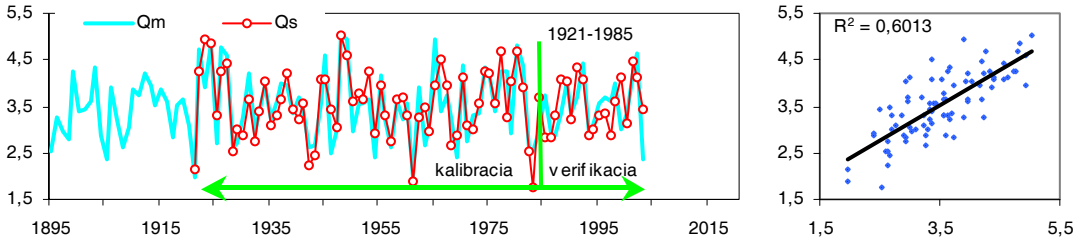
Všeobecne tieto modely možno schematicky možno opísať rovnicou (1).

$$X_t = A_0 + \sum_{j=1}^{m}\left(A_j \cos(\lambda_j t) + B_j \sin(\lambda_j t)\right) + ARIMA + CR + \varepsilon_t \qquad t = 1, \ldots, N. \qquad (1)$$

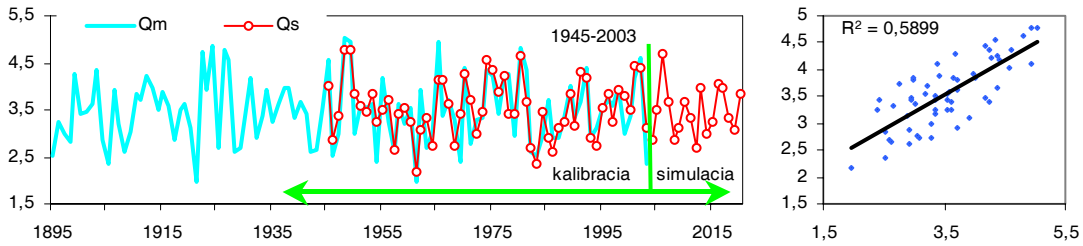
harmonická zložka *B-J zložka* *vplyv NAO* *biely šum*

kde: λ_j - významné frekvencie, určené kombinovaným periodogramom;
A_j, B_j, $j = 1,2, \ldots m$ - parametre (A_0 - stredná hodnota radu);
ARIMA - autoregresná zložka, B-J model;
C_j - regresný koeficient vplyvu NAO na prietok;
ε_t - náhodná zložka (biely šum).

Pre predpoveď ročných prietokov Belej v stanici Podbanské sme použili model obsahujúci iba harmonickú zložku. Na obr. 10b je vykreslený priebeh priemerných ročných prietokov meraných a predpovedaných modelom skrytých periód. Z výsledkov dlhodobej predpovede vyplýva, že rok 2006 by mal byť pravdepodobne v povodí Belej veľmi vodný rok.



a)



b)

Obr. 10 Priebeh priemerných ročných prietokov Belej meraných a simulovaných harmonickým modelom. a) verifikácia modelu na období 1974–2004; b) predpoveď.

Fig. 10 Course of average annual discharge of Belá river and its simulation by the harmonic model. a) verification of the model 1974–2004; b) prediction.

4 Závery

Z analýzy radu priemerných ročných prietokov Belej v stanici Podbanské vyplývajú nasledovné uzávery:

1. Rad ročných prietokov Belej v stanici Podbanské je homogénny.
2. Dlhodobý trend radu je nulový.
3. Najvýznamnejšia perióda identifikovaná spektrálnou analýzou má 3,6 roka. Významné sú i periódy 29-rokov; 36-rokov; 13-rokov; 4,2-roka a 2,4-roka.

Dĺžka cyklov ca 3,6-roka, ktorá bola nájdená v prietokovom rade Belej pravdepodobne súvisí s Južnou osciláciou, vyjadrenou SO indexom. Dĺžka cyklov ca 2,47-roka môže súvisieť s QBO osciláciou. Dĺžka cyklov ca 13 rokov súvisí s Severoatlantickou osciláciou, vyjadrenou NAO indexom. Vyplýva z toho, že na priebeh kolísanie odtoku Belej má vplyv ako NAO, tak i SO fenomén.
Iba dôkladnejšie poznanie telekonekcie NAO, AO, SO, PDO alebo QBO fenoménov so zrážkovými, teplotnými a teda aj prietokovými radmi nás môže posunúť dopredu pri objasňovaní viacročnej variability odtoku a vplyvov klimatickej zmeny na odtok.

Poďakovanie
Spracovanie štúdie bolo podporené Agentúrou na podporu vedy a techniky prostredníctvom finančnej podpory č. APVT-51-006502 a VEGA 5056 a VEGA 2032.

5 Literatúra

Alexandersson H, Moberg A. (1997): Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. *J. Climatol.*, **17**: 25–34.
Alexandersson H. (1986): A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol.,* **6:** 661–675.
Benický J. (1992): Testovanie homogeneity hydrologických údajov. Práce a štúdie 124, VÚVH, Bratislava. 106.
Binark A.M. (1979): Simultane Niederschlagsgenerierung an mehreren Stationen eines. Mitteil. Heft 16. Institut Wasserbau III., Karlsruhe.
Giesecke J., Schmitt P., Meyer H. (1983): Vergleich der Rechenmethoden für Gebietsniederschläge. Die Wasserwirtschaft, Heft 73, 1–7.
Gutknecht D. (1992): Erfassung der Abflussvorgänge in kleinen natürlichen Einzugsgebieten, Mitteilungsblatt des Hydrograph. Dienstes Österr. Nr. 68.

Hermann A., Egger F. (1980): Das Abflussverhalten im Flussgebiet der Isar unter Anwendung der Fourier-Analyse., Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, Jahrg. 1924, Heft 3. 4.
Hladný J., Pacl J. (1974): Analýza vzťahov medzi zrážkami a odtokom v horských povodiach, Vodohosp. Čas., roč.XXII, č.4, 346–356.
Hlubocký B. (1974): Reprezentatívne povodie Belej – predbežné vyhodnotenie režimu povrchových vôd. Správa, HMÚ, Bratislava, 79 str.
Hlubocký B. (1986): Homogenita hydrologických radov 1931–1980. Práce a štúdie 38, SHMÚ, Bratislava, 19-29.
HMÚ, (1963): Charakteristické hydrologické údaje slovenských tokov. Bratislava, HMÚ, 38 str.
Jevrejeva S, Moore JC. (2001): Singular Spectrum Analysis of Baltic Sea ice conditions and large-scale atmospheric patterns since 1708. Geoph. Res. Letters, 28, 23, 4503-4506.
Jordan J. P., Meylan P. (1986): Estimation spatiale des précipitations dans ľouest de la Suisse par la méthode du Kriging., EPF Lausanne, Publication no. 232.
Kajetanowicz Z. (1960): Genetyczne podstawy obliczeń hydrologicznych, Politechnika Krakówska – Habil. Práca.
Liritzis I, Fairbridge R. (2003): Remarks on astrochronology and time series analysis of Lake Sake varved sediments. J. Balkan Geoph. Soc., 6, 3, 165–172.
Majerčáková O, Šedík P. (1994): Zmeny odtokov na Slovenských tokoch. NKP SR, Bratislava, 11 str.
Nobre P, Shukla J. (1996): Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. J. Climate, 9, 10 2464–2479.
Pacl J. (1959): Katastrofálna povodeň v oblasti Tatier v júni 1958, Sborník prác o Tatr. nár., zv.3, 17–56.
Pacl J. (1973): Hydrológia Tatr.nár.parku, Sborník prác o Tatr.nár.parku, zv. 15, 181–238.
Pacl J. (1983): K otázke opráv zrážkomerných údajov, Vodohosp. Čas., 31, č.3–4.
Pacl J. (1994): Tatranský národný park – Vodstvo, In: Tatranský národný park – Biosférická rezervácia, Publ. TANAP, 66–78.
Pekárová P. (2003): Dynamika kolísania odtoku svetových a slovenských tokov. VEDA, Bratislava; 222 str.
Pekárová P, Miklanek P, Pekar J. (2003): Spatial and temporal runoff oscillation analysis of the main rivers of the world during the 19th–20th centuries. J. Hydrol. 274: 62–79.
Pekárová P, Miklanek P. (2004a): Abflusstrends slowakischer Flüsse und mögliche Zusammenhänge mit ENSO/NAO - Erscheinungen. Österreichische Wasser- und Abfalllwirtschaft, Springer, 1-2: 17–25.
Pekárová P, Miklanek P. (2004b): Occurrence of the dry periods in European runoff series. In CD ROM - XXII. Conference of the Danubian Countries. Brno, 12 str.
Pekárová P, Pekar J. (2004): Teleconnections AO, NAO, SO, AND QBO with interannual streamflow fluctuation in the Hron Basin. J. Hydrol. Hydromech. 52: 279–294.
Pekárová P., Pekár, J. (2005): Long-term discharge prediction for the station Turnu Severin (the Danube) using linear autoregressive model. Hydrol. Process. (In press).
Procházka M, Deyl M, Novický O. (2001): Technology for Detecting Trends and Changes in Time Series of Hydrological and Meteorological Variables - Change and Trend Problem Analysis (CTPA). User's Guide. CHMI, Prague; 25 str.
Rao RA, Hamed K. (2003): Multi-taper method of analysis of periodicities in hydrological Data. J. Hydrol., 279, 125–143.
Rein F. (1954): Poznámky k přibývání srážek s rostoucí nadmořskou výškou, Meteorologické Zprávy VII/1954, č.2.
Štepánek P, (2003): AnClim - software for time series analysis. Dept. of Geography, Fac. of Natural Sciences, MU, Brno; http://www.sci.muni.cz/~pest/AnClim.html
Van Gelder P, Kuzmin VA, Visser PJ. (2000): Analysis and statistical forecasting of trends in river discharge under uncertain climate changes. In: River flood defense. (Eds: Tonsmann & Koch), Heft 9/Sep., Kassel Univ., 10str.

Autori

RNDr. Pavla Pekárová, CSc., ÚH SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava, Slovenská Republika

Pekarova@uh.savba.sk

RNDr. Jan Pekar, PhD., Katedra aplikovanej matematiky a štatistiky, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK Mlynská dolina, 842 48 Bratislava, Slovenská Republika

pekar@center.fmph.uniba.sk

RNDr. Juraj Pacl, CSc., 394 46 Č. Řečice 341, Česká Republika

jpacl@sendme.cz

NESTABILITA PROUDĚNÍ POZOROVANÁ NA ÚROVNI REPRESENTATIVNÍHO ELEMENTÁRNÍHO OBJEMU PŮDY

Michal Sněhota, Milena Císlerová

V heterogenních půdách dochází při vlhkostech blízkých nasycení ke vzniku preferenčního proudění. Preferenční proudění je často doprovázeno časovou nestabilitou hydraulických charakteristik, především hydraulické vodivosti. Tyto jevy byly zkoumány pomocí řady infiltračně výtokových experimentů provedených na neporušených vzorcích vybraných půd typických pro Českou republiku. Infiltrace byla na horním okraji vzorků provedena pomocí infiltračního disku s nastavenou konstantní sací tlakovou výškou. Spodní okraj vzorku byl podepřen perforovanou destičkou a byl přístupný atmosferickému tlaku. Tato okrajová podmínka odpovídá výronové ploše. Během experimentů byly zaznamenávány sací tlakové výšky v tensometrech, kumulativní infiltrace a odtok. Vzorek byl umístěn na elektronické váze a byly zaznamenávány jejho hmotnosti. Bylo potvrzeno, že v blízkosti nasycení velmi malá změna sací tlakové výšky na horním okraji vyvolává změnu hydraulické vodivosti až několika řádů. V průběhu experimentů nebylo dosaženo ustáleného proudění, přestože by podle klasické Richardsovy rovnice pro jednorozměrné proudění mělo nastat krátce po počátku výtoku vody ze vzorku. Při experimentech na neporušených vzorcích hlinitopísčitých půd s infiltračním diskem však po začátku výtoku docházelo dlouhodobě k postupnému zvyšování infiltrační rychlosti. Při obdobném experimentu s přímou aplikací vody na povrch vzorku (výtopová infiltrace) byl pro stejnou půdu zaznamenán trvalý pokles infiltrační rychlosti. Vysvětlením odlišného trendu vývoje infiltračních rychlostí může být rozdílný průběh redistribuce vody mezi preferenční doménou a půdní matricí. Pro hlubší pochopení těchto procesů bylo použito metody snímkování proudění ve vzorku metodou nukleární magnetické rezonance. Výsledky série snímkování neporušených půdních vzorků ukazují rozdíly v dynamice zvlhčování vzorku pro různé okrajové podmínky a různé počáteční nasycení. Experimenty prováděné na neporušených vzorcích heterogenních půd jsou součástí komplexního výzkumu preferenčního proudění na Fakultě stavební ČVUT. Cílem je lepší pochopení procesu preferenčního proudění typických půd v různých měřítcích a rozvoj nástrojů pro modelování pohybu vody a chemických látek v půdě.

Klíčová slova: hydraulické charakteristiky, nestabilita, infiltrační experiment, výtopová infiltrace

Flow instability observed at the scale of representative elementary volume. *Preferential flow occurs in heterogeneous soils when water content is close to saturation. Instability of hydraulic properties, namely hydraulic conductivity in time also often accompanies the preferential flow. These effects were investigated in series of infiltration-outflow experiments done on undisturbed cores of soils typical for Czech Republic. Constant pressure head infiltration was performed on the top of the columns. Lower end of the soil core was supported by coarse perforated plate and was in contact to the atmospheric pressure. The boundary condition at the bottom of soil cores was considered as seepage face. Suction pressure heads in soil pore water, infiltration and outflow rates were recorded during the course of experiments. It was found that close to saturation a small change of the pressure at upper boundary leads to a change of the hydraulic conductivity of several orders in magnitude. Unlike from the theory based on the Richards equation, where steady state flow would be achieved when outflow starts for this type of the experiment, the true steady state was not reached in any of experimental runs. In case of most experiments conducted using an infiltration disc, the infiltration rate gradually increased. When the ponded experiment was conducted on the same soil core, the slow gradual decrease of the flow rate was found. The differences in the water redistribution between the preferential and matrix domains may be a possible explanation for this behavior. To understand better the above processes, the magnetic resonance imaging of the soil core was involved. The results of the series of images show differences in dynamics of the sample wetting for various initial and boundary conditions. Experiments conducted on undisturbed soil cores represent part of the complex investigation of the preferential flow at the Faculty of Civil Engineering, CTU. The goal is the better understanding to the process of preferential flow at various scales and to develop modeling tools to predict water flow and solute transport in soils.*

Key words: hydraulic properties, instability, infiltration experiment, ponded infiltration

---

ÚVOD

Metody vyhodnocování experimentů ke stanovení retenční čáry a funkce hydraulické vodivosti půd vycházejí obvykle z předpokladu stálosti těchto charakteristik v čase. Jak ale ukazují výsledky

experimentálního výzkumu publikované v průběhu uplynulého více než půstoletí, tento předpoklad není pro velkou část půd použitelný. Změny hydraulických charakteristik jsou často reversibilní a nemusí nutně záviset na změně struktury půdy. Uvedená proměnlivost hydraulických charakteristik byla v historii dávána do souvislosti s chováním vzduchu uzavřeného v pórech, nebo s mikrobiologickou aktivitou. *Christiansen* (1944) provedl na malých porušených vzorcích půd výtopové infiltrace, při kterých voda vzorkem proudila při jednotkovém gradientu, a zjistil, že proces infiltrace tvořily za stálých okrajových podmínek tři základní fáze. Po počátečním poklesu hydraulické vodivosti v době trvání přibližně 0,5 dne, docházelo k dlouhodobému výraznému nárůstu infiltrační rychlosti (a tedy hydraulické vodivosti) až k 450% minimální hodnoty za 5 dní. Při dalším pokračování experimentu se hydraulická vodivost opět postupně snižovala. Autor vzrůst infiltračních rychlostí vysvětluje úbytkem množství vzduchu uzavřeného v pórech. Zároveň ukazuje, že podíl minimální a maximální propustnosti koreluje lineárně s množstvím uzavřeného vzduchu v pórech. *Císlerová et al.* (1988) zjistili závislost hodnot infiltrační rychlosti na počátečním nasycení vzorku před zahájením expertimentu. Použili metodu opakované výtopové infiltrace v laboratoři a v terénu. Při druhé infiltraci a všech dalších infiltracích, při kterých voda proudila do půdy ve stavu blízkém nasycení byla infiltrační rychlost nižší než při první infiltraci provedené do přirozeně suché půdy. Za možnou příčinu autoři považovali přítomnost uzavřeného vzduchu v pórech. *Faybishenko* (1995) provedl experimenty na porušených a neporušených vzorcích půdy, kdy zjišťoval vliv okrajových podmínek, směru proudění a počátečních podmínek na množství uzavřeného vzduchu. *Schultze et al.* (1999) experimentálně zjistili, že hydraulické charakteristiky byly závislé na dynamice cyklu sycení a drénování půdního vzorku. Autoři představili experiment, při kterém se plynule měnil tlak vody na spodním okraji půdního vzorku z plného nasycení do nenasyceného stavu. Horní okraj vzorku byl přístupný atmosférickému tlaku. Z výsledků experimentu autoři zjistili, že tvar retenční čáry byl ovlivněn rychlosti změny dolní okrajové podmínky. Podle autorů plynná fáze v pórech ztrácí konektivitu při nasyceních vyšších než 50 až 70%. V obdobném experimentu *Wildenshild* et al. (2001), zjistili závislost hydraulické vodivosti na rychlosti proudění. Retence vody v půdě a hydraulická vodivost byly pro stejný sací tlak vyšší, když voda proudila s vyšším hydraulickým gradientem (tj. s vyšší rychlostí proudění), než při nižším hydraulickém gradientu (nižší rychlosti proudění).

Cílem tohoto příspěvku je seznámit s výskytem dlouhodobé časové variability infiltrační rychlosti pozorované při infiltračně výtokových experimentech na neporušených vzorcích půd. Infiltračně výtokové experimenty jsou významnou skupinou transientních experimentů pro určování hydraulických charakteristik pomocí inverzního modelování. *Robovská* (*2000*) navrhla infiltračně-výtokový experiment, ve kterém je pomocí diskového infiltrometru na horním okraji vzorku nastavena tlaková výška, konstantní po celou dobu infiltrace. Výhodou transientních metod měření je možnost využití složitějších modelů proudění pro vyhodnocení experimentu a tím i možnost určování hydraulických charakteristik půd vykazujících preferenční proudění.

Bylo zjištěno že v té části infiltračního experimentu, ve které by mělo podle klasické Richardsovy rovnice proudění vody být konstantní, dochází k postupné změně infiltrační rychlosti. Míra a trend této časové variability infiltrační a výtokové rychlosti jsou ovlivněny více faktory. V tomto příspěvku se zaměřujeme především na vliv typu okrajové podmínky experimentu. Prvním typem okrajové podmínky byla konstantní tlaková výška aplikovaná na horní okraj vzorku pomocí infiltračního disku (nebo také diskového infiltrometru) v rozmezí malých podtlaků a přetlaků. Druhá okrajová podmínka byla volná výtopa, v rozmezí malých kladných tlakových výšek. Vliv počáteční podmínky je demonstrován na příkladech experimentů provedených na velkých neporušených vzorcích. Pro hlubší pochopení těchto procesů bylo použito metody snímkování metodou nukleární magnetické rezonance. Výsledky série snímkování neporušených půdních vzorků ukazují rozdíly v dynamice infiltrace pro různé okrajové podmínky a různá počáteční nasycení.

METODY A MATERIÁL

Půda

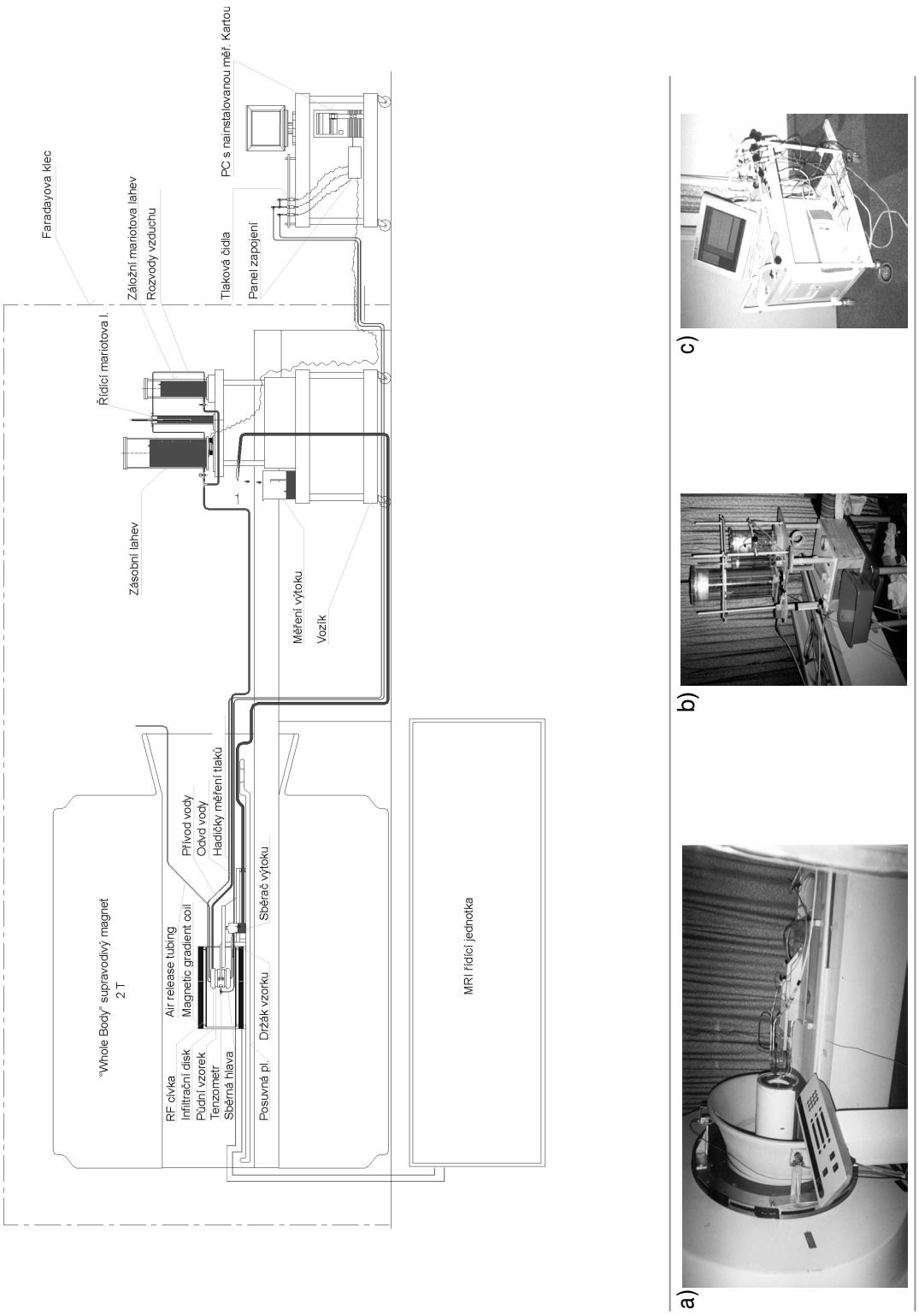
Zkoumanou půdou byla hrubá hlinitopísčitá půda (District Cambisol), z lokality Korkusova Huť (KH). Pro tuto půdu byla opakovaně zjištěna nestabilita hydraulických charakteristik (*Císlerová et al.* 1988; 1990; 2002). Pro srovnání byla použita také hlinitopísčitá půda s obsahem štěrkových zrn z oblasti Krkonošského národního parku KR. Neporušené půdní vzorky byly v terénu odebrány z B horizontu v hloubce 40 cm do plastových válců. Velké neporušené vzorky byly označeny kódy KHXL3 a KRXL1 Velikost vzorku označeného KHS5 byla limitována použitým vybavením pro snímkování pomocí MRI. Základní parametry vzorků půdy KH jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tab. 1: Základní vlastnosti neporušeného půdních vzorků KH
Tab. 1: Basic properties of undisturbed soil samples KH

Vzorek	Velikost				ρ_d	p	V_p
	d (cm)	S (cm^2)	h (cm)	V (cm^3)	(g/cm^3)	(-)	(cm^3)
KHS5	8.9	62.2	8.4	522.6	1.410	0.37	195.2
KHXL3	18.9	280.4	25.0	7010.3	1.458	0.427	2993.4

Experiment sledovaný magnetickou rezonancí

Magnetická nukleární rezonance MR je metoda založená na detekci vodíkových protonů umístěných v silném magnetickém poli. Princip metody je vysvětlen například *Keanem a Smithem* (1986), V porézních materiálech může být tato metoda použita pro měření distribuce vlhkosti, neboť intenzita MR signálu je ve vztahu k množství vody v pórech. MR také umožňuje prostřednictvím měření relaxace T1 měření poměru plochy k objemu vody uzavřené v pórech (*Kleingerg*, 1994). Velké hodnoty podélné relaxace T1 vyjadřují přítomnost vody ve velkých pórech. Nepříznivé vlastnosti většiny přírodních půd z hlediska MR zatím neumožňují kvantitativní měření, přesto je ale MR unikátní metodou pro detekci preferenčního proudění v půdách.
Pro různé fáze experimetů byly použity různé techniky snímkování MR. Všechny typy snímkování byly založeny na protokolu spin-echo, který se v minulosti ukázal být vhodný pro použití při MRI půd (*Amin et al.* 1993, *Votrubová* 2002). K monitorování transientního proudění v počátečních fázích infiltrace bylo použito rychlé 2D snímkování. Ve fázi quasi ustáleného proudění a při rovnovážném stavu po ukončení drenáže bylo provedeno snímkování v 16 horizontálních řezech. Každý snímek byl pořízen v rozlišení 256 x 256 pixelů a každý řez měl toušťku 5 mm. Na vzorku KHS5 byla nejprve provedena podtlaková infiltrace pomocí diskového infiltrometru nastaveného na tlakovou výšku –2.0 cm. Po opětovném vysušení vzorku, na nízkou počáteční vlhkost byla provedena druhá, výtopová infiltrace s tlakovou výškou 3 cm vodního sloupce.
Sestava a postupy použité v této studii byly popsány *Sněhotou (2003).* Schéma uspořádání experimentu je zobrazeno na obrázku 2.



Obr. 1: Schéma uspořádání experimentu se současným snímkováním pomocí magnetické rezonance. Jednotlivé součásti zařízení jsou dokumentovány fotografiemi a) magnet a vysunutý držák vzorku, b) zásobní a řídící Mariotovy lahve, c) tlaková čidla a PC se zabudovanou měřící kartou. (Sněhota, 2003)

Fig. 1: Schema of the experiment performed in MRI. The parts of the set-up are documented in photographs as follows: a) whole body superconducting magnet, and the sample holder b) the trolley carrying Mariote's bottles. c) data acquisition trolley with pressure transducers, PC and data acquisition board. (Sněhota, 2002)

Snímkování bylo provedeno ve velkém “whole body” magnetu (2 Tesla, Oxford Instruments, Oxford, UK) o průměru 100cm, který byl vybaven konzolí Bruker MSL (Bruker BioSpin, Německo) a řízen systémem ParaVision (Bruker Biospin, Německo).

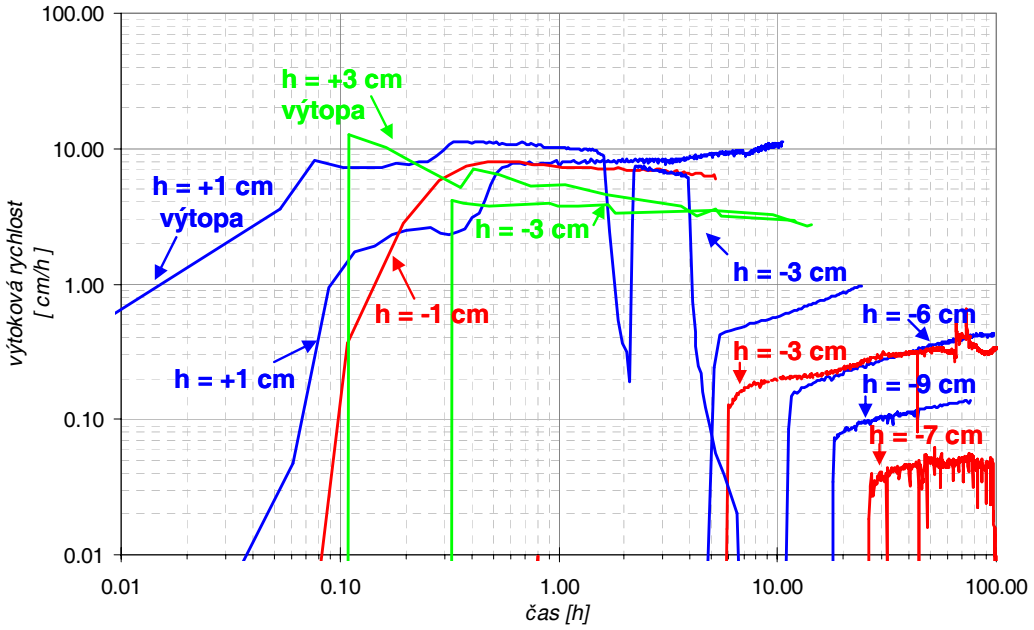
VÝSLEDKY

Měření toků a tlakových výšek

Výsledky experimentů ukazují vývoj výtokových rychlostí (viz. obr.2) a tlakových výšek (viz. obr. 3) pro vzorky půdy KH (vzorky KHXL3,KHS5) a půdy KR (vzorek KRXL1). Záznamy výtokových rychlostí u všech infiltračních pokusů vykazují v první fázi shodný průběh. Voda začala vytékat z půdy v okamžiku, kdy došlo k místnímu nebo plošnému nasycení spodního okraje vzorku. Po dosažení úrovně, při které se intenzita výtoku zhruba rovnala infiltrační rychlosti, došlo ke zlomu čáry výtokových rychlostí. Poté nastal režim proudění které lze označit jako quasi ustálené. Další vývoj infiltračních rychlostí představuje pomalou dlouhodobou změnu rychlosti proudění.
U vzorku KHXL3 bylo zaznamenáno postupné zvyšování rychlostí proudění v této fázi experimentu při experimentech s infiltračním diskem a s tlaky –9, -6, -3, +1 cm vodního sloupce k postupnému zvyšování infiltračních rychlostí. Naopak infiltrační rychlost se postupně snižovala při výtopové infiltraci s tlakovou výškou +1cm na horním okraji. K postupnému zvyšování infiltrační rychlosti docházelo také při experimentech na vzorku KRXL1, při podtlakových výškách h = -7 cm a -3 cm vodního sloupce. Odlišný trend vykazuje infiltrace provedená s podtlakovou výškou h = -1 cm. U tohoto experimentu došlo k postupnému zvyšování infiltrační rychlosti, přestože se jednalo o experiment s použitím infiltračního disku. Na vzorku KHS5 byly provedeny dva infiltrační pokusy.se současným snímkováním metodou magnetické rezonance. Infiltrační rychlost v oblasti quasi ustáleného proudění v obou případech, tedy jak při výtopové, tak při podtlakové infiltraci dlouhodobě klesala. Z uvedených skutečností vyplývá, že trend vývoje infiltrační rychlosti ve fázi quasi ustáleného proudění není jednoznačně dán pouze podmínkou na horním okraji.

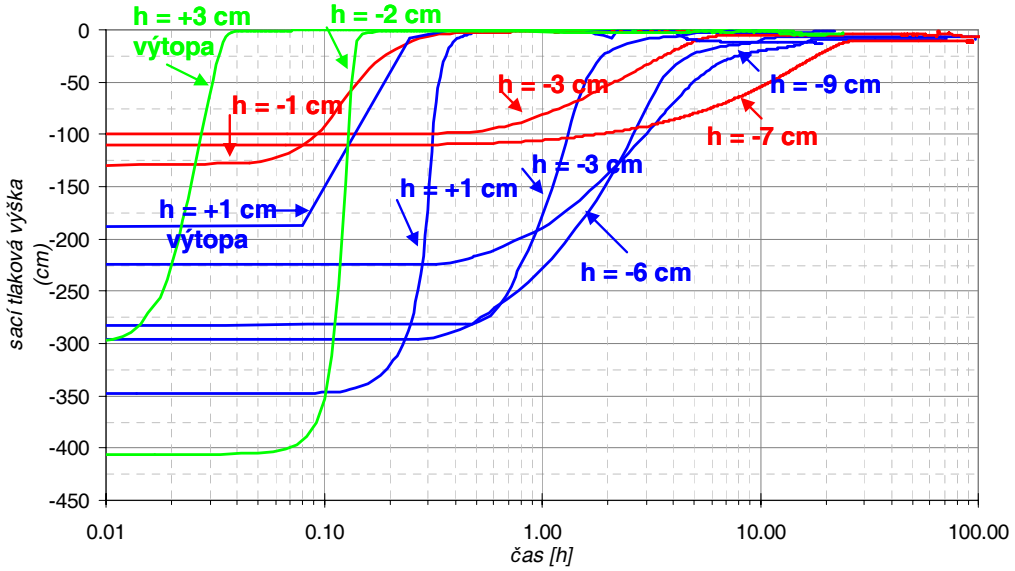
Snímkování nukleární magnetickou rezonancí

Výsledkem experimentu provedeného v MR skeneru jsou toková a tlaková data a zároveň MR snímky. Při experimentu byla získána série 2D a kompozitních 3D snímků půdního vzorku ve vybraných časových úsecích. V tomto příspěvku jsou předmětem zájmu 2D snímky intenzity signálu. Při každém experimentu byly pořízeny snímky horizontálních řezů tak, aby vertikálně pokryly celou výšku vzorku. Snímkování vzorku bylo provedeno ve čtyřech časových úsecích: v suchém stavu před zahájením experimentu (není zde uvedeno), na počátku fáze quasi ustáleného proudění (bude označeno ST1), na konci quasi ustáleného proudění (ST2) a v rovnovážném stavu po ukončení gravitačního drénování vzorku (DR1). Příklady snímků horizontálních řezů dvěma hloubkovými úrovněmi, jsou uvedeny na obrázku 4.
Na obrázcích 5 a 6 jsou zobrazeny histogramy intenzity signálu celé sady snímků z hloubky –1 cm pod povrchem vzorku. Z oblastí snímků mimo obvod vzorku byla vyhodnocena významná úroveň šumu jako průměrná hodnota intenzity signálu plus dvojnásobek standardní odchylky šumu. Intenzita na významné úrovni šumu je v grafu vyznačena svislou čarou. Hodnoty intenzity voxelů nižší než významná úroveň šumu neposkytují spolehlivou informaci. Při výtopové infiltraci je ve spolehlivé oblasti signálu mezi snímky z horní části vzorku v období mezi ST1 a ST2 patrný pokles signálu. Tento pokles signálu koresponduje se snížením výtokové rychlosti. Pokles MR signálu neznamená nutně úbytek veškeré vody, ale vyjadřuje úbytek vody viditelné pomocí MR, tj. vody ve velkých pórech. Voda v malých pórech je v důsledku krátkých relaxačních časů pomocí MR neviditelná. V následné etapě experimentu DR1 nedošlo k výraznému poklesu signálu. V případě podtlakové infiltrace nedošlo ve sledovaných třech fázích experimentu k žádné výrazné změně úrovně signálu.



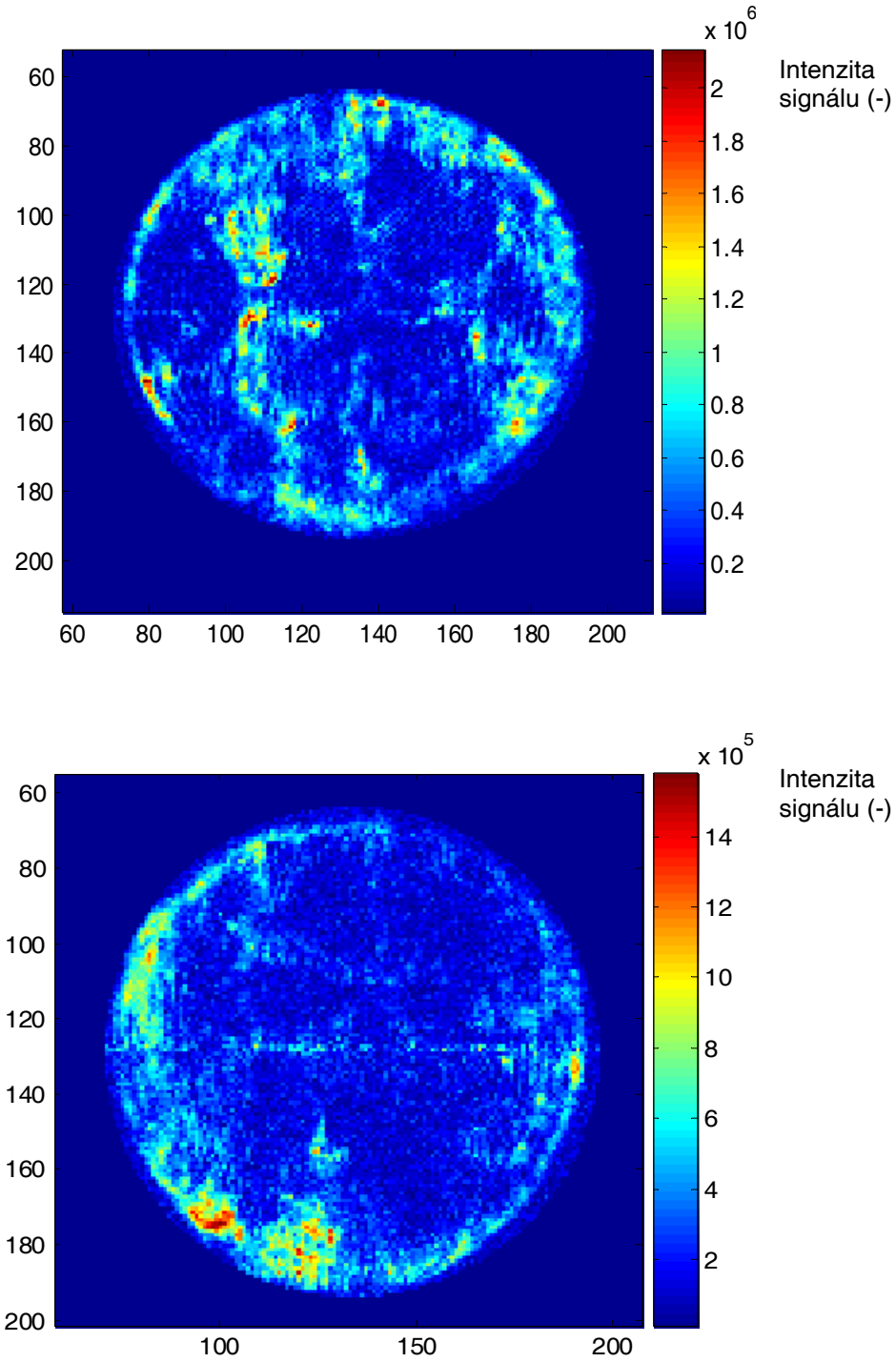
Obr. 2: Výtokové rychlosti při infiltracích provedených na vzorcích KHS5 (zelená), KHXL3 (modrá) a KRXL1 (červená). Tlaková výška h uvedená u každé datové řady vyjadřuje horní okrajovou podmínku experimentu.

Fig. 2: Outflow flux densities during infiltrations done on soil cores KHS5 (green), KHXL3 (blue) a KRXL1 (red). Annotation of each line represents suction pressure head set at the top boundary.



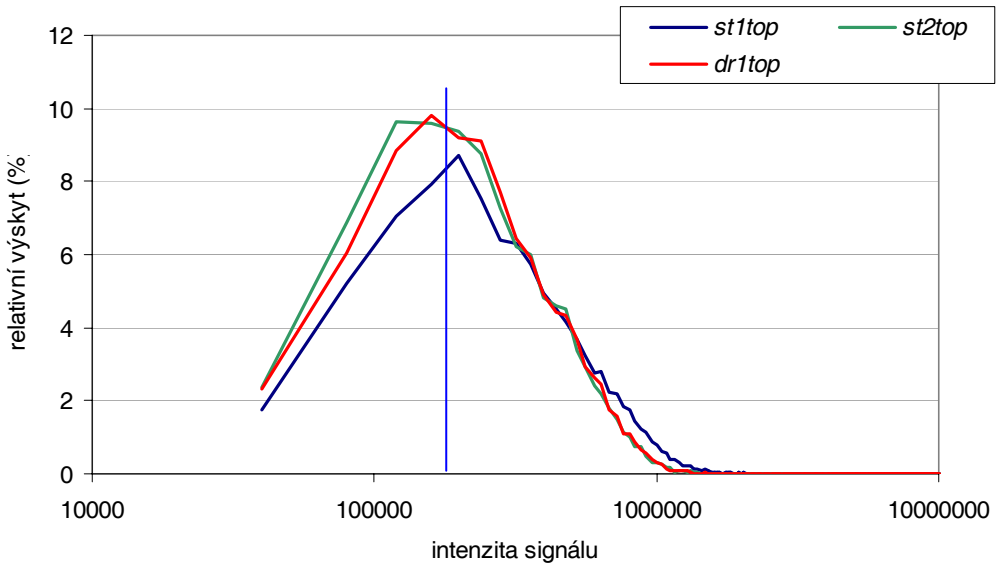
Obr. 3: Sací tlakové výšky měřené tensometrem ve středu vzorku v průběhu infiltrací provedených na vzorcích KHS5 (zelená), KHXL3 (modrá) a KRXL1 (červená). Tlaková výška uvedená u každé datové řady vyjadřuje horní okrajovou podmínku experimentu.

Fig. 3: Suction pressure heads in tensiometers placed in center of the soil core during infiltrations done on soil cores KHS5 (green), KHXL3 (blue) a KRXL1 (red). Annotation of each line represents suction pressure head set at the top boundary.



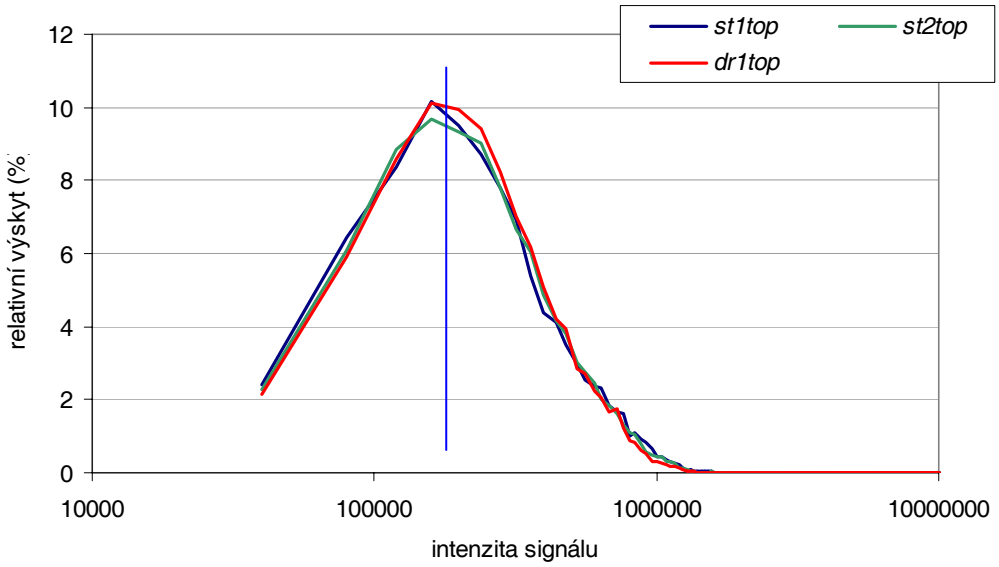
Obr. 4: Intezita MR signálu na snímcích se středem -1 cm (nahoře) a -6 cm (dole) pod povrchem vzorku. Snímky byly pořízeny na počátku fázi quazi-ustáleného proudění, při experimentu na vzorku KHS5.

Fig. 4: Signal intensity in slices – 1cm (upper) and -6 cm (lower) deep into soil core KHS5. Imaging was done during early stage of quasi-steady flow.



Obr. 5: Histogram intenzity signálu MR snímku z hloubky -1 cm pod povrchem vzorku. Snímky vzorku KHS5 byly pořízeny ve fázích ST1(modrá), ST2(zelená) a DR1(červená) výtopové infiltrace.

Fig. 5: Histogram of MR signal intensity from -1cm bellow the top of the samples. Images of soil sample KHS5 taken in stages ST1(blue), ST2(green) and DR1(red) of ponded infiltration.



Obr. 6: Histogram intenzity signálu MR snímku z hloubky -1 cm pod povrchem vzorku. Snímky vzorku KHS5 byly pořízeny ve fázích ST1(modrá), ST2(zelená) a DR1(červená) podtlakové infiltrace.

Fig. 6: Histogram of MR signal intensity from -6 cm bellow the top of the samples. Images of soil sample KHS5 taken in stages ST1(blue), ST2(green) and DR1(red) of tension infiltration.

ZÁVĚRY

Výsledky infiltračně výtokových experimentů na třech neporušených vzorcích půdy ukazují důsledky

změn hydraulických charakteristik v čase. Bylo ukázáno, že tendence těchto změn nezávisí pouze na typu okrajové podmínky.

Měření provedená pomocí nukleární magnetické rezonance zdůraznila netriviální charakter proudění a změn distribuce vlhkosti ve zkoumané heterogenní půdě ve stavech blízkých nasycení vodou. S dlouhodobým poklesem hydraulické vodivosti v čase při výtopové infiltraci korespondoval pokles intenzity platného signálu. Tento pokles může být důsledkem redistribuce vody z velkých pórů do půdní matrice. Pro ověřování nových přístupů modelování takovýchto efektů se s výhodou uplatní unikátní vlastnosti metody MRI. Zjištěné efekty jsou z hydrologického hlediska klíčové, nezanedbatelnou roli mají při popisu transportu látek v půdním profilu.

PODĚKOVÁNÍ

Tento projekt je podporován z výzkumného projektu VaV 650/5/03 Labe IV.

Snímkování pomocí MRI bylo umožněno díky laskavé podpoře Herchel Smith Laboratory of Medicinal Chemistry (HSLMC) na University of Cambridge, UK.

LITERATURA

Amin, M.H.G., Hall, L.D., Chorley, R.J., Richards, K.S., Carpenter, T.A., and Bache, B.W., 1996. Visualization of the static and dynamic water phenomena in soil using magnetic resonance imaging. In: Singh,V.P. and Kumar,B. (Eds.), Subsurface-water hydrology. Kluver, Dordrecht., pp. 3-16.

Anderson, S.H., Peyton, R.L., Wigger, J.W, and Gantzer, C. J. 1992. Influence of aggregate size on solute transport as measured using computed tomography. Geoderma 53: 387-398.

Christiansen, J.E. 1944. Effect of entrapped air upon the permeability of soils. Soil Science 58: 355-365.

Císlerová, M., J. Šimůnek, and Vogel, T. (1988): Changes of steady-state infiltration rates in recurrent ponding infiltration experiments, J. Hydrol., 104, 1–16.

Císlerová, M., Vogel, T., and Šimůnek, J. (1990): The infiltration-outflow experiment used to detect flow deviations, in Field -Scale Solute and Water Transport Through Soils, edited by K. Roth et al., 109–117, Birkhäuser Boston, Cambridge, Mass.

Císlerová, M., Vogel, T., Votrubová, J., and Robovská, A. (2002): Tracing the origins of preferential flow within undisturbed soil samples, in Environmental Mechanics: Water, Mass and Energy Transfer in the Biosphere, Geophys. Monogr. Ser. ,vol. 129, edited by P.A.C. Raats, D.E. Smiles, and A. Warrick, 265–274, AGU, Washington, D. C.

Faybishenko, B.A. 1995. Hydraulic behavior of quasi-saturated soils in the presence of entrapped air – laboratory experiment. Water Resour. Res. 31[10]: 2421-2435.

Kean, D.M. and Smith, M.A., 1986. Magnetic resonance imaging, Principles and Aplications. W. Heinemann Medic. Books, London.

Kleinberg, R.L., Kenyon, W.E., and Mitra, P.P., 1994. Mechanism of NMR Relaxation of Fluids in Rock. Journal of Magnetic Resonance Series A, 108(2): 206-214.

Robovská, A., 2000. Measurements of hydraulic characteristics using tension disc infiltrometer on large soil samples. (In Czech). PhD. Thesis, CTU in Prague

Sněhota, M. 2003. Evaluation of infiltration-outflow experiment using MRI. PhD. Thesis, Czech Technical University in Prague, Prague.

Schultze, B., O. Ippisch, B. Huwe, and W. Durner. 1999. Dynamic nonequilibrium during unsaturated water flow. In M. Th. Van Genuchten, F.J. Leij, and L. Wu (Eds.) Proc. of the Int. Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media. Oct. 22–24, 1997. Univ. of California. Riverside, CA. p. 877–892.

Van Dam, J.C., Stricker, J.N.M. and Droogers, P., 1994. Inverse method to determine soil hydraulic functions form multiple step outflow experiments. Soil Sci. Soc. of Am. J. 58: 647-652.

Votrubová, J., 2002. MRI potential to monitor preferential flow in structured soils. PhD. Thesis, Czech Technical University in Prague, Prague.

Wildenschild, D., Hopmans, J.W., and Simunek, J., 2001. Flow rate dependence of soil hydraulic characteristics. Soil Sci. Soc. of Am. J., 65 (1): 35-48.

Michal Sněhota, CTU, Faculty of Civil Engineering, Dept. of Drainage, Irrigation and Landscape Engineering, Thákurova 7, 166 29 Prague, Czech Republic, michal.snehota@fsv.cvut.cz

Milena Císlerová, CTU, Faculty of Civil Engineering, Dept. of Drainage, Irrigation and Landscape Engineering, Thákurova 7, 166 29 Prague, Czech Republic

DLOUHODOBÁ POTŘEBA ZÁVLAHOVÉ VODY JAKO UKAZATEL PRO POSOUZENÍ HYPOTÉZY NÁRŮSTU VÝSKYTU ZEMĚDĚLSKÉHO SUCHA V KLIMATU ČESKÉ REPUBLIKY

Pavel Spitz, Ivo Hemerka

V souvislosti s predikovanou klimatickou změnou nebo dokonce změnou klimatu vlivem globálního oteplování Země jsou vyvíjeny metody, které mohou tuto změnu ozřejmit. Jedním z průvodních jevů očekávané klimatické změny je možný zvětšený výskyt meteorologického sucha. V důsledku meteorologického sucha pak dochází i k dalším kategoriím sucha, tj. např. hydrologickému suchu, zemědělskému suchu apod. Předložený příspěvek uvádí novou metodu hodnocení, která byla použita pro posouzení hypotézy nárůstu výskytu zemědělského sucha v klimatu České republiky v recentní době.

Potřeba závlahové vody byla zvolena jako kritérium pro výskyt sucha, neboť je integrálním ukazatelem zahrnujícím meteorologické, půdně morfologické a agrotechnické činitele. Hodnotící metoda vycházela ze skutečnosti, že velikost potřeby závlahové vody je přímo úměrná velikosti zemědělského sucha, tj. čím vyšší je potřeba závlahové vody v roce, tím je rok zemědělsky sušší. Znalost potřeby závlahové vody je rovněž důležitým podkladem pro hydrologické stanovení potřeby vodních zdrojů pro závlahy. Byly uskutečněny výpočty ročních potřeb závlahové vody metodou retrospektivní vláhové bilance (RVB) za období roků 1931 až 2000, tj. 70-ti let. Zjištěné výsledky výpočtů byly statisticky analyzovány. V předloženém příspěvku jsou uvedeny výsledky pro území reprezentovaná klimatickými stanicemi, a to pro Žatecko a Lounsko (Žatec), Litoměřicko (Roudnice), střední Čechy (Brandýs nad Labem), východní Čechy (Pardubice), jižní Moravu (Znojmo, Podivín, Židlochovice), jihovýchodní Moravu (Strážnice), střední Moravu (Olomouc, Kroměříž), která se nacházejí v našich nejsušších oblastech, kde by se měl nárůst zemědělského sucha vlivem klimatické změny projevit nejdříve. Ze zjištěných výsledků lze učinit celkový závěr, že se nepodařilo jednoznačně prokázat hypotézu nárůstu zemědělského sucha v recentní době u nás vlivem predikované klimatické změny.

Klíčová slova: klimatická změna, sucho, zemědělské sucho, suchá oblast, klimatická stanice, retrospektivní vláhová bilance, potřeba závlahové vody, statistická analýza

Long-term need of irrigation water as a parameter for the assessment of the hypothesis of an increase of agricultural drought in the climate of the Czech Republic. *In connection with the predicted climatic change or even the change of climate due to global warming of the Earth, methods are being developed, which can help clarify this change. One of the accompanying phenomenons of the expected climatic change is the possible increased occurrence of the meteorological drought. As a result of the meteorological drought, other categories of drought occur, such as hydrological drought, agricultural drought etc. This contribution is presenting a new method of assessment, which was recently used for the assessment of the hypothesis of the increase of occurrence of the agricultural drought in the climate of the Czech Republic.*

The need of irrigation water was chosen as the criterion for the occurence of drought, because it is an integral parameter which includes meteorological, soil-morphological and agro-technical factors. The assessment method was based on the fact, that the need of irrigation water is directly proportional to the extent of the agricultural drought, in other words the greater the need of irrigation water in a year, the dryer agricultural-wise is the year. The knowledge of the need of irrigation water is also an important base for the hydrological determination of the need of water sources for the irrigation. Calculations of the yearly needs of irrigation water have been made by the method of retrospective moisture balance (RVB) for the period of 1931 to 2000, i.e. a period of 70 years. The ascertained results of the calculations have been statistically analysed. This contribution quotes the results for areas represented by climatic stations, namely for the Žatec and Louny region (Žatec), Litoměřice region (Roudnice), Central Bohemia (Brandýs nad Labem), Eastern Bohemia (Pardubice), South Moravia (Znojmo, Podivín, Židlochovice), and Central Moravia (Olomouc, Kroměříž), which are located in our dryest regions, where the creep of agricultural drought due to the climatic change should manifest itself earliest. From the gained results, an overall conclusion can be drawn, that it has not been unambiguously shown that the hypothesis of the recent increase of agricultural drought in our country due to the predicted climatic change is valid.

Key words: climatic change, agricultural drought, dry region, climatic station, retrospective moisture balance, irrigation water need, statistical analysis

ÚVOD

V souvislosti s predikovanou klimatickou změnou, která má základ ve statisticky prokázaném zvyšování průměrných ročních teplot v posledních 20 letech 20. století byla stanovena hypotéza nárůstu výskytu zemědělského sucha v klimatu České republiky již v recentní době. Cílem předložené práce je zjistit oprávněnost této hypotézy.

Zemědělské (agronomické) sucho je definováno jako nedostatek vody v půdě způsobený předchozím nebo současným meteorologickým suchem. Vlhkostní režim půdy určuje zásobování rostlin vodou, ovlivňuje vzdušné a teplotní režimy, biologickou aktivitu, biogeochemické cykly i stav rostlinných živin v půdě. Má dopad na technologické vlastnosti půd, určuje potřebu a optimální čas agrotechnických opatření, použitou techniku i spotřebu energie (Z l a t u š k o v á, 2003).

Je předpoklad, že nárůst zemědělského sucha se nejdříve projeví v našich nejúrodnějších a zároveň nejsušších oblastech jižní Moravy, Polabí a Žatecka a také ve východních Čechách, střední a jihovýchodní Moravě.

MATERIÁL A METODY

Zjištěné výsledky byly získány pomocí dvou metod, metodou retrospektivní vláhové bilance a vyhodnocením výsledků výpočtů statistickou analýzou.

Metoda retrospektivní vláhové bilance

Metodou retrospektivní vláhové bilance (dále jen RVB) byly uskutečněny výpočty ročních potřeb závlahové vody za období roků 1931 až 2000, tj. 70-ti let.

Metodou RVB se vypočítává časový průběhu potřeby závlahové vody na podkladě sledování a ovlivňování vývoje vlhkosti v půdě u zemědělských plodin za minulou souvislou řadu let. (ČSN 75 0434, 1994). Kritériem pro výskyt zemědělského sucha byla zvolena potřeba závlahové vody, neboť je integrálním ukazatelem zahrnujícím meteorologické, půdně morfologické a agrotechnické činitele. Podrobněji je metoda RVB popsána v pracích Z d r a ž i l (1973, 1975), S p i t z (1979) a také Z d r a ž i l, S p i t z (1984).

Vstupními údaji do výpočtů metodou RVB jsou hodnoty denních srážek, průměrných denních teplot a sytostních doplňků od března do října v každém hodnoceném roce. Kromě toho jsou dalšími vstupními údaji: osevní struktura, půdní hydrolimity, velikost závlahové dávky, závlahový cyklus, průměrná sklonitost pozemků.

Bilance se uskutečnila v retrospektivní časové řadě 70 roků (1931–2000) pro všechny plodiny osevní struktury. Metoda bilancuje pro každý rok bilančního období v době od 1.3. do 31.10. stav půdní vláhy v návaznosti na vláhové potřeby plodin v denním časovém kroku. Aktiva vláhové bilance – srážky a závlahové dávky – do řešení vstupují skutečnými hodnotami. Pasiva, tj. evapotranspirace a nevyužitý odtok, se vypočítávají. Současně do výpočtu vstupují meteorologické údaje o teplotě a sytostním doplňku a tzv. koeficienty biologické křivky, výzkumně zjištěné pro podmínky České republiky.

Ve výpočtu jsou zohledněny: omezení závlahy před sklizní a po sklizni, snižování výparu v závislosti na půdní vlhkosti. Doba vzcházení, stadia vývoje a doba sklizně plodiny se určuje podle sumy teplot. Výpočet rovněž umožňuje zohlednit vliv sklonitosti závlahové plochy na využitelnost denních srážek.

Vstupní údaje, které vyžadují výpočty metodou RVB byly získány následujícím způsobem. Agronomické a pedologické údaje byly stanoveny ve spolupráci s MZLU v Brně. Meteorologická data (denní srážky, průměrné denní teploty a sytostní doplňky od 1. března do 31. října) z 10 klimatických stanic za roky 1931-2000 byly získány od ČHMÚ (Tab. 1).

Tab. 1 Zeměpisné souřadnice klimatických stanic ČHMÚ v zájmových oblastech

Tab. 1 Geographical co-ordinates of the climatic stations CHMI in the interest territories

Oblast	Klimatická stanice	Nadmořská výška [m n. m.]	Zemská délka	Zemská šířka
Žatecko a Lounsko	Žatec	201	13°33´	50°20´
Litoměřicko	Roudnice	200	14°16´	50°25´
Střední Čechy	Brandýs nad Labem	179	14°40´	50°11´
Východní Čechy	Pardubice	209	15°33´	50°02´
Jižní Morava	Židlochovice	180	16°36´	49°02´
	Podivín	169	16°51´	48°50´
	Znojmo	334	16°05´	48°53´
Jihovýchodní Morava	Strážnice	187	17°19´	48°53´
Střední Morava	Kroměříž	235	17°22´	49°17´
	Olomouc	225	17°14´	49°34´

Vstupní údaje pro výpočet se sestavují do 2 souborů, a to do souboru základních údajů a souboru meteorologických údajů.

Soubor základních údajů sestává z bloku základních údajů a bloku údajů plodin, které obsahují:

Blok základních údajů: název úlohy, název meteorologické stanice, délka závlahového cyklu, počet závlahových cyklů v roce, počet plodin, závlahová dávka, koeficient využitelné zimní vláhy, koeficient „biologické křivky“ holé půdy, varianty omezení kapacity hlavních závlahových zařízení.

Blok údajů plodin: název plodiny, koeficient ekonomické důležitosti, procento plochy, polní vodní kapacita pro počáteční hloubku kořenění, suma teplot pro maximální hloubku zakořenění, polní vodní kapacita a bod vadnutí pro maximální hloubku zakořenění, koeficient minimální vlhkosti, agrotechnický termín setí, suma teplot pro vzejití plodiny, agrotechnický termín zralosti plodiny, suma teplot pro plné zakrytí povrchu půdy, pole s údaji o sumě teplot, koeficientu biologické křivky a koeficientu fyziologické důležitosti závlahy. Agrotechnické údaje plodin jsou závislé na průměrné sumě teplot od 1.3. do 31.10. a jsou rozděleny do tří teplotních skupin 2950–3150 ºC, 3150-3350 ºC, 3350-3550 ºC.

Soubor meteorologických údajů obsahuje data: rok, denní srážky, denní sytostní doplňky, průměrné denní teploty. Všechny údaje za dobu od 1.3. do 31.10., tj. čítají celkem 735 údajů v roce.

Na struktuře pěstovaných plodin do jisté míry závisí potřeba závlahové vody a její časový průběh. Výpočty bylo třeba proto uskutečnit pro osevní strukturu. K tomu byla vypracována studie ve spolupráci s odborníky z MZLU v Brně (F i l i p a kol., 2002), která je věnována návrhu osevních struktur v našich nejsušších oblastech. Použité zastoupení plodin v osevních strukturách pro výpočty je uvedeno v tab. 2.

Velikost závlahové dávky se uvažovala 300 $m^3.ha^{-1}$ s dobou jejího dodání na zemědělský hon 7 dní, tj. sedmidenní závlahový cyklus při 16 – ti hodinové denní době provozu závlahy, kapacita hlavního závlahového zařízení neomezená.

Tab. 2 Zastoupení plodin v osevních strukturách pro jednotlivé oblasti podle studie Filip a kol. (2002)

Tab. 2 Representation of crop sorts in the area under crops for different separate individual territories according to study Filip and other (2002)

Plodina	Oblast		
	Jihomoravská a jihovýchodní Morava	**Středočeská**	**Lounsko - Žatecko**
	[%]	[%]	[%]
Pšenice ozimá	40	37	37
Ječmen jarní	20	21	25
Kukuřice na zrno	11	7	3
Cukrová řepa	5	10	8
Brambory rané	2	2	2
Pícniny víceleté	9	10	12
Pícniny jednoleté	8	10	10
Slunečnice	1	1	0
Zeleniny	4	2	2
Celkem	100	100	100
	Středomoravská	**Východočeská**	**Litoměřicko**
Pšenice ozimá	37	36	35
Ječmen jarní	25	22	22
Kukuřice na zrno	5	5	3
Cukrová řepa	10	10	13
Brambory rané	1	1	2
Pícniny víceleté	12	12	12
Pícniny jednoleté	8	12	10
Slunečnice	1	1	0
Zeleniny	1	1	3
Celkem	100	100	100

Poznámka: ve výpočtech je pícninou víceletou vojtěška, pícninami jednoletými je kukuřice na zeleno a kukuřice na siláž, zeleninami jsou květák pozdní, zelí pozdní, okurky nakladačky, rajčata.

Konkrétní agrotechnické vstupní údaje plodin potřebné pro metodu RVB byly pro stanice Brandýs nad Labem, Olomouc,Pardubice, Roudnice a Žatec převzaty z teplotní skupiny 2950–3150 ºC, pro stanice Kroměříž, Podivín, Strážnice, Znojmo a Židlochovice ze skupiny 3150-3350 ºC.

Pokud se týká půdních poměrů v uvedených územích, zmíněná studie F i l i p a k o l . (2002) uvádí jako převládající půdní druh hlinitou půdu. Podle toho byly zvoleny potřebné půdní hydrolimity: polní vodní kapacita 34 % objemu půdy, bod vadnutí 14 % objemu půdy.

Výsledky výpočtů metodou RVB se statisticky vyhodnotily. Hlavním cílem statistické analýzy uvedené časové řady 70 roků u všech území bylo zjistit, zdali je možné prokázat trend k nárůstu sucha recentních 25-ti let (1976–2000) oproti referenčnímu období předchozích 30-ti roků (1931–1960). Pro zjištění tohoto trendu jsou nejdůležitější hodnoty nadprůměrných potřeb závlahové vody.

Statistická analýza

Vlivem značné rozkolísanosti vypočtených potřeb závlahové vody v jednotlivých letech sledovaného sedmdesátiletí ve všech deseti klimatických stanicích, jak je zřejmé z grafů 1 až 10, ukázaly se metody statistické analýzy časových řad, konkrétně klouzavé průměry, trendové funkce (nejen lineární) s použitím metody nejmenších čtverců neprůkaznými s ohledem na kvantitativní hodnocení posouzení hypotézy nárůstu sucha v blízké minulosti u nás. Proto bylo nutno zvolit vlastní metodu hodnocení.

Vlastní statistická hodnotící metoda vychází ze skutečnosti, že velikost potřeby závlahové vody je přímo úměrná velikosti zemědělského sucha, tj. čím zemědělsky sušší je rok, tím vyšší je potřeba závlahové vody v roce. Přitom z hlediska posouzení hypotézy nárůstu sucha je rozhodující, jak již bylo řečeno, výskyt extrémně suchých roků, za které byly považovány ty, u nichž byla nadprůměrná

potřeba závlahové vody, tj. byla vyšší než průměr potřeby závlahové vody vypočtený za období 1931 až 2000.

Použitá statistická analýza trendu nárůstu sucha je založena na porovnání rozdílu relativních četností výskytu roků s nadprůměrnou potřebou závlahové vody v období let blízké minulosti 1976 až 2000 p_s k referenčnímu minulému období let 1931 až 1960 p_m. podle kritérií uvedených v tab. 3.

Tab. 3 Kritéria pro hodnocení vývojového trendu extrémně suchých roků v období 1976 až 2000 oproti období 1931-1960 podle rozdílu relativních četností výskytu p_s - p_m

Tab. 3 Criterions for values of the evolutionary tendency extreme dry years in period 1976 till 2000 with regard to period 1931 till 1960 according to difference of frequency occurrence p_s - p_m

Hodnota rozdílu relativních četností výskytu $p_s - p_m$ [%]	Vývojový trend výskytu extrémně suchých roků v období 1976-2000 oproti období 1931-1960
≥ 10	velmi významný nárůst
5 až 10	významný nárůst
0 až 5	nevýznamný nárůst
0	nulový nárůst (pokles)
0 až -5	nevýznamný pokles
-5 až -10	významný pokles
-10<	velmi významný pokles

VÝSLEDKY A DISKUSE

Zpětně za období roků 1931 až 2000 byly metodou RVB vypočteny potřeby závlahové vody pro osevní struktury plodin uvedené v tab. 2 pro zpracovávaná území Žatecko a Lounsko (reprezentované klimatickou stanicí Žatec), Litoměřicko (Roudnice), střední Čechy (Brandýs nad Labem), východní Čechy (Pardubice), jižní Moravu (Znojmo, Podivín, Židlochovice), jihovýchodní Moravu (Strážnice), střední Moravu (Olomouc, Kroměříž). Výpočty se uskutečnily pro teoretickou neomezenou kapacitu závlahového zařízení, kdy se každé plodině dodá každá požadovaná závlahová dávka.

Výsledkem výpočtů je výsledná tabulka režimu potřeby závlahové vody obsahující měsíční a roční hodnoty v $m^3.ha^{-1}$ za celou zpracovanou řadu let. Tato tabulka je základním podkladem pro vyjádření časového průběhu potřeby závlahové vody a je podkladem pro jeho statistické hodnocení. Vypočtené roční potřeby závlahové vody metodou RVB pro jednotlivá území byly z tabulkového vyjádření převedeny do grafické formy a jsou uvedeny v grafech 1 až 10.

Zpracované výsledky pomocí uvedených grafů a kriterií uvedených v tab. 3 jsou prezentovány v tab. 4.

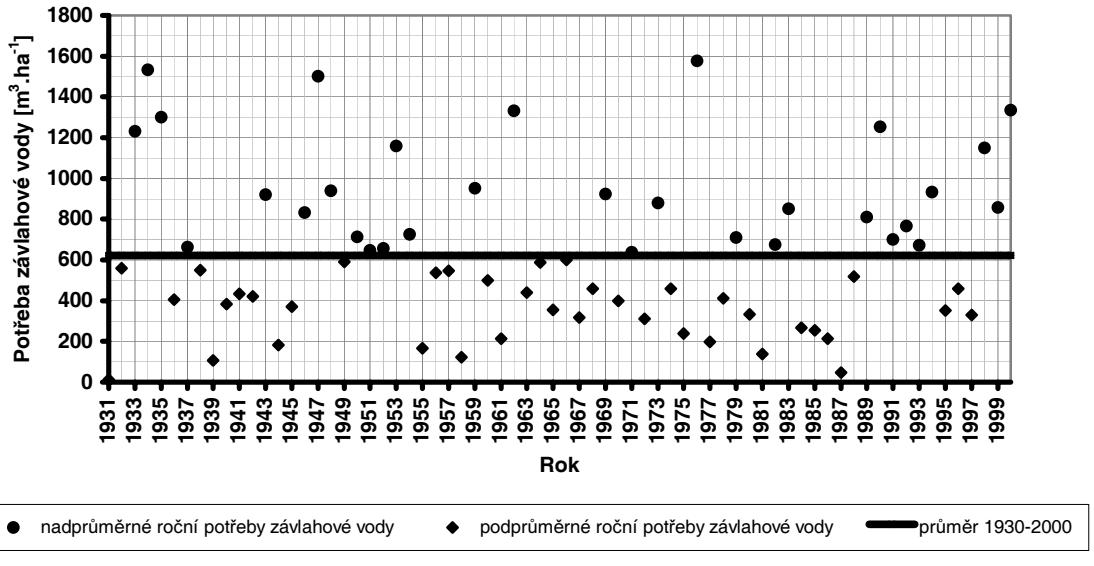
Z výsledků hodnocení období roků 1976–2000 vyplývá, že pro 40 % případů z 10 sledovaných klimatických stanic (Podivín, Pardubice, Roudnice, Brandýs nad Labem) se zjistil nárůst extrémně zemědělsky suchých roků oproti referenčnímu období 1931 až 1960, v 60 % (Žatec, Židlochovice, Znojmo, Strážnice, Kroměříž, Olomouc) případů se naopak neprokázal. To svědčí o tom, že na územích v okolí klimatických stanic Pardubice, Podivín, Roudnice a Brandýs nad Labem je možné připustit, že se již začíná projevovat predikovaná změna ke zvýšení zemědělského sucha, na zbývajících zkoumaných suchých územích u nás se zatím neprojevuje.

Tab. 4 Zjištění vývojového trendu výskytu extrémně suchých roků v období 1976 až 2000 oproti období 1931 až 1960 pro naše suché oblasti

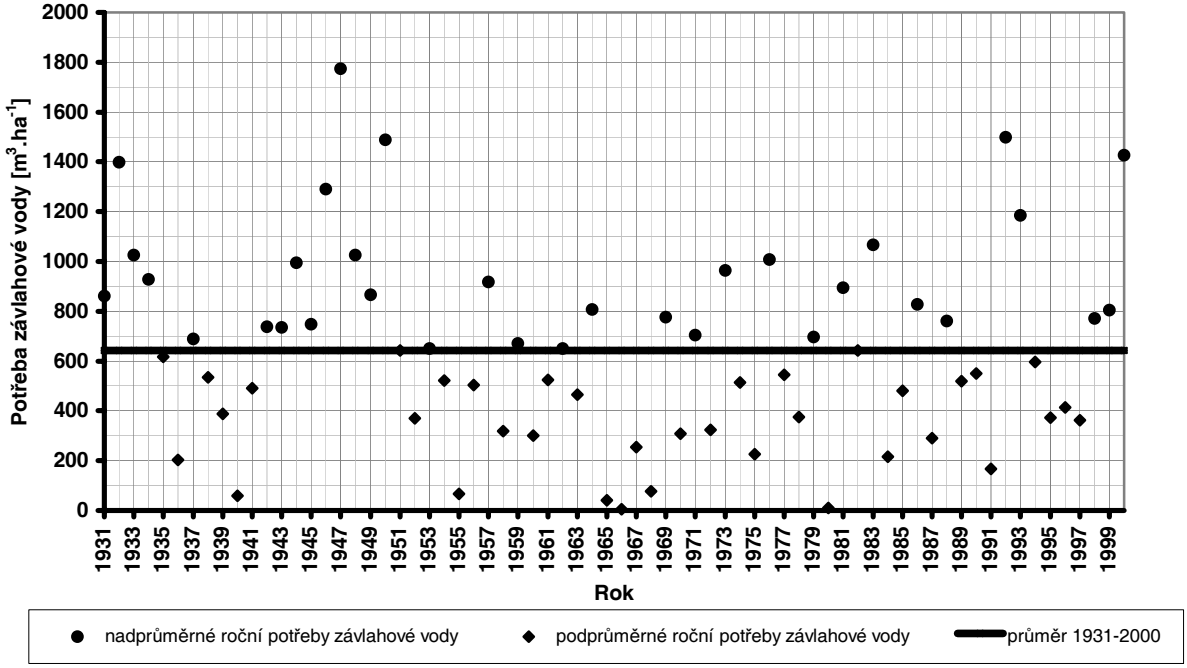
Tab. 4 Ascertainment of evolutionary tendency occurrence dry years in period 1976 till 2000 with regard to period 1931 till 1960 for our dry territories

Oblast	Klimatická stanice	Absolutní četnost výskytu extrémně suchých let		Relativní četnost výskytu extrémně suchých let [%]		Rozdíl $p_s - p_m$ [%]	Vývojový trend výskytu extrémně suchých roků v období 1976 až 2000 oproti období 1931 až 1960
		v období 1931 až 1960	v období 1976 až 2000	v období 1931 až 1960	v období 1976 až 2000		
				p_m	p_s		
Žatecko a Lounsko	Žatec	17	14	56,7	56,0	-0,7	nevýznamný pokles
Litoměřicko	Roudnice	14	13	46,6	52,0	+5,4	významný nárůst
Střední Čechy	Brandýs n.L	14	13	46,6	52,0	+5,4	významný nárůst
Východní Čechy	Pardubice	9	13	30,0	52,0	+22,0	velmi významný nárůst
Jižní Morava	Židlochovice	18	13	56,7	52,0	-4,7	nevýznamný pokles
	Podivín	11	15	36,7	60,0	+23,3	velmi významný nárůst
	Znojmo	16	13	53,3	52,0	-1,3	nevýznamný pokles
Jihovýchní Morava	Strážnice	17	13	56,7	52,0	-4,7	nevýznamný pokles
Střední Morava	Kroměříž	17	11	56,7	44,0	-12,7	velmi významný pokles
	Olomouc	19	12	63,3	44,0	-19,3	velmi významný pokles

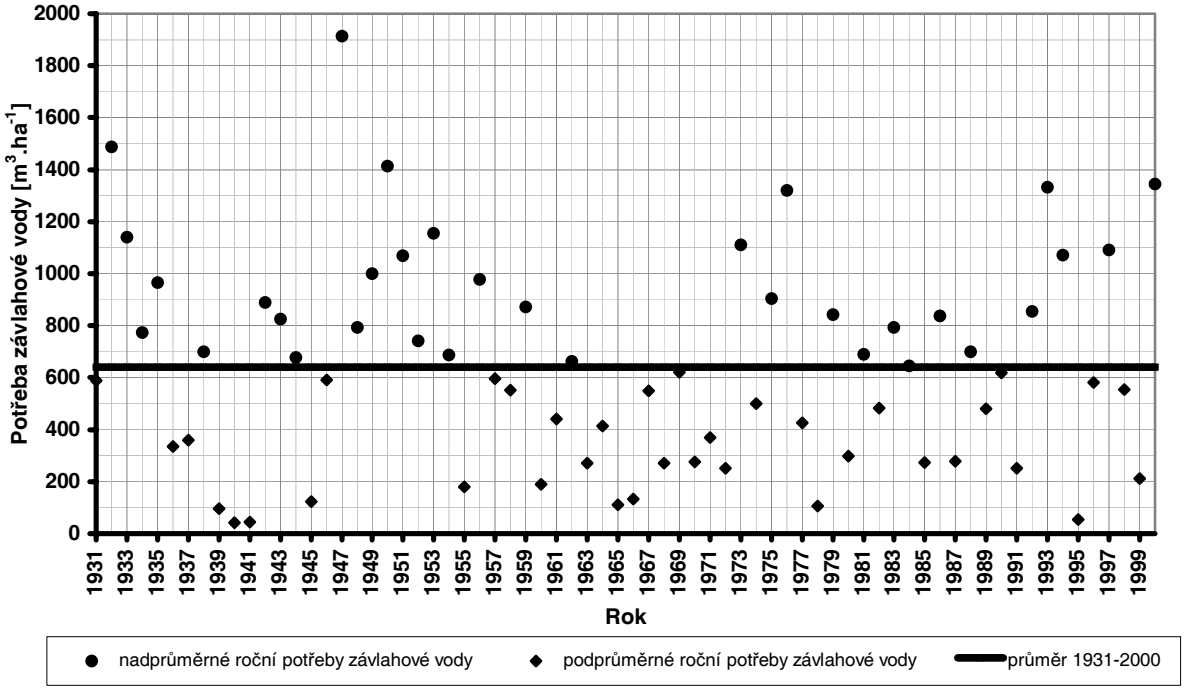
Graf 1 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Brandýs nad Labem*



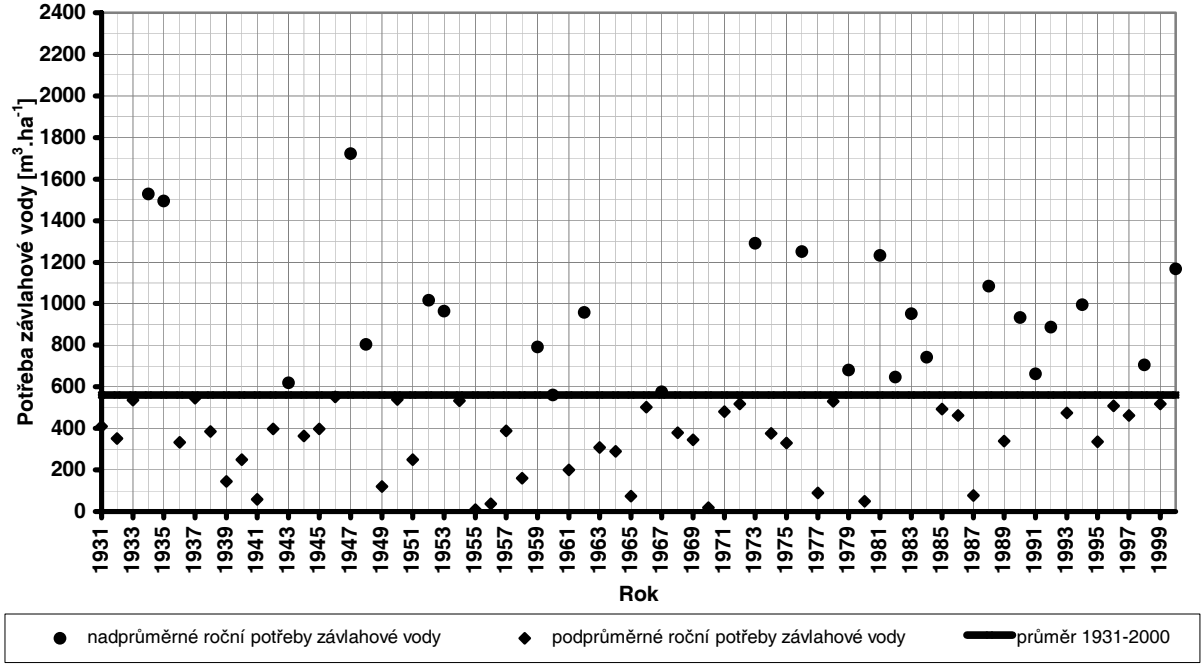
Graf 2 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Kroměříž*



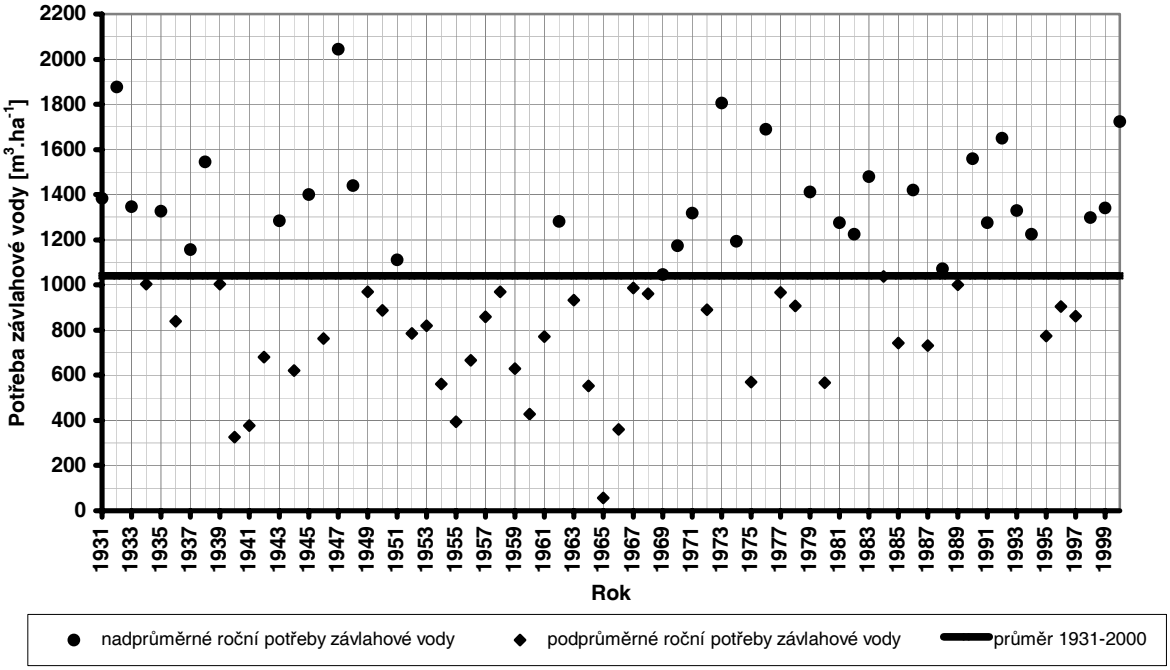
Graf 3 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Olomouc*



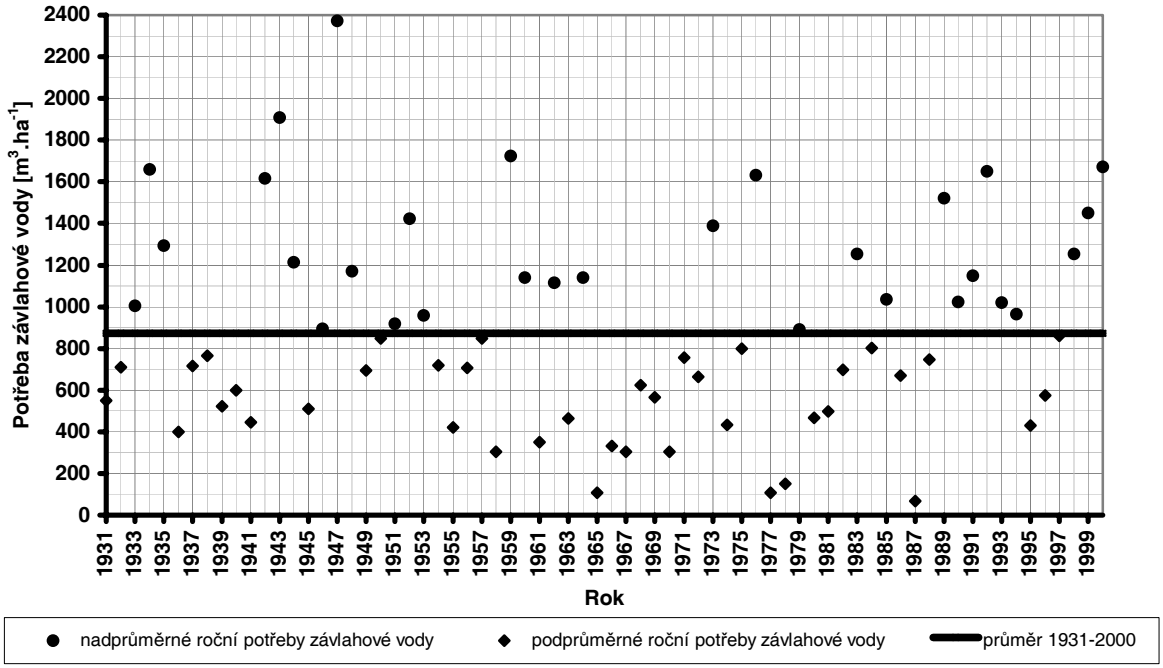
Graf 4 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Pardubice*



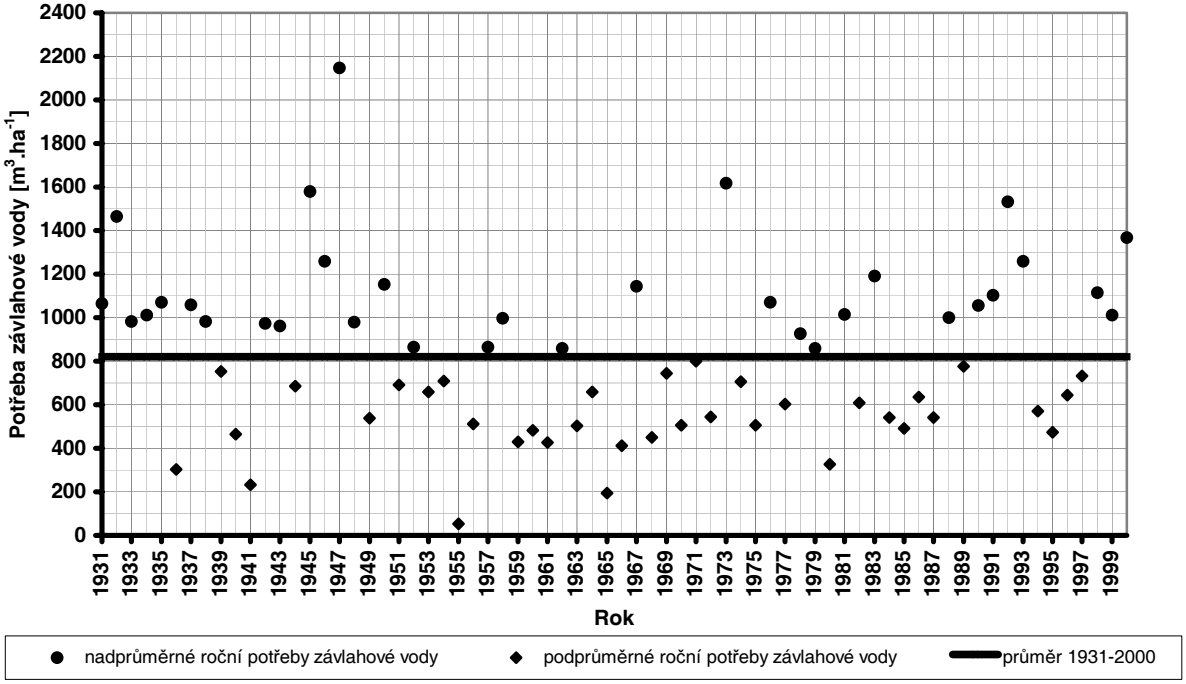
Graf 5 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Podivín*



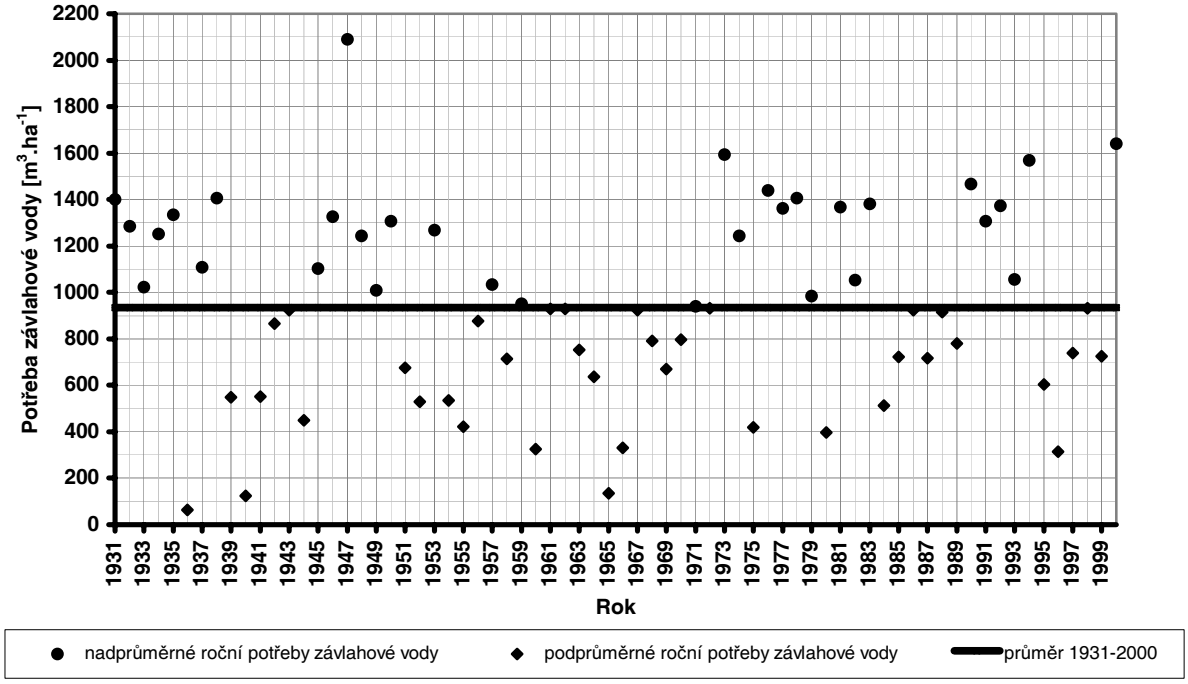
Graf 6 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Roudnice*



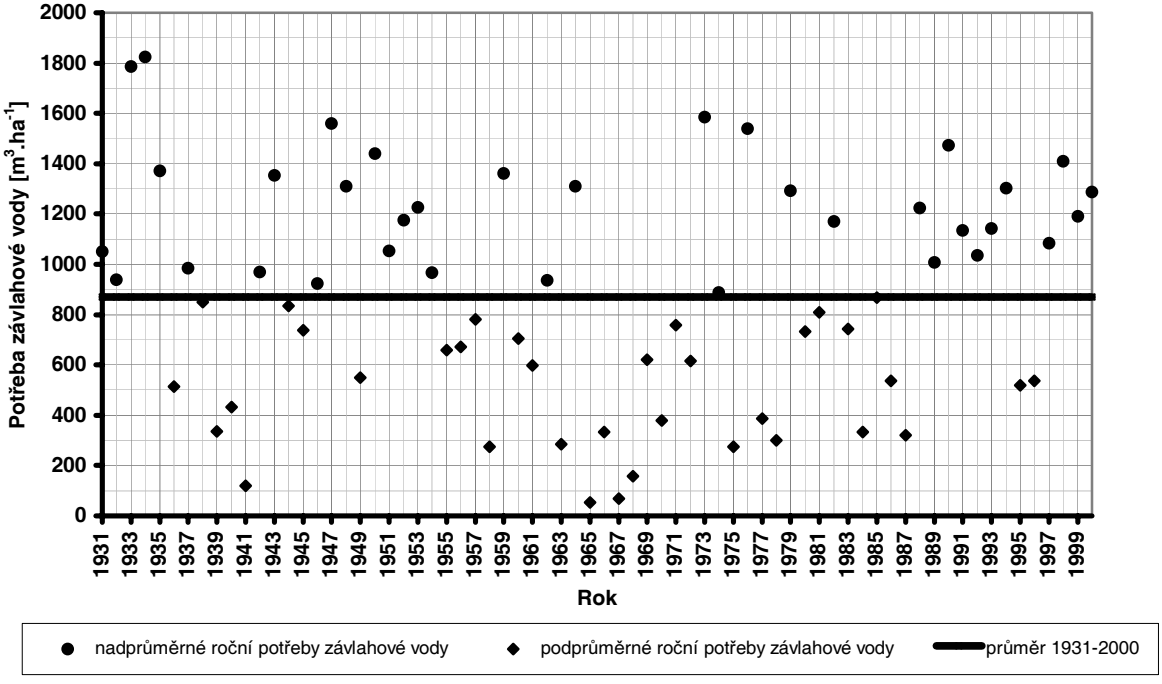
Graf 7 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Strážnice*



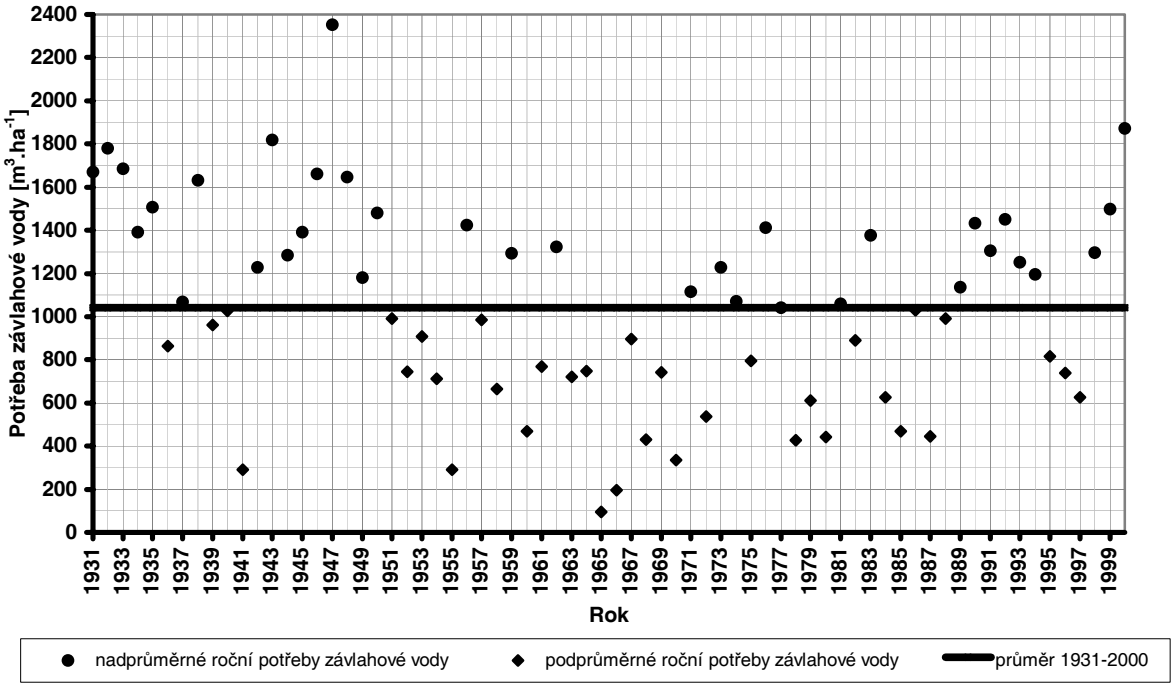
Graf 8 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Znojmo*



Graf 9 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Žatec*



Graf 10 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Židlochovice*



Graf 1 – 10 Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB pro klimatické stanice

Graf 1 – 10 Values of the irrigation water need in years 1931 till 2000 calculated with method RVB for climatic stations

ZÁVĚR

K posouzení hypotézy nárůstu výskytu zemědělského sucha v klimatu České republiky byly uskutečněny výpočty ročních potřeb závlahové vody metodou RVB retrospektivně za období roků 1931 až 2000, tj. 70-ti let. Potřeba závlahové vody byla zvolena jako kritérium pro výskyt sucha, neboť je integrálním ukazatelem zahrnujícím meteorologické, půdně morfologické a agrotechnické činitele. Zjištěné výsledky výpočtů byly statisticky analyzovány.

V předložené práci jsou uvedeny výsledky pro území reprezentovaná klimatickými stanicemi, a to pro Žatecko a Lounsko (Žatec), Litoměřicko (Roudnice), střední Čechy (Brandýs nad Labem), východní Čechy (Pardubice), jižní Moravu (Znojmo, Podivín, Židlochovice), jihovýchodní Moravu (Strážnice), střední Moravu (Olomouc, Kroměříž), která se nacházejí v našich nejsušších oblastech, kde by se měl nárůst zemědělského sucha vlivem klimatické změny projevit nejdříve.

Z výsledků hodnocení období roků 1976–2000 vyplývá, že pro 40 % případů z 10 sledovaných klimatických stanic (Podivín, Pardubice, Roudnice, Brandýs nad Labem) se zjistil nárůst extrémně zemědělsky suchých roků oproti referenčnímu období 1931 až 1960, v 60 % (Žatec, Židlochovice, Znojmo, Strážnice, Kroměříž, Olomouc) případů se naopak neprokázal.

Ze zjištěných výsledků lze tak učinit celkový závěr, že se nepodařilo jednoznačně prokázat hypotézu nárůstu zemědělského sucha u nás vlivem predikované klimatické změny.

Z výsledků je rovněž zřejmé, že při projevu zkoumaného jevu se uplatňují významně i místní podmínky daného území. Jedná se především o rozdělení a velikost srážek, které bývají značně místně rozdílné, také rozdíly v teplotách a relativních vlhkostech vzduchu, sklonitostní poměry území,

agronomické podmínky - především struktura osevu v daném území. Uplatní se i rozdílné půdní poměry charakterizované půdními hyrolimity (polní vodní kapacita, bod vadnutí, využitelná vodní kapacita). Je samozřejmé, že pro náš účel by bylo vhodné výpočty zpracovat i pro jiné druhy půd, ale to by znamenalo vymezit přesně území jednotlivých suchých oblastí připadajících k příslušné klimatické stanici a v nich stanovit plošný rozsah jednotlivých druhů půd. K uvedenému postupu jsme bohužel neměli dostatek podkladů.

Pro upřesnění zjištění nástupu možné klimatické změny bude vhodné prodloužit časové řady potřeb závlahové vody i pro léta po roce 2000 a tak i nadále se tomuto závažnému problému věnovat.

Předložené výsledky byly získány při řešení etapy výzkumného záměru MZE-M07-99-01-11 „Možnosti zmírňování extrémních hydrologických jevů – povodní a suchých období“.

Literatura

Filip, J. a kol.: Návrh závlahových osevních struktur. Zpráva. Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002. 15 s., 39 s. příloh.

Klementová, E., Litschman, T.: Drought and their Evaluation. In Mezinár. konf. Drought Mitigation and Prevention of Land Desertification. Slovinsko, Bled : ICID, ERWG, ERWTD, SINCID, 21-25.4 2002, na CD-ROM příspěvek č. 25, 11 s.

Kubíček, J., Dufek, J.: Statistika. 2. vyd. Brno : Ediční středisko VŠZ v Brně, 1978. 329 s.

Sivakumar, M. V. K., Wilhite, D. A.: Drought preparedness and Drought Management. In Mezinár. konf. Drought Mitigation and Prevention of Land Desertification. Slovinsko, Bled : ICID, ERWG, ERWTD, SINCID, 21-25.4 2002, na CD-ROM příspěvek č. 2, 16 s.

Spitz, P.: Posouzení hypotézy nárůstu výskytu sucha v klimatu České republiky (zpráva). Uživatelský výstup výzkumného záměru MZE-M07-99-01 etapa 11. Praha: VÚMOP Praha, 2003. 13 s., 20příloh.

Spitz, P.: Určení optimální kapacity závlahových zařízení na počítači. Závěrečná zpráva. Brno : Výzkumný ústav závlahového hospodárstva Bratislava, 1979. 27 s., 60 příloh.

Šanta, M.: Vplyv klimatických zmien na polnohospodársku výrobu a opatrenia na ich zmiernenie. Výzkumný ústav závlahového hospodárstva Bratislava, 1999.

Takáč, J.: Trendy vývoja vodného režimu pôd v modelových podmienkach Žitného ostrova. Vedecké práce Výskumného ústavu závlahového hospodárstva, 1999, č. 24, s. 195 – 208. ISBN 80-85755-07-6.

Toman, F., Spitz, P., Filip, J.: Impact of Predicted Climatic Change on Agriculture and Forestry in the Czech Republic. In Mezinár. konf. Drought Mitigation and Prevention of Land Desertification. Slovinsko, Bled : ICID, ERWG, ERWTD, SINCID, 21-25.4 2002, na CD-ROM příspěvek č. 71, 8 s.

Vermes, I.: National Strategies and Actions Programmes on Drought Mitigation. In Mezinár. konf. Drought Mitigation and Prevention of Land Desertification. Slovinsko, Bled : ICID, ERWG, ERWTD, SINCID, 21-25.4 2002, na CD-ROM příspěvek č. 5, 5 s.

Wilhite, D. A.: Global Drought Preparedness Network „Creating a Network of Regional Drought Preparedness Networks“. In Mezinár. konf. Drought Mitigation and Prevention of Land Desertification. Slovinsko, Bled : ICID, ERWG, ERWTD, SINCID, 21-25.4 2002, na CD-ROM příspěvek č. 4, 11 s.

Zdražil, K.: Výpočtové metody v závlahách. Závěrečná zpráva. Brno: Výskumný ústav závlahového hospodárstva Bratislava, 1975. 43 s., 7 příloh.

Zdražil, K.: Zpřesnění metody výpočtu režimu závlah retrospektivní vláhovou bilancí na počítači. Dílčí závěrečná zpráva. Brno: Výskumný ústav závlahového hospodárstva Bratislava, 1973. 51 s., 6 příloh.

Zdražil, K., Spitz, P.: Sestavení vstupních údajů pro výpočty metodou retrospektivní vláhové bilance (RVB) na počítači při projekci závlah. Řešení oborového tematického úkolu č. 7/84. Brno : Výskumný ústav závlahového hospodárstva Bratislava, 1984. 30 s., 29 příloh.

Zlatušková, S.: Sucho a metody jeho hodnocení – literární rešerše (zpráva). Uživatelský výstup výzkumného záměru MZE-M07-99-01 etapa 11. Praha: VÚMOP Praha, 2003. 19 s.

ČSN 75 0434 Potřeba vody pro doplňkovou závlahu. 1994.

Autoři

Pavel Spitz – Ivo Hemerka

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, výzkumné oddělení Brno, Lidická 25/27, 657 20 Brno, Česká republika, tel. a fax: + 420 549 255 574, spitz@vumopbrno.cz, hemerka@vumopbrno.cz

VARIABILITA SRÁŽKOODTOKOVÝCH VZTAHŮ V PŮDNÍM PROFILU

Martin Šanda, Miroslav Hrnčíř, Lukáš Novák, Milena Císlerová

Hydrologické a klimatické monitorování na kontinuální bázi zaměřené na sledování procesů vodní bilance půdního profilu na svahu na experimentálním povodí Uhlířská v Jizerských horách bylo započato v roce 1998. Experimentální povodí zaujímá plochu 1.87 km^2. Průměrná nadmořská výška povodí je 822 m n.m., průměrná délka svahů je 450 m. Území dnešního experimentálního povodí bylo v kalamitních těžbách počátkem osmdesátých let z 50% odlesněno. Povodí leží v oblasti s nejvyšším srážkovým úhrnem v ČR, převyšujícím 1300 mm/rok. Průměrná roční teplota je 6.5^{o}C. Půdní profil je klasifikován jako půda hnědá kyselá (Dystric Cambisol), je mělký a vysoce heterogenní, formovaný na zvětralém žulovém podloží.

K poznání a ohodnocení mechanismu transformace srážky na odtok z půdního profilu v prostředí, kde podpovrchový odtok hraje dominantní roli, byl v roce 1997 vybudován podzemní sběrný příkop. Podpovrchový odtok je monitorován ve třech výškových horizontech a dvou nezávislých sekcích. V bezprostřední vzdálenosti nad příkopem je monitorován půdní sací tlak pomocí automatických tenzometrů instalovaných po trojicích do vrstev půdního profilu odpovídajících umístění podpovrchových sběrných kolektorů podzemního odtoku.

Během sedmi vegetačních a pěti mimovegetačních období bylo zaznamenáno více jak 20 významných odtokových událostí, způsobených jak infiltrací srážek různých intenzit a dob trvání, tak táním sněhové pokrývky. Odtokové jevy vykazují vysokou míru variability vztahu půdního sacího tlaku, ev. výšky hladiny podzemní vody vůči okamžité intenzitě odtoku a to jak během jedné epizody z důvodu hystereze mezi vzestupnou a sestupnou větví hydrogramu, tak i mezi jednotlivými epizodami. Zde hraje zásadní roli momentální vlhkost půdního profilu v závislosti na historii plnění pórového prostoru vlivem účinku hydrologických a klimatických jevů. Půdní profil je převážně nenasycený, přesto je půdní vlhkost po většinu času blízko nasycení, což má podstatný vliv na okamžik začátku podpovrchového odtoku a jeho další vývoj. Místní preferenční cesty vedou srážkovou vodu ve výrazně variabilním řádu rychlostí, poté co je půdní profil nasycen.Vztah výšky hladiny podzemní vody, půdní vlhosti a podpovrchového odtoku s celkovým odtokem z povodí je velmi těsný.

Odtok z povodí, kde je půdní profil tvořen zvětrávajícím krystalinickým substrátem je podmíněn do velké míry půdní vlhkostí a existencí preferenčních cest. Studování preferenčních cest a jejich vlivu na odtok z povodí na experimentálních povodích v Jizerských horách je součástí širšího výzkumu na Fakultě stavební ČVUT, kde zastupuje oblast velkého měřítka a navazuje na studium preferenčních cest v laboratorním a mikroskopickém měřítku.

Klíčová slova: hydrologické monitorování, podpovrchový sběrný příkop, srážkoodtokové epizody, preferenční proudění, hnědá půda kyselá, žulové podloží

Variability of rainfall and runoff in the soil profile. *Hydrological and climatic monitoring is focusing on the processes of hydrological cycle occuring in the sloping soil profile. The experimental watershed Uhlířská of Černá Nisa river (1.87 km^2) has been deforested up to 50% in 80's. Its average altitude is 822 m msl., length of the hillslopes is approximately 450 m. Watershed has one of the highest annual rainfall totals in the Czech Republic, exceeding 1300 mm/year. Its average temperature is 6.5^{o}C. The typical soil profile is highly heterogeneous, formed by 0.8-1.2 m of Cambisols. The depth of decayed and fractured granite bedrock as determined by the indirect geophysical methods is 4-20 m. Due to the highly permeable topsoil and preferential flow taking place within the whole soil profile, no overland flow occurs. At the locality Tomsovka, the experimental hillslope transect has been instrumented, the massive data collection and soil surveying is in process since spring 1998. In the subsurface trench, subsurface outflow is monitored in three soil horizons and soil water suction is scanned by triplets of tensiometers with pressure transducers, adjacent to the trench. Almost simultaneous reaction of suction change in all soil horizons implies a rapid vertical flow. The unsaturated regime within the soil profile prevails, nevertheless the soil moisture content is close to the saturation. Local preferential flow paths are conducting water at significantly variable rates. During seven vegetation and five non-vegetation periods, about 20 significant runoff events has been recorded. They are caused by a rainfall of a different intensity and duration or result from the snowmelt event combined with the rainfall. Runoff behaviour is of a high variability in terms of soil suction, depth of water in the soil profile as well as groundwater table in the vicinity of the trench. Hysteresis of the rising and falling limb of the subsurface hydrograph has been observed for the events. It is caused by the history of filling and emptying of the porous space due to fluctuation of hydrological and climatic variables.*

Relations of groundwater table, soil moisture, subsurface runoff and the total outflow from the watershed are significant, showing that transformation of rainfall into runoff in the area where soils are shallow, based on decayed crystalline bedrock is controlled by water content or soil suction in the subsurface. Storm flow is

dominantly conducted by preferential pathways in the subsurface when saturation is reached. This study is part of the global research of preferential flow in the soil at CTU FCE Prague, where it represents the field macroscale processes. It takes benefit of results drawn from laboratory mesoscale and microscale experiments of preferential flow.

Key words: hydrologic monitoring, subsurface collection trench, rainfall-runoff events, preferential flow, brown soil, granite bedrock

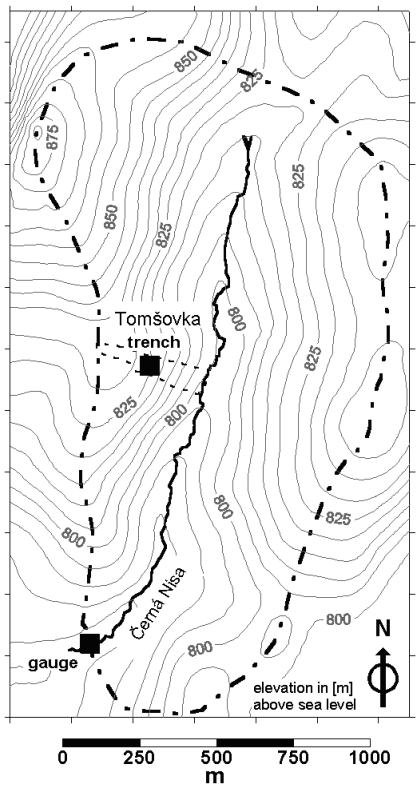
---

ÚVOD

Sledovaným územím je horní část povodí Černé Nisy po limnigrafický profil Uhlířská v Jizerských horách (obr.1). Experimentální povodí zaujímá plochu 1.87 km^2. Průměrná nadmořská výška povodí je 822 m n.m., měrný profil Uhlířská je ve výšce 774 m n.m. Délka povodí je 2.1 km, průměrná šířka je 0.89 km a průměrný sklon údolnice je 2.3%. Průměrná délka svahů je 450 m. Území dnešního experimentálního povodí bylo v kalamitních těžbách počátkem osmdesátých let z 50% odlesněno. Nová výsadba je dnes v I. - III. věkové kategorii. Povodí leží v oblasti s nejvyšším srážkovým úhrnem v ČR, převyšujícím 1300 mm/rok. Průměrná roční teplota je 6.5^oC.

Základním horninovým typem je porfyrická středně zrnitá biotitická žula. Půdní profily lze na povodí Uhlířská schematicky rozdělit na dvě základní skupiny. Jednu tvoří půdní profily v horní části svahu, vzniklé na zvětralém žulovém substrátu, které patří do skupiny kambizemí se základním označením hnědé půdy kyselé, s půdním podtypem oglejené půdy zrašelinělé. Z hlediska textury jde o půdy hlinito-písčité až písčito-hlinité s příměsí skeletu, často velmi hrubého, bez výrazné struktury. Půdní profil je zpravidla tvořen 5 cm vegetačního krytu, 15-20 cm zrašelinělé humusové vrstvy černé barvy, 10 cm přechodové oglejené šedočerné jílovito-hlinité vrstvy, 30 cm hnědé či okrové hlinito-písčité vrstvy a 30 cm eluviální žlutohnědé vrstvy, která plynule přechází do zvětralého žulového substrátu. V celém profilu se vyskytují výrazné poruchy struktury ve formě spojitých vertikálních záteků oxidů železa. Druhou skupinu tvoří půdní profily ve dně údolí, vzniklé ukládáním naplavenin, které jsou pokryty různě mocnou vrstvou rašeliny. Profil je zpravidla tvořen 5 cm vegetačního krytu, 0.5-2 m rašeliny, 0.5-1 m jílovito-štěrkové, velmi kompaktní zeminy bez jakékoliv struktury, jejíž mocnost je v řádu několika metrů. Mocnosti vrstev tohoto typu profilu jsou velmi závislé na morfologii terénu a kolísají daleko více než skladba svahového profilu hnědých půd. Šedomodrá barva jílovito-písčité vrstvy je způsobena redukovanou formou oxidů železa. Tachecí (2002) odhaduje na základě sondování půdních profilů po celé délce údolní části povodí plochu rašelinné oblasti na 10% celkové plochy povodí. Zbývající plocha povodí (90%) je tvořena profilem hnědé půdy, která je v místech lokálního zamokření ve vrchní části profilu zrašelinělá.

Studované povodí Uhlířská je v mnoha úrovních vysoce heterogenní. Vysoké srážkové úhrny, kontrastní klimatické poměry, komplikovaná morfologie terénu, neostrá hranice mezi propustným, značně heterogenním půdním profilem a krystalinickým podložím s neznámým puklinovým systémem způsobují, že srážkoodtokové vztahy jsou zatíženy z hlediska předpovědi odtoků významnou nejistotou. Podpovrchová složka odtoku převažuje nad plošným povrchovým odtokem, způsob jakým přispívá k tvorbě hydrogramu odtoku je však nejasný. Transformaci srážek je proto nutno studovat z mnoha pohledů. Základní pohled je zkoumání vztahu mezi srážkami a odtokem v měřítku celého povodí. Jiné, stejně důležité měřítko je zkoumání mechanismu tvorby hydrogramu na svahu, kde je základním problémem určení hranice nepropustné hranice bilancované oblasti a ve stejné míře i heterogenita půdního prostředí. Nespojitost hranice vlivem puklinových systémů ve skalním podloží má pravděpodobně za následek únik části srážkových vod do hlubokých zvodní. Tyto faktory zatěžují všechny hydrologické úvahy významnou chybou.



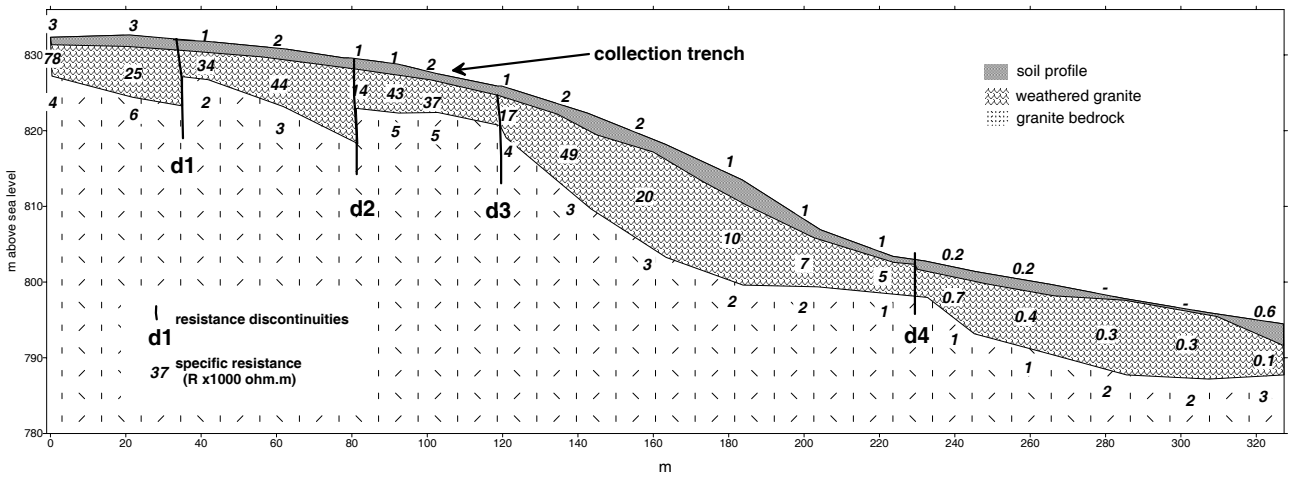
Obr. 1 Mapa povodí Uhlířská
Fig. 1 Map of Uhlířská watershed

POPIS SVAHOVÉ LOKALITY TOMŠOVKA

Terénní experimenty a kontinuální měření a pozorování, prováděná na experimentálním povodí jsou koncipovány s cílem vysvětlit mechanismus odtoku srážek z mělkého půdního profilu (Šanda, 2004). Pro tyto účely byla vytýčena výzkumná plocha na zcela odlesněném svahu Tomšovka. Důvodem pro studium prostorově vymezeného území je extrémní heterogenita povodí, ve kterém procesy v proměnlivě nasyceném půdním prostředí nemohou být detailně a s uspokojivou přesností popsány na celém povodí. Plocha Tomšovka se nachází zhruba v polovině délky povodí na východním svahu (obr. 1). Studovaná lokalita je svahový transekt, definovaný jako vertikální rovina půdního profilu, rovnoběžná se spádnicí. Sklon pokusného svahu Tomšovka se mění od 5 do 20%. Na této ploše byla vybrána lokalita, kde byl vybudován podpovrchový příkop. Toto území je osazeno automatickým vybavením pro sledování hydrologických veličin. Plocha Tomšovka byla vybrána z důvodu relativně přehledné topografie svahu a minimální zalesněnosti (sporadická výsadba smrku, který byl v roce 1996 v I. věkové kategorii).

Geologický a geofyzikální průzkum

Vrtné práce na svahu potvrdily, že svahový půdní profil na bázi žuly je velmi mělký, v průměru dosahuje hloubky 1 m a je tvořený hnědou půdou s významným procentem skeletu. Ve dně údolí byla ve vrtech nalezena povrchová vrstva velmi vlhké rašeliny o mocnosti v průměru 0.5-1.5 m, pod kterou se nachází nasycený zajílovaný štěrkopískový náplav. Účelem geofyzikálního průzkumu bylo přispět ke stanovení strukturně-tektonických poměrů půdního horizontu a jeho podloží a objasnění hydrogeologické situace na experimentální ploše lokality Tomšovka. Při průzkumu tektonických struktur byla provedeno celoplošné měření metodou dipólového elektromagnetického profilování (Císlerová et al., 1997). Pro sondování přechodu do neporušeného horninového prostředí v ose transektu byla použita metoda vertikálního elektrického sondování. Obr. 2 znázorňuje představu o geologické skladbě studovaného transektu.



Obr. 2 Specifikace geologické struktury pomocí vertikálního elektrického sondování

Fig. 2 Specification of the geological formation by vertical electrical survey.

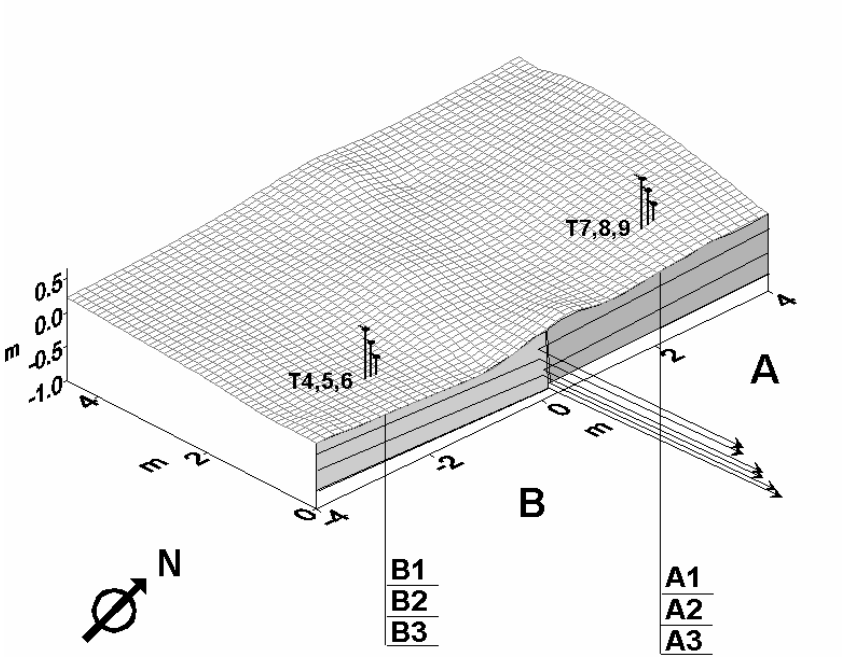
Hydropedologický průzkum

K ohodnocení variability povrchových infiltračních rychlostí půdního prostředí byla v povodí provedena série výtopových infiltračních pokusů (Císlerová et al., 1998). Ze zpracování vyplývá, že se hydraulická vodivost povrchových vrstev pohybuje v rozmezí hodnot od 10^{-6} m.s^{-1} až 10^{-3} m.s^{-1} s průměrnou hodnotou $1{,}89.10^{-4}$ m.s^{-1} a koeficientem variace 144%, indikujícím vysokou variabilitu. Hodnoty odhadu ustálených infiltračních rychlostí pro rašelinu se pohybují v rozmezí 10^{-7} m.s^{-1} až 10^{-5} m.s^{-1}.

Na experimentálním svahu proběhl odběr půdních vzorků pro měření retenční čáry půdní vlhkosti, pórovitosti a specifické objemové hustoty. Celkem byl měřením získán soubor 95 čar pro hnědou půdu a 11 čar pro rašelinu, ze kterého jsou stanoveny referenční retenční křivky (Vogel et al., 1991) pro stanovení závislosti půdní vlhkosti na půdním sacím tlaku v jednotlivých typických půdních horizontech.

Kontinuální monitorování vodního režimu na svahu

Ke sledování srážkoodtokových poměrů na svahu byl v místě se sklonem 14% vybudován sběrný objekt pro zachycení vody odtékající z jednotlivých vrstev půdního profilu (Císlerová et al., 1997). Spádové povodí tohoto objektu stanovené podle topografie povrchu je cca 0.1 ha. Vzhledem k faktu, že je tímto příkopem sváděna voda jen z vrchních 50-70 cm hloubky, je sběrná oblast odhadnuta pouze na 0.01 ha. Sběrný objekt se skládá ze dvou sekcí (A, B), každé o délce 4 m a šířce 1 m, umístěných vedle sebe v ručně vyhloubeném příkopu hloubky cca 80 cm. Obě sekce mají zcela samostatný sběr odtékajícího množství vody. Pro každou sekci odděleně byl příkop vystrojen v horních dvou horizontech (zrašelinělý horizont Ah a B horizont tmavě hnědé půdy) nerezovými plechy o délce 4 m. Na plechu je připevněn žlab, kterým je odváděna voda vytékající z jednotlivých horizontů a sekcí příkopu. Dno příkopu, které je vymezeno horním okrajem zvětralinového pláště, bylo zabetonováno. Ve dně je umístěn v každé sekci sběrný žlab, vždy o délce 4 m. Celkem je takto sbíráno 6 sekcí. Voda ze všech sekcí je sváděna trubkami do měrných nádob. Ty pracují na principu překlopného průtokoměru se záznamem do dataloggeru, pro stanovení intenzity odtoku. Mikropovodí experimentálního příkopu je vybaveno automatickými tenzometry ve kterých je půdní sací tlak snímán v intervalu 10 minut. Tenzometry jsou umístěny osově uprostřed nad sekcemi A, B, mezi sekcemi ve vzdálenosti 1 m od hrany příkopů a osově mezi sekcemi A a B - 10 m a 20 nad příkopy.



Obr. 3 Sběrný příkop pro podpovrchový odtok s měřením půdního sacího tlaku
Fig. 3 Collection trench for subsurface flow with soil suction measurement

VARIABILITA SRÁŽKOODTOKOVÝCH EPIZOD

Z vegetačních období r. 1998-2004 byla vybrána sada 27 odtokových událostí v povrchovém toku Černé Nisy (Hrnčíř, 2005). Přehled událostí uvádí tab. 1. Pro většinu těchto událostí byl detekován i podpovrchový odtok ve sběrném příkopu na svahu (tab. 2). Odtokové epizody jsou vymezeny dosažením základního odtoku v úrovni 0.05 mm/h, odpovídající přibližně 30 l/s v uzávěrovém profilu Černé Nisy. Často tyto významné srážkové události následují po sérii kratších období s málo intenzivní srážkovou činností. Srážkoodtokové události lze rozdělit do dvou skupin podle doby trvání a celkového odteklého množství: na události vyvolané letními krátkými a vydatnými srážkami z bouřkové činnosti a události způsobené podzimními delšími dešti s nižší intenzitou.

Odtok ze spodních horizontů půdního příkopu (A3, B3) je zkoumán v souvislosti s odtokem z celého povodí. Vzhledem k faktu, že konstrukcí sběrného příkopu je ovlivněn přirozený charakter proudění, je téměř veškerý podpovrchový odtok svrchních 50-70 cm půdního profilu sváděn do těchto sběrných horizontů. Odtok z horizontu B3 je vybrán pro porovnání s odtokem z povodí (tab.2). Hydrogramy odtoku z podpovrchového sběrného příkopu na svahu Tomšovka a soustředěného povrchového odtoku z povodí Uhlířská mají velmi podobný tvar (obr. 4). Vzestupné větve jsou velmi strmé, což podporuje hypotézu, že rychlý podpovrchový odtok z mělkého půdního profilu na svazích povodí je přímým zdrojem soustředěného povrchového odtoku z povodí. Ten je významně urychlen v síti lesních příkopů, která zprostředkovává komunikaci půdního profilu s vodotečí. Poměrně rychlá je i poklesová větev hydrogramu, což činí jednotlivé epizody ostře ohraničitelné a potvrzuje epizodický charakter odtoku z tohoto horského typu povodí, kde převážné množství odtoku probíhá ve velmi krátkých a jasně oddělených obdobích.

Souběžně s intenzitou odtoku byly snímány i půdní sací tlaky v bezprostřední blízkosti vždy v jedné lokalitě, ve třech hloubkách pro každý příkop A a B. Z měření vyplývá úzká shoda vzrůstu půdního sacího tlaku a počátku tvorby podpovrchového odtoku (obr. 4), ke kterému dochází, jakmile hodnota hydraulické výšky dosáhne výškové úrovně sběrného příkopu. Mnohdy, zvláště v období s dlouhodobější srážkou, kdy je půdní profil blízko nasycení, nejsou vzrůsty v záznamu tlaků patrné. Tlaky setrvávají ve stavu dosaženém během předchozích srážkových událostí, které nevyvolaly odezvu v podobě tvorby odtoku, přestože byl půdní profil pozvolna dosycován. Jelikož však nebylo

dosaženo plného nasycení a cesty proudění nebyly spojitě zaplněny vodou, ke drénování půdního profilu zatím nedošlo. K počátku odtoku, často velmi intenzivnímu v takovém stavu může přispět i srážka malé intenzity a úhrnu. Po dosažení bodu nasycení půdního profilu, bez významného poklesu sacího tlaku, dochází k okamžitému rychlému odtoku.

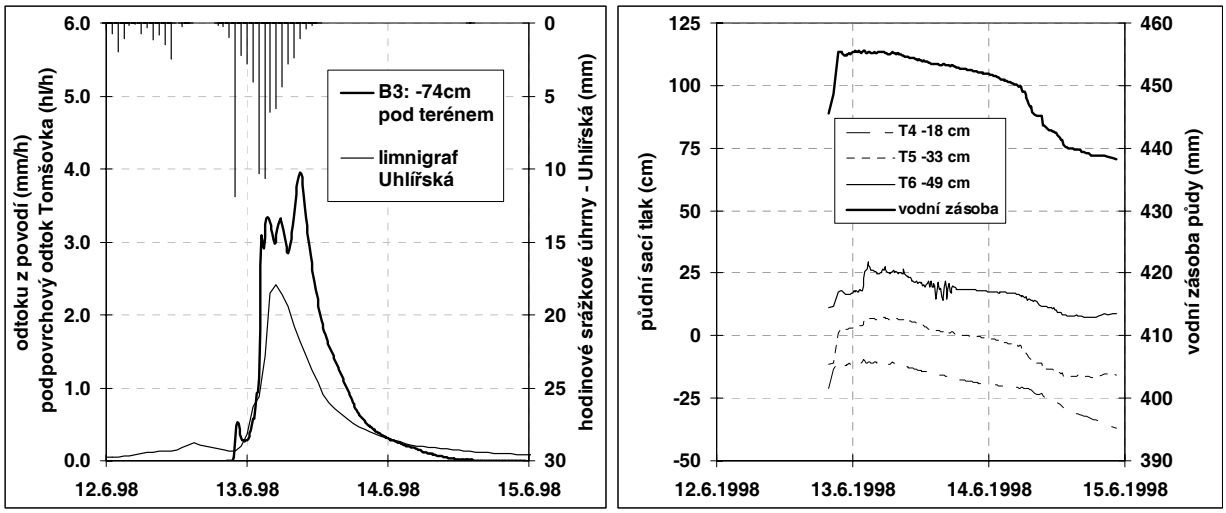
Tab. 1 Přehled odtokových epizod v uzávěrovém profilu Černé Nisy, Uhlířská (Hrnčíř, 2005)
Tab. 1 Overview of runoff events in the gauging station Černá Nisa, Uhlířská (Hrnčíř, 2005)

epizoda	počátek	konec	trvání epizody [h]	počát. vodní zásoba půdy [mm]	srážka [mm]	odtok [mm]	odtok. koef [-]	max. srážková intenzita [mm/h]	prům. srážková intenzita [mm/h]	max. odtok [mm/h]
1	10.6.98 18:00	21.6.98 17:00	265	396.0	109.8	42.5	0.39	11.9	1.4	2.4
2	23.6.98 20:00	27.6.98 18:00	95	427.8	31.1	15.8	0.51	2.9	0.8	0.6
3	4.7.98 4:00	21.7.98 16:00	421	413.3	102.4	62.4	0.61	3.4	0.7	0.8
4	22.8.98 10:00	3.9.98 17:00	296	376.5	73.4	25.8	0.35	2.7	0.6	0.4
5	31.5.99 12:00	2.6.99 21:00	58	352.1	23.4	5.0	0.21	13.0	2.1	0.4
6	3.6.99 0:00	5.6.99 18:00	67	384.4	28.1	9.9	0.35	14.9	2.2	0.8
7	12.6.99 3:00	17.6.99 19:00	137	402.6	36.1	22.1	0.61	4.5	0.9	1.1
8	18.6.99 2:00	24.6.99 19:00	162	407.9	47.2	28.4	0.60	3.4	0.8	0.8
9	7.9.99 17:00	10.9.99 16:00	72	359.1	22.8	4.3	0.19	22.1	2.1	0.4
10	9.10.99 13:00	19.10.99 8:00	236	454.6	64.4	39.2	0.61	4.4	0.8	0.9
11	18.5.00 3:00	27.5.00 13:00	227	343.2	48.4	23.2	0.48	2.9	0.7	0.6
12	27.5.00 13:00	5.6.00 16:00	220	390.4	32.9	15.6	0.47	10.5	1.4	0.5
13	16.7.00 19:00	24.7.00 16:00	190	424.4	69.4	42.6	0.61	6.6	1.0	1.6
14	26.7.00 22:00	5.8.00 18:00	237	409.3	70.6	39.7	0.56	6.6	1.1	1.0
15	2.9.00 1:00	12.9.00 15:00	255	347.8	84.3	38.7	0.46	5.7	1.1	1.1
16	28.5.01 5:10	31.5.01 13:10	81	341.9	51.5	14.8	0.29	18.9	2.2	1.6
17	18.6.01 8:10	21.6.01 13:10	78	405.5	28.0	12.3	0.44	11.8	1.9	0.8
18	30.6.01 23:10	4.7.01 17:10	91	391.1	31.3	14.1	0.45	9.3	1.7	0.9
19	8.7.01 11:10	14.7.01 18:10	152	377.9	40.5	18.6	0.46	5.0	1.0	0.6
20	15.7.01 23:10	28.7.01 17:10	307	383.3	126.6	79.5	0.63	11.4	1.6	4.0
21	29.7.01 17:10	3.8.01 17:10	121	367.9	26.1	10.9	0.42	12.5	2.0	0.7
22	31.8.01 13:10	6.9.01 6:10	138	343.4	69.3	24.3	0.35	7.7	1.2	1.3
23	2.8.02 3:00	3.8.02 13:00	35	352.4	22.5	4.2	0.19	13.1	3.2	0.4
24	12.8.02 7:00	18.8.02 16:00	154	365.8	219.0	133.5	0.61	15.3	3.9	7.1
25	5.10.02 22:00	13.10.02 2:00	173	422.9	54.1	34.6	0.64	4.5	0.9	0.9
26	1.7.03 2:00	11.7.03 13:00	252	298.2	66.4	11.7	0.18	11.1	1.1	0.1
27	9.9.03 14:00	18.9.03 18:00	221	315.2	68.4	13.4	0.20	7.2	1.2	0.5

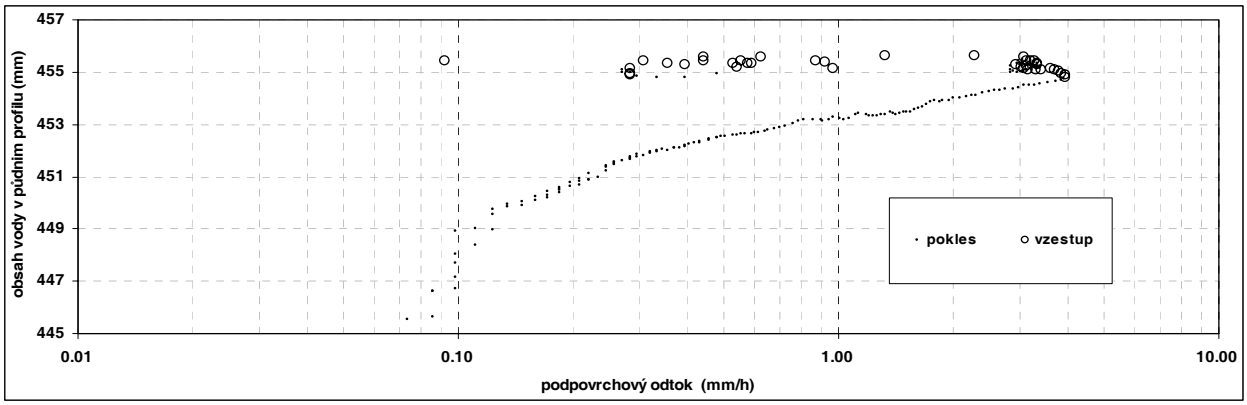
Tab. 2 Přehled odtokových epizod v půdním profilu sběrného příkopu v horizontu B3, Uhlířská (Hrnčíř, 2005)
Tab. 2 Overview of runoff events in the soil profile of the subsurface trench in the horizon B3 (Hrnčíř, 2005)

epizoda	počátek	konec	trvání epizody	počát. vodní zásoba půdy	srážka	odtok	odtok. koef	max. srážková intenzita	prům. srážková intenzita	max. odtok
			[h]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]
1	10.6.98 18:00	21.6.98 17:00	265	396.0	99.4	45.6	0.46	10.0	1.5	3.9
2	23.6.98 20:00	27.6.98 18:00	95	427.8	28.2	5.2	0.19	2.8	0.9	0.3
3	4.7.98 4:00	21.7.98 16:00	421	413.3	93.1	40.3	0.43	3.3	0.9	0.3
5	31.5.99 12:00	2.6.99 21:00	58	352.1	23.4	0.4	0.02	13.0	2.1	0.4
6	3.6.99 0:00	5.6.99 18:00	67	384.4	28.1	1.6	0.06	14.9	2.2	0.3
7	12.6.99 3:00	17.6.99 19:00	137	402.6	36.1	6.7	0.19	4.5	0.9	0.4
8	18.6.99 2:00	24.6.99 19:00	162	407.9	47.2	7.9	0.17	3.4	0.8	0.3
9	7.9.99 17:00	10.9.99 16:00	72	359.1	22.8	0.6	0.03	22.1	2.1	0.6
10	9.10.99 13:00	19.10.99 8:00	236	454.6	64.4	18.3	0.28	4.4	0.8	0.5
13	16.7.00 19:00	24.7.00 16:00	190	424.4	72.7	49.5	0.68	6.7	1.4	1.7
14	26.7.00 22:00	5.8.00 18:00	237	409.3	77.4	37.6	0.49	7.2	1.5	1.3
15	2.9.00 1:00	12.9.00 15:00	255	347.8	97.5	17.1	0.18	7.2	1.7	0.7
20	15.7.01 23:10	28.7.01 17:10	307	383.3	131.0	125.8	0.96	11.5	2.0	11.1
21	29.7.01 17:10	3.8.01 17:10	121	367.9	28.0	0.2	0.01	14.3	3.5	0.5
22	31.8.01 13:10	6.9.01 6:10	138	343.4	75.3	1.8	0.02	8.3	1.7	0.6

Tenzometrická měření z trojice tenzometru T4, T5 a T6 jsou použita využita pro nepřímé stanovení vlhkosti v půdním profilu. Drenážní větve retenčních čár (Šanda, 1999), měřené v laboratoři na půdních vzorcích, proložené vztahem van Genuchtena (1980) jsou použity k odečítání půdní vlhkosti odpovídající příslušnému sacímu tlaku. Při převodu není uvažován vliv hystereze, jelikož hysterezní smyčky retenčních čar nebyly měřeny, což může ovlivnit hodnotu vlhkosti. Z měření v trojici tenzometrů T4-T6 je stanovena celková zásoba vody ve svrchních 75 cm půdního profilu (obr. 4). Celkový objem vody je získán součtem objemů vody v každém ze tří horizontů, jako součin vlhkosti a mocnosti horizontu. Ze získaného průběhu byly vodní zásoba půdy porovnána s průběhem soustředěného odtoku horizontu B3 (obr.5). Přímá příčinná vazba odtoku a stavu půdní vlhkosti není však dokázána vzhledem nejednoznačnosti vztahu vzestupné a poklesové větve hydrogramu odtoku a celkové vodní zásoby půdy. Přesto lze z průběhu závislosti usuzovat, že půdní prostředí je hlavním kontrolním prvkem, který významně ovlivňuje velikost a průběh říčního odtoku, závislého na podpovrchovém odtoku.



Obr. 4 Odtoková epizoda, reakce půdního profilu
Fig. 4 Rainfall outflow event, response of the soil profile

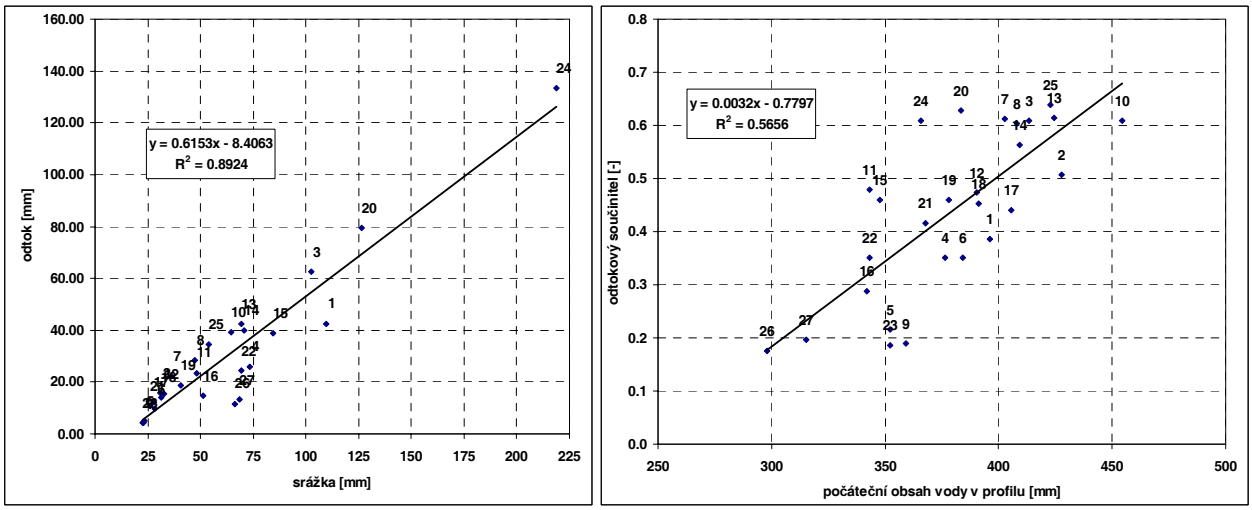


Obr. 5 Vztah okamžitého podpovrchového odtoku a vodní zásoby v půdě

Fig. 5 Relation of the instant subsurface flow and depth of the water in the soil profile

Srážkoodtokové vztahy

Souhrn odtokových epizod v povrchovém toku Černé Nisy a podpovrchovém horizontu B3 byl statisticky zpracován. Obr. 6 ukazuje přímý vztah srážkového a odtokového množství pro celé povodí, spolu s vykreslením závislosti počáteční vlhkosti půdního profilu na odtokovém koeficientu. Z regresní analýzy je patrná úzká příčinná závislost velikosti odtoku na velikosti srážky. Poměrně zřetelný je i vztah počáteční vlhkosti půdního profilu na celkovém podílu odtoku z vypadlé srážky. Ten potvrzuje významný vliv předchozích srážek, ale i ostatních komponent hydrologické bilance, např. evapotranspirace na stav půdního profilu před další srážkoodtokovou událostí. Vlhkost půdního profilu do velké míry určuje průběh srážkoodtokové události.



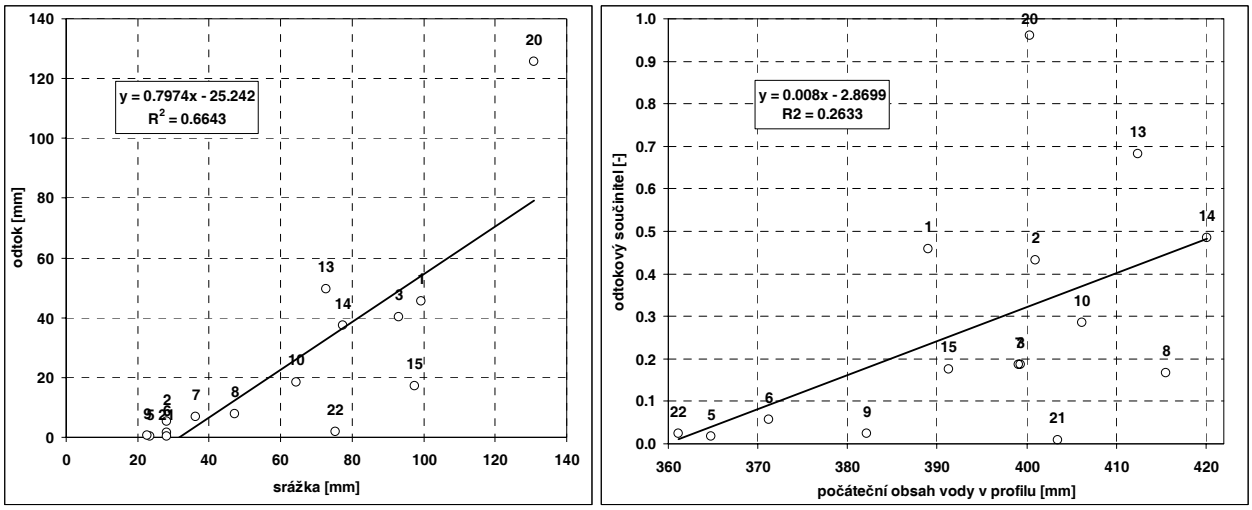
Obr. 6 Srážka, odtok z povodí a obsah vody v půdním profilu pro hydrologické epizody (Hrnčíř, 2005)

Fig. 6 Rainfall, outflow from the watershed and depth of water in the soil for hydrological events (Hrnčíř, 2005)

Stejná analýza srážkového a odtokového množství a počáteční vodní zásoby v půdním profilu pro podpovrchový odtok z půdního horizontu B3 je zpracována na obr. 7 pro epizody, kdy byl ve sběrném příkopě odtok zaznamenán. Soubor srážkoodtokových událostí je redukován jak povahou hydrologických událostí v povrchovém toku Černé Nisy, kdy některé méně významné epizody nezpůsobují vydatný podpovrchový odtok na svahu, tak i skutečností, že některé extrémní události nebylo možné zaznamenat z důvodu výpadku měřící techniky.

Z porovnaných výsledků je i pro události v horizontu B3 sběrného příkopu možné vysledovat poměrně jasnou závislost srážky na podpovrchovém odtoku a nárůst odtokového součinitele s vyšší vodní zásobou půdy na počátku události. Z obr. 7 je patrné, že korelační vztahy nejsou zdaleka tak jednoznačné, jako pro hodnocení odtoku z celého povodí. To je způsobeno i tím, že podpovrchový příkop sbírá odtok jen z nejvyšších vrstev půdního profilu a jeho nejhlubší horizont není omezen

nepropustným podložím. Tak dochází k hlubšímu podpovrchovému odtoku, který není v příkopě snímán. V opačném případě, při vydatné srážkové události, kdy je celý půdní profil nasycen, lze pozorovat, že téměř veškeré srážkové množství okamžitě odtéká sítí preferenčních cest a tvoří podpovrchový odtok, což zajisté neplatí pro povodí jako celek.



Obr. 7 Srážka, odtok z horizontu B3 a obsah vody v půdním profilu pro hydrologické epizody (Hrnčíř, 2005)

Fig. 7 Rainfall, outflow from the horizon B3 and depth of water in the soil profile for hydr. events (Hrnčíř, 2005)

ZÁVĚRY

Monitorování složek hydrologické bilance prokázalo, že podpovrchový a podzemní odtok jsou dominantní složkou plošného odtoku ze sledovaného povodí. Množství, dynamika a variabilita podpovrchového odtoku, tak jak byl detekován během srážkových epizod, jasně prokazuje dominantní podíl preferenčních cest při tvorbě odtoku z půdního profilu. Vysoká hydraulická vodivost vrchní půdní vrstvy a existence preferenčních cest v celém půdním profilu způsobuje, že nedochází k zatopení povrchu a k povrchovému plošnému odtoku. Půdní profil je podstatný pro tvorbu hydrogramu odtoku, provádí převážnou část celkového podpovrchového odtoku, během přívalových dešťů pak celý rychlý podpovrchový odtok. Pro proudění vody pod povrchem má zásadní důležitost heterogenní profil hnědé půdy. Ve zvětralinovém plášti žuly a v rašelinném prostředí je pohyb vody velmi omezený. Významný vliv na tvorbu odtoku má mikrotopografie povrchu terénu a podloží spádového území.

Z výsledků měření vyplývá, že podpovrchový odtok má epizodní charakter. Odtok probíhá v přímé závislosti na průběhu srážkové činnosti. Soustředěný povrchový odtok v údolí Černé Nisy a podpovrchový odtok měřený ve sběrném příkopu jsou v úzké korelaci. Podpovrchový odtok z z půdního profilu vykazuje velkou variabilitu. Celkový režim půdní vlhkosti na svahu je relativně velmi vyrovnaný. Vztah mezi vlhkostí půdního profilu na svahu a odtokem z povodí je lze korelovat. Rozdílné počáteční vlhkostní podmínky, velikost a doba trvání srážky v prostředí s makropóry zásadně ovlivňují proces infiltrace i odtoku zapojením odlišných cest proudění. Tím je významně ovlivněn průběh celé odtokové události.

Poděkování

Výsledky této studie byly získány v rámci řešení grantového projektu S2060104 Grantové agentury Akademie věd ČR.

Literatura

Císlerová, M., Šanda, M., Blažková, Š., Mazáč, O., Grünwald, A., Zeithammerová, J. a Tachecí, P. 1997. Monitorování procesů proudění vody v půdním profilu na experimetální ploše svahu v povodí Uhlířská. zpráva úkolu VaV/510/3/96, DÚ 01, část 8, VÚV T.G.M., ČVUT, Praha.

Císlerová, M., Šanda, M., Vogel, T., Tachecí, P. Grünwald, A., Zeithammerová, J., Stodolovská, A., Votrubová, J., Kundratová, J. a Picek, T. 1998. Výzkum transportních procesů v povodí dotčeném náhlými změnami odtokových poměrů (Jizerské hory), ČVUT FSv, zpráva za rok 1998, VaV/510/3/96-DÚ 01, VÚV T.G.M., ČHMÚ, ČVUT, Praha.

Hrnčíř, M. 2005. Study of runoff formation from a small mountainous chatchment. MSc thesis, Cranfield University, Silsoe, UK.

Šanda, M. 1999. Tvorba podpovrchového odtoku na svahu.Doktorská disertační práce. ČVUT, Praha.

Šanda, M., Vogel, T. Císlerová, M. 2004. Euromediterranean Conference. Hydrograph formation in the hillslope transect. "Progress in Surface and Subsurface Water Studies at the Plot and Small Basin Scale", Turin, Italy.

Tachecí, P. 2002. Hydrologický režim malého horského povodí a posouzení vlivu odlesnění. Doktorská disertační práce. ČVUT, Praha.

van Genuchten, M.Th. 1980. A closed Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Science Society of America Journal: 44, 892-898.

Vogel, T., Císlerová, M. and Hopmans, J.W. 1991. Porous media with linearly variable hydraulic properties, Water Resources Research, 27 (10), 2735-2741.

Autoři

Martin Šanda, České vysoké učení technické, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, martin.sanda@fsv.cvut.cz

Miroslav Hrnčíř, České vysoké učení technické, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, hrncirm@email.cz

Lukáš Novák, České vysoké učení technické, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, lukyfsv@centrum.cz

Milena Císlerová, České vysoké učení technické, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, cislerova@fsv.cvut.cz

TRETÍ VODNÝ ZDROJ V SYSTÉME VODNÝCH ZDROJOV V PODMIENKACH KLIMATICKEJ ZMENY

Július Šútor

Predkladaná štúdia analyzuje mikroštruktúru kolobehu vody v území spolu s vodou bilanciou, so zameraním na zónu aerácie pôdy, v ktorej sa počas uvedeného kolobehu akumuluje voda majúca v prírodných podmienkach funkciu vodného zdroja pre biosféru. S využitím údajov o výmere poľnohospodárskej a lesnej pôdy sna území Slovenskej republiky, údajov o hĺbke, ako aj experimentálne určených vlhkostných retenčných čiar pôdnych druhov boli výpočtom určené objemy vody v zóne aerácie pôdy pre vlhkosti zodpovedajúce poľnej vodnej kapacite (PVK), bodu zníženej dostupnosti vody rastlinám (BZD) a pre bod vädnutia (BV). Berúc do úvahy definície vodných zdrojov povrchovej a podzemnej vody je formulovaná zásoba vody v zóne aerácie pôdy ako vodný zdroj pre biosféru.

Kľúčové slová: Pôdna voda, Vlhkostný režim pôdy, voda v zóne aerácie pôdy

The third water source in the system of water resources under conditions of climatic change. *In the present paper a microstructure of hydrologic cycle in the territory is analysed, together with water balance, directed to unsaturated zone of the soil profile, or canopy, in which during the given hydrologic cycle, water is accumulated, having under natural condition the function of water resource for biosphere. With the use of data on the agriculture and forest land in the territory of Slovak Republic, data on the depth as well as experimentally established moisture retention curves of the soil types, by means of calculation there was determined water capacity in unsaturated soil for the moisture, corresponding to field capacity (PVK), to the point of decreased availability of water to plants (BZD) and to the willing point (BV). Considering the definition of water resources of surface water and groundwater, the definition of soil water is formulated as water resource for biosphere.*

Key words: Soil Water, soil moisture regime, and water in the aeration zone

---

ÚVOD

Zásoba vody v zóne aerácie pôdy tvorí zdroj vody pre biosféru a popri povrchovej vode (ako I. zdroja vody) a podzemnej vode (ako II. zdroja vody) v systéme vodných zdrojov územia predstavuje jeho III. vodný zdroj (Šútor,1991).
Pre analýzu tvorby a dynamiky zásob vody v zóne aerácie pôdy, teda III. vodného zdroja, je potrebné zo systému A-VP-ZAP-PV vymedziť základnú priestorovú jednotku, zabezpečujúcu podmienky interakčných javov prenosu vody v uvedenom systéme. Pomenujme túto jednotku ***kontrolovaným objemom systému atmosféra-vegetačný pokryv-zóna aerácie pôdy-podzemná voda,*** skrátene KOS A-VP-ZAP-PV. Pre jeho definovanie analyzujme jednorozmerný interakčný pohyb vody vo vymedzenom segmente systému A-VP-ZAP-PV zo zvislej súradni-covej rovine XOZ podľa obr. 1. Zvoľme v tejto rovine tri rezy *n+1, n, n-1*, vzdialené od seba Δx. Vymedzme ďalšie rezy medzi *n+1* a *n*, s označením *n,n+1, n* a medzi *n a n-1* s označením *n,n-1*. Ak predpokladáme, že úseky Δx sú jednotkové podobne ako šírka, filtračného prúdu podzemnej vody potom rezy (*n,n+1, n)* a (*n, n,n-1)* vymedzujú rovinu rezu KOS A-VP-ZAP-PV vo zvislej súradnicovej rovine. KOS A-NZ-PV je konvenčnými hranicami vymedzená časť kontinua systému, ktorého geometrický útvar je štvorboký hranol, so základňami definovaných dĺžok (obr. 1).
V súlade so základnými princípmi rastrovej reprezentácie priestorového objektu v GIS-e (Tuček, 1998) hornú a dolnú základňu KOS A-VP-ZAP-PV môžeme pomenovať „pixlom“ (plošná buňka rastru) a trojroz-mernú variantu pixlu, tj. štvorboký hranol, termínom „voxel“.

Vrchná základňa (pixel) je vymedzená na rozhraní podsystémov A – VP, resp. VP – ZAP, tj.- na povrchu pôdy a dolná na nepriepustnom podloží. Dve hrany vrchnej základne sú totožné so smerom osi "X" kartézskej súradnicovej sústavy, v smere ktorej na povrchu pôdy môže vzniknúť povrchový odtok a pod hladinou podzemnej vody v tomto smere prúdi podzemná voda. Vymedzený objem (voxel) je fixný, so zvyšnou časťou kontinua systému interaguje cez vymedzené hranice, a to na

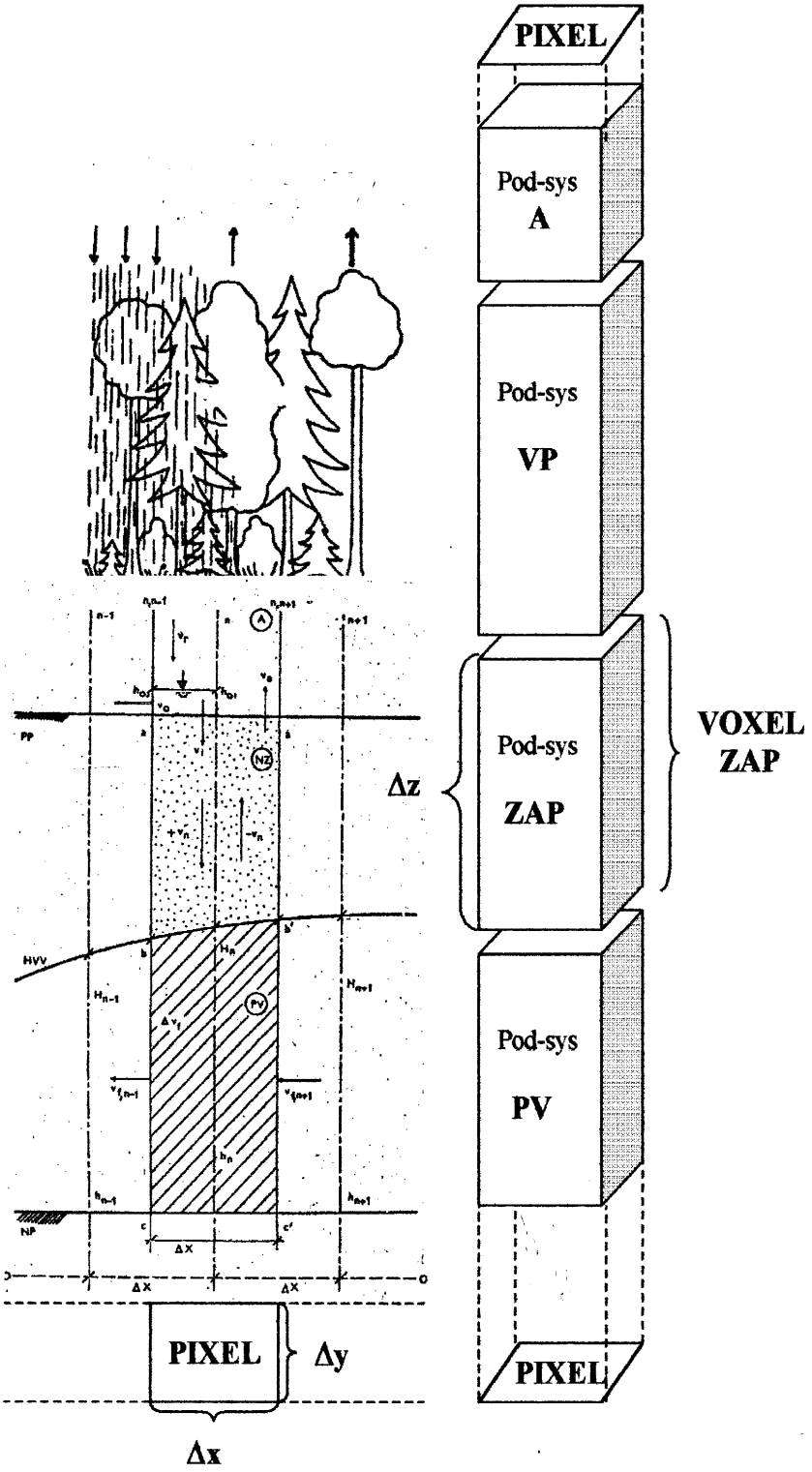
jednom alebo na viacerých miestach vymedzených hraníc. Takto definovaný objem slúži pre kvantifikáciu retencie vody počas hydrologického cyklu, pre pozorovanie režimových charakteristík (premenných stavu jednotlivých podsystémov) a pre štúdium zákonitostí, ktorým sa pohyb vody v systéme A-VP-ZAP-PV podriaďuje. V prípade diskontinuity zóny aerácie pôdy s hladinou podzemnej vody dolná základňa je stotožnená s dolnou hranicou aktívneho horizontu zóny aerácie pôdy. Je to hĺbka s dôležitým hydrologickým významom. Jej hodnota závisí od intenzívnosti prebiehajúcich procesov. Schematické znázornenie sa uvádza na obr.2

Vyššie definovaný geometrický útvar objektu KOS A-VP-ZAP-PV umožňuje definovať územie ako množinu priestorovo na seba naväzujúcich elementov – voxlov, rôzneho tvaru a veľkosti, ktoré kompletne zapĺňajú skúmaný priestor územia, v našom analyzovanom prípade, povodia. V súlade s uvedeným na povrchu povodia základným zobrazovaním elementom, resp. zobrazovanou bunkou plochy, je pixel. Tvorí základ výpočtovej siete, ktorej štruktúra spravidla býva štvorcového tvaru avšak tento výber je závislý od charakteru riešenia problému.

Pri analýze účinku klimatickej zmeny na bilanciu vody v poľnohospodársky využívanom území Žitného ostrova s využitím numerickej simulácie na matematickom modeli DAISY, v práci Takáča (2001) sa využíva pravidelnú štvorcovú sieť s rozmerom pixlu 300 x 300 m. Štvorcovú nepravidelnú sieť pre diskretizáciu územia používa Kosorin (1997, 1999) pri výskume vzájomného spolupôsobenia kanálovej siete Žitného ostrova, a to s rozmermi pixlu (bunky siete) s variabilnými stranami v rozmedzí 50 až 400m. Pri priestorovej diskretizácii hydrogeologického systému v údolnej nive Váhu na získanie charakteristík filtračného prúdenia podzemnej vody Burger (1998,2000, 2001) používa sieť s rozmermi pixlu 140 x 234m, resp. 200 x 234m.

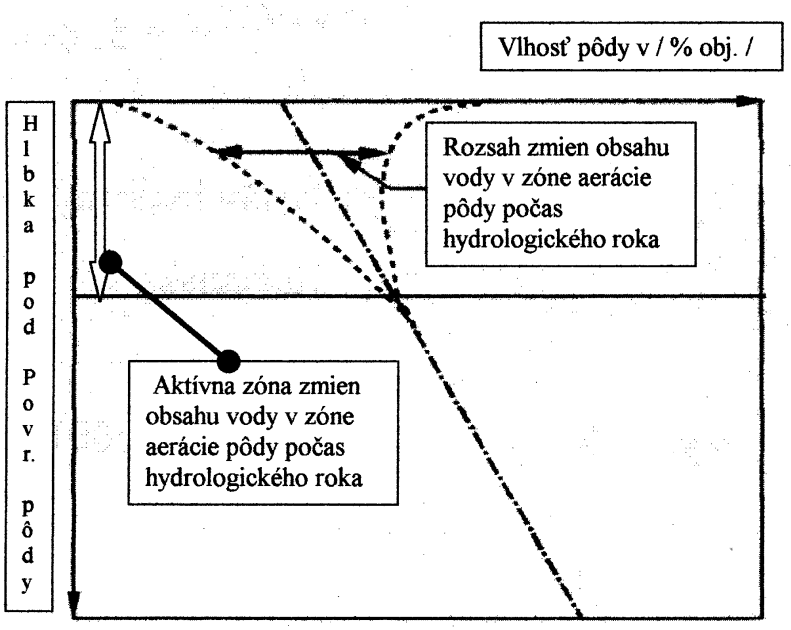
Kvantifikácia zásob vody a jej dynamiky v zóne aerácii pôdy v jeho geometricky vymedzenom útvare - voxli (obr.1), zodpovedá reálnym procesom pohybu vody v systéme A-VP-ZAP-PV v nížinnom území. Ďalej takto formulovaný systém s definovaným geometrickým prejavom umožňuje získanie charakteristík dynamiky vody, t.j. rozdelenie vlhkosti vo vertikále pôdneho profilu, integrálne obsahy vody vo vybraných vrstvách zóny aerácie pôdy, prienik a výstup vody do a z hladiny podzemnej vody, fyzikálny výpar z povrchu pôdy a transpirácia.

Transformácia zrážok na odtok má niekoľko fáz. V prvej fáze zrážky **(P)** interagujú s vegetačným pokryvom v dôsledku čoho sa ich intenzita znižuje o intercepciu porastom **(Ip).** V tomto ponímaní vegetačný pokryv vystupuje svojou funkciou ako filter - nazývaný tiež zelený filter. V druhej fáze preniknuté zrážky **(P-Ip)** interagujú s rozhraním vegetácia-pôda, s povrchom pôdy. Infiltračné schopnosti pôdy **(Ii)** a intenzita zrážok **(P-Ip)** determinujú v sklonitom území povrchový odtok **(Po), keď Po = (P-Ip)** - **(Ii)** . Teda zrážky sú separované na zložku tvoriacu povrchový odtok a zložku prenikajúcu do zóny aerácie pôdy procesom infiltrácie. V nížinných oblastiach povrchový odtok nevzniká a teda objem vody preniknutý do pôdy **Qin** predstavuje akumuláciu vody v zóne aerácie pôdy. V tretej fáze nenasýtená zóna pôdneho profilu so svojou retenčnou schopnosťou a hydraulickou vodivosťou (mobilnými vlastnosťami) je schopná zadržať objem infiltrujúcej vody cez jej povrch **VVK** (využiteľná vodná kapacita) zodpovedajúci rozdielu hydrolimitov polnej vodnej kapacity **(PVK)** a bodu vädnutia **(BV), tj. (PVK-BV)**. Ak objem vody preniknutý počas zrážkovej udalosti do zóny aerácie pôdy **Qin** je vyšší ako **VVK** , vyvoláva odtok do nižších horizontov. Týmito vlastnosťami zóna aerácie pôdy predstavuje štvrtú fázu transformácie zrážok na odtok. Vzhľadom na tvorbu podpovrchového odtoku jej funkcia má tiež charakter „filtru“, ktorý sa nazýva hnedým filtrom. (Duvigneaud, P.,1988):
Voda zadržaná zeleným a hnedým filtrom sa procesom evaporácie (E) a transpirácie (T) vracia do atmosféry. (E) a (T) sú členmi rovnice vodnej bilancie systému A-VP-ZAP-PV. Ich sumárnym vyjadrením je potenciálna a aktuálna evapotranspirácia, tj. Eto a Eta. Vzhľadom na odtok vody z územia, uvedené členy rovnice vodnej bilancie sa nazývajú členmi stratovými.



Obr. 1.Vymedzenie kontrolovaného objemu systému atmosféra-vegetačný pokryv-zóna aerácie pôdy-podzemná voda (KOS A-VP-NZ-PV - voxel).

Fig.1 Demarcate of the control volume in the system "atmosphere - canopy - zone of aeration - ground water" (in short KOS A-VP-NZ-PV)



Obr. 2. Aktívny horizont zóny aerácie pôdy.

Fig.2 The active horizon in the aeration zone of soil

Počas hydrologického roku, resp. počas vegetačného obdobia, vegetačný pokryv vyžaduje pre zabezpečenie jeho existencie objem vody **Qv**. Pre poľnohospodárske plodiny tento potrebný objem sa uvádza v **Tab.1.** Pre hodnotenie zásobovania vegetačného krytu vodou v rámci hydrologického cyklu vychádzame z úhrnu zrážok preniknutých do zóny aerácie pôdy, **ΣQin** delených s **Qv**, teda **Qin/Qv.**

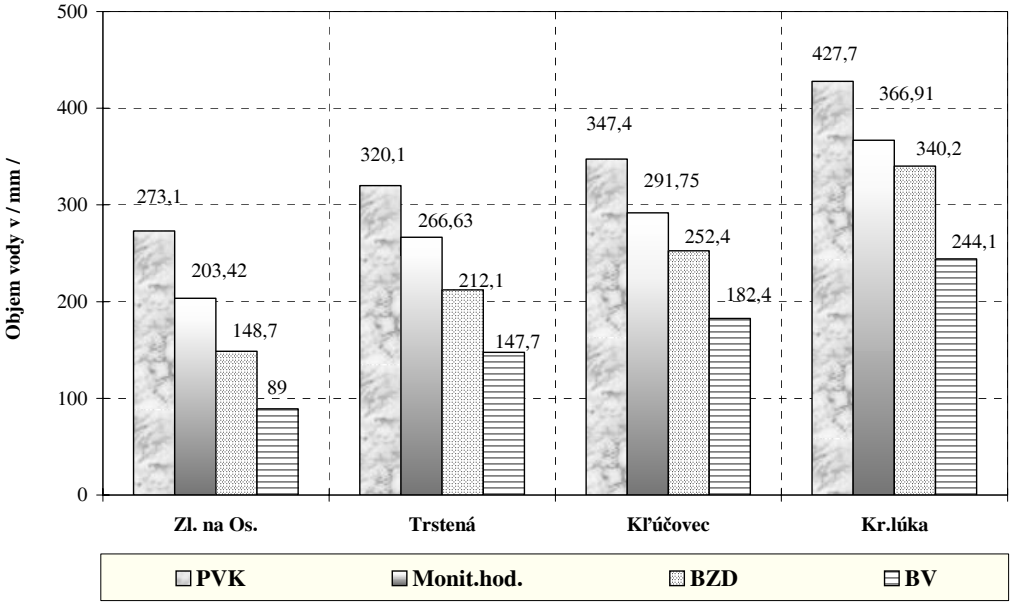
Ak **ΣQin /Qv > 1** vegetačný pokryv môže byť dostatočne zásobovaný vodou (1)

Prebytočná voda preniká do nižších horizontov. Z obr.1 je zrejmé, že odtok vody z podsystému ZAP zásobuje podzemné vody.

Ak lim **ΣQin -Qv** sa blíži k **1**, postupne sa znižuje odtok do podzemnej vody a hladina podzemnej vody má tendenciu klesať. Poklesom hladiny podzemnej vody v danom regióne sa znižuje odtok do riečnej siete a teda sa potenciálne znižujú i ich prietoky. Týmto javom je venovaná veľká pozornosť. Dopadom klimatickej zmeny na odtok vody riečnou sieťou , resp. vo vybraných slovenských tokoch sú venované práce Szolgaya a kol. (1997), Szolgaya a Hlavčovej (2000), Hlavčovej a kol. (1999), Hlavčovej a kol. (2000) a v práci Kostka a Holku (2001). Vplyv na chod hladín podzemnej vody v jednotlivých regiónoch Slovenska je kvantifikovaný v prácach Majerčákovej a Takáčovej (1998), Kulmana a kol. (1995), Majerčákovej (1995), Takáčovej (1997) a Fendekovej (1997). Hodnotenie dopadu klimatickej zmeny na zásoby vody v pôde, keď na pôdny profil nemá vplyv hladina podzemnej vody, a to s pomocou charakteristiky evapotranspiračného deficitu, ktorý zodpovedá hodnotám rozdielu potenciálnej Eto a aktuálnou Eta evapotranspirácie (Eto – Eta) sú náplňou prác Tomlaina (1994, 1996, 1997). V uvedených prácach sa štandartne počíta s mocnosťou pôdneho profilu 80 cm, čo vnáša nepresnosti na stavenie Eto a odtoku vody do nižších horizontov.

Z tohoto aspektu „podsystém ZAP“ (pozri obr.1) hrá kľúčovú úlohu pri hodnotení dopadu klimatickej zmeny na vodný režim územia. Katastrofický stav pre odtok vody z územia a klesanie hladiny podzemnej vody nastáva ak (**ΣQin –Qv)=1, alebo je < 1.**

Zásoby vody v zóne aerácie pôdy (teda charakteristiky III. vodného zdroja) nie sú na území Slovenska plošne monitorované. Kvantifikácie, získané nepriamou metódou, overenou monitoringom v podmienkach Žitného ostrova a Východoslovenskej nížiny, poskytujú informatívne údaje o tom, že v poľnohospodárskych pôdach na území Slovenska sa vyskytuje takmer 7,0 mld m^3 a v lesných pôdach približne 3,9 mld m^3 vody pri vlhkosti zodpovedajúcej poľnej vodnej kapacite a približne 5,0 mld m^3 a 2.6 mld m^3 pri vlhkosti zodpovedajúcej zníženej dostupnosti vody rastlinnému krytu (Šútor - Rehák, 1999). Priamym monitoringom dynamiky zásob vody v pôde pri mocnosti pôdneho pokryvu 100 cm sa v prírodnom prostredí Žitného ostrova od roku 1989 až roku 1997 získali hodnoty pohybujúce sa, pre jednotlivé pôdne druhy, medzi vlhkosťami zodpovedajúcimi poľnej vodnej kapacite a bodu zníženia dostupnosti vody vegetačnému pokryvu (Šútor, 1999) . Uvedené je dokumentované na obr.3.



Obr.3 Priemerné ročné hodnoty zásob vody v 1,0 m horizonte pôdy získané monitoringom a vypočítané z hydrolimitov. PVK - poľná kapacita, BZD-bod zníženej dostupnosti vody pre rastliny (odpovedajúci pF=3.3) a BV-bod vädnutia. Lokality Zlatná na Ostrove, Trstená, Kľúčovec a Kralovská lúka,

Fig.3 The average year values of the water storage in the upper 1.0 m soil layer as measured and calculated from hydrolimit PVK - field capacity, BZD - soil water content of limited availability for plants (corresponding to pF= 3.3) and BV - wilting point in the sites Zlatná na Ostrove, Trstená, Kľúčovec and Královská lúka, in 1994.

Na základe výsledkov porovnania obsahu vody v zóne aerácie piesočnatých a hlinito- piesočnatých pôd (lokalita Zlatná na Ostrove), piesočnato-hlinitých a hlinitých pôd (lokalita Trstená), ílovito-hlinitých pôd (lokalita Kľúčovec) a ílovitých pôdy (lokalita Královská lúka) získaných priamym monitoringom a predloženým výpočtom možno konštatovať, že pre región Žitného ostrova, vypočítané hodnoty s monitorovanými sú reálne pre interval hodnôt obsahu vody v zóne aerácie pôdy medzi BZD a PVK.

Zásoby vody v zóne aerácie pôdy, ako zdroja vody pre poľnohospodárske a lesné ekosystémy, predstavujú zdroj života pre daný región a sú pod silným pôsobením antropogénnej činnosti a pod vplyvom pomalých globálnych zmien, resp. jedným z ich fenoménov známym pod pojmom klimatická zmena.

V posledných rokoch sa klimatickej zmene pripisujú záplavy v jednotlivých povodiach riek strednej Európy. Tieto záplavy spôsobili nielen rozsiahle, nevyčísliteľné škody ale zanechali stopy na prírodnom prostredí, ktoré majú dlhodobé následky. Zásoby vody v zóne aerácie pôdy sú jednou zo zložiek prírodného prostredia na ktorých záplavy zanechávajú svoje časovo takmer nezmazateľné

stopy, a to cez ich impakt na pôdu. Vyplavovaním jemných častíc, resp. kolmatáciou jej pórov, či už na povrchu alebo v nižších horizontoch, zmenou objemovej hmotnosti, zmenou chemizmu, eróziou humusu jej povrchu, deštrukciou pôdneho pokryvu zosunmi alebo odnosom, atď. sa znižujú vodné retenčné hodnoty III. vodného zdroja uvádzané vyššie, zrýchľuje sa odtok vody z povrchu pôdy, zväčšuje alebo blokuje sa odtok vody do nižších horizontov, mení sa vzájomné spolupôsobenie hladiny podzemnej vody s pôdnym profilom, a tým sa narušuje účasť podzemných vôd na vodnej bilancii územia. Inými slovami, narušuje sa status quo interakcie jed-notlivých zložiek prírodného prostredia v danom území so zákonitým negatívnym účinkom na zdroj vody pre biosféru.
Ďalším prejavom klimatickej zmeny je výskyt období sucha, ktoré sú charakteristické: minimalizáciou hladinového režimu v riečnej a kanálovej sieti, vyprázdňovaním bazénu podzemných vôd, znižovaním zásob vody v zóne aerácie pôdy, klesaním výdatnosti zdrojov vody a znižovaním, resp. likvidáciou, rastlinnej produkcie v poľnohospodárskych ekosystémoch.. Všeobecne, negatívne zasahuje do biodiverzity nížinných území, t.j. na rozšírenosť rastlinných druhov, čím nepriaznivo zasahuje do udržateľnosti prírodného prostredia.
Indikátorom pôsobenia extrémnych meteorologických javov na vodný režim územia, je ich pôsobenie na dynamiku zásob vody v zóne aerácie pôdy. Od priebehu týchto zmien sa odvíja znižovanie odtoku vody z územia riečnou sieťou, regionálne klesanie hladín podzemných vôd, a klesanie výdatnosti prameňov. Na základe uvedeného, pre kvantifikáciu tvorby, dynamiky a ochrany III. vodného zdroja je potrebné o tomto zdroji prehĺbiť a rozšíriť poznatkovú základňu hlavne v smere jeho interakcií s procesmi prebiehajúcimi v atmosfére, vegetačnom kryte a s podzemnými vodami.

Súhrn.

V predloženom referáte sa analyzujú podmienky tvorby a dynamiky zásob vody v zóne aerácie pôdy v nížinných oblastiach pre podmienky klimatickej zmeny s využitím poznatkov o tvorbe a dynamike zásob vody v systéme atmosféra-vegetačný pokryv-zóna aerácie pôdy-podzemná voda, údajov vlhkosti pôdy získané priamym monitoringom a údajov získaných metódou nepriameho výpočtu zásob vody v zóne aerácie pôdy zodpovedajúcich hydrolimitom: PVK (polnej vodnej kapacite), bodu zníženia dostupnosti (BZD) a BV (bodu vädnutia).
Zásoba vody v zóne aerácie pôdy tvorí zdroj vody pre biosféru a popri povrchovej vode (ako I. zdroja vody) a podzemnej vode (ako II. zdroja vody) v systéme vodných zdrojov územia predstavuje jeho III. vodný zdroj (Šútor,1991). Tento zdroj počas celého vegetačného obdobia kontinuálne zásobuje vodou vegetačný kryt. Počas celého hydro-logického roka sa kontinuálne podieľa na odtoku vody do nižších geologických štruktúr a na podzemnom odtoku z povodia.
Na základe urobenej analýzy transformácie zrážok vo vertikále kontrolovaného objemu systému atmosféra – vegetačný pokryv – zóna aerácie pôdy – podzemná voda (v skratke KOS A-VP-ZAP-PV) sa konštatuje, že podsystém ZAP (označovaný tiež ako hnedý filter) má významnú úlohu pri podpovrchovom odtoku a signalizuje katastrofický stav, vzhľadom na extrémne meteorologické javvy, keď celkový úhrn zrážok je spotrebovaný vegetačný pokryvom. Nastáva pokles hladiny podzemnej vody a znižujú sa prietoky vo vodných tokoch. V dlhodobom prejave je vplyv aj na vydatnosť prameňov.
Napriek tomu sa tomuto vodnému zdroju venuje relatívne menšia pozornosť vzhľadom na I. a II. vodný zdroj. Túto skutočnosť dokumentujú aj publikované schémy systému povodia s rozloženými parametrami. Jeden z dôvodov tejto situácie je ten, že celoplošný monitoring zásob vody v zóne aerácie u nás nie je organizovaný. Preto oproti systematickému pozorovanie kvantity a kvality vody vo vodných tokoch, v sieti kanálov, podzemnej vody, zrážok a výparu, sú informácie o zásobách vody v zóne aerácie sporé. Táto absencia údajov a ich interpretácií na súčasnej hydrologickej poznatkovej úrovni poskytuje u nás v posledných rokoch priestor pre šírenie rôznych dezinformácií o účinku klimatickej zmeny na hydrosféru pevniny.

Poďakovanie:
Táto práca bola podporovaná Agentúrou pre podporu vedy a techniky prostredníctvom finančnej podpory č.APVT-51-044802

Literatúra.

Burger, F. (1998): Koncepčný model prúdenia podzemnej vody v údolnej nive Váhu na úseku Kráľová-Hlohovec. Acta Hydrologica Slovaca 1/1998, Pokroky v hydrológii 97, ÚH SAV, Bratislava, 155-174.

Burger, F. (2000): Režim podzemnej vody v poriečnej nive dolného Váhu. Časť I. Súčasný režim, jeho modelovanie a prognóza vývoja, J. Hydrol. Hydromech., 48, 2, 142-162.

Burger, F. (2001): Priestorová diskretizácia hydrogeologického systému do modelu prúdenia podzemnej vody. In: Zborník zo IV. vedeckej konferencie "Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia", ÚH SAV, Michalovce - Zemplínska Šírava, 115-120.

Duvigneaud, P. (1988): Ekologická syntéza. ACADEMIA, Praha, 414 str.

Fendeková, M.(1997): Metódy prognózovania zmien výdatnosti prameňov a ich aplikácie. Podzemná voda III./1997, č.2, s.46/55

Hlavčová, K., J. Szolgay, J. Parajka, J. Čundelík (2000): Modelovanie vplyvu zmeny klímy na režim odtoku v regióne stredného Slovenska. Zväzok č, 9 Národného klimatického programu SR, MŽP SR a SHMÚ, Bratislava, 15-38

Hlavčová, K., J. Szolgay, J. Čunderlík, J. Parajka, M. Lapin (1999): Impact of climate change on the hydrological regime of rivers in Slovakia. Publication of the Slovak Committee for Hydrology No.3. Vydavateľstvo STU a SVH MHP UNESCO, Bratislava, 101 s.

Kosorin, K. (1997): Priestorová dynamika podzemných vôd Žitného ostrova, J. Hydrol. Hydromech., 45, No. 5.

Kosorin, K. (1999): Control of groundwater dynamics by means of interaction with channel systems. Zborník z 3. ved. Konferencie "Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim níž. územia",Michalovce, máj 1999, ÚH SAV, 114-118.

Kostka, Z., L. Holko (2000): Vplyv klimatickej zmeny na priebeh odtoku v malom horskom povodí. In: Scenáre klimatickej zmeny a impakty. Zväzok č. 8 Národného klimatického programu SR, MŽP SR a SHMÚ, Bratislava, 91-109

Kullman, E., J. Slamka, J. Gavurník (1995): Zhodnotenie vplyvu klimatických zmien na režim výdatnosti prameňov a predpokladaný dopad týchto klimatických zmien na disponibilné množstvá podzemných vôd. [Správa pre NKP], SHMÚ, Bratislava, str.11

Majerčáková, O. -D. Takáčová (2001): Možné dôsledky klimatických zmien na hladinový režim podzemných vôd v alúviach. In: Nové scenáre klimatickej zmeny a ich využitie.. Zväzok č.11 Národného klimatického programu SROV. MŽP SR a SHMÚ, 31-49.

Majerčáková,O.: Možné dôsledky zmien klímy na hydrologickú bilanciu a na vodné hospodárstvo a opatrenia na ich zmiernenie. Súhrnná správa č.2, NKP, SHMÚ Bratislava, 1995

Majerčáková,O.: Možné dôsledky zmien klímy na hydrologickú bilanciu a na vodné hospodárstvo a opatrenia na ich zmiernenie. Súhrnná správa č.2, NKP, SHMÚ Bratislava, 1995

Szolgay, J., K. Hlavčová (2000): Modelové riešenie odhadov vplyvu zmeny klímy na hydrologický cyklus a vodné hospodárstvo. Životné prostredie, XXXIV., č.2, 75-80

Szolgay, J., K. Hlavčová, J. Párajka, J. Čunderlík (1997): Vplyv klimatickej zmeny na odtokový režim na Slovensku. In: Klimatické zmeny – hydrológia a vodné hospodárstvo SROV. Zväzok č.6 Národného klimatického programu, MŽP SR a SHMÚ, Bratislava, 11-110.

Šútor, J. (1991): Pôdna voda v systéme využiteľných vodných zdrojov. Vodohosp. Čas., 39,č.5-6,s435-447

Šútor, J. (2003): Retencia a dynamika vody v zóne aerácie pôdy ako súčasť hydrologického cyklu. I. Pohyb vody v povodí v systémovej interpretácii. Acta Hydrologica Slovaca, ročník 4, č.1, 10-20.

Šútor, J., Š. Rehák (1999): Evaluation of disposable water supply in soil for biosphere in the area of Žitny ostrov. In: Scientific Papers of the Research Institute of Irrigation . Bratislava, No 24,pp173-187

Takáč, J. (2001): Dôsledky zmeny klímy na bilanciu vody v poľnohospodárskej krajine. In: Monitorovanie klimatickej zmeny na Slovensku a možné dôsledky, NKP, Bratislava, s.16-26.,

Takáčová,D.(1997): Možné dôsledky klimatickej zmeny na hladiny podzemnej vody v oblasti Žitného ostrova [Správa pre NKP], SHMÚ, Bratislava, str.16

Tomlain,J. (1994) : Dôsledky zmien základných klimatických charakteristík na zmeny obsahu vlahy v pôde vo vybraných lokalitách Slovenska. Acta Meteorologica No XXIII, Bratislava.

Tomlain,J. (1996) : Modelové výpočty dôsledkom zmeny klímy na zmeny potenciálnej a skutočnej evapotrasnpirácie na Slovensku. NKP SR, 3, č.4, Ministerstvo životného prostredia SR, SHMÚ, s.45-74

Tomlain,J. (1997) : Modelový výpočet dôsledkov očakávanej zmeny klímy na obsah vody v pôde na Slovensku. Národný klimatický program SR, IV, 1997, zv.7.

Tuček, J. (1998) : Geografické informačné systémy – GIS. Vydavatelství a nakladatelství Computer Press, Praha, 423 str.

RNDr.Július Šútor, DrSc.
Ústav hydrológie SAV,
Račianska 75,
Telefon: +4212 44259,
E-mail: sutor@uh.savba.sk

HYDROLOGICKÉ EXTRÉMY

Demeterová B., Škoda P., Šipikalová H., Gápelová V., Síčová B., Liová S., Magulová R.
M – denné prietoky na slovenských tokoch v období 1961-2000 472

Elleder L.
Extrémní zimní povodně v letech 1784, 1830,1845 a 1862 v povodí Labe, společné rysy a odlišnosti 480

Gomboš M., Tall A.
Vplyv zrážkových extrémov na zásobu vody v ťažkej pôde..... 492

Chalušová J.
Vliv fyzickogeografických faktorů na časový a prostorový výskyt povodní v povodí Labe 498

Kaleta S.
Porovnání přirozené vodní retence vybraných povodí 512

Kamenský J., Mišík M.
Záplavové čiary v údolí Torysy pod Prešovom 522

Kněžek M., Krátká M.
Kvantifikace režimu podzemních vod při extrémních hydrologických situacích 525

Kohnová S., Szolgay J., Hlavčová K.
K neistote určovania návrhových maximálnych prietokov na malých povodiach 532

Kovář P.
Možnosti využití modelu KINFIL pro simulaci významných průtokových vln na malých povodích 538

Kulasová B., Boháč M.
Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní statistickými přístupy..... 548

Munzar J., Ondráček S.
Velké povodně na Odře v 19. a počátkem 20. století a jejich impakty 564

Podolinská J., Šipikalová H., Škoda P., Blaškovičová L., Demeterová B.
Stanovenie N - ročných maximálnych prietokov na tokoch Slovenska 570

Řehánek T.
Analýza významných povodní v povodí Odry..... 578

Solín Ľ.
Analýza niektorých aspektov identifikácie hydrologicky homogénnych regionálnych tried pre účely regionálne frekvenčnej analýzy maximálnych prietokov..... 587

Šercl P.
Odvození teoretických povodňových vln deterministickými přístupy pro účely posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní 596

Šír M., Lichner L., Tesař M.
Biotický a abiotický hydrologický cyklus..... 612

Podhrázská J., Uhlířová J.
Extrémní hydrologické jevy v malých povodích – koncepční řešení ochrany území A-1

M – DENNÉ PRIETOKY NA SLOVENSKÝCH TOKOCH V OBDOBÍ 1961 – 2000

Beata Demeterová, Peter Škoda, Helena Šipikalová, Viera Gápelová,
Beáta Síčová, Soňa Liová, Renáta Magulová

M – denné prietoky patria medzi základné hydrologické charakteristiky. Hydrologické charakteristiky sú vždy viazané na obdobie pozorovania hydrologického prvku z ktorého sú odvodené. Referenčné obdobie a z neho získané hydrologické charakteristiky sa používajú ako porovnávací etalón. V súčasnosti Hydrologická služba Slovenského hydrometeorologického ústavu pristupuje k zmene referenčného obdobia 1931 – 1980 na nové referenčné obdobie 1961- 2000. V predloženom príspevku predkladáme metodiku spracovania M – denných prietokov v novom referenčnom období, porovnanie oboch období vo vybraných vodomerných staniciach a zhodnotenie M – denných prietokov na slovenských tokoch v novom referenčnom období

Kľúčové slová: referenčné obdobie, hydrologické charakteristiky, M – denné prietoky

M-day discharges belong between basic hydrological characteristics. *Hydrological characteristics are bounded always on the period of observation of hydrological element, from which they are derived. The reference period and hydrological characteristics achieve from it can by applied as calibrate standard. The Hydrological employ of Slovak hydro meteorological institute proceed to change of reference period 1931-1980 on one new reference period 1961-2000 in this time. In the submitted study are presented the methodology of elaboration M-day discharges in a new reference period, both periods' comparisons in selected stage-discharge gauging stations and M-day discharges valuation on Slovak streams in the new reference period.*

Key words: reference period, hydrological characteristics, M-day discharges

---

Úvod

V Slovenskej republike poskytovanie údajov o stave a režime vôd zabezpečuje Slovenský hydrometeorologický ústav. O režime povrchových tokov nás informujú základné hydrologické charakteristiky. Permanentnou úlohou sekundárnej hydrológie je konfrontácia základných dlhodobých hydrologických charakteristík s hydrologickým režimom posledných rokov na našich tokoch. Hydrologická služba SHMÚ v súčasnosti pristúpila k zásadnému kroku - spracovaniu základných hydrologických charakteristík za nové referenčné obdobie 1961 – 2000. Impulzom k spracovanie sú globálne zmeny klímy, extrémne suché desaťročie minulého storočia, nových 20 rokov monitoringu na našich tokoch, ktoré uskutočňuje Slovenský hydrometeorologický ústav, ale aj teoretické impulzy pre spracovanie časových radov a ich štatistických charakteristík v hydrológii. Ekonomické dopady optimálneho určenia hydrologických charakteristík sú všeobecne známe – teda spracovanie je z hľadiska celospoločenského vysoko aktuálne.
Hydrologické údaje povrchových vôd SHMÚ spracováva a poskytuje v zmysle STN 75 1400. M – denné prietoky patria medzi základné hydrologické údaje priemernej dennej vodnosti – ich spracovanie upravuje norma STN 75 1410-1. Definícia M – denných prietokov vychádza z pojmov: priemerný denný prietok, hydrologický rad priemerných denných prietokov, čiara prekročenia priemerných denných prietokov, výberové obdobie, ktoré sú definované v citovanej norme. M – denný prietok je priemerný denný prietok dosiahnutý, alebo prekročený po M dní vo zvolenom období. Pri M – denných prietokoch za viacročné obdobie symbolom „M“ označuje priemernú dobu dosiahnutia, alebo prekročenia príslušného prietoku v roku.

Podkladové údaje

Ako podkladové údaje slúžili:

1. Pozorovania vo vodomerných staniciach SHMÚ – časové rady priemerných denných prietokov v období 1961 – 2000. Pri metodike spracovania sme sa v prvom rade opierali o vodomerné stanice, ktoré pozorovali neprerušene v celom hodnotenom období 1961 – 2000.

Využili sa však všetky napozorované údaje v riečnej sieti Slovenska. Tieto údaje poskytujú podklady pre hodnotenie reálneho hydrologického režimu, ktorý v sebe zahŕňa v niektorých vodomerných staniciach aj antropogénnu činnosť súvisiacu so zmenami hydrologického režimu.

2. Údaje o užívaní vody – údaje slúžili k eliminácii zásahov ľudskej činnosti do hydrologického režimu.

Postup pri riešení úlohy

Pri spracovaní sme v plnej miere využili pozorovania v hydrologickej sieti SHMÚ, ktoré sú uložené v čiastkovom informačnom systéme SHMÚ HIS. Využité boli programové produkty HIS:

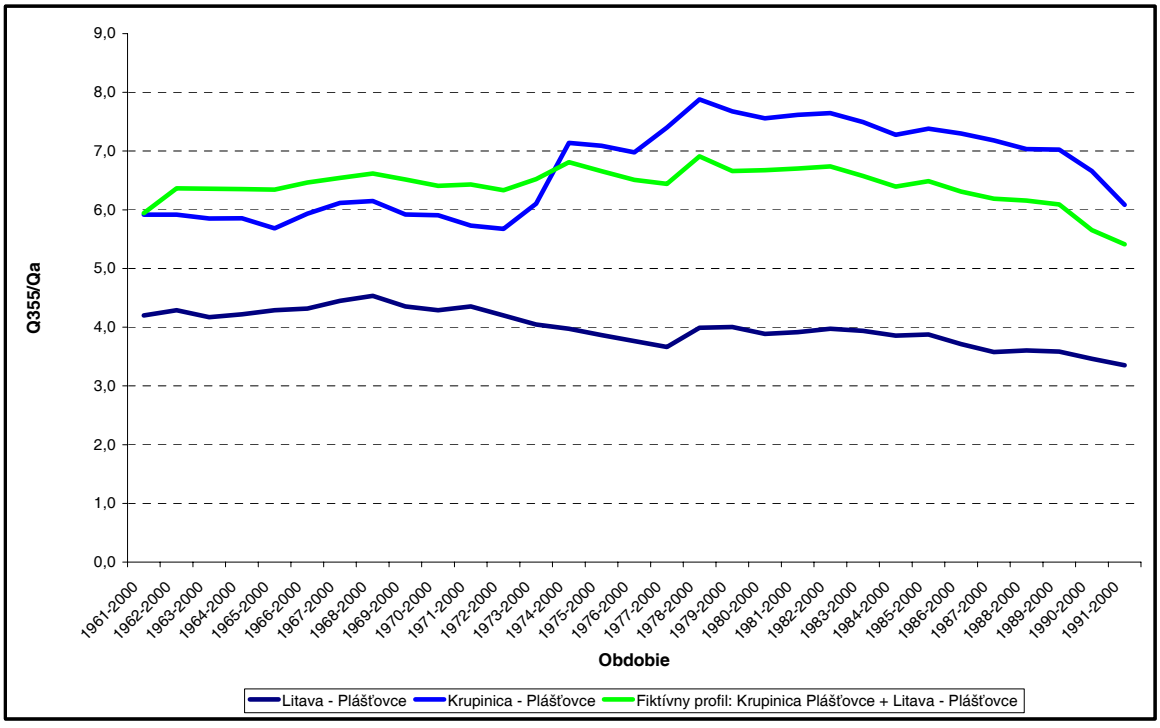
1. spracovanie M-denných prietokov za ľubovoľné obdobie,
2. spracovanie M-denných prietokov vo fiktívnych profiloch,
3. spracovanie M-denných prietokov v kĺzavých obdobiach.

Pre rozpracovanie hydrologických charakteristík do riečneho systému bola použitá priestorová a časová extrapolácia. Využili sa prostriedky hydrologickej analógie a štatistické nástroje používané v hydrológii. Výber analogických povodí bol na základe najlepšej korelácie rozdelenia odtoku v roku. Pri výbere analogónu sa testovali vzájomné korelačné vzťahy všetkých vodomerných staníc a všetkých období dlhších ako 5 rokov.

V riečnej sieti sa pri výpočte využívali prietokové rady vo fiktívnych profiloch. Prietokový rad vo fiktívnom profile vznikne spočítaním, odčítaním, alebo inou algebraickou operáciou s reálnymi napozorovanými radmi. Režim M-denných prietokov vo fiktívnmych profiloch sa využíva na rozpracovanie charakteristiky do riečnej siete. Na obr. 1 je znázornený koeficient stretávania pre Q355 v rôznych obdobiach.

Obr. 1 Určenie Q355 pod sútokom dvoch pozorovaných tokov

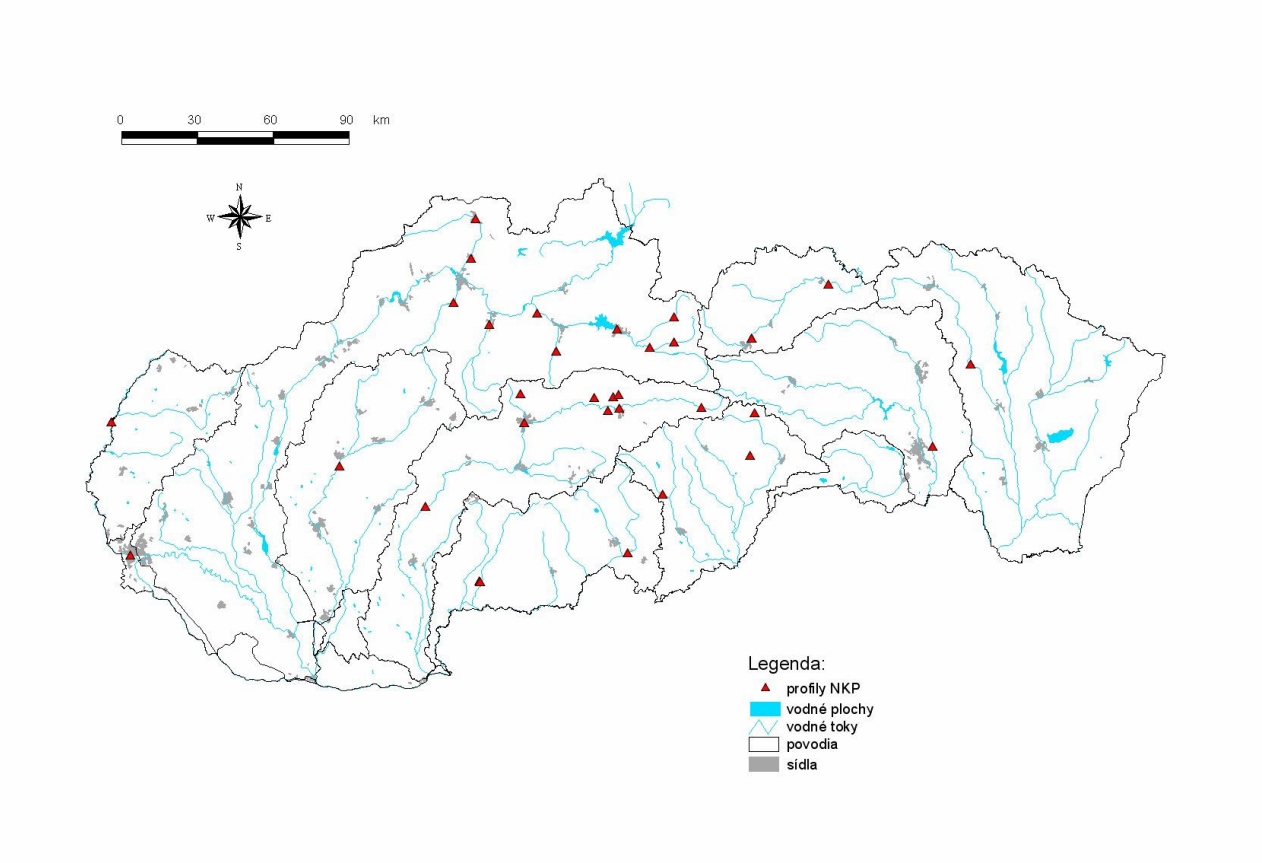
Fig. 1 355-day water bearing destination under junction of two observation rivers



Kĺzanie obdobia spracovania, ako aj skracovanie, resp predlžovanie obdobia po jednom roku nám dovoľujú optimálne zúročiť krátke časové rady priemerných denných prietokov (kratšie ako 40 rokov a dlhšie ako 5 rokov) na extrapoláciu v priestore a čase.

Porovnanie M - denných prietokov v dvoch referenčných obdobiach

Porovnanie oboch období uvádzame na vzorke 33 vodomerných staníc, ktoré mali nepretržité pozorovania v období 1931 – 2000, čo zahŕňa obe referenčné obdobia 1931 – 1980 a 1961 – 2000. Navyše tieto stanice prešli testmi homogenity a sú vhodné pre porovnanie režimových charakteristík oboch referenčných období. Tieto vodomerné stanice sú v odbornej verejnosti známe ako stanice národného klimatického programu – NKP stanice.



Tab. 1 Zoznam NKP vodomerných staníc.
Tab. 1 List of stage-discharge gauging stations in which are changes in both reference periods compared

P.č.	Č. st.	Tok	Profil	Plocha povodia km^2
1.	5040	Morava	Moravský sv. Ján	24 129,30
2.	5140	Dunaj	Bratislava	131 331,10
3.	5330	Biely Váh	Východná	105,64
4.	5340	Boca	Kráľova Lehota	116,60
5.	5400	Belá	Podbanské	93,49
6.	5550	Váh	Liptovský Mikuláš	1 107,21
7.	5740	Revúca	Podsuchá	217,95
8.	5790	Ľubochnianka	Ľubochňa	118,48
9.	6130	Turiec	Martin	827,00
10.	6180	Kysuca	Čadca	492,54
11.	6200	Kysuca	Kysucké Nové Mesto	955,09
12.	6300	Rajčianka	Poluvsie	243,60
13.	6690	Bebrava	Biskupice	312,60
14.	6730	Nitra	Nitrianska Streda	2 093,71
15.	6950	Hron	Zlatno	79,28

16.	7015	Hron	Brezno	582,08
17.	7045	Čierny Hron	Hronec	239,41
18.	7060	Bystrianka	Bystrá	36,01
19.	7065	Štiavnička	Mýto pod Ďumbierom	47,10
20.	7070	Vajskový potok	Dolná Lehota	53,02
21.	7160	Hron	Banská Bystrica	1 766,48
22.	7290	Hron	Brehy	3 821,38
23.	7440	Ipeľ	Holiša	685,26
24.	7580	Krupinica	Plášťovce	302,79
25.	7600	Litava	Plášťovce	214,42
26.	7660	Dobšinský potok	Dobšiná	31,97
27.	7730	Štítnik	Štítnik	129,63
28.	7860	Rimavica	Lehota nad Rimavicou	148,95
29.	8080	Poprad	Matejovce	311,10
30.	8180	Poprad	Strážky	670,10
31.	8870	Torysa	Košické Olšany	1 298,30
32.	9500	Topľa	Hanušovce	1 050,05

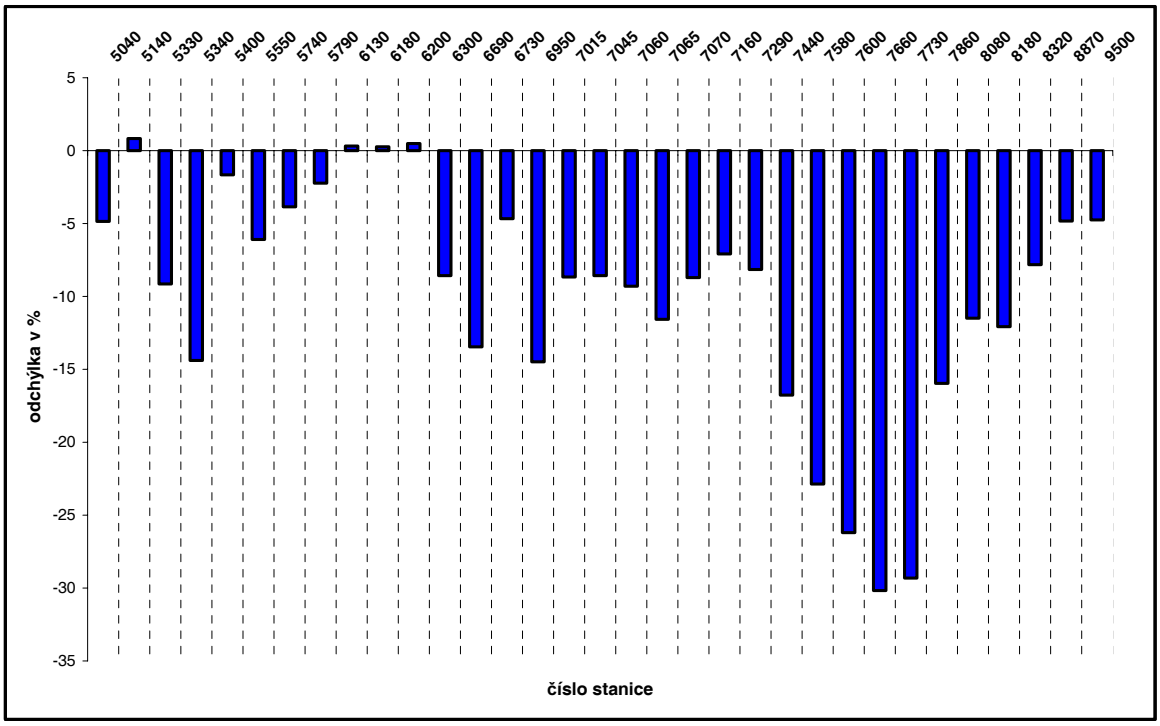
Tab. 2 M – denné prietoky v oboch referenčných obdobiach (1961 – 2000, 1931 – 1980).

Pri hodnotení režimových charakteristík, teda aj M - denných prietokov je nutné klasifikovať aj zmenu vodnosti oboch období, ako základnú orientáciu pre posúdenie hydrologického potenciálu oboch období.

Na obr. 2 je graficky znázornená zmena vodnosti nového obdobia ku starému percentuálnou odchýlkou $K_{Qa} = Q_{a,\ 1961\text{-}2000}/Q_{a,\ 1931-1980} * 100 - 100$.

Obr. 2 Zmeny priemerného prietoku

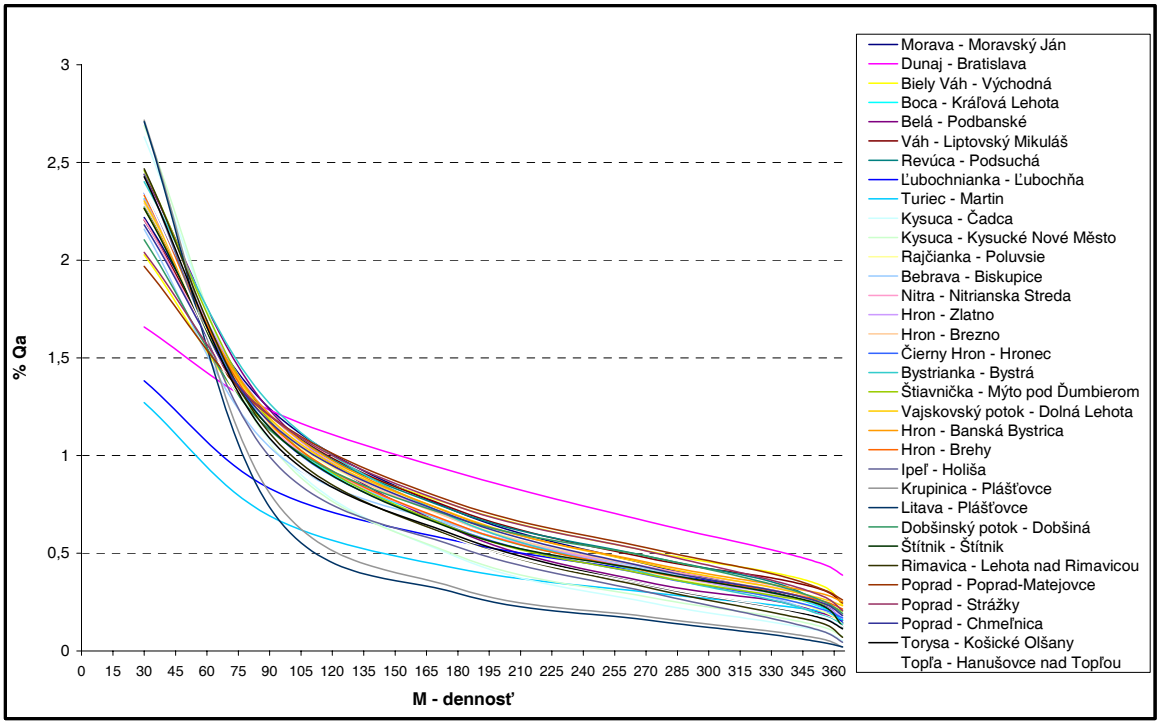
Fig. 2 Water bearing change in a new reference period



Na obr. 3 je režim M – denných prietokov v novom referenčnom období vyjadrený pomerom k priemernému prietoku.

Obr. 3 M – denné prietoky vo vodomerných staniciach NKP.

Fig. 3 M-day discharges in NKP profils

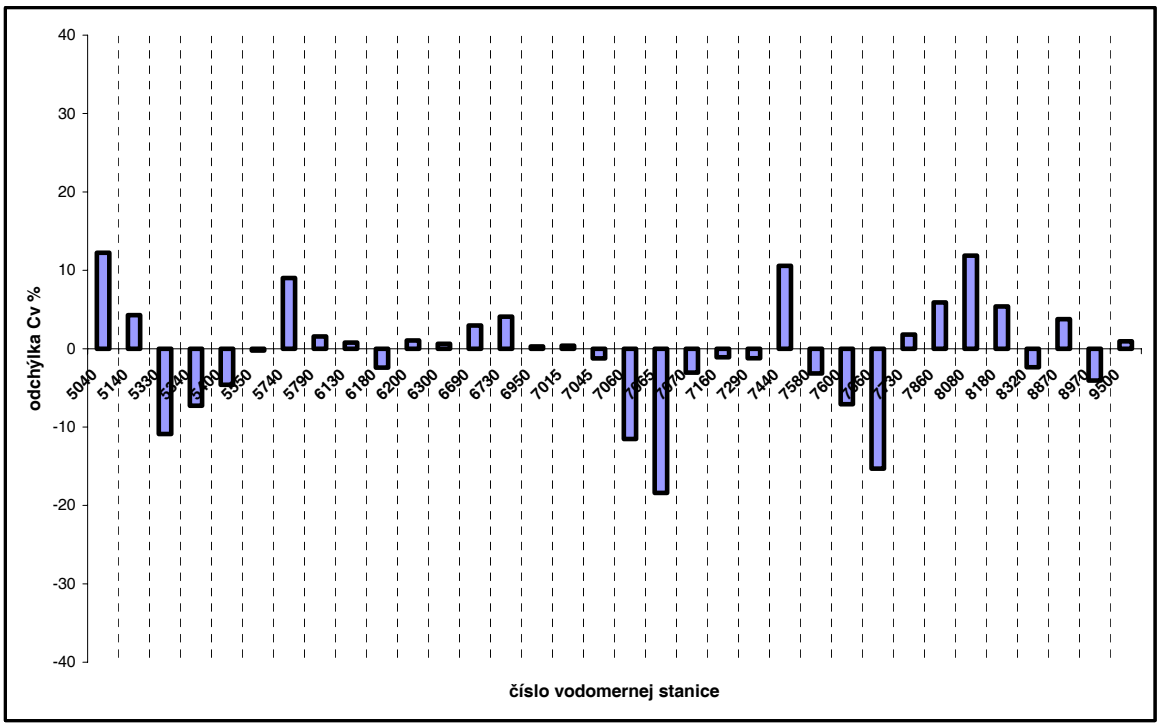


Z hľadiska hodnotenie štatistických vlastností časových radov priemerných denných vodností je dôležitý koeficient variácie prietokových radov v oboch obdobiach. Na obr. 4 sú graficky znázornené percentuálne odchýlky koeficientov variácie a na obr. 5 percentuálne odchýlky koeficientov asymetrie radov 1961 – 2000 od 1931 – 1980.

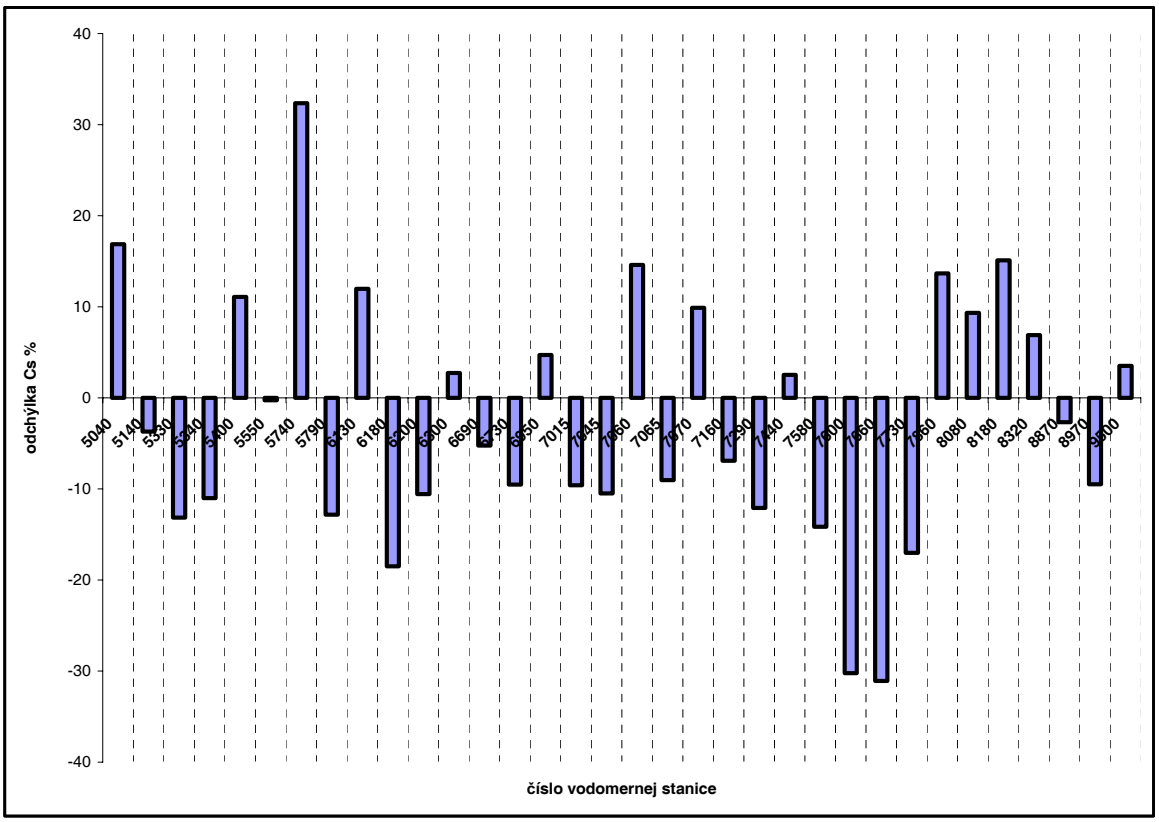
Na obr. 6 sú znázornené zmeny M – denných prietokov. Do 210 dňovej vodnosti je výrazný pokles prietokov v novom referenčnom období – pozície koeficientov $Q_{MD,\ 1961\ -\ 2000}/Q_{1931\ -\ 1980}$ sú pod hladinou 1. U prietokov s vyššou zabezpečenosťou je rozptyl okolo pozície 1, ale aj tu prevláda pokles prietokov.

Obr. 4 Percentuálne zmeny koeficienta variácie

Fig. 4 Discharge time series variation changes of mean day discharges

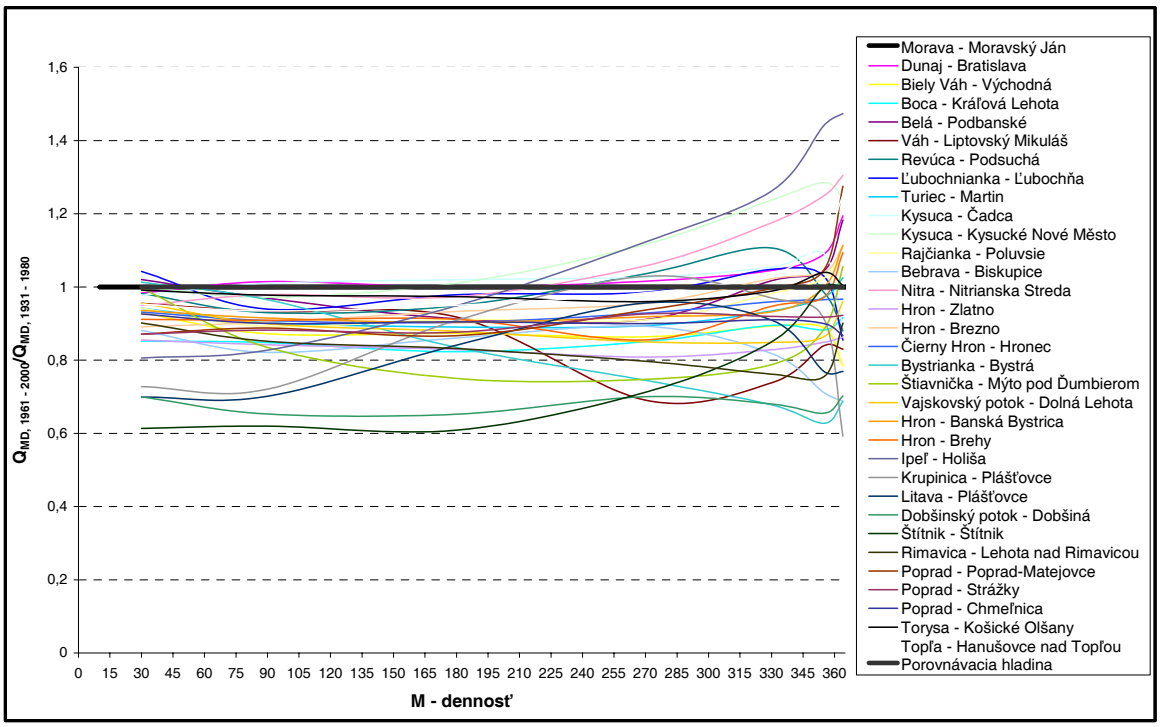


Obr. 5 Percentuálne zmeny koeficienta asymetrie



Obr.6 Zmeny M- denných prietokov

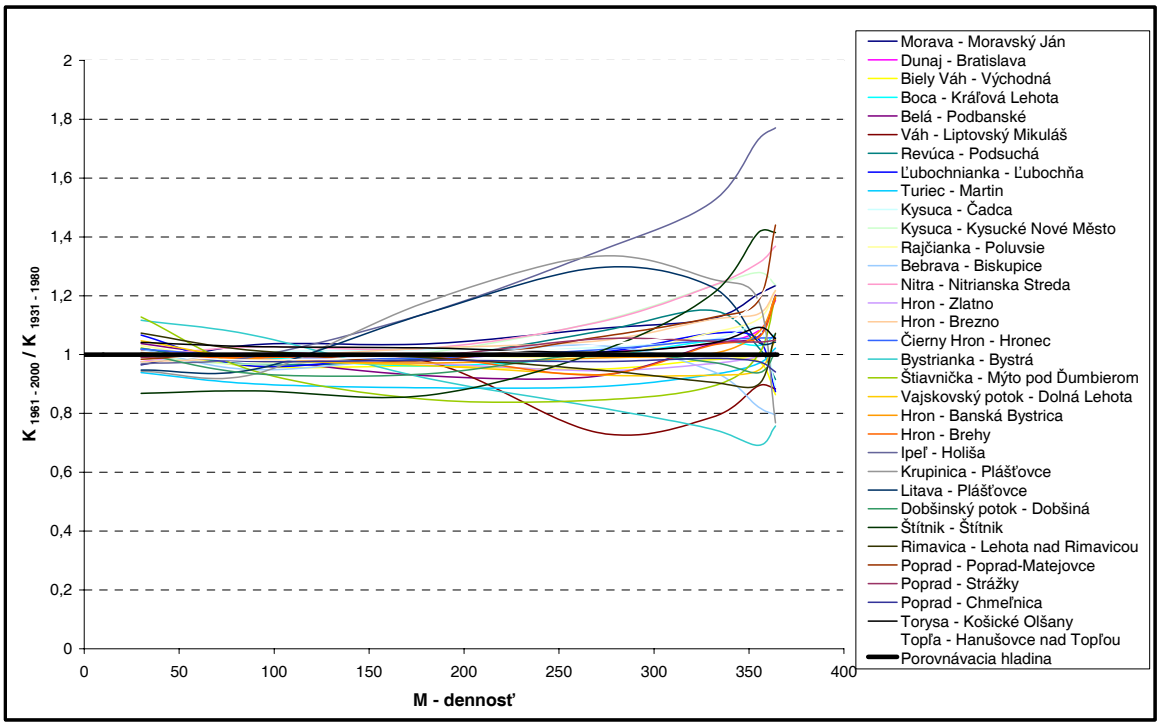
Fig. 6 M-day discharges changes



Obr. 7 poukazuje na zmeny režimu M – denných prietokov vo vzťahu k priemernej vodnosti.

Obr.7 Zmeny režimu M- denných prietokov

Fig. 7 Changes of K- M-day discharges to mean discharges



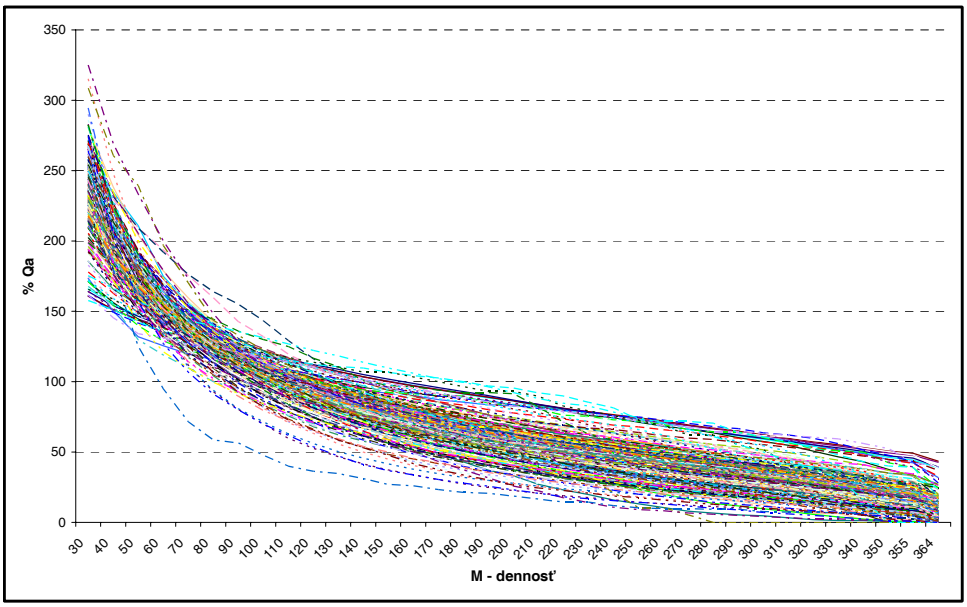
Režim M - denných prietokov na slovenských tokoch v období 1961 – 2000

Režim M - denných prietokov je rozpracovaný pre obdobie 1961 – 2000 vo vodomerných staniciach, v profiloch vyhodnocovania vodohospodárskej bilancie kvality aj kvantity tokov a významných profilov ako sú sútoky riek do viac ako 1500 profilov na Slovensku. Na obr. 8 je režim M - denných

prietokov na slovenských tokoch v období 1961 – 2000. Nové referenčné obdobie a spracovanie režimových charakteristík v tomto období má prispieť k zlepšeniu podkladových údajov pre vodohospodárske rozhodnutia a ku skvalitneniu návrhových veličín pre projekčné účely a ochranu vodných zdrojov.

Obr.8 M – denné prietoky na Slovenských tokoch v období 1961 – 2000

Fig. 7 M-day discharges on Slovak streams in the period 1961-2000



Literatúra

Demeterová, B., Škoda, P. (2004): Porovnanie vybraných M – denných prietokov v období 1961 – 2000 a 1931 – 1980 na území Slovenska, Meteorologický časopis, 7, 2004. S. 137-142.

Hydrologické charakteristiky slovenských tokov. SHMÚ Bratislava (1988).

Demeterová, B., Služby aplikovanej hydrológie pre vodné hospodárstvo a ochranu životného prostredia. (2000): In: Práce a štúdie 63. Bratislava: SHMÚ Bratislava.

Kupčo, M., Dlhodobé M - denné prietoky vo vodomerných staniciach a ich územná premenlivosť. (1982): Zborník prác SHMÚ 29/1, SHMÚ Bratislava.

Poórová, J., Škoda, P., Vplyv užívania vody na hydrologický režim (1997): Zborník prác SHMÚ 41, SHMÚ Bratislava,.

Škoda, P., Poórová, J., Demeterová, B., Podolinská, J.,(1996): Porovnanie prietokových radov za obdobie 1931-1980 a 1931-1995. Správa pre národný klimatický program. Projekt MŽP SR 340 - 20. SHMÚ, Bratislava .

Autori

Beata Demeterová, SHMÚ, Ďumbierska 26, 041 17 Košice, beata.demeterova@shmu.sk

Peter Škoda, SHMÚ, Jeséniova 17, 83315 Bratislava, peter.skoda@shmu.sk

Helena Šipikalová, SHMÚ, Zelená 5, 975 90 Banská Bystrica, helena.sipikalova@shmu.sk

Viera Gápelová, SHMÚ, Zelená 5, 975 90 Banská Bystrica, viera.gapelova@shmu.sk

Beáta Síčová, SHMÚ, Ďumbierska 26, 041 17 Košice, beata.sicova@shmu.sk

Soňa Liová, SHMÚ, Bôrická cesta 103, 011 13 Žilina, sona.liova@shmu.sk

Renáta Magulová, Jeséniova 17, 83315 Bratislava, renata.magulova@shmu.sk

EXTRÉMNÍ ZIMNÍ POVODNĚ V LETECH 1784, 1830,1845 A 1862 V POVODÍ LABE, SPOLEČNÉ RYSY A ODLIŠNOSTI

Libor Elleder

Příspěvek porovnává 4 nejvýznamnější povodňové události zimního typu v posledních 250 letech v povodí Labe. Jedná se o povodně po extrémně chladných a většinou i sněžných zimách, s extrémními ledovými jevy. Zároveň jsou to případy z ranně instrumentálního období hydrologie částečně již porovnatelné co do měřených teplot, srážek a vodních stavů. V těchto případech lze tedy věcněji poukázat na některé odlišnosti mezi jednotlivými případy.

Klíčová slova: historické povodně, ledové jevy

Úvod

Období relativního povodňového klidu, kterým bylo ve střední Evropě téměř celé 20. století, ukončily dvě katastrofální letní povodně 1997 a 2002. Mnoho, často i nevyřčených otázek pomohl průběh povodní zodpovědět, řadu dalších tyto povodně přinesly, nebo „oprášily". Jednou z nich je otázka kolísající četnosti velkých povodní a četnosti jiných meteorologických extrémů vůbec. Touto problematikou se zabývá druhý autorův příspěvek ve sborníku.

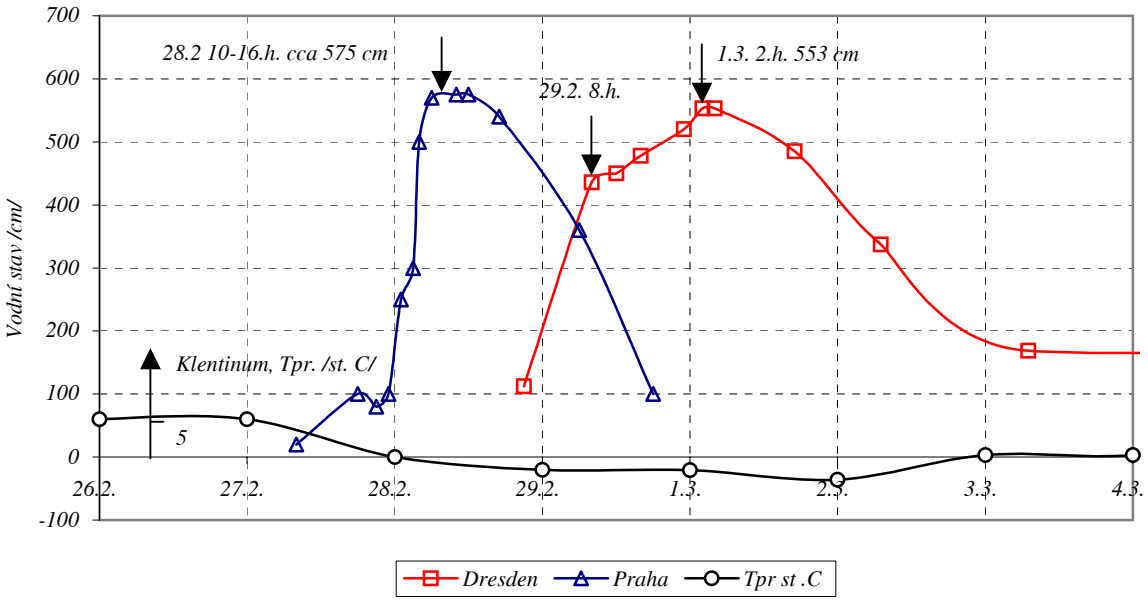
Objevily se však mnohem prozaičtější otázky „všedního hydrologického" dne. Týkají se např. interpretace vyčíslení historických povodňových případů. Povodeň v roce 2002 dosáhla mnohem výše, než kam dosahovaly jakékoliv měrné křivky, které byly v roce 2002 k dispozici. Jedním z pevných bodů, byly známé úrovně nejvyšších vodních stavů za povodní v letech 1784 a 1845. Současné vyhodnocené kulminace povodně roku 2002 nedosahují např. průtokově kulminaci z roku 1845, ačkoliv co do kulminačního stavu jsou povodně srovnatelné. Protože většina velkých povodňových případů spadá do období 1750 až 1900 je užitečné studovat tyto případy podrobněji. V tomto příspěvku jsou stručně porovnávány případy zimních povodní 1784, 1799, 1830 a 1845-příčiny, společné rysy a rozdíly, které vedly k odlišnému průběhu povodní.

Povodeň v únoru 1784

Souhrnně je povodeň hodnocena v článku Elleder, Munzar (2004). S pomocí jednotlivých dokumentárních zdrojů a měřených hodnot lze doložit velmi dlouhou, chladnou a na sníh bohatou zimu. Oteplení dne 23. března a zejména 26.2. (3 až 6 ^{o}C), provázené silným větrem a zejména vydatné srážky podle Kakose (1977) až 40 mm/24 hodin (Praha - Klementinum) byly příčinou dramatického průběhu povodně. Rychlé tání sněhu dokumentuje (pro Českobrodsko) nejlépe Vavákova zpráva (in Skopec, 1910):"sníh všecek do rána v vodu obrácen, ač ho dobře na loket (=60 cm) ztloušti bylo". Za těchto podmínek došlo v reakci k prudkým vzestupům hladin na horním povodí Vltavy, Otavy a Berounky 27. února. Podrobnější zprávy z horní Vltavy jsou z Českých Budějovic (Kovář, 2002, str .18), kde voda zaplavila podstatnou část náměstí. V Písku se uvádí nejvyšší dosažený stav 469 cm nad normál, (Hydrologická ročenka 1895). Povodeň je doložena i na Sázavě.

Zprávy o rozvodnění jsou i z horní Mže (Tachov) a řady míst v povodí Berounky, Krolmus (1845). st a Dynamiku nástupu povodně s ledovým krami ilustruje zpráva z Plzně:" obyvatelé, vzdálení 100 kroků od hradeb, nestačili dostihnout městskou bránu". Hladina v Berouně začala podobně překvapivě jako v Plzni stoupat po půlnoci 27.2. (Ninger,1872) s kulminací kolem 10. hodiny následujícího dne dopoledne (28. 2.), kdy bylo zaplaveno celé náměstí. Odhad kulminačního průtoku dosažený 28. 3. v 15. hodin činí 2300 $m^3.s^{-1}$. Výsledný stav představoval „7 loket a 3 coule", tedy 428 cm nad „obyčejnou hladinu", Elleder (2004). V Praze došlo rozrušení ledové celiny ráno 27. kolem 8. hodiny a klidnému odchodu ledu „do pozdní noci". Podle Schallera (1784) začala stoupat hladina znovu od 23. hodiny a rychlostí „1/2 lokte za hodinu", tedy 30 cm/hodinu až do poledne 28.

února. Plynulý vzestup po dobu nejméně 12 hodin (při udané rychlosti zdvih bezmála o 4 m) lze těžko považovat pouze za důsledek ledové dřenice. Kulminace na úrovni 575 cm byla dosažena 10 až 16. hodinou, tedy jen velmi krátce po kulminaci v Berouně. Pokus o rekonstrukci průběhu v Praze převzatý z Elleder, Munzar (2004) se vztahuje k profilu U Křížovníků - obr.1. Průběh v Drážďanech (jakož i další průběhy) zde uvedené, jsou vztaženy k historickému vodočtu na Augustbrücke a to s původní nulou vodočtu –dnešní je o 3 m níže.



Obr. 1 Průběh povodně v Praze (Křížovníci)-Elleder, Munzar (2004) a Drážďanech (původní vodočet)-Börngen, M. , Tetzlaff, G., ed., (2000)

Jak bylo ukázáno i v Elleder (2004) významná povodeň byla také na horním Labi mezi Mělníkem a Kolínem nad Labem. Relativním srovnáním výše hladiny z roku 1845 (3 střevíce scházely=90 cm) s povodní 1784 Cidliny(Smidary) potvrzuje Krolmus (1845), s. 166, rozvodnění pravostranných přítoků Labe. Podobně nepřímo dokládá Dlask rozvodnění Jizery. Přesvědčivě je doložené rozvodnění i levostranných přítoků Labe v této oblasti- Výrovka, Šembera- (Vavák). Za zmínku však stojí i pravděpodobná absence povodně ve východní části povodí (Orlické hory).

Velmi strmý vrchol vltavské povodně s největší pravděpodobností „předběhl“ labskou povodeň. Také proto vysoká, ale „štíhlá“ povodňová vlna (obr. 1 a 5) v mělnické oblasti výrazně ztratila na kulminačního stavu i průtoku (nestalo se v roce 1845), což výmluvně dokládají povodňové značky v Mělníce i Dolních Beřkovicích. Pod Mělníkem byla však znovu posílena Ohří i dalšími drobnějšími přítoky. O rozvodnění Ohře (27. –28.2) svědčí zprávy z obcí Radonice a Pátek na Lounsku (Munzar, 1997) a Brozan, Krolmus (1845), str. 88. Výška hladiny dosažané 29.2. v Děčíně odpovídá 8,93 m, Brázdil (2005). Podle historické měrné křivky odpovídal (Richter, 1892) tento stav cca 4800 $m^3.s^{-1}$, podle její revize v roce 2005 přibližně 4000 $m^3.s^{-1}$. V Drážďanech (1.3.), uvádí Fügner (2002) 5200 $m^3.s^{-1}$. Kulminace v Magdeburku proběhla 7. března při stavu 534 cm.

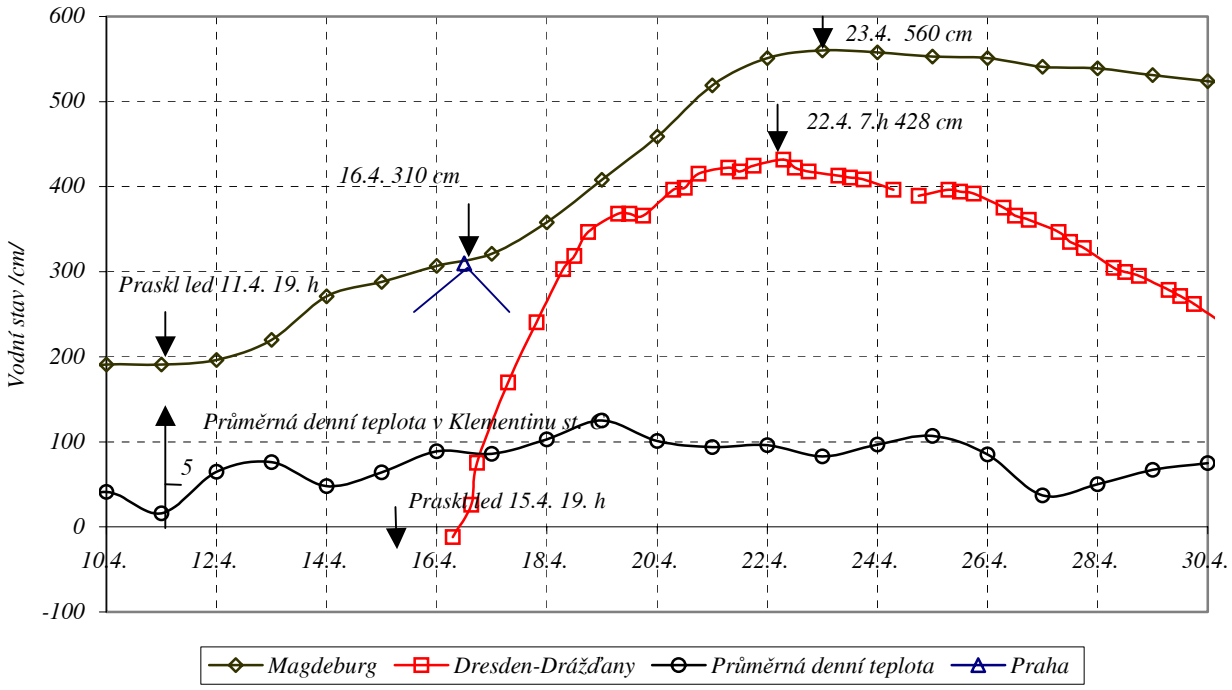
Velmi příznivou roli sehrálo ochlazení (obr.1) 28.2.-1.3. a transformace povodňové vlny na soutoku s Labem.

Povodeň v dubnu 1785

Předcházela ji velmi dlouhá a sněžná zima. Podobně jako roku 1845 byl velmi chladný březen, který porovnává s případem roku 1845 Kakos (1995), s.28-29. Led dosáhl dostatečné tloušťky i pro „dostihy na ledě“ na rychle tekoucí Jizeře. Svědčí o tom zpráva kronikáře Dlaska z Velikonoc:“ Pan

hrabě Defura maloskalský přijel k nám na dvůr proto, aby s ním otec jel po ledě do Turnova do kostela a který zůstane pozadu, že jedno vědro vína zaplatí...“. Vavákova kronika z Poděbradska uvádí:“5. dubna jakož i 7. a 8. téhož celé ty dni hojně opět (sníh) padal, že zase všecky cesty a struhy pracně od lidí vyházené zapadaly a zamýtily se se, až nic znáti nebylo. A tu již v rovinách bylo sněhu na 1a 1/2 lokte, v dolinách pak takové závěje, neb zámětě byly, že snadno 12, 15 i 20 loket výšky vystoupily“. Sníh tedy alespoň na Poděbradsku dosáhl výšky přinejmenším 90 cm (stejný údaj udává kronikář Ulrich z Benešovska in HKD) závěje ve sníženinách byly tedy 7-10 m hluboké! Stejný autor uvádí výstižně i počátek povodně: „13. pouštět začalo, 16… kvaltem již voda běžíc nejen struhy naplnila, ale i po polích, lukách a všudy vesměs šla. Pod zdejší obec Milčice tolik ji přišlo, že jsme nikdy, ani loňského roku tolik ji neviděli…17. dubna malý mráz byl, voda drobet zapadla nato udělal se čas, že okolo 9 hodin zas voda velmi běžela…“. Podle klementinských záznamů začalo pozvolné oteplování 7. až 8. dubna, 9. dubna se odtrhl ledna Vltavě, výrazněji se oteplilo(na 6,8 ^{o}C) 10. dubna a 12. dubna (11 ^{o}C). V průběhu povodně 16. dubna dosáhly teploty v maximech 13 ^{o}C a později 19. dubna téměř 18 ^{o} C. Síla větru byla nejvyšší 11. dubna, kdy dosáhla 7 stupeň (mírný vichr). Později však nepřekročila stupeň 4. (mírný vítr) Pozoruhodná je chybějící zmínka o dešťových srážkách (které např. Vavák obvykle zmiňuje).

Podle relativního porovnání s povodní 1784 dosáhla hladina v Praze 16. dubna o cca 2,4 m (2 sáhy a 2 stopy) níže než roku 1784. V oblasti Mělníka podle kroniky z Ouholic: „Toho dne ráno počal se led u Ouholic lámati, ustoupil z Mělníku. Dne 16. dubna hnul se led u mílovského mostu a 17. dubna vystoupla povodeň a zátopa tak velká, jaké nebylo pamětníka, trvala 10 dní“. V Drážďanech lze podle změřené kulminace až ráno 21. dubna (4 dny po Mělníku!) odhadovat průtok jen na 2500-3000 m^{3}.s^{-1}. Objem této povodně podle měření vodních stavů v Drážďanech zjevně překonal předchozí případ z roku 1784. Mnohem nepříznivější průběh měla tato povodeň v povodí Odry(překonán případ z rok 1736), Muldy a Labe pod soutokem se Sálou v Magdeburku. V Magdeburku dosáhla hladina 23. dubna úrovně 560 cm což byl nadlouho nepřekonaný rekord.

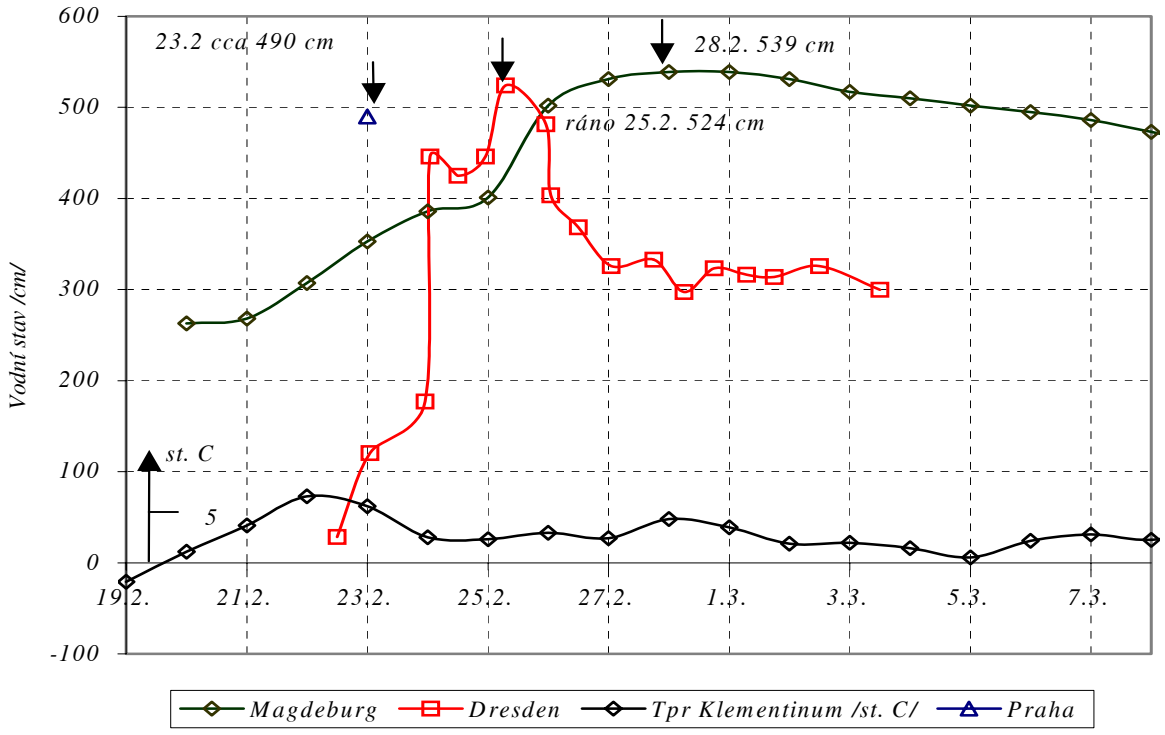


Obr. 2 Průběh povodně roku 1785 v Drážďanech Börngen, M. , Tetzlaff, G., ed., (2000) a Magdeburku - Archiv ČHMÚ

Povodeň v únoru 1799

Podrobněji je tato povodeň zpracována Deutschem (2000), zatím však jen pro německé území. Do 20. února panovaly v Evropě i u nás kruté mrazy, následkem čehož řeky silně promrzly- místy „až na dno“ (Katzerowsky in HKD). Silné mrazy dokládají i klementinská pozorování. Předběžné kolísání teplot bylo příčinou pro vznik velkých ledových bariér ještě před vlastní povodní. Průběh oblevy líčí podrobněji milčický rychtář Vavák : „ 19. větší mráz …celý den sníh padal…dne 20. ve středu začalo nadobro odlevovat…nato (22.2.) odpoledne pršelo a již vody začaly téci…“. Povodeň je doložená na všech tocích povodí Labe. V Berouně byla podle značky hladina o 90 cm níže než v roce 1784 , takže můžeme odhadovat průtok na cca 1700 $m^3.s^{-1}$. 21. února v 10. h ráno vybřežila Vltava nad Prahou (Nyplová, 1969) a 22. února, asi ve 2. hod. , led na Vltavě za (nad) Prahou se dal do pohybu“ (Pötzsch in Kynčil, 1982). V této oblasti vzhledem k mohutným ledovým bariérám vystoupila voda nad Štěchovicemi o 3 lokte (=180 cm) výše než roku 1784.Podle různých zpráv voda v Praze dosáhla přibližně úrovně odpovídající 485 až 495 cm, Brázdil (2005). Bylo by možno předpokládat, že průtok za kulminace dosáhl tedy cca 3800 $m^3.s^{-1}$. Významnější povodeň na horním Labi dokládá kronika obce Břehy u Pardubic (http://www.kpp.iipardubice.cz) a také zprávy milčického rychtáře Vaváka. Ten informuje o velkém rozvodnění Výrovky (největší od r. 1692 jak uvádí). Obzvlášť velká povodeň nastala na Ohři v Kadani, kde hladina překonala největší známou dřívější povodeň roku 1682 (570 cm). Rozrušení ledu u Litoměřic nastalo 23. února v poledne a kulminace 24. února na úrovni jen 30 cm nižší než roku 1784.

V Děčíně na zámecké skále byl dosažen stav 810 cm, Brázdil (2005). Rozrušení ledu na hranici se Saskem nastalo 23. února kolem 9. hodiny a v Drážďanech (podle pranostik přesně na sv. Matěje) došlo k ledolamu 24. února v 1. hodinu. Na míšeňském vodočtu dosáhla ledem vzdutá voda (24.) výšky 786 cm (tedy o 80 cm více než roku 1784) a na druhý den po uvolnění ledu 644 cm (25.). Průtokově se řadí tato povodeň v Drážďanech na 7. místo s odhadem průtoku 4400 $m^3.s^{-1}$, Fügner (2002). Průběh v Drážďanech převzatý z Deutsche (2000) vcelku připomíná průběh roku 1784-obr.7. Významnější byla povodeň pod řekou Sálou, v Halle (Salle). Zde byl dosažen historicky druhý nejvyšší vodní stav, Deutsch M. (2000). Kulminace v Magdeburku byla dosažena 28. února při stavu 539 cm.

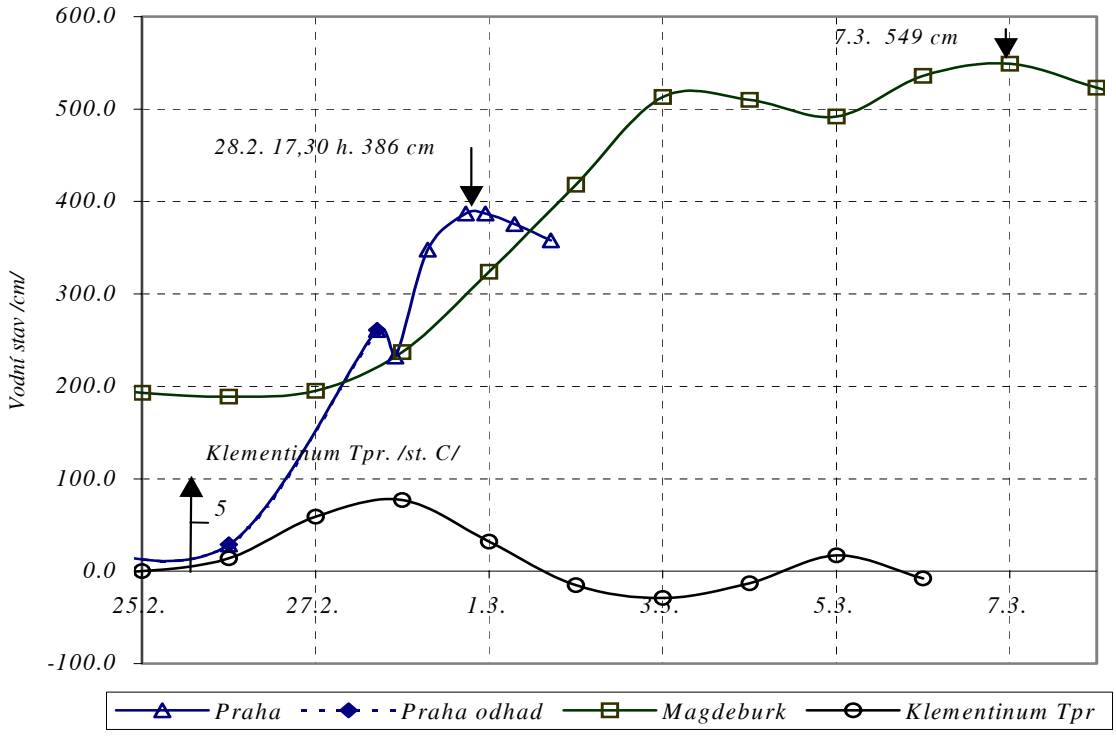


Obr.3 Průběh povodně 1799 v Drážďanech- Deutsch (2000) a Magdeburku, Archiv ČHMÚ

Povodeň 1830

Povodni předcházela zima, která je považována za jednu z nejchladnějších od počátku měření teploty v Praze-Klementinu, detailně o ní Kakos, Munzar 2000. Tloušťka ledu překračovala místy 1 m a v Praze dosáhla téměř 80 cm. Prvý sníh (přechodně) napadl podle kronikáře Dlaska na Táborsko dokonce již 28.9. Trvalejší sněhová pokrývka držela však již od 2. listopadu a po prosincovém sněžení dle Dlaska „silnice byly zavátý na kolik loket (pravděpodobně pražských loktů=59 cm) vejšky“ (Podkrkonoší- Turnovsko). Jednalo se jistě o závěje, přesto byla celková sněhová vrstva jistě značná. V pražském Klementinu činí srážkový úhrn od druhé dekády listopadu (počátek záporných teplot) do konce prosince cca 50 mm, lze předpokládat, že i v Praze leželo kolem 50 cm sněhu. Zasloužilo se o to především vánoční období mezi 20 až 29.12 1829, kdy kronikář Dlask zmiňuje před Štědrým dnem „silnou metelici“ (Klementinum 21.12-7,5 mm). 29.12 je v Klementinu zaznamenán denní úhrn srážek 16,5 mm a v poznámkách k měření, Hlaváč(1977) se uvádí k 21. hodině tohoto dne (již) 2 stopy (60 cm) sněhu. Konečně v Rumburku podle klementinských poznámek se uvádí 20. ledna výška sněhu 2 stopy a 1,5 palce, tedy opět přes 60 cm. Na konci 1. dekády přišla asi 3 denní obleva (v maximech až 6 ^{o}C) provázená deštěm (uváděn Frýdlant), Hlaváč (1977), která ještě před povodní změnila kvalitu a výšku sněhové vrstvy.

Začátek povodně popisuje kronikář V. J. Mašek z jižního Plzeňska (in Urban, 1999) : „ …23 února začal sněch z polí scházet 24-25-26ho jest bylo silné teplo a 27ho ještě k tomu prželo a s toho jest povstala taková silná voda, že jest hned dne 24ho tekla silně v Lukavic“. V Českém Krumlově poukazuje značka z 1. března na významnou povodeň (o 2 stopy=60 cm vyšší než roku 1784). Doklady o povodni jsou i z Povodí Otavy. Z povodí dolní Berounky je zpráva zachycená farářem Holcem (www.kronika-obce.wz.cz) :“ … nastaly dlouhotrvající deště, jimž následovala velká voda. Berounka se rozvodnila již 26.2 1830 ráno, zatopila Zbraslav, utvořila veliké jezero, ježto led se nechtěl hnouti. Teprve druhý den večer o 5. hod. led povolil a voda se hnala směrem ku Praze“. V Praze dosáhl průtok za kulminace 27. února pravděpodobně jen 2800 $m^3.s^{-1}$, Novotný (1959). Značka povodně bývala ve Smíchovské Botanické zahradě cca 1,5 m pod značkou z roku 1784.



Obr.4 Průběh povodně 1830 v Praze (pozorování v Klementinu-Hlaváč(1977) a Magdeburku, Archiv ČHMÚ

Zda bylo rozvodněné i Labe nad Mělníkem není známo. Že však povodeň v tomto termínu nebyla na Jizeře dokládá kronikář Dlask:“ 19. března (o 2 dekády později) zde na Jizeře řece teprva ledy se spustily…“. Nepochybně významná je v tomto termínu (27.2.) povodeň na Ohři (Žatec, Postoloprty), (Havránek in Kotyza (1995) , která se patrně promítla i ve větším významu povodně pod Ohří. V Litoměřicích 28. února byl totiž dosažen stav jen o půl lokte (=30 cm) nižší než roku 1799 (Kronika Litoměřického děkanství in Kotyza et al.,1995). Konečně v Děčíně byl dosažen stav 790 cm, Brázdil (2005). Poblíž Drážďan kulminovala povodeň 2. března, a na vodočtu v Pilnitz a převýšila dosaženou úroveň z r. 1799. Kulminace v Magdeburku 7.3. při stavu 549 cm neznamenala konec povodní, další významná povodeň následovala ještě v 2. dekádě března a dubnu. To souhlasí s Krolmusem (1845), který uvádí 3 značky (dochovala se jedna) této povodně na zámecké skále v Děčíně. Je to v souhlase i s výše uvedenou zprávou o rozvodnění Jizery 18. až 19. března, potvrzenou i Mizerou (1930) v dějinách Semil:“ Dne 18. března pluly Jizerou kry největší, takže řeka vylila se z břehů a zatopila celá Bělidla. V Železném Brodě strhla most. Zátopa přišla v noci, čímž poplach byl ještě děsnější“. Tato druhá vlna zasáhla zřejmě i Ohři- jsou totiž zmíněny velké škody (povodeň s ledem) v Budyni a Libochovicích koncem března (www.libochovice.cz). Objem po sobě jdoucích vln koncem února a v březnu je zčásti vyjádřen i průměrným průtokem v únoru a březnu 1830, Novotný (1961), který činil 148, resp. 506 $m^3.s^{-1}$ (pro srovnání v březnu a dubnu 1845 činil 235, resp. 519 $m^3.s^{-1}$).

Povodeň v březnu 1845

Povodeň, která se zasáhla větší část povodí Labe a byla podrobněji (zejména z meteorologického *hlediska*) rozebírána ve sborníku odborného semináře v roce 1995, (Kakos, 1995).

Zima 1844/45 je obecně považována za chladnou, Kakos (1995) však upozorňuje, že začátek zimy byl mírný (prosinec a vcelku i leden). Dokládají to také paměti kronikáře Dlaska (Turnovsko):“ slunce na velký sněhy svítilo až do večera a tak ten sních, co napadl 27. ledna první, na hromice 2. února roztál…“. Rozhodující sněhová vrstva napadla až v únoru a březnu: “ kromě neděle Smrtelný a Květný ustavičně sníh padal až do soboty Bílé, do 22. března, však pašijový dni jen do 9. hodin ráno… tak potom mnoho sněhu napadlo, že nemohly žádný ject, ani císařský vozy. Musely státi, až proházeli (sníh)“. Vrstva sněhu dosáhla dle Krolmuse (1845) před povodní místy jednoho sáhu (1,8 m), extrémní množství sněhu bylo podle něj na Loketsku, Krušnohoří a Krkonoších. Kakos (1995) uvádí 127 mm úhrn srážek vesměs ve formě sněhu pr pražské Klemntinum. Tloušťka ledu v Praze dle dobových měření dosáhla až 60 cm (Kakos, 1995). Obleva 26. března (podrobně Kakos,1995), byla provázená bouřlivým větrem, přechodem sněžení do formy deště, též dle popisu z Berounska (Ninger , 1872) a to dokonce delšího trvání (kronika Sadské). K uvolnění ledu došlo již místy téhož dne (Litávka), většinou však (na Vltavě a Labi) dopoledne 27. února, jak např. dokumentuje V. Krolmus v Praze: „Led s velkým rachotem se obyčejně rozpukal a rozlámal, dne 27. března o 1/2šesté hodině pod Vyšehradem šťastně se zdvihnul“.

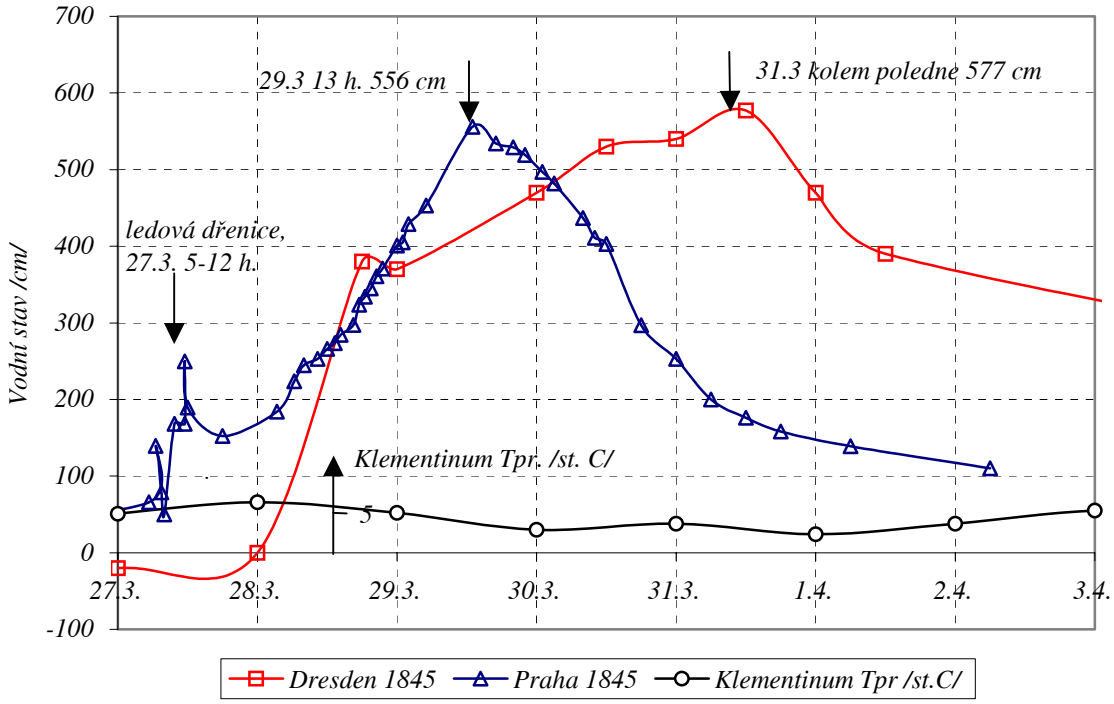
Povodeň je doložena na horní Vltavě, Otavě i Lužnici. Podle značky povodně ve Voznici (km 145, nad Kamýkem) můžeme odhadovat odtok z úseku Vltavy nad Sázavou na 2600 $m^3.s^{-1}$. Podobně dle značek ve Havlíčkově *Brodě*, Zruči , Černých Budách a Choceradech lze odhadovat kulminační průtok dolní Sázavy na cca 800 $m^3.s^{-1}$. Berounka v Berouně vystoupila v noci 28. a z koryta se vylila v ranních hodinách (29. kolem 5.30), kulminovala v 11. hodin při 1800 $m^3.s^{-1}$. Udivuje tak jako v roce 1784 synchronní průběh kulminace v Praze a Berouně, kde kulminace proběhla kolem 14. hodiny odpoledne. Dříve uváděný průběh povodně podle Novotný (1961), Kakos (1995) vychází z klementinské ročenky 1845 a je patrně posunutý o 12 h vzad. Navíc tento průběh není zřejmě oficielním měřením, ale měřením nezávislým. Klementinská ročenka totiž pro tento rok uvádí, že naše (klementinská) nula je posunuta o 11 vídeňských palců proti staroměstskému vodočtu dolů (28,6 cm). Navíc byly pro přepočet použity zřejmě české a ne správně vídeňké palce. Zde vycházíme z oficielního průběhu, který uvádí Krolmus (1845) a který také potvrzuje dobový tisk.

Konkrétní zprávu o povodni v povodí Labe nad Mělníkem uvádí Šmilauerová (2001) pro Poděbrady až k 31. březnu: „při nečekaném a rychlém vzestupu Labe dosáhlo 6 loktů nad normál“. Z přítoků horního Labe je explicitně jmenována silná povodeň na Doubravě, Kouřimce, Bečvárce, Javorce a Cidlině. Příspěvek Jizery není zcela jasný, neboť v tomto termínu je zmínka jen o silném

rozvodnění jejích *přítoků* (zátopa až po okna domů) Popelky a Olešky 1. dubna „ západním větrem prudkým přišel veliký déšť“. To potvrzuje i průběh dešťových srážek, které v pohraničí předpokládal Kakos (1995). Ve skutečnosti se realizovaly zřejmě v oblasti Kozákova a Zvičiny. Na druhou stranu pojizerský kronikář a pamětník události J. Dlask tvrdí, že „Jizera (nad Turnovem) byla toho roku sticha až se led sám rozpustil“. Labe následkem rozvodněných přítoků zjevně z nižších a středních poloh kulminovalo v Brandýse při dosažení průtoku (podle dřívější povodňové značky) 1600 $m^3.s^{-1,}$ (databanka ČHMÚ). V prvé dekádě dubna se rozvodnila ještě jednou Jizera, a to po protržení rybníků na jejím přítoku Klenici, Krolmus (1845).

Od Mělníka představuje hladina povodně 1845 dosud nepřekonaný rekord zimní povodně, což lze přičítat i většímu objemu povodňové při srovnání s případy z let 1784 a 1799. Rozvodnění Ohře nebylo, jak naznačuje Krolmus(1845), tak významné jako Labe, Vltavy a v neposlední řadě i silně rozvodněné Ploučnice (např. česká Lípa).

V půlnoci z 30. 3. na 31.3. proběhla kulminace při stavu 1039 cm a průtoku dříve cca 5600 $m^3.s^{-1,}$ po současném přehodnocení historických povodní v Děčíně cca 4800 $m^3.s^{-1}$. V Drážďanech kulminovalo Labe 30. 3 při obdobném průtoku.



Obr. 5 Průběh povodně 1845 v Praze –Krolmus (1845) a Drážďanech

Srovnání vybraných případů

Společným rysem jmenovaných povodňových případů jsou neobyčejně chladné zimy a pokud poněkud pomineme nejistý případ z roku 1799 také bohaté na sníh. Dobou výskytu spadají prvé tři povodně do „řádného“ termínu na konci února (20-28.2.), který vcelku koresponduje s dlouholetou zkušeností vyjádřenou pranostikou „… Matěj ledy láme…“ (24.2.). V tomto ohledu jsou odlišné pozdní povodně 1845 a 1785, které proběhly až na konci března, resp. v polovině dubna. V případě let 1784, 1785 a 1845 předcházelo období nízkých stavů, které nebylo přerušované oblevami (povodí Labe po Děčín), naproti tomu v případě roku 1830 a 1799 se vyskytl minimálně jeden předběžný vzestup hladin. I v roce 1845 došlo k oblevám, ovšem prakticky bez vzestupu hladin a jak uvádí Kakos (1995) došlo pouze k snížení tloušťky ledu (v Praze).

Pokud se jedná o ledové jevy ve všech případech tloušťka ledu přesahovala před povodní 60 cm a někdy dosahovala i 90 cm. Extrémním případem byl jistě rok 1784. Nicméně i přes nižší průtok byl překonán alespoň lokálně (Hradištko, Stěchovice,Zbraslav, Míšeň) povodní v roce 1799. Právě tento průběh poukazuje na nebezpečí předchozích oblev, které právě roku 1799 připravily předběžné bariéry. K podobné situaci došlo na Rýně a Mohanu za povodně roku 1784 (Heidelberk 12 metrové bariéry).

Dešťové srážky jako bezpodmínečná příčina těchto povodní jsou doložena ve všech případech s výjimkou roku 1785. Extrémní je případ r. 1784 zachycený měřením v Klementinu (40 mm), v ostatních případech vycházíme jen z kronikářských dokladů neboť klementinské měření (nedostupná zatím v roce 1799), nepotvrzují mimořádné, ale spíše trvalejší srážky r. 1830 a 1845 (cca 5 mm/24 h).

Vítr (viz tab. 1) jako rizikový a zhoršující faktor provází všechny vybrané povodňové případy. Nejsilnější (jihozápadní až západní vítr) byl zaznamenán v roce 1845, kdy po tři dny trvalo větrné a teplé počasí (27.-29.3.) a rychlost větru dosáhla až stupně 8.-vichřice podle Beufortovy stupnice, Kakos (1995). V ostatních případech dosahoval během oblevy západní až jihozápadní vítr stupně 5 až 6 (1784,1799). Roku 1830 byla rychlost větru nejvyšší před oblevou 22. až 23. února a během povodně dosahovala v Klementinu jen stupně 3.

Zásoby sněhu (viz tab. 1.) byly nejmenší podle kronikářských zpráv alespoň u nás roku 1799, velká zásoba sněhu >60 cm je dokumentovaná roku 1784. Rekordními případy byly zřejmě roky 1785 a 1845, kde metrová vrstva sněhu nebyla zvláštností. Dominantní byl však patrně případ roku 1785.

Dalším momentem je pokles teplot v průběhu povodně provázející víceméně všechny zde jmenované případy ukončení oblevy, ovšem kromě roku 1799 (slabě) a 1785(vůbec) - obr. 2 a 3 . toto ochlazení bylo jednou z příčin, relativně příznivějšího vývoje povodně v roce 1784 pod Mělníkem. Méně výrazné ochlazení než roku 1784 nastalo r. 1830 a r. 1845-což se projevilo ve větším objemu povodní, obr.4 a 5. Ve všech případech hrály podstatnou či stěžejní úlohu nižší a zejména střední polohy s bohatou sněhovou zásobou.

Různé kombinace jmenovaných jevů a okolností vedly k odlišnostem v průběhy povodní zejména na dolní Vltavě v Praze i pod Mělníkem. Na jedné straně stojí extrémně strmý nárůst vodních stavů a krátké trvání povodně roku 1784, vyvolaný neobyčejnými dešťovými srážkami a na druhé straně táhlý nástup v roce 1785 a zčásti 1830 a 1845 obr, 6,7. Pod soutokem s Vltavou došlo patrně k významné transformaci relativně „špičaté“ povodňové vlny(1784), poklesu kulminace a opětnému vzrůstu kulminačního průtoku dotací dalšími přítoky. Ještě v Drážďanech je objem znatelně menší proti r. 1845. Komplikovaný průběh vzhledem k ledovým jevům dokládá hydrogram z Drážďan (dramatický noční vzestup hladin) překonávající i rok 1784, obr 3,7. Ten zároveň ukazuje tvarovou podobnost hydrogramů povodní 1784 a 1799. Tyto odlišnosti se promítly i d postupových dob mezi Prahou a Drážďany, které v případě r. 1784 a 1799 dosáhly 30 až 40 h, r. 1830 a 1845 až 50 h a r. 1785 zřejmě vlivem vleklé povodně v povodí horního Labe až 120 h

Je vcelku důležité se zmínit i o územním rozsahu těchto případů. V roce 1784 dosáhla povodeň evropského měřítka, podrobněji též Munzar, Elleder, Deutsch (2005). Současně totiž probíhaly významné povodně v povodí Seiny, Maasu, Rýna, Wesery, Dunaje, Labe a zčásti ještě i Odry. To je územní rozsah, který najednou nedosáhla žádná z významných zatím dokumentovaných povodní. Přitom v povodí Rýna a v podstatné části povodí Mohanu nebyly rekordní výšky této povodně dosud překonány, v Praze byla úroveň roku 1784 překonána až rokem 2002. Mezi rekordní byly řazeny alespoň ve své době dosažené kulminace v povodí Maasu a Mosely. Roku 1799 byly koncem ledna zasaženy západoevropská povodí Loiry, Seiny, Maasu, Rhony, Maasu a Rýna. Koncem února byla však zasažena pouze povodí Labe, Mohanu, Dunaje a částečně i Odry. Roku 1830 zasáhly povodně začátkem února Rhonu a Rýn, později bylo koncem února výrazněji zasaženo povodí Wesery a vlastně analogicky jako roku 1799 i Labe a západní část povodí Odry a v podstatné míře však povodí Dunaje (významně postižena byla Vídeň). Rok 1845 se co do územního rozšíření nelišil příliš od let 1799, 1785 1830, přičemž nejvýznamněji se projevila povodeň v povodí Labe pod soutokem s Vltavou. Od Mělníka dosažená výška soupeří s výškou roku 2002, (v Děčíně je vyšší).

Srovnání těchto zimních případů povodní s letní povodní 2002 má jistě svá omezení. Přesto alespoň v krátkosti můžeme upozornit na skutečnost, že pokud jde o vodní stav nebyla srpnová povodeň překonána žádným z těchto případů. Konkuruje ji pouze případ 1845 a to v oblasti Děčína

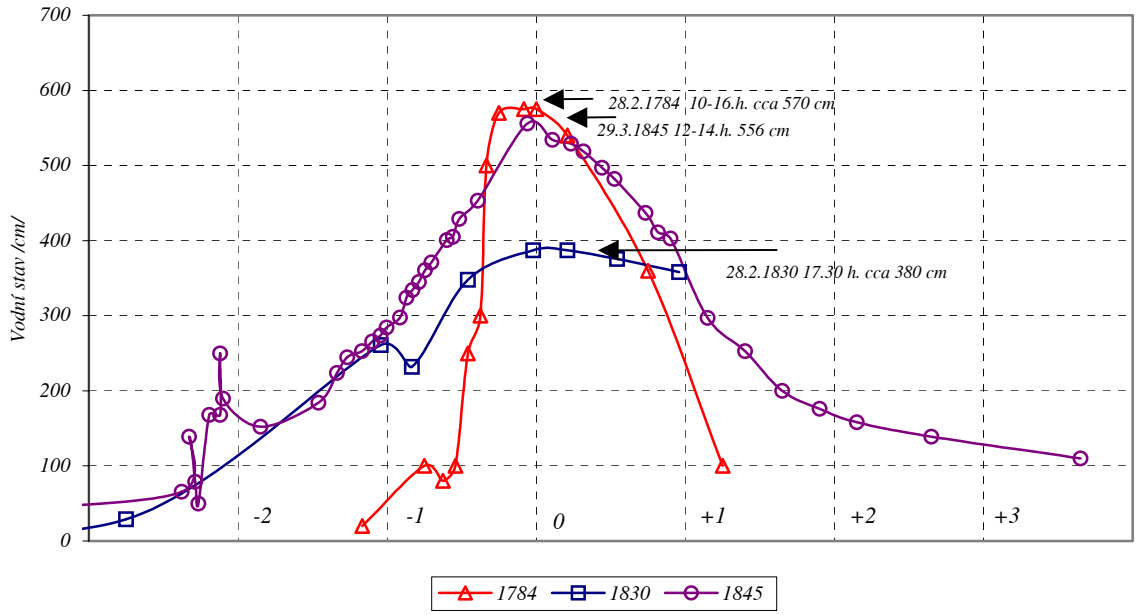
Hřenska, což lze možná přičíst značnému příspěvku Ploučnice roku 1845, na saské straně Labe jsou vodní stavy stejné nebo dominuje případ 2002 (Drážďany). V Praze zůstává zatím ne zcela uspokojivě vysvětlen případ Karlína, kde hladina proti případům 1784 a 1845 vystoupila o cca 2,5 m výše. Příčinu lze vidět v nepříznivém vývoji území v 19. a 20. století a snad i v přeložení koryta Vltavy po r. 1926.

Tab.1 Vybrané hydrologické a meteorologické prvky během povodně

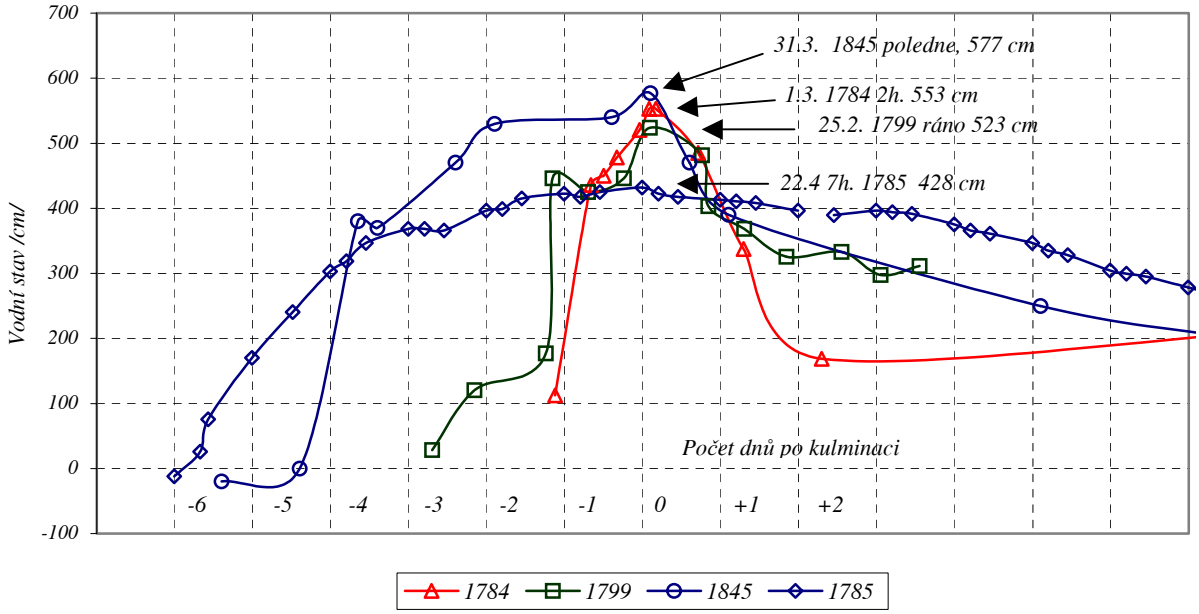
	1784	**1785**	**1799**	**1830**	**1845**
Zámrz, Vltava	*60-90 cm*	*Pravd. >1m*	*90 cm*	*cca 60 cm*	*až 66 cm*
Měřené srážky Klementinum v období mrazů, Klementinum				*cca 50-60 mm*	*cca 120 mm*
Sníh podle dokumentárních zdrojů	*60 cm a více v celém Polabí, Českolipsko 1,5m. Šumava značné množství*	*90 cm a více shodně na mnoha místech. Částečně ještě čerstvý sníh 7. a 8.4.*	*J. Hradec 90 cm. Nymbursko, bez udání množství*	*Turnovsko mnoho loket (=59 cm* X), Železné Hory domy „zafoukány“ po střechy, Praha, Frýdlant cca 60 cm*	*1,8 m na mnoha místech. Extrémní množství v Krušných horách*
Maximální srážka za 24 h během povodně Klementinum	*40 mm*	*?*	*?*	*<5 mm*	*<5 mm*
Srážky podle dokumentárních zdrojů	*Silný déšť 26.-27.2, Nymbursko*	*Nejsou doloženy*	*Poděbradsko 22.2. odpoledne*	*Trvající deště, jižní Plzeňsko a Berounsko, 27.2.*	*Dlouhotrvající déšť, Kolínsko. Sníh přecházející do deště Berounsko 26.2.*
Rychlost větru během povodně, / Beufortova stupnice/ Klementinum	*5-6*	*1-4*	*5-6*	*2-3*	*5-8*

Tab.2 Doběhové doby povodní mezi Prahou a Drážďany

	1784	1785	1799	1830	1845
Praha	*28.2. 10 –16 h*	*16.4.*	*23.2. ? večer*	*28.2. 17:30 h*	*29.3. 14. h*
Drážďany	*28.2. 21. h*	*21.4. ráno*	*25.2.ráno*	*2.3. večer?*	*31.3. 10 h*
Doběhová doba	*36-40 h*	*cca 120 h*	*30-40 h*	*40-50 h*	*44 h*



Obr. 6 Porovnání průběhů povodní 1784,1830 a 1845 v Praze



Obr.7Porovnání povodní 1784,1785,1799 a 1845 v Drážďanech

Závěr

V příspěvku byl proveden pokus o srovnání velkých zimních povodní s extrémními parametry v povodí Labe. Bylo k tomu dílem vyhledat, dílem rekonstruovat, dílem opravit průběhy významných povodní z ranně instrumentálního období meteorologie a hydrologie. Je možné říct, že tento úkol byt ve většině splněn. Je tak možné posuzovat největší povodňové případy v posledních cca 300 letech. Pokud jde o srovnání samotné, můžeme při uvažování o dynamice povodně poukázat na vydatné dešťové srážky, které byly jistě hlavním momentem v roce 1784. Také ledové bariéry vedly často

k rapidnímu a nepředvídatelnému nárůstu vodního stavu jako roku 1799. Naopak ukázku zřejmě v největší míře sněhové povodně s velmi mírným nástupem a enormním objemem přinesl duben 1785. Povodeň 1845 je zejména pro Drážďany kombinací obou zmíněných typů. Pokles kulminačního stavu v roce 1784, který jednoznačně potvrzují značky v oblasti Mělníku lze dobře vysvětlit za pomocí rekonstruovaného průběhu povodně v Praze.

Srovnání těchto 5 případů povodní umožňuje zatím částečně vysvětlit chování říčního systému Vltavy a Labe v extrémních situacích. Ukazuje se také, že bez analýzy těchto historických případů je nesnadné a možná nemožné dostatečně vysvětlit některé jevy, které provázely i povodeň 2002.

Cílem příspěvku bylo proto i poukázat na potenciál dat z ranně instrumentálního období před 150 až 250 lety a možnosti jeho využití.

Literatura:

Brázdil R. , Dobrovolný P., Elleder L., Kakos V. , Kotyza O. , Květoň V., Macková J., Štekl V., Tolasz R. Valášek H. (2005) : Historické a současné povodně v České republice, Masarykova Univerzita v Brně a Český hydrometeorologický ústav v Praze, Brno a Praha, 2004 (rukopis)

BarriendosM. Llasat, C. M. (2003): Flood events in historical time : How to analyze all physic and human factors involved from documentary sources? in: Proceedings of 2nd international conference of the European society for enviromental history Prague 2003, Dealing with diversity, s. 12-15

Börngen, M. – Tetzlaff, G., ed., 2000. Curt Weikinn Quellentexte zur Witterungeschichte Europas von der Zeitwende bis zum Jahr 1850, Bd I./5. Berlin/ Stuttgart: Gebrüder Borntraeger.

Deutsch M. (2000): Zum Hochwasser der Elbe und Saale Ende Februar/ Anfang März 1799 in: Deutsch M., Portge K., H., Teltscher H.: Beiträge zum Hochwasser/Hochwasserschutz in Vergangenheit und gegenwart, Institut fuer Geographie Padagogische Hochschule, Erfurt, s 7-44

Elleder, L.(2003): "Pražský Bradáč, jeho stáří, účel a historie" Historica Pragensia, 1, Museum hl. města Prahy, Praha 2003 str. 301-333 (vyšlo opožděně tiskem 12/2004)

Elleder L.(2004), "Povodně v Berouně" in: Jančaříková et al., Český Kras XXX, Muzeum Českého Krasu, Beroun, 2004 s. 59-62

Elleder, L., Munzar, J. (2004b): Extrémní povodeň na Vltavě a Labi v únoru 1784 jako následek mimořádných hydrometeorologických podmínek. Meteorologické zprávy, 56, č. 5, s. 125–135.

Fügner D. (2002) : Hochwasserkatastrophen in Sachsen, Tauchaer Verlag , Leipzig, s. 88

Glaser R. (2001): Klimageschichte Mitteleuropas, 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen,Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, s. 227

Kakos V. (1977): Velké povodně na Vltavě v Praze ve vztahu ke Klementinským pozorováním počasí In: Sborník příspěvků ze semináře k 200. výročí observatoře v Praze Klementinu (14.-16.9. 1976), s.37-42

Kakos V. (1995) : Povodeň v březnu 1845 v povodí českého Labe In: Sborník odborného semináře Povodňová ochrana na Labi-Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, ČHMÚ, Povodí Labe a.s., Praha, s 25-47

Kakos.,V. – Munzar, J., 2000. Zima 1829/1830 – nejtužší ve střední Evropě od počátku měření teploty vzduchu. Meteorologické Zprávy, roč. 53, č. 4, s.103–108.

Kynčil J. (1982) : Excerpta z díla Christiana Gotlieba Pötzsche Chronologické dějiny velkých povodní labského proudu za tisíc a více let. Dodatek a pokračování jeho chronologických dějin velkých povodní labského proudu za tisíc a vícero let od 1786 do 1800, zvláště pooruhodných záplav roku 1799 a a jiných s tím souvisejících událostí, Chomutov, VATR, s. 33

Kolektiv (1891): Graphische Darstellung verschiedener Hochwasser der Elbe seit 1845, Königliche Elbstrombauverwaltung zu Magdeburg, Magdeburg, s. 21

Kotyza O., Cvrk, F., Pažourek,V. (1995): Historické povodně na dolním Labi a Vltavě, Okresní muzeum v Děčíně 1995, s. 169

Kovář D. (2002): Budějovice a velká voda-historické ohlédnutí, České Budějovice, Nakladatelství Bohumír Němec-Veduta, s. 55

Krolmus V. (1845): Kronyka čili dějepis wšech powodní posloupných let, suchých a mokrých a neúrodných na obilí, ovoce a vína, hladů, morů a jiných pohrom v království Českém. Tiskem Karla Wetterla, Praha, s. 266

Kutnar F., ed. (1941) Paměti sedláka Josefa Dlaska, s. 127

Munzar J. (1997), Pařez J.: Historické povodně a jejich vliv na krajinu a sídla v dolním Poohří In: Historická geografie 29, Historický ústav, Praha, s. 211-237

Munzar,J.-Elleder,L.- Deutsch,M.(2005): The catastrophic flood in

February/ March 1784 - a natural disaster of European dimension.

Moravian Geographical Reports,Vol.13, No.1 (v tisku)

Müller M. , Kakos V. (2003): Hydrometeorologické srovnání povodní v srpnu 2002 s vybranými historickými případy dešťových povodní na Vltavě v Praze, Meterorologické zprávy č. 5, str.129

Mizera F. (1930): Paměti města Semil a okolí, město Semily, Semily, s.273

Ninger J., Zelinka F. (1873?): Povodně v Berouně od r. 1784-1872, vydal Vavřinec Wiesenberger, Beroun s. 60

Novotný J. (1959) : Dvě stoleté hydrologické řady průtokové na českých řekách (Praha 1959), Sborník prací hydrometeorologického ústavu č.2, ČHMÚ, s.126

Nyplová, Z. (1969): Povodně na Zbraslavsku (Z autorčiny pozůstalosti). Zpravodaj středočeské vlastivědy a kronikářství, 1, s. 279-288.

Richter J., Němec A. (1892) : Zařízení služby prognosní o stavu vody na Labi v Čechách, Technická kancelář rady zemědělské pro království České, Nové řady sešit č. 4, tiskem K.u.K Hofbuchdruckerei A. Haase, Praha, s. 37

Schaller J. (1785): Topographie des Konigreichs Böhmen, Erster Teil, Rakownitzer Kreis (Prag, Wenzel Piskaczek), s. 42

Skopec, J. (1910): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770-1816. 114 s.

Urban F. (1999): Václav Jan Mašek písmák jižního Plzeňska, Granát, Obecní úřad Řenče (1999),s. 177

Použité a zmiňované databáze:

HKD: Klimatologická historická databáze(J. Svobody), v majetku ČHMÚ

Zkratky:

Vavák: Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Ed. Skopec, 1907–1938

Dlask: Paměti sedláka Josefa Dlaska, Ed. Kutnar F., ed. (1941)

VPLYV ZRÁŽKOVÝCH EXTRÉMOV NA ZÁSOBU VODY V ŤAŽKEJ PÔDE

Milan Gomboš, Andrej Tall

Tento príspevok sa zaoberá numerickou simuláciou vodného režimu ťažkých pôd na lokalite Senné. Pri simulácii bolo uvažované s extrémnou udalosťou - hypotetickým úhrnom zrážok s pravdepodobnosťou opakovania raz za sto rokov. Tento úhrn bol štatisticky získaný z 30 – ročného radu denných zrážkových úhrnov zo stanice Vysoká nad Uhom. Podľa modelovaných výsledkov vyvolala zrážková udalosť (76,38 mm) povrchový odtok (20 mm). Zbytok bol absorbovaný hlavne puklinami (56,38 mm). Retenčný objem puklinovej siete je z hľadiska extrémnych meteorologických udalostí signifikantný pre absorbovanie veľkého prísunu vody za krátky čas v prípade extrémnych zrážok.

Kľúčové slová: numerická simulácia, dvojdoménový pôdny profil, extrémne zrážky

Extreme rainfall influence to the water storage in heavy soil. *This paper deals with numerical simulation of water regime under the condition of two-domain soil profile. Simulated was heavy soil profile in Senné. During the simulation the extreme rainfall, statistically obtained from 30-years daily rainfalls from meteorological station in Vysoká nad Uhom, was added to the inputs. Outputs were evaluated and compared with the data from monitoring. Extreme rainfall (76,38 mm) caused a surface runoff (20 mm) and the rest of the rainfall (56,38 mm) was mainly absorbed via cracks. Retention volume of crack network may be therefore significant for absorbing of large amount of water in case of extreme rainfall.*

Key words: numerical simulation, two-domain soil profile, extreme rainfall

---

ÚVOD

Pomocou numerickej simulácie vodného režimu pôd možno za predpokladu správnej interpretácie výstupov získať pomerne veľa informácií, ktorých získanie priamym monitoringom v teréne by bolo veľmi náročné alebo dokonca nemožné. Numerická simulácia je výrazne závislá na kvalite vstupných údajov. Získava sa ňou kontinuálny rad údajov v ľubovoľne zvolených časových intervaloch (Majerčák, 2001) a možno vypočítať vplyv zmeny vybraného vstupu na priebeh skúmaného procesu.

Jedným z príkladov využitia numerickej simulácie sa zaoberá tento príspevok, v ktorom je simulovaný vplyv „extrémnej“ (v tomto prípade storočnej) zrážkovej udalosti na vodný režim dvojdoménového pôdneho prostredia.

TEORETICKÝ ZÁKLAD

Dvojdoménové pôdne prostredie je dvojzložkovým systémom tvoreným doménou makropórov – puklinovej siete a doménou mikropórov – pôdnej matrice. Tento systém je charakteristický vysokým zastúpením ílovej zložky, ktorá okrem objemových zmien pôdy spôsobuje aj veľmi nízku priepustnosť v doméne mikropórov. Nízka priepustnosť pôdnej matrice značne obmedzuje pohyb vody a teda aj infiltráciu zrážok, ktoré padnú na povrch pédov. Naproti tomu doména makropórov, čiže puklín nepredstavuje pre prúdenie vody žiadnu prekážku a zrážková voda sa dostáva k hladine podzemnej vody takmer okamžite.

Ďalším fenoménom dvojdoménového pôdneho prostredia je puklinová pórovitosť, čiže objem puklín (Šútor, 2003). Pukliny tvoria významný retenčný priestor, ktorý je okamžite k dispozícii v prípade väčšieho prísunu vody za krátky čas. Puklinová pórovitosť sa v čase mení podľa aktuálnej vlhkosti pôdneho profilu a teda aj veľkosť retenčného priestoru má sezónny charakter: najväčší býva v čase najväčšieho sucha (letné až jesenné mesiace) a takmer nulový je v čase od konca zimy až po začiatok jari, keď je pôdny profil nasýtený vodou. Uvedené skutočnosti môžu byť podstatné z hľadiska

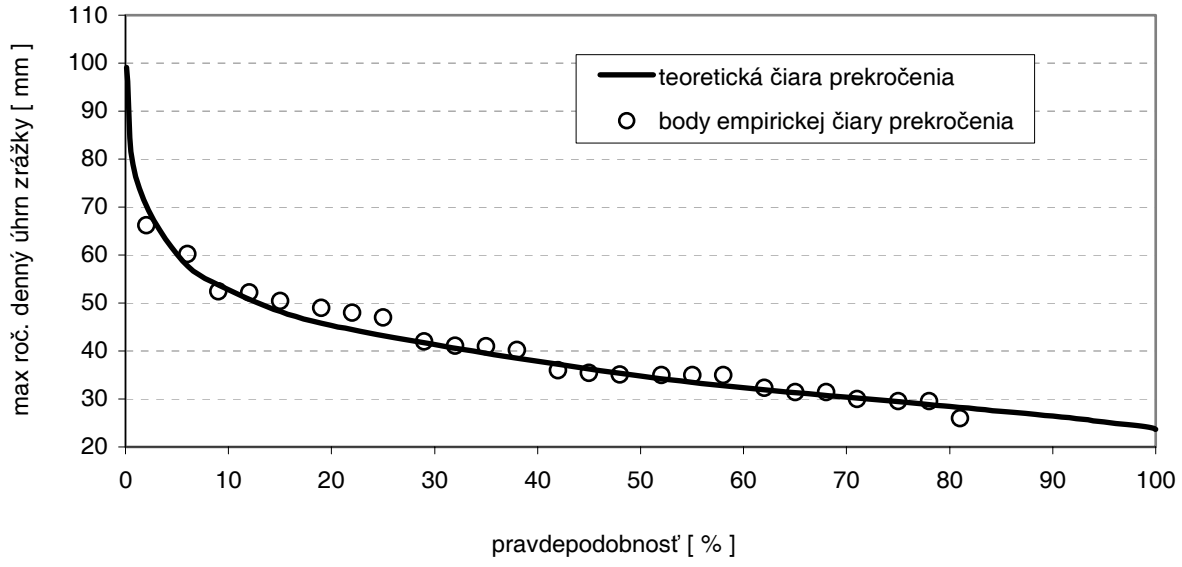
skúmania vplyvu extrémnych (hlavne letných) zrážok na území s dvojdoménovým pôdnym profilom. Tieto zrážky môžu byť celé, alebo aspoň ich podstatná časť zachytená puklinami a nemusí dôjsť k veľkému povrchovému odtoku, ktorý by bol nežiadúci.

MATERIÁL A METÓDY

Numerickou simuláciou s využitím modelu FLOCR (Oostindie, 1992) bol simulovaný vodný režim pôdneho profilu v lokalite Senné pre rok 2001 (od 14. 2. 2001 do 18. 12. 2001). Jedná sa o profil extrémne ťažkej pôdy s výraznou dvojdoménovou štruktúrou. Pôdny profil bol pri simulácii zadefinovaný do hĺbky 3m a rozdelený na 30 vrstiev po 0,1 m. Charakteristiky pôdneho profilu boli zadané vo forme vlhkostnej retenčnej čiary, priebehu hydraulickej vodivosti a zmrašťovacích charakteristík. Zrážky vo forme denných úhrnov boli získané z neďalekej stanice SHMÚ vo Vysokej nad Uhom. Simuláciou bol získaný priebeh hladiny podzemnej vody (HPV), priebeh objemovej vlhkosti po výške pôdneho profilu a hodnoty povrchového odtoku (Gomboš, 2003, Gomboš, 2003a, Tall, 2003).

V lokalite Senné bol vykonávaný aj monitoring, ktorý pozostával z meraní HPV a odbere vzoriek pôdy pre stanovenie objemovej vlhkosti do hĺbky 0,8 m po intervaloch 0,1 m. Monitorované hodnoty slúžili na overenie výsledkov modelovania.

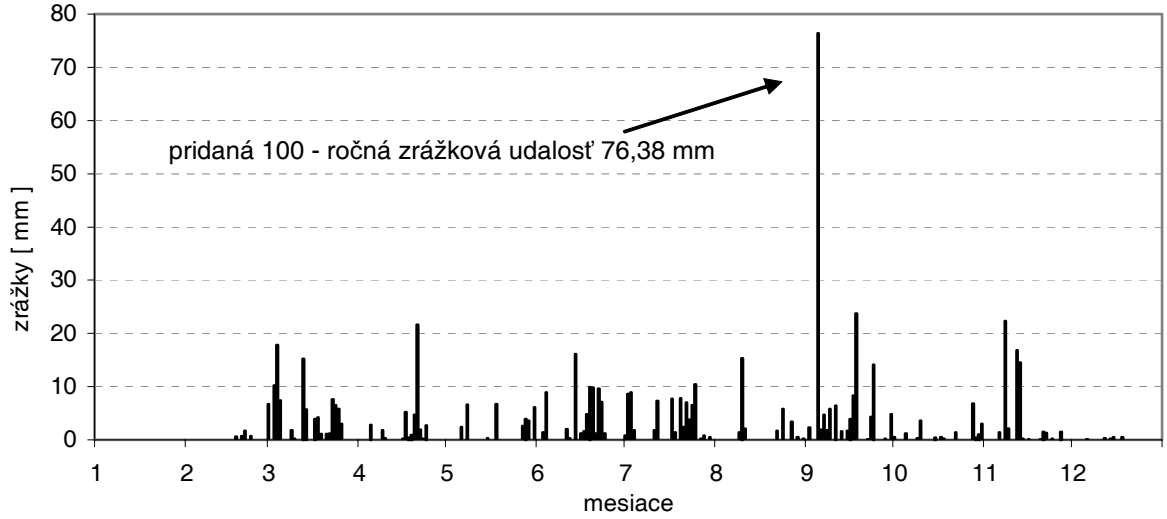
Ďalší postup spočíval v analýze 30 – ročného radu denných úhrnov zrážok zo stanice Vysoká nad Uhom (roky 1974 – 2003). Z maximálnych ročných denných úhrnov zrážok bola zostrojená empirická čiara prekročenia a metódou momentov aj teoretická čiara prekročenia (obr. 1). Následne bol získaný zrážkový úhrn s periodicitou výskytu 1 %, čo znamená pravdepodobnosť jeho opakovania raz za 100 rokov. Jej hodnota je 76,38 mm.



Obr. 1 Čiary prekročenia maximálnych ročných denných úhrnov zrážok zo stanice Vysoká nad Uhom (za roky 1974 – 2003).

Fig.1 Empirical and theoretical curves of exceedance from maximal annual dayly total precipitation (station Vysoká nad Uhom 1974 – 2003)

Takto získaná zrážková udalosť bola pridaná k vstupom do modelu v dni, keď bol podľa modelu pôdny profil najviac presušený, t. j. 5. 9. 2001 (obr. 2). Nakoniec bola vyhodnotená reakcia modelu na pridanú zrážkovú udalosť a bol analyzovaný jej vplyv na vodný režim skúmaného profilu podľa modelu.

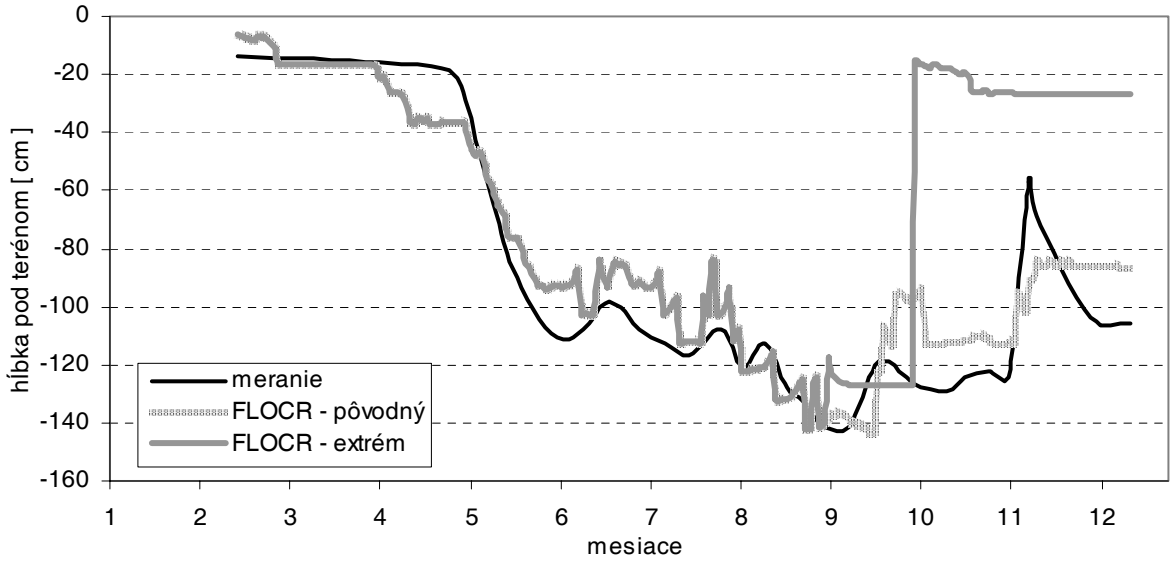


Obr. 2 Denné zrážkové úhrny (rok 2001) zo stanice Vysoká nad Uhom použité pri numerickej simulácii spolu s dosadenou 100 – ročnou zrážkou v dni 5. 9. 2001

Fig. 2 Daily total rainfall (year 2001) from Vysoká nad Uhom station used during numerical simulation together with fictive extreme rainfall from 5.9.2001

VÝSLEDKY A DISKUSIA

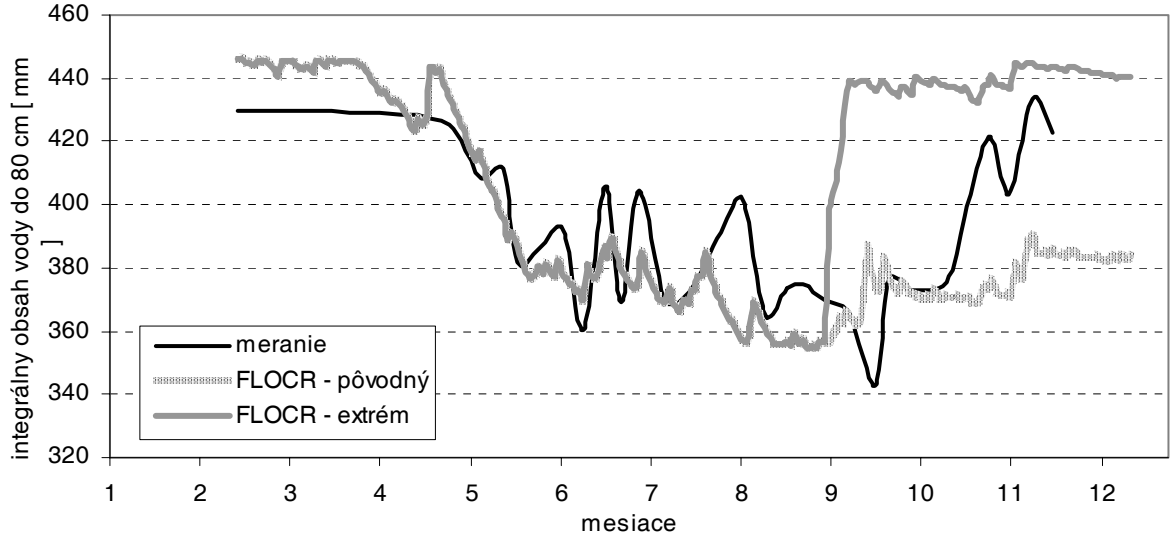
Výsledok simulácie priebehu HPV spolu z monitorovanými hodnotami je na obrázku č. 3. Graf pre porovnanie znázorňuje aj výsledok simulácie pred pridaním extrémnej zrážkovej udalosti. Ako vidno úroveň HPV sa okamžite po tejto udalosti zdvihla o cca 0,23 m a približne po mesačnom ustálenom stave prudko stúpla takmer na úroveň terénu.



Obr. 3 Priebehy meranej a modelovaných úrovní HPV

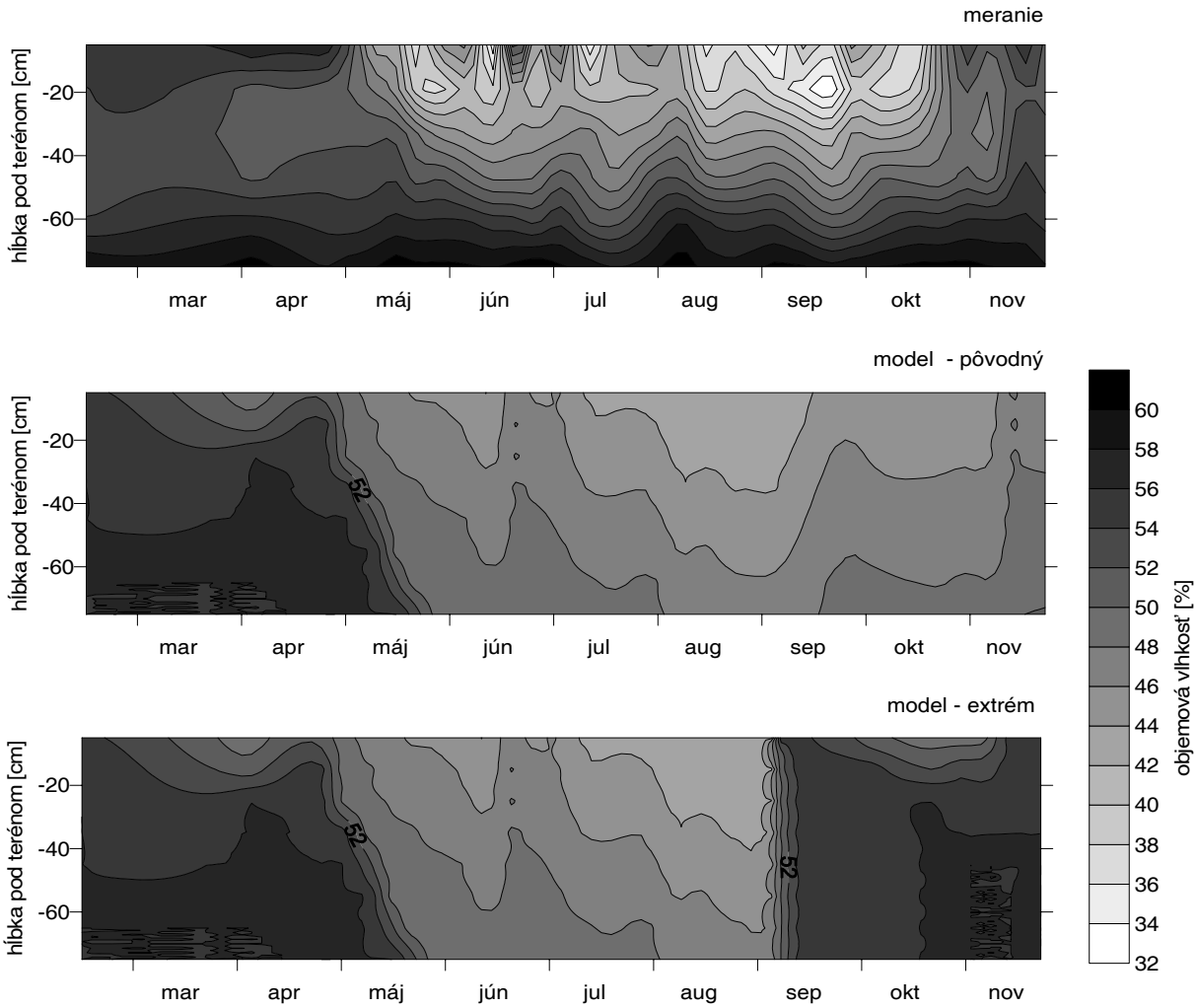
Fig. 3 Observed and simulated groundwater level

Ďalšie grafy na obrázku č. 4 znázorňujú priebehy integrálnych obsahov vody v pôdnom profile do hĺbky 0,8 m. Obsah vody v pôdnom profile zaznamenal po extrémnej udalosti výraznú stúpajúcu tendenciu a po deviatich dňoch bol už blízko stavu nasýtenia.



Obr. 4 Priebehy integrálneho obsahu vody do hĺbky 0,8 m

Fig. 4 Course of water content to the depth of 0,8 m



Obr. 5 Chronoizoplety podľa meraní a modelu do hĺbky 0,8 m

Fig. 5 Redistribution of volume moisture in soil profile (observed and calculated)

Rozdelenie vlhkosti po výške pôdneho profilu v čase znázorňujú chronoizoplety na obrázku č. 5. Na obrázku (spodný graf) vidieť veľmi rýchly nárast vlhkosti po padnutí storočnej zrážkovej udalosti, čo poukazuje na rýchly prestup vody z puklín do pôdneho profilu.

Modelom vypočítaný povrchový odtok mal v dni pridania extrémnej udalosti hodnotu 20 mm, čo znamená, že z celkového úhrnu 76,38 mm bolo pôdnym profilom prakticky okamžite absorbovaných 56,38 mm. Z uvedeného vyplýva, že pôdny profil by bol v uvedenom dni (5. 9. 2001) schopný absorbovať zrážky o úhrne 56,38 mm bez toho, aby došlo k povrchovému odtoku. Takéto zrážky mjú podľa obrázku č. 1 periodicitu výskytu blízku 10 %, čo zodpovedá pravdepodobnosti ich opakovania raz za 5 rokov. Prakticky okamžité absorbovanie týchto zrážok je možné zdôvodniť jedine retenčnou schopnosťou puklinovej siete, nakoľko infiltračná schopnosť pôdnej matrice je v takýchto ílovitých pôdach veľmi nízka.

ZÁVER

V príspevku sú analyzované výsledky numerickej simulácie vodného režimu profilu dvojdoménovej pôdy v lokalite Senné v roku 2001 (14. 2. až 18. 12. 2001). Na uvedenej lokalite je vykonávaný monitoring, ktorý slúžil na verifikáciu výsledkov simulácie. Pomocou numerickej simulácie bol skúmaný aj vplyv extrémnej zrážkovej udalosti na vodný režim pôdy. Do modelových vstupov bola pridaná extrémna zrážková udalosť o úhrne 76,38 mm, čo v uvedenej lokalite predstavuje udalosť s pravdepodobnosťou jej opakovania raz za sto rokov. Úhrn tejto zrážkovej udalosti bol vypočítaný z čiar prekročenia na základe tridsaťročného radu denných úhrnov zrážok zo stanice vo Vysokej nad Uhom. Táto udalosť bola dosadená do modelu v „suchom období“ v dni, keď mal podľa modelu pôdny profil najväčší deficit vlahy (dňa 5. 9. 2001).

Z výsledkov vyplýva, že pôdny profil zareagoval na storočnú zrážkovú udalosť veľmi citlivo a takmer okamžite, pokiaľ sa jedná o vlhkosť nenasýtenej zóny. Dokumentuje to priebeh integrálneho obsahu vody (obr. č. 4) a chronoizoplety na obr. č. 5. Pri HPV došlo okamžite jej zvýšeniu o 0,23 m, ale na svoje maximum v blízkosti povrchu terénu stúpla s cca mesačným oneskorením.

Hodnoty povrchového odtoku mali pri simulácii s reálnymi zrážkami (bez extrémnej udalosti) nulové hodnoty. Po pridaní extrémnej zrážkovej udalosti došlo podľa modelu okamžite k povrchovému odtoku o hodnote 20 mm. Znamená to, že pôdny profil absorboval 56,38 mm vody (76,38 mm – 20 mm). Pri veľmi obmedzenej infiltračnej schopnosti povrchu pôdnej matrice takejto pôdy to znamená, že podstatná časť tohto objemu vody bola okamžite zachytená puklinami. Puklinová sieť predstavuje významný retenčný objem, ktoré majú ťažké pôdy najmä v suchom období k dispozícii.

Maximálny úhrn zrážok, ktorý by bol pôdny profil v uvedenom prípade schopný absorbovať, bez povrchového odtoku má teda hodnotu 56,38 mm, čo približne zodpovedá 5 ročnej zrážkovej udalosti.

Fenomén puklinovej siete dvojdoménového pôdneho prostredia z hľadiska jeho retenčnej schopnosti má okrem iného aj podstatný vplyv na vodný režim v prípade náhlych vysokých úhrnov zrážok. Táto skutočnosť má veľký význam pri ďalšom skúmaní vplyvu dvojdoménového pôdneho prostredia na jeho vodný režim, najmä pri zohľadnení súčasného nárastu periodicity prívalových dažďov vysokej intenzity.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou pre podporu vedy a techniky prostredníctvom finančnej podpory č. APVT – 51 – 044802 a grantovou agentúrou VEGA 2/3018/23.

Literatúra

GOMBOŠ, M. – ŠÚTOR, J. – TALL, A. 2003. Vodný režim ťažkých pôd stanovený monitoringom a numerickou simuláciou. In: Zborník Bioklimatické pracovné dni 2003 „Funkcia energetickej a vodnej bilancie v bioklimatických systémoch“. Račková dolina : SHMÚ. 2003, CD.

GOMBOŠ, M. – TALL, A. – ŠÚTOR, J. 2003a. Numerická simulácia dynamiky vody v puklinovom pôdnom prostredí. In: Zborník Seminár s medzinárodnou účasťou „Hydrologie půdy v malém povodí“. Praha : Ústav pro hydrodynamiku AV ČR. 2003, 71-78.

MAJERČÁK, J. – ŠÚTOR, J. – ŠTEKAUEROVÁ, V. 2001. Simulácia vodného režimu pôd ako alternatíva k monitoringu jeho charakteristík in situ. In: Národný klimatický program SR zv. 11. Bratislava : MŽP SR – SHMÚ. 2001, 104 s. ISBN 80-88907-25-X

OOSTINDIE, K. – BRONSWIJK, J. J. B. 1992. FLOCR – A simulation model for the calculation of water balance, cracking and surface subsidence of clay soils : Report 47. Wageningen : The Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research. 1992, 65 s.

ŠÚTOR, J. – GOMBOŠ, M. – TALL, A. 2003. Kvantifikácia puklinovej pórovitosti ílovito – hlinitých pôd Východoslovenskej nížiny. In: Zborník Seminár s medzinárodnou účasťou „Hydrologie půdy v malém povodí“. Praha : Ústav pro hydrodynamiku AV ČR. 2003, 29-34.

TALL, A. – ŠÚTOR, J. – MATI, R. 2003. Numerická simulácia vodného režimu ťažkej pôdy. In: Zborník vedeckých prác č.19, Michalovce OVÚA, 2003, s. 207-215.

Autori: Ing. Milan Gomboš, CSc., RNDr. Andrej Tall

Ústav hydrológie SAV, Hollého 42, 071 01 Michalovce, e-mail: uhsavmi@stonline.sk

VLIV FYZICKOGEOGRAFICKÝCH FAKTORŮ NA ČASOVÝ A PROSTOROVÝ VÝSKYT POVODNÍ V POVODÍ LABE

Jana Chalušová

V článku jsou popsány mechanismy vedoucí ke vzniku povodní v české části povodí Labe. Jak ukazují různé scénáře dopadů klimatické změny, z hlediska povodňového režimu můžeme očekávat nejen změny extremity odtoků, ale také změny v období a prostoru jejich výskytu. Aby mohly být tyto změny identifikovány, je nejprve nutné určit sezonální rozložení výskytu povodní a jeho regionální rozsah. Cílem studie tedy bylo vystihnout fyzickogeografické procesy vedoucí ke vzniku povodní a popsat jejich časovou a prostorovou variabilitu. Pozornost byla věnována i dlouhodobým změnám povodňového režimu. Výzkum byl rozdělen do třech částí. Nejprve byla řešena otázka identifikace sezonální variability v povodňových řadách. Druhá část se zaměřovala na odhalení základních fyzickogeografických charakteristik, které ovlivňují období výskytu povodní. Posledním krokem bylo vymezení regionů podobných z hlediska povodňotvorných mechanismů. Výzkum probíhal na 110 dílčích povodích. Celé povodí Labe bylo na základě výsledků sezonální analýzy rozděleno do sedmi regionů.

Klíčová slova: sezonalita, povodně, regiony, fyzickogeografické faktory, region, Labe

Influence of Physical Geographical Factors on the Timing and Spatial Variability of Floods in the Elbe River Basin. *The study examines the temporal framework for floods in the Elbe river basin in order to comprehend the time and spatial dimensions of various flood-producing mechanism. This temporal framework becomes especially important as current predictions of the hydrologic responses to climate changes indicate that various climate change scenarios will not affect only the magnitude of runoff, but also its timing. Before the potential changes in flood regime like shift in flood timing can be identified, it becomes necessary to exactly establish the annual distribution of peak flows and their regional extent. The goals of this research, therefore, are 1) to identify the seasonal variability evident in the flood series, 2) to identify the physical-geography controls on flood timing and 3) to establish similar flood producing regions in the Czech part of the Elbe River basin. This framework is achieved by analyzing the flood series for 110 water-gauging stations. The whole study area was divided into seven homogeneous regions.*

Key words: seasonality, floods, physical geography factors, region, the Elbe River

---

1 ÚVOD

Povodně již od nepaměti patřily k nejobávanějším živelním pohromám. Svou povahou často působily nenahraditelné ztráty na lidských životech a újmy na zdraví, jakož i drastické škody na majetku. Katastrofální povodně v roce 1997 na Moravě a v roce 2002 v Čechách opět ukázaly na důležitost povodňové hydrologie. Proto výzkum zda a jak se dá proti tak rozbouřenému živlu přírody chránit se stal jedním z akutních úkolů moderní ochrany životního prostředí. Zvláště za okolností, kdy jedním z často citovaných scénářů možných důsledků globálních změn klimatu pro území střední Evropy je varianta zvětšování extrémů, a tedy i častější výskyt velkých povodní.

1.1 Cíle práce

Článek se zabývá studiem povodní v povodí Labe za účelem pochopení časové a prostorové dimenze různých mechanismů vedoucích ke vzniku povodní. Toto téma se stává zvláště důležité , protože současné předpovědi hydrologické odezvy na klimatickou změnu ukazuje, že podle různých scénářů nebude ovlivněna pouze extremita průtok, ale také období jejich výskytu. Pokud chceme potenciální změny povodňového režimu, jako např. Shift období výskytu, identifikovat, je nezbytné nejprve popsat výskyt extrémních průtoků v průběhu roku a jejich regionální rozsah.

Cíle studie jsou tedy následující:
1) Identifikovat sezonální variabilitu v povodňových řadách,
2) Identifikovat fyzicko-geografické faktory, které ovlivňují dobu výskytu extrémního průtoku a
3) Vytipovat oblasti podobné z hlediska výskytu povodní v rámci povodí Labe.

Za tímto účelem bylo zkoumáno 110 dílčích povodí.

2 METODY A PŘÍPRAVA DAT

Moderní postupy ke stanovení sezonality výskytu povodní v průběhu roku prokázaly, že maximální roční a měsíční průtoky jsou pro tyto účely v řadě praktických aplikací příliš hrubým parametrem. V relativně vodnějších obdobích roku může totiž docházet ke „ztrátě" informací o reálném výskytu povodňových případů. Stírá se tak rozdíl mezi obdobími se zvýšenou a sníženou pravděpodobností výskytu maximálních průtoků. Je to způsobeno zejména tím, že použití delší časové jednotky vylučuje z úvahy tzv. „přidružené povodně", které se podle historických zkušeností vyskytují často v jednom měsíci.
Proto bylo v této práci počítáno s daty v denním kroku. Konkrétně šlo o maximální hodnoty průměrných denních průtoků, protože data okamžitých denních maxim nebyla vždy k dispozici. Do každé řady byly zahrnuty průtoky pouze nad zvolenou určitou mezí průtoku.
Sezonální analýza v podstatě může být založena na dvou odlišných přístupech. V prvním se pracuje s daty maximálních ročních průtoků (Annual Maximum Floods - AMF), ve druhém se využívají řady dat o maximech nad určitým mezním prahem (Peaks over Threshold – POT). Ve druhém případě jsou analyzovány všechny průtokové hodnoty povodňových vrcholů, které přesáhly zvolenou prahovou hranici Q_B. Metoda vrcholů nad určitou mezí nabízí oproti metodě maximálních průtoků několik výhod [*Black and Werritty, 1997*]:
Je objektivnější. Nezahrnuje malé průtoky v letech, kdy se nevyskytly jejich větší hodnoty. Naopak v letech, kdy častěji dochází k extrémním jevům, jsou zahrnuty všechny odpovídající případy a ne pouze jeden největší. V závislosti na volbě velikosti prahové hodnoty je možné ovlivňovat počet vybraných povodňových případů.
Celkovým přínosem metody je pak detailnější popis povodňového režimu. Pro účely sezonální analýzy byl v této studii upřednostňován přístup POT.

Matematicky je metoda POT definována následující rovnicí [*Todorovic a Zelenhasic, 1970*]:

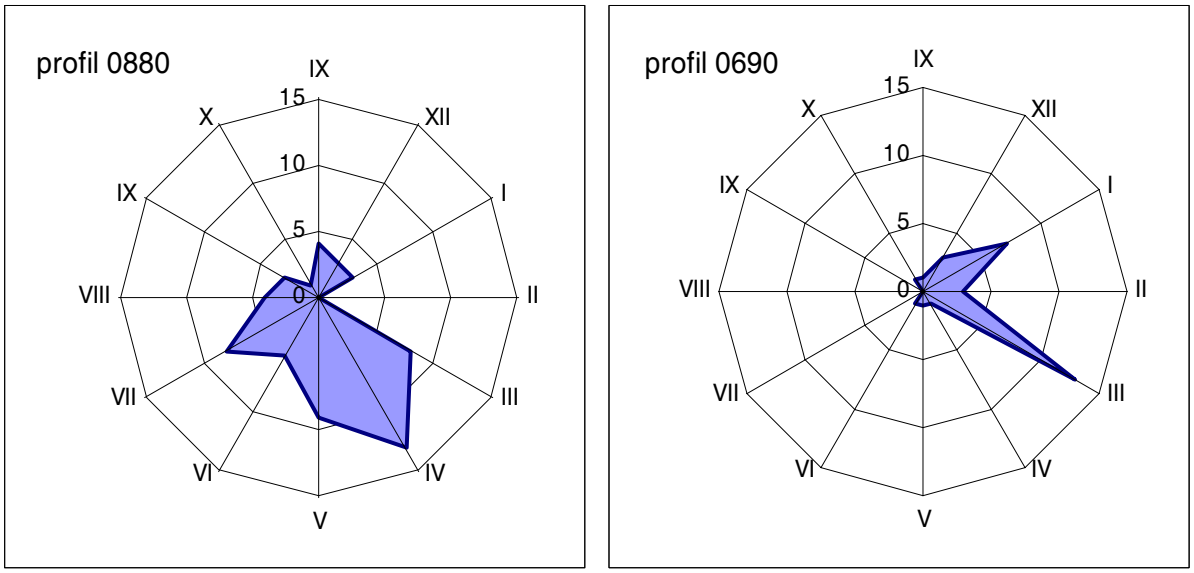
$$\xi_v = \begin{cases} 0 & ; \; Q_v \le Q_B \\ Q_v - Q_B & ; \; Q_v > Q_B \end{cases} \qquad (1)$$

kde Q_B je mezní hodnota průtoku,
Q_ν je průtok v čase $\tau(\nu)$,
ξ_ν je překročení v čase $\tau(\nu)$.

Dalším častým problémem, který narušuje statistiku výskytu povodní je rozlišení více-vrcholových průtokových vln od sledu separátních samostatných vln s určitým časovým odstupem. Pro objektivní stanovení jednotlivých povodňových případů bylo proto použito následující kritérium: 1) interval mezi dvěma sousedními vrcholy musí být alespoň 7 dní a 2) průtok mezi následujícími vrcholy musí klesnout alespoň na polovinu hodnoty vyšší ze dvou kulminací.

2.1 Metody sezonální analýzy výskytu povodní

Pro vyjádření informací o sezonalitě výskytu povodňových kulminací existuje celá řada různých metod, avšak v důsledku početně rozsáhlého spektra příčinných vlivů na vznik povodní neexistuje žádný přístup, který by se dal označit jako univerzálně nejlepší [*Magilligan, Graber, 1996*]. Proto je vždy vzhledem ke stanovenému cíli důležité zvolit vyhovující statistické charakteristiky. Ve studii byly proto za tímto účelem porovnány tři metodiky. Všechny pracují s daty nad určitou mezí.
První z nich, metoda polárních grafů, je založena na grafickém znázornění veličiny na růžicovém grafu, ve kterém jsou na průvodičích pro jednotlivé měsíce roku vynášeny parametry sledovaných fyzikálních jevů (počet výskytu povodňových epizod, kulminační průtok aj.).
Pro každý profil v daném období pak vzniká spojením koncových bodů průvodičů charakteristický obrazec rozložení sledované veličiny. Při ideálním dlouhodobém rovnoměrném rozložení jevů během celého roku by vznikl pravidelný dvanáctiúhelník. Ve skutečnosti je však výskyt extrémních hydrologických událostí značně nepravidelný. V polárním souřadnicovém systému tak v určitých částech roku vznikají různá vychýlení. Některé části roku jsou výrazně typické výskytem extrémů nebo vykazují signifikantní vychýlení oproti průměrnému stavu, v jiném období roku je naopak možno identifikovat úsek s minimální pravděpodobností výskytu jevu (viz Obr. 1). Při výzkumu se potvrdilo, že výsledky metody polárních grafů lze dobře využít pro první orientaci a hrubý celkový pohled na sezonální frekvenci povodňových případů.



Obr. 1 Polární grafy četnosti výskytu povodní pro dvě vybrané vodoměrné stanice v povodí Labe.

Fig. 1 Polar graphs of extreme flow values in two selected profiles in the Elbe River basin.

Metoda směrových statistik převádí datum výskytu povodně do odpovídající polohy v jednotkové kružnici. Podle matematické konvence je počátek roku (1. leden) umístěn do nejvýchodnějšího bodu kružnice a jednotlivá roční období následují po kvadrantech v kružnici proti směru hodinových ručiček [*Mardia, 1972; Fisher, 1993*]. *Bayliss and Jones* [*1993*] definují datum výskytu povodně jako směrovou statistiku, kdy Juliánské datum výskytu povodňové události i převádějí na úhlovou hodnotu

$$\theta_i = (JulianDate)_i \left(\frac{2\pi}{365} \right) \tag{2}$$

kde θ_i je úhlová hodnota (v radiánech) pro datum výskytu povodňové události *i*.

Každé datum výskytu kulminace tak může být interpretováno jako směrový vektor daný úhlem θ_i a velikostí *m*, která je relativní velikostí kulminačního průtoku příslušné povodně (pro největší povodeň

ve sledovaném profilu je m = 1). Pro *n* povodní lze informaci znázornit graficky, a tak získat vizuální reprezentaci povodňového režimu povodí. Jestliže existuje soubor n povodní, pak lze určit souřadnice x a y průměrného data výskytu povodní (Mean Day - *MD*) v daném profilu jako

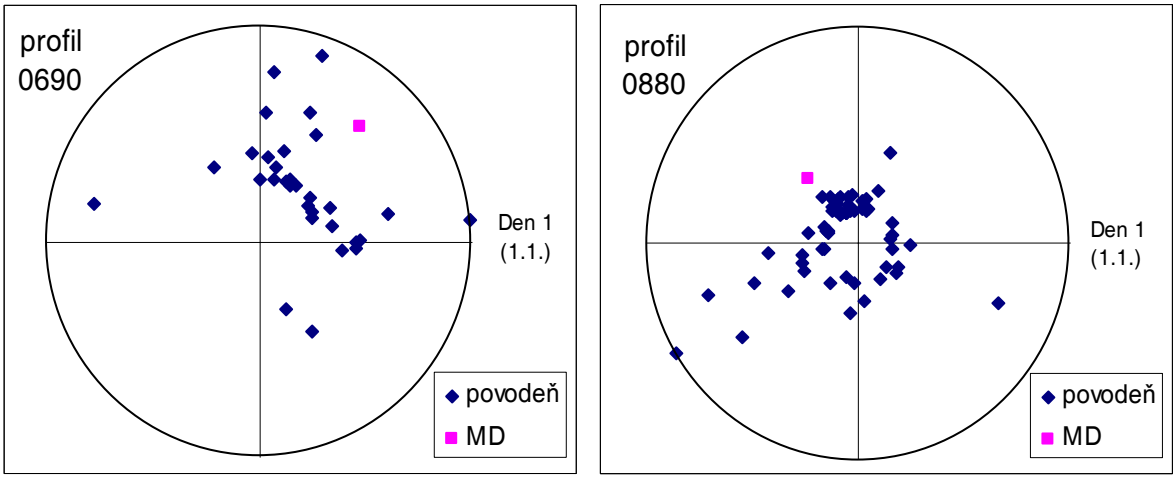
$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\cos(\theta_i) \tag{3}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sin(\theta_i) \tag{4}$$

kde $\bar{x}$ a $\bar{y}$ reprezentují x–ovou a y-ovou souřadnici průměrného data výskytu povodní v určitém povodí. Jako doplněk k *MD* je možno určit míru rozptylu povodňových případů definovanou jako

$$\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \tag{5}$$

kde $\bar{r}$ slouží jako míra rozptylu dat.
Hodnoty $\bar{r}$ blízké jedné ukazují na povodí se silnou sezonální povodňovou odezvou (hodnota $\bar{r}$ =1 by ukazovala, že v daném profilu se všechny povodně vyskytly ve stejném dni roku). Hodnota blízká nule naopak ukazuje na velký rozptyl výskytu povodňových případů během celého roku [*Burn, 1997*]. Obr. 2 ilustruje aplikaci výše uvedené metody ve dvou vybraných profilech povodí Labe. Velikost průvodiče charakteristiky *MD* je dána hodnotou rozptylu $\bar{r}$.



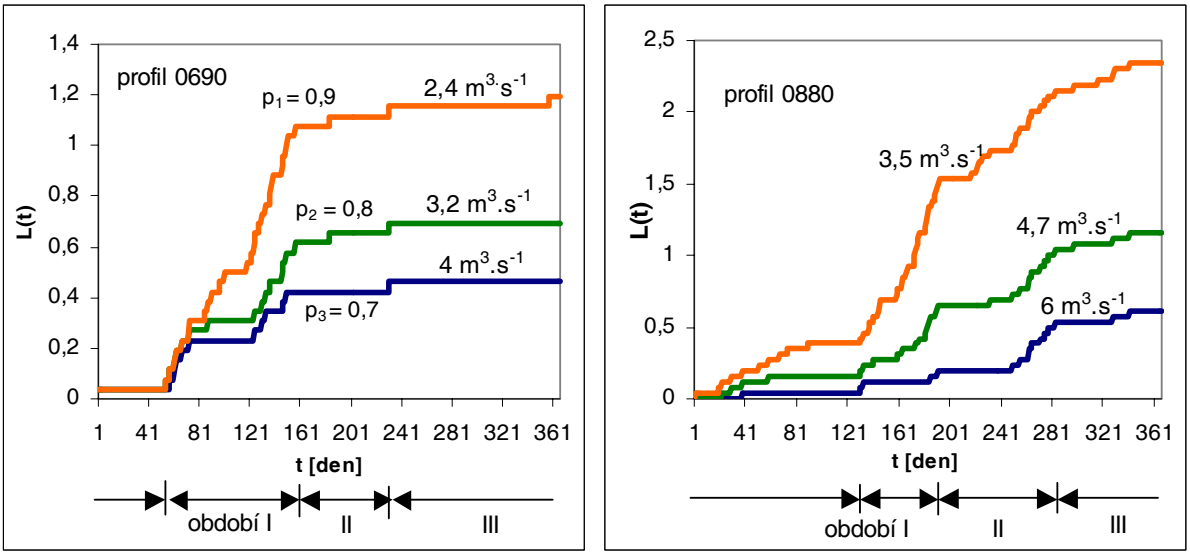
Obr. 2 Výsledky metody směrových statistik pro dvě vybrané stanice v povodí Labe.

Fig. 2 Application of directional statistics method for two gauging stations in the Elbe River basin.

V pořadí třetí posuzovaná, metoda čar kumulativních četností výskytu, je založena na znázornění průměrného počtu výskytu povodňových případů L(t), které v čase t překročily zvolenou hranici průtoků Q_B. Proměnná t probíhá v časovém intervalu (0,T) odpovídající jednomu hydrologickému roku [*Ouarda et al., 1993*]. V našem případě byly průtokové prahy Q_B voleny ve třech variantách, individuálně pro každý profil. V první variantě mezní průtok Q_B odpovídal pravděpodobnosti překročení p_1 = 0,9; ve druhé pravděpodobnosti překročení p_2 = 0,8 a ve třetí variantě pravděpodobnosti překročení p_3 = 0,7. Zobrazení sezonality pro dvě vybrané vodoměrné stanice ilustruje Obr. 3.
Pro každou stanici a každou z uvažovaných hladin Q_B byla vypracována čára kumulativní četnosti (součtová čára) výskytu povodňových případů. Průběh čáry (změna sklonu a její časový počátek i

konec, dílčí ustálená tendence a její trvání) pak vymezuje signifikantní období se zvýšenou pravděpodobností výskytu povodní neboli období zvýšené vodnosti pro každé povodí přináležející uvažované stanici.
K obecným poznatkům sezonálního rozložení velkých průtoků získaných v jednotlivých vodoměrných stanicích metodou součtových čar lze konstatovat, že:

(1) Všechny tři čáry odpovídající příslušným hladinám Q_B mění sklon přibližně ve stejném dni v roce, např. pro profil 0690 nastává počátek vodného období v 53. dni hydrologického roku, tzn. 23.12. a konec ve 159. dni, tzn. 7.4.
(2) Rok tak rozdělují na tři různě dlouhá období vzájemně odlišná svou vodností (období zvýšené pravděpodobnosti výskytu extrémních průtoků, období snížené pravděpodobnosti výskytu extrémních průtoků a přechodové období).
(3) V rámci vymezených období mají čáry kumulativní četnosti výskytu extrémních průtoků víceméně lineární průběh.



Obr. 3 Odvozené čáry kumulativní četnosti výskytu pro tři varianty QB ve dvou vybraných vodoměrných stanicích v povodí Labe za období 1975 – 2000.

Fig. 3 Illustration of the graphical method of the cumulative frequency curves for two stations in the Elbe River basin during 1975 - 2000.

Pro posuzování vlivu fyzickogeografických faktorů na časový výskyt povodní byly zvoleny dvě ze zkoumaných metod: metoda směrových statistik a metoda čar kumulativní četnosti výskytu. Jejich výsledky jsou totiž dostatečně přesné pro statistické zpracování. Následující část popisuje obecné rysy časového a prostorového výskytu povodní v povodí českého Labe.

3 SEZONALITA VÝSKYTU POVODNÍ V POVODÍ LABE

V dlouhodobém rozložení četnosti výskytu povodňových případů v závěrovém profilu povodí Labe v Děčíně se za období 1851-2000 byla prokázána výrazná asymetrie se silnou převahou zimního povodňového režimu.
Pro identifikování potenciálních posunů (v zahraniční literatuře tzv. „shift“) ve výskytu povodní byly zvoleny tři stejně dlouhé časové intervaly (50 let), ve kterých byla sledována sezonální variabilita výskytu extrémních průtoků.
Jako charakteristický rys povodňového režimu byl potvrzen přesun maxima četnosti letních povodňových případů z května (1851-1900) do července (1951-2000). Poslední velká letní povodeň na počátku srpna 2002 tento jev potvrdila. Dále je patrný sezonální posun období s malou

pravděpodobností výskytu povodní - tzv. povodňový útlum - z června do dubna, tedy směrem k zimním měsícům. Délka trvání povodňového útlumu se pohybuje od jednoho do dvou měsíců. Obdobná skutečnost se projevuje i na podzim.
Dále bylo potvrzeno, že se sezonalita povodňového režimu na jednotlivých tocích v povodí Labe liší. Výrazné rozdíly se projevují zejména v horských oblastech.
Některé větší vodní toky (Vltava a Berounka) v povodí Labe vykazují dvojí sezonální režim [Kakos, 1983, 1985], což lze vysvětlit jako důsledek různé senzibility jednotlivých částí fyzickogeografického prostředí těchto povodí na tutéž meteorologickou situaci (např. v povodí Berounky se liší její brdská část od šumavské).

4 FYZICKOGEOGRAFICKÉ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ SEZONALITU

V této části studie byla pozornost zaměřena na odhalení fyzickogeografických faktorů, které mají signifikantní vliv na dobu výskytu povodní v jednotlivých částech povodí Labe. Následně byla zkoumána také míra jejich vlivu. V první řadě byly zkoumány příčiny meteorologické. U jednotlivých subpovodí pak podmínky geografické.

4.1 Příčinné cirkulační podmínky atmosféry

Příčinnou povětrnostní situací se rozumí ta povětrnostní situaci, která způsobila v posloupnosti denních cirkulačních podmínek výskyt povodně v zájmovém povodí. Příčinné typy povětrnostních situací [*Brádka, 1968; HMÚ, 1972*] se ve vybraných povodích vzájemně lišily. Pro převážnou část povodí Labe platí, že povodňové průtoky nejčastěji vznikají v důsledku počasí ovlivněného západní cyklonální činností (typ Wc, Wcs). V závislosti na poloze dílčího povodí jde o 20% až 45% ze všech případů. Výjimku tvoří povodí Lužnice, kde je největší část odtokových extrémů způsobena cirkulačními typy s jižní složkou proudění (typy B, C). V povodí Vltavy se příčinné typy Wc a C vyskytují s téměř stejnou četností, což se projevuje i dvojím režimem výskytu povodní. V menší míře je možné vyrovnanou kombinaci jižního a západního příčinného proudění sledovat i v povodí Berounky.
K odlišným výsledkům lze dospět zkoumají-li se kategorie příčinných synoptických typů v závislosti na době výskytu v průběhu roku. Zpravidla ve sledovaném profilu bývá celkově nejčastější příčinou výskytu povodní např. cirkulační mechanismus západní cyklóny, ale v letním období žádný podobný případ zaznamenám není. Proto byla další část věnována hydrosynoptické problematice z hlediska těchto poznatků.
Na vzniku letních povodňových situací se v konkrétním povodí podílejí jiné typy atmosférické cirkulace než v zimním období. Typy povodňových synoptických situací lze v podstatě rozdělit na typy zimní a letní. Zimní typy způsobují povodeň v období od října do března (zimní hydrologický půlrok), letní typy vyvolávají povodně ve zbývající části roku (letní hydrologický půlrok). Určité, tzv. přechodné typy mohou způsobit povodeň jak v létě, tak i v zimě. Mimo povodí Ohře, kde se žádný takový případ ve sledovaném období nevyskytl, jsou přechodové typy poměrně časté.
V letní polovině roku jsou nejčastější meteorologickou příčinou výskytu povodní situace spojené s jižní složkou proudění vzduchu. Nejčetnějším příčinným typem na většině území povodí Labe je cyklóna nad střední Evropou. Často jde o typ tlakové níže vznikající v jihovýchodní části Atlantského oceánu, která je však při svém pohybu po dráze V_b blokována tlakovou výší nad evropskou částí Ruska. Výjimku tvoří povodí Otavy, kde se jedná o situaci B (brázda nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou).
V průběhu zimy se povodně nejčastěji vyskytují v důsledku západního proudění, tedy situace Wc, Wcs a Vfz.

4.2 Časový předstih příčinných atmosférických cirkulačních podmínek

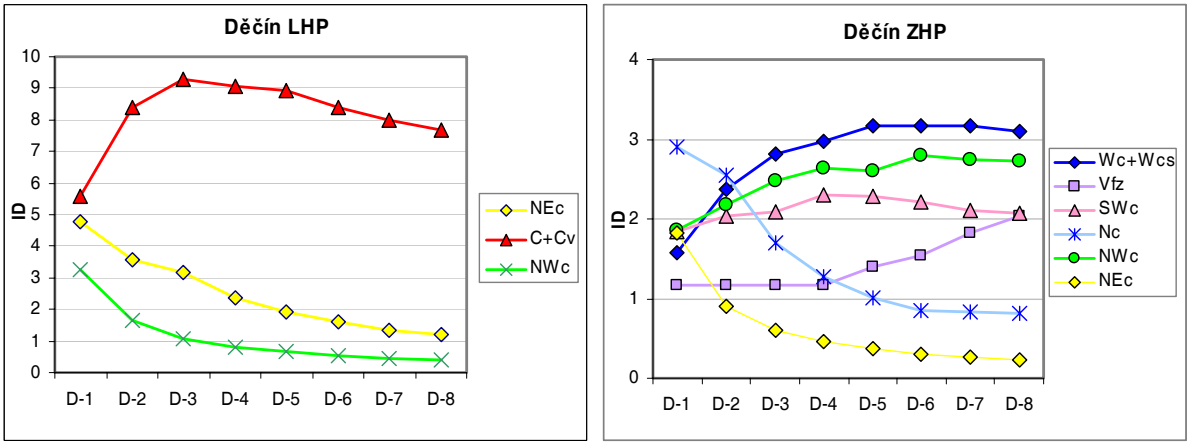
V předešlé kapitole byly představeny typy synoptických situací, které svými procesy ovlivňují s různou pravděpodobností výskyt povodňové vlny v určité oblasti zájmového prostoru a v určitém období roku. Zkoumání povětrnostních situací povodňového charakteru přineslo již dříve poznatek, že

jejich vznik bývá doprovázen fyzikálními symptomy, které časově předcházejí vyvolané povodni. Pokud se tedy tyto náznaky dají zjistit, mohly by signalizovat pravděpodobný nástup povodňového nebezpečí na určitou dobu dopředu aniž by k tomu bylo zapotřebí znát kvantifikaci extremity povodně. Otázkou ale zůstává s jakým předstihem je možné určit výskyt povodňové situace.
Statistickou metodu na testování zmíněné závislosti odvodili *Duckstein, Bárdossy a Bogárdi* [*1993*]. Jako měřítko podmíněnosti výskytu každého cirkulačního typu *j* v období osmi dnů před kulminací je definován tzv. povodňový index *ID*, často označovaný jako povodňová účinnost. Jde o poměr

$$ID(j) = \frac{n_1(j)}{n_2(j)} \tag{6}$$

kde $n_1(j)$ je relativní četnost výskytu příčinného povětrnostního typu j v období před povodňovou situací,
$n_2(j)$ je relativní četnost výskytu stejného typu nepodmíněně na výskytu povodně.

Poměr se vyšetřuje pro každé hydrologické pololetí zvlášť a vždy pro 1 až 8 dní před výskytem kulminace. Hodnoty *ID* větší než jedna příslušejí „povodňovým" cirkulačním typům, které se vyskytují v daném období před povodní častěji, než by odpovídalo jejich nepodmíněné četnosti výskytu. Maximum hodnoty *ID* pak s největší pravděpodobností určuje hledaný časový interval neboli dobu předstihu mezi výskytem příčinné synoptické situace a následné povodně. Časový předstih byl ve všech povodích určován pro každou synoptickou situaci a každé roční období zvlášť. Bylo zjištěno, že časový předstih výskytu fyzikálních symptomů atmosférické cirkulace se před výskytem kulminace liší v závislosti na typu příčinné situace, ročním období jejího výskytu a geografické charakteristice povodí.



Obr. 4 Průběh povodňového indexu ID pro příčinné synoptické situace, které nejvíce přispívají ke vzniku letních a zimních povodní v profilu Děčín na Labi.

Fig. 4 Delay window for causal circulation patterns in summer and winter season in the Elbe River basin at Děčín.

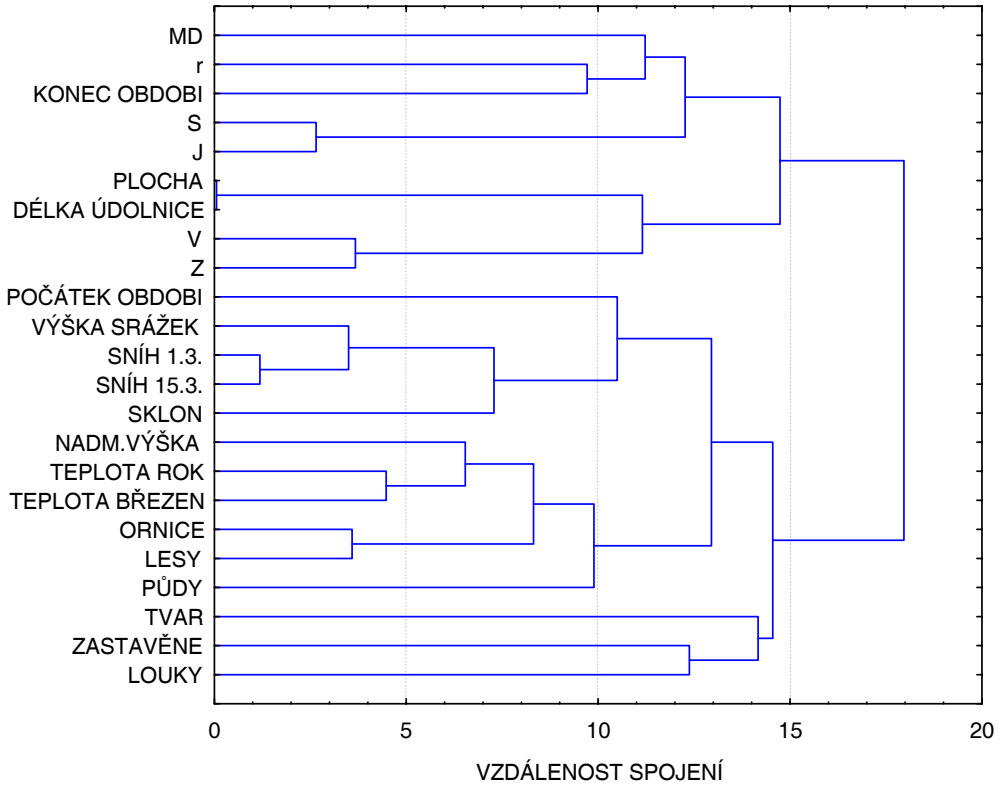
V letní polovině hydrologického roku byl potvrzen předstih nejvýznamnějších příčinných synoptických situací v délce 1 až 3 dnů (výjimku tvoří povodí Lužnice se 4 až 7 dny).
Předstih situací, které se podílejí na výskytu povodňových událostí v zimním hydrologickém půlroce se liší v závislosti na velikosti povodí. U menších oblastí se jedná o 1 až 3 dny, u větších 5 až 7 dnů.

4.3 Příčinné geografické faktory

Prostorem, v němž dochází k transformaci zmíněných srážkových event. teplotních impulsů atmosférické cirkulace na odtokovou odezvu, je fyzickogeografické prostředí povodí. Přestože je

možné hledat souvislost mezi příčinnou synoptickou situací a vznikem povodně metodou černé skříňky [*Vavruška, 1989, Duckstein et al., 1993*], k pochopení mechanismu vzniku povodní fyzikální logikou je dostatečná znalost vlivu vlastností povodí na vývoj těchto procesů nezbytnou podmínkou.
Za tímto účelem byla vytvořena databáze fyzickogeografických faktorů, u kterých je možné předpokládat vliv na vznik a výskyt extrémních průtoků. Vybrané charakteristické veličiny byly pak podle své podstaty rozděleny do dvou skupin: klimatologické faktory (průměrný roční úhrn srážek, průměrná roční teplota, průměrná březnová teplota, průměrná výška sněhu na konci zimy) a geografické faktory (plocha povodí, tvar povodí, délka údolnice, průměrná nadmořská výška, průměrný sklon svahů, orientace svahů, půdní druh, charakteristika využití půdy, podíl plochy pokryté lesem a zeměpisné délka a šířka závěrového profilu.
Prostorová variabilita kvantitativních hodnot určitého faktoru byla v každém dílčím povodí vyjádřena jejich průměrnou hodnotou.
Prvním krokem při odhalování vazeb mezi sezonalitou četnosti výskytu povodňových případů a jejími fyzikálně příčinnými faktory stejně jako při zkoumání vzájemných vztahů mezi jednotlivými fyzickogeografickými veličinami bylo využití metod korelační analýzy. Již ze samotné korelační matice (viz Příloha) je vidět, že výběr možných příčinných faktorů je příliš rozsáhlý. Její rozbor umožnil nalézt ty z nich, které jsou nadbytečné a rozhodnout, zda je možné v další části je vynechat.
Nejprve byly zkoumány vzájemné vztahy veličin charakterizujících sezonalitu výskytu povodní. Bylo zjištěno, že proměnná *MD*, stejně jako její rozptyl *r*, vykazuje mnohem vyšší korelaci ve vztahu ke konci povodňového období (0,54 resp. –0,57) než k jeho počátku (0,29 resp. –0,04). Z toho lze usoudit, že v podstatě ve všech oblastech se první povodně v hydrologickém roce vyskytují zhruba ve stejnou dobu. Rozdíl nastává až v délce trvání povodňového období. V různých částech sledovaného prostoru je odlišnost především v tom, zda a jak často jsou jarní povodně doprovázeny letními neboli zda v povodí existuje dvojí povodňový režim.
Z hlediska zkoumaných fyzickogeografických faktorů je *MD* logicky nejvíce ovlivněno nadmořskou výškou. Zřetelnou korelaci vykazuje i výška sněhu ke dni 15. března a podíl plochy pokryté lesem, ale vliv těchto faktorů je již zahrnut jejich vazbou na zmíněnou nadmořskou výšku.
Počátek povodňového období je rovněž přímo ovlivněn nadmořskou výškou, ale ještě více se zde projevuje výška sněhové pokrývky ke dni 15. března a průměrná roční výška srážek. Počátek tání sněhu je tedy rozhodující pro začátek povodňového období spíše než pro datum průměrného výskytu extrémních odtoků.
Úzká vazba konce povodňového období na další charakteristiku sezonality *MD* již byla hodnocena výše. Z hlediska přírodních faktorů poněkud překvapuje prokázaný nejvýznamnější vliv orientace svahů. Čím větší je podíl severně orientovaných svahů v povodí, tím později v daném povodí končí období zvýšené pravděpodobnosti výskytu povodní. Tento vztah je zřejmě možné vysvětlit pozdější dobou odtávání sněhu na severních svazích. Ze zkoumaných čtyř charakteristik sezonálního režimu povodní je tedy možné zanedbat faktor rozptylu r, jehož informace je v podstatě již obsažena v údajích o konci povodňového období.
Z hlediska příčinných faktorů byl největší vliv prokázán u proměnných nadmořské výšky povodí, výšky sněhu ke dni 15. března, ročního srážkového úhrnu na povodí a podílu svahů orientovaných na sever.
Naopak pro východně orientované svahy nebyl nalezen žádný statisticky významný korelační vztah s hydrologickými proměnnými. Proto faktor nebyl zahrnut do další analýzy.
Na základě výsledků korelační analýzy a při použití zmíněných kritérií byly prozatím mezi majoritní faktory zařazeny následující veličiny: *MD*, počátek a konec povodňového období, průměrná roční srážka (srážky), výška sněhové pokrývky ke dni 15.3., nadmořská výška, sklon a plocha povodí, procento plochy pokryté lesem a podíl severně orientovaných svahů.
Metody vícerozměrné statistiky zjištěné výsledky potvrdily. Např. sedmi různými metodami shlukování byly vytvořeny dendrogramy, které jsou si vzájemně velmi podobné. Jako nejvhodnější technika shlukování se ukázala metoda nejvzdálenějšího souseda (viz Obr. 5). Příslušný dendrogram byl proto ve studii považován za optimální a tedy i za výsledný.
Především byla potvrzena zastupitelnost délky údolí a plochy povodí. Úzká závislost se opět projevila i u dvojic faktorů průměrná výška sněhové pokrývky ve dnech 1. a 15. března a u podílu severně a jižně orientovaných svahů v povodí. Dále se projevil shluk hydrologických charakteristik *MD*, *r* a konec období. Naopak počátek a konec období zvýšené pravděpodobnosti výskytu povodní podobné

nejsou. To znamená, že se geograficky liší. Vysoká podobnost byla prokázána u faktorů závislých na nadmořské výšce. Do jednoho shluku byly k faktoru nadmořské výšky z geografického hlediska logicky zařazeny návazné proměnné jako jsou průměrná výška srážek, výška sněhové pokrývky na konci zimy, sklonitost svahů, průměrná roční i březnová teplota, druhy půd a procento plochy povodí pokryté lesem nebo ornou půdou. Naopak faktory tvar povodí a podíl zastavěné plochy resp. podíl luk se ukázaly jako více samostatné. Takto získané shluky odpovídají i empiricky získaným zkušenostem a fyzikální podstatě vzniku povodní.



Obr. 5 Dendrogram fyzickogeografických proměnných pro standardizovaná data.

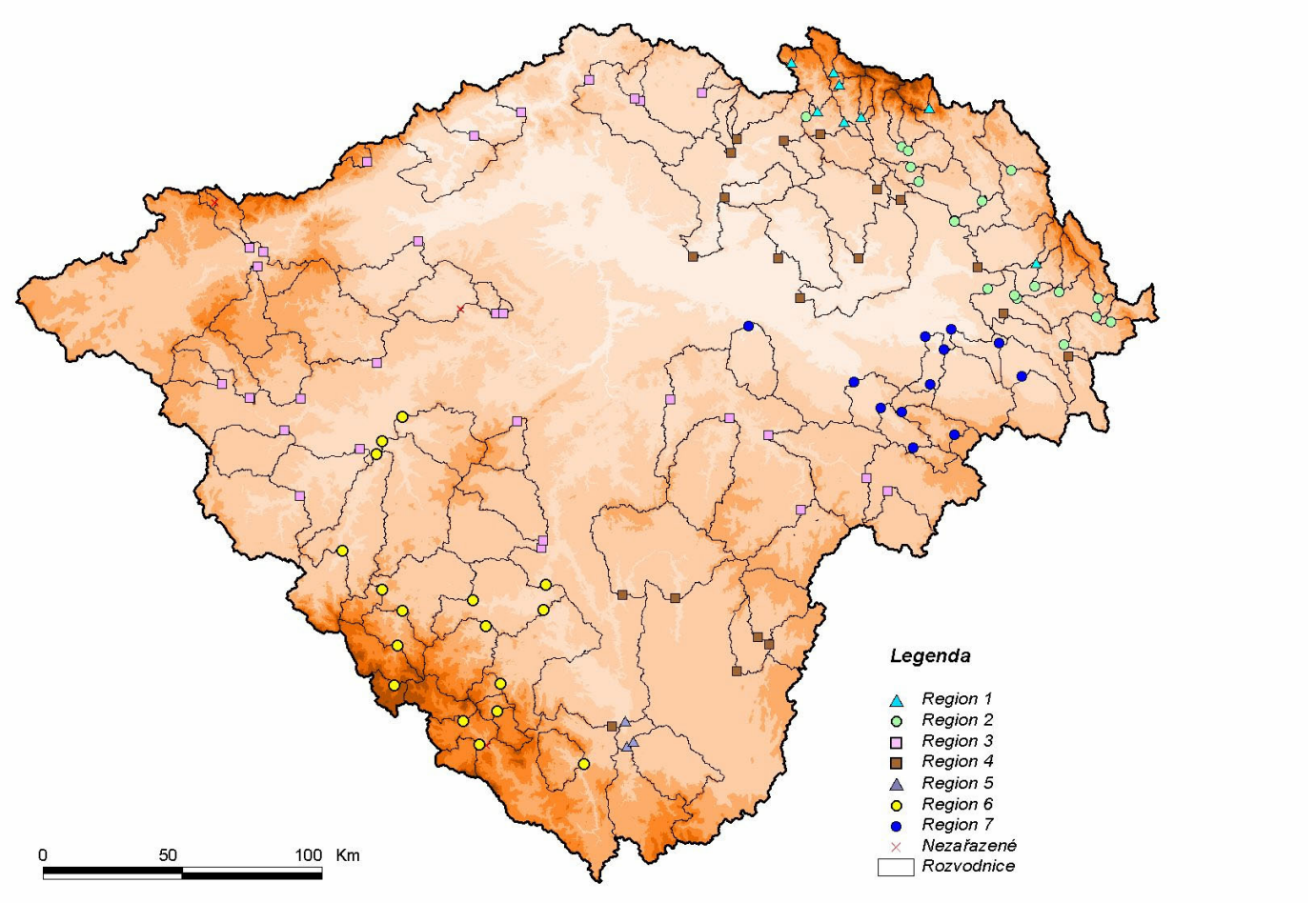
Fig. 5 Dendrogram for physical geography standardize data.

Na základě výsledků korelační analýzy a vícerozměrné analýzy shluků fyzickogeografických faktorů byla vybrána hydrologická charakteristika sezonality označující počátek a konec období zvýšené pravděpodobnosti výskytu povodní. Z příčinných přírodních charakteristik byly do dalšího rozboru ponechány: faktor plochy povodí, průměrné nadmořské výšky povodí, průměrné srážky na povodí, podíl plochy pokryté lesem a podíl severně orientovaných svahů.

5 VYMEZENÍ REGIONŮ

Nejužitečnější metodou při vytváření malého počtu shluků z velkého počtu objektů se jeví shlukovací metoda nejbližších středů, v literatuře označovaná jako „K-Means“, [*Meloun, Militký, 2002*].
Celkem na základě dvou hydrologických faktorů - konce a počátku povodňového období a dvou fyzickogeografických veličin - průměrné roční srážky na povodí a plochy povodí bylo vymezeno sedm regionů. Nadmořská výška a podíl plochy pokryté lesem byly vynechány, protože jsou víceméně implicitně zahrnuty v proměnné charakterizující výšku srážek. Parametr severně orientovaných svahů prokázal, že má největší vliv (výraznou korelaci) na konec období se zvýšenou pravděpodobností výskytu povodní. Tato veličina byla však do souboru proměnných již začleněna. Ze statického

zpracování byl proto faktor severní orientace svahů vypuštěn. Jeho hodnoty však byly využívány při popisu regionů.
Geografickou polohu vymezených regionů znázorňuje Obr. 6. Ve sporných případech byl největší důraz kladen na hodnoty hydrologických charakteristik povodí. Aby byla zajištěna dostatečná přesnost rozdělení povodí do několika skupin, byly výsledky podrobeny dalšímu posouzení a logickému vysvětlení. Protože snahou bylo vytvářet spíše geograficky spojité regiony, bylo při interpretaci výsledků přihlíženo také k poloze jednotlivých povodí. V konečné fázi zůstala tři povodí nezařazena a pět jich bylo přeřazeno do jiného regionu.



Obr. 6 Regiony vymezené na základě hydrologické podobnosti subpovodí v povodí Labe.

Fig. 6 Geographic display of hydrological regions in the Elbe River basin.

Region 1 – oblast severovýchodních pohoří

Počátek povodňového období nastává až v březnu zřejmě s prvním táním sněhu. Zimní povodně se zde prakticky nevyskytují, což může být důsledek vysoké nadmořské výšky povodí zahrnutých do regionu. Jinde případný zimní déšť zde pak padá již ve formě sněhu. Vzhledem k nejnižším průměrným teplotám vzduchu se v tomto regionu na rozdíl od řady jiných povodí také téměř vůbec nevyskytují povodně způsobené táním sněhu v důsledku vánočních oblev. Období zvýšené vodnosti přetrvává přibližně tři měsíce, do konce května, kdy odtává poslední sníh. Region je tedy charakteristický jarními povodněmi z tajícího sněhu.
Z hlediska fyzickogeografických faktorů je typický nejvyšší průměrný roční srážkový úhrn, což je důsledek vysokých nadmořských výšek příslušných dílčích povodí. V regionu převažují plochou menší povodí.

Region 2 – oblast severovýchodních podhůří

První povodňové případy hydrologického roku se v průměru objevují koncem prosince a přetrvávají do jara, resp. do poloviny dubna. Letní povodňový režim se zde neprojevuje. Geografické charakteristiky sice již v menší míře, ale stále ještě prokazatelně ukazují na horská povodí. Roční úhrn srážek, 962 mm, významně převyšuje republikový průměr. Stejně jako pro Region 1 je významný podíl jižně resp. západně orientovaných svahů v povodí (Region 1 – 64% resp. 57%, Region 2 – 60% resp. 55%).

Region 3 – oblast českých vrchovin v dosahu srážkového stínu

Do tohoto regionu bylo zařazeno absolutně největší množství povodí. Jejich povodňový režim je pro území České republiky typický. Většina povodní vzniká v důsledku tání sněhu spojeného s deštěm. Počátek povodňového období připadá na první dekádu prosince, kdy se již na území sledovaných povodí může nacházet sněhová pokrývka, která v důsledku prosincových oblev odtává. Případné srážky, v těchto nadmořských výškách dešťové, povodňovou situaci ještě zhoršují. Letní povodně se zde příliš nevyskytují, průměrný konec povodňového období připadá na počátek jara, resp. počátek dubna. Hodnoty měřených faktorů jsou v porovnáním s průměry pro celé povodí Labe slabě nadprůměrné.

Region 4 – oblast nížin

Stejně jako u předešlého regionu, zde povodňové období končí s nástupem jara. Odlišná je poloha a fyzickogeografické charakteristiky. Je zajímavé, že nadmořská výška povodí je v průměru o 70 m nižší než u Regionu 3, ale srážkové úhrny zhruba o 50 mm vyšší. Stejně i sněhová pokrývka na konci zimy je zde vyšší. Je to zřejmě způsobeno tím, že značná část Regionu 3 se nachází ve srážkovém stínu vyšších horských pásem, zatímco u Regionu 4 je převážná většina dílčích povodí situována v prostoru mimo tento vliv. Půda je z 50% využita jako orná, 30% tvoří lesy.

Region 5 – oblast vlivu Novohradských hor

Zimní povodně se zde prakticky vůbec neprojevují. Počátek povodňového období připadá až na začátek března. Naopak letní povodňový režim je velmi výrazný. Ze všech regionů se extrémní průtoky v této oblasti vyskytují nejdéle, až do poloviny srpna. Typickým příkladem povodně tohoto regionu byla situace v první polovině srpna 2002, kdy nejvíce zasaženou oblastí srážkovou činností byly právě Novohradské hory. Oblast je ve srovnání s ostatními regiony charakteristická vysokým podílem severně a východně orientovaných svahů. Tím se zde i nejvíce projevují příčinné synoptické situace typu NEc, které způsobují povodně právě v letních měsících. Znak druhu půdy ukazuje na její vysokou propustnost, srovnatelnou s Regionem 1.

Region 6 – oblast vlivu Šumavy

Povodí zařazená do Regionu 6 jsou charakteristická dvojím povodňovým režimem. Nástup zimních povodní, tedy počátek období se zvýšenou pravděpodobností výskytu povodní, odpovídá průměru v povodí českého Labe. První případy se vyskytují v první polovině prosince. Letní povodně se vyskytují zhruba do konce července. Orograficky je tato oblast nejčastěji charakterizována jako hornatina. Návětrnými efekty se zde vytvářejí obdobné situace jako u Regionu 5.

Region 7 – oblast vlivu Žďárských vrchů

Charakteristiky sezonality vykazují prakticky stejné hodnoty jako u Regionu 6. Z hlediska odlišné zeměpisné polohy celého prostoru však bylo třeba definovat tuto oblast jako samostatný region. Rozdíly jsou patrné i v hodnotách některých fyzickogeografických ukazatelů. Region je v průměru výškově nižší, srážkově sušší, méně zalesněný a vykazuje absolutně nejvyšší podíl severně orientovaných svahů (62%). Narozdíl od oblasti pod vlivem pohoří Šumavy zde ve východo-západní orientaci nepatrně převažují západní svahy.

6 ZÁVĚR

V rozdělení četnosti výskytu povodní během roku v Děčíně je patrná výrazná asymetrie. Dlouhodobě největší počet povodňových vln se vyskytuje v březnu, kdy se projevuje jak vliv tání sněhu, tak i narůstající pravděpodobnost výskytu dešťových srážek.

Z hlediska dlouhodobého vývoje sezonálního rozdělení povodňových případů však dochází ke změnám. Byl prokázán postupný úbytek povodňových případů během celého zimního hydrologického pololetí, zvláště pak v období od února do dubna. V letní polovině roku takový pokles ve 150leté řadě patrný není. Spíše naopak, v posledním 50letí byl pozorován nárůst výskytu letních povodňových případů.

U většiny dílčích povodí v prostoru českého Labe se nejvíce povodní vyskytuje v jarních měsících. Sezonalita povodňového režimu se však na jednotlivých tocích může poněkud lišit. Určité odlišnosti ve srovnání s povodňovým režimem v závěrovém profilu povodí českého Labe vykazují např. povodí Vltavy a Berounky. Zde je patrný dvojí sezonální režim, s maximem výskytu extrémních odtoků v březnu a v červenci. Další typ povodňového režimu se vyskytuje na Otavě. Charakteristické je jedno roční maximum četnosti výskytu povodní, které je však vytvářené převážně letními povodněmi.

Příčinné meteorologické vlivy se více či méně liší v závislosti na geografické poloze povodí a období roku. Na vzniku letních povodňových situací se podílejí jiné typy atmosférické cirkulace než v období zimním. V letní polovině roku jsou nejčastější meteorologickou příčinou výskytu povodní situace spojené s jižní složkou proudění vzduchu. Nejčetnějším příčinným typem na většině území povodí českého Labe je cyklóna nad střední Evropou. Výjimku tvoří povodí Otavy, kde se jedná o brázdu nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou. V průběhu zimy se povodně nejčastěji vyskytují v důsledku západního proudění, tedy při situacích Wc a Vfz.

Rovněž časový předstih již zřetelného výskytu fyzikálních symptomů atmosférické cirkulace před výskytem kulminace se liší v závislosti na typu příčinné situace, ročním období jejího výskytu a geografické charakteristice povodí. V letní polovině roku jde zhruba o 1 až 3 dny (mimo povodí Lužnice, kde se zřejmě působením četných rybníků zpožďuje odtoková kulminace a tím i zvyšuje předstih příčinných atmosférických procesů až na 4 až 7 dnů). V zimní části roku se předstih liší v závislosti na velikosti povodí. U menších oblastí jde o 1 až 3 dny, u větších 5 až 7 dnů.

Fyzickogeografické faktory, které spolupůsobí při vzniku povodní byly identifikovány pomocí statických metod. Korelační analýza a výsledky hierarchického shlukování potvrdily těsný vztah mezi charakteristikami sezonality a klimatologickými faktory dlouhodobého ročního úhrnu srážek a průměrné výšky sněhové pokrývky na konci zimy. Z hlediska geografických faktorů byla prokázána úzká vazba nadmořské výšky, podílu zalesněné plochy a procenta severně orientovaných svahů na povodňový režim resp. na určení období zvýšené pravděpodobnosti výskytu povodní.

Vícerozměrnou statistickou analýzou založenou na metodě shlukování nejbližších středů a s přihlédnutím ke geografické poloze jednotlivých dílčích povodí bylo na základě hodnot majoritních faktorů vymezeno v povodí českého Labe sedm hydrologicky homogenních regionů. Jednotlivé regiony se liší v prvé řadě sezonalitou povodňového režimu, která je významně ovlivněna rozložením srážek během roku a táním sněhu. Z hlediska geografických faktorů regiony nejlépe korespondují s oblastmi stejných nadmořských výšek.

Literatura

Bayliss, A.C. and Jones, R.C. (1993): Seasonality of flooding. Peaks-over-threshold flood database: Summary statistics and seasonality. IH Report No. 121, Institute of Hydrology, Wallingford, UK, 61 pp.

Black, A.R. and Werritty, A. (1997): Seasonality of flooding: a case study of North Britain. Journal of Hydrology 195, p. 1-25.

Brádka, J. (1968): Typizace v meteorologii. Meteorol.Zpr. 21 (4), ČHMÚ, Praha, s. 122-125.

Burn, D.H. (1997): Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. Journal of Hydrology 202, p. 212-230.

Duckstein, L., Bárdossy, A. and Bogárdi, I. (1993): Linkage between the Occurrence of Daily Atmospheric Circulation Patterns and Floods: an Arizona Case Study. Journal of Hydrology, 143, p. 413-428.

Fisher, N.I. (1993): Statistical Analysis of Circular Data. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

HMÚ (1972): Katalog povětrnostních situací pro území ČSSR. HMÚ, Praha, 38 s.

Kakos, V. (1983): Hydrometeorologický rozbor povodní na Vltavě v Praze za období 1873-1982. Meteorol.Zpr. 36 (6), ČHMÚ, Praha, s. 171-181.

Kakos, V. (1985): Hydrometeorologická analýza povodňových situací v povodí Labe. Meteorol.Zpr. 38 (5), ČHMÚ, Praha, s. 148-151.

Magilligan, F.J. and Graber, B.E. (1996): Hydroclimatological and geomorphic controls on the timing and spatial variability of floods in New England, USA. Journal of Hydrology 178 (1996), p. 159-180.

Mardia, K.V. (1972): Statistics of Directional Data. Academia Press, London, 38 pp.

Meloun, M. a Militký, J. (2002): Kompendium statistického zpracování dat metody a řešené úlohy včetně CD. Academia, Praha, 764 s.

Ouarda, T.B.M.J., Ashkar, F. and El-Jabi, N. (1993): Peaks Over Threshold Model for Seasonal Flood Variations. Engineering Hydrology, USA, p. 341-346.

Todorovic, P. and Zelenhasic, E. (1970): A stochastic model for flood analysis. Water Resources Research, 6 (6), p. 1641-1648.

Vavruška, F. (1989): Meteorologické příčiny povodní na Otavě a Lužnici. Meteorol.Zpr., 42 (6), ČHMÚ, Praha, s.111-115.

Autor

Jana Chalušová, Český hydrometeorologický ústav, OHV, Na Šabatce 17, Praha 4 – Komořany, 143 06, Chalusova@chmi.cz

Příloha 1 *Korelační matice charakteristik sezonality a fyzickogeografických faktorů.*

FAKTOR	MD	r	PO	KO	SR	NV	SK	PL	PU	SN 1	SN 15	TER	TEB	L	α	ME	OR	LO	LE	S	J	V	Z
MD	1.00	-0.42	0.29	**0.54**	0.34	0.56	0.17	0.06	0.45	0.44	0.47	-0.44	-0.39	0.06	0.39	-0.24	-0.39	0.28	0.46	0.33	-0.31	0.14	-0.11
r	-0.42	1.00	-0.04	**-0.57**	-0.04	-0.17	0.05	-0.04	-0.25	-0.05	-0.08	0.09	0.06	-0.04	0.04	0.11	0.12	-0.08	-0.16	-0.36	0.36	-0.01	0.05
POČÁTEK OBDOBÍ	**0.29**	-0.04	1.00	0.26	0.55	0.40	0.49	-0.23	0.33	0.53	0.56	-0.27	-0.43	-0.23	0.08	-0.21	-0.35	0.03	0.35	-0.13	0.18	-0.16	0.24
KONEC OBDOBÍ	**0.54**	-0.57	0.26	1.00	0.09	0.28	0.00	0.00	0.21	0.14	0.17	-0.12	-0.08	0.00	0.10	-0.17	-0.08	0.20	0.13	0.57	-0.54	0.05	-0.05
VÝŠKA SRÁŽEK	0.34	-0.04	0.55	0.09	1.00	0.73	0.79	-0.40	0.51	0.96	0.94	-0.68	-0.84	-0.40	0.21	-0.35	-0.66	0.18	0.68	-0.30	0.38	-0.24	0.37
NADM. VÝŠKA	0.56	-0.17	0.40	0.28	0.73	1.00	0.57	-0.06	0.80	0.79	0.79	-0.86	-0.80	-0.06	0.29	-0.50	-0.78	0.59	0.77	0.03	0.05	0.14	-0.03
SKLON	0.17	0.05	0.49	0.00	0.79	0.57	1.00	-0.30	0.23	0.76	0.76	-0.50	-0.62	-0.30	0.04	-0.20	-0.60	0.25	0.54	-0.36	0.48	-0.03	0.24
PLOCHA	0.06	-0.04	-0.23	0.00	-0.40	-0.06	-0.30	1.00	0.03	-0.33	-0.29	0.18	0.36	1.00	0.09	0.21	-0.05	0.12	0.04	0.08	-0.12	0.43	-0.49
PŮDY	0.45	-0.25	0.33	0.21	0.51	0.80	0.23	0.03	1.00	0.52	0.53	-0.71	-0.65	0.03	0.14	-0.42	-0.56	0.47	0.55	0.16	-0.15	0.11	-0.09
SNÍH 1.3.	0.44	-0.05	0.53	0.14	0.96	0.79	0.76	-0.33	0.52	1.00	0.99	-0.72	-0.85	-0.33	0.34	-0.32	-0.71	0.22	0.74	-0.26	0.34	-0.13	0.26
SNÍH 15.3.	0.47	-0.08	0.56	0.17	0.94	0.79	0.76	-0.29	0.53	0.99	1.00	-0.70	-0.83	-0.29	0.35	-0.31	-0.70	0.21	0.73	-0.24	0.31	-0.12	0.24
TEPLOTA ROK	-0.44	0.09	-0.27	-0.12	-0.68	-0.86	-0.50	0.18	-0.71	-0.72	-0.70	1.00	0.91	0.18	-0.29	0.41	0.68	-0.45	-0.71	-0.02	-0.04	-0.08	-0.02
TEPLOTA BŘEZEN	-0.39	0.06	-0.43	-0.08	-0.84	-0.80	-0.62	0.36	-0.65	-0.85	-0.83	0.91	1.00	0.36	-0.28	0.33	0.69	-0.29	-0.71	0.11	-0.18	0.12	-0.23
DÉLKA ÚDOLNICE	0.06	-0.04	-0.23	0.00	-0.40	-0.06	-0.30	1.00	0.03	-0.33	-0.29	0.18	0.36	1.00	0.09	0.21	-0.05	0.12	0.04	0.08	-0.12	0.43	-0.49
TVAR	0.39	0.04	0.08	0.10	0.21	0.29	0.04	0.09	014	0.34	0.35	-0.29	-0.28	0.09	1.00	-0.08	-0.26	0.08	0.34	0.01	-0.04	0.08	-0.12
ZASTAVĚNÉ	-0.24	0.11	-0.21	-0.17	-0.35	-0.50	-0.20	0.21	-0.42	-0.32	-0.31	0.41	0.33	0.21	-0.08	1.00	0.23	-0.30	-0.35	-0.13	0.09	0.01	-0.07
ORNICE	-0.39	0.12	-0.35	-0.08	-0.66	-0.78	-0.60	-0.05	-0.56	-0.71	-0.70	0.68	0.69	-0.05	-0.26	0.23	1.00	-0.55	-0.94	0.24	-0.32	-0.11	-0.03
LOUKY	0.28	-0.08	0.03	0.20	0.18	0.59	0.25	0.12	0.47	0.22	0.21	-0.45	-0.29	0.12	0.08	-0.30	-0.55	1.00	0.41	0.11	-0.07	0.31	-0.26
LESY	0.46	-0.16	0.35	0.13	0.68	0.77	0.54	0.04	0.55	0.74	0.73	-0.71	-0.71	0.04	0.34	-0.35	-0.94	0.41	1.00	-0.20	0.28	0.11	0.02
S	0.33	-0.36	-0.13	0.57	-0.30	0.03	-0.36	0.08	0.16	-0.26	-0.24	-0.02	0.11	0.08	0.01	-0.13	0.24	0.11	-0.20	1.00	-0.97	0.28	-0.32
J	-0.31	0.36	0.18	-0.54	0.38	0.05	0.48	-0.12	-0.15	0.34	0.31	-0.04	-0.18	-0.12	-0.04	0.09	-0.32	-0.07	0.28	-0.97	1.00	-0.22	0.34
V	0.14	-0.01	-0.16	0.05	-0.24	0.14	-0.03	0.43	0.11	-0.13	-0.12	-0.08	0.12	0.43	0.08	0.01	-0.11	0.31	0.11	0.28	-0.22	1.00	-0.94
Z	-0.11	0.05	0.24	-0.05	0.37	-0.03	0.24	-0.49	-0.09	0.26	0.24	-0.02	-0.23	-0.49	-0.12	-0.07	-0.03	-0.26	0.02	-0.32	0.34	-0.94	1.00

Poznámka: Korelační koeficienty statisticky významné na hladině významnosti 0.05 jsou vyznačeny červeně. Tučně zvýrazněn v růžovém poli je vždy nejvýznamnější koeficient pro daný fyzickogeografický faktor (řádek). Druhý nejvýznamnější korelační vztah je označen oranžovým polem. třetí žlutým. Zeleně stínované buňky označují korelační matici hydrologických charakteristik. V každém jejím řádku je tučně zvýrazněna nejvyšší hodnota korelačního koeficientu.

POROVNÁNÍ PŘIROZENÉ VODNÍ RETENCE VYBRANÝCH POVODÍ

Stanislav Kaleta

V tomto příspěvku byla analyzována přirozená vodní retence vybraných povodí – Porubky, Budišovky, Slavíče, Rožnovské Bečvy a Vrbenského potoka. Cílem bylo vyhodnotit a do určité míry kvantifikovat vliv jednotlivých fyzickogeografických faktorů na retenci povodí při povodni v červenci roku 1997. Metodika pro stanovení vodní retence u jednotlivých povodí byla založena především na bilancování hodinových srážkových úhrnů spadlých v bezprostředním okolí povodí a průtoků v jejich závěrových profilech.

In this article natural water retention of chosen river basins – Porubka, Budisovka, Slavic, Roznovska Becva and Vrbensky potok has been analysed. The aim of this study is to evaluate and to a certain extent quantify the impact of partial geographical parameters on water retention of river basins during the flood in July 1997. The estimation of water retention at individual river basins is based on balancing the precipitation amount, which fell in the vicinity of the river basin and on the discharges in the closing profile of the river basin. The precipitation amount and the discharges were obtained in one-hour time interval.

ÚVOD

Pojem *vodní retence území* se dostal vlivem katastrofálních povodní v letech 1997 a 2002 do popředí zájmů odborné veřejnosti. Předmětem diskuse se stává především v otázce volby nejvhodnější protipovodňové ochrany, tzn. zda preferovat výstavbu nových údolních nádrží, či zvýšit přirozenou retenční schopnost krajiny.

Cílem tohoto příspěvku nebylo odpověďět na tuto otázku, ale vyhodnotit a kvantifikovat vliv jednotlivých fyzickogeografických faktorů na retenci povodí při povodni. Analýza byla založena na srovnání retenčního potenciálu vybraných povodí (určeného geografickými podmínkami) s vypočtenými hodnotami retence při povodni v červenci roku 1997.

V příspěvku byly využity poznatky o vodní retenci povodí při povodni získané z práce Dumbrovský a kol. [3].

METODIKA

Vlastní metoda řešení byla rozdělena do dvou oblastí:

- kvantifikace retenční schopnosti vybraných povodí
- zhodnocení hlavních faktorů určujících retenční potenciál povodí a stanovení stupně významnosti jejich vlivu na retenci povodí při povodni

Jelikož do výpočtu vstupovaly bodové hodinové srážkové úhrny, byla vybrána malá povodí s plochou do 40 km^2, na jejichž území je ještě možné vztáhnout hodnotu srážky naměřené v blízké srážkoměrné stanici. Při jejich výběru bylo dále rozhodující to, aby mezi nimi byla zastoupena povodí s různými geografickými podmínkami v nichž není hydrologický režim při povodni významně ovlivňován vodními nádržemi, převody vody apod. Celkem bylo vybráno pět povodí.

2.1. Kvantifikace retenční schopnosti

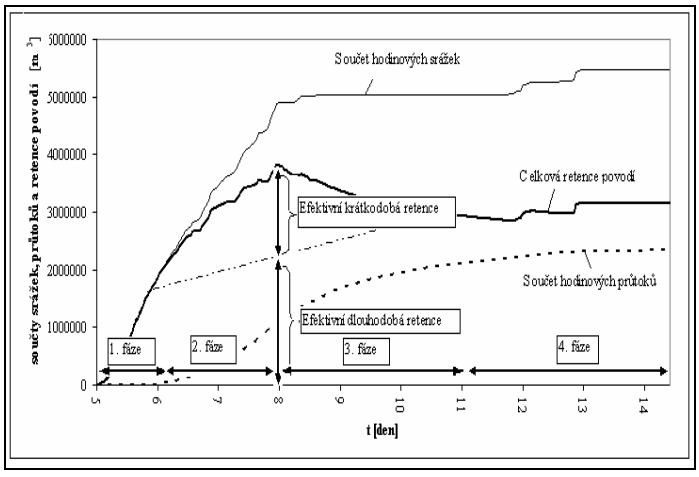
Retenční schopnost krajiny byla zjištěna bilancováním hodinových srážkových úhrnů spadlých na území vybraných povodí nebo v jejich bezprostředním okolí a průtoků v jejich závěrových profilech tj. vodoměrných stanicích v období první povodňové vlny v červenci 1997 (od 1.7. do 15.7. 1997). Tato metoda je vhodná pro posuzování přirozené retence povodí při povodních způsobených přívalovými nebo regionálními dešti. Jejím výsledkem je kvantifikace celkové přirozené retence povodí a jejích dvou hlavních složek – retence krátkodobé a retence dlouhodobé. Celkovou přirozenou vodní retencí

chápeme vodu dočasně zadrženou na povrchu terénu nebo v půdě vyjma retence v umělých vodních nádržích a inundacích. Do dlouhodobé retence jsou pak zahrnuty objemy retence v aeračním pásmu půdy, podzemní retence a územního výparu, které se při povodňové události mění mnohem pomaleji než retence povrchová a hypodermická, jejichž součet tvoří krátkodobou retenci. Průběh vodní retence povodí při povodni postupuje ve čtyřech následovných fázích (obr. 1):

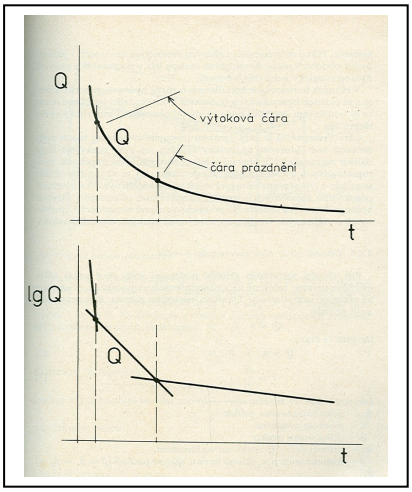
1. Nárůst dlouhodobé retence
2. Vznik a postupný vzrůst krátkodobé retence při současném pokračujícím narůstání dlouhodobé retence.
3. Postupný pokles krátkodobé retence při současném dalším nárůstu dlouhodobé retence.
4. Konec krátkodobé retence a postupný pokles dlouhodobé retence.

Výpočetní postup byl prováděn v tabulkovém editoru Microsoft Excel a jeho kroky jsou podrobně popsány v pracích [3], [4]. Uvedeným postupem bylo možné v každém časovém okamžiku povodně objemově kvantifikovat okamžitou celkovou, dlouhodobou i krátkodobou retenci povodí. K hodnocení retence povodí při povodni je nejdůležitější hodnotou kulminační objem celkové retence povodí, neboť snižuje povodňovou průtokovou špičku. Tato hodnota je označována jako efektivní celková přirozená retence povodí resp. efektivní krátkodobá retence povodí a efektivní dlouhodobá retence povodí (obr. 1). Pro lepší porovnatelnost vybraných povodí se také stanovily součinitelé retence tzn. efektivní hodnoty retence vztažené k příčinné srážce.

Jedním z hlavních bodů výpočetního postupu je stanovení času kdy ustane hypodermický odtok z povodí do toku a průtok v toku je napájen pouze z podzemního odtoku z povodí. Tento bod je časem bilančního konce povodně, kdy je ukončena krátkodobá retence a kdy může být bilance nejdříve ukončena. Z obr. 2 (převzato [1]) je zřejmé, že výtoková čára hydrogramu povodňové vlny se člení na několik na sebe navazujících úseček o stále nižším sklonu. Inflexní bod nejnižšího úseku výtokové čáry je počátkem tzv. čáry prázdnění (vyčerpávání), která výhradně zahrnuje uvolňované příspěvky z přebytků podzemních zásobníků [1]. V hodině počátku čáry prázdnění dosahuje dlouhodobá retence maximální hodnoty a nastává prázdnění podzemním odtokem.



Obr. 1 Součtové čáry srážek, průtoků a celkové retence
Fig. 1 Cumulative lines of the rainfall, discharges and total retention



Obr. 2 Genetické složky výtokové čáry
Fig. 2 Genetic components of the outflow line

2.2. Hodnocení fyzickogeografických faktorů povodí a jejich vlivu na retenci povodí

Na retenční schopnost povodí má vliv více činitelů. Kvantifikace míry jejich působení je mimořádně složitá pro jejich mnohostrannou vzájemnou vazbu a podmíněnost. Faktory, které mají největší vliv na přirozenou retenci povodí jsou:

- využití území (land use/land cover)
- geomorfologické poměry
- geologické poměry

- hydropedologické poměry
- tvar povodí
- nasycenost povodí před povodňovou událostí
- velikost a intenzita příčinného deště

Hodnocení *využití území a krajinného pokryvu* bylo prováděno na základě dat z projektu CORINE. Zdrojová data jsou odvozena ze satelitních snímků družice Landsat TM. Pro hodnocení byly zvoleny tři základní kategorie :

1) zemědělská půda (orná půda, louky a pastviny, zemědělské oblasti s přirozenou vegetací)
2) les
3) ostatní plochy včetně zastavěných ploch

Geomorfologické poměry byly charakterizovány především průměrnou sklonitostí povodí v úhlových stupních a průměrnou nadmořskou výškou. Důležitým podkladem pro určení těchto parametrů byla gridová vrstva digitálního modelu reliéfu v rozlišení 25 x 25 m (DMR 25).

Základním podkladem při odvozování *geologických poměrů* byla vektorová vrstva geologie databáze ArcČR500.

Hydropedologické poměry byly určeny z gridové vrstvy hydrologických skupin půd (HSP). Hydrologické skupiny půdy jsou čtyři (A, B, C, D) a jsou založeny na charakteristice propustnosti. Obecně čím je půda propustnější, tím její vliv je příznivější z hlediska snížení velikosti povodňového odtoku (A – nejvíce propustné písčité půdy, D – nejméně propustné jílovité půdy). Ve výsledné gridové vrtvě bylo toto rozčlenění dále modifikováno vzhledem k další důležité půdní charakteristice - retenční vodní kapacitě - a to na základě úvahy, že i relativně propustná půda, avšak s nízkou retenční kapacitou, je pro tvorbu povodňového odtoku nepříznivá.

Důležitým faktorem odtoku, který přímo souvisí s geometrickým obrazcem povodí, je *tvar povodí.* Je charakterizován bezrozměrným součinitelem počítaným z poměru plochy povodí a druhé mocniny délky údolí příslušného toku. Pro protáhlá povodí má hodnotu pod 0,24 pro vějířovitá větší než 0,26.

Nasycenost povodí před povodňovou událostí byla pro vybraná povodí hodnocena pomocí ukazatele předchozích srážek (API). Hodnoty ukazatele API byly stanoveny za dobu 30 dní před začátkem povodňové události (API_{30}). Čím je tento ukazatel vyšší, tím je vliv předchozích srážek na vlhkost půdy resp. nasycenost povodí větší.

Základem odtoku velkých vod potažmo přirozené retence povodí jsou *srážky*. V tomto případě byla povodňová srážka charakterizována celkovým úhrnem a průměrnou intenzitou.

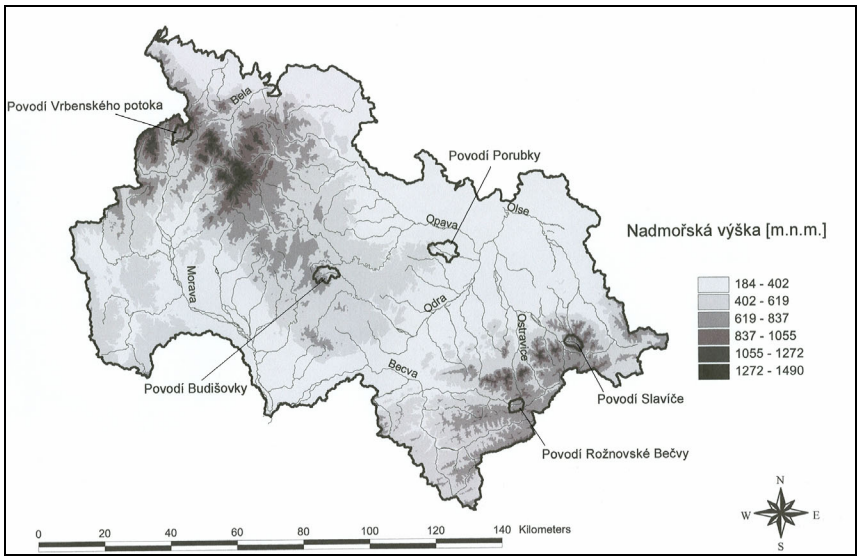
Přestože byly výsledky získány z relativně malého souboru povodí, byla snaha stanovit míru vlivu výše uvedených fyzickogeografických charakteristik na celkovou efektivní retenci povodí, resp. její dlouhodobou složku, a to na základě srovnání párových koeficientů korelace.

VÝSLEDKY

Metodou popsanou ve studiích [3], [4] byla stanovena retenční schopnost u vybraných povodí s těmito zavěrovými profily (pozn.: v další části příspěvku, pokud není uvedeno jinak, se pod pojmem „povodí“ rozumí část daného povodí po uvedený závěrový profil):

1) povodí Porubky – profil Vřesina
2) povodí Budišovky – profil Budišov
3) povodí Slavíče – profil Slavíč
4) povodí Rožnovské Bečvy – profil Horní Bečva
5) povodí Vrbenského potoka – profil Staré Město

Z obr. 3 je zřejmé, že tři povodí se rozkládají v horském pásmu reliéfu s vyšším zastoupením lesa (povodí Slavíče, Rožnovské Bečvy a Vrbenského potoka). Povodí Porubky a Budišovky naopak tvoří rovinatý až pahorkatinný terén pokrytý převážně zemědělskou půdou. Bližší fyzickogeografická charekteristika hodnocených povodí a výsledné hodnoty jejich retence jsou uvedeny níže u dílčího zpracování jednotlivých povodí.

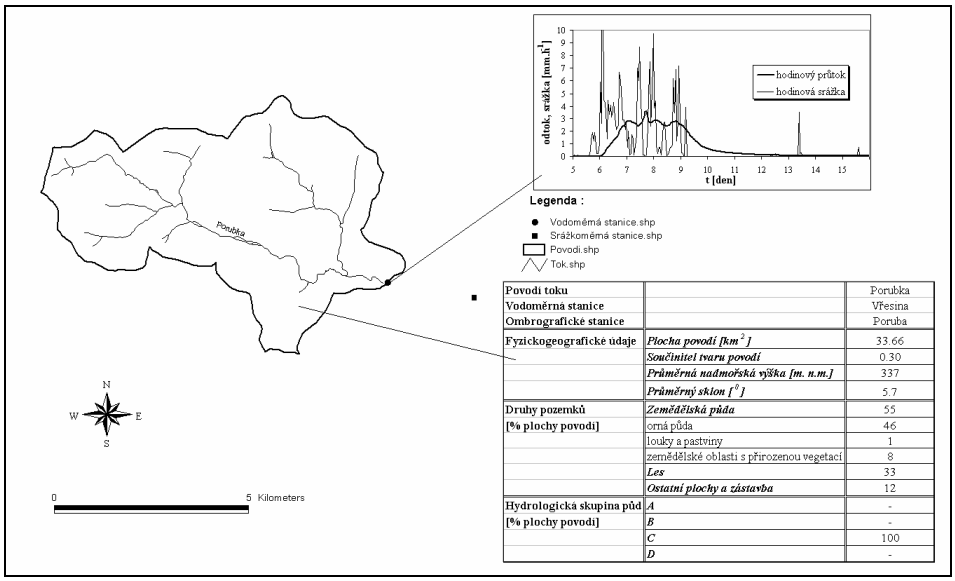


Obr. 3 Znázornění vybraných povodí v územní působnosti ČHMÚ, pobočky Ostrava

Fig. 3 Illustration of chosen river basin in the province of CHMI, branch Ostrava

Pro zpracování retenčních schopností vybraných povodí byla použita první povodňová vlna v době od 5.7. do 15.7. 1997, která byla na většina postiženého území výraznější co do kulminací, objemů i příčinných srážek.

Povodí Porubky



Povodí toku		Porubka
Vodoměrná stanice		Vřesina
Ombrografické stanice		Poruba
Fyzickogeografické údaje	***Plocha povodí [km²]***	33.66
	Součinitel tvaru povodí	0.30
	Průměrná nadmořská výška [m. n.m.]	337
	Průměrný sklon [°]	5.7
Druhy pozemků	***Zemědělská půda***	55
[% plochy povodí]	orná půda	46
	louky a pastviny	1
	zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	8
	Les	33
	Ostatní plochy a zástavba	12
Hydrologická skupina půd	***A***	-
[% plochy povodí]	***B***	-
	C	100
	D	-

Obr. 4 Povodí Porubky s vyznačením průběhu hodinových srážek a odtoků za posuzované období a vybraných fyzickogeografických parametrů

Fig. 4 Waveform rainfall and outflow in one hour time interval with chosen geographical parameters in the Porubka river basin.

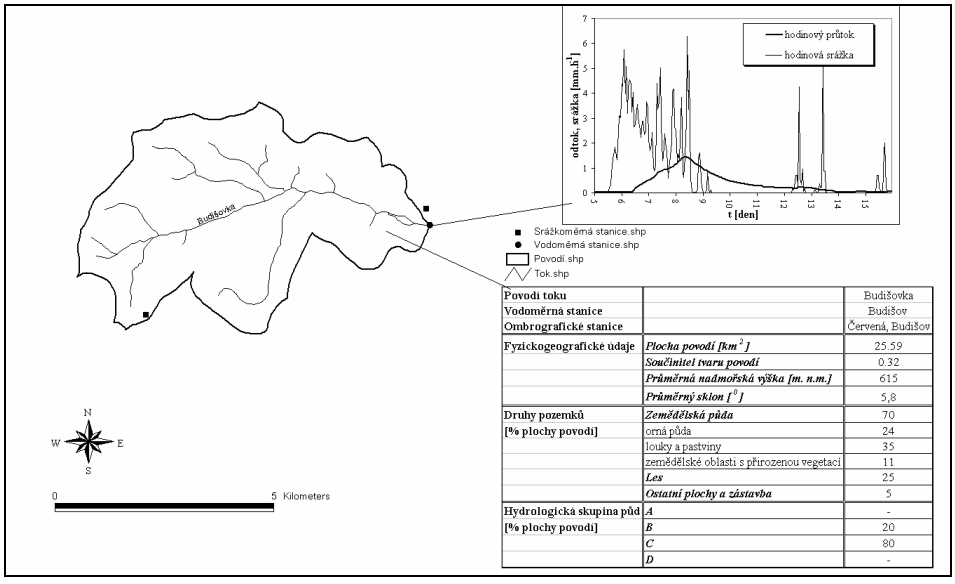
Řeka Porubka je levostranným přítokem řeky Odry. Ústí do ní na katastru města Ostravy. Hodnocené povodí uzavírá profil vodoměrné stanice Vřesina a má velikost 33,66 km^2. Z celkové plochy povodí pokrývají 33 % území lesy, 55 % zemědělská půda (orná půda 46%, louky a pastviny 1%, a zemědělské oblasti 8%) a 12% ostatní plochy.

Povodí Porubky má charakter středně členité pahorkatiny náležející Vítkovské vrchovině, která je součástí geomorfologického celku Nízký Jeseník. Průměrná nadmořská výška povodí je 337 m.n.m., průměrná sklonitost 5,7^o.

Po geologické stránce je povodí Porubky tvořeno převážně horninami starších formací. Konkrétně se jedná o horniny spodního karbonu (kulm) a to převážně pískovce a arkózy, jejichž propustnost je dobrá. Půdní pokryv zde tvoří převážně kambizem (hnědá půda lesní). V údolích podél řek se na naplaveninách vyvinuly převážně glejové půdy nebo fluvizemě glejové. Z hlediska zrnitostního složení jsou půdy v povodí výhradně středně těžké, tzn. hlinité a jílovitohlinité. Podle rychlosti infiltrace patří všechna půda do hydrologické skupiny C tj. s nízkou rychlostí infiltrace.

Povodňová vlna ve vodoměrné stanici Vřesina kulminovala 7.7. 1997 v odpoledních hodinách a dosáhla průtoku s dobou opakování větší než Q_{50} (50-letý průtok). Nasycenost povodí před povodňovou srážkou (hodnota API_{30} = 26,2 mm) byla poměrně vysoká a jak je zřejmé z obr. 4 vyšší odtoky z povodí začaly velice brzy po začátku příčinné srážky. Ačkoli v následujících hodinách po kulminaci spadly na povodí poměrně vydatné srážky, průtok v toku se již dále nezvyšoval vlivem větších rozlivů a zaplavování obcí podél toku. Průměrná intenzita povodňové srážky na povodí dosáhla hodnoty 2,8 mm/hod., maximální intenzita byla zjištěna 6.7.1997 v ranních hodinách a činila 20,0 mm/hod. Celkový úhrn příčinné srážky byl 189,6 mm. Z vypočtených hodnot kriteriálních veličin pro posouzení retence povodí vyplývá, že povodí neškodně (půdou, nepatrně výparem) zachytilo pouze 11 % objemu přívalového deště. Hodnota součinitele celkové retence činí 0,46 (tzn. povodí celkově zadrželo 46 % objemu přívalového deště). Výraznou většinou k ní přispěla retence krátkodobá (povrchová a hypodermická retence), jejíž součinitel dosáhl hodnoty 0,35 (35 % objemu přívalového deště).

Povodí Budišovky



Povodí toku		Budišovka
Vodoměrná stanice		Budišov
Ombrografické stanice		Červená, Budišov
Fyzickogeografické údaje	*Plocha povodí [km^2]*	25.59
	Součinitel tvaru povodí	0.32
	Průměrná nadmořská výška [m. n.m.]	615
	Průměrný sklon [^{o}]	5,8
Druhy pozemků	*Zemědělská půda*	70
[% plochy povodí]	orná půda	24
	louky a pastviny	35
	zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	11
	Les	25
	Ostatní plochy a zástavba	5
Hydrologická skupina půd	*A*	-
[% plochy povodí]	*B*	20
	C	80
	D	-

Obr. 5 Povodí Budišovky s vyznačením průběhu hodinových srážek a odtoků za posuzované období a vybraných fyzickogeografických parametrů

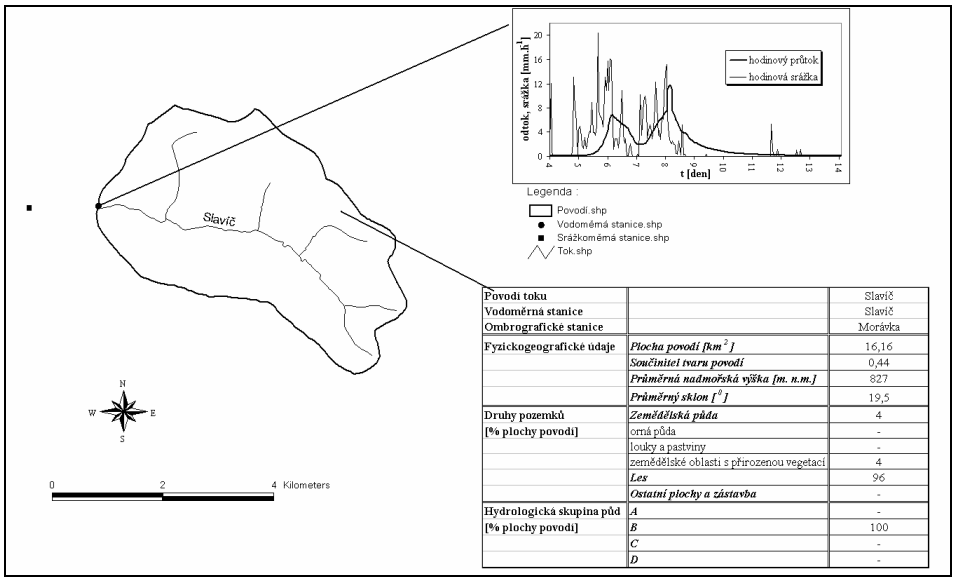
Fig. 5 Waveform rainfall and outflow in one hour time interval with chosen geographical parameters in the Budisovka river basin.

Na řece Budišovce, levostranném přítoku řeky Odry, jsou průtoky sledovány ve vodoměrné stanici Budišov nad Budišovkou, která uzavírá povodí o velikosti 25,59 km^2. Z této plochy pokrývají lesy 25 % území. Zemědělská půda je zastoupena na 70 % plochy povodí, přičemž orná půda tvoří 24 % z celkové plochy povodí, louky a pastviny 35 % a zemědělské oblasti 11%. Ostatní plochy pokrývají 5% zkoumaného území.

Povodí je součástí geomorfologického celku Nízký Jeseník – podcelek Domašovská vrchovina. Jedná se o středně členitý pahorkatinný reliéf o průměrné výšce 615 m.n.m. Průměrná sklonitost povodí je 5,8^o. Geologické podloží je tvořeno paleozoickými horninami spodního karbonu – kulmu (břidlice, vápence). Půdní pokryv zde v největší míře zastupuje kambizem (hnědá půda lesní), která se v nejvyšších partiích na jihovýchodě vyskytuje ve své dystrické podobě (silně kyselá). V depresních územích, kde se hromadí přebytečná voda, se v důsledku převlhčení půdních profilů vyvinuly půdy glejové. Z hlediska textury půd převažují půdy o zrnitost střední (jílovitohlinitá), silně kyselé půdy pak vykazují zrnitost lehčí střední (jílovitopísčitá). Dle rychlosti infiltrace patří 80% půd do hydrologické skupiny C (nízká rychlost infiltrace). Zbytek území náleží k hydrologické skupině půd B se zvýšenou rychlostí infiltrace.

Jak je zřejmé z obr. 5 tvar povodňové vlny ve stanici Budišov je hladký, jednovrcholový (kulminace dne 8.7.1997) s nepatrným vzestupem způsobeným obnovenou srážkovou činností ve dnech 12.-13.7.1997. Ačkoli nasycenost povodí byla poměrně vysoká (API$_{30}$ = 25,6 mm) díky nižší intenzitě hodinových srážek (průměrná intenzita – 2,3 mm/hod., maximální – 6,3 mm/hod) byl vzestup povodňových průtoků pozvolnější a hydrogram povodňové vlny vykazuje celkově plošší tvar. Celkový úhrn povodňové srážky na povodí činil 191,2 mm. Povodí celkově zadrželo až 76 % příčinných srážek, přičemž samotná půda zachytila 44 % objemu srážky. O něco méně se na celkové retenci podílela dynamická retence a to 32 % objemu zadržené srážky.

Povodí Slavíče



Povodí toku		Slavíč
Vodoměrná stanice		Slavíč
Ombrografické stanice		Morávka
Fyzickogeografické údaje	***Plocha povodí [km^2]***	16,16
	Součinitel tvaru povodí	0,44
	Průměrná nadmořská výška [m. n.m.]	827
	Průměrný sklon [^{o}]	19,5
Druhy pozemků	***Zemědělská půda***	4
[% plochy povodí]	orná půda	-
	louky a pastviny	-
	zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	4
	Les	96
	Ostatní plochy a zástavba	-
Hydrologická skupina půd	***A***	-
[% plochy povodí]	***B***	100
	C	-
	D	-

Obr. 6 Povodí Slavíče s vyznačením průběhu hodinových srážek a odtoků za posuzované období a vybraných fyzickogeografických parametrů

Fig. 6 Waveform rainfall and outflow in one hour time interval with chosen geographical parameters in the Slavic river basin.

Řeka Slavíč je pravostranným přítokem vodní nádrže Morávka. Stejnojmenná vodoměrná stanice uzavírá zkoumané povodí nedaleko ústí do nádrže. Plocha povodí je 16,16 km^2. Téměř celé povodí je

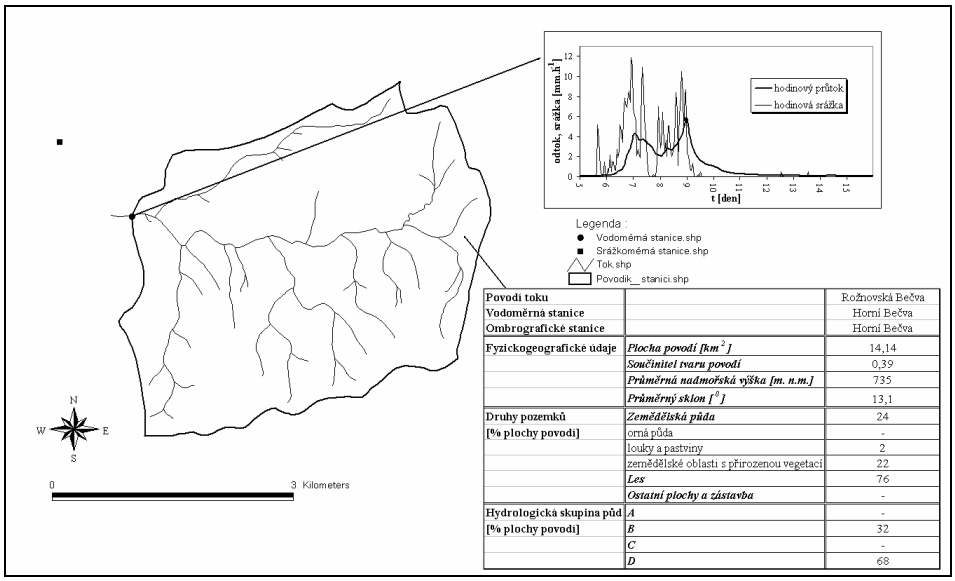
pokryto lesem (96 %). Zbývající 4 % z celkové plochy povodí zaujímá zemědělská půda, která je zde výhradně využita jako zemedělský oblast.

Povodí Slavíče patří dle své průměrné výškové členitosti (400m) k plochým hornatinám. Je součástí Lysohorské hornatiny patřící geomorfologickému celku Moravskoslezské Beskydy. Nejvyšší pásmo kulminuje vrcholy Slavíče (1055 m.n.m.) resp. Ropičanky (1082 m.n.m.). Průměrná nadmořská výška dosahuje 827 m.n.m. Údolí Slavíče tvoří hluboký zářez s úzkým údolním dnem a strmými svahy. Průměrný sklon povodí je 19,5^{o}.

Geologická stavba povodí je homogenní. Tvoří ji výhradně druhohorní formace mohutného vrstevního komplexu godulského souvrství složeného z odolných pískovcových lavic. Propustnost horninového podloží je dobrá. Z půdních druhů se v povodí nejčastěji vyskytují lehčí střední půdy (středně kamenité). Nejrozšířenějšími půdními typy jsou hnědá půda podzolová ve vrcholových partiích a hnědá lesní půda silně kyselá (kambizem dystrická) v nižších částech svahů. Z hlediska rychlostí infiltrace patří půdy v tomto povodí do hydrologické skupiny B tzn. dobře propustné s vyšší rychlostí infiltrace.

Povodňová srážka zaznamenaná v okolí povodí Slavíče byla rozdělena do dvou intenzivnějších epizod (obr. 6). První epizoda trvala od odpoledních hodin dne 5.7.1997 zhruba do odpoledne 7.7.1997 a měla průměrnou intenzitu 6.1 mm/hod. Vyvolala povodňovou vlnu o kulminačním průtoku s dobou opakování menší než Q_{20}. Průměrná nasycenost povodí před touto srážkou byla poměrně vysoká (API_{30} = 41,5 mm). Mezi první a druhou srážkovou epizodou průtoky v toku rychle poklesly až na 1 letý průtok. Avšak již v nočních hodinách dne 8.7.1997 nastoupila druhá významná příčinná srážka, která trvala do dopoledne 9.7.1997. Její průměrná intenzita byla 7.2 mm/hod. Protože spadla do nasyceného povodí, průtoky na ni začaly téměř bezprostředně reagovat prudkým vzestupem, který kulminoval průtokem s dobou opakování větší než Q_{50}. Celkový úhrn srážek z obou epizod byl 445 mm. Součinitel celkové retence činil 44 % z úhrnu srážky. Neškodně (půdou) bylo povodí schopno zachytit pouze 16 % povodňové srážky. Povrchová a hypodermická retence se podílela 28 % na zadržení srážky.

Povodí Rožnovské Bečvy



Povodí toku		Rožnovská Bečva
Vodoměrná stanice		Horní Bečva
Ombrografické stanice		Horní Bečva
Fyzickogeografické údaje	*Plocha povodí [km^2]*	14,14
	Součinitel tvaru povodí	0,39
	Průměrná nadmořská výška [m. n.m.]	735
	Průměrný sklon [^{o}]	13,1
Druhy pozemků	*Zemědělská půda*	24
[% plochy povodí]	orná půda	-
	louky a pastviny	2
	zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	22
	Les	76
	Ostatní plochy a zástavba	-
Hydrologická skupina půd	*A*	-
[% plochy povodí]	*B*	32
	C	-
	D	68

Obr. 6 Povodí Rožnovské Bečvy s vyznačením průběhu hodinových srážek a odtoků za posuzované období a vybraných fyzickogeografických parametrů

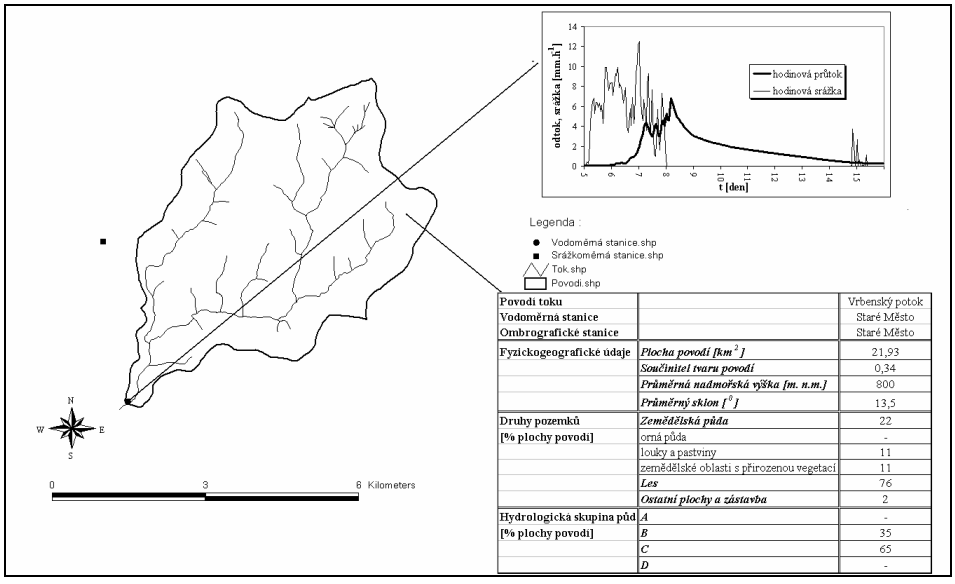
Fig. 6 Waveform rainfall and outflow in one hour time interval with chosen geographical parameters in the Roznovska Becva river basin.

Rožnovská Bečva spolu se Vsetínskou Bečvou tvoří hlavní zdrojnice řeky Bečvy. Oba toky se stékají u Valašského Meziříčí. Zájmové území po profil vodoměrné stanice Horní Bečva pokrývá pramennou

část povodí Rožnovské Bečvy o ploše 14.14 km^2. Výraznou většinu vegetačního pokryvu zde tvoří les (76 % plochy povodí). Na zemědělskou půda připadá 24 % z celkové plochy povodí, přičemž je zde tvořena téměř výhradně zemědělskými oblastmi – 22 %, pouze 2 % připadají na louky. Hodnocené povodí má velmi členitý vrchovinný reliéf patřící k horské části Západních Beskyd. Ty zde zastupují dva významné geomorfologické celky – Moravskoslezské Beskydy (Radhošťská hornatina) na severu a Hostýnsko-vsetínská hornatina (Vsetínská hornatina) v jižní polovině povodí. Hranici mezi oběma celky tvoří Rožnovská brázda, do níž je zahloubeno údolí Rožnovské Bečvy. Vyšších nadmořských výšek dosahuje oblast Hostýnsko-vsetínské hornatiny vrcholící na jihovýchodě horou Vysoká (1024 m.n.m.). Průměrná nadmořská výška povodí je 735 m.n.m. a průměrný sklon povodí dosahuje 13.1^o. Geologické podloží povodí je různorodé. Oblast Vsetínské hornatiny je tvořena málo propustnými terciérními horninami magurského flyše (pískovce a břidlice), zatímco na území Radhošťské hornatiny se nachází druhohorní formace dobře propustných pískovců. Toto rozdělení určuje i pedologické poměry území. Na druhohorních horninách se vyvinuly převážně kyselé podzolové půdy, zatímco na třetihorních horninách alpínského vrásnění se nachází téměř výhradně hnědá horská půda silně kyselá (kambizem dystrická). Z hlediska zrnitostního zastoupení zde mají převahu těžší střední půdy (jilovitohlinitá půda), pouze ve vrcholových oblastech na severu se vyskytují půdy se zrnitostí lehčí střední (jílovitopísčitá s podílem kamenité půdy). Většina půdy (68%) patří dle rychlosti infiltrace do skupiny D (malá intenzita infiltrace). Zbytek půdy (oblast Radhošťské hornatiny) náleží do hydrologické skupiny B s vyšší rychlostí infiltrace.

Rozložení příčinné srážky i tvar hydrogramu povodňové vlny byly téměř totožné jako u povodí Slavíče (obr. 7). Také zde byla povodňová srážka rozdělena do dvou epizod o stejném trvání. První srážková epizoda měla průměrnou intenzitu 4,2 mm/hod. a měla za následek povodňovou vlnu s kulminačním průtokem s dobou opakování Q_5. Druhá epizoda vydatných srážek však začala, na rozdíl od povodí Slavíče, již ve večerních hodinách 7.7.1997. Díky tomu nebyl pokles průtoků po první epizodě srážek tak výrazný jako u povodí Slavíče. Průtok poklesl pouze z hodnoty Q_5 na Q_2. Průměrná intenzita druhé epizody srážek byla 4,9 mm/hod. Druhá vlna po této srážce kulminovala na hodnotě průtoku s dobou opakování Q_{10}. Celkový úhrn srážky činil 322 mm. Součinitel celkové retence, obdobně jako u povodí Slavíče, činil 45 % z celkového úhrnu srážky. Díky nižší intenzitě srážky byla půda schopna zadržet nepatrně větší množství srážek a to 20 %. Zbylých 25 % srážek zadržela povrchová a hypodermická složka retence.

Povodí Vrbenského potoka



Povodí toku		Vrbenský potok
Vodoměrná stanice		Staré Město
Ombrografické stanice		Staré Město
Fyzickogeografické údaje	*Plocha povodí [km^2]*	21,93
	Součinitel tvaru povodí	0,34
	Průměrná nadmořská výška [m. n.m.]	800
	Průměrný sklon [^{o}]	13,5
Druhy pozemků	*Zemědělská půda*	22
[% plochy povodí]	orná půda	-
	louky a pastviny	11
	zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	11
	Les	76
	Ostatní plochy a zástavba	2
Hydrologická skupina půd	*A*	-
[% plochy povodí]	*B*	35
	C	65
	D	-

Obr. 6 Povodí Rožnovské Bečvy s vyznačením průběhu hodinových srážek a odtoků za posuzované období a vybraných fyzickogeografických parametrů

Fig. 6 Waveform rainfall and outflow in one hour time interval with chosen geographical parameters in the Vrbensky potok river basin.

Vrbenský potok tvoří levostranný přítok řeky Krupá, která dále u obce Hanušovice ústí do Moravy. Povodí po vodoměrnou stanici ve Starém Městě má velikost 21.93 km^2 a ze tří čtvrtin je zalesněno. Na zemědělskou půdu připadá 22% z plochy povodí (11% tvoří louky a pastviny, 11% zemědělské oblasti) a na ostatní plochy 2%.

Vrchovinný reliéf povodí je součástí geomorfologického celku Rychlebských hor. Průměrná nadmořská výška povodí je 800 m.n.m. Nejvyšších výšek povodí dosahuje na severovýchodě vrcholy Travná hora (1122 m.n.m.) a Trnová hora (1060 m.n.m.). Průměrný sklon povodí je 13.5°.

Podloží je tvořeno proterozoickými horninami assyntského vrásnění (svory, fylity, pararuly). Jejich propustnost je slabá. Půdní pokryv zde zastupují hnědé půdy kyselé až silně kyselé. V horské části povodí se pak vyskytují hnědá půda podzolová a podzolová půda. Zrnitost půd je hlinitopísčitá až kamenitá. Podle rychlosti infiltrace patří 65% půd do hydrologické skupiny C (málo propustná) a 35% do skupiny B tzn. vyšší rychlost infiltrace.

Z obr. 8 je zřejmé, že hydrogram povodňové vlny, zejména jeho vzestupná větev, je rozeklaný množstvím dílčích poklesů a vzestupů průtoků, které kopírují chod hodinových úhrnů srážek. Povodňová vlna ve stanici Staré Město kulminovala průtokem s dobou opakování výrazně převyšující hodnotu Q_{100}. Tento mimořádně velký průtok byl kromě meteorologických příčin (celkový úhrn povodňové srážky – 472 mm, průměrná intenzita srážky – 6,9 mm/hod.) ovlivněn také extrémním nasycením půdy předchozími srážkami (API_{30} = 91 mm). Díky tomu půda zadržela minimální množství z celkové srážky a to 9 %. Výraznou většinou se na celkové retenci podílela její povrchová a hypodermická složka. Ta zachytila 37 % z celkové srážky. Hodnota součinitele celkové retence je 46%.

Všechny zjištěné hodnoty kriteriálních veličin pro posouzení retence vybraných povodí souhrnně uvádí následující tabulka 1.

Tab. 1 Přehled základních kriteriálních veličin pro posouzení retence u vybraných povodí

Tab. 1 Summary of basic criterial value needed for evaluation of water retention of chosen river basins

Povodí		Porubka	Budišovka	Slavíč	Rožnovská Bečva	Vrbenský potok
Součinitel předchozích srážek API [mm]		26,2	25,6	41,5	40,3	91,2
Celková výška přívalového deště [mm]		189,6	191,2	445,1	322,3	472,4
Průměrná intenzita přívalového deště [mm/hod]		2,8	2,3	6,5	4,4	6,9
Efektivní retence [mm] :	celková	87,2	146,1	195,8	145,3	218,5
	dlouhodobá	20,7	84,2	69,8	64,7	42,7
	krátkodobá	66,5	61,9	125,9	80,6	175,8
Součinitel retence :	celkové	0,46	0,76	0,44	0,45	0,46
	dlouhodobé	0,11	0,44	0,16	0,20	0,09
	krátkodobé	0,35	0,32	0,28	0,25	0,37

Míra vlivu jednotlivých fyzickogeografických faktorů (nezávisle proměnné) na efektivní celkovou retenci a efektivní dlouhodobou retenci (závisle proměnné) byla určena porovnáním hodnot párových koeficientů korelace. Jak vyplývá z tabulky 2 výsledkem této analýzy je zjištění, že největší vliv na celkovou retenci má dle předpokladů celkový úhrn příčinné srážky resp. její intenzita a průměrný sklon povodí. Nejmenší vliv měla plocha povodí a jeho hydrogeologické poměry (HSP). Podobnou míru vlivu měly uvedené faktory také na efektivní dlouhodobou retenci pouze s tím rozdílem, že se zde výrazněji projevil vliv nasycenosti povodí před povodňovou událostí (API_{30}).

Tab. 2 Párové koeficienty korelace vyjadřující míru vlivu geografických parametrů na retenci povodí

Tab. 2 Pair correlation coefficient representing the impact of geographical parameters on water retention of river basins

Fyzickogeografická charakteristika	Retence celková	Retence dlouhodobá
Tvar povodí	0,43	0,16
Ukazatel předchozích srážek API	0,38	0,52
Průměný sklon povodí	0,59	0,42
Průměrný úhrn srážek	0,57	0,54
Průměrná intenzita srážek	0,63	0,61
Hydrologická skupina půd HSP	0,13	0,16
Landuse	0,44	0,28
Plocha povodí	0,28	0,01

ZÁVĚR

Z hodnocení uvedeném v tomto příspěvku vyplynulo, že největší část z objemu povodňové srážky zadrželo povodí Budišovky a to 76 %. Přestože je v tomto povodí zemědělská půda zastoupena na 70 % plochy povodí a lesy pokrývají pouze čtvrtinu území, byla půda schopna zachytit až 44 % z celkového úhrnu efektivní srážky. Naopak u povodí, která jsou téměř celá zalesněna (povodí Slavíče, Rožnovské Bečvy, Vrbenského potoka) byl zjištěn nejméně příznivý součinitel celkové i dlouhodobé retence. Lze to vysvětlit velkou průměrnou sklonitostí uvedených povodí a také největší příčinnou srážkou co do její intenzity i celkového úhrnu. Srovnáním párových koeficientů korelace závislostí retenční schopnosti povodí na fyzickogeografických faktorech byla potvrzena největší míra vlivu srážkových a geomorfologických faktorů, zvláště sklonu povodí.

Je třeba připomenout, že výsledky v tomto příspěvku jsou založeny pouze na analýze jedné povodňové události z roku 1997 způsobené srážkovou situací natolik extrémní, že se vliv způsobu využívání povodí a hydrogeologických charakteristik výrazněji neprojevil na zvýšení či snížení retenční schopnosti povodí. Při hodnocení průběhu více povodňových epizod na větším vzorku povodí dojde pravděpodobně k upřesnění výsledků této analýzy. Na tomto základě pak bude možné sestavit regionální regresní model závislostí retenční schopnosti povodí na vybraných fyzickogeografických faktorech.

Literatura

[1] Anton, Z., Sarga, K. and Slepička, F. (1989): Moderní hydrologické metody pro hydrogeologické testování a bilancování. MON, Praha.

[2] Čermák, M. (1968): Základní činitelé ovlivňující odtok velkých vod. Sborník prací HMÚ, svazek 12, HMÚ, Praha.

[3] Dumbrovský, M., Podhrazská, J., Prudký, J., Spitz, P. and Uhlířová J. (1998): Rozbor retenčního potencionálu povodí řeky Opavy s analýzou zastoupení a plošného rozmístění kultur. Výzkumná zpráva, VÚMOP, Praha.

[4] Spitz, P. and Uhlířová, J. (2004): Přirozená retence povodí. Poster z Konference „Meliorace včera, dnes a zítra“ , Praha - Průhonice.

Autor

Stanislav Kaleta, Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ostrava, K Myslivně 3, Ostrava – Poruba, 70800
e-mail: kaleta@chmi.cz

ZÁPLAVOVÉ ČIARY V ÚDOLÍ TORYSY POD PREŠOVOM

Jozef Kamenský, Martin Mišík

Príspevok podáva informáciu o riešení problematiky prechodu povodňovej vlny s kulminačným prietokom Q_{100} údolím toku Torysa v úseku od sútoku so Sekčovom po zaústenie do Hornádu. Prúdenie s kulminačným povodňovým prietokom Q_{100} bolo simulované pomocou 1D hydrodynamického modelu neustáleného prúdenia. Hydrodynamický model hlavného koryta a inundačných území bol kalibrovaný na základe údajov z povodne v roku 2004. Na základe výsledkov boli zostrojené mapy záplavových čiar a posúdená bola funkčnosť mostných objektov na toku počas povodní.

Kľúčové slová: záplavové čiary, hydrodynamické modelovanie, rieka Torysa

Flood Delineation Lines in Torysa River Valley below Prešov. *The paper brings information about simulation of flood wave propagation in Torysa river valley on the reach between tributary of Sekčov and Torysa mouth to Hornád. Flood flow with peak discharge Q_{100} was simulated using 1D unsteady flow hydrodynamic model. The Hydrodynamic model of the main channel and flood plains was calibrated on the basis of data from 2004 flood. Flood delineation lines were constructed and flood flow capacity of bridges was assessed on the basis of obtained results.*

Key words: flood delineation lines, hydrodynamic modelling, Torysa River

---

ÚVOD

Určovanie záplavových čiar je aktuálnym problémom vodného hospodárstva. Mapy záplavových území sú dôležitým podkladom pri územnom plánovaní, plánovaní protipovodňovej ochrany a krízovom manažmente. Preto je určovanie hraníc inundačných území zakotvené aj v príslušnej legislatíve.

Značný záujem o územný rozvoj v údolí Torysy bol podnetom k určeniu povodňových hladín a hraníc inundačných území Torysy medzi Prešovom a jej zaústením do Hornádu. Táto práca prebiehala v spolupráci SVP, OZ Košice, Katedry hydrotechniky Stavebnej fakulty STU Bratislava a DHI Slovakia, s.r.o.

KONCEPCIA KONŠTRUKCIE ZÁTOPOVÝCH ČIAR

Záplavové čiary, ako hranice inundačného územia v údolí Torysy, boli skonštruované pre návrhovú hladinu povodňového prietoku Q_{100}. Návrhová povodňová hladina bola stanovená na základe hydraulického výpočtu pomocou matematického modelovania. Záplavové čiary boli znázornené v mapách mierky 1 : 10 000, na základe prieniku vypočítaného priebehu hladiny s výškopisom terénu.

POUŽITÉ PODKLADY

Pre stavbu matematického modelu boli použité geodeticko – hydrografické pasporty Torysy a Hornádu, so zameranými priečnymi profilmi koryta a inundačných území a doplnkové mapové podklady. Pri hydraulických výpočtoch boli použité hydrologické údaje SHMÚ a pozorovania SVP zo záujmového úseku Torysy a relevantných vodomerných staníc na Toryse, Sekčove a Hornáde. Na kalibráciu modelu boli použité geodeticky zamerané značky kulminačnej hladiny povodne z leta 2004. Na znázornenie záplavových čiar boli použité vrstevnicové mapy mierky 1 : 10 000.

MATEMATICKÉ MODELOVANIE PRIEBEHU HLADINY PRI Q_{100}

Použitý simulačný prostriedok

Na modelovanie prúdenia povodňových prietokov Torysy bol použitý simulačný prostriedok MIKE 11, DHI Software. Je to jednorozmerný matematický model pre simulovanie prúdenia, kvality vody a pohybu splavenín v otvorených korytách a inundačných územiach. Použitý bol hydrodynamický modul, ktorý simuluje neustálené prúdenie pomocou numerického riešenia Saint Venantovych rovníc. Model dokáže vystihnúť podmienky riečneho aj bystrinného prúdenia pomocou výpočtovej schémy ktorá sa adaptuje podľa miestnych podmienok prúdenia v čase a v priestore. Model popisuje aj prúdenie cez hydraulické objekty a mosty.

Rozsah modelu

Horný okraj modelu bol na sútoku Torysy a Sekčova (staničenie podľa pasportu – rkm 56,041). Aby bol správne modelovaný celý úsek Torysy až po ústie, dolný okraj modelu bol umiestnený na Hornád do profilu limnigrafickej stanice SHMÚ Ždaňa (staničenie podľa paportu – rkm 123,280), 5 km pod ústím Torysy. Celý výpočtový model teda pozostával z dvoch vetiev, vetvy Torysy v rozsahu rkm 0,0 – 56,041 a vetvy Hornádu v rozsahu rkm 123,280 – 129,800, celková dĺžka modelu bola 62,5 km. Riečne korytá a inundačné územia riek boli schematizované pomocou 230 priečnych profilov na Toryse a 14 priečnych profilov na Hornáde.

Mostné objekty

Na modelovanom úseku bolo 31 mostných objektov, z ktorých 5 bolo schematizovaných formou zvýšeného hydraulického odporu, 26 mostov bolo detailne modelovaných ako objekt s reálnymi rozmermi a kótami mostnej konštrukcie, vrátane pilierov. Väčšina z týchto mostov nemá dostatočnú prietočnú kapacitu, aj počas menej významných povodní sú zahltené a upchaté naplaveným drevom. V závislosti od prietoku a hydraulických podmienok sa prúdenie cez profil mosta automaticky modelovalo ako prúdenie s voľnom hladinou, tlakové prúdenie pod mostovkou, alebo kombinácia tlakového prúdenia a prepadu cez širokú korunu v prípade preliatia mosta.

Kalibrácia modelu

Model bol kalibrovaný tak, aby správne vystihoval výšku kulminačnej hladiny povodne z prelomu júla a augusta 2004. Simulovaný priebeh kulminačnej hladiny pre hydrologické podmienky z povodne 2004 bol porovnaný so zameranými výškami značiek pozorovanej kulminačnej hladiny v teréne.
Celkovo bolo k dispozícii 22 zameraných značiek povodňovej hladiny, spravidla na mostných objektoch (2 značky na Hornáde a 20 na Toryse).

Výpočet návrhovej povodňovej hladiny Q_{100}

Pri simulačných výpočtoch bol na hornom okraji modelu pri ústí Sekčova (rkm 56,041) zadávaný prietokový hydrogram trojuholníkového tvaru s kulminačným prietokom 410 $m^3.s^{-1}$. Pod ústím Delne stúpol výpočtový kulminačný prietok na 419 $m^3.s^{-1}$. Pre uvedenú návrhovú povodeň Q_{100} bol na predmetnom úseku Torysy zistený priebeh kulminačnej hladiny. Výsledky potvrdili, že mostné objekty, vzhľadom na nedostatočnú prietočnú kapacitu (13 zatopených a 16 prelievaných mostov), výrazne vzdúvajú hladinu a ovplyvňujú pozdĺžny profil povodňových hladín.

Presnosť výpočtov

Na základe zhody, ktorú sa podarilo dosiahnuť medzi zameranými a simulovanými výškami povodňových hladín, možno predpokladať, že miera presnosti vypočítaných nadmorských výšok hladiny Q_{100} je na väčšine záujmového úseku Torysy v rozsahu +/- 30 cm, miestne +/- 50 cm, za predpokladu súčasného stavu koryta a inundačných území Torysy.

ZOSTROJENIE ZÁPLAVOVÝCH ČIAR

Záplavové čiary, ako ohraničenie zátopových plôch, boli konštruované z priesečníkov vypočítanej hladiny pri prietoku Q_{100} s terénom v jednotlivých profiloch a údolných profiloch. Hranice inundačného územia boli znázornené na mapových listoch v mierke 1 : 10 000.

ZÁVER

Záplavové čiary boli zostrojené v údolí toku Torysa v úseku od sútoku s Hornádom po prítok Sekčova. Tieto čiary, ktorými je vymedzená predpokladaná zátopová plocha, boli stanovené na základe matematickej simulácie neustáleného prúdenia modelovej povodňovej vlny s kulminačným prietokom rovným Q_{100} a zobrazené na mapových listoch v mierke 1 : 10 000. Presnosť výškopisu vrstevnicových máp v mierke 1 : 10 000 je podstatne nižšia ako presnosť hydraulických výpočtov výšky návrhovej povodňovej hladiny. Pre kvalitné povodňové mapovanie je potrebné pracovať s digitálnym modelom terénu (DTM) s podstatne lepšou presnosťou, ktorá by zodpovedala presnosti hydraulických výpočtov. Presné povodňové mapovanie je potom možné urobiť aplikáciou špecializovaných softvérov. Vhodným spôsobom vytvorenia presného DTM je letecká fotogrametria, alebo laserové skenovanie LIDAR. V prípade leteckej fotogrametrie pre účely povodňového modelovania a mapovania sa odporúča snímkovanie v mimovegetačnom období v mierkach 1:4000, 1:6000, alebo 1:8000.

Literatúra

Kamenský, J., Mišík, M. (2005): Určenie hladín a hraníc inundačného územia na toku Torysa v úseku rkm 0,0, - 57,5 pri prietoku Q_{100}, záverečná správa Katedra hydrotechniky Stavebnej fakulty STU Bratislava, DHI Slovakia, s.r.o.

Autori

Jozef Kamenský, Katedra hydrotechniky, Stavebná fakulta STU, Radlinského 11 Bratislava, kamensky@svf.stuba.sk
Martin Mišík, DHI Slovakia, s.r.o, Hattalova 12, 831 03 Bratislava, m.misik@dhi.sk

KVANTIFIKACE REŽIMU PODZEMNÍCH VOD PŘI EXTRÉMNÍCH HYDROLOGICKÝCH SITUACÍCH

Miroslav Kněžek, Martina Krátká

Pro možnost hospodaření s podzemními vodami a stanovení jejich vodohospodářského významu je nezbytné kvantifikovat jejich režim. Na příkladech dvou vodoměrných profilů Metuje, Teplice n. M. (89 km^2) a Hronov (240 km^2) v křídové Polické pánvi (struktura s hlubokým oběhem a velkou akumulací) a profilu Divoké Orlice, Klášterec n. O. (155 km^2) v krystaliniku Orlických hor (struktura s mělkým oběhem podzemní vody) jsme stanovili velikosti aktivních zásob podzemní vody (objem podzemní vody nad úrovní příslušné erozní základny). Podle modelu hydrologické bilance byly určeny velikosti jejich zmenšování v obdobích poklesu, kdy je odtok z povodí tvořen výlučně dotací podzemních vod. Ukázalo se, že deficity aktivní zásoby jsou v pánevní struktuře za současných podmínek přijatelné i v extrémních případech, v krystaliniku horské oblasti však dochází až k jejímu úplnému vyčerpání. Je odvozen vztah změn zásob ke změnám hladiny podzemní vody v Polické pánvi, respektive ke změně vydatnosti pramenů v oblasti krystalinika. Podobné vyčíslování hydrologické bilance podzemních vod by mělo být postupně zavedeno ve Vodohospodářské bilanci.

Klíčová slova: základní odtok, zásoba podzemní vody, hydrologická bilance, vrt, pramen, Polická pánev, Orlické hory

Quantification of groundwater regime during extreme hydrological situations. *Proper management of groundwater resources depends on the knowledge how to calculate changes in groundwater quantity. Determination of the volume of active groundwater storage (storage above pertinent erosive base) is shown by examples of two different basins. The first type is a structure with deep circulation and huge accumulation (the Police Cretaceous basin), the second type is a structure with shallow circulation (the Eagle Mountains crystalline complex). Reduction of groundwater storage in decrease periods was computed by the SIMBA hydrological balance model. This study shows that deficits of the active storage in the basin structure are for the time being acceptable, but in the crystalline structure the active storage is often almost completely exhausted. Relation between change of groundwater storage and change of groundwater level in the Police basin was deduced, followed by another relation between change of groundwater storage and change of spring yield in the Eagle Mountains crystalline complex. Such numbering of groundwater balance should be gradually implemented in the Water Budget.*

Key words: baseflow, groundwater storage, hydrological balance, borehole, spring, the Police basin, the Eagle Mountains

---

Při předpokládaných změnách klimatu dojde k poklesu průtoků i základního odtoku, který charakterizuje odtok podzemních vod.

Pro možnost hospodaření se zdroji podzemních vod je nezbytné kvantifikovat jejich režim. ČHMÚ již vyčísluje v nejvýznamnějších hydrogeologických rajonech režim přírodních zdrojů podzemních vod ve formě průtokových ukazatelů. Připravuje další rozšíření tohoto zpracování.

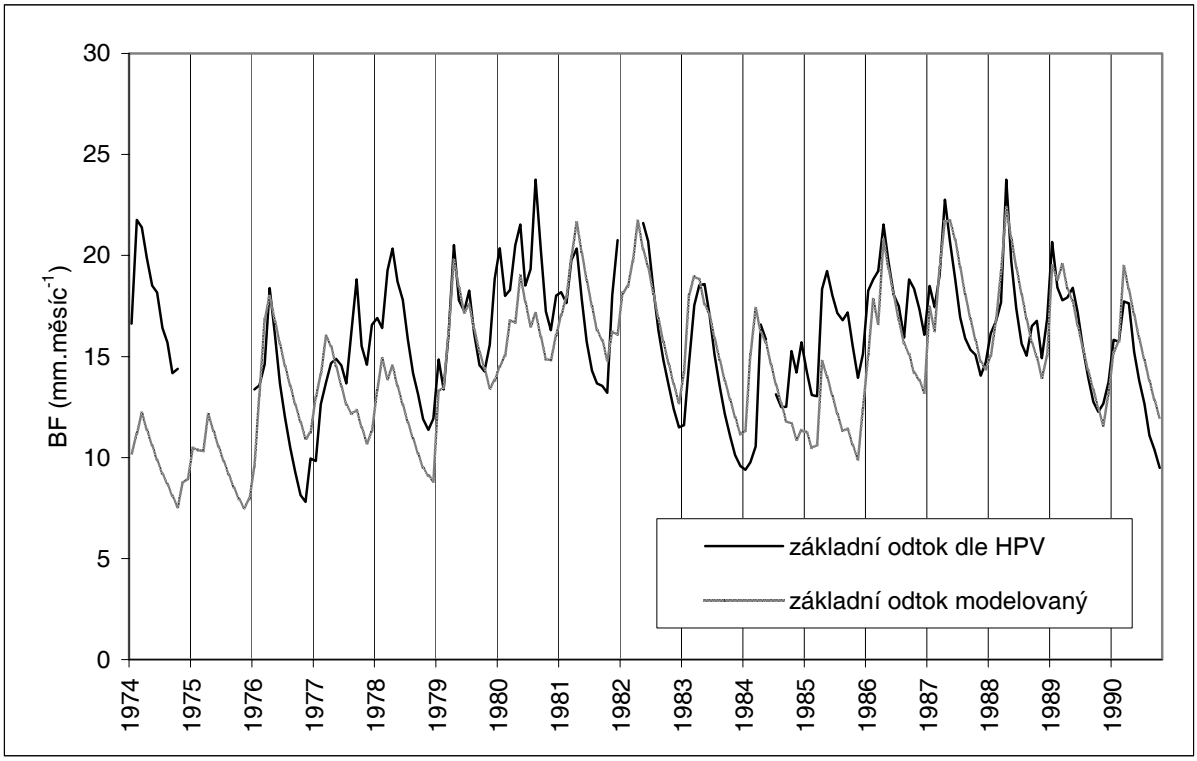
Chceme proto ukázat možnosti kvantitativního zpracování na příkladu hodnocení změn hydrologického režimu v Polické pánvi (povodí Metuje), jako oblasti s hlubokým oběhem podzemních vod a na příkladu vrcholového povodí Divoké Orlice po stanici Klášterec n. O., jako oblasti s relativně mělkým oběhem podzemní vody v krystalinické struktuře.

Polická pánev je hydrogeologicky uzavřeným křídovým rajonem o ploše 240 km^2 se třemi hlavními zvodněmi a mocností křídové výplně pánve až přes 200 m. Výpočty a modely hydrologické bilance jsou proto zcela korektní, bez nutnosti dopočítávání některého z hlavních ukazatelů režimu – v našem případě podzemního odtoku. Prakticky v jejím uzávěru je vodoměrný profil Metuje – Hronov. Její dílčí Adršpašsko-Teplická struktura je též hydrogeologicky uzavřená díky vzdouvací funkci Skalského zlomu. Z hlediska odtoku je uzavřena profilem Teplice nad Metují (M XII).

Abychom mohli použít výsledky hydrologické bilance zpracované modelem SIMBA (Kašpárek, 1998), porovnali jsme velikosti odtoku podzemních vod podle modelového řešení s jeho stanovením pomocí separace na základě vztahu režimu průtoků a hladin podzemních vod. Shoda výsledků byla tak dobrá, že pro další postup prací jsme mohli převzít údaje o změnách zásob podzemních vod z modelu (obr. 1, obr. 2). Jako zajímavost uvádíme, že z 5 vrtů použitých pro odvození separačního vztahu ukázal nejlepší výsledky vrt VS 3 Adršpach, ze struktury nad Skalským zlomem, pro oba vodoměrné profily. Pro profil Teplice n. M. to není překvapující. Pro profil Hronov však tvoří struktura nad Skalským zlomem jen 30 % plochy celého povodí. Dokládá to skutečnost, že vrt použitý k separaci odtoku, jako ukazatel režimu podzemní vody, nemusí reprezentovat skutečné kvantitativní velikosti rozkyvu hladin podzemní vody.

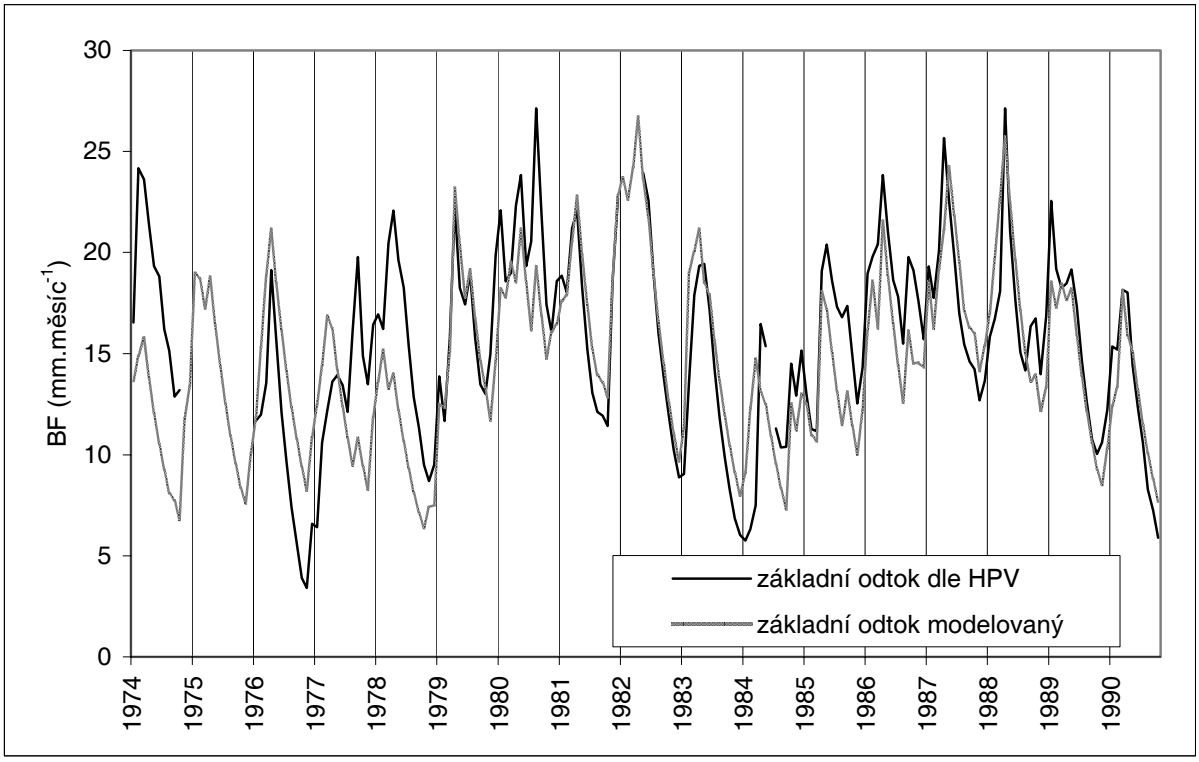
V dalším kroku jsme zpracovali vztah mezi změnou zásoby podzemních vod (velikostí odtoku podzemních vod) se změnou úrovní jejich hladiny. Abychom ověřili skutečné velikosti změn hladin podzemní vody v příslušných povodích, vybrali jsme pro vodoměrný profil Teplice n. M. (89 km^2) 8 vrtů a pro Hronov (240 km^2) dalších 10 vrtů, u nichž byla k dispozici relativně souvislá řada účelového pozorování od roku 1976 do 1990. (Uvedeny jsou plochy hydrogeologických povodí.)

Průměrné velikosti změn hladin v jednotlivých obdobích výrazných změn zásob podzemní vody umožnily odvození obecného vztahu mezi hladinami a zásobami podle modelu. Pro stanovení průměrné velikosti změn hladin jsme nebyli schopni stanovit jednotlivým vrtům rozdílné váhy významnosti podle velikosti příslušné plochy hydrogeologického ovlivnění. Dali jsme tedy pro počítání průměrů všem objektům stejnou váhu. Průměrné velikosti změn hladin v jednotlivých obdobích spolu se změnami zásoby podzemní vody jsou uvedeny v tab. l. Ukázalo se, že prakticky použitelný pro odhad deficitu zásoby podzemní vody je vztah k údajům vrtu VS 3 (obr. 3 a 4). Významné je to proto, že účelová pozorování u většiny ostatních vrtů již skončila.



Obr. 1 Základní odtok (měsíční) v profilu Teplice n. M. podle hladiny podzemní vody (HPV) ve vrtu VS 3 (Adršpach) a podle bilančního modelu, období 1974-1990

Fig. 1 Monthly baseflow in Teplice n. M. by groundwater level in the VS 3 Adršpach borehole and simulated by balance model, period 1974-1990



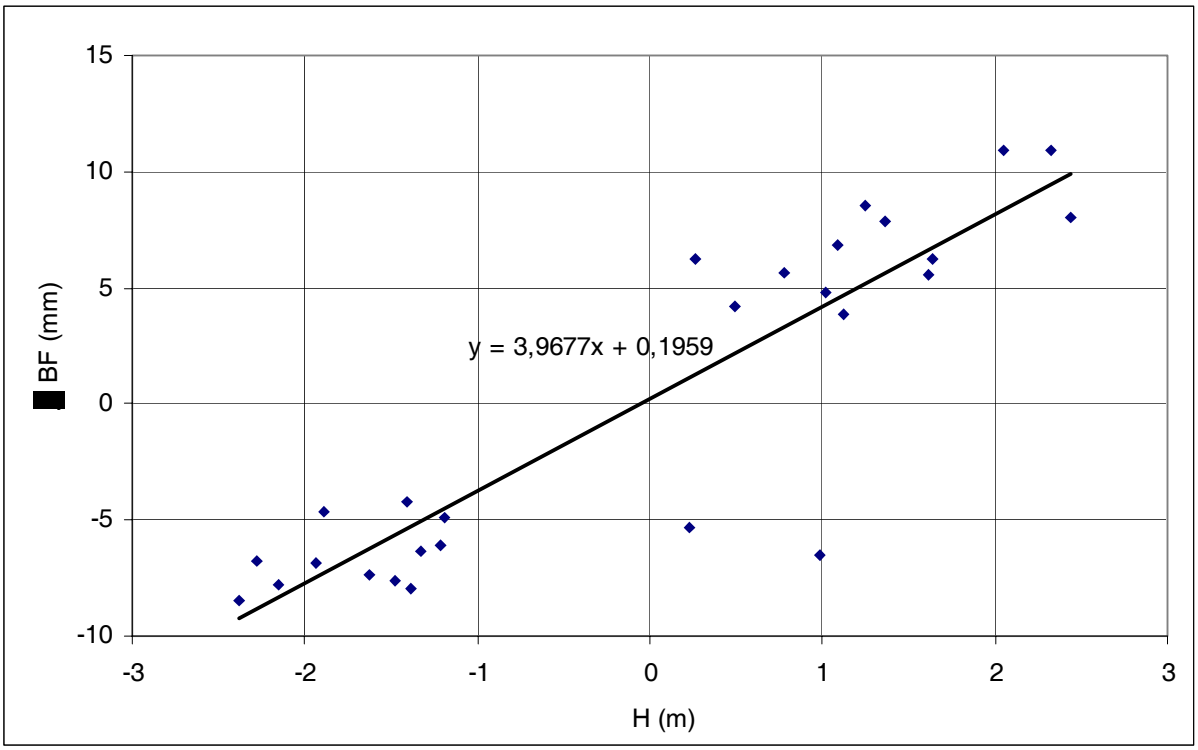
Obr. 2 Základní odtok (měsíční) v profilu Hronov podle hladiny podzemní vody (HPV) ve vrtu VS 3 (Adršpach) a podle bilančního modelu, období 1974-1990

Fig. 2 Monthly baseflow in Hronov by groundwater level in the VS 3 Adršpach borehole and simulated by balance model, period 1974-1990

Tab. 1 Vztah mezi změnou zásoby vody v povodí Δ BF a průměrnou změnou hladiny podzemní vody Δ H, pro profily Teplice n. M. a Hronov, (pro porovnání změny hladiny ve vrtu VS 3).

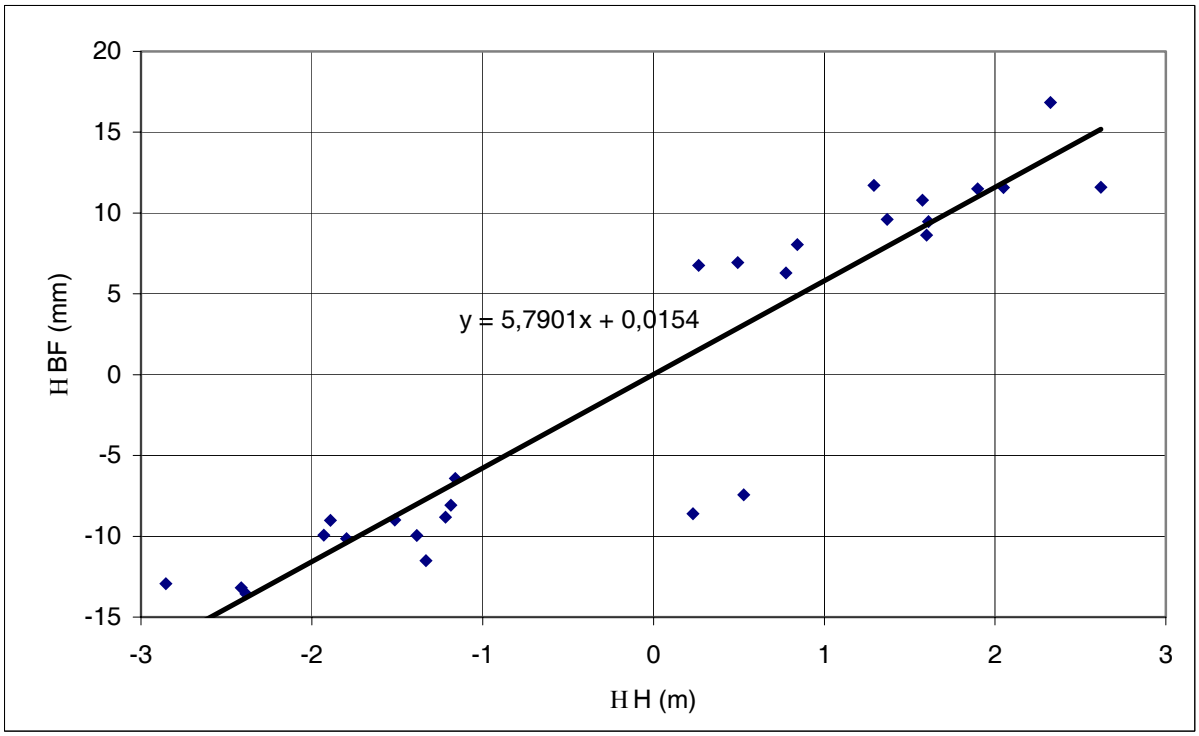
Tab. 1 Relation between change of groundwater storage Δ BF and average change of groundwater level Δ H; profiles Teplice n. M. and Hronov, (for comparison: change of groundwater level in VS 3 borehole)

P. č.	Období	Δ BF (mm)		Δ H (m)		Δ H (m)
		Teplice n. M.	Hronov	Teplice n. M.	Hronov	VS 3
1	4.76–11.76	-6,76	-12,93	-1,83	-2,05	-2,60
2	3.77-11.77	-5,31	-8,59	-1,82	-2,15	-1,60
3	2.78-12.78	-6,08	-8,82	-1,53	-1,88	-1,55
4	12.78-4.79	10,95	16,83	2,86	3,79	2,82
5	4.81-10.81	-6,82	-9,94	-1,98	-2,45	-2,45
6	4.82-12.82	-9,00	-17,04	-2,53	-3,17	-2,90
7	12.82-3.83	6,26	11,49	1,72	2,32	2,42
8	3.83-12,83	-7,80	-13,19	-1,56	-2,19	-2,70
9	3.84-11.84	-6,50	-7,44	-1,05	-1,28	-2,25
10	11.85-4.86	10,88	11,56	2,41	1,65	3,26
11	4.86-12.86	-7,58	-9,00	-1,06	-1,23	-
12	12.86-5.87	8,54	11,70	2,67	2,81	2,50
13	5.87-12.87	-7,36	-10,14	-2,41	-2,84	-2,84
14	12.87-4.88	7,99	11,60	2,25	2,73	2,65
15	4.88-11.88	-8,43	-13,56	-3,05	-3,76	-3,05
16	3.89-11.89	-7,98	-9,94	-1,80	-2,36	-2,50
17	11.89-3.90	7,88	9,60	1,45	1,70	2,34



Obr. 3 Vztah mezi změnou výšky hladiny ve vrtu VS 3 (Adršpach) a změnou zásob (základního odtoku modelovaného) v profilu Teplice na Metuji, 1974–1990

Fig. 3 Relation between change of groundwater level in the VS 3 Adršpach borehole and change of groundwater storage (simulated baseflow of Metuje River in Teplice n. M.), period 1974-1990



Obr. 4 Vztah mezi změnou výšky hladiny ve vrtu VS 3 (Adršpach) a změnou zásob (základního odtoku modelovaného) v profilu Hronov na Metuji, 1974–1990

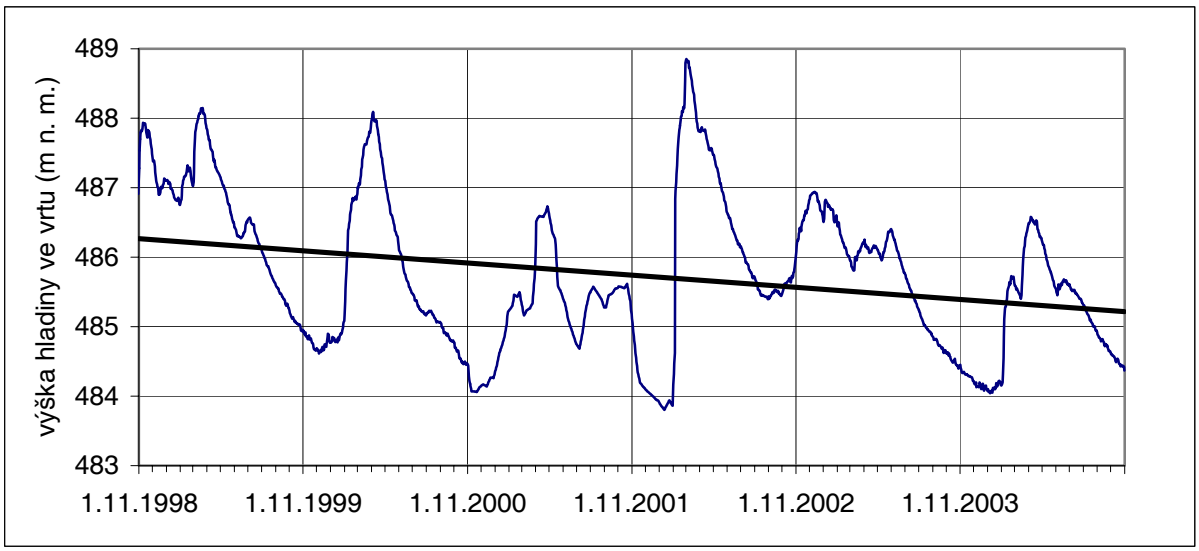
Fig. 4 Relation between change of groundwater level in the VS 3 Adršpach borehole and change of groundwater storage (simulated baseflow of Metuje River in Hronov), period 1974-1990

Výsledky jsme následně srovnávali se skutečnými aktivními přírodními zásobami podzemní vody (objem podzemní vody nad úrovní příslušné erozní základny) v povodích, vyčíslenými podle výsledků matematického modelu, zpracovaného Milickým a Uhlíkem (2001). Ty jsou pro profil Teplice n. M. 24.10^6 m^3, pro Hronov 79.10^6 m^3.

Největší pokles zásob podzemní vody podle modelové bilance byl v hodnoceném období pro profil Teplice n. M. 9,0 mm, tj. $0{,}80.10^6$ m^3. Odpovídající průměrný plošný pokles hladin ΔH byl 2,21 m. Obdobné výsledky pro profil Hronov jsou 17,04 mm – $4{,}09.10^6$ m^3, ΔH 2,94 m.

Porovnáme-li tyto poklesy zásob s velikostí aktivních zásob, vidíme, že u profilu Teplice n. M. – díky velké zásobě v Adršpašsko-Teplické struktuře – tvoří největší pokles z celého hodnoceného období jen 3,3 % aktivní zásoby. U profilu Hronov je to 5,2 %.

K hodnocenému období 1976-1990 jsme pro srovnání přiřadili výsledky z hydrologického roku 2004. Pokles zásob podzemní vody byl pro profil Teplice n. M. $6{,}48.10^6$ m^3, tj. 27 % celkové průměrné aktivní zásoby, pro Hronov 29,44. 10^6 m^3, tj. 37 % celkové průměrné aktivní zásoby. Pokles pokračoval i další měsíc, ne však již výrazně. Na obr. 5 je vidět, že úrovně hladiny podzemní vody na začátku odtoku ze struktury byly v posledních letech stále nižší, v roce 2004 o 2,26 m než v roce 2002. To na jedné straně sice zhruba odpovídá velikosti roční dotace odtoku podzemními vodami, na druhé straně to však je přibližně 5 % celkové aktivní zásoby. Za dosavadních klimatických podmínek tedy nedochází ke kritické situaci. (Jak se ukázalo, hladiny v dubnu 2005 o 15 cm přesáhly jejich maximum v roce 2004.) Pokud by se však stal trend posledních tří až pěti let normálním, při prognózované klimatické změně, byla by to varující skutečnost.



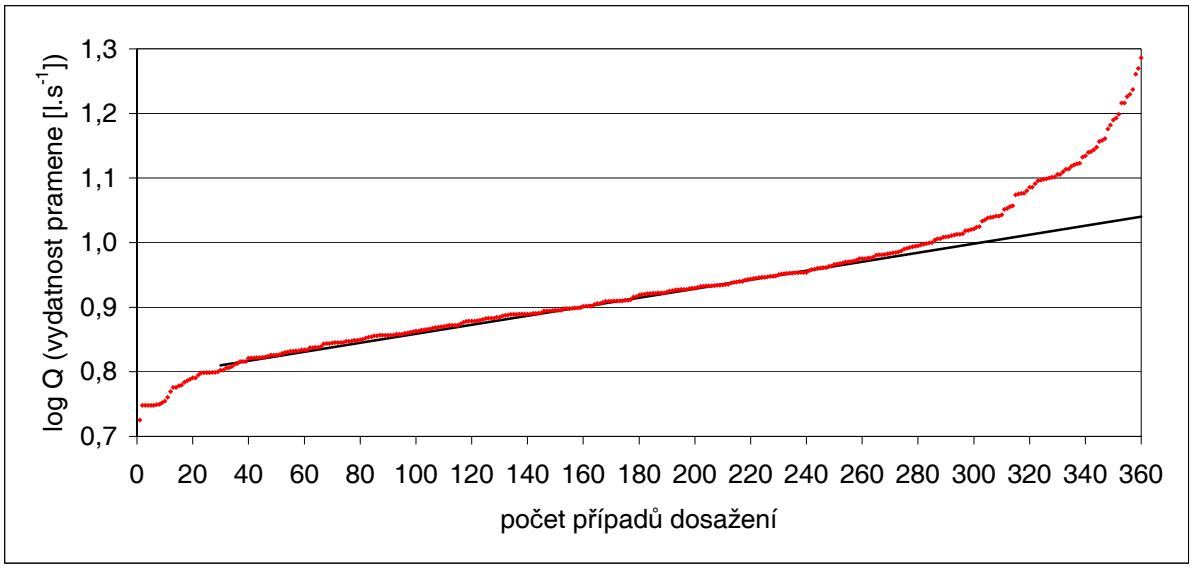
Obr. 5 Průběh výšky hladiny podzemní vody ve vrtu VS 3 Adršpach, období 1999-2004

Fig. 5 Trend of groundwater level in the VS 3 Adršpach borehole, period 1999-2004

Povodí Divoké Orlice po Klášterec n. O. odpovídá řádově svou velikostí 155 km^2 velikosti povodí Metuje v Polické pánvi, je však tvořené krystalickými horninami a z hydrogeologického hlediska je jeho protikladem. Je to převážně horské povodí, kde zejména velikost srážek (roční úhrn více než 1100 mm - Polická pánev 732 mm) umožňuje relativně pravidelné doplňování zásob podzemních vod. Jejich maximální akumulace je přibližně 40 až 50.10^6 m^3, vlivem velkých sklonů k místním erozním základnám je skutečně využitelná akumulace odhadována zhruba na 10 % maximální hodnoty.

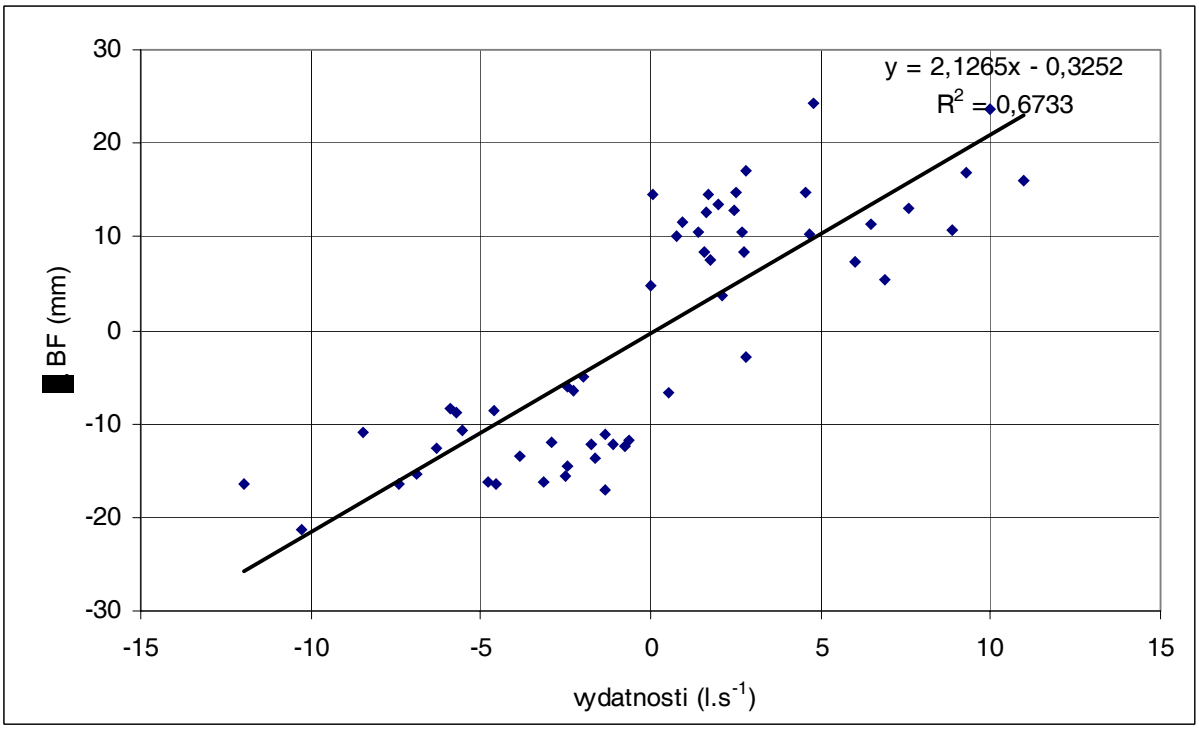
Pro posouzení přirozených akumulačních možností tohoto povodí jsme zpracovali vztahy mezi poklesem zásob podzemní vody (podle bilančního modelu) a poklesem vydatnosti tří pozorovaných pramenů.

Vzhledem k tomu, že horské prameny jsou ovlivňovány ve svých maximálních hodnotách povrchovým a hypodermickým stokem, očistili jsme pozorované hodnoty od tohoto vlivu Killeho metodou (obr. 6). Očištěné vydatnosti pramenů umožnily praktickou použitelnost vztahu mezi vydatností pramene a poklesem zásoby podzemní vody (obr. 7).



Obr. 6 Separace základního odtoku z vydatnosti pramene dle Killeho, Klášterec n. O., pramen PP0043, měsíční hodnoty, 1971–2000

Fig. 6 Separation of baseflow from spring yield (Kille method); Klášterec n. O. – spring no. PP0043; monthly values from the period 1971-2000



Obr. 7 Vztah mezi změnou vydatnosti pramene PP0043 a změnou zásob (základního odtoku modelovaného) v profilu Klášterec na Divoké Orlici, 1971–2000

Fig. 7 Relation between change of spring yield (spring no. PP0043) and change of groundwater storage (simulated baseflow of Divoká Orlice River in Klášterec n. O.); period 1971-2000

Maximální pokles zásoby za modelované období 1971–2000 byl 22 mm, čemuž odpovídá množství podzemních vod $3{,}41.10^6$ m^3.

Pro zajímavost uvádíme, že při nejnižším dosaženém stavu zásob byl modelový průtok 0,42 m^3/s (2,7 $l/s/km^2$), což jsou hodnoty dobře odpovídající údajům podle Hydrologických poměrů ČSR (Q_{355} = 0,44 m^3/s). Pro porovnání uvádíme, že průměrná velikost podzemního odtoku podle bilančního modelu i odvození podle vztahu k vydatnosti pramenu je 1,05 m^3/s (6,8 $l/s/km^2$), což je 33 % odtoku celkového. Rovněž tyto údaje velmi dobře odpovídají dlouhodobým charakteristikám (ČHMÚ, 1982). Porovnáme-li max. pokles zásoby v řešeném období o $3{,}41.10^6$ m^3 s odhadovanou disponibilní zásobou 4 až 5 . 10^6 m^3, vidíme, že dotační možnosti tohoto povodí jsou prakticky vyčerpány již za současných poměrů a nelze počítat s vyrovnávacím účinkem podzemní akumulace při změně klimatických poměrů.

Změny v režimu přírůstku podzemních vod – změny odtoku podzemních vod – je obecně možno prognózovat podle výtokových čar, u nichž bychom začátek snížili úměrně poklesu hladiny podzemní vody odvozenému předloženým postupem.

Literatura

Kašpárek L. (1998): Regional Study on Impacts of Climate Change on Hydrological Conditions in the Czech Republic. Práce a studie, sešit 193, T.G.M. Water Research Institute, Praha.

Kolektiv autorů (1982): Odtok podzemní vody na území Československa, ČHMÚ, Praha.

Milický M., Uhlík J., Kryza J. (2001): Vnitrosudetská deprese – hydrogeologické a hydrologické hodnocení, modelové řešení proudění podzemní vody. Progeo s.r.o., Praha.

Autoři

Ing. Miroslav Kněžek, CSc. – Hydrologie, Armádní 848, 165 00 Praha 6 - Suchdol

Ing. Martina Krátká – Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M., Podbabská 30, 160 62 Praha 6, martina_kratka@vuv.cz

K NEISTOTE URČOVANIA NÁVRHOVÝCH MAXIMÁLNYCH PRIETOKOV NA MALÝCH POVODIACH

Silvia Kohnová, Ján Szolgay, Kamila Hlavčová

Určovanie maximálnych návrhových prietokov pre malé povodia bez priamych pozorovaní patrí k častým úlohám inžinierskej hydrológie. Najmä pri veľmi malých povodiach sa často vychádza z genetickej predstavy tvorby odtoku v povodí a z nich odvodených zjednodušených empirických vzťahoch. V príspevku poukazujeme na neistoty v odhade návrhových maximálnych prietokov na malých povodiach. Popisujeme tzv. racionálnu metódu a niektoré iné u nás používané empirické metódy na odhad maximálnych návrhových prietokov pre malé povodia. Ako praktický príklad uvádzame použitie viacerých metód odhadu na šiestich vybraných veľmi malých povodiach na Slovensku. V závere príspevku navrhujeme témy výskumu zamerané na znižovanie neistôt v oblasti stanovenia návrhových hodnôt maximálnych prietokov na malých povodiach..

Kľúčové slová: návrhové maximálne prietoky, veľmi malé povodia, racionálna metóda

Uncertainties in design discharges estimation on small catchments. *In the paper uncertainties associated with different methods of estimating of design discharges for small catchments are described. Potential sources of uncertainty in the calculation of design discharges are discussed with an emphasis on the minimization of their influence. As for methods applicable to small catchments the influence of the determination of the design rainfall intensity and the design runoff coefficient are treated here more in detail. Design discharges estimated by different methods based on the rational method and also other empirical formulae for six small catchments from the territory of Slovakia were compared. Practical recommendations for further research leading to the reduction of uncertainty in application of these methods are given.*

Key words: design maximum discharges, small catchment, rational formulae

---

1. ÚVOD

Jedným z dôležitých článkov reťazca ochrany pred ničivými účinkami povodní je aj určovanie návrhových maximálnych prietokov na dimenzovanie ochranných stavieb. Zvyčajne sú udávané so zvolenou významnosťou, ktorá je mierou možnosti ich dosiahnutia alebo prekročenia v budúcnosti.

Voľbu významnosti návrhového prietoku na daný technický účel (napr. určenie výšky hrádze, kapacity koryta, kapacity bezpečnostného priepadu vodného diela a pod.) určujú príslušné technické normy s ohľadom na požadovanú bezpečnosť chráneného územia a ekonomické škody, ktoré by mohli byť spôsobené zlyhaním príslušného protipovodňového opatrenia.

Pre veľmi malé povodia prichádzajú pre daný účel najčastejšie do úvahy metódy vychádzajúce zo zrážkových údajov, ktoré sú vo všeobecnosti dostupnejšie, dajú sa priestorovo ľahšie interpolovať a mávajú aj dlhšie pozorovacie rady. Pre malé a stredné povodia sa u nás v prevažnej miere uplatňujú regionálne metódy odhadu (výnimočne aj metódy založené na používaní zrážkovo-odtokových modelov). Pre profily, v ktorých je odtok ovplyvnený antropogénnou činnosťou je nutné používať matematické hydrologické modely transformácie zrážok na odtok resp. matematické modely transformácie odtoku v riečnej sieti a v prvkoch vodohospodárskych sústav. Ani jeden z palety uvedených výpočtov nie je postupom s jednoznačným výsledkom, odhad výslednej veličiny je zaťažený viacerými neistotami.

Detailný popis, vysvetlenie príčin a dôsledkov týchto neistôt presahuje účel a možnosti tohto príspevku. Podrobne sme s neistotami určovania návrhových maximálnych prietokov zaoberali vo viacerých štúdiách; spomenieme napr. práce Kohnová et al. (2000), Szolgay, Kohnová (2003), Kohnová, Solín, Szolgay (2000) zaoberajúce sa regionalizačnou neistotou; Szolgay, Kohnová (2001), a Szolgay, Kohnová, Hlavčová (2003 a,b) analyzujúce štatistické neistoty. Tu sa pokúsime o diskusiu o tom, aké máme možnosti na minimalizáciu neistôt určovania návrhových prietokov pre veľmi malé

povodia. Tieto otázky boli bližšie analyzované napr. i v prácach Szolgay, Kohnová, Hlavčová (2003 b) a Szolgay et al. (2001).

2. K NEISTOTE URČOVANIA NÁVRHOVÝCH PRIETOKOV NA VEĽMI MALÝCH POVODIACH

Základ určovania N-ročných maximálnych prietokov mimo vodomerných staníc tvoria u nás regionálne metódy. V praxi sú preto často používané aj pre veľmi malé povodia. Zabezpečuje sa tým aj priestorová nadväznosť v systéme N-ročných hodnôt medzi malými a väčšími povodiami, ale práve v menších povodiach je vysoké riziko, že lokálne podmienky tvorby odtoku sa môžu líšiť od regionálnych. S ohľadom na to sa v malých povodiach široko používajú aj tzv. empirické metódy (u nás sa tradične delia na objemové a intenzitné). Tieto metódy vychádzajú z údajov o zrážkach a z charakteristík podmienok tvorby odtoku na povodí.

Typickým predstaviteľom takýchto postupov je tzv. racionálna metóda a jej odnože, podľa ktorých je možné maximálny návrhový prietok vyjadriť zo vzťahu

$$Q_N = \varphi_V \,.\, i_{t,N} \,.\, F.k \tag{1}$$

kde Q_N je maximálny prietok s priemernou dobou opakovania N rokov, $i_{t,N}$ je intenzita návrhového dažďa s tou istou dobou opakovania, φ_V je vrcholový súčiniteľ odtoku, F plocha povodia a k je prevodový rozmerový súčiniteľ. Návrhový dážď sa všeobecne uvažuje s konštantnou intenzitou a rovnomerne rozložený po celom povodí. Pri stanovení doby trvania t návrhového dažďa sa obvykle vychádza z predpokladu, že maximálny prietok v záverečnom profile nastane vtedy, keď sa do odtoku zapojí celé povodie (tzv. kritická doba odtoku). Vrcholový súčiniteľ odtoku φ_V vyjadruje pomer maximálneho prietoku a intenzity návrhového dažďa. Zvyčajne sa odhaduje zo skúsenosti pomocou rôznych tabuľkových hodnôt v závislosti od spôsobu využívania povodia a jeho sklonu. Niekedy sa pri jeho určení vychádza tiež z hodnoty objemového súčiniteľa odtoku φ_0, ak je ho možné pre dané povodie ľahšie definovať.
Ďalší typ vzorcov býva odvodený z celkového objemu priameho odtoku vyvolaného zrážkami a z predpokladaného (schematizovaného) tvaru hydrogramu odtoku. Všeobecný tvar tejto skupiny vzorcov je

$$Q_N = k.H_{z,N}.F.\varphi_o.k_f / T \tag{2}$$

kde k je rozmerový súčiniteľ závislý na voľbe jednotiek, $H_{z,N}$ je výška zrážok kritického trvania s dobou opakovania N, φ_O je objemový odtokový súčiniteľ vyjadrujúci podiel objemu vody tvoriacej povodeň (často priamy odtok) a objemu príslušných zrážok spôsobujúcich tento odtok, k_f je súčiniteľ vyplývajúci z tvaru schematizovaného hydrogramu a T je celkový čas trvania odtoku.

Pri určení vstupných zrážok sa pri oboch typoch vzorcov používa viacero zjednodušujúcich predpokladov. Z nich za najzávažnejšiu môžeme považovať základnú hypotézu, že na výpočet N-ročného maximálneho prietoku môžeme používať hodnotu N-ročných zrážok. Sem zaraďujeme aj hypotézu, že trvanie kritického výpočtového dažďa vyvolávajúceho maximálny odtok sa rovná dobe koncentrácie odtoku, tiež predpoklady o rovnomernom rozložení dažďa v povodí a jeho konštantnej intenzite počas celej doby jeho trvania. Pri výpočte kritickej doby sa niekedy vychádza z predpokladu vzniku povrchového odtoku z celej plochy povodia a používa sa Hortonova teória vzniku povrchového odtoku. V prípade uplatnenia iných mechanizmov tvorby odtoku (pozri napr. Hlavčová et al., 2001) môžu takého vzorce dávať značne odlišné hodnoty od skutočných. Napr. v ČR je zdokumentovaných viacero prípadov, že historicky najvýznamnejšie odtoky vznikli z dažďov s trvaním dlhším, ako bola vypočítaná, resp. z údajov odhadnutá doba koncentrácie odtoku (Kašpárek, osobná komunikácia).

V objemových metódach sa ďalej predpokladá, že je známy tvar hydrogramu výsledného odtoku (používajú sa napr. rôzne geometrické schematizácie). Keďže trvanie odtoku je viazané na dobu koncentrácie a trvanie výpočtového dažďa, predpoklad o tvare hydrogramu de facto spolu určuje aj veľkosť N-ročného maximálneho prietoku.

3. ILUSTRAČNÝ PRÍKLAD

Ako ilustračný príklad na to, aký vplyv môžu mať uvedené neistoty na výslednú hodnotu maximálneho prietoku, uvádzame výsledky určenia návrhového prietoku s priemernou dobou opakovania 100 rokov pre vybraných šesť veľmi malých povodí. Odhady sme urobili podľa metodík Hrádka (1989), Dumbrovského et al. (2001); na objemovom vzorci Čerkašina (1963) a aplikovali sme aj regionálny vzťah podľa OTN-ŽP 3112-1:03 (2003).

Ako prvá bola použitá metóda pre výpočet 100-ročných maximálnych prietokov hydrologická smernica MZV ČSR a MP SR: Návrhové průtoky pro malá povodí, vypracovaná na VSŽ Praha, založená na metodike Hrádka (1989). Metodika výpočtu spočíva na kombinácii hydrologického a hydraulického prístupu riešenia povrchového odtoku a obsahuje podklady pre výpočet vo forme tabuliek, grafov a máp. Pri výpočte sa vychádza z týchto predpokladov:

- uvažuje sa modelové povodie s rovinnými svahmi, na ktorom odtok zo svahov je prítokom do údolnice,
- povodie je zasiahnuté prívalovým dažďom s konštantnou intenzitou, dobou trvania rovnou dobe koncentrácie odtoku a s rovnomerným plošným rozložením,
- k maximálnemu prietoku v záverečnom profile dochádza v dobe koncentrácie.

Pri riešení sa predpokladá, že prítok na svahy povodia vyjadrený výškou efektívneho dažďa je rovný odtoku zo svahov a údolnice povodia.
Výpočet 100-ročných maximálnych prietokov podľa spomenutej metodiky bol neskôr vylepšený a zapracovaný do hydrologického modelu DesQ-MaxQ, verzia 5.0, Kuřík, Hrádek (2000), ktorý sme tiež použili pri odhade Q_{100} na vybraných povodiach.

Pri odhade 100-ročných maximálnych prietokov pomocou aplikácie metódy CN kriviek sme použili program ERCN 2.0 – Výpočet hodnot potřebných pro projekci pozemkových úprav, spracovaný VÚMOP Praha, autormi Dumbrovský et al. (2001).
Ťažiskom výpočtu 100 – ročného maximálneho prietoku je stanovenie čísla CN krivky a celkovej doby koncentrácie na povodí. Výpočet celkovej doby koncentrácie pomocou tejto metodiky sa odhaduje z troch zložiek odtoku:

- plošný povrchový odtok,
- sústredený odtok malej hĺbky,
- sústredený odtok v otvorenom koryte .

Pri odhade CN krivky sa využívajú tabuľky, pre ČR sú to podrobne spracované mapy druhov pôd, ktoré sú k dispozícii v digitálnej podobe.

Okrem týchto modelov sme použili i objemový vzorec Čerkašinov (1963), ktorý sa často v praxi používa na odhad storočných prietokov na malých povodiach a bol odvodený pre povodia do 300 km^2 v Čechách a na Morave, pričom objemový súčiniteľ odtoku je určený aj pre územie Slovenska.

Pre odhad 100-ročných maximálnych prietokov bola tiež použitá metodika SHMÚ OTN-ŽP 3112-1:03 (2003), založená na regionálnom vzorci. Aplikácia tejto metodiky je vhodná pre povodia nad 20 km2, avšak v praxi sa stretávame s jej extrapoláciou aj pre menšie plochy povodia. V našom prípade sme túto metódu zvolili len na porovnanie s výsledkami z iných odhadov.

Vypočítané hodnoty 100–ročných maximálnych prietokov uvedenými metódami na analyzovaných povodiach sme porovnali so štatistickým odhadom podľa metodiky DVWK (1999), výsledky sú uvedené v tabuľke č. 1. Ako vidieť (a dalo sa tiež očakávať), v odhadoch podľa jednotlivých metód je značný rozptyl. Za vhodné by sme z praktického hľadiska mali považovať tie metódy, ktoré by

konzistentne poskytovali odhad blízky štatistickému odhadu. K tejto požiadavke nás vedie potreba zachovať rovnaký stupeň bezpečnosti stavieb a ochranných opatrení navrhovaných rôznymi metódami na rozhraní veľmi malých a malých povodí. V ideálnom prípade by sa teda odhad návrhových veličín podľa štatistických metód, regionálnych vzorcov, regionálnej frekvenčnej analýzy a rôznych empirických vzorcov mal rovnať.

Tab. 1 Odhadnuté hodnoty 100 – ročných maximálnych prietokov podľa jednotlivých metód v [m3/s]

Tab. 1 100-year design maximum discharges estimated according to selected methods in [m3/s]

Číslo profilu	Názov stanice	Názov toku	Roky pozorov.	Plocha povodia km^2	Hrádek	ERCN	DesQ	Čerkašin	OTN-ŽP 3112-1:03	Štat. odhad
5055	Plavecké Podhradie	Kráľov p.	1971-1999	6,61	7,76	6,97	13,1	17,77	4,52	3,52
5490	Podtureň	Jamníček	1969-1992	7,01	8,15	9,99	8,98	37,84	28,69	6,81
5890	Turany	Čiernik	1970-2000	2,86	3,50	3,62	1,47	23,21	8,94	4,80
6920	Červená Skala	Župkov Horný	1971-1992	2,83	3,43	4,17	2,06	13,39	13,77	1,83
6935	Šumiac	Skalistý p.	1971-1988	1,90	2,31	5,38	3,71	18,43	3,13	2,38
9250	Trnava pri Laborci	Trnavský p.	1970-1993	6,61	8,491	6,25	2,08	8,68	38,67	6,36

4. DISKUSIA A ZÁVERY

Aj z týchto výsledkov je zrejmé, že porovnateľnosť výsledkov výpočtov rôznych autorov, resp. metód (a tým aj účinnosti následne navrhovaných protipovodňových opatrení v krajine) nie je zabezpečená, v praxi by sa mohla zabezpečiť dohodou odbornej komunity na používaní metód, ktoré sa osvedčili a sú zároveň na úrovni vedomostí danej doby ako aj na ich následnej parametrizácii voči štatistickým odhadom z povodí s dostatočnou dĺžkou radov pozorovaní. Výber týchto metód a ich parametrizácia by mali byť výsledkom práce širšieho kolektívu autorov a mali by byť etalónom pre korektné technické správanie sa v tzv. bežných situáciách.

Ako vyplynulo aj zo záverov štúdie Szolgay et al. (2001), za takéto sa dajú považovať aj metódy vychádzajúce z racionálnej metódy, ktorá sa široko používa najmä v mestskej hydrológii a metódy vychádzajúce z CN metódy, ktorá má dobrý potenciál zohľadňovať vplyv vyžívania územia na návrhové prietoky.

Pri racionálnej metóde je možné dohodnúť sa na spôsobe výpočtu návrhovej intenzity zrážok a doby koncentrácie a pokúsiť sa vyrovnať vychýlenie vypočítaných hodnôt N-ročných maximálnych prietokov voči štatistickým metódam, resp. voči ostatným metódam vhodnou voľbou koeficientu odtoku.

Podobne by sa dalo postupovať pri metódach vychádzajúcich z CN kriviek. Kým sa bude doba opakovania prietoku považovať za rovnú dobe opakovania zrážok, resp. nebudeme mať odvodené CN krivky pre naše podmienky, bolo by možné uvažovať o takej parametrizácii metódy, ktorá by zaručovala konzistenciu vypočítaných hodnôt so štatistickými metódami.

V rámci štúdie Szolgay et al. (2002) boli navrhnuté aj témy, ktoré by bolo potrebné hlbšie riešiť v rámci výskumu a ktoré by pomohli k implementácii vyššie uvedených úvah a to:

1. vytvorenie nového súboru N-ročných maximálnych dažďov pre rôzne doby trvania, alebo aspoň kritické zhodnotenie existujúcich hodnôt a metód z pohľadu nových údajov vo vybraných staniciach s cieľom odporučiť jednotný podklad pre výpočet maximálnych prietokov,

2. overenie vhodnosti niekoľkých vzťahov na výpočet doby koncentrácie. Odporúčané vzťahy by mali dávať realistické hodnoty v našich podmienkach, mali by byť vzájomne konzistentné a mali by umožňovať využívať rôzne vstupné veličiny,
3. vytvorenie súboru CN kriviek a schematizovaných tvarov hydrogramov odtoku pre naše podmienky vychádzajúci z výsledkov predošlých dvoch bodov tak, aby objem odtoku a z neho určený maximálny prietok bol konzistentný s výsledkami štatistických metód v staniciach a ostatných metód mimo staníc,
4. vytvorenie súboru vrcholových súčiniteľov odtoku pre naše podmienky tak, aby N-ročný maximálny prietok určený pomocou nich bol konzistentný s výsledkami štatistických a ostatných metód.

Dnes sa dá konštatovať, že uvedené úlohy neboli doteraz realizované. Podmienky pre technickú normalizáciu v danej oblasti zostali teda prakticky rovnaké ako v čase zhotovenia uvedenej štúdie Szolgay et al. (2002).

Odborná verejnosť a užívatelia očakávajú, aby výsledok odhadu N-ročných maximálnych prietokov bol čo najjednoznačnejší. Aj z uvedeného je však zrejmé, že ich určenie sa nedá považovať za výpočtový postup s jednoznačným výsledkom. Je to úloha, ktorá sa dá riešiť viacerými štatisticky a hydrologicky rovnocennými postupmi. Z hľadiska praktickej použiteľnosti by sme mohli výsledky odhadu rôznymi metódami (autormi) v princípe považovať za rovnocenné za predpokladu, že boli dodržané podmienky správneho používania jednotlivých metód. Ako dôsledok to znamená, že výslednú N-ročnú veličinu nakoniec musíme zvoliť zo spektra výsledkov použitých postupov, pričom tieto môžu byť čo do veľkosti aj značne rozdielne. To môže mať nepríjemné dôsledky v rôznych oblastiach vodného staviteľstva a protipovodňovej ochrany. Nominálna miera ochrany by bola síce rovnaká, skutočne dosiahnutá miera ochrany by však nemusela byť porovnateľná. Preto sa aj vo svete čoraz viac zavádzajú technické normy alebo smernice profesných organizácií, ktoré odporúčajú vhodné výpočtové metódy. Tieto potom zohrávajú stabilizačnú úlohu v systéme navrhovania vodohospodárskych stavieb, tým že zavádzajú konvencie, ktoré odborná verejnosť považuje za primerané vzhľadom na úroveň vedomostí o sledovanom jave. Domnievame sa, že práve s ohľadom na dostupnosť čoraz širšej palety metód sa tomuto procesu nebudeme môcť vyhnúť ani u nás.

Poďakovanie: Autori ďakujú grantovej agentúre VEGA za podporu projektov č. 1/2032/05, 1/1145/04 a 2/3085/23.

5. LITERATÚRA

Čerkašin, A. (1963): Hydrologická príručka. Hydrometeorologický ústav, Praha, 224 s.

DVWK Regeln 101/1999: Wahl des Bemessungshochwassers. Verlag Paul Parey, Hamburg 1999

Dumbrovský, M. et al. (2001): program ERCN, výstup projektu „Optimalizace systému komplexních opatření pro minimalizaci nepříznivých účinků povrchového odtoku v povodí a jeho aplikace v procesu pozemkových úprav“, Ministerstvo zemědělství ČR.

Hlavčová, K., Holko, L., Szolgay, J. (2001): Tvorba a modelovanie odtoku na svahoch a z malých povodí. Životné prostredie, roč. 35, 2001, č.3, 126-132

Hrádek, F. (1989): Aplikace genetického vzorce intenzivního typu pro výpočet kulminačných průtoků Q100 na malých povodích, Katedra základů vodního hospodařství, AF VŠZ,Praha

Kohnová, S. et al. (2000): Stanovenie N-ročných maximálnych prietokov mimo vodomerných staníc. Rozborová úloha pre tvorbu STN „Kvantifikácia povodňového režimu.“ MŽP SR, 72s.

Kohnová, S., Solín, Ľ., Szolgay, J., (2003): Regionálna analýza maximálnych prietokov. Životné prostredie, Bratislava

Kuřík, Hrádek, F. (2000): DesQ MaxQ program pro výpočet maximálních průtoků na malých povodích. Praha, verzia 5.0

Szolgay, J., Hlavčová, K., Kohnová, S., Ľupták, Ľ. (2001): Kvantifikácia N-ročných maximálnych prietokov na základe zrážok. Rozborová úloha pre tvorbu STN „Kvantifikácia povodňového režimu.“ MŽP SR, 82s.

Szolgay, J., Kohnová, S. (2001): K potrebe normovania metód určovania N-ročného maximálneho prietoku štatistickými postupmi. In: Kamenský et al.: Vplyv vodohospodárskych stavieb na tvorbu a ochranu životného prostredia. 4. Konf. s medzinárodnou účasťou, Podbanské, KHT SvF STU, 2001, s. 161-16. ISBN 80-88820-18-9

Szolgay, J., Kohnová, S. (2003): O možnostiach normovania metód výpočtov maximálnych prietokov pre protipovodňovú ochranu. In: Ekotechnika, Bratislava 2003, pp. 78-85.

Szolgay, J., Kohnová, S., Hlavčová, K. (2003a): Ilustrácia neistoty určovania N-ročných maximálnych prietokov Dunaja v Bratislave. In: Lukáč, Podkonický, eds.: Ochrana pred povodňami a bezpečnosť vodných stavieb.MŽP, SVP, Bratislava 2003, s. 7-13.

Szolgay, J., Kohnová, S., Hlavčová, K. (2003b): Neistoty určovania návrhových prietokov. Životné prostredie, 2003, Vol. 27, č.4, 194-199.

Autori

doc. Ing. Silvia Kohnová, PhD., Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, e-mail: silvia.kohnova@stuba.sk

prof. Ing. Ján Szolgay, PhD., Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, e-mail: jan.szolgay@stuba.sk

doc. Ing. Kamila Hlavčová, PhD., Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, e-mail: kamila.hlavcova@stuba.sk

MOŽNOSTI VYUŽITÍ MODELU KINFIL PRO SIMULACI VÝZNAMNÝCH PRŮTOKOVÝCH VLN NA MALÝCH POVODÍCH

Pavel Kovář

Model KINFIL vznikl kombinací metody odtokových křivek a řešení infiltrace, kdy hodnoty hydraulických půdních parametrů (nasycená hydraulická vodivost K_s a sorptivita S_f), byly vyjádřeny dříve získanými korelačními vztahy s hodnotami čísel odtokových křivek CN. Dále je tento model založen na transformaci procesu přímého odtoku kinematickou vlnou, řešením diferenciální rovnice ve tvaru konečných diferencí, vyjádřené explicitním numerickým schématem. Model je distributivní typu 2D, povodí je členěno do odpovídající odtokové sítě, podle fragmentace topografické a hospodářské ("land use"). Model využívá prostředků GIS, zejména digitální model terénu (DEM), vrstvy "land use", vrstvy říční sítě a vrstvy CN.

Vedle katastrofální povodně v srpnu 2002 v povodí Vltavy v České republice se vyskytla řada lokálních povodní na malých povodích, způsobených přívalovými dešti. Jedna z těchto povodní postihla i malé experimentální ($F=1,4$ km^2, převážně zemědělsky využívané) povodí Černičí (okr. Benešov). Během rekonstrukce povodňové události byly kalibrovány parametry modelu, se kterými byly implementovány scénářové simulace přívalových dešťů s vyšším opakováním výskytu N=10 a 50 let. Byly rovněž provedeny simulace změn hospodářského využití pozemků, nahražením části orné půdy trvalým travním porostem s implementací návrhových srážek a zjištěním, že tyto změny mohou částečně snížit kulminace povodňových průtoků, pouze však asi do 10%.

Využití modelu KINFIL, podpořené topografickou analýzou, provedenou prostředky GIS prokázalo vhodnost tohoto prostředku pro ohodnocení odtokových poměrů malých povodí při simulaci různých scénářů využití povodí.

Klíčová slova: infiltrační přístup, kinematická vlna, GIS, srážko-odtokové modely, návrhové průtoky, změny využití území

Simulation of the impact of land use on significant rainfall runoff events using the kinfil model. *This paper deals with the analysis of flood events, implementing the KINFIL hydrological model on small catchments where both land use and land management play a significant role, and where these human activities can influence the design discharges. A combination of GIS techniques with the KINFIL model, which is conceived on a physically based infiltration approach (INFIL) and on a kinematic wave transformation of direct runoff (KIN), provides a tool for analysing historical rainfall-runoff events, for assessing design discharges, and for simulating hypothetical flood scenarios. KINFIL is a complex model using the correspondence of Curve Number (CN) with soil parameters and the kinematic wave transformation with the physiographical parameters, and it serves as the implementation example of the Černici experimental catchment in Central Bohemia (Czech Republic). All topographical and morphological catchment data were analysed and prepared for the KINFIL model, using GIS facilities. Thus the model was first implemented for design discharge assessment (N=10 and 50 years) and then for simulation scenarios of changes in land use (part of arable land substitute by grassland) expressed by the model parameters. It has been shown again that land use changes do not affect peak flood discharges by more than 10 percent.Implementatation of trhe KINFIL model supported by GIS has been found as a proper tool for the runoff assesment on small catchments when using different scenarios of land-use changes.*

Keywords: infiltration approach, kinematic wave, GIS, rainfall-runoff models, design discharges, land use changes

---

ÚVOD

Zlepšování metod sloužících ke stanovení hodnot odtoku z povodí a zejména povodňových průtoků má velký význam jak pro ekonomiku, tak i pro životní prostřední. Základním hydrologickým podkladem pro návrh opatření proti záplavám nebo erozi jsou návrhové hodnoty N-letých průtoků, způsobených přívalovými dešti stejné periodicity výskytu. Předložený příspěvek slouží k prověření možností určení návrhových průtoků na malých povodích modelem KINFIL (Kovář,1992). Tento model vznikl kombinací metody odtokových křivek a řešení infiltrace Morel-Seytouxovými rovnicemi (Morel-Seytoux,Verdin 1981). Simulace povrchového odtoku je řešena modelem

kinematické vlny při respektování podrobné topografie povodí. Topografické vlastnosti terénu jsou zpracovány softwarem ARC/INFO. Spolehlivost těchto moderních metod matematického modelování a jejich propojení se systémy GIS je úměrná věrnosti matematického popisu fyzikálního procesu a rozsahu i spolehlivosti použitého datového souboru. Model KINFIL byl použit pro rekonstrukci srážko-odtokového případu povodí Černičí z května 2001. Touto rekonstrukcí byly kalibrovány modelové parametry a model byl dále použit pro simulaci N-letých průtoků z návrhových dešťů, zpracovaných pro srážkoměrnou stanici Dolní Kralovice.

Charakteristika modelu KINFIL

Model KINFIL je založen na kombinaci teorie infiltrace a transformace přímého odtoku "kinematickou vlnou", který se osvědčil na řadě experimentálních povodí při rekonstrukci historických povodňových případů. Tento model používá fyzikálně-geometrické (fyziografické), hydraulické a klimatické parametry povodí, které se dají určit z mapových a jiných podkladů při absenci přímých pozorování a při zohlednění důsledků antropogenní činnosti v povodí. Model je určen přednostně pro stanovení návrhových průtoků pro různé "scénářové situace", dané touto činností, jako je změna kultur, odlesnění, urbanizace aj.
Současná verze modelu KINFIL je založena na infiltrační teorii Greena a Ampta se zavedením koncepce "výtopy" dle Morel-Seytouxe (Morel-Seytoux 1982)

$$K_s\left(\frac{z_f + H_f}{z_f}\right) = \left(\theta_s - \theta_i\right)\frac{dz_f}{dt} \qquad (1)$$

$$S_f = (\theta_s - \theta_i).H_f \qquad (2)$$

$$t_p = \frac{S_f}{i\left(\frac{i}{K_s} - 1\right)} \qquad (3)$$

kde:

K_s ... nasycená hydraulická vodivost ($m.s^{-1}$)
z_f ... hloubka infiltrační fronty (m)
θ_s ... nasycená půdní vlhkost (-)
θ_i ... počáteční půdní vlhkost (-)
H_f ...sací tlak pod infiltr. frontou (m)
i ... intenzita deště ($m.s^{-1}$)
S_f ... retenční součinitel sacího tlaku (m)
t_p ... doba výtopy (s)
t ... čas (s)

Základním úkolem je určení parametrů K_s a S_f (při stavu polní vodní kapacity - PVK). Řešením bylo využití dříve odvozených vztahů mezi těmito parametry a hodnotami čísel odtokových křivek CN (Curve Number), dnes dobře propracované metody a ve světě široce používané (U.S.SCS, 1986). Indexové hodnoty CN korespondují s konceptuálními hodnotami půdních parametrů K_s a S_f (PVK): $CN = f\ (K_s, S_f)$
Pro stanovení těchto vzájemných (párových), vztahů mezi CN a (K_s, S_f) byla použita data maximálních jednodenních srážkových úhrnů 62 stanic České republiky, přepočtených pro trvání 30, 60, 90, 120, 180 a 300 min., každý po dobu opakování 1, 2, 5, 10, 20, 50 a 100 let, implementovaných infiltračním submodelem pro 10 základních skupin půd podle U.S. klasifikace, která je však kompatibilní s naší klasifikací dle Nováka. Více než 22 tisíc hypotetických srážko-odtokových událostí bylo tak zpracováno regresní analýzou dle kritéria:

$$G = \frac{d}{dS}\left[\sum_{i=1}^{N}\rho_i^2\right] = 0 \qquad (4)$$

kde: S ... retence aktivní zóny (m)
N ... počet událostí (-)
ρ_i ... reziduální hodnoty (-)

Výsledkem této regresní analýzy je vyjádření funkční závislosti "koncepčních" hodnot K_S a S_f (pro subpovodí) na hodnotách čísla odtokových křivek CN (Kovář, 1994). Tyto závislosti buď pro některé regiony (např. Jizerské hory), nebo pro celé území České republiky byly publikovány (Kovář, 1994).
Druhým komponentem modelu KINFIL je jeho část, simulující postup a transformaci přímého odtoku. Rovnice popisuje neustálený pohyb, aproximovaný kinematickou vlnou (po zanedbání nevýznamných rychlostních členů dynamické St.Venantovy rovnice) po ploše skloněné rovinné desky (CPLANE). Druhý člen pravé strany rovnice (v hran. závorce) popisuje proudění po konvergentním segmentu (CONVER), který bývá často používán při geometrizaci topografických ploch povodí:

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\alpha m h^{m-1}\frac{\partial h}{\partial x}=r_e(t).....+\left[\frac{\alpha h^m}{L-x}\right] \qquad (5)$$

kde:
h, t, x ... souřadnice hloubky, času a polohy (m, s, m)
α , m ... hydraulické parametry
$r_e(t)$ ... intenzita efektivního deště ($m.s^{-1}$)
L ... poloměr konvergentního segmentu (m)

Rov. (5) je převedena do tvaru konečných diferencí a řešena explicitním numerickým schématem Laxe - Wendroffa (L-W). Pro praktické řešení je povodí rozděleno na jednotlivá subpovodí do kaskád desek o přibližně obdobných sklonech, případně konvergentních segmentů tak, aby simulace topografických ploch povodí byla dostatečně věrná. Počáteční podmínky řešení L-W schématu jsou dány, jestliže h (x, 0) = 0 pro všechna x. Horní okrajová podmínka je dána polohou každé rovinné desky v kaskádě, případně horní hranou segmentu. Pro soustředěné neustálené proudění v korytě je možno použít submodelu Muskingum-Cunge, kdy autoři zavedli zjednodušující předpoklady do rovnice kinematické vlny transformované korytem toku.
Model KINFIL v případě simulace odtokových případů na povodí Černičí transformaci průtoků submodelem Muskingum-Cunge neřešil, protože transformační schopnost koryta toku je zanedbatelná.

Charakteristika experimentálního povodí Černičí

Experimentální povodí se nachází u obce Černičí (okres Benešov) v povodí vodárenské nádrže na Želivce a má rozlohu 139,8 ha. Bezejmenný tok je přítokem Čechtického potoka (číslo povodí 1-09-02-107), jenž je přítokem Sedlického potoka (1-09-02-108), který ústí nedaleko od odběrného objektu vodárenské nádrže. Povodí se nachází v III. ochranném pásmu vodárenské nádrže.
Povodí se rozprostírá na Vlašimsko - Humpolecké pahorkatině. Z geologického hlediska tvoří území pararuly s pláštěm zvětralin. Půdy jsou hnědé, illimerizované až oglejené, středně hluboké. Část plochy povodí je odvodněna. Povodí se nachází v klimatické oblasti mírně teplé, s průměrnou roční teplotou 6 - 7^{o}C a průměrným ročním úhrnem srážek 650 - 750 mm.
Další charakteristiky povodí jsou uvedeny v Tab. 1, 2, 3.

Tab. 1 : Charakteristiky povodí
Tab. 1 : Catchment characteristics

Plocha povodí	139,8 ha
Délka toku	2,17 km
Průměrný sklon toku	4,4 %
Minimální nadmořská výška	448 m n. m.

Maximální nadmořská výška	543 m n. m.
Střední nadmořská výška	489 m n. m.
Obvod povodí	5,9 km

Tab. 2 : Plošné zastoupení kultur v povodí
Tab. 2 : Land use

Kultura	Plocha v ha	Plocha v %
Orná půda	88,3	63,2
Louky, trvalé travní porosty	26,3	18,8
Lesy	25,0	17,9
Ostatní	0,2	0,1

Tab. 3 : Hydrologické skupiny půd a zastoupení kultur (ha)
Tab. 4 : Hydrological groups of soils and land use allocation

Skupiny půd	B			C		
Třída kultur	ha	%	CN	ha	%	CN
I. orná půda	74,5	53	78	13,8	10	85
II. trvalé travní porosty	-	-	-	26,3	19	72
III. lesy	25	18	63	-	-	-

Průměrná hodnota čísla odtokových křivek na povodí:
CN_{II} = 0,53 . 78 + 0,18 . 63 + 0,1 . 85 + 0,19 . 72 = **75,0**
CN_{III}= **88,0**

Rekonstrukce povodňové události a kalibrace parametrů modelu

V době vzniku povodňové vlny (před 05/05/2001) bylo povodí značně nasyceno předcházejícími srážkami, kdy za předchozích 30 dnů spadlo 58,8 mm deště, což je stav PVP III (tj. stav předchozích vláhových poměrů PVP-III. stupeň nasycení). Tomuto stavu přispěly i nízké teploty (zanedbatelný výpar) a vytváření nepříznivé povodňové situace podmínila absence vegetačního krytu na ploše větší než 63% pozemku (před setím kukuřice na orné půdě). Náhlý intenzivní noční déšť 5. května 2001, kdy napadlo za 5 hod (od 19,00 do 24,00) 16,2 mm vyvolal povodňový odtok na nechráněném povrchu povodí, který svým kulminačním průtokem 4,2 $m^3 . s^{-1}$ je možno zařadit do kategorie průtoků o době opakování N = 2 až 3 roky. Tabulka 4 uvádí základní charakteristiky této povodňové vlny.

Tab. 4: Charakteristiky povodňové vlny 05/05/2001 na povodí Černičí
Tab. 4: Description of flood wave 05/05/2001 on Cernici catchment

začátek příčinného deště: 05/05/2001, 19^{oo} hod
konec příčinného deště: 05/05/2001, 24^{oo} hod
max.intenzita příčinného deště: 0,3 mm . min^{-1}
celková výška předchozích dešťů za 30 dnů: 58,8 mm
celková výška příčinného deště H_s: 16,2 mm
celková výška efektivního deště H_o: 9,3 mm
kulminační průtok Qmax: 4,2 $m^3 . s^{-1}$ ve 20^{50} hod
trvání zvýšených průtoků: t_o = cca 4 hod
doba koncentrace t_k = cca 40 min

Základní hydrologické charakteristiky potřebné jako vstupní údaje do modelu byly měřeny v uzávěrovém profilu povodí. Ten je vybaven měrným přelivem Thomsonova typu s klasickým limnigrafem zapisující výšku vodní hladiny na pásku s týdenním chodem. Intenzita srážek je měřena elektronickým impulsním člunkovým ombrografem.

Topografické rozdělení povodí bylo provedeno v GIS softwarem ArcInfo. Jako základ byla použita digitální topologicko vektorová data systému ZABAGED (Základní báze geografických dat) v měřítku 1 :10 000 zakoupená od Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního. Digitální data obsahovala polohopis a výškopis. Po převedení do ArcInfo byla vykreslena hlavní rozvodnice, rozvodnice subpovodí a jednotlivé desky. Vypočtené hodnoty, potřebné pro schematizaci povodí (viz Tab. 5) byly provedeny v ArcInfo včetně vykreslení obr. G1. Z tohoto obrázku jsou patrné hranice mezi sousedními kaskádami, tvořené rozvodnicemi. Hranice mezi „deskami" v rámci jedné kaskády jsou odvozeny z „vrstvy svažitosti", případně „vrstvy land use". Všechna subpovodí byla převedena na rovnoploché obdélníkové prvky kaskády. U každé kaskády byla vyjádřena její střední šířka a podle této šířky a skutečné plochy byla vypočtena délka jednotlivých „desek" (tj. dráhy odtoku) viz Tab.5.

Tab. 5 : Schematizace povodí Černičí (pro model KINFIL2)
Tab. 5 : Scheme of Cernici catchment (for KINFIL2 model)

Kaskáda	**Plocha [km^2]**	**Deska**	**Plocha [km^2]**	**Průměrná šířka [km]**	**Délka [km]**	**Svažitost [--]**	**Pole [%]**	**Louka [%]**	**Les [%]**	**Zástavba [%]**
DL 11	0,252	111 112 113	0,183 0,053 0,016	1,093	0,167 0,048 0,015	0,051 0,074 0,111	1 56 0	0 30 100	99 14 0	0 0 0
DL 12	0,396	121 122 123	0,079 0,127 0,190	1,076	0,073 0,118 0,177	0,057 0,097 0,085	59 84 41	1 16 59	40 0 0	0 0 0
DP 21	0,189	211 212 213	0,105 0,071 0,013	0,845	0,124 0,084 0,015	0,032 0,074 0,103	68 81 32	4 18 67	28 0 0	0 1 1
DP 22	0,109	221 222 223	0,049 0,038 0,022	0,436	0,112 0,087 0,050	0,056 0,106 0,138	99 98 32	1 2 68	0 0 0	0 0 0
DP 23	0,190	231 232	0,127 0,063	0,284	0,447 0,222	0,073 0,091	99 56	1 44	0 0	0 0
DP 24	0,263	241 242	0,139 0,124	0,604	0,230 0,205	0,036 0,096	99 78	0 22	0 0	1 0

Princip číslování „desek" je následující (Kovář et. al, 2002)

- 1 xx levá část (DL 1 xx)
- 2 xx pravá část (DP 2 xx)
- x1x – x4x číslo kaskády
- xx1 – xx3 číslo desky v kaskádě (číslování po svahu)

Tato schematizace na jednotlivé útvary je dobře patrná z přílohy G1 a tabulky Tab5, která přehledně uvádí geometrické parametry jednotlivých subpovodí. Pro rekonstrukci povodňové vlny byly použity proměnlivé hydraulické drsnosti, charakterizující výrazně turbulentní svahové proudění, Manningova drsnost n se pohybuje v mezích 0,2 – 0,4 podle „land use". Výsledky rekonstrukce jsou vyhodnoceny v Tab.6:

Tab. 6: Statistické vyhodnocení shody měřených a vypočtených údajů
Tab. 6: Statistical evaluation of correlation of measured and modelled data

Vlna: Černičí	Koef. Determinace RE (-)	chyba v objemu TVOL (%)	chyba v kulminaci PEAK (%)
05/05/2001	0.75	0.20	0.70

Poznámka: Pro nejlepší shodu pořadnic průtoku platí: RE = 1.0

Simulace povodňových odtoků z N-letých přívalových dešťů

Po rekonstrukčních výpočtech povodňové události z 5. května 2001 bylo přistoupeno k simulaci scénáře povodňových odtoků z N-letých návrhových dešťů periodicity výskytu: p=0,1 (N=10 let) a p=0,02(N=50 let). Výpočet těchto dešťů byl proveden z hodnot maximálních denních srážkových úhrnů (Šamaj, Brázdil, Valovič, 1983) pro nejbližší stanici Dolní Kralovice se vztahy odvozenými pro trvání dešťů
t_d= 20,40,60 a 120 min. (Hrádek, Kovář, 1994):

$$H_{t,N} = H_{1d,N} \cdot a \cdot t^{1-c} \quad (8)$$
$$i_{t,N} = H_{1d,N} \cdot a \cdot t^{-c} \quad (9)$$

kde $H_{t,N}$ … srážkový úhrn pro trvání deště t, a opakování N
$H_{1d,N}$ … 1-denní max. srážkový úhrn pro dobu opakování N
a,c ….. parametry (Hrádek, Kovář, 1994)

Tabulka 7 obsahuje výpočet i hodnoty jednotlivých „scénářových" návrhových dešťů, které byly použity modelem KINFIL pro simulaci návrhových průtoků stejné periodicity výskytu N=10 a 50 let a doby trvání 20-120 min (tj. 20, 40, 60, 120´). Tyto scénářové simulace jsou zpracovány do simulovaných scénářových hydrogramů v přílohách G3 (N=10 let) a G4 (N=50 let). Z výsledků vyplývá, že nejnebezpečnější doba trvání dešťů pro obě periodicity výskytu je kolem 40 min, což odpovídá době koncentrace zjištěné dle Metodiky (Janeček a kol., 1992) t_c= 42 min.

Tab. 7: Výpočet návrhových dešťů $H_{t,N}$ pro stanici Dolní Kralovice pro t=20´, 40´, 60´, a 120´, N=10 a 50 let
Tab. 7: Computed design rainfall events $H_{t,N}$ for Dolni Kralovice station for t= 20´, 60´ and 120´, N= 10 and 50 years.

Opakování N *(roky)*	**Trvání t** *(min)*	**Parametry**		**Výška deště $H_{t,N}$** *(mm)*	Intenzita deště *(mm/min)*	Intenzita deště i/Δt (Δt=20´) *(mm/ Δt)*	**Intenzita efekt. deště (CN_{II}=75)** *(mm/ Δt)*
		a *(-)*	c *(-)*				
10	20´	0,163	0,656	29,2	1,460	29,20	25,5
	40´	0,222	0,730	38,5	0,963	19,35	15,8
	60´	0,280	0,803	40,1	0,668	13,37	10,1
	120´	0,330	0,835	46,5	0,388	7,75	4,8
50	20´	0,174	0,638	45,2	2,260	45,20	41,4
	40´	0,249	0,721	61,2	1,530	30,60	26,9
	60´	0,323	0,803	63,5	1,058	21,17	17,6
	120´	0,452	0,864	76,1	0,634	12,68	9,4

Simulace povodňových odtoků při změně užívání území

Dalším krokem implementace modelu KINFIL bylo vytvoření scénáře využití pozemků, kdy 20% orné půdy bylo nahrazeno trvalým travním porostem. Tento scénář způsobil snížení kulminace průtoku o 7,1%. Je pozoruhodné, že i ostatní scénáře využití půdy (i když poměrně drastických: redukce plochy orné půdy o 40%, z nich polovina ve prospěch TTP a polovina ve prospěch lesa) nepřinesly snížení kulminace větší než max. o 12%. I tak jsou ovšem změny pozitivní a nepochybně přispívají ke zmírnění škod při povodních.

Závěry

Model KINFIL, je fyzikálně založeným deterministickým distributivním modelem významných srážko-odtokových procesů, sestaveným speciálně pro účely rekonstrukční, simulační (scénářové simulace) i návrhové. Ve spojení s technologiemi GIS (ArcInfo), které stejně jako model KINFIL

respektují plošnou heterogenitu povodí, vytváří výkonný a sofistikovaný aparát pro povodňové analýzy. Scénářové simulace N-letých průtoků poskytují poměrně spolehlivé prognostické představy o těchto povodňových vlnách – jejich tvaru, kulminaci a době trvání. Implementace tohoto modelu nabízí také solidní, fyzikálně podložený nástroj k určení doby koncentrace a doby doběhu na malých, i středně velkých povodích. V další etapě výzkumu chceme rozšířit scénářové simulace do oblasti zjišťování stupně ovlivnění odtokových procesů změnami „land use".

Literatura

Hrádek, F., Kovář, P., 1994: *Výpočet náhradních intenzit přívalových dešťů* . Vodní hospodářství 44, č. 11, 2.

Janeček, M., a kol., 1992: *Metodiky: Ochrana zemědělské půdy před erozí,* 5, 1992, ÚVTIZ, ISSN 0231-9470

Kovář, P., 1992: *Možnosti určování návrhových průtoků na malých povodích modelem KINFIL.* Vodohospodářský časopis 40, č.2, s.197-220.

Kovář, P., 1994: *Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích.* Doktorská disertační práce, SIC ČZU Praha.

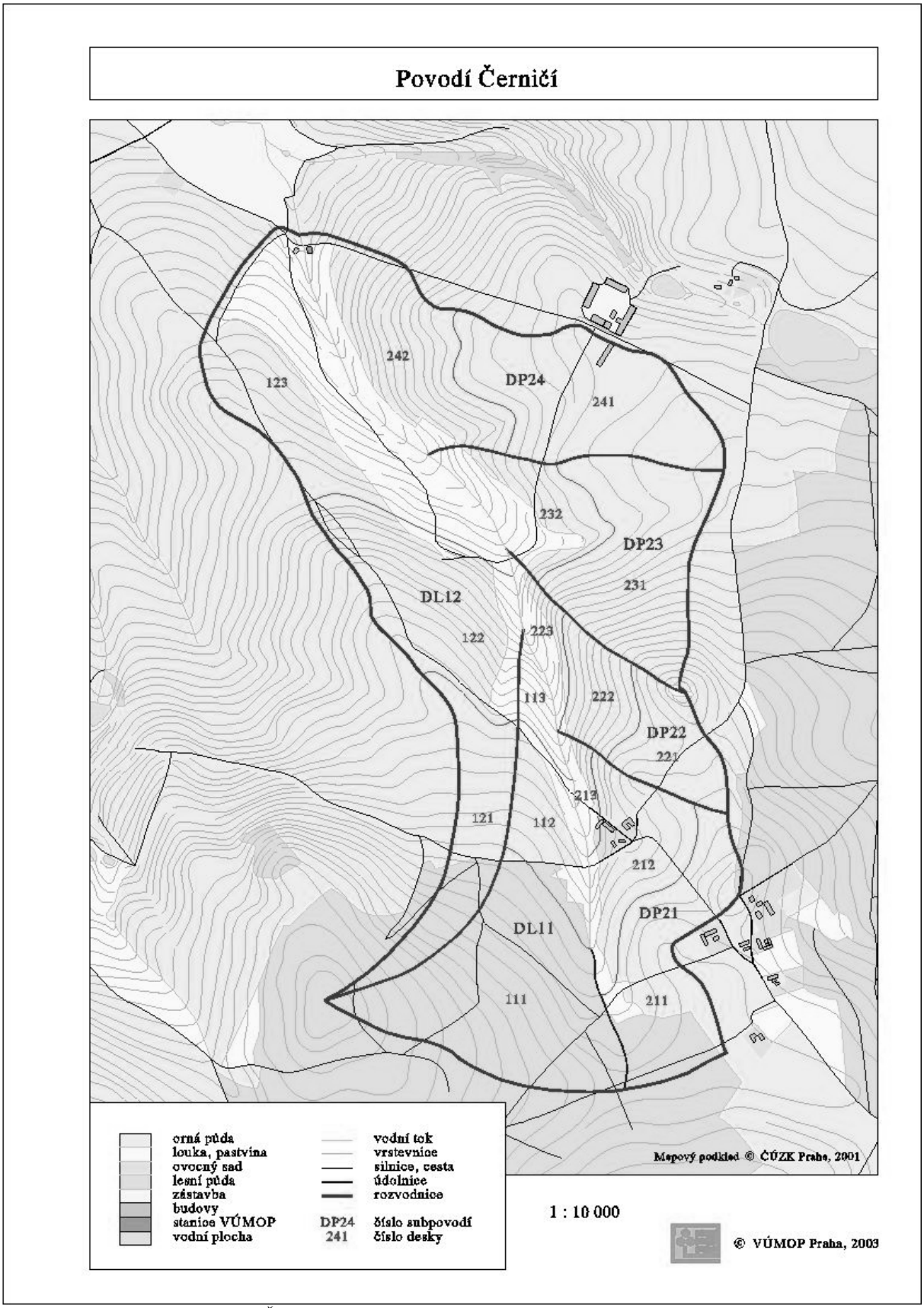
Kovář, P., Cudlín, P., Heřman, M., Zemek, F., Koryrář, M., 2002: *Analysis of Flood Events on Small River Catchments using the KINFIL Model.* Journal of Hydrology and Hydromechanics, 50, 2002, 2, s. 157-171.

Morel-Seytoux, H. J., Verdin, J. P., 1981: *Extension of the SCS Rainfall Runoff Methodology for ungaged Watersheds.* Report FHWA/RD-81/ 060, 79s. U.S. National Technical Information Service, Springfield, Virginia 22161.

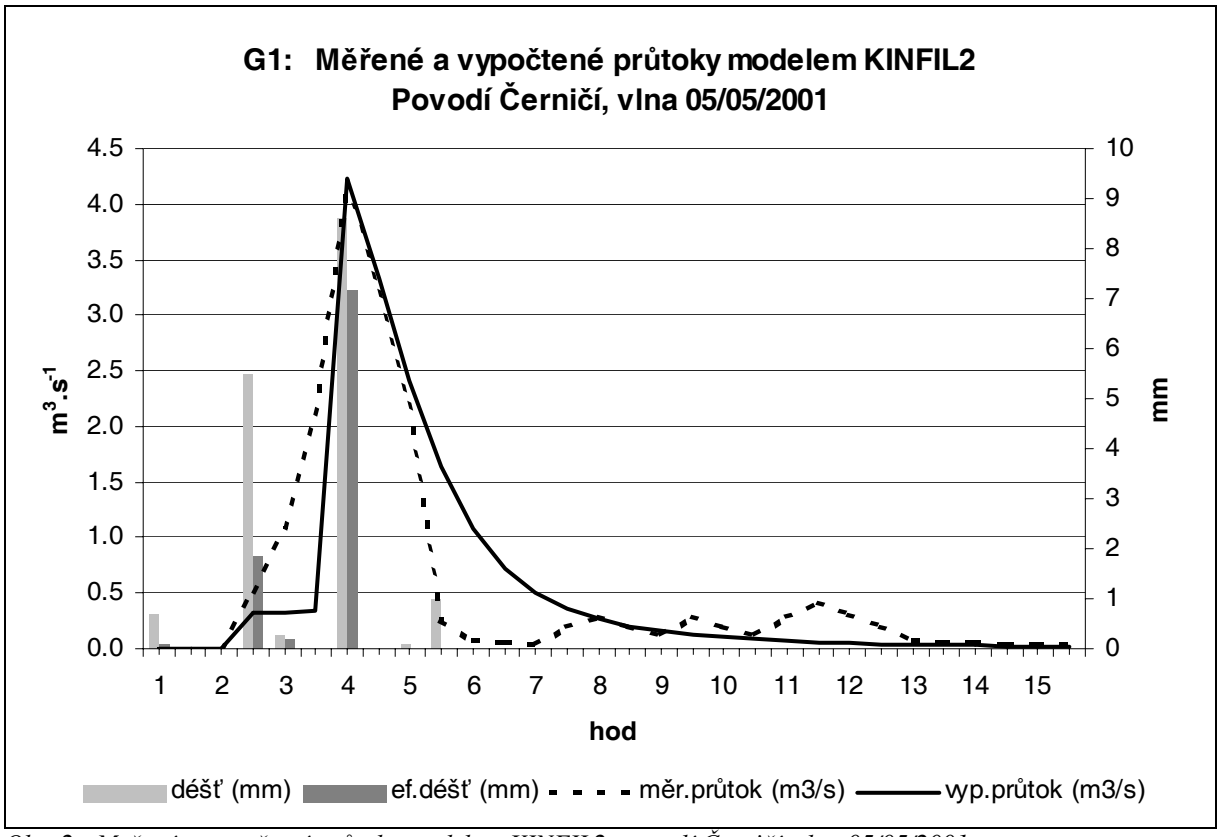
Morel-Seytoux, H. J., 1982: *Analytical results for prediction of variable rainfall infiltration.* Journal of Hydrology, No.59., s. 209-230.

Šamaj, F., Brázdil, R., Valovič. J., 1983: *Denné úhrny zrážok s mimoriadnou vydatnosťou v ČSSR v období 1901-80.* Sborník prác SHMÚ, nakl.Alfa, Bratislava.

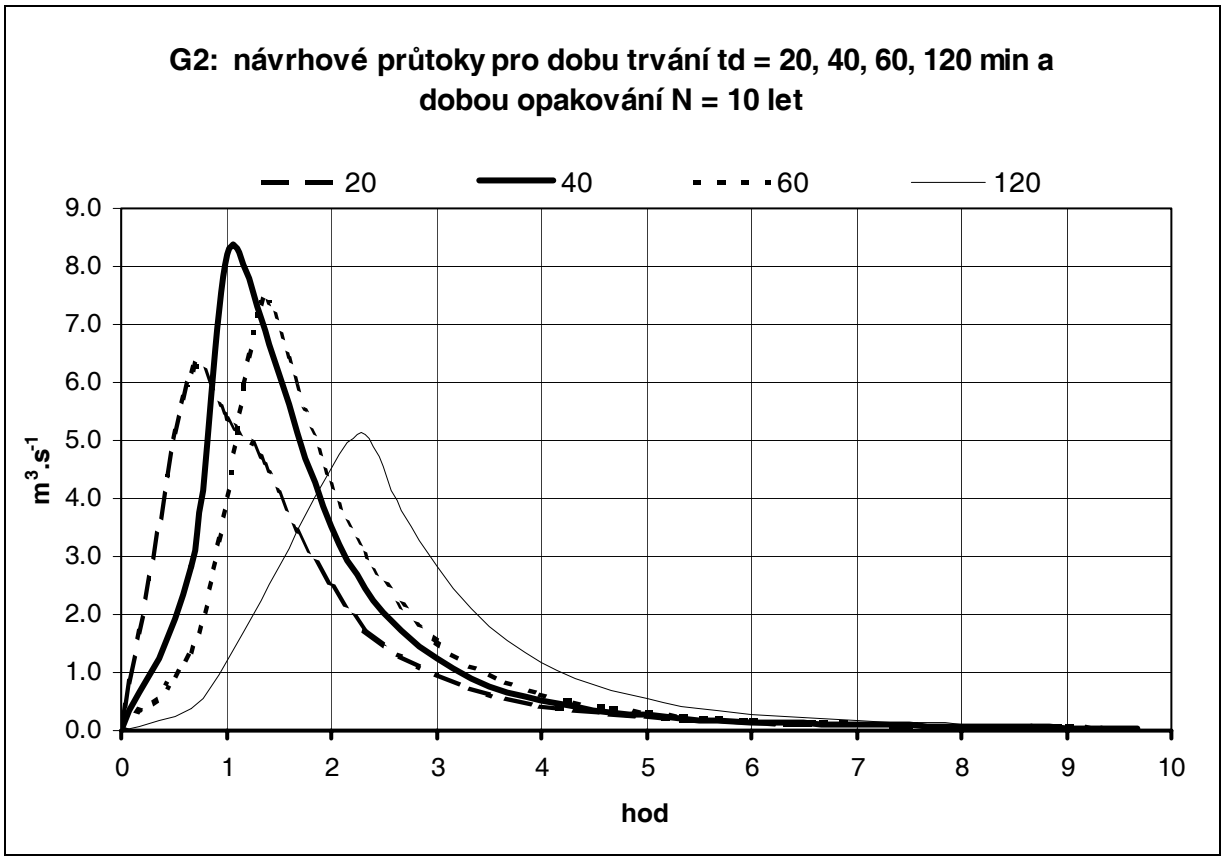
U.S. SCS, 1986: *Urban hydrology for small watersheds.* U.S. Soil Conservation. Technical Release 55(13), SCS, Washington.



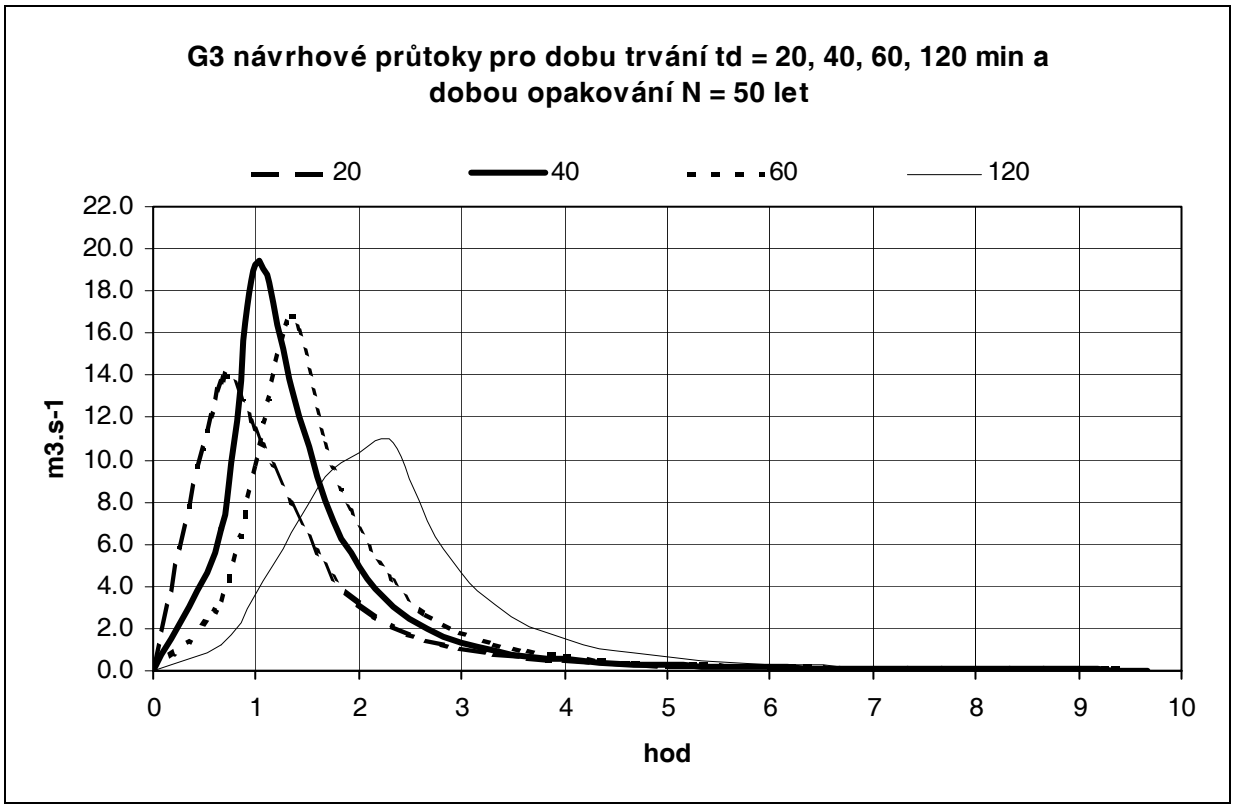
Obr1. Tografická mapa povodí Černičí s využitím pozemků a rozdělením na subpovodí
Figř1.Topografic map of Cernici catchment with land use pattern and division into sub-catchments.



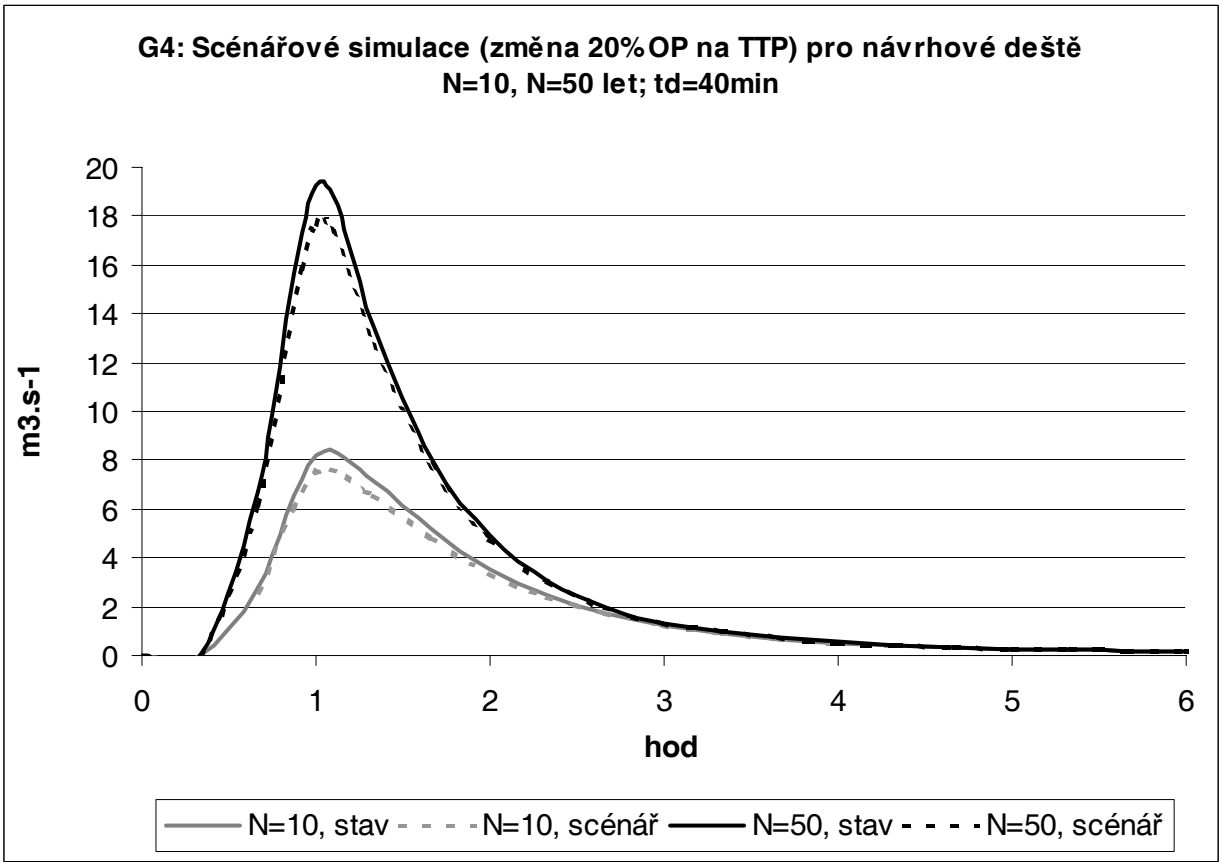
Obr. 2 : Meřené a vypočtené průtoky modelem KINFIL2; povodí Černičí, vlna 05/05/2001
Fig. 2 : Discharges measured(měř) and computed(vyp.) by KINFIL2 model; Cernici catchment, wave 05/05/2001



Obr. 3 : návrhové průtoky s dobou opakování 10 let a dobu trvání td = 20´, 40´, 60´, 120´
Fig 3: design discharges with time period of 10 years and event duration 20´, 40´, 60´, 120´



Obr. 4 : návrhové průtoky s dobou opakování 50 let a dobu trvání td = 20´, 40´, 60´, 120´
Fig. 4 : design discharges with time period of 50 years and event duration 20´, 40´, 60´, 120´



Obr. 5: Scénářové simulace (změna 10% OP na TTP) pro návrhové deště N= 10, N= 50 let, td=40 min
Fig. 6: Scenario simulations (change of 10% fields to meadows) for design rainfalls of N= 10, N= 50 years and td=40 min.

VERIFIKACE METOD ODVOZENÍ HYDROLOGICKÝCH PODKLADŮ PRO POSUZOVÁNÍ BEZPEČNOSTI VODNÍCH DĚL ZA POVODNÍ STATISTICKÝMI PŘÍSTUPY

Bohuslava Kulasová, Miloň Boháč

V roce 2004 byl ukončen tříletý grantový projekt výzkumu a vývoje v programu Ministerstva zemědělství „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní“, který tematicky navazoval na projekt VaV „Vývoj metod pro stanovení extrémních povodní“, řešený v letech 1997 až 2000 pod garancí Ministerstva životního prostředí. Nositelem a koordinátorem obou projektů byl Český hydrometeorologický ústav. Cílem řešení bylo vyvinout a ověřit nové metodiky pro odvozování extrémních teoretických povodňových vln statistickými a deterministickými přístupy sloužících k posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních.

*Výzkum **statistických přístupů** byl zaměřen na vícerozměrnou analýzu charakteristik povodňových vln. Výsledkem řešení je nový metodický postup založený na aplikaci vícenásobné nelineární regrese. Byly vyvinuty a ověřeny nové metodiky pro odvozování parametrů teoretických povodňových vln s využitím podmíněných pravděpodobností překročení objemu v závislosti na velikosti kulminačního průtoku a trvání povodňové vlny.*

Tato metoda s využitím podmíněné pravděpodobnosti překročení objemu umožňuje v porovnání s přiřazením „příslušného objemu“ ve smyslu normy ČSN 75 1400 „Hydrologické údaje povrchových vod“ exaktněji definovat vlastnosti teoretické povodňové vlny.

Metodika je adaptovaná na zpracování pozorovaných povodňových hydrogramů v denním kroku nebo v hodinovém kroku. Pro zavedení metodiky do praxe bylo nutné zpracovat odpovídající uživatelské programy a metodickou příručku.

Touto novou metodikou jsou odvozovány teoretické povodňové vlny pro vybraná vodní díla, u nichž je podle normy TNV 75 2935 posuzována bezpečnost při povodních.

Klíčová slova: extrémní povodeň, teoretická povodňová vlna, statistický přístup, podmíněná pravděpodobnost, bezpečnost přehrad

***Verification of methods of derivation of hydrological data for the assessment of dam safety during floods by statistical approaches.** In 2004, a three year grant development project in the program of the Ministry of Agriculture “Verification of methods of derivation of hydrological data for the assessment of dam safety during floods” was finished, which was connected theme-wise to the project VaV “Development of methods for the derivation of extreme floods”, which was being solved during 1997 to 2000 under the guarantee of the Ministry of Environment. The bearer and co-ordinator of both projects was the Czech Hydrometeorological Institute. The aim of the solution was to develop and verify new methods for the derivation of extreme design flood hydrographs by statistical and deterministic approaches, which would serve for the assessment of dam safety during floods.*

*The research of **statistical approaches** was aimed at multi-dimensional analysis of the parameters of flood hydrographs. The result of the solution is a new methodical procedure based on the application of a multiple non-linear regression. New methods were developed and verified for the derivation of parameters of design flood hydrographs, utilising conditional probabilities of volume exceedance in dependence on the size of peak discharge and flood hydrograph duration.*

This method with the utilisation of conditional probability of volume exceedance enables, in comparison with the annexing of “applicable volume” in the sense of standard ČSN 75 1400 “Hydrological data of surface waters”, to define more exactly the properties of the design flood hydrograph.

The method is adapted to the processing of observed flood hydrographs in a daily or hourly time step. For the introduction of the method into practice, it was necessary to adjust the corresponding user programs and the methodical handbook.

By this new method, design flood hydrographs are derived for selected dams, for which safety is assessed during floods according to standard TNV 75 2935.

Key words: extreme flood, design flood hydrograph, statistical approach, conditional probability, dam safety.

ÚVOD

V roce 2004 byl ukončen tříletý grantový projekt výzkumu a vývoje v programu Ministerstva zemědělství „**Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní**“ [1], který tematicky navazoval na projekt VaV „**Vývoj metod pro stanovení extrémních povodní**“ [2], řešený v letech 1997 až 2000 pod garancí Ministerstva životního prostředí. Nositelem a koordinátorem obou projektů byl Český hydrometeorologický ústav. Cílem řešení bylo vytvořit nové metodiky pro odvozování parametrů extrémních teoretických povodňových vln statistickými a deterministickými přístupy, které slouží k posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních.

Na základě výsledků rešerše bylo rozhodnuto vyvíjet **statistické metody** odhadu charakteristik extrémních povodňových vln novými přístupy s využitím **podmíněných pravděpodobností překročení objemu** v závislosti na velikosti kulminačního průtoku a trvání povodňové vlny.

Nové statistické přístupy využívají oproti stávajícím přístupům, u kterých je uvažována pouze pravděpodobnost kulminačního průtoku, navíc i pravděpodobnost objemu povodně zvoleného trvání. Řešení je založeno na **aplikaci vícenásobné nelineární regrese** pro vyjádření vztahu mezi kulminačním průtokem a trváním odtoku jako nezávislými proměnnými a objemem odtoku jako závislou proměnnou.

Metodika, která je založená na využití řad průměrných denních průtoků, je vhodná pro střední povodí (plocha A > cca 150 km^2) a velká povodí. Metodika vycházející z řad hodinových průtoků je vhodná i pro malá povodí. V tomto případě zpracování vyžaduje časově náročnou přípravu pozorovaných povodňových vln v hodinovém kroku. Odvozování se většinou provádí pro sezónní (letní, zimní) povodně. V rámci projektu byly vytvořeny dva programy (jeden pro vstupní údaje v denním kroku, druhý pro údaje v hodinovém kroku) sloužící k analýze pozorovaných hydrogramů a k odvození výsledných teoretických povodňových vln.

Extrémní povodňové vlny založené na statistickém zpracování je třeba, zvláště na malých a středních povodích, ověřovat z fyzikálního hlediska jednoduchými deterministickými přístupy.

Tato metoda s využitím podmíněné pravděpodobnosti překročení objemu umožňuje v porovnání s přiřazením „příslušného objemu“ ve smyslu normy ČSN 75 1400 „Hydrologické údaje povrchových vod“ exaktněji definovat vlastnosti teoretické povodňové vlny.

Hydrologické podklady odvozované novými metodickými postupy jsou již uplatněny v nové normě TNV 75 2935 „Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních“ [3] z roku 2003. Tato norma doporučuje odvozovat teoretické povodňové vlny variantním způsobem. Dle skupiny a kategorie vodního díla se odvíjí míra jeho bezpečnosti vyjádřená pravděpodobností překročení kulminačního průtoku až do hodnoty p = 0.0001.

Nově vyvinuté metodiky pro odvozování parametrů teoretických povodňových vln těmito statistickými přístupy včetně nově zpracovaných příslušných programů byly ověřeny na povodích vybraných vodních děl. V rámci projektu byly odvozeny teoretické povodňové vlny pro VD Vranov na Dyji a VD Husinec na Blanici. Po skončení projektu jsou na objednávku Povodí, s.p. postupně odvozovány teoretické povodňové vlny pro další vodní díla.

Text v následujících kapitolách bude členěn do tématických okruhů:

- Příprava datových souborů
- Zpracování metodiky včetně aplikace pro odvození teoretických povodňových vln
- Závěry.

PŘÍPRAVA DATOVÝCH PODKLADŮ

Objemy teoretických povodňových vln mohou být odvozovány buď z řad průměrných denních průtoků nebo z hodinových průtoků. Vzhledem k tomu, že ČHMÚ má k dispozici především řady průměrných denních průtoků ve vodoměrných stanicích, které jsou uloženy v centrální databázi, byly první zkušební a ověřovací výpočty založeny zejména na těchto řadách.

Při analýze vztahů mezi velikostí průtoku a objemem povodně by bylo výhodnější zkoumat vztahy mezi kulminačním průtokem na straně jedné a objemy zvoleného trvání na straně druhé. V rámci vytváření a ověřování metodiky na připravených datech tak nemohlo být postupováno, neboť kulminační průtoky nebyly běžně vyčísleny odděleně pro letní a zimní povodně (většinou byla vyhodnocena jen roční maxima). Jejich dodatečné vyhodnocení vyžaduje značné úsilí (vyhledání limnigramů v archivu, rekonstrukce měrných křivek průtoku, u zimních povodní přezkoumání, zda nebyla hladina vody vzduta ledem, atd.). Zpracování bylo nejprve založeno na rozboru vztahů mezi maximálním průměrným denním průtokem v příslušném pololetí a objemem odtoku za zvolené několikadenní trvání, následně i mezi maximálním hodinovým průtokem a objemem. Při odvozování teoretické povodňové vlny je nutné zabývat se vztahem mezi maximálními průměrnými denními (resp. hodinovými) průtoky ve dni kulminace a kulminačními průtoky (viz následující text).

Příprava datových souborů pro odvozování teoretické vlny formou hydrologické studie spočívá zejména v těchto činnostech:

- Vytvoření řady průměrných denních průtoků (z databanky hydrofondu, popř. prodloužení stávající řady na základě archivních materiálů)
- Vyhodnocení sezónních kulminačních průtoků za letní a zimní pololetí (doplnění stávajících řad ročních maxim)
- Příprava pozorovaných hydrogramů ve vodních stavech v hodinovém kroku za letní a zimní pololetí
- Kontrola vodních stavů uložených v registru extrémních fází odtoku (REFO) s limnigramy
- Kompletace měrných křivek průtoku, jejich ověření a případná extrapolace, rekonstrukce měrných křivek průtoku na základě starých hydrometrických měření, příp. vyhodnocení historických povodní (pro období, pro která nejsou k dispozici)
- Vyhodnocení hydrogramů v průtocích v hodinovém kroku za letní a zimní sezónu
- Výpočet průměrných denních průtoků z vyhodnocených hodinových průtoků; jejich porovnání s průměrnými denními průtoky uloženými v databázi ČHMÚ (pokud vyplynou větší rozdíly, dochází k přehodnocení hodinových průtoků včetně kulminace, příp. přehodnocení průměrných denních průtoků)

POPIS METODIKY

Metodický přístup je založen na aplikaci vícenásobné nelineární regrese pro vyjádření vztahu mezi kulminačním průtokem a trváním odtoku (nezávislé proměnné) a objemem odtoku (závislá proměnná). Jako prostředek pro vyjádření podmíněné pravděpodobnosti překročení určitého objemu (při daném trvání odtoku a kulminačním průtoku) slouží statistická analýza reziduálních odchylek pozorovaných objemů od regresních odhadů.

V rámci řešení výše uvedených projektů bylo třeba:

- Nalézt **vhodný tvar nelineárního regresního vztahu** mezi objemy odtoku daného trvání a výškou odtoku ve dni kulminace.
- Navrhnout a ověřit **vhodnou metodu transformace odchylek** pozorovaných objemů od regresních odhadů.
- Vybrat **vhodné teoretické rozdělení pravděpodobnosti** k vyrovnání a extrapolaci transformovaných odchylek.

- Odhadnout **průběh povodňové vlny** v hodinovém intervalu na základě odvozených průměrných denních průtoků.
- Sestavit systém **zkušebních programů**, výstupních souborů a grafických výstupů pro ověření metodiky.
- Vytvořit a odladit **profesionální programové vybavení** pro analýzu pozorovaných povodňových vln a odvozování teoretických povodňových vln s využitím podmíněných pravděpodobností překročení objemu v denním a v hodinovém kroku.

Vzhledem k tomu, že ČHMÚ má k dispozici dlouhé řady průměrných denních průtoků a průtoky v hodinovém kroku pouze v omezené míře, byla prvotní metodika založena na vstupních řadách průměrných denních průtoků. V dalším řešení byla metodika aplikována i na řady pozorovaných (příp. rekonstruovaných) povodňových vln v hodinovém kroku. Použitý algoritmus vychází z odděleného zpracování odtokových výšek na vzestupné větvi a na poklesové větvi hydrogramu. Zpracování se provádí samostatně ze souborů povodní za letní (květen až říjen) a zimní sezónu (listopad až duben), případně z maximálních ročních povodní.

Postup zpracování teoretických povodňových vln lze rozdělit do šesti částí:

1. Analýza **sezonality** průtokového režimu.
2. Odvození **kulminačních průtoků** pro zvolené pravděpodobnosti překročení.
3. Určení **vztahu mezi kulminačním průtokem a maximálním** (denním, hodinovým) **průtokem.**
4. Výpočet **parametrů regresního vztahu** mezi objemy odtoku daného trvání RT a výškou odtoku R1 ve dni, v hodině kulminace. Odvození teoretických povodňových vln s objemem dle regresního vztahu (denní průtoky, hodinové průtoky).
5. Analýza **reziduálních odchylek** pozorovaných odtokových výšek od regresních odhadů, jejich transformace, vyrovnání teoretickým rozdělením. Odvození teoretických povodňových vln s objemem zvolené **podmíněné pravděpodobnosti překročení** (denní, hodinové průtoky).
6. Odhad **průběhu teoretické povodňové vlny** v hodinovém intervalu.

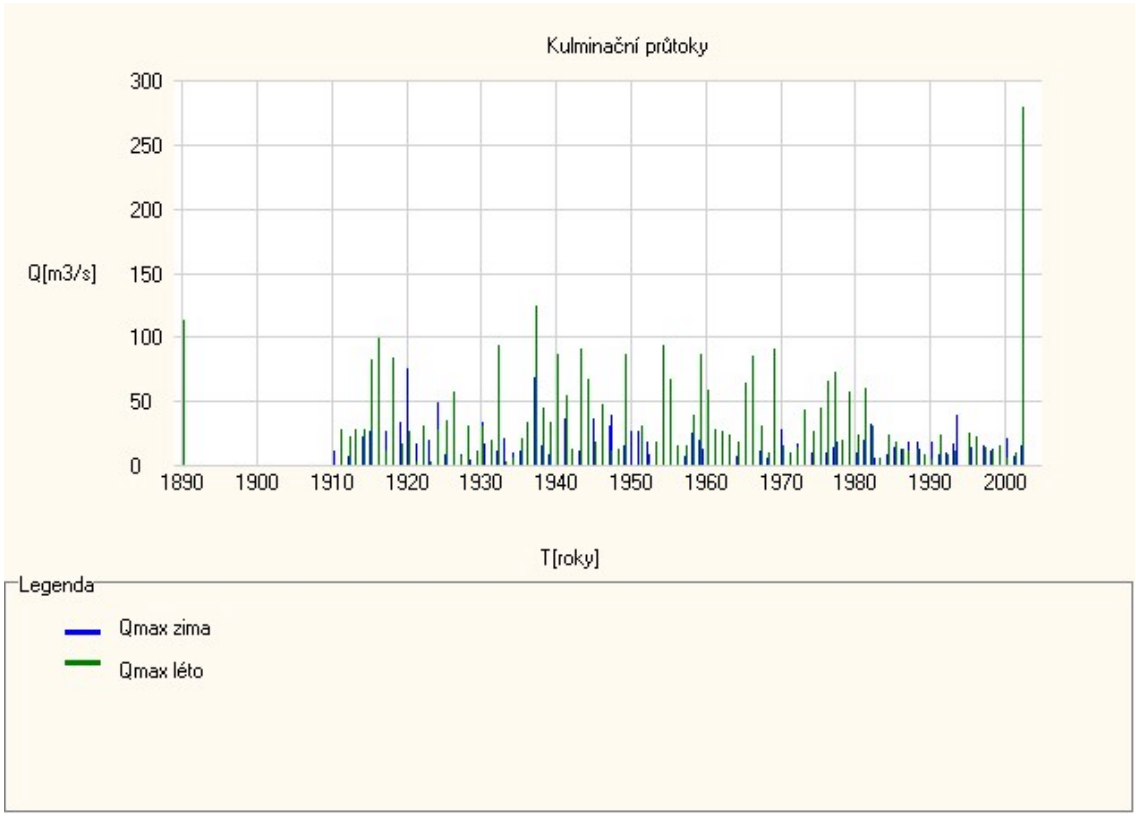
ad 1. Analýza sezonality průtokového režimu

Nejprve se provede za zimní a letní pololetí grafické porovnání časových řad kulminačních průtoků, maximálních jednodenních odtokových výšek a maximálních odtokových výšek (objemů) za zvolená trvání. Následně se posoudí sezonalita průtokového režimu. Porovnání velikosti letních a zimních povodní může vést k následujícím variantám hodnocení:

- Letní povodně jsou, co do velikosti kulminačních průtoků, maximálních jednodenních i několikadenních odtoků, podstatně větší než zimní, nejen v průměru, ale i v maximálních případech.
- Letní a zimní povodně jsou přibližně rovnocenné z hlediska průtoků i objemů.
- Letní povodně mají větší kulminační průtoky a maximální jednodenní průtoky, ale menší několikadenní objemy odtoku.
- Zimní povodně jsou výrazně větší než letní povodně.

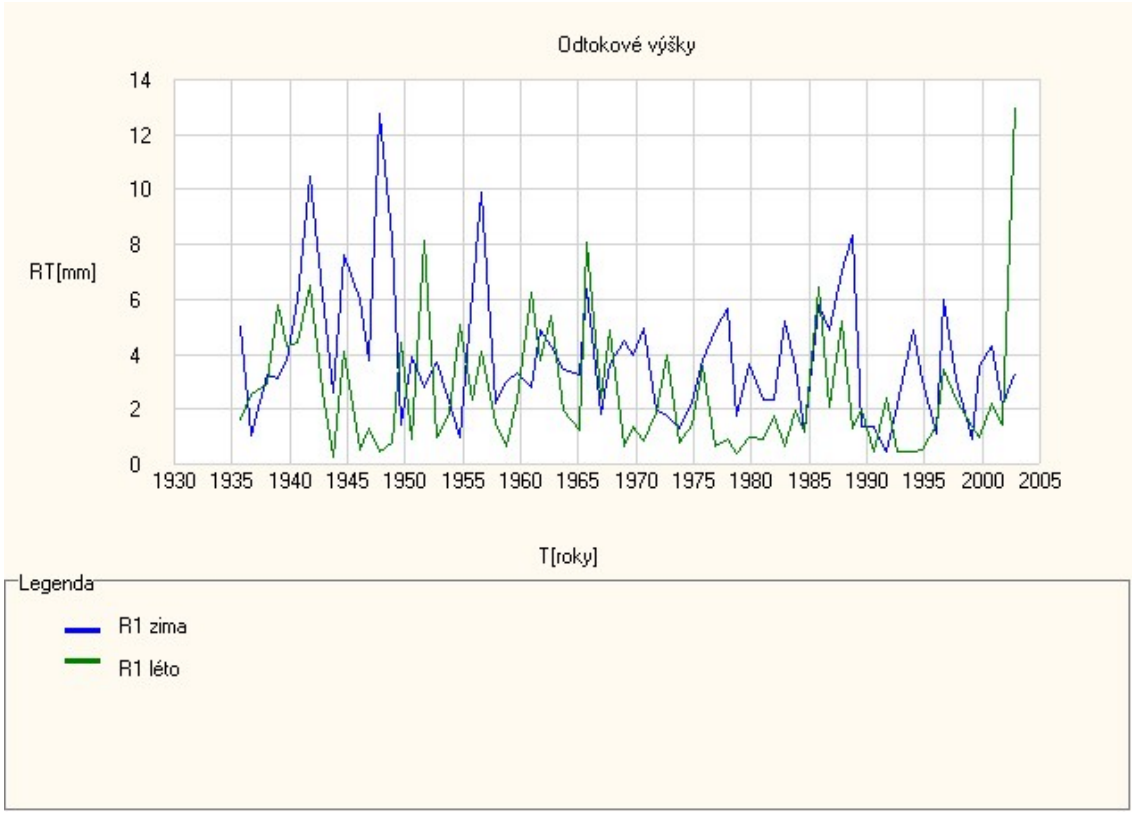
V prvém případě se další zpracování bude provádět jen pro povodně v letním období, ve druhém, třetím a čtvrtém případě se doporučuje samostatně zpracovat letní i zimní teoretické povodňové vlny.

Příklady porovnání kulminačních průtoků a jednodenních odtokových výšek za zimní a letní sezónu jsou uvedeny na obr. 1 a obr. 2.



Obr. 1 Porovnání sezónních kulminačních průtoků ve stanici Podedvorský Mlýn – Blanice

Fig. 1 Comparison of seasonal peak discharges in station Podedvorský Mlýn – Blanice



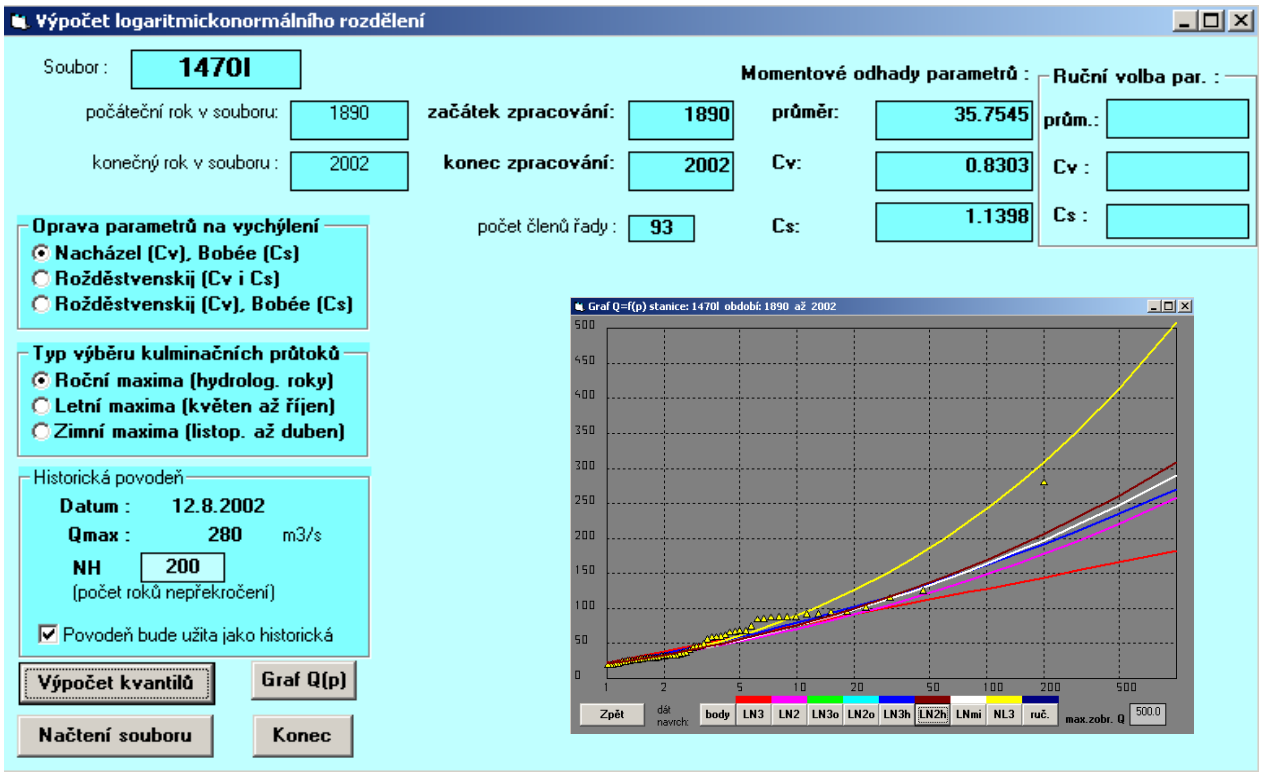
Obr. 2 Porovnání sezónních jednodenních odtokových výšek ve stanici Podhradí – Dyje.

Fig. 2 Comparison of seasonal oneday runoff depths in station Podhradí – Dyje

ad 2. Odvození kulminačních průtoků pro zvolené pravděpodobnosti překročení

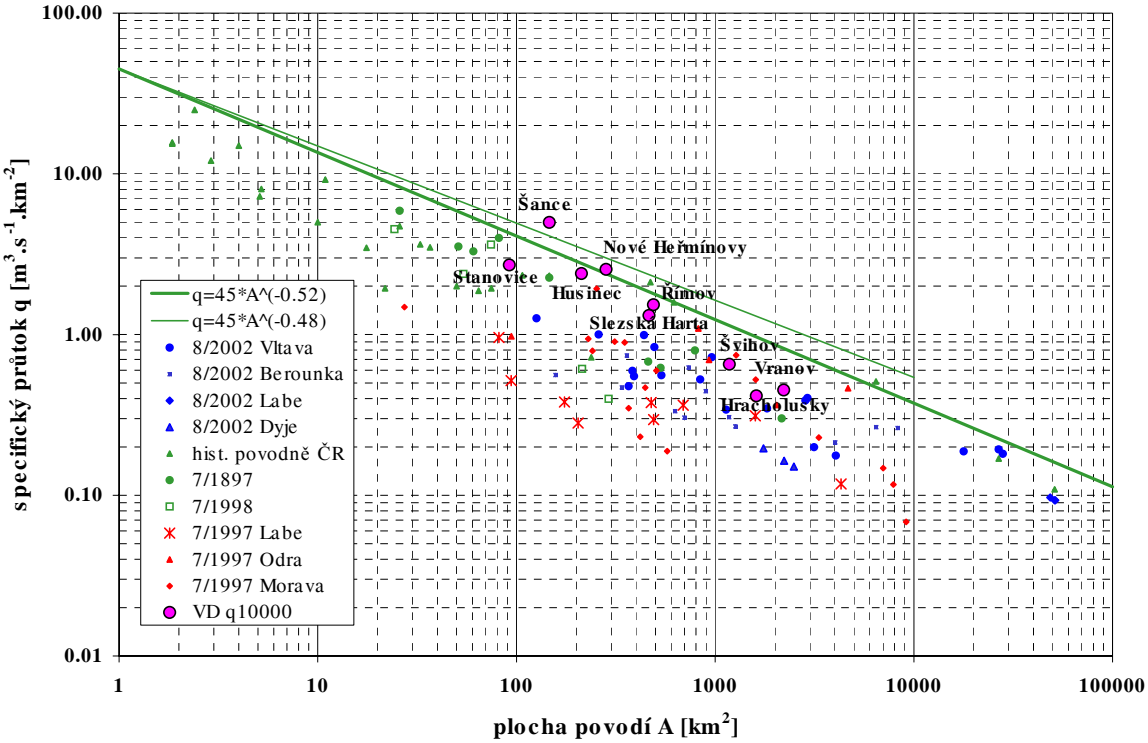
Ve vhodném analogonu (vodoměrná stanice s dostatečně dlouhou dobou pozorování) se vytvoří řada sezónních (letních a zimních) kulminačních průtoků za co možná nejdelší období pozorování, včetně historických povodní. Ve vodoměrných stanicích ovlivněných vodními díly se pro zachování homogenity průtoků uvažuje řada končící rokem uvedení nádrže do provozu, případně lze pozorované průtoky opravit o vliv transformace a manipulace a stanovit „přirozené“ kulminační průtoky.

Z takto vytvořených souborů kulminačních průtoků jsou vypočítány pomocí samostatného programu průměry Q_{max}, koeficienty variace Cv_{max} a koeficienty asymetrie Cs_{max} a odvozeny kulminační průtoky až do požadované hodnoty pravděpodobnosti překročení $pQ = 0.0001$ (tedy s dobou opakování N=10 000 let), zvlášť za zimní a letní pololetí, nebo jen z ročních řad. V ČHMÚ používaný program LNWin (viz obr. 3) umožňuje využívat momentové odhady parametrů s možností oprav systematických vychýlení koeficientů *Cv* a *Cs* u kratších pozorovaných řad a dále umožňuje volit ve variantách různou pravděpodobnost překročení historické povodně. Pro extrapolaci se používá teoretické logaritmicko-normální rozdělení dvouparametrické (LN2) i tříparametrické (LN3). Jako variantní metoda odhadu parametrů je pro oba typy rozdělení používána i metoda momentů logaritmicky transformovaných veličin popsaná v článku [4], příp. Johnsonovo rozdělení uvedené v příručce [5].



Obr. 3 Příklad odvození N-letých průtoků pomocí programu LNWin
Fig. 3 Example of derivation N-year flood peak discharges by LNWin program

Takto odvozené extrémní kulminační průtoky jsou porovnávány s obalovou křivkou znázorňující vztah specifických kulminačních průtoků velkých povodní (vyskytnuvších se na různých místech a různém čase) na ploše povodí (viz obr. 4). Obalová křivka byla původně odvozena v rámci úkolu [6] v roce 1996, postupně je doplňována o nové extrémní povodně v ČR (např. z roku 1997, 1998, 2002).



Obr. 4 Porovnání $q_{10\,000}$ odvozených pro vybraná vodní díla s obalovou křivkou

Fig. 4 Comparison $q_{10\,000}$ derivated for selected dams with envelope curve

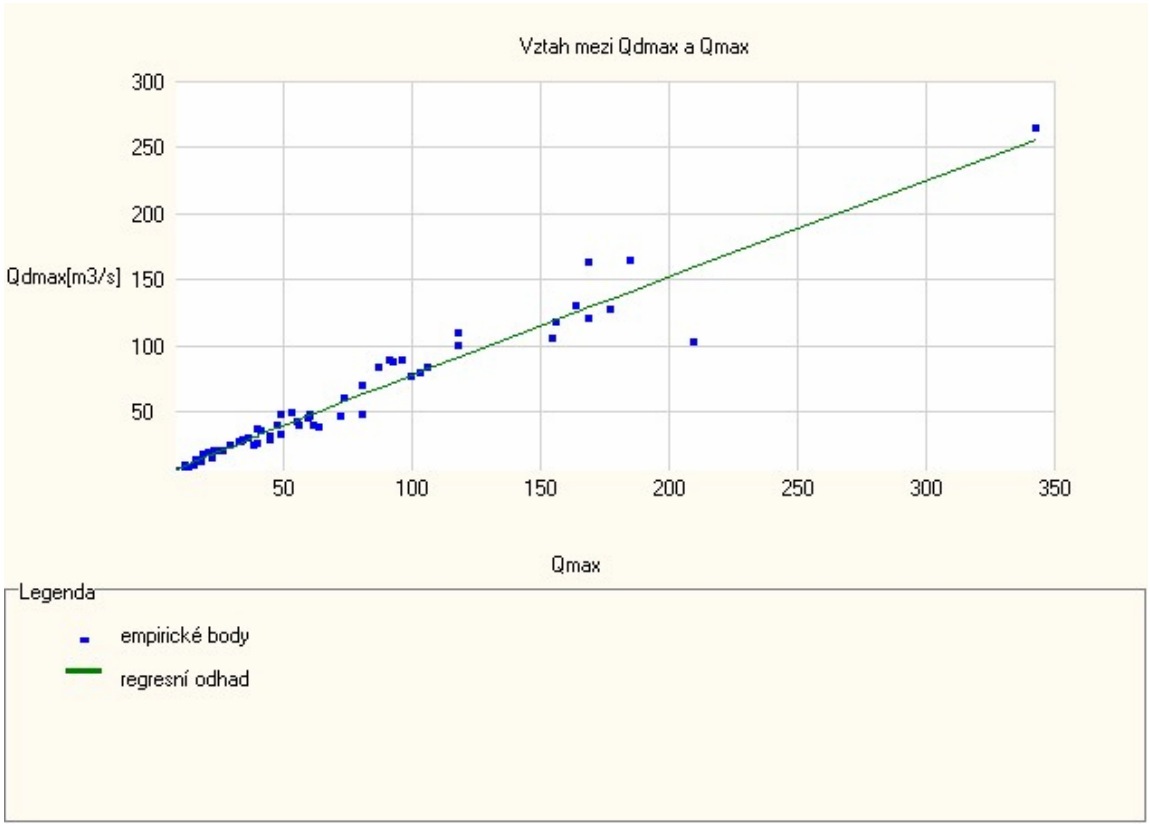
ad 3. Určení vztahu mezi kulminačním průtokem a maximálním (denním, hodinovým) průtokem

V případě využívání řad průměrných denních průtoků je nutné odvodit korelační vztah mezi maximálními jednodenními průměrnými průtoky ve dni kulminace a kulminačními průtoky. Pokud pozorované maximální průtoky neumožňují dostatečně spolehlivě extrapolovat korelační vztah do oblasti požadovaných extrémně malých pravděpodobností překročení průtoků, mohou být pro stanovení vztahu použity i odvozené N-leté kulminační průtoky a N-leté maximální jednodenní průměrné průtoky. Je žádoucí odvodit oboje N-leté průtoky ze stejného období a pro extrapolaci použít stejné teoretické rozdělení.

Příklad korelačního vztahu mezi kulminačním a maximálním denním průtokem odvozeného na základě pozorovaných průtoků je pro stanici Podhradí na Dyji vynesen na obr. 5.

V případě využití pozorovaných povodňových vln v hodinových průtocích není pro střední a větší povodí nutné odvozovat korelační vztah mezi maximálními hodinovými průtoky v hodině kulminace a kulminačními průtoky. Pro malá povodí se doporučuje tento vztah odvodit vždy.

Odvozený korelační vztah slouží k odvození odtokové výšky R1 [mm] ve dni nebo v hodině výskytu kulminace, která vstupuje do dalšího zpracování.



Obr. 5 Vztah mezi kulminačním a maximálním denním průtokem (stanice Podhradí – Dyje)

Fig. 5 Relation between peak discharge and max. daily discharge (station Podhradí – Dyje)

ad 4. Výpočet parametrů regresního vztahu mezi objemy odtoku daného trvání RT a výškou odtoku R1 ve dni, v hodině kulminace. Odvození teoretických povodňových vln s objemem dle regresního vztahu (denní průtoky, hodinové průtoky).

Závislost odtokové výšky *RT* na trvání odtoku *T* a na velikosti odtokové výšky ve dni (resp. hodině) kulminace *R1* je vhodné vyjádřit nelineárním regresním vztahem $RT = f(R1,T)$. V první fázi řešení byla používána rovnice **mocninného typu**

$$RT = b_1 \,.\, R1^{b2} \,.\, T^{b3} \qquad (1)$$

kde, *R1* [mm] je odtoková výška ve dni kulminace (z řad průměrných denních průtoků) nebo v hodině kulminace (z řad hodinových průtoků)
RT [mm] je odtoková výška za trvání *T* ve dnech nebo v hodinách
b_1, b_2, b_3 jsou regresní parametry.

Mnohonásobná regresní funkce popisuje nárůst objemu odtoku s časem a v závislosti na velikosti kulminačního průtoku. Nárůst je vyjadřován odděleně pro vzestupnou větev a pro poklesovou větev povodňové vlny, směr nárůstu se uvažuje vždy směrem od kulminace.

Na základě analýz a zkušebních výpočtů provedených během řešení byly vyzkoušeny další regresní rovnice mocninného a exponenciálního typu. Podstatou rozdílu mezi nimi je, zda tvar nárůstu odtoku s trváním *T* je dán výrazem T^b (mocninná funkce), nebo b^T (exponenciální typ), kde *b* je regresní parametr.

Osvědčil se upravený mocninný typ, a to pro případ vstupních denních průtoků, a to na poklesové i vzestupné větvi hydrogramu, který obsahuje hodnotu průměrného denního průtoku ve dni kulminace (*R1*) nejen v mocninném tvaru, ale i jako aditivní člen.

$$RT = b_1 \,.\, R1^{b2} \,.\, T^{b3} + R1 \qquad (2)$$

Během následného řešení byly vyzkoušeny i dva tvary **exponenciální** regresní rovnice:

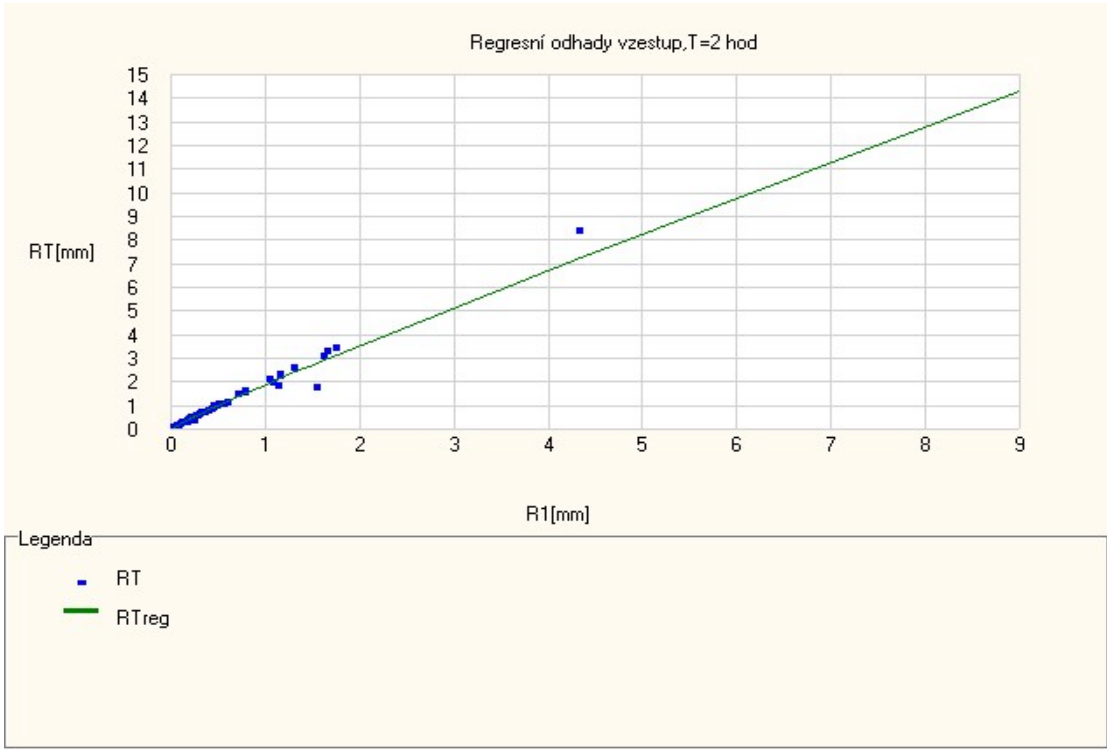
$$RT = b_1 \,.\, R1^{b3} \,.\, (-1 / \ln b_2) \,.\, (b_2 - b_2^T) \qquad (3)$$

$$RT = R1 + R1^{b3} \,.\, (T\text{-}1) \,.\, b_2^T \qquad (4)$$

V rámci řešení projektu se prokázalo, že:

- při výpočtu z průměrných denních průtoků lze použitelné výsledky získat jak z rovnice mocninného tvaru, tak z rovnic exponenciálního tvaru, pro vzestupnou větev se dobře uplatňuje mocninný typ (rovnice 2), pro poklesovou větev je většinou vhodnější exponenciální typ (rovnice 4)
- při výpočtu z hodinových průtoků je vhodnější užívat exponenciální typ závislosti jak pro vzestupnou tak i poklesovou větev a to s aditivním členem R1 (rovnice 4).

Na obr. 6 je uveden příklad vztahu mezi odtokovými výškami R1 a RT (pro T = 2 hodiny) na vzestupné větvi odvozeného za letní sezónu ve stanici Podedvorský Mlýn na Blanici. Vztah byl určen pomocí exponenciální rovnice (4).



Obr. 6 Vztah mezi odtokovými výškami RT a R1, letní sezóna (Podedvorský Mlýn – Blanice)

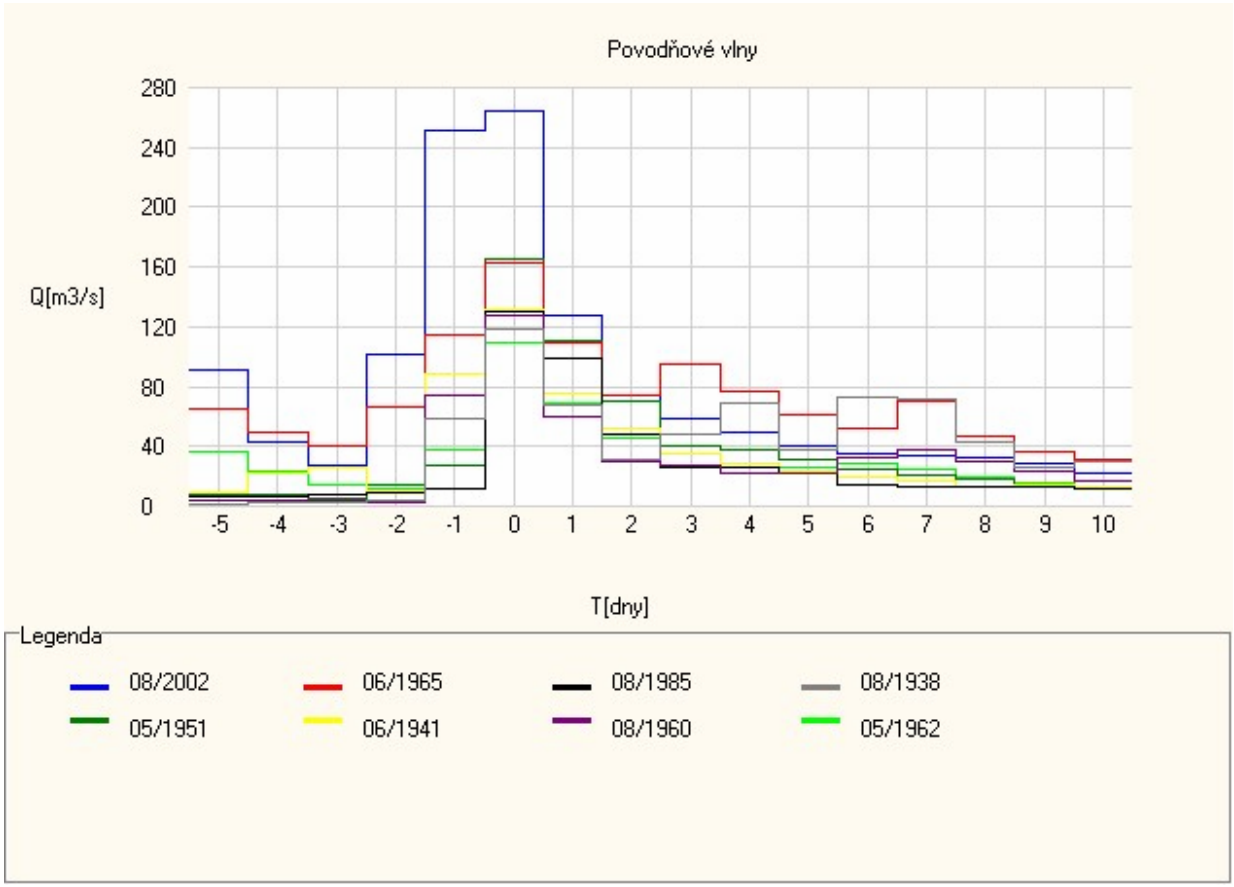
Fig. 6 Relation between runoff depths RT and R1, summer season (Podvorský Mlýn – Blanice)

Před výpočtem parametrů regresního vztahu je třeba určit trvání T pro vzestupnou a poklesovou větev povodňové vlny na základě největších pozorovaných vln. Ukázka je na obr. 7.

Rovněž je před aplikací regresních vztahů vhodné posoudit, zda regresní odhady zásadně nevybočují z rozmezí hodnot odvozených pro stanice na posuzovaném toku a příp. v příslušném povodí.

Princip výpočtu průběhu teoretické povodňové vlny z průměrných denních průtoků (odděleně pro vzestupnou a poklesovou větev) spočívá v dosazení do příslušných regresních vztahů velikosti

odtokové výšky ve dni kulminace *R1* a postupně pro zvolené trvání *T* . Tato trvání začínají ve dni kulminace, pro poklesovou větev narůstají ve směru času a pro vzestupnou větev proti směru času. Tím se získá velikost odtoku za intervaly *T* dní, zahrnující také den kulminace. Postupným odečítáním odtokových výšek za narůstající dobu trvání se vypočítají odtokové výšky v jednotlivých dnech, po přepočtu na průtoky se získá hydrogram povodňové vlny určený řadou průměrných denních průtoků.



Obr. 7 Určení trvání T pro vzestupnou a poklesovou větev letní povodňové vlny na základě pozorovaných vln (stanice Podhradí – Dyje)

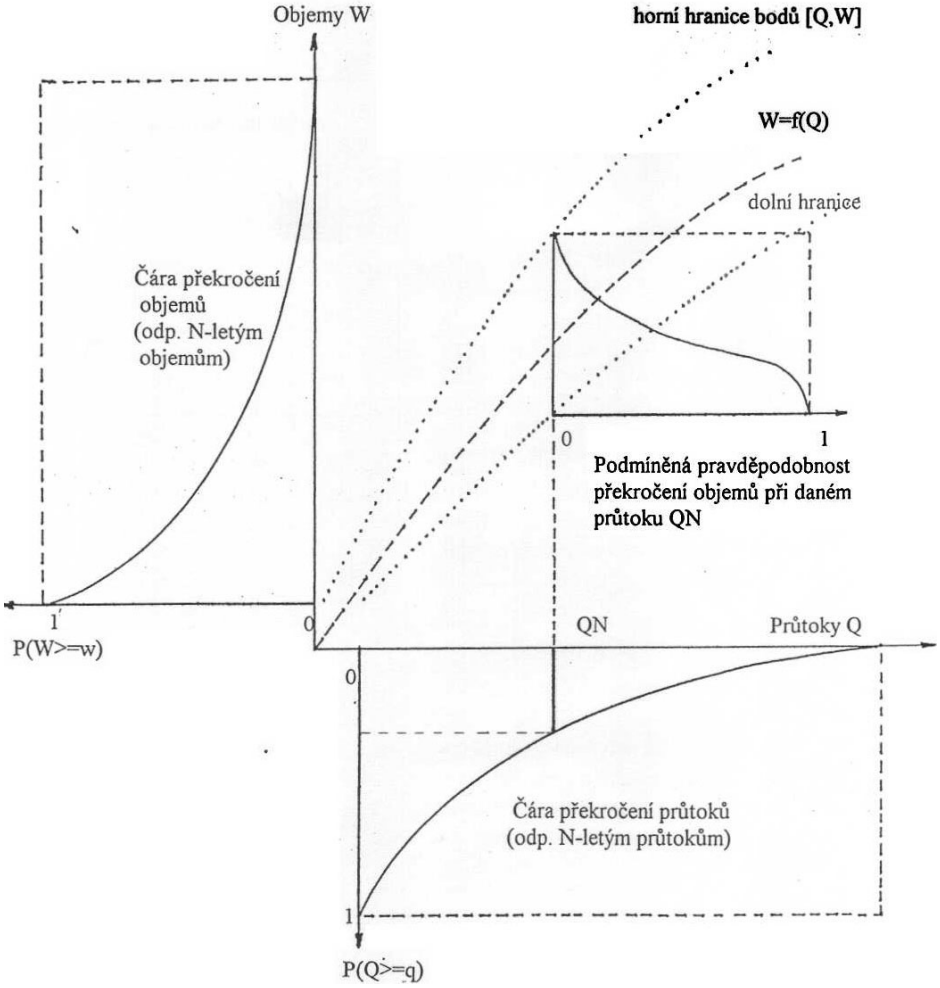
Fig.7 Determination of duration T for summer flood hydrograph on basis of observed flood hydrographs (station Podhradí – Dyje)

ad 5. Analýza reziduálních odchylek pozorovaných odtokových výšek od regresních odhadů, jejich transformace, vyrovnání teoretickým rozdělením. Odvození teoretických povodňových vln s objemem zvolené podmíněné pravděpodobnosti překročení (denní, hodinové průtoky).

Pozorované odtokové výšky se nacházejí v určitém rozmezí okolo regresních odhadů. Rozdělení těchto odchylek můžeme charakterizovat statistickými metodami a vyjádřit tak **podmíněnou pravděpodobnost** překročení odtokové výšky za zvolené trvání (viz obr. 8), podmínkou je výskyt určitého maximálního průtoku.

Potíž spočívá v tom, že případů extrémních odtoků je vždy nedostatečný počet, takže pouze podle nich nelze identifikovat rozdělení podmíněných pravděpodobností v oblasti mimořádně velkých odtoků. Proto se reziduální odchylky pozorovaných odtokových výšek od regresních odhadů transformují tak, aby byla eliminována jejich závislost na velikosti kulminačního průtoku. Pro odhad charakteristik podmíněného rozdělení pravděpodobnosti lze použít odchylky vyhodnocené z povodní s odlišnou velikostí kulminačních průtoků v jednom souboru.

Jako účinná se prokázala transformace, při které jsou rezidua odděleně pro kladné a záporné odchylky od regresních odhadů vyjádřena v měřítku vzdálenosti fyzikálně daných mezí odchylek od regresního odhadu. Tyto meze lze odvodit ze skutečnosti, že pro určitou hodnotu maximálního průtoku Q_{max} musí objem povodňové vlny W za dobu T být menší, než hodnota $Q_{max}.T$, zdola je teoreticky omezen pouze podmínkou $W > 0$.



Obr. 8 Podmíněná pravděpodobnost překročení objemů za zvolené trvání

Fig. 8 Conditional probability of volume exceedance for elected duration

Transformaci popíšeme pro případ, kdy jako měřítko velikosti kulminace povodně použijeme odtokovou výšku ve dni kulminace *R1*, odtoková výška za *T* dní je označena *RT* a její regresní odhad *RTE*. Transformovaná proměnná *TRES* je v případech, kdy

$$RT \geq RTE$$

$$TRES = (RT - RTE) / (R1 \,.\, T - RTE) \qquad (5)$$

a v případech, kdy $RT < RTE$

$$TRES = (RT - RTE) / (RTE - R1). \qquad (6)$$

Transformovaná rezidua *TRES* jsou tedy odděleně pro kladné a záporné odchylky od regresních odhadů vyjádřena v měřítku vzdálenosti mezí (*R1* . *T* = horní mez pro kladné odchylky, *R1* = dolní mez pro záporné odchylky) od regresní křivky *RTE* = f (*R1*,*T*). Transformovaná rezidua se mohou vyskytovat v rozmezí -1 až 1.

Pro zvolené trvání a proměnnou pravděpodobnost lze empirická rezidua vyrovnat vhodným teoretickým rozdělením. Na základě provedených výpočtů bylo zvoleno Johnsonovo rozdělení, které svými vlastnostmi odpovídá fyzikálně daným vlastnostem rozdělení reziduí (má konečnou horní i dolní mez). Ze čtyř parametrů Johnsonova rozdělení jsou dva (horní a dolní mez) dané, zbývající dva se vypočtou postupem uvedeným v příručce [5], která obsahuje i postup výpočtu kvantilů tohoto rozdělení.

Reziduální odchylky jsou do značné míry tvořeny i náhodnou složkou, která odpovídá zejména nejistotě přiřazení empirických pravděpodobností jednotlivým pozorovaným hodnotám odtokových výšek. Podíl náhodné složky se zvětšuje s klesající délkou pozorované řady. Při odvození teoretických povodní se snažíme vliv náhodné složky reziduí zmenšit na přijatelnou míru. K tomu je vhodné použít výsledků zpracování z několika stanic v povodí.

Výpočet odtokových výšek RT_{pp} zvolené podmíněné pravděpodobnosti překročení *pp* podle odhadnuté vyrovnané transformované reziduální odchylky x_{pp} spočívá v dosazení do následujících rovnic:

pro hodnoty $x_{pp} \geq 0$

$$RT_{pp} = x_{pp} \,.\, (R1 \,.\, T - RTE) + RTE \qquad (7)$$

a pro hodnoty $x_{pp} < 0$

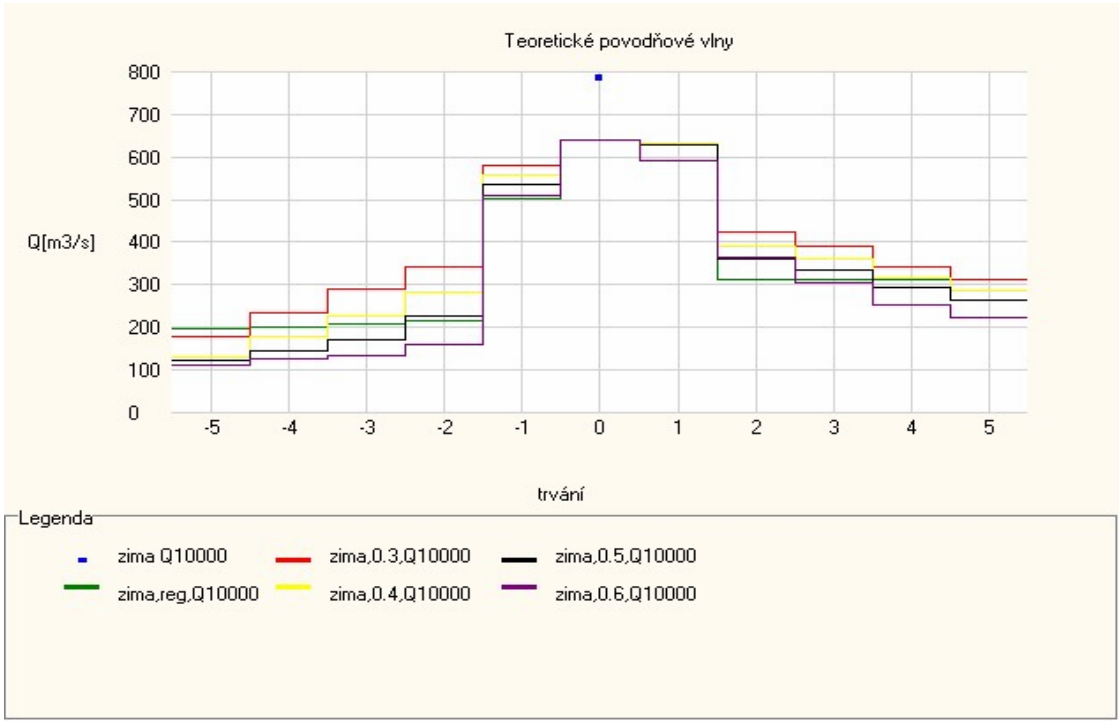
$$RT_{pp} = x_{pp} \,.\, (RTE - R1) + RTE. \qquad (8)$$

Výsledkem výpočtů pro vzestupnou i sestupnou větev hydrogramu je průběh teoretické povodňové vlny ve formě průměrných denních průtoků s danou pravděpodobností překročení kulminačního průtoku a s objemem odpovídajícím podmíněné pravděpodobnosti překročení. Hydrogram v této formě popisuje základní charakteristiky tvaru povodňové vlny, trvání vzestupné větve, strmost poklesu průtoků, atd. Na povodích, kde se často vyskytují povodně s podružnými vrcholy, se může častější výskyt takových povodní projevit pozvolnějším poklesem, případně pozvolnějším vzestupem odvozených teoretických hydrogramů.

Na obr. 9 je ukázka odvozených teoretických zimních povodňových vln ve formě průměrných denních průtoků pro různé pravděpodobnosti překročení objemu za zimní sezónu ve stanici Podhradí na Dyji.

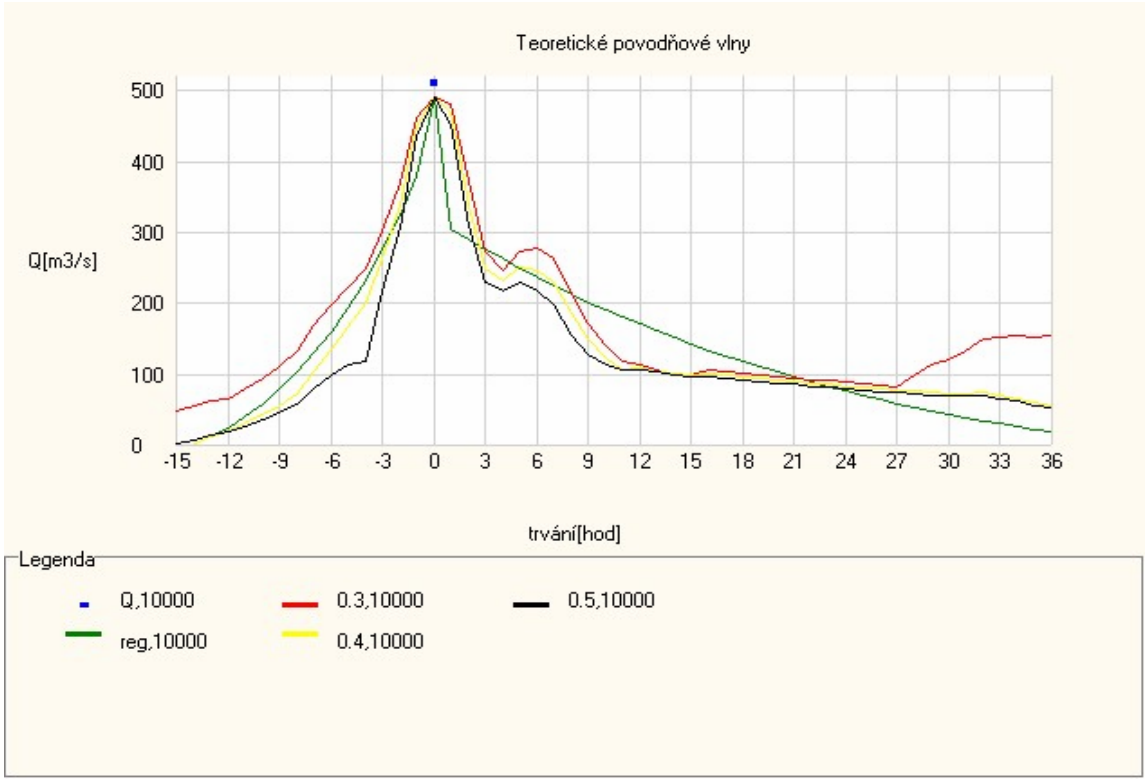
V případě odvození teoretických extrémních vln na základě vstupních řad hodinových průtoků byl učiněn výzkum se závěrem, že lze použít pouze soubor vybraných největších (cca 15) povodní (které mohou být odlišné od průběhů povodní vyskytujících se častěji). Není tedy nezbytně nutné mít k dispozici soubor všech sezónních, příp. ročních maximálních povodní za celé období pozorování. Tento poznatek má velmi praktické důsledky, neboť příprava vstupních podkladů (pozorovaných hydrogramů v hodinovém kroku) bude časově méně náročná.

Teoretické letní povodňové vlny odvozené z hodinových průtoků pro různé pravděpodobnosti překročení ve stanici Podedvorský mlýn na Blanici jsou znázorněny na obrázku 10.



Obr. 9 Teoretické zimní povodňové vlny ve formě průměrných denních průtoků (Podhradí – Dyje)

Fig. 9 Design winter flood hydrographs in form mean daily dischares (Podhradí – Dyje)



Obr. 10 Teoretické letní povodňové vlny ve formě hodinových průtoků (Podedvorský Mlýn – Blanice)

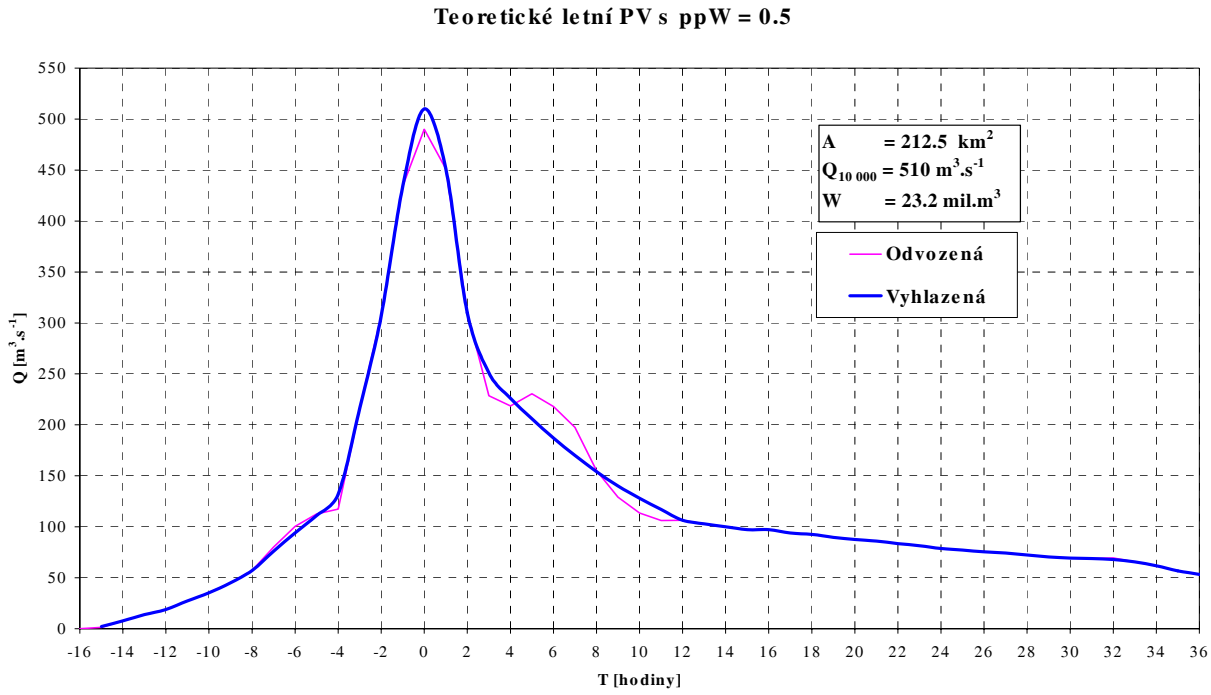
Fig. 10 Design summer flood hydrographs in form hourly dischares (Podedvorský Mlýn – Blanice)

ad 6. Odhad průběhu teoretické povodňové vlny v hodinovém intervalu.

V případě, že do zpracování vstupují průměrné denní průtoky, je odvozená vlna rovněž ve formě denních průtoků. Při popisu povodně v kratším (hodinovém) intervalu je třeba odhadnout rozložení průtoků v jednotlivých dnech. Taková úloha sice nemá jednoznačné řešení, avšak podmínky zachování velikosti průměrných denních průtoků v jednotlivých dnech a velikosti kulminačního průtoku a zajištění spojitosti průběhu průtoku na rozmezí dnů vymezují dosti úzce možná řešení.

Tyto všechny podmínky splňuje samostatný program, využívající metodu spline. Pomocí tohoto programu je možno z odvozené teoretické povodňové vlny ve formě průměrných denních průtoků a hodnoty kulminačního průtoku odvodit teoretickou povodňovou vlnu v hodinových průtocích, což je cíl řešení.

Odvozené teoretické povodňové vlny z řad hodinových průtoků do určité míry kopírují průběh pozorovaných vln a mohou se na vzestupné i poklesové větvi vyskytnout nerovnosti („hrby“). Proto je vhodné výslednou teoretickou vlnu vyhladit, tak aby byl její průběh plynulý (při zachování stejné velikosti objemu). Na obrázku 11 je ukázán příklad průběhu teoretické povodňové vlny pro podmíněnou pravděpodobnost překročení objemu ppW = 0.5 ve stanici Podedvorský Mlýn na Blanici, kde „hrb“ na poklesové větvi je vyhlazen.



Obr. 11 Teoretická povodňová vlna ve formě hodinových průtoků - vyhlazená (Podedvorský Mlýn – Blanice)

Fig. 11 Design flood hydrographs in form hourly dischares - equaable (Podedvorský Mlýn – Blanice)

ZÁVĚRY

V rámci obou grantových projektů byla vyvinuta nová metodika pro odvozování teoretických povodňových vln sloužících k posuzování bezpečnosti přehrad za povodní statistickými přístupy. Projekty byly řešeny interdisciplinárně, byly integrovány klimatologické, hydrologické a

vodohospodářské postupy tak, aby výsledné metodiky odpovídaly současnému stavu poznání dané problematiky ve všech těchto oborech.

Výzkum statistických přístupů byl zaměřen na vícerozměrnou analýzu charakteristik hydrogramu povodňové vlny. Byly zkoumány metody statistické analýzy vztahů mezi kulminačním průtokem (resp. maximálním jednodenním průměrným průtokem nebo hodinovým průtokem) a trváním odtoku jako nezávislými proměnnými a objemem odtoku za toto trvání jako závisle proměnnou. Tato nová metoda slouží pro odvození teoretických povodňových vln **s podmíněnou pravděpodobností překročení objemu** pro daný kulminační průtok.

Metodika byla původně navržena jen na využití řad průměrných denních průtoků. Ze zkušeností vyplynulo, že není vhodná pro malá povodí (do cca 150 km^2). Proto byla metodika rozšířena i na využití řad hodinových průtoků; aplikace je vhodná pro malá povodí, zpracování je však vzhledem k přípravě vstupních dat v hodinovém intervalu časově velmi náročné.

Při zpracování se posuzuje sezonalita průtokového režimu. V rámci studií jsou odvozovány letní a zimní (příp. roční) teoretické povodňové vlny.

Závislost objemu odtoku na kulminačním průtoku a trvání odtoku je vyjádřena nelineárním regresním vztahem. Bylo vyzkoušeno několik regresních rovnic mocninného i exponenciálního typu. Při odvození z průměrných denních průtoků lze použít rovnice mocninného nebo exponenciálního tvaru. Při výpočtu z hodinových průtoků je vhodnější užívat exponenciální typ rovnice.

Výsledkem řešení určeným pro hydrologickou praxi jsou dva programy (jeden pro vstupní data v denním kroku, druhý pro data v hodinovém kroku) umožňující efektivně navržené statistické postupy použít až do úrovně výpočtu hydrogramů teoretických povodní. Programy mohou poskytovat řadu názorných výstupů, které umožňují posoudit dílčí výsledky výpočetního postupu.

Navrženou metodiku lze tedy používat pro odvození teoretických povodňových vln, nezbytnou součástí zpracování je regionální analýza a posouzení výsledků z pozorování z vodoměrných stanic na daném toku, příp. i v sousedních povodích. Jde o úlohu vyžadující hydrologické znalosti a zkušenosti, neboť spolehlivost výsledků z jednotlivých stanic nezávisí jen na délce použitých řad, ale i na kvalitě jejich pozorování, míře antropogenního ovlivnění i dalších vlivech. Zpracování teoretických povodňových vln tedy není a asi nikdy nebude úlohou, kterou by bylo možné zcela důsledně algoritmizovat.

Hydrologické podklady zpracovávané těmito novými metodickými postupy jsou již od správců toků požadovány v rámci nové technické normy TNV 2935 „Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních“ [3] z roku 2003. Výchozím podkladem je kontrolní povodňová vlna (KPV), zpravidla uvažovaná jako teoretická N-letá povodňová vlna. KPV se doporučuje odvozovat variantním způsobem. Pro jejich zpracování se předpokládá použití metod odpovídajících soudobé úrovni poznání a současným možnostem dostupného zpracování potřebných hydrologických a meteorologických podkladů. Dle skupiny a kategorie vodního díla se odvíjí míra jeho bezpečnosti vyjádřená pravděpodobností překročení kulminačního průtoku až do hodnoty p = 0.0001.

Konečné odvození extrémních povodňových vln umožňuje různé kombinace doby opakování kulminačního průtoku a podmíněné pravděpodobnosti překročení objemu povodňové vlny. Z dosavadních zkušeností se doporučuje kombinace pravděpodobnosti kulminačního průtoku pQ=0.0001 s podmíněnou pravděpodobností objemu ppW=0.5 a ppW=0.4 a kombinace pravděpodobnosti kulminačního průtoku pQ=0.001 s pravděpodobností ppW=0.5, ppW=0.4 a příp. ppW=0.3.

Pro volbu kombinací pravděpodobnosti kulminačního průtoku a podmíněné pravděpodobnosti objemu pro konkrétní vodní dílo se doporučuje spolupráce zpracovatele - hydrologa s objednatelem – vodohospodářem. Volba kombinace doby opakování kulminačního průtoku a podmíněné

pravděpodobnosti překročení objemu povodně překračuje rámec hydrologie a je již z podstatné míry záležitostí řídící sféry, jakou míru rizika pro konkrétní řešení zvolí.

Nově vyvinuté metodiky pro odvozování parametrů teoretických povodňových vln statistickými přístupy včetně nově zpracovaných příslušných programů byly v rámci grantového řešení ověřeny na povodích vybraných vodních děl. Byly odvozeny teoretické povodňové vlny z průměrných denních průtoků pro VD Vranov na Dyji a z hodinových průtoků pro VD Husinec na Blanici. Po skončení projektu byly na objednávku Povodí Vltavy, s.p. odvozeny teoretické povodňové vlny pro VD Římov na Malši a pro VD Klabava.

Extrémní povodňové vlny založené na statistickém zpracování průtoků je třeba, zvláště na malých a středních povodích, ověřovat z fyzikálního hlediska jednoduchými deterministickými přístupy (týká se zejména vztahu příčinných srážek k objemu odtoku).

Literatura

[1] Kulasová, B. – Šercl, P. – Boháč, M.: Projekt QD1368 „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní“. Praha, ČHMÚ 2004.

[2] Kulasová, B., a kol.: Grantový projekt VaV 510/3/97. „Vývoj metod pro stanovení extrémních povodní“. DÚ 04 Statistické metody odhadu charakteristik extrémních povodní. Praha, ČHMÚ 2000.

[3] TNV 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních, Praha, VD-TBD, a.s., Hydroprojekt CZ a.s, 2003.

[4] Procházka, M.: Logaritmicko-normální rozdělení a možnosti jeho použití v hydrologii, Vodohospodářský časopis 34, 1986, č. 3, s. 243-256.

[5] Rožděstvenskij, A. V.et al: Meždunarodnoje rukovodstvo po metodam rasčota osnovnych gidrologičeskich charakteristik, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1984.

[6] Kulasová, B., a kol.: Metodické postupy odvozování návrhových extrémních povodní pro posuzování bezpečnosti přehrad. Praha, ČHMÚ 1996.

Autoři

Bohuslava Kulasová, ČHMÚ, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 – Komořany, kulasova@chmi.cz

Miloň Boháč, ČHMÚ, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 – Komořany, bohac@chmi.cz

VELKÉ POVODNĚ NA ODŘE V 19. A POČÁTKEM 20. STOLETÍ A JEJICH IMPAKTY

Jan Munzar, Stanislav Ondráček

20.století bylo (na rozdíl od 19.) na velké povodně – naštěstí pro obyvatele – poměrně chudé. Na Odře se "povodni 20.století" z července 1997 nejvíce přiblížil případ z července 1903, tedy s odstupem téměř čtyř generací, což nepochybně přispělo ke ztrátě historické paměti. Cílem příspěvku je dokumentovat velké povodně na Odře a v jejím povodí, analogické katastrofě roku 1997, v průběhu 19.století se zaměřením na jejich impakty, které jsou důležité pro dobovou charakteristiku životního prostředí obyvatel.

Klíčová slova: historické povodně, povodí Odry, impakty

Great floods in the Odra river basin during the 19th and the beginning of 20th century and their impacts. *20th century was as compared with the 19th century (fortunately for inhabitants) relatively poor in great floods. When searching for historical analogies of the flood case od July 199ý, in mapy features resembles a disaster recorded mainly in the Czech section of the Odra river watershed in July 1903. As the event is a hundred years old, its course and consequences have been forgotten. The aim of the paper is to document the great floods during the 19th century and their impacts (which are very important for period environment of inhabitants) too.*

Key words: historical floods, Odra river basin, impacts

Úvod

19. století, na rozdíl od 20., se na Odře vyznačovalo poměrně častým výskytem významných povodní. Od roku 1813 do roku 1903, tedy v průběhu 90 let, zde došlo k několika povodním, které představovaly velkou přírodní pohromu. Povodeň v červenci 1903 pak byla na dlouhou dobu poslední z této kategorie. Byla překonána až po téměř celém století, v červenci 1997.

Přehled velkých povodní

Největší povodně 19.století, představující výjimečné přírodní pohromy, se na Odře vyskytly v letech 1813, 1831, 1854 a 1880 (viz např. Brosch 2005, Fischer 1907). Povodňové katastrofy v letech 1902 a 1903 pak období zvýšeného výskytu mimořádných povodní uzavřely.

1813

Povodeň v povodí Odry v srpnu 1813 je jednou z největších katastrof, které se v tomto území vyskytly. Jednalo se o zcela mimořádnou povodeň způsobenou extrémními atmosférickými srážkami značného územního rozsahu. Deště tehdy v srpnu 1813 zasáhly nejen povodí Odry, ale i povodí Visly, Váhu, Moravy a další. Ve všech těchto povodích došlo ke katastrofálním povodním. Když se v polovině 19. století stavěl řetězový most přes Ostravici z Moravské do Slezské Ostravy, byla jeho výška stanovena podle do té doby nejvyššího známého vodního stavu řeky a tím byl právě kulminační stav Ostravice za povodně v roce 1813; byl pak projektován ještě 30 centimetrů nad ním (Dlouhý 1997). Tento most pak odolal i katastrofální povodni v roce 1880, ale nevydržel, když po něm v září 1886 pochodovala vojenská jednotka.

Příčiny a průběh povodní ve střední Evropě v létě 1813 zpracoval velmi podrobně H. Mann (1905). Podle jeho rekonstrukce srážky a povodně koncem srpna a začátkem září toho roku zasáhly povodí Odry, Visly, Lužické Nisy atd. Největší srážkové úhrny se patrně vyskytly v povodí Váhu na Slovensku, kde se vyskytla katastrofální povodeň, označovaná často jako „Palackého povodeň", protože historik František Palacký (1798-1876), tehdy 15-letý student, se stal nechtěně jejím

účastníkem a očitým svědkem, a nechybělo mnoho, aby přišel o život. Jeho popis tohoto hydrologického extrému z Trenčína je součástí vlastního životopisu.

Odra kulminovala v Racibórzi 26. nebo 27.8. při vodním stavu více než 700 cm, když v jejím horním povodí pršelo prakticky bez přestání od 26. do 30. srpna. Visla kulminovala v Krakově po mimořádných, 72 hodin trvajících deštích 26. srpna 1813. V povodí Odry vznikly velké škody, např. v Opavě se zřítilo 28 domů a 50 bylo poškozeno, takže stovky lidí přišly o přístřeší. Také v povodí Váhu deště poměrně silné intenzity trvaly bez přestání pravděpodobně již od 23. do 26. srpna. V oblasti Liptova Váh kulminoval 25. srpna dopoledne, v Púchově v noci z 25. na 26. srpna; dodatečně odhadnutý průtok byl 3 900 $m^3.s^{-1}$ (Heisig 1933). Povodeň si tehdy vyžádala životy 287 lidí, z toho v samotném Trenčíně (kde byl extrémní průtok odhadnut na 4 000 $m^3.s^{-1}$) bylo 55 obětí.

Srovnání s povodní v červenci 1997 podle pozorovaných maximálních vodních stavů na vodočtech Odry v roce 1813 a 1997 uvádí A. Dubicki (1999). Nejvyšší hodnota byla zaznamenána shodně na vodočtu Krapkowice: v roce 1813 činila 811 cm, v roce 1997 pak 1032 cm.

1854

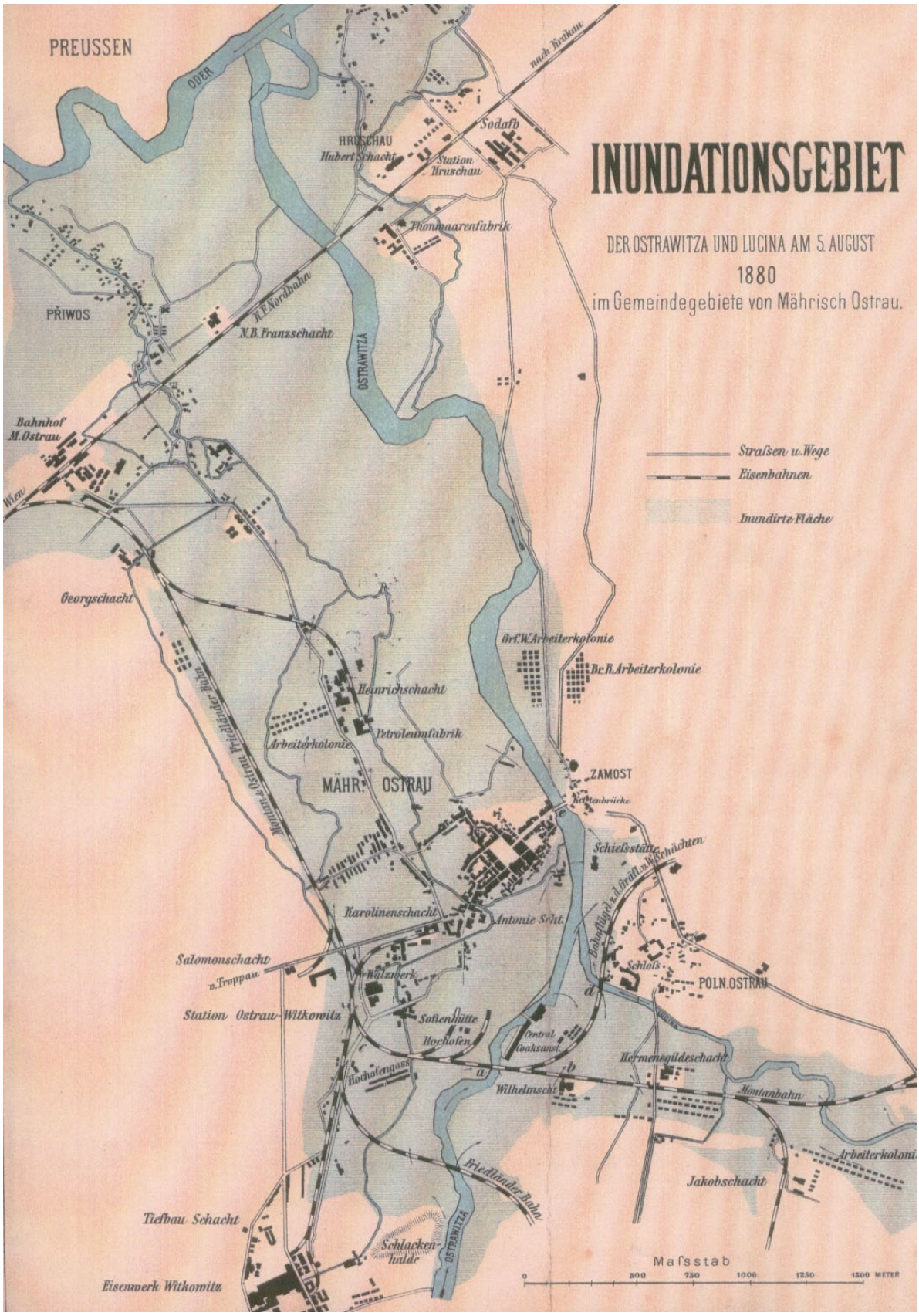
Také povodeň koncem srpna 1854 postihla jak povodí Odry, tak povodí Váhu. Podle Řehánka (2004) Odra kulminovala v Racibórzi 20.8. stavem 717 cm. Povodňová vlna odtud postupovala rychlostí 50 km za hodinu. 21.8. ohrozila povodeň Wroclav. Průtok pod tímto městem, které bylo z větší části zatopeno, 23.8. dosáhl 2 450 $m^3.s^{-1}$. Ve Slezsku se octlo pod vodou 1 600 km^2. V české části povodí Odry např. v Opavě se octly pod vodou části Jaktařského i Ratibořského předměstí, Karlovec a Kateřinky, kde bylo zcela zničeno 18 domů. V povodí Váhu nebyla povodeň o mnoho menší než v roce 1813, protože však přišla ve dne, byla větší možnost ochrany (Bitara 1998).

1880

Mohutná povodeň, ke které došlo v povodí Odry v srpnu 1880, patří mezi největší přírodní katastrofy, jaké postihly a zpustošily tento kraj. Svou velikostí a rozsahem se stala nadlouho časovým mezníkem pro zdejší obyvatele, kteří dělili čas na dobu před povodní a po povodni 1880. Povodeň měla dvě samostatné vlny (viz Řehánek 2004). První vlna kulminovala 5. srpna a její výjimečnost byla způsobena především beskydskými přítoky Odry. Na Opavě a na Odře nad Opavou se ale rovněž jednalo o mimořádné případy. Druhá vlna kulminovala o více jak týden později. Zatímco na Ostravici a Olši nebyla již tak výrazná, na Opavě byla větší a na Odře nad Opavou jen o málo menší, než vlna první. Po povodni v roce 1880 se na Odře začaly budovat ochranné hráze.

Podle Řehánka (2004) byl 5.8. na Odře ve Svinově zaznamenán stav 240 cm, na polském území v Annabergu 530 cm, v Ratibórzi 730 cm a 10.8. ve Wroclavi 438 cm. Pokud jde o průtoky, dobové odhady uvádějí, že v profilu ostravského řetězového mostu činil více než 2 000 $m^3.s^{-1}$ a celkový průtok Ostravicí, včetně vod vybřežených, přesáhl 3 000 $m^3.s^{-1}$. Dnes se však považují tyto odhady za značně nadsazené, podle Brosche (2005) se maximální průtok řetězovým mostem mohl pohybovat asi na úrovni poloviny tehdy udávané hodnoty. Záplavy, které postihly 5. srpna Ostravu lze považovat za dosud největší a nejkatastrofálnější, které postihly toto město před rokem 1997. Až na malé ostrůvky byla zatopena celá ostravická niva, některé části města byl až 2,5 metru pod vodou. Počty obětí nejsou známy. Značné škody utrpěl zejména rozvíjející se průmysl, umístěný v blízkosti energeticky využívaných řek a ve velkém rozsahu byly poškozeny železniční tratě podél vodních toků. Z této pohromy se město vzpamatovávalo velmi pomalu. Neblahé zkušenosti s ní vyvolaly v následujících letech mimořádný zájem na řešení protipovodňové ochrany.

Povodňová situace zasáhla částečně i povodí Moravy, např. povodeň na Bečvě 5. srpna 1880 s odhadnutým kulminačním průtokem v Přerově 750 $m^3.s^{-1}$ byla na této řece až do roku 1997 největší známou katastrofou. Protože ale přišla ve dne, obešla se bez obětí.



Obr. 1 Území Moravské Ostravy, zatopené řekami Ostravicí a Lučinou během povodně 5.srpna 1880. (z publikace Beiträge zur Geschichte der Stadt Mährisch Ostrau 1881)

Fig. 1 Inundation of the Moravská Ostrava territory during the flood of Ostravice and Lučina rivers on 5th August 1880. (according to Beiträge zur Geschichte der Stadt Mährisch Ostrau 1881)

1902

Mimořádná povodeň, ke které došlo na Odře v červnu 1902, byla způsobena především jejím pravostranným přítokem Ostravicí. Jednalo se zde o mohutnou povodňovou vlnu, která měla tři vrcholy. V Ostravě první kulminace nastala 15. června 1902, druhá, hlavní a největší, 20. června a třetí se dostavila o dalších pět dnů později, 25. června. Na řece Opavě a na Odře nad jejich soutokem nebyla tehdy povodeň tak extrémní. V pořadí povodní 20. století uspořádaném podle velikosti kulminačního průtoku je na Odře ve Svinově povodeň z června 1902 až v druhé desítce a na řece Opavě v Děhylově dokonce až v třetí desítce. Povodeň na Ostravici byla tehdy ale tak velká, že pod soutokem řek, na Odře v Bohumíně, je případ z června 1902 z hlediska hodnoty kulminačního průtoku čtvrtým největším ve 20. století. Na Ostravici v Ostravě nebyla tato povodeň z roku 1902 překonána ani za katastrofálních povodní, které postihly Ostravsko o rok později, v červenci 1903, a stala se zde, z hlediska hodnoty kulminačního průtoku, největší povodní 20. století. Vyhodnocený kulminační průtok z 20. června 1902 je zde totiž dokonce větší než kulminační průtok z července 1997 (přitom na většině vodních toků a hydrologických stanic na Ostravsku povodeň z léta 1997 všechny ostatní případy výrazně převyšuje). Je ovšem nutné vzít v úvahu tu skutečnost, že začátkem 20. století nebyly v povodí Ostravice vodní nádrže, které by povodňovou vlnu transformovaly tak, jak se tomu stalo v roce 1997. Nebýt těchto nádrží by zřejmě i na Ostravici v Ostravě byla povodeň v červenci 1997 z hlediska hodnoty kulminačního průtoku také největší povodní 20. století. Odhady velikosti přirozené kulminace tomu nasvědčují (viz Hladný et al. 1998).

Zcela zaplaveny byly Bohumín, Hrušov, Moravská Ostrava atd. Na řadě uhelných šachet musela být zastavena těžba a vyvezeny z nich koně. Od Frýdlantu až po Vítkovice podobala se tato povodeň katastrofě z roku 1880. Bylo zničeno mnoho majetku. Ačkoliv byl zaznamenán rychlý nástup povodňové vlny, nebyly naštěstí v Ostravě zaznamenány ztráty na životech.

1903

Povodně, ke kterým došlo v povodí Odry o pouhý rok později, v červenci 1903, představovaly pro tuto oblast velkou přírodní katastrofu. Na Ostravsku bylo území podél hlavních vodních toků zpustošeno ničivými záplavami, které byly tak velké, že trvalo téměř celé 20. století, než v roce 1997 přišly povodně ještě větší. Povodně v červenci 1903 byly vyvolány dešti vícedenního trvání a výjimečného územního rozsahu. Byl při nich naměřen srážkový rekord. Na Jesenicku na stanici Nová Červená Voda byl 9. července 1903 zaznamenán srážkový úhrn 240,2 mm, který je pro Moravu a české Slezsko dodnes platným rekordem, který vydržel tedy již více jak 100 let. Nebyl překonán ani v červenci 1997, kdy nejvyšší jednodenní srážkový úhrn, naměřený 6.7.1997 na stanici Lysá hora, dosáhl „pouze“ 233,8 mm. K extrémním povodním tehdy došlo jak na řece Opavě, tak Odře i Ostravici. Na Odře v Bohumíně 11.7.1903 dosáhl průtok 1 500 $m^3.s^{-1}$, který byl překonán až 8.7.1997 hodnotou 2 160 $m^3.s^{-1}$ (jedná se zde tedy z hlediska kulminačního průtoku o druhou největší povodeň 20. století). Na Ostravici v Ostravě, přestože i zde šlo o významný extrém, kulminační průtok nedosáhl hodnoty z roku 1902 a byl překonán nejen v roce 1997, ale i za povodní v květnu a začátkem června 1940. Jedná se zde tedy z hlediska kulminačního průtoku o pátou největší povodeň ve 20. století.

V červenci 1903 se vyskytla velká povodeň také v povodí Váhu s kulminačními průtoky v Púchově 2 345 $m^3.s^{-1}$ a v Trenčíně 2 385 $m^3.s^{-1}$ (Bitara 1998).

Pro povodí Odry uvedeme příklady povodňových impaktů z Opavska a Jesenicka.Ve městě Opava vystoupila řeka Opava téměř 3 m nad normální stav a zaplavila řadu ulic. Byla zcela izolována osada Karlovec (dnes součást opavské aglomerace), s městem přerušeno železniční spojení. Po opadnutí vody byly vyčísleny škody na 486.626 rakouských korun, tisícovce poškozených byla vyplacena podpora až do výše dvou tisíc korun. Země slezská (tj.rakouské Slezsko) se zatížila dluhem, spláceným následně déle než půl generace.



Obr. 2 Povodňová značka na domě v Opavě, Ratibořské ulici 43, která znázorňuje kulminaci řeky Opavy 11.července 1903. Figurantka ukazuje výšku vodní hladiny při povodni v červenci 1997 (foto V. Dlabola).

Fig. 2 Flood mark on the house in Opava, Ratibořská street 43, indicating flood culmination on the Opava river on 11 July 1903. The rodgirl shows upto what point the high-water level reached in July 1997 (photo V. Dlabola).

Dvě příznivé reakce pro Opavsko však tato ničivá povodeň přece jen měla. První spočívala v provedení regulace řeky Opavy v úseku města v letech 1908-1910. Prošla dvěma povodňovými prověrkami, a sice 7.září 1907 a 7.července 1910. Druhou reakcí byl zrod projektu výstavby vodní nádrže Kružberk. Bezprostředně po povodni 1903 byla vyslána skupina expertů do Německa seznámit se s tamními přehradami. V roce 1911 pak společná rakousko-německá komise doporučila zbudovat v celém Slezsku (dnes rozděleném na menší českou a větší polskou část) celkem 16 nádrží a mezi největší měl patřit Kružberk. Ovšem obě světové války oddálily její stavbu až na léta 1948-1955.

Dosud nevídané škody napáchala letní povodeň v roce 1903 na Jesenicku (patrně ještě větší než ty, k nimž došlo v červenci 1997). Město Jeseník začala ohrožovovat během večera a noci z 9. na 10.července. Staříč se vylil břehů v 8 hodin večer, Bělá začala zaplavovat okolí v 11 hodin v noci. Po spojení s vodou Staříče byly zaplaveny ulice do výšky 120 – 150 cm. V sousední obci Česká Ves, kde stav vody v řece obvykle nepřesahoval 1 m, bylo naměřeno téměř 6 metrů. Největší škody napáchala povodeň v Mikulovicích, kde zcela zmizelo 31 domů a 9 stodol – z kvetoucí vesnice zbyly jen ruiny.V celém širokém regionu bylo přerušeno železniční spojení. Jen na území okresu Šumperk byly zničeny 2 mosty na říšských silnicích, 3 na okresních silnicích a 50 na obecních komunikacích. Škody na Jesenicku byly vyčísleny na miliony rakouských korun. Přesný počet obětí na životech však není znám – podle odhadů asi 30 (z toho jen v obci Písečná 15).

Stále se opakující povodně vedly po katastrofě v roce 1903 v Jeseníku k založení a výcviku speciálního družstva hasičů - Vodní záchranné služby. Ale podobná velká povodeň přišla až bezmála po sto letech, v roce 1997, kdy se už na katastrofu z počátku 20. století zapomnělo.

Závěr

Tento příspěvek tematiku výskytu velkých povodní na Odře a jejich impaktů samozřejmě nemůže vyčerpat, je pouze úvodem do této problematiky, protože potřebné údaje o událostech před rokem 1900 jsou rozptýleny v řadě dnes často již stěží dostupných pramenů. K málo známým dopadům

povodní na životní prostředí na Ostravsku patří kromě vlivu na obyvatelstvo a sídla i jejich důsledky pro tamní průmysl, např. při výstavbě Vítkovických železáren. Tak povodeň na Ostravici 31.července 1829 zničila stavbu vítkovického jezu a déšť rozmočil staveniště (na kterém se pracovalo od jara). Nicméně v polovině prosince byly hrubé stavební práce tak daleko, že se mohlo pomýšlet na instalaci prvních strojních zařízení. Avšak následovala tuhá zima a na jaře 1830 se rozlila Ostravice po širším okolí a zaplavila i staveniště železáren, takže se stavební práce opozdily. Trvalo totiž ještě dlouhou dobu, než po opadnutí povodně půda vyschla natolik, aby mohly začít zemní práce (Myška 1960). Přesné datum jarní povodně na Ostravici v roce 1830 se však prozatím nepodařilo zjistit.

Poděkování. Tento příspěvek vznikl v rámci grantového projektu GA AV ČR č. A3086401.

Literatura

Barcuch, A., Kollega, V. (1997): Povodeň v Ostravě. Vodní cesty a plavba, 4, s.19-23.

Bitara, E. (1998): História povodní v povodí Váhu. In: Povodne a protipovodnová ochrana, zborník prednášok z konferencie Banská Štiavnica 12.-13.2.1998, s.16-20. Dom techniky Banská Bystrica

Brosch, O. (2005): Povodí Odry. Anagram Ostrava, 323 s.

Dubicki, A. et al., eds.(1999): Dorzecje Odry:monografia powodzi lipiec 1997. IMGW Warszawa,241 s.

Dlouhý, J. (1997): Stalo se před lety. Mladá fronta DNES, 19.8.1997, s. 4.

Fischer, K. (1907): Die Sommerhochwasser der Oder von 1813 bis 1903 mit besonderer Behandlung der Hochwasser vom Juni/Juli 1902 und Juli 1903. Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands. Besondere Mitteilungen Bd. 1, Nr.6. Berlín. 101 s.

Heisig, V. (1933): Velké vody na Váhu v r.1813. Zprávy veřejné služby technické, 15, s.255-256.

Hladný, J. et al. ed. (1998): Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997. Souhrnná zpráva projektu. Český hydrometeorologický ústav, Praha. 163 s.

Mann, H. (1905): Das Hochwasser vom August/September 1813, seine Ursachen und sein Verlauf.. Jahrb.f. Gewässerkunde Norddeutschlands, Bes. Mitt., Bd.1, Nr.2, 73 s.

Munzar J., Ondráček, S. (2003): Extreme precipitation and disastrous floods in Central Europe in July 1903 and their impacts. In: Regional Geography and its Application, Papers of the 5th Moravian Geographical Conference CONGEO ´03, ed. A. Vaishar et al., s. 128-134. Brno, Regiograph.

Munzar, J., Ondráček, S. (2004): Velké povodně na Ostravsku v letech 1902 a 1903. In: Sborník příspěvků z Workshopu Adolfa Patery „Extrémní hydrologické jevy v povodích“, ed. V. Broža a kol., s. 41-46. ČVUT a ČVTVS, Praha.

Myška, M. (1960): Založení a počátky Vítkovických železáren 1828-1880. Krajské nakladatelství v Ostravě, 214 s.

Řehánek, T. (2004): Záznamy o historických povodních v povodí Odry. In: Sborník příspěvků z konference „Říční krajina“, s. 216-226. Univerzita Palackého, Olomouc.

Autoři

RNDr.Jan Munzar, CSc., RNDr. Stanislav Ondráček, Ústav geoniky AV ČR, středisko Brno, Drobného 28, CZ 602 00 Brno, e-mail: munzar@geonika.cz, ondracek@geonika.cz

STANOVENIE N - ROČNÝCH MAXIMÁLNYCH PRIETOKOV NA TOKOCH SLOVENSKA

Jana Podolinská, Helena Šipikalová, Peter Škoda, Lotta Blaškovičová, Beata Demeterová

V rámci nového spracovania hydrologických charakteristík sa aktualizujú aj N - ročné maximálne prietoky. Tieto hodnoty slúžia ako podklad na návrh, výstavbu a prevádzku vodohospodárskych objektov a zariadení, na úpravu tokov, protipovodňovú ochranu, na ochranu a tvorbu životného prostredia a preto sú veľmi dôležité. Pred týmto výpočtom bola urobená veľmi dôležitá a náročná analýza a úprava maximálnych ročných prietokov v každej vodomernej stanici. Matematicko-štatistickými metódami boli vypočítané hodnoty N - ročných maximálnych prietokov vo vodomerných staniciach s obdobím vyčísľovania prietokov aspoň 20 rokov (340 staníc. Pre určovanie N-ročných maximálnych prietokov v profiloch mimo vodomerných staníc bude využitá regionalizácia. Boli vyčlenené homogénne regionálne typy zhlukovou analýzou a podľa reziduálnych odchýliek regresného vzťahu $q_{100.max}$ od fyzicko-geografických a klimatických charakteristík povodia na územie celého Slovenska.

Kľúčové slová: protipovodňová ochrana, N-ročné maximálne prietoky, regionalizácia

T-year maximum discharges in Slovakia's water courses. *New re-evaluation of hydrological characteristics includes also T –year maximum discharges. These important characteristisc are base for design, building and operation of hydroeconomic buildings, flood protection and environment creation and protection. Firstly very important and demanding analysis of maximum discharges in each water gauging station was done. By mathematical-statistical calculations N-year maximum discharges were calculated in water gauging stations with observation at least 20 years (340 stations). Regionalization approach will be use for profiles without gauging stations. Homogeneous regional types were set off by join analysis and according residual deviations of regression relation $q_{100.max}$ from physical and climatic catchments characteristics for the Slovakia´s territory.*

Key words: flood protection, T-year maximum discharges, regionalization

---

Podľa STN 750110:2002 N-ročný maximálny prietok je kulminačný prietok, ktorý sa v danom profile dosiahne alebo prekročí priemerne raz za N-rokov. SHMÚ poskytuje tieto údaje v zmysle OTN ŽP 3112-1:03 Kvantifikácia povodňového režimu, pričom používa databázu N-ročných prietokov a regionálne vzťahy odvodené v rámci úloh Opakovanie maximálnych prietokov na slovenských tokoch (1977) a Prehodnotenie N-ročných prietokov v povodí Moravy a Váhu (1987). Pri ich stanovení boli aplikované viaceré funkcie pravdepodobnosti prekročenia a spôsoby určenia parametrov východiskových radov maximálnych ročných kulminačných prietokov. Vypočítané hodnoty tvorili základ pre určenie závislosti

$q_{max.100} = B.(A+1)^{-n}$, resp. $q_{max.100} = B.A^{n}$,
kde B a n sú regionálne parametre, A plocha povodia

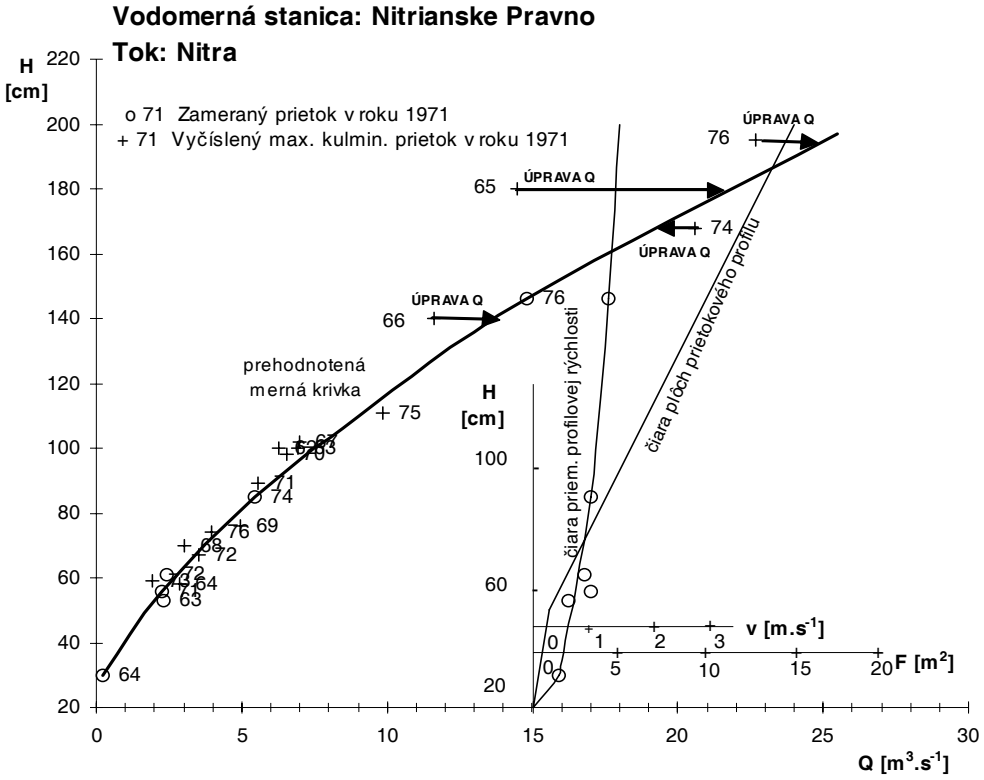
Na území Slovenska bolo takto vymedzených 65 oblastí.
Značný vývoj poznatkov v oblasti určovania návrhových prietokov v posledných desaťročiach (nové typy rozdelení, nové princípy regionalizácie, GIS atď.), ako aj výskyt významných povodní v posledných rokoch a v neposlednom rade aj predĺženie radov a väčší počet vodomerných staníc s dostatočnou dĺžkou pozorovania, viedlo k aktualizácii N-ročných maximálnych prietokov.

1. VSTUPNÉ ÚDAJE

Pri aktualizácii boli ako východiskové údaje použité súbory najväčších ročných kulminačných prietokov (po jednom z každého hydrologického roku) vo vodomerných staniciach s pozorovaním minimálne 20 rokov, pokiaľ možno z neprerušeného obdobia pozorovania, v podstate neovplyvnených antropogénnou činnosťou (výstavbou priehrady, prevodom vody, rozsiahlymi úpravami toku a pod.).

Spoľahlivosť stanovených N-ročných maximálnych prietokov je priamo závislá na rozsahu a kvalite použitého súboru východiskových údajov, ktoré sa odvodzujú z kulminačného vodného stavu cez platnú mernú krivku prietokov alebo priamym meraním. Vzhľadom k veľkému počtu vodomerných staníc ako aj k pomerne rýchlemu postupu povodňových situácií najmä na menších a malých tokoch (povodňové situácie trvajúce iba niekoľko hodín) často nie je možné zamerať kulminačné, alebo im blízke povodňové prietoky a merné krivky prietokov je potrebné extrapolovať. Z toho dôvodu sme vo všetkých vodomerných staniciach vykonali spätnú previerku údajov.
Postup tejto previerky kulminačných prietokov je založený na spätnej rekonštrukcii pôvodných merných kriviek a na ich základe na opätovnom vyčíslení nových (upravených) hodnôt kulminačných prietokov. Pri rekonštrukcii sa využívajú neskôr namerané väčšie prietoky (získané vďaka dlhšiemu obdobiu pozorovania), avšak takýto postup je možný iba za predpokladu výraznej nemennosti odtokových pomerov profilu.

Postup znázorňuje obrázok 1:



Obr. 1 Analýza a úprava maximálnych prietokov

Fig. 1 Analysis and adjustment of maximum discharges

2. STANOVENIE N-ROČNÝCH MAXIMÁLNYCH PRIETOKOV VO VODOMERNÝCH STANICIACH

Po analýze boli pre 340 vodomerných staníc (obr. 2) vykonané výpočty.



Obr. 2 Mapa vodomerných staníc

Fig. 2 Map of water-gauging stations

Pri výpočte N-ročných maximálnych prietokov vo vodomerných staniciach boli použité matematicko-štatistické metódy. K výpočtu sa využil komerčný softvér HQ-EX v 2.03. HQ-EX je softvér pre štatistickú pravdepodobnostnú analýzu dát ročných kulminačných prietokov, vyvinutý WASY, Gmb. SRN, 1997 a je založený na metodike podľa DVWK- Regeln 101 (1999).

Pre odhad parametrov HQ-EX ponúka nasledovné metódy:
- metóda momentov (MM)
- metóda maximálnej vierohodnosti (MLM)
- metóda pravdepodobnosťou vážených momentov (WGM).

Typy teoretických rozdelení s voľbou metódy odhadu parametrov:
- extremálne typ1 (Gumbel) E1 - odhad parametrov alternatívne (MM, MLM, WGM)
- generalizované extremálne GEV - odhad parametrov alternatívne (MM, MLM, WGM)
- Rossi rozdelenie ME - odhad parametrov MLM
- 3-param. Log. Normálne LN3 - odhad parametrov alternatívne (MM, MLM, WGM)
- Pearson3 P3 - odhad parametrov alternatívne (MM, MLM, WGM)
- log. Pearson 3 typu LP3 - odhad parametrov alternatívne (MM, MLM)
- 3-param. Weibulovo WB3 - odhad parametrov alternatívne (MM, MLM, WGM).

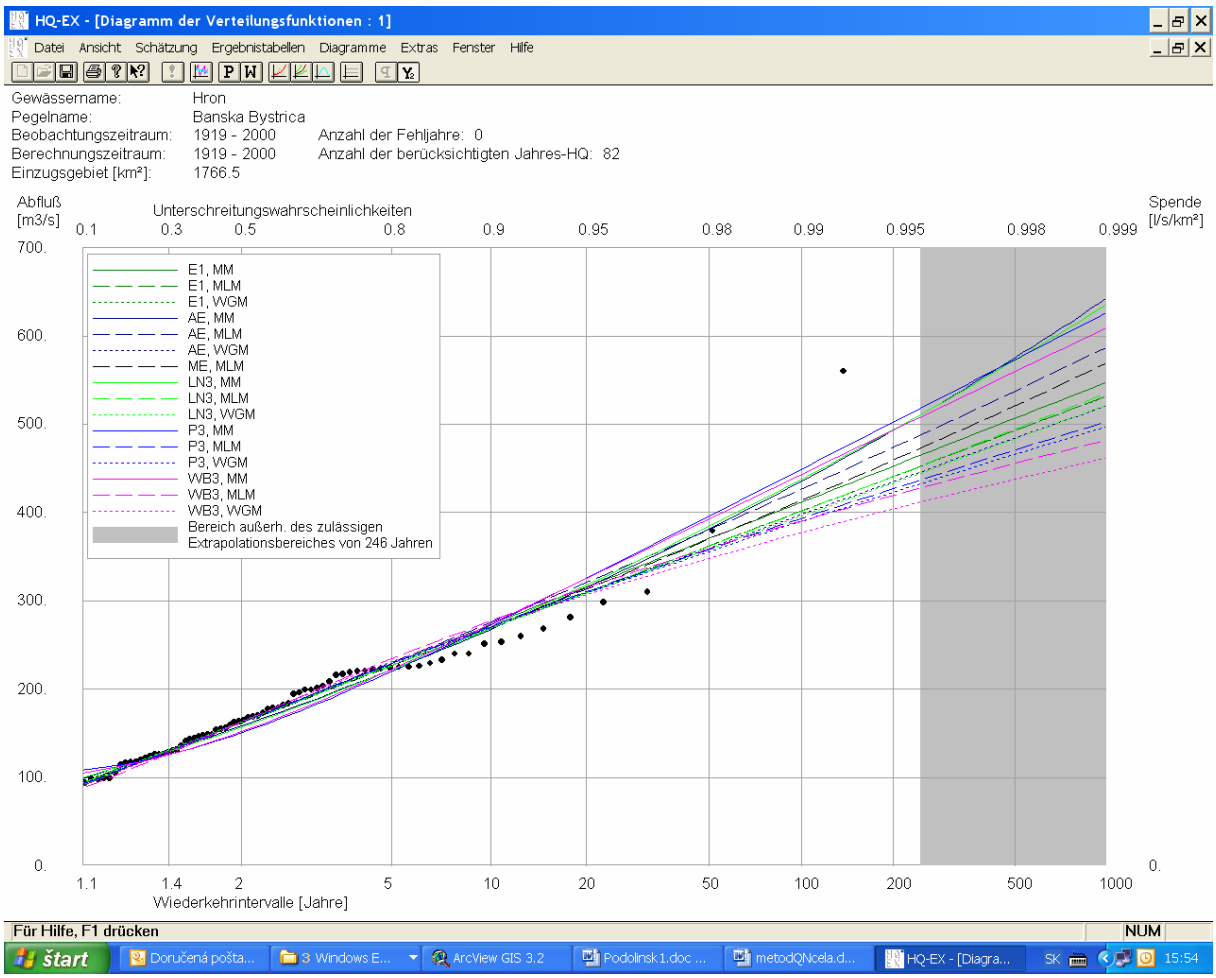
Z uvedených teoretických rozdelení pravdepodobnosti, boli programom HQ-EX vybraté 3 najvhodnejšie typy rozdelenia podľa kritéria:

$$D + n\varpi^2 + \left(1 - r_p\right),$$

kde
- D je hodnota maximálnych pravdepodobnostných rozdielov medzi empirickým rozdelením a vybraným teoretickým rozdelením (Kolmogorov test)
- hodnota ($n\varpi^2$) je odvodená zo sumy kvadratických odchýliek medzi empirickým rozdelením a vybraným teoretickým rozdelením
- r_p je korelačný koeficient medzi zoradenými hodnotami prietoku a im zodpovedajúcimi kvantilmi rozdelenia.

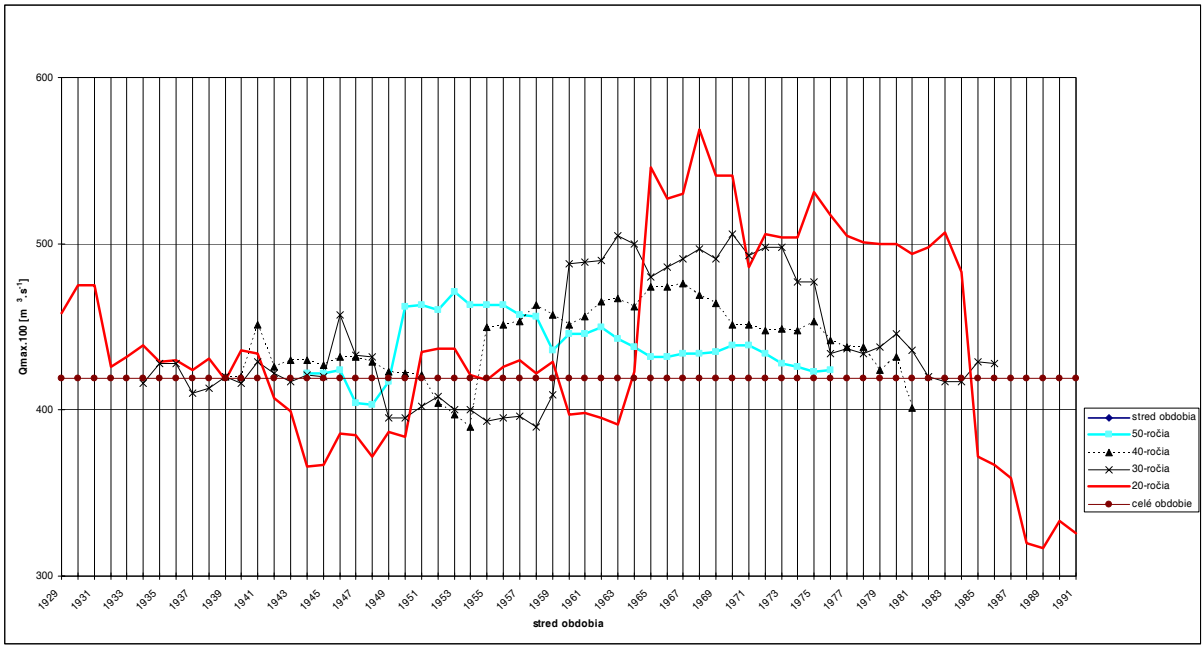
Za najvhodnejšie sa javia rozdelenia, pri ktorých je súčet týchto troch hodnôt najmenší.

Extrapolácia sa pripúšťa až po trojnásobok dĺžky pozorovania (vyznačená oblasť na obr. 3). Programom boli vypočítané hodnoty Q_2, Q_{10}, Q_{20}, Q_{50}, Q_{100}, Q_{200}, Q_{500} a Q_{1000}.
Ukážka výstupu HQ-EX je na obr. 3.



Obr. 3 Výstup pre všetky ponúkané teoretické rozdelenia a odhady parametrov podľa HQ-EX vo vodomernej stanici Banská Bystrica – Hron
Fig. 3 Output for all theoretical distributions and parameters according HQ-EX in the gauging station Banská Bystrica – Hron

Keďže sme sa stretli s prípadmi, že na jednom toku stanice s dostatočne dlhým (nad 25 rokov), avšak rozdielnym pozorovacím obdobím mali podstatne odlišné vypočítané hodnoty, začali sme zisťovať vplyv výberu obdobia na hodnotu vypočítaných prietokov.
Vzhľadom na to, že na vypočítané hodnoty má vplyv nielen dĺžka pozorovacieho radu, ale aj to, ktorá časová realizácia je použitá, resp. je k dispozícii, boli vo vybraných 20-tich vodomerných staniciach s dlhodobým pozorovaním vypočítané hodnoty N-ročných maximálnych prietokov pre 20, 30, 40 a 50-ročia kĺzaním po 1 roku, teoretickým rozdelením log-normal. Na ukážke z vodomernej stanice Hron – Banská Bystrica na obr. 4. je veľmi názorne je vidno, že ak do súboru z ktorého sa výpočet hodnôt vykonáva kĺzaním vstupuje extrémne vysoký kulminačný prietok v októbri 1974, vypočítané hodnoty stúpnu a naopak, ak vypadne, hodnoty sa výrazne znížia. Tiež je zaujímavé 20-ročie 1979-1998, za ktoré boli vypočítané najnižšie hodnoty za celé obdobie 1919-2000, čiže v tomto období mali mnohé ročné kulminácie pomerne nízke hodnoty. Zároveň vidíme, že s dĺžkou radu sa rozptyl hodnôt znižuje, ale aj pri 50-ročných radoch sa hodnota $Q_{max.100}$ pohybuje v rozpätí 403-491 $m^3.s^{-1}$.



Obr. 4 Porovnanie $Q_{max.100}$ podľa dĺžky spracovaného obdobia za jednotlivé 20, 30, 40 a 50-ročia vo vodomernej stanici Banská Bystrica - Hron za obdobie 1919-2000

Obr. 4 Comparison $Q_{max.100}$ according the period length for individual 20, 30, 40 and 50-years periods in the gauging station Banská Bystrica – Hron for 1919-2000

3. STANOVENIE N-ROČNÝCH MAXIMÁLNYCH PRIETOKOV MIMO VODOMERNÝCH STANÍC

Hodnoty N-ročných maximálnych prietokov v profiloch mimo vodomerných staníc sa určujú veľmi zriedka metódou interpolácie a extrapolácie, najčastejšie sa využíva regionalizácia.
Homogénne regionálne typy sme vyčlenili dvojakým spôsobom:

1. zhlukovou analýzou

2. podľa reziduálnych odchýliek regresného vzťahu $q_{100.max}$ od fyzicko-geografických a klimatických charakteristík povodia na územie celého Slovenska

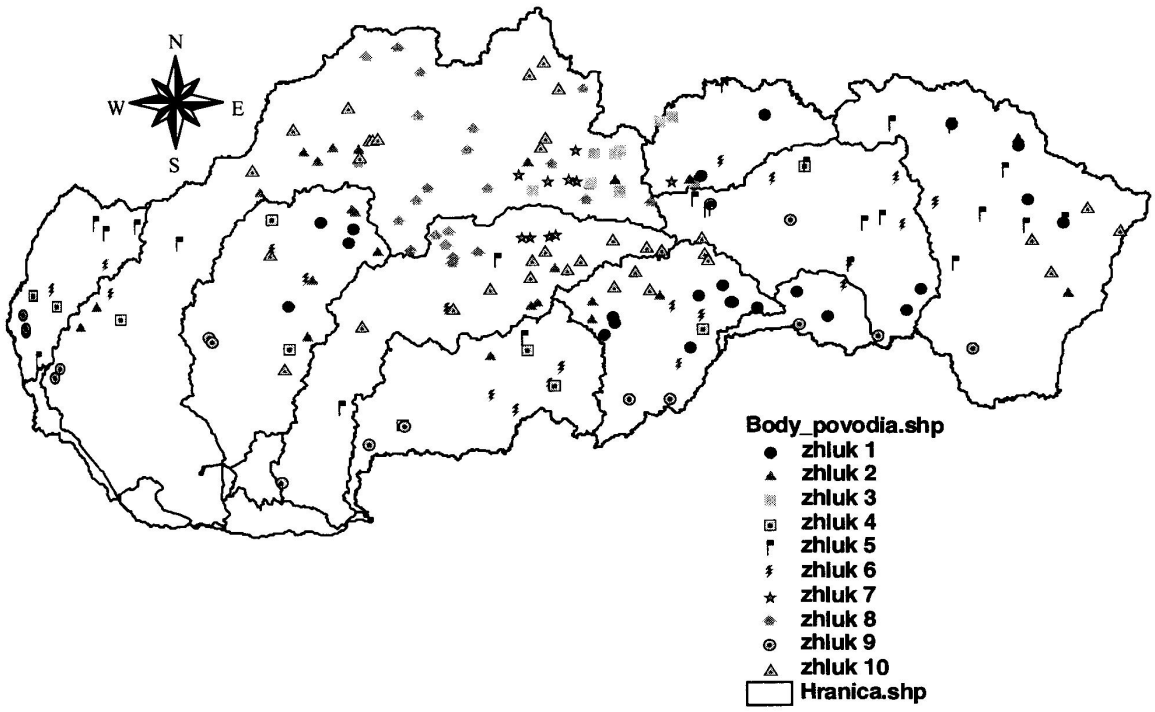
Obidva vychádzajú z rovnakého súboru 198 vodomerných staníc s podstatne neovplyvneným režimom odtoku, dĺžkou radu minimálne 25 rokov (výnimočne kratšími v oblastiach, kde nie je k dispozícii dostatočná sieť vodomerných staníc) a plochou povodia 20 až 300 km^2 (výnimočne väčšou).
Pre všetky stanice boli stanovené fyzicko-geografické a klimatické charakteristiky. Vhodnosť bola testovaná ich vzájomnou mierou korelácie použitím Pearsonovej korelačnej matice a ako premenné boli vybraté štyri charakteristiky:

A - plocha povodia [km^2],
F - lesnatosť [%],
P_3180 - dlhodobý priemerný ročný úhrn zrážok na povodie za obdobie 1931-1980,
HG_{char} - index hydrogeologického charakteru povodia.
Index HG_{char} je založený na priepustnosti (transmisivite) hornín a v podmienkach Slovenska má štyri kategórie – nízka (*n*), stredná (*s*), vysoká (*v*), veľmi vysoká (*vv*). Pre všetky vybrané povodia bolo určené percentuálne zastúpenie plochy jednotlivých kategórií a index bol vypočítaný podľa vzorca

$$HG_{char} = 1*n + 2*s + 3*v + 4*vv$$

3.1. Vyčlenenie homogénnych regionálnych typov zhlukovou analýzou

Použitá bola metóda K-means. Predpokladali sme, že zhluky povodí by sa mali skladať z povodí, ktorých vzájomné vzdialenosti sú malé v porovnaní so vzdialenosťami medzi jednotlivými zhlukmi. Z toho dôvodu bolo najdôležitejším krokom zadefinovanie tzv. miery metriky. Najčastejšie používanou mierou metriky v zhlukovej analýze je Euklidova, ktorú sme aplikovali v našej práci.
Regionálna homogenita bola overovaná testami regionálnej heterogenity (Hosking, Wallis 1997).
Pre tie isté fyzicko-geografické parametre (plocha povodia, hydrogeologický index, zrážka na povodie a lesnatosť) bolo vyhraničených 10 homogénnych regionálnych typov (obr. 5). Tieto práce boli vykonávané v spolupráci s STU.



Obr. 5 Mapa vytvorených 10 homogénnych regionálnych typov na základe zhlukovej analýzy

Fig. 5 Map of 10 homogeneous regional types according join analysis

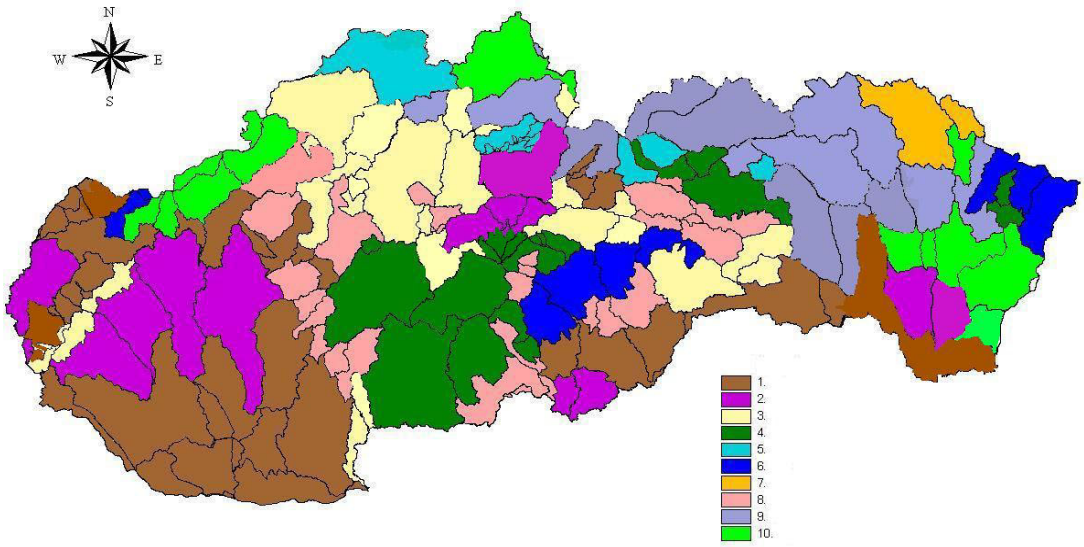
3.2 Vyčlenenie homogénnych regionálnych typov podľa reziduálnych odchýlok regresného vzťahu q100.max od fyzicko-geografických a klimatických charakteristík povodia

Stanovené boli viaceré regresné rovnice, pričom najlepší korelačný vzťah mala rovnica:

$$q_{100.max} = b1 * P_3180^{b2} * (log(A))^{b3} * F^{b4} * HG^{b5},$$

kde $q_{100.max}$ boli stanovené podľa metodiky DVWK –Regeln 101 (1999).

Zoskupením vodomerných staníc s podobnými hodnotami reziduálnych odchýlok, zohľadňujúc do určitej miery fyzicko-geografické charakteristiky, pričom stanice sme nechápali ako bod ale ako celú plochu povodia, bolo vyčlenených 10 regionálnych typov tvorby maximálneho odtoku (obr. 6). Tento spôsob, zahrňujúci do určitej miery aj expertný prístup, umožňuje jednoznačné zaradenie každého podrobného povodia do regionálneho typu, čo je potrebné pre poskytovanie údajov pre akékoľvek povodie.



Obr. 6 Mapa homogénnych regionálnych typov vyčlenených podľa reziduálnych odchýlok regresného vzťahu $q_{100.max}$ od fyzicko-geografických a klimatických charakteristík povodia

Fig. 6 Map of homogeneous regional types according residual deviations of regression relation $q_{100.max}$ from physical and climatic catchments characteristics

3.3 Stanovenie regionálnych vzťahov

Pre každý homogénny regionálny typ stanovený zhlukovou analýzou boli odvodené regionálne regresné vzťahy pre odhad indexovej povodne (priemernej hodnoty maximálnych prietokov). Bolo vybraných viacero kombinácií parametrov, najčastejšie sa vyskytovali: index pôd, doba koncentrácie odtoku podľa Kirpicha, dĺžka toku, sklon povodia a lesnatosť.
Pre každý homogénny regionálny typ vyčlenený podľa reziduálnych odchýlok regresného vzťahu $q_{100.max}$ od fyzicko-geografických a klimatických charakteristík povodia bola odvodená regresná rovnica s rovnakými nezávisle premennými veličinami.
Predbežné porovnanie výsledkov ukazuje, že výsledky obidvoch regionalizácií sú porovnateľné. Po analýzach budú použité pre stanovenie návrhových maximálnych prietokov v oblastiach bez priamych pozorovaní na území Slovenska.

4. HODNOTENIE STANOVENÝCH ÚDAJOV V SYSTÉME POVODIA

Po stanovení N-ročných maximálnych prietokov vyššie uvedenými metódami bola získaná databáza hodnôt pre vodomerné stanice a dôležité profily mimo vodomerných staníc. Po tomto bude nasledovať najnáročnejšia fáza, ktorou je hodnotenie údajov v systéme povodia.
Bude treba zohľadniť princíp skladby maximálnych prietokov - $Q_{max.100}$ hlavného toku pod prítokom je menší ako súčet $Q_{max.100}$ hlavného toku nad prítokom a $Q_{max.100}$ prítoku. Vývoj $q_{max.100}$ po toku má v zásade klesajúci trend a preto čiary regionálnych vzťahov v smere zväčšovania plochy povodia majú klesajúcu tendenciu.

Niektoré získané výsledky nevyhovujú týmto kritériám. Potrebné budú ďalšie analýzy, hodnotenia (napr. dĺžka radu) a znalosť odtokových pomerov príslušného povodia, ako aj viacročné skúsenosti spracovateľa.

5. ZÁVER

Vývoj poznatkov v oblasti určovania návrhových prietokov vo svete v posledných rokoch bol značný. Jeden zo smerov rozvoja je založený na aplikácii a testovaní novších štatistických metód, ďalší na zavádzaní princípov regionalizácie a objektívnych metód výberu regiónov a tretím je využitie zrážko-odtokových modelov. Pri stanovení návrhových prietokov na území Slovenska využívame hlavne prvé dva smery. Vo vybraných problematických profiloch plánujeme využiť aj modelový prístup.
Výslednú návrhovú veličinu zvolíme z výsledkov celého spektra postupov, ktoré považujeme za rovnocenné za predpokladu, že boli dodržané podmienky ich správneho používania. Metódy riešenia sme volili tak, aby bola zachovaná konzistencia a kontinuita s doterajším spôsobom určovania N-ročných maximálnych prietokov.

Literatúra:

Adámyová, S. a kol. (1987): Prehodnotenie N-ročných prietokov v povodí Moravy a Váhu. Záverečná správa úlohy. Interná publikácia SHMÚ Bratislava.

DVWK Regeln 101/1999 (1999): Bemessungshochwassers. Empfehlung zur berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit. Verlag Paul Parey, Hamburg.

Hlubocký, B. a kol. (1977): Opakovanie maximálnych prietokov na slovenských tokoch. Záverečná správa úlohy. Interná publikácia SHMÚ Bratislava.

Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. (1997): Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-moments. Cambridge University Press.

Kašpárek, L. a kol. (2000): Hodnocení a modelování srážko-odtokových vlastností povodí. VÚV, Praha.

Kohnová, S. (2001): Regionálna analýza maximálnych sezónnych prietokov na Slovensku. Habilitačná práca. SvF STU Bratislava.

Kohnová, S., Solín, Ľ. (2002): Hydrologická a hydrogeografická regionálna typizácia a regionalizácia Slovenska. Zborník zo slávnostného kolokvia pri príležitosti 100. výročia narodenia akademika Duba. SHMÚ Bratislava.

Kohnová, S., Kriegerová, I., Szolgay, J. (2005): Metodika tvorby a testovania homogénnych regionálnych typov za účelom regionálnej frekvenčnej analýzy maximálnych prietokov a jej overenie na území Slovenska. Záverečná správa. STU Bratislava.

OTN ŽP 3112-1:03 (2003): Kvantita povrchových a podzemných vôd. Hydrológia. Hydrologické údaje povrchových vôd. Kvantifikácia povodňového režimu. Časť 1: Stanovenie N-ročných prietokov a N-ročných prietokových vĺn na väčších tokoch, Bratislava.

STN 750110 (2002): Vodné hospodárstvo. Hydrológia. Terminológia. Bratislava.

Szolgay, J. a kol. (1999): Stanovenie N-ročných maximálnych prietokov vo vodomerných staniciach. Rozborová úloha, Bratislava.

Szolgay, J. a kol. (2000): Stanovenie N-ročných maximálnych prietokov mimo vodomerných staníc. Rozborová úloha, Bratislava.

Szolgay, J. a kol. (2000): Zhodnotenie odtokových pomerov v povodí Myjavy v oblasti Myjavskej pahorkatiny. STU Bratislava.

Autori

RNDr. Jana Podolinská, Regionálne stredisko SHMÚ Banská Bystrica, Zelená 5, 975 90 Banská Bystrica, jana.podolinska@shmu.sk

RNDr. Helena Šipikalová, Regionálne stredisko SHMÚ Banská Bystrica, Zelená 5, 975 90 Banská Bystrica, helena.sipikalova@shmu.sk

RNDr. Peter Škoda, SHMÚ, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, peter.skoda@shmu.sk

Ing. Lotta Blaškovičová, SHMÚ, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, lotta.blaskovicova@shmu.sk

Mgr. Beata Demeterová, SHMÚ, Ďumbierska 26, 041 17 Košice, beata.demeterova@shmu.sk

ANALÝZA VÝZNAMNÝCH POVODNÍ V POVODÍ ODRY

Tomáš Řehánek

Příspěvek podává soupis pozorovaných povodní, které nastaly v povodí řeky Odry ležícím na Moravě a ve Slezsku v 19. a 20. stol. Uvádí kulminační vodní stavy, resp. průtoky, a příp. další doplňující informace zjištěné z literárních pramenů a databáze ČHMÚ. Podrobněji byly analyzovány největší povodně, jež nastaly ve 20. stol na řece Odře v Bohumíně, tj. v závěrovém profilu řeky Odry.
Bylo zjištěno, že povodeň z roku 1997 představuje extrém, který nebyl v minulosti dosažen. Druhá nejvýznamnější množstvím spadlých srážek, dosaženými objemy odtoků i rozsahem zaplaveného území byla povodeň z roku 1903. Čtyři další hodnocené povodně byly již vcelku srovnatelné s tím, že největší průtok z nich měla povodeň v roce 1939, objem a spadlé srážky povodeň v roce 1985, relativně nejvíce vody odteklo povodní v roce 1940 a nejdelší trvání měla povodeň v roce 1937.

Klíčová slova: povodí Odry, povodeň, analýza

Analysis of significant floods in the Odra river basin. *The article introduces the survey of observed floods that arose in the Odra river basin in Moravian and Silesian region in 19th and 20th centuries. In the article the river stages, discharges, and further complementary information is mentioned. This information has been gathered from resources of CHMI literature and database. The largest floods arisen in the 20th century on Odra River (Odra River outfall) in Bohumin were analysed in detail.*
We have found out that the flood in July 1997 was extreme in comparison with other floods in the past. The second largest flood, comparing the amount of precipitation, total runoff and range of flooding, was the flood in 1903. Other four classified floods were comparable with the following result: the flood in 1939 reached the maximum discharge flow, the maximum volume and the amount of precipitation were reached during the flood in 1985, relative maximum of water runoff were the flood in 1940 and duration were reached during the flood in 1937.

Key words: Odra river basin, floods, analysis

---

1. Úvod

Příspěvek podává soupis pozorovaných povodní, které nastaly v povodí řeky Odry ležícím na Moravě a ve Slezsku (dále jen povodí Odry) v 19. a 20. stol. Uvádí kulminační vodní stavy, resp. průtoky, a příp. další doplňující informace zjištěné z literárních pramenů a databáze ČHMÚ. Podrobněji byly analyzovány největší povodně, jež nastaly ve 20. stol na řece Odře v Bohumíně, tj. v závěrovém profilu řeky Odry. Byla přitom do minulosti prodloužena řada maximálních ročních průtoků tohoto profilu. Došlo ke zpracování příčinných srážek na plochu povodí a byly stanoveny všechny základní parametry vybraných povodňových vln.

Na Odře nad Olší se začalo s pravidelným pozorováním vodních stavů ve stanici Annaberg (dnešní Chalupki v Polsku) 1. února 1891 [10]. Tato stanice leží cca 150 m níže po toku od české stanice Bohumín (původně Oderberg), která byla zřízena v roce 1899. Nad stanicí Bohumín byly od roku 1894 pozorovány vodní stavy v Pasekách u Antošovic (viz obr. 1). Již od roku 1890 pozorovala na Odře vodočetná stanice Olza, která však ležela pod soutokem Odry s Olší (dnes již na území Polska). A dokonce už v roce 1821 byl pruskou správou zřízen na Odře u Bohumína vodočet, který měřil vodní stavy pouze nepravidelně, zřejmě za větších vod. Stanice Annaberg pravděpodobně na jeho pozorování navazovala.

Ještě starší záznamy o vodních stavech na řece Odře je možno zjistit až z polské stanice Ratiboř, která pozoruje již od 1.1.1820 [10]. Jedná se o profil, který je sice vzdálen od české části povodí Odry, avšak bez významnějších přítoků, takže z údajů tam zjištěných je možno dobře usuzovat na režim vodních stavů zájmového území.

2. Historické záznamy o povodních

2.1 Nejstarší pozorované povodně

Za vůbec nejstarší pozorovanou povodeň v povodí Odry můžeme prozatím považovat epizodu ze srpna 1813 [10], která byla zaznamenána na Odře v polské Ratiboři a také na Opavě v Opavě ve dnech 26.-28.8. V Opavě tehdy dosáhla hladina vody 320 cm nad úroveň "obyčejných" vodních stavů. Byla označena povodňovou značkou, podle jejíž úrovně byly v Opavě posuzovány další povodně v letech 1831, 1854, 1860 a 1880. Povodeň ze srpna 1813 byla zaznamenána také na Bělé v Jeseníku a na Ostravici v Moravské Ostravě.

Druhá významná pozorovaná povodeň byla zaevidována na Odře u Bohumína 12.9.1831 při vodním stavu 502 cm. Při ústí Ostravice do Odry došlo tehdy u Hrušova k přetržení hráze Heřmanického rybníku a bylo zalito rozsáhlé území u Vrbice, Pudlova, Šunychlu a Kopytova.

Na Odře v Olze a v Ratiboři (Polsko) byla pozorována povodeň také v srpnu 1854 [10]. Je uváděna i pro Opavu v Opavě.

Hydrografické zemské oddělení v Opavě zpracovalo a vyhodnotilo v srpnu 1913 povodeň na řece Moravici v Leskovci a v Moravské Hartě z 23. června 1861. Uvádí, že by odpovídala vodnímu stavu 405 cm (650 $m^3.s^{-1}$) na vodočtu v Moravské Hartě, a že se jednalo o největší známou povodeň v povodí Moravice. Další významná povodeň v této oblasti proběhla v červenci 1890, kdy dosáhla v Moravské Hartě stavu 305 cm (340 $m^3.s^{-1}$) [10].

Pro Odru v Annabergu je uváděna povodeň z 5. srpna 1880, při kulminaci 530 cm (v Olze 710 cm). U železničního mostu v Bohumíně byla tehdy zjištěna při kulminaci střední rychlost 2,11 $m.s^{-1}$ a průtočným profilem mostu protékalo 1374 $m^3.s^{-1}$ vody. Povodeň je zmiňována také pro řeku Opavu v Opavě (340 $m^3.s^{-1}$) a pro Ostravici ve Frýdku (okolo 1000 $m^3.s^{-1}$, vodní stav přes 400 cm). Povodeň měla dvě samostatné vlny. První, kterou způsobily hlavně beskydské přítoky Odry, kulminovala 5.8. ve Svinově na Odře při 240 cm, v Hrušově na Ostravici při 380 cm a v Závadě na Olši při 320 cm. Na řece Opavě v Jilešovicích kulminovala povodeň 7.8. při 122 cm. Druhá vlna vrcholila ve Svinově na Odře 15.8. (218 cm), v Jilešovicích na Opavě 14.8. (150 cm), v Hrušově na Ostravici 16.8. (132 cm) a v Závadě na Olši 12.8. (120 cm). Po povodni z roku 1880 se na řece Odře začaly budovat ochranné hráze a na Ostravici byly ve Frýdlantu, Frýdku a Ostravě dne 9.6.1881 zřízeny vodočty [7]. Pozorování na nich byla nepravidelná a sloužila pouze protipovodňovým účelům.

Další významná povodeň proběhla 17.6.1894, kdy Ostravice v Moravské Ostravě dosáhla v 11 hod. 965 $m^3.s^{-1}$ a krátce na to kulminovala Olše ve Věřňovicích (960 $m^3.s^{-1}$). Opavu s Odrou tato povodeň téměř nezasáhla – pod Bohumínskou stružkou protékalo Odrou nejvýše 75 $m^3.s^{-1}$, v místě soutoku Odry s Olší pak cca 2000 $m^3.s^{-1}$, ale vlivem rozlivů dosáhla kulminace v Olze 17.6. v 16 hod. „jen" 1600 $m^3.s^{-1}$. Při soutoku musela vlna z Olše předběhnout vlnu z Ostravice, která se pohybovala rychlostí 4 $km.hod.^{-1}$ [10].

V povodí Odry proběhla povodeň také v roce 1895 [10], kdy 13.3. kulminovala řeka Olše ve Věřňovicích (444 cm). Na ostatních tocích však povodeň nastala až koncem měsíce března, a to 29.3. na Bělé v Jeseníku (80 cm), 30.3. pak na Opavě v Kravařích (217 cm) a na Odře v Hošťálkovicích (415 cm) a v Pasekách (408 cm). O této povodni jsou zmínky i v jiných pramenech [10], kde se uvádí kulminace i pro stanici Lhotku na řece Odře (424 cm dne 30.3.). Při měření za povodně v březnu 1895 v blízkosti železničních mostů přes řeku Odru byla zjištěna v Suchdole střední rychlost vody 2,23 $m.s^{-1}$ a průtok 276 $m^3.s^{-1}$, ve Studénce pak střední rychlost 2,88 $m.s^{-1}$ a průtok dosáhl 470 $m^3.s^{-1}$.

V [5] je pro řeku Odru v Bohumíně uveden jako nejstarší vyhodnocený povodňový průtok 660 $m^3.s^{-1}$ z 8. května 1896. Tento údaj byl odvozen ze stanice Annaberg na základě grafického vztahu mezi kulminačními vodními stavy této stanice a stanice Bohumín (ta pozoruje od roku 1899). Převod na průtoky byl možný za pomocí sestrojené měrné křivky z tehdy provedených hydrometrických měření. Odra v Annabergu v uvedeném dni kulminovala při vodním stavu 444 cm. Povodeň je zaznamenána také pro Odru ve Svinově (190 $m^3.s^{-1}$) a Opavu v Opavě (142 $m^3.s^{-1}$) a v Děhylově (200 $m^3.s^{-1}$).

V povodí Odry byly významné také ledové povodně. Nejstarší byla zaznamenána v zimě 1880 v Hrušově u Koblovského jezu. Ledové zácpy nastaly v meandrech Odry pod Bohumínem v letech 1861 a 1868 [10]. U těchto povodní bohužel schází informace o jejich rozsahu. Uváděny jsou také

časté zámrzy řeky Odry v úseku od Lhotky po ústí Olše. Na Odře v Annabergu nastala povodeň podmíněna ledem 9.3.1891 při stavu 458 cm. Bělá v Jeseníku kulminovala v zimě 1893 dne 27.1. při 116 cm.

2.2 Povodně 20. století

Ve 20. století proběhlo v povodí Odry několik významných povodní, o kterých bylo publikováno již více informací, byly zapsány kulminace, spadlé srážky a často i vyhodnoceny průtoky vody.

První povodeň proběhla v roce 1902 zejména v beskydské části povodí Odry. Byla způsobena srážkami, které vypadávaly ve dnech 12.-15.6, 16.-19.6. a 21.-25.6. Obzvláště prudce vypadávaly srážky ve dnech 16. až 19.6. Největší srážka byla změřena dne 19.6. na Lysé hoře (145 mm). Hladiny řek kulminovaly v návaznosti na spadlé srážky ve třech vrcholech okolo 16., 20. a 25.6. Nejvyššího stavu bylo dosaženo 20.6. (viz tab. 1). Při povodni byla zaplavena rozsáhlá údolí, mnoho vesnic a městských částí, bylo zničeno mnoho mostů a jiných stavebních objektů. Hráz železniční trati Ostrava-Frýdlant byla místy tak poškozena, že její provoz byl na několik dnů zcela zastaven [4].

Tab. 1 Kulminační vodní stavy za povodní 1902 a 1903 v povodí Odry [4]
Tab. 1 Crest stage during floods 1902 and 1903 in Odra river basin [4]

Vodní tok	Stanice	Povodeň 1902			Povodeň 1903		
		Datum	Hodina	Vodní stav [cm]	Datum	Hodina	Vodní stav [cm]
Odra	Odry	20.6.	11	111	11.7.	6	110
	Suchdol	20.6.		270	11.7.	8	292
	Svinov	20.6.	11	416	11.7.	15	445
Opava	N. Heřminovy	20.6.	8	176	10.7.	13	254
	Krnov	20.6.	11	266	10.7.	24	356
	Skrochovice	20.6.	14	255	11.7.	3	330
	Opava	21.6.		335	11.7.	4:30	525
Moravice	Mor. Harta	18.6.	16:30	124	11.7.	24	172
	Kylešovice	21.6.	6	260	11.7.	9	400
Opava	Kravaře	21.6.	5	204	11.7.	6	277
	Třebovice	22.6.	13	290	11.7.	20	359
Odra	Hošťálkovice	20.6.	12	418	11.7.	16	469
	Přívoz	20.6.	14:20	405	11.7.	17	453
Ostravice	Frýdek	20.6.	2	410	11.7.	8	315
	Mor. Ostrava	20.6.	8	390	11.7.	12	310
	Hrušov	20.6.	11	280	11.7.	14	280
Odra	Paseky	20.6.	15:20	513	11.7.	19:30	564
	Bohumín	20.6.	16	540	11.7.	20:30	576
Olše	Těšín	20.6.	4	320	11.7.		300
	Závada	20.6.	12	266	11.7.		260
Odra	Olza	20.6.	15	651	11.7.	22	720

V roce 1903 proběhly v povodí Odry dokonce tři povodně, v dubnu z tání sněhu, v červenci ze srážek a v listopadu, která byla způsobená srážkami i tajícím sněhem. Katastrofální následky měla „stoletá“ povodeň z července t.r. Byla způsobena velmi vydatnými srážkami nad Slezskem ze začátku července a relativně mokrým červnem. Největší srážka byla zjištěna ve stanici Nová Červená Voda (240 mm) dne 9.7., a představuje současně dosud největší jednodenní srážku v povodí Odry. Povodeň zasáhla hlavně střední a západní část povodí - Odru, Opavu, Opavici, Bělou a Osoblahu. Beskydské toky (Ostravice a Olše) nepřesáhly své kulminace z června 1902, ačkoliv srážky zde byly o něco vyšší. Odteklo z nich méně vody, protože oproti červnu 1902 byla o 3 ^{o}C vyšší teplota vzduchu, vyšší výpar a vzrostlejší vegetace [4].

Již 7. a 8.7.1903 vypadávaly v pramenné části Odry a jejich pravostranných přítoků značné srážky. V povodí Opavy v těchto dnech jen poprchávalo. Řeka Opava se do poledne 9.7. jen nepatrně zvedla,

kdežto jiné řeky již vykazovaly první kulminace večer 7.7., které pak získaly na významu 8. a 9.7. večer. Hlavní vlna Odry odtékala rychlostí 6 km/hod. k říšské hranici, kde u obce Olza kulminovala 11.7. okolo 22 hod. Vlna byla silně dotována beskydskými přítoky. Olše sice kulminovala v ústí o 9 hod. dříve, ale také přispěla k celkové velikosti vlny. Řeka Opava měla dvě kulminace, které se při ústí do Odry slily v jednu vlnu s vrcholem 11.7. v 21 hod. Proběhla zde cca 5 hod. po kulminaci řeky Odry.

Povodeň z července 1903 si jen na Opavsku vyžádala 4 oběti a škody dosáhly 20 mil. rakouských korun. Po povodních v roce 1902 a 1903 se přistoupilo k úpravě toků na Těšínsku a Opavsku. O úpravách koryt řek a zahloubení některých bystřin se přitom uvažovalo již roku 1880, k celoplošné realizaci projektu však tehdy nedošlo [8].

Další povodně nastaly v povodí Odry v desátých a třicátých letech 20. stol. O těchto povodních jsou zachovány informace o dosažených vodních stavech a vyhodnocených kulminačních průtocích. Podrobnější zpracování ve formě studie však pravděpodobně nenastalo. Téměř stejné velikosti dosáhly kulminace v letech 1910, 1911 a 1915. Podle dnes platných N-letých průtoků to byly cca 10-ti leté vody. Podobného významnu byly povodňové situace v letech 1930 a 1931. Na konci třicátých let proběhly povodně, které byly svými kulminacemi významnější než výše uvedené. Bylo to v letech 1937, 1939 a 1940. Podrobněji jsou analyzovány v kap. 3. Nejvýznamnější ze zde uvedených povodní kulminovala na Odře v Bohumíně dne 27.7.1939 při průtoku 1360 $m^3.s^{-1}$ [5]. V uvedeném profilu to bylo více než při povodni z června 1902 a byla to třetí největší povodeň v povodí Odry ve 20. stol.

Ve druhé polovině 20. stol. proběhly, pomineme-li nyní extrém z roku 1997, tři významnější povodně, a to v červenci 1960, v srpnu 1972 a v srpnu 1985. Jinak bylo toto období na povodně poměrně chudé (viz obr. 3). Povodeň z července 1960 zasáhla hlavně beskydskou část povodí Odry. Největší srážky vypadly 25.7. v Řečici (227 mm) a v Podolankách (209 mm) [6]. Vlna tehdy kulminovala na Odře v Bohumíně 26.7. při průtoku 890 $m^3.s^{-1}$. Ve stejný den kulminovala Ostravice v Ostravě při průtoku 680 $m^3.s^{-1}$. Takže cca 3/4 průtoku v Bohumíně bylo z řeky Ostravice. Na Ostravici to byla osmá největší pozorovaná povodeň. Také povodeň ze srpna 1972 zasáhla především beskydskou část zájmového území, a to zvláště Slezské Beskydy a okolí. Nejvyšší denní úhrny byly zaznamenány 21.8. ve stanicích Nýdek (215 mm), Šance (214 mm) a Lysá hora (212 mm) [1]. V Bohumíně protékalo při kulminaci dne 22.8. 936 $m^3.s^{-1}$, na Olši ve Věřnovicích téhož dne 750 $m^3.s^{-1}$. Na Olši to byla velmi významná povodeň, druhá největší pozorovaná. Protékalo tam tehdy více vody než při povodni v roce 1997. Na Olši byla významná také povodeň z července 1970 (opět větší než z července 1997). Také v tomto případě byly vydatnými srážkami zasaženy převážně beskydské toky. Na Ostravici se tato povodeň významně neprojevila [2]. V srpnu 1985 bylo srážkově zasaženo téměř celé povodí Odry. Nejvíce jich vypadlo dne 8.8. v Morávce-Lúčce (146 mm) a na Lysé hoře (138 mm). Relativně nejvíce srážek v porovnání s dlouhodobým srpnovým úhrnem však spadlo ve Vidnavě (219 %) [3]. Na Odře v Bohumíně kulminovala povodeň 9.8. při 1050 $m^3.s^{-1}$. Na Olši ve Věřňovicích to byla dosud největší pozorovaná povodeň – největší průtok 10.8. 830 $m^3.s^{-1}$. Dvě regionální povodně se vyskytly v roce 1996. V květnu to bylo na přítocích Opavy, kdy byly velmi poničeny obce ležíci na toku Čižiny a Zátoráčku. V Opavě dosáhla povodeň více než 20-ti letého průtoku. V září bylo vydatnými srážkami zasaženo hlavně povodí Olše. Ve Věřňovicích kulminovala Olše dne 8.9.1996 při průtoku 648 $m^3.s^{-1}$.

Povodeň z července 1997 byla v povodí Odry dosud největší jak z hlediska dosažených kulminací, tak spadlých srážek i odteklého množství vod (dále viz kap. 3). V období pozorování představuje na Odře v Bohumíně naprostý extrém, kterému se nepřibližuje ani povodeň z července 1903. Taktéž z dosud známých záznamů o historických povodních taková to situace v minulosti nikdy nenastala.

3. Významné povodně 20. století a jejich analýza

Ve 20. stol. bylo pozorováno na Odře v Bohumíně několik povodňových situací (viz kap. 2.2), z nichž bylo pro bližší analýzu vybráno šest s největším kulminačním průtokem. Vůbec největší průtok zde protékal 8. července 1997. Byl vyhodnocen na 2160 $m^3.s^{-1}$, tj. dle dnes platných N-letých průtoků zhruba 200-letý průtok. Tato hodnota je extrémem vybočujícím z řady ostatních kulminací (viz obr. 3). Druhý největší průtok nastal 11. července 1903 a byl vyhodnocen na 1500 $m^3.s^{-1}$ [5].

Tento průtok byl sice původně stanoven na 1710 až 1820 $m^3.s^{-1}$, ale dalšími výpočty zpřesněn a snížen na výše uvedenou hodnotu. Více než 1200 $m^3.s^{-1}$ protékalo v tomto profilu ještě za povodní v letech 1880, 1902 a 1939. První dvě povodně není možné podrobně analyzovat z důvodu absence potřebných dat. V roce 1939 byl vyhodnocen průtok 1360 $m^3.s^{-1}$, který zde nastal 27 července. Tři největší povodně 20. stol. tedy probíhaly ve stejném měsíci. V roce 1880 byl dle výpočtu dosažen téměř shodný průtok s povodní v roce 1939, kulminace však nastala v srpnu. Více než 1000 $m^3.s^{-1}$ a méně než 1200 $m^3.s^{-1}$ protékalo Odrou v Bohumíně v letech 1915, 1937, 1940 a 1985. Hodnocení největších pozorovaných povodní bylo doplněno o tři poslední z nich – 1937 (kulminace 13.9. 1100 $m^3.s^{-1}$), 1940 (kulminace 20.5. 1160 $m^3.s^{-1}$) a 1985 (kulminace 9.8. 1050 $m^3.s^{-1}$). Z hlediska sezónního výskytu kulminací větších než 1-letý průtok za období 1896-2002 tvoří téměř polovinu výskytu povodně letní. Významné jsou ještě povodně jarní (cca 30 %), způsobené především jesenickými přítoky. V zimním období nastávají na Odře povodně velmi zřídka. Při zpracovávání podkladů pro tuto analýzu byla prodloužena do minulosti řada maximálních ročních průtoků na Odře v Bohumíně. Dosud nejstarší údaj byl stanoven pro rok 1896. Maximální vodní stav v roce 1895 byl přepočten podle pozorování v nedaleké stanici Paseky. Největší vodní stavy z let 1894, 1891, 1880 a 1831 byly přepočteny dle pozorování v sousední stanici Annaberg. Přepočet byl proveden na základě dochovaných údajů o "0" vodočtů v uvedených stanicích. Největší vodní stavy z let 1893, 1890 a 1888 byly odvozeny na základě vztahu mezi pozorovanými kulminacemi ve stanicích Annaberg a Olza na řece Odře. Takto zjištěné vodní stavy byly převedeny na průtoky pomocí měrné křivky průtoků řeky Odry v Bohumíně platné v období let 1903-1920. Původní řada Q_{max} byla doplněna o kulminace výše uvedených let, doplněna o největší průtoky z let 1999-2005 a posloužila k ověření platných N-letých průtoků, stanovených za období 1896-1998. Bylo zjištěno, že prodloužená řada maximálních průtoků významně neovlivnila platné údaje tzv. velkých vod.

Také z hlediska dosažených objemů odtoků byla povodeň z července 1997 jednoznačně největší. Dosáhla 709 mil. m^3 (152 mm). Druhá nejvýznamnější odtoková epizoda nastala v červenci 1903, kdy odteklo 439 mil. m^3 vody (94 mm). Rozdíl v objemu uvedených vln je však podstatný (viz obr. 4). Další z hodnocených povodní nejsou z hlediska dosažených objemů odtoků příliš rozdílné (viz tab. 3). Jejich pořadí se však od pořadí dosažených kulminací liší. Třetího největšího odtoku dosáhla povodeň v srpnu 1985, následují povodeň 1940, 1939 a 1937.

Co se týká trvání povodňových situací, tak ty se ve všech případech pohybovaly v rozmezí 10 - 13 dnů (viz tab. 3). Zde je možné za nejdéle trvající považovat situaci ze září 1937, a to zejména proto, že před vlastním vzestupem vlny trvaly již téměř tři dny zvýšené stavy. Byla tedy delší i než povodeň z roku 1997, která měla prudký vzestup průtoků (viz obr. 4). Je však třeba uvést, že toto hodnocení není zcela objektivní. Srovnatelné by bylo při hodnocení trvání povodně od vzestupu nad Q_a po opětný pokles pod tuto hodnotu. To je u historických povodní obtížně proveditelné, protože vlny nebyly jednak v takovém rozsahu konstruovány a jednak by mnohde bylo nutno odseparovat další podružné vlny. Tvarově mají všechny vlny velmi podobný průběh poklesových větví. U vzestupů lze vysledovat dva průběhy. První, kdy po mírném déletrvajícím stoupání průtoků dojde k prudkému nárůstu a dosažení kulminace (1937, 1939 a 1940). Zajímavé je, že je to u třech vln z konce 30-tých let. Druhý typ, kdy dojde k výraznějšímu vzestupu průtoků, jeho ustálení a následnému vystoupání ke kulminaci (1903, 1985 a 1997). Jsou to vlny, které formovaly jak beskydské tak jesenické přítoky řeky Odry. První vzestup a tím větší objem vln je způsoben jedním z přítoků, vlastní vzestup pak způsobil jiný přítok, který kulminoval o něco později a vléval se do již zvednuté Odry.

Všechny z analyzovaných povodní nastaly v letním období a byly způsobeny vydatnými srážkami, které vesměs vypadávaly do nasyceného povodí. Pro možnost srovnání množství příčinných srážek, které vyvolaly jednotlivé povodňové situace, byly zpracovány 3-denní maximální srážky pro 22 srážkoměrných stanic v povodí Odry. Přitom byly vybrány takové stanice, ze kterých byly pro jednotlivé povodně přímo měřené srážky, nebo bylo možno srážky doplnit podle měření sousedních stanic. To bylo potřeba u některých stanic ve válečných letech 1939 a 1940 (viz tab. 2). 3-denní maximální srážky byly v prostředí GIS rozpočítány na povodí jednotlivých řek v povodí Odry a na povodí uzavřené vodoměrnou stanicí Bohumín (viz tab. 3). Zjištěné výsledky je tedy možno vzájemně porovnávat. Nejvíce srážek spadlo na povodí řeky Odry po Bohumín ve dnech 5.-7. července 1997, a to 249 mm vody. Druhá nejvyšší příčinná srážka spadla ve dnech 8.-10. července 1903 (122 mm) (viz obr. 2), a téměř stejně tolik srážek předcházelo povodni v srpnu 1985, kdy ve dnech 6.-8.8. spadlo

(120 mm). Následovaly příčinné srážky předcházející povodním 1939 (104 mm), 1940 (98 mm) a 1937 (83 mm).

Tab. 2 Příčinné 3-denní srážkové úhrny [mm]
Tab. 2 3-daily precipitation whose floods [mm]

Srážkoměrná stanice	VII/1903	IX/1937	VII/1939	V/1940	VIII/1985	VII/1997
Bělá p. P.	329	41	126	234	150	389
Bělotín	66	91	107	do 30	125	188
Bohumín	96	70	143*	57*	99	162
Bruntál	74	68	65*	56*	67	108
Čeladná	244	94	196	199	217	342
Český Těšín	105	64	85*	95*	160	164
Frenštát p. R.	112	85	121	122	207	398
Heřmanovice	311	91	122	223	137	382
Hodslavice	112	93	144	97	123	267
Hukvaldy	108	84	124	98	157	277
Jablunkov	114	do 30	100*	150*	189	277
Lysá hora	264	95	219	230*	267	510
Mikulovice	80	70	77	126	149	160
Odry	do 30	90	74	60*	81	219
Olešná	108	76*	88	118	147	207
Opava	88	84	65*	56*	69	159
Osoblaha	114	78	66	82	95	101
Rejvíz	368	85	112	207	166	441
Skřípov	128	120	70*	78	113	275
Vidly	209	56	161	175	138	431
Vidnava	53	33	70	65	140	168
Zlaté Hory	262	52	80*	162	139	311

* odvozeno dle pozorování v sousedních stanicích

Tab. 3 Parametry největších pozorovaných povodní řeky Odry v Bohumíně
Tab. 3Parameters of greats observe floods on Odra river in Bohumin

	VII/1997	VII/1903	VII-VIII/1939	V/1940	IX/1937	VIII/1985
Qkulm [$m^3.s^{-1}$]	2160	1500	1360	1160	1100	1050
W [mil. m^3]	709	439	296	349	273	376
R [mm]	152	94	64	75	59	81
P [mm]	249	122	104	98	83	120
C [ ]	0.61	0.77	0.61	0.76	0.71	0.67
T [den]	12	10	10	12	13	11

Odtokové koeficienty analyzovaných povodní se pohybovaly v rozmezí 0,61 - 0,77 (viz tab. 3). Relativně nejvíce vody ze spadlých srážek odteklo při povodni v roce 1903, následovaly povodně z let 1940 a 1937. Shodně vycházely odtokové koeficienty povodní z let 1997 a 1939.

4. Závěr

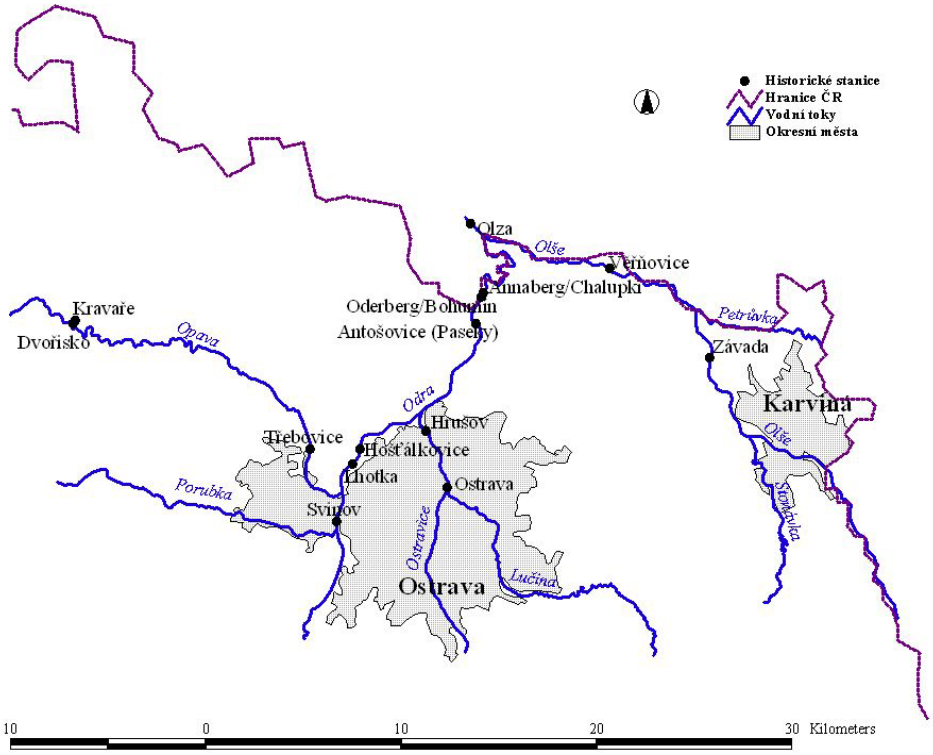
V příspěvku byly zpracovány kulminační vodní stavy, a příp. průtoky, povodní, které nastaly v povodí řeky Odry na severní Moravě a ve Slezsku od roku 1813 do současnosti. Do minulosti byla prodloužena řada maximálních ročních průtoků řeky Odry v Bohumíně. Největší povodňové situace 20. stol. řeky Odry v Bohumíně byly podrobněji zkoumány s těmito výsledky:

- největší kulminační průtok nastal 8.7.1997
- největší objem měla povodňová vlna z července 1997
- nejvíce příčinných srážek předcházelo povodni z čevence 1997
- relativně nejvíce vody ze spadlých srážek odteklo při povodni z července 1903
- nejdéle trvala povodňová vlna v roce 1937

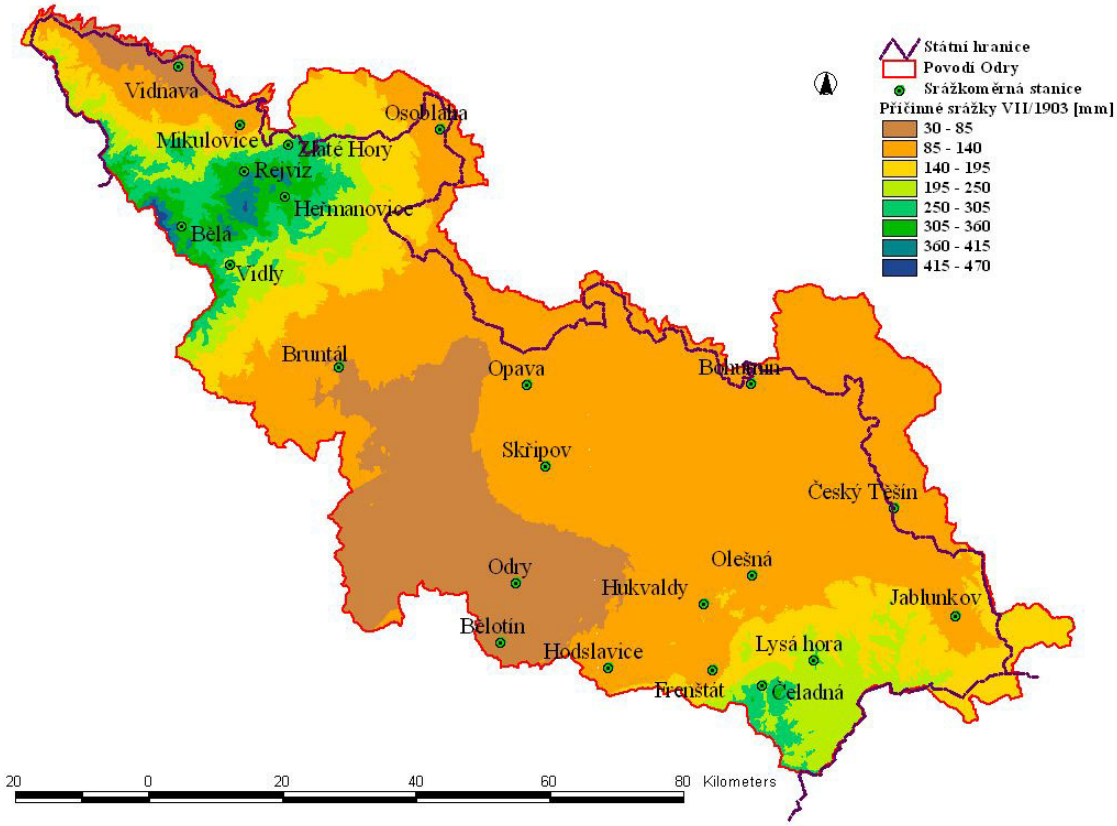
Povodeň z roku 1997 představuje extrém, který nebyl v minulosti dosažen. Druhá nejvýznamnější množstvím spadlých srážek, kulminací, dosaženými objemy odtoků i rozsahem zaplaveného území byla povodeň z roku 1903. Čtyři další hodnocené povodně byly již vcelku srovnatelné, s tím, že největší kulminační průtok z nich měla povodeň v roce 1939. Objem a příčinné srážky byly největší za povodně v roce 1985, relativně nejvíce vody odteklo za povodně v roce 1940 a nejdelší trvání měla povodeň v roce 1937. Přitom povodně na konci 30-tých let nastaly tři v rychlém sledu po sobě, poté nebylo povodí Odry zasaženo významnější povodní až do roku 1985 a následně mimořádnou povodní v roce 1997.

5. Literatura

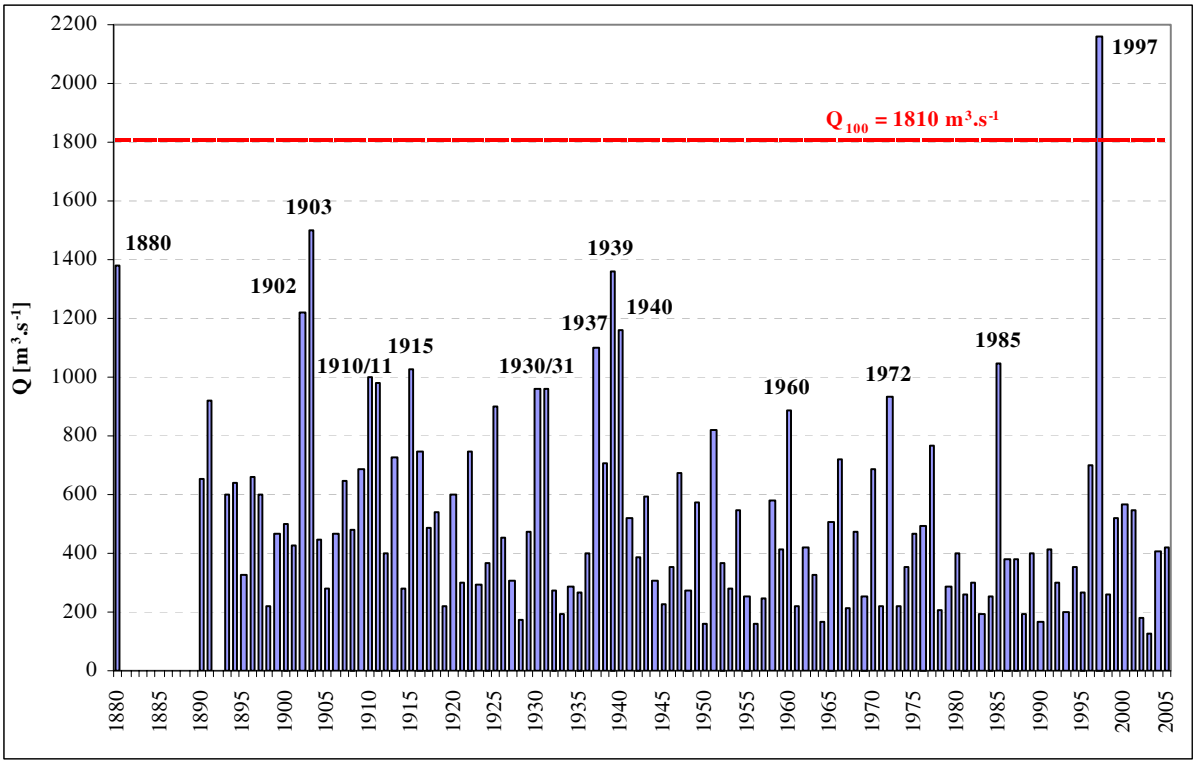
1) DOLEŽEL, F. – SOCHOREC, R. – KŘÍŽ, V., 1976. Hydrologické vyhodnocení povodně ze srpna 1972 v povodí Odry. In: Sborník prací HMÚ, sv. 23. Praha, HMÚ, s. 9-37.
2) DOLEŽEL, F., 1971. Mimořádné odtoky v povodí Odry v hydrologickém roce 1970. In: VTEI 5/1971. Praha, VÚV, s. 202-206.
3) HOŠEK, A. – KOBLIHOVÁ, E. – SOCHOREC, R., 1988.Hydrologické vyhodnocení povodně v srpnu 1985 na tocích Severomoravského kraje. In: Sborník prací ČHMÚ, sv. 33. Praha, ČHMÚ, s. 42-64.
4) Jahrbuch des K. k. hydrographischen Central-Bureaus, 1905. Jahrgang 1903. XI. Das Oder-Gebiet in Mahren und Schlesien. Wien, Hydrographischer Dienst in Osterreich.
5) KŘÍŽ, V. – SOCHOREC, R. – KŘÍŽ, H., 1964. Opakování velkých vod v povodí Odry. Sborník prací HMÚ, sv. 5. Praha, HMÚ. 131 s.
6) KŘÍŽ, V. – SOCHOREC, R., 1963. Hydrologické vyhodnocení povodně z července 1960 v povodí Odry. Praha, HMÚ. 72 s.
7) Mahrisch-Schlesischer Grenzbote, 1881. Organ des osterreichisches Verfassungsvereins fur Mahrisch-Ostrau und Umgebung. V Jahrgang, Nr. 46, 9. Juni 1881.
8) Moravskoslezský deník, 2003. Co psal Opavský týdeník před sto lety? 12.9. a 7.11.2003.
9) ŘEHÁNEK, T., 2002. Povodeň na řece Odře v červenci 1997. Práce a studie, sešit 31. Praha, ČHMÚ. 41 s.
10) ŘEHÁNEK, T., 2004. Záznamy o historických povodních v povodí Odry. In: Sborník příspěvků z konference Říční krajina. Olomouc, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, s. 216-226.



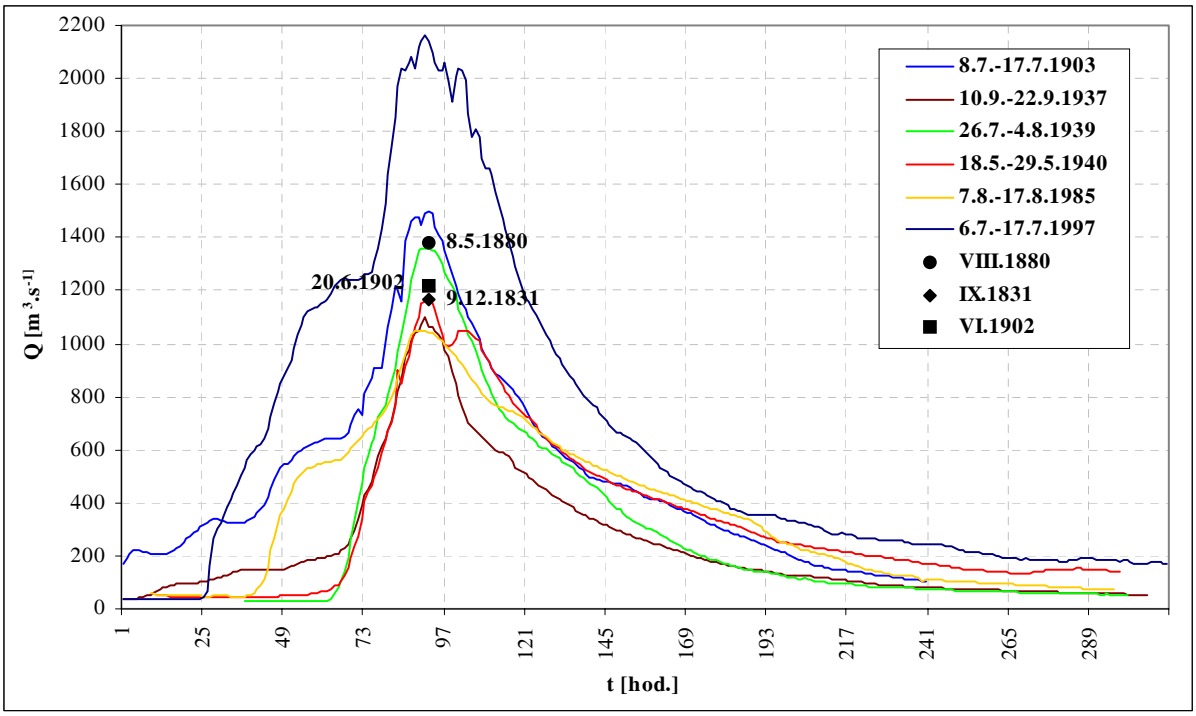
Obr. 1 Historické vodočetné stanice na soutoku hlavních řek povodí Odry
Fig. 1 Historical gauge station on confluence of main rivers in Odra river basin



Obr. 2 Příčinné srážky povodně z července 1903
Fig. 2 Cause precipitation of flood in july1903



Obr. 3 Maximální roční průtoky řeky Odry v Bohumíně
Fig. 3 Maximum peak discharge of Odra river in Bohumin



Obr. 4 Největší pozorované povodně na Odře v Bohumíně
Fig. 4 Greats observe floods on Odra river in Bohumin

Autor: RNDr. Tomáš Řehánek, Ph.D., Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ostrava, K Myslivně 3/2182, 708 00 Ostrava-Poruba, E-mail: rehanek@chmi.cz

ANALÝZA NIEKTORÝCH ASPEKTOV IDENTIFIKÁCIE HYDROLOGICKY HOMOGÉNNYCH REGIONÁLNYCH TRIED PRE ÚČELY REGIONÁLNE FREKVENČNEJ ANALÝZY MAXIMÁLNYCH PRIETOKOV

Ľubomír Solín

Napriek určitým špecifikám, ktoré má regionálne členenie územia vzhľadom na hydrologické atribúty, aplikácia terminológie ako aj základných metodologických princípov rozpracovaných v rámci regionálnej taxonómii môže napomôcť odstrániť mnohé nie celkom jednoznačné a niekedy aj nekonzistentné postupy v procese identifikovania hydrologicky homogénnych regionálnych tried. Cieľom príspevku je stručná charakteristika základných pojmov a metodologickych postupov regionálnej taxonómie a analýza niektorých aspektov vyčleňovania hydrologicky homogénnych tried pre účely regionálnej frekvenčnej analýzy z pozície všeobecných princípov regionálnej taxonómie.

Kľúčové slová: hydrologická heterogenita, hydrologická homogenita, región, regionálny typ, regionálna taxonómia, regionálne frekvenčná analýza maximálnych prietokov

Some aspects of identification hydrological homogeneous regional classes for purpose of regional flood frquency analysis. *In spite of the specific features, which posses a regional division of study territory relate to hydrological attributes, application of terminology and basic methodological principles developed in regional taxonomy can remove ambiguous and inconsistent features in identifying hydrological homogenous regional classes. The aim of the paper is to outline a brief review of some terminological and methodological aspects of regional taxonomy and analyse some aspects of delineation of hydrological regional classes for regional flood frequency analysis in the light of regional taxonomy.*

Key words: hydrological heterogeneity, hydrological homogeneity, region, regional taxonomy, regional type, regional flood frequency analysis

---

ÚVOD

Regionálne metódy odhadu extrémnych hydrologických hodnôt sú, aj napriek ich kritike z hľadiska presnosti odhadu, stále efektívnym nástrojom na odhad N-ročných prietokov pre povodia bez hydrologických pozorovaní resp. s relatívne krátkym hydrologickým pozorovacím radom, kedy je odhad kvantilov, predovšetkým s malou pravdepodobnosťou výskytu, z krátkeho údajového súboru povodia pomerne nespoľahlivý. V pozadí ich aplikácie je myšlienka, že ak frekvencia výskytu hydrologických hodnôt v rámci určitej skupiny povodí je podobná, tak spoločná analýza ich údajových súborov umožňuje dosiahnuť presnejšie závery o výskyte hydrologického javu v konkrétnom povodí, než aké umožňuje analýza lokálnych dát. Identifikovanie skupín povodí s podobnou hydrologickou reakciou je tak jednou z kľúčových úloh regionálnej frekvenčnej analýzy maximálnych prietokov.

Vychádzajúc zo všeobecného tvrdenia, že podobné fyzickogeografické vlastnosti územia majú aj podobnú hydrologickú odozvu boli spočiatku hydrologické homogénne regióny pre účely regionálnej frekvenčnej analýzy maximálnych prietokov stotožňované so *všeobecnými fyzickogeografickými regiónmi.* Výhodou ich aplikácie bolo, že regionálne členenie záujmového územia malo vyčerpávajúci charakter. Dodatočné testovanie všeobecných fyzickogeografických regiónov však ukázalo, že v mnohých prípadoch regióny javili znaky výraznej hydrologickej heterogenity. V dôsledku toho sa postupne začalo ustupovať od mechanickej aplikácie priestorovo súvislých fyzickogeorafických regiónov a pre účely regionálnej frekvenčnej analýzy maximálnych prietokov sa začali vyčleňovať regionálne triedy *zoskupovaním povodí do skupín* na základe ich hydrologických alebo fyzickogeografických charakteristík. Regionálne triedy vyčleňované týmto spôsobom vykazujú vyšší stupeň vnútornej hydrologickej podobnosti, ale už nie sú priestorovo súvislé v geografickom priestore. Taktiež nepokrývajú vyčerpávajúcim spôsobom celé študované územie, pretože sú identifikované len v rámci obmedzeného súboru povodí s hydrologickým pozorovaním.

Vzhľadom na určité špecifiká, ktoré má hydrologické regionálne členenie územia, sa hydrológia zatiaľ terminologicky a ani vecne uspokojivo nevysporiadala s identifikáciou regionálnych tried pre účely regionálnej frekvenčnej analýzy maximálnych prietokov. Cieľom príspevku je stručná charakteristika základných pojmov a metodologickych postupov regionálnej taxonómie a analýza niektorých aspektov vyčleňovania hydrologicky homogénnych tried pre účely regionálnej frekvenčnej analýzy z pozície všeobecných princípov regionálnej taxonómie. To môže napomôcť odstrániť mnohé nie celkom jednoznačné a niekedy aj nekonzistentné postupy v procese identifikovania hydrologicky homogénnych regionálnych tried.

REGIONÁLNA TAXONÓMIA: VECNÉ A TERMINOLOGICKÉ VYMEDZENIE REGIONÁLNO TAXONOMICKÝCH PROBLÉMOV

Tradičný prístup k regionálnemu členeniu krajiny, ktorý sa rozvinul vo fyzickej geografií je založený na regiónoch, ktoré sú apriorne dané a zreteľne viditeľné v geografickom priestore (cf. Grigg 1965, McDonald 1966), resp. na rozčlenení jednotlivých krajinných sfér do tried relatívne homogénnych z hľadiska určitého atribútu (Armand 1975). V geografii sa však postupne dosiahol konsenzus, že regionálne členenie územia predstavuje priestorovú formu všeobecného klasifikačného systému, v ktorej funkciu klasifikovaného objektu namiesto *indivídua* plní *základná priestorová jednotka (place).* Zoskupeniu indivíduí do *systému tried* na základe určitých kritérií potom zodpovedá zoskupenie základných areálových jednotiek do systému *areálových tried - regiónov* vzhľadom na stanovené kritéria. Túto myšlienku na pôde geografie rozvinuli v 60-tych rokoch minulého storočia predovšetkým Bunge (1962) a Grigg (1965). Zdôraznenie, že regionalizačný proces je priestorovým variantom všeobecného klasifikačného procesu potom neskoršie vyústilo do zavedenia termínu *regionálna taxonómia* (Spence a Taylor 1970). Regionálno taxonomické problémy z hľadiska vecného a terminologického identifikoval Fischer (1987). Základný problém regionálnej taxonómie je definovaný nasledovne:

„*Predpokladajme, že je daná množina B pozostávajúca z n priestorových jednotiek* $B_1, B_2, ..., B_n$, *ktoré sú charakterizované množinou p predikátov* $A_1, A_2, ..., A_p$. *Úlohou regionálnej taxonómie je nájsť taký rozklad množiny B na k neprázdnych tried* $R_1, R_2, ..., R_k$ *(pričom platí* $1 \leq k \leq n$*), ktorý vyhovuje určitému kritériu kvality definovanému vo vzťahu k množine p predikátov*“ Predikát je spoločný názov pre vlastnosť (atribút) a vzťah. Rozčlenenie záujmového územia na množinu základných priestorových jednotiek *B* má pritom vyčerpávajúci charakter. Vyčlenené regionálne triedy vo vzťahu ku kritériu kvality definovanom na množine atribútov musia spĺňať buď podmienku vnútro triednej homogenity alebo medzitriednej heterogenity.

Vo vzťahu k regionálnym triedam Fischer (1987) identifikoval štyri základné skupiny regionálno taxonomických problémov: *regionálny typ - región*, *formálne (homogénne) - funkčné* regionálne triedy, *hierarchické - nehierarchické* regionálne triedy, *prekrývajúce - neprekrývajúce* sa regionálne triedy. Triedy majúce charakter regionálneho typu, resp. regiónu sú vymedzené vzhľadom na ich priestorovú súvislosť. Základné priestorové jednotky regionálneho typu na rozdiel od regiónu nie sú priestorovo súvislé. Proces identifikovania priestorovo nesúvislých regionálnych typov sa nazýva *regionálna typizácia a* proces identifikovania priestorovo súvislých regiónov sa nazýva *regionalizácia*. *Formálne (homogénne) regionálne triedy* vyjadrujú podobnosť základných priestorových jednotiek vzhľadom na množinu vlastnosti - atribútov, zatiaľ *čo funkčné regionálne triedy* sa vymedzujú na základe vzťahov medzi dvojicami základných priestorových jednotiek. Rozlíšenie *hierarchických a nehierarchických regionálnych tried* vyjadruje či vyčlenené regionálne triedy sú alebo nie sú usporiadané do hierarchického systému. Výsledkom hierarchickej regionálnej taxonómie je hierarchicky usporiadaná postupnosť regionálnych tried, zatiaľ čo výsledkom nehierarchickej regionálnej taxonómie je len jednoduché stanovenie počtu regionálnych tried, ktorý sa z určitého hľadiska pokladá za optimálny. V prípade *prekrývajúcich* sa regionálnych tried sa vyskytuje aspoň jedna základná priestorová jednotka, ktorá patrí do dvoch alebo viacerých regionálnych tried, zatiaľ čo v prípade *neprekrývajúcich* sa regionálnych tried, každá základná priestorová jednotka patrí len do jednej regionálnej triedy.

Regionálno taxonomický proces má niekoľko fáz v rámci ktorých sa musí prijať celý rad subjektívnych rozhodnutí. *Prvá fáza* obsahuje rozhodnutie o špecifikácii regionálno taxonomického problému,

o výbere (vymedzení) základnej priestorovej jednotky a o výbere atribútov základných priestorových jednotiek, ktoré sú významné z hľadiska regionálno taxonomického procesu. Základné priestorové jednotky by mali byť priestorovo súvislé, nemali by sa vzájomne prekrývať, z hľadiska veľkosti by mali byť vzájomne porovnateľné a vyčerpávajúcim spôsobom by mali pokrývať študované územie. Regionálno taxonomický process by mal byť založený priamo na atribútoch základných priestorových jednotiek, ktoré sú v zhode s deklarovaným cieľom regionalizacie alebo regionalnej typizácie a nie na atribútoch, o ktorých sa predpokladá že významne ovplyvňujú priestorovu variabilitu charakteristiky významnú z hľadiska stanoveneho cieľa. *Druhá fáza* sa dotýka transformácie dát. Priestorové jednotky z hľadiska vybraných atribútov musia byť vzájomné porovnateľné, čiže je potrebné urobiť ich určitú korekciu vzhľadom na veľkosť regionálnych jednotiek a uskutočniť ich normalizáciu resp. štandardizáciu v prípade rôznych jednotiek merania. Ďalej je potrebné zvážiť nutnosť ortogonálnej transformácie atribútov komponentnou alebo faktorovou analýzou v prípade ich vzájomnej závislosti. *Tretia fáza* sa zaoberá výberom miery na vyjadrenie podobnosti resp. nepodobnosti základných priestorových jednotiek z hľadiska množiny vybraných atribútov. Výber určitej miery (metrické alebo nemetrické) závisí od spôsobu vyjadrenia atribútov. V prípade metrických atribútov ide o výber niektorej z mier podobnosti zo skupiny tzv. Minkovského metrík alebo Mahalanobisovej metriky, nemetrických atribútov sa miera podobnosti môže vyjadriť napr. jednoduchým koeficientom korelácie. *Štvrtá fáza* obsahuje výber metódy zoskupovania základných priestorových jednotiek do regionálnych tried. Okrem tradičných metód založených logických princípoch, alebo numerickej klasifikácií sa aplikujú aj metódy fuzzy logiky a neurónovej siete. Je dôležité zdôrazniť, že na tom istom údajovom súbore aplikácia rozdielnych mier podobnosti ako aj regionalizačných metód vedie spravidla aj k rozdielnym regionálno taxonomickým výsledkom. *Piata fáza* zahŕňa hodnotenie dosiahnutých regionálno taxonomických výsledkov. Evaluačný proces je pritom zameraný na hodnotenie regionálno taxonomického systému ako celku, hodnotenie regionálnych tried a hodnotenie významnosti regionálno taxonomického výsledku.

ANALÝZA VYČLEŇOVANIA HYDROLOGICKÝCH HOMOGENNÝCH REGIONALNYCH TRIED VO SVETLE VŠEOBECNÝCH PRINCÍPOV REGIONÁLNEJ TAXONÓMIE.

V dôsledku obmedzeného počtu povodí s hydrologickým pozorovaním regionálizácia, resp. regionálna typizácia záujmového územia z hydrologického hľadiska má niektoré špecifiká ako napr:

- poznatky o hydrologickej regionálnej štruktúre záujmového územia sú odvodené od hydrologickej regionálnej štruktúry identifikovanej v rámci vybraného súboru povodí,
- identifikovanie hydrologických homogénnych regionálnych tried sa uskutočňuje skôr na základe fyzickogeografických ako hydrologických charakteristík povodí,
- nevyhnutnosť evaluácie fyzickogeografických regionálnych tried z hľadiska hydrologických dôsledkov
- dodatočné zaradenie ostatných povodí do fyzickogeografických regionálnych tried identifikovaných v rámci vybraného súboru povodí s hydrologickým pozorovaním. V prípade, že regionálne triedy sa vyčlenili priamo na hydrologických charakteristikách, pristupuje sa k dodatočnému fyzickogeografickému zdôvodneniu lokalizácie hydrologických regionálnych tried.

Regionálno-taxonomický problém je spravidla v hydrológii formulovaný ako „identifikovanie hydrologicky homogénnych regiónov", ktoré sa vzájomne neprekrývajú. Dôraz pri jeho riešení je položený na aplikáciu zoskupovacích alegoritmov a na porovnávanie výsledkov dosiahnutých aplikáciou rôznych zoskupovacích metód. Rozšírená je však predovšetkým aplikácia numerických klasifikačných metód napr. klusterovej analýzy (napr. Mosley 1981, Wiltshire 1986b, Acreman a Sinclair 1986, Solín a Poláčik 1994, Burn a Goel 2000, Kohnova a Szolgay 2000, 2002) alebo kanonickej korelačnej analýzy (Cavadias 1990, Ouarda et al. 2001). Účinné je však vytváranie regionálnych tried aj aplikáciou logických princípov (napr. Wiltshire 1986a, Solín 2002). V poslednom období sa začínajú aplikovať zoskupovacie alegortmi opierajúce sa o fuzzy logiku a umelé neurónové siete (napr. Hall a Minns 1999, Jingyi a Hall 2004). Identifikáciu vzájomne sa prekrývajúcich regionálnych tried nesprávne označili Acreman a Wiltshire (1989) ako „regionalizáciu bez regiónov". Vyčleňovanie vzájomne sa prekrývajúcich regionálnych tried potom podr obnejšie rozpracoval Burn (1990). Regionálno taxono-

mický proces však okrem aplikácie zoskupovacieho alegoritmu si vyžaduje riešenie aj ďalších metodologických problémov ako je napr. definovanie základnej priestorovej jednotky, ktorá je predmetom regionálno taxonomického procesu, identifikácia regionálno taxonomických problémov a vypracovanie tomu zodpovedajúcej terminológie, evaluácia získaných regionálno taxonomických výsledkov a dosiahnutie vyčerpávajúceho charakteru regionálneho členenia študovaného územia. Týmto metodologickým problémom, ktoré sú v súvislosti so špecifikami hydrologického regionálneho členenia obzvlášť dôležité, sa však nevenuje dostatočná pozornosť. Na ich podrobnejšiu analýzu je preto zameraná ďalšia príspevku.

Malé povodia - základné priestorové jednotky pre hydrologické regionálne členenie územia.

Prirodzenou základnou priestorovou jednotkou, ktorá je predmetom hydrologického regionálno taxonomického procesu je povodie. Podľa princípov regionálnej taxonómie by potom povodia z hľadiska veľkosti plochy by mali byť vzájomne porovnateľné, ďalej by sa nemali navzájom prekrývať a vyčerpávajúcim spôsobom by mali pokrývať študované územie. Analýza súborov povodí s hydrologickým pozorovaním, ktoré sú predmetom regionálno taxonomického procesu však naznačuje, že výberové súbory povodí sa z hľadiska veľkosti plochy obsahujú povodia od rozlohy niekoľko km^2 až po povodia s rozlohou niekoľko tisíc km^2 (napr. Wiltshire (1986a). Sú teda kombináciou malých, stredných a veľkých povodí. Vymedziť v takomto súbore povodí regionálne triedy s pomerne jednoznačne definovanou väzbou medzi hydrologickou odozvou a fyzickogeografickými atribútmi a je však diskutabilné. Z tohto uhla pohľadu je preto vhodné zostaviť súbor len z malých povodí (povodia s plochou do asi 250 km^2), ktoré umožňujú detailnejšie identifikovať fyzickogeografické regionálne triedy so zreteľne odlišným hydrologickým prejavom. Spoľahlivosť hydrologických odhadov pre povodia bez hydrologického pozorovania sa výrazne zväčšuje v prípade hydrologicky jasne separovaných regionálnych tried.

Vybraný súbor povodí by mal byť zostavený tak, aby sa povodia vzájomne sa neprekrývali. Nie vždy je však táto podmienka dodržovaná a to z dôvodu výskytu tzv. nested povodí. V rámci toho istého riečneho systému je spravidla viacej vodomerných profilov a v niektorých prípadoch sa povodia uzatvorené vodomernými profilmi vzájomne prekrývajú. Vzájomná závislosť ich hydrologických hodnôt potom môže výrazným spôsobom ovplyvniť výsledky testovania hydrologických konzekvencií. Preto ju treba eliminovať korektným zostavením výberového súboru.

Aby homogénne fyzickogeografické regionálne triedy identifikované v rámci vybraného súboru povodí pokrývali celé záujmové územie je nevyhnutné zaradiť do nich aj ostatné povodia. Rozdelenie záujmového územia vyčerpávajúcim spôsobom na súbor malých povodí umožňuje dosiahnuť vyčerpávajúci charakter regionálnych tried konzistentným spôsobom. Rozčlenenie územia Slovenska na súbor viac ako 5000 malých povodí pre účely regionálnej typizácie uskutočnili napr. Solín a Grešková (1999). Prípade, že záujmové územie na takýto súbor povodí nie je rozdelené, vyčerpávajúci charakter identifikovaných regionálnych tried sa zabezpečuje prostredníctvom väzby na všeobecné fyzickogeografické regióny. To však už je nie v súlade s koncepciou regionálnej taxonómie ako priestorovej formy všeobecného klasifikačného systému, kde funkciu klasifikovaného objektu plní povodie.

Z identifikovania hydrologických regionálnych tried len v rámci vybraného súboru povodí s hydrologickým pozorovaním, vyplýva ešte ďalšia špecifická podmienka, ktorú by mal súbor povodí spĺňať a to, že by mal reprezentovať pestrosť fyzickogeografických podmienok všetkých malých povodí záujmového územia. Len v takom prípade totiž regionálne triedy identifikované v rámci výberového súboru povodí budú primeraným spôsobom reprezentovať regionálnu hydrologickú štruktúru celého záujmového územia.

Región versus regionálny typ.

Región, v zmysle terminológie regionálnej taxonómie predstavuje regionálnu triedu, ktorá je súvislá v geografickom priestore. Naopak, regionálne typ, je priestorovo nesúvislá regionálna trieda. Regionálno-taxonomický problém je v hydrológií formulovaný ako „identifikovanie hydrologicky homogénnych regiónov" a to aj napriek tomu, že vyčlenené regionálne triedy nie sú súvislé v geografickom priestore a teda majú charakter regionálnych typov. V hydrológií vecné aj terminologické vymedzenie rôznych regionálno taxonomických problémov chýba. Región v regionálnej frekvenčnej analýze maximálnych prietokov je definovaný ako územie v rámci ktorého štatistické rozdelenie štandarizovaných maximálnych prietokov je podobne vo všetkých povodiach (Acreman & Wiltshire 1989). Čiže dôležitým atribútom regiónu je podobnosť hydrologických atribútov povodí a nie jeho priestorová súvislosť v geografickom priestore. Takéto chápanie regiónu sa však stáva zdrojom aj určitých teoretických a metodologických nepresností a nejednoznačností vyčleňovania hydrologických regionálnych tried. Súčasné metódy zoskupovania povodí do regionálnych tried (logické delenie, numerická klasifikácia, fuzzy logika, neurónová sieť) produkujú priestorovo nesúvislé triedy - regionálne typy. Vyčlenenie regiónov si však vyžaduje, aby podmienka priestorovej súvislosti bola priamo obsiahnutá v regionalizačnom alegortime, respektíve po vyčlenení regionálnych typov sa pristúpi k ich určitému zoskupeniu tak, aby vytvorili priestorovú súvislú triedu. Jej prioritným znakom však už nemusí byť vnútorná homogenita povodí vzhľadom na hydrologické atribúty ale napr. určitá štruktúra usporiadania regionálnych typov. Určitý pokus o terminologické odlíšenie priestorovo nesúvislých regionálnych tried od priestorovo súvislých tried naznačili napr. Nathan & McMahon (1990), Jingyj &Hall (2004), keď pre priestorovo nesúvislé hydrologické regionálne triedy používajú aj termín "subregion".

Evaluácia hydrologických dôsledkov a identifikovanie optimálneho počtu fyzickogeografických regionálnych tried.

Jedným zo základných princípov regionálnej taxonómie je, že regionálna typizácia resp. regionalizácia by sa mala uskutočniť priamo na základe atribútov základných priestorových jednotiek, ktoré sú v zhode s deklarovaným cieľom regionálnej typizácie resp. regionalizácie a nie na základe atribútov, ktoré významným spôsobom ovplyvňujú priestorovú variabilitu charakteristík, ktoré zodpovedajú deklarovanému cieľu (Grigg 1965). Vyčleňovanie hydrologických homogénnych regionálnych tried by malo byť teda založené priamo na hydrologických charakteristikách povodí. Hydrologická regionálna štruktúra však môže byť identifikovaná priamo na základe hydrologických charakteristík len v rámci súboru povodí s hydrologickým pozorovaním. Zaradenie ostatných povodí do vyčlenených hydrologických regionálnych tried je však v takom prípade problematické. Z toho dôvodu sa preferuje vyčleňovanie hydrologických regionálnych tried na základe fyzickogeografických charakteristík povodí, ktoré sú zistiteľné pre celý základný súbor povodí študovaného územia.

Pri použití fyzickogeografických charakteristík je však nevyhnutné pristúpiť k hodnoteniu hydrologických konzekvencií vyčlenených fyzickogeografických regionálne tried a na základe výsledkov hodnotenia potom stanoviť optimálny počet fyzickogeografických regionálnych tried. Ak sú charakteristiky na základe, ktorých sa uskutočňuje regionálne členenie v súlade s deklarovaným cieľom regionálnej typizácie alebo regionalizácie, algoritmi zoskupovania, tým že vytvárajú triedy z hľadiska atribútov podobných priestorových jednotiek, zároveň aj spôsobujú rozdielnosť priestorových jednotiek medzi regionálnymi triedami. A preto je postačujúce ak regionálne triedy z hľadiska atribútov základných priestorových jednotiek spĺňajú buď podmienku vnútrotriednej podobnosti (homogénnosti) alebo podmienku medzitriednej rozdielnosti (heterogénnosti). Regionálne triedy pre účely regionálnej frekvenčnej analýzy maximálnych prietokov sú však identifikované na základe fyzickogeografických charakteristík povodí, ale regionálny taxonomický výsledok sa hodnotí vzhľadom na hydrologické konzekvencie. Preto vyčlenené fyzickogeografické regionálne triedy z hľadiska hydrologických atribútov charakterizujúcich rozdelenie maximálnych ročných prietokov musia spĺňať tak podmienku vnútrotriednej podobnosti ako aj podmienku medzitriednej rozdielnosti.

Fyzickogeografické regionálne triedy spĺňajúce podmienku hydrologickej homogenity ale nespĺňajúce podmienku vzájomnej hydrologickej heterogenity nie opodstatnené vyčleňovať ako samostatné regionálne triedy a treba ich spojiť do jednej triedy. Splnenie podmienky hydrologickej homogenity vyčlenených fyzickogeografických regionálnych tried preto nie je postačujúce. Navyše na jej margo Hosking a Wallis (1997) poznamenávajú, že striktná požiadavka na vnútornú hydrologickú homogenitu nie opodstatnená. Výsledky simulácii odhadu N-ročných maximálnych prietokov regionálnymi distribučnými funkciami totiž ukázali, že i v relatívne heterogénnych regionálnych triedach bola presnosť odhadu N -ročných maximálnych prietokov oproti homogénnym triedam menšia o 20-40%, čo je však ešte stále presnejšie ako odhady lokálnymi distribučnými funkciami. Tieto výsledky naznačujú, že dôraz pri testovaní hydrologických konzekvencií by mal byť položený na splnenie podmienky hydrologickej heterogenity medzi fyzickogeografickými regionálnymi typmi pri zachovaní určitého stupňa vnútornej hydrologickej podobnosti regionálnych tried.

Testovanie rozdielov medzi fyzickogeografickými regionálnymi triedami z hľadiska hydrologickej odozvy sa uskutočňuje aplikáciou modelu analýzy rozptylu (ANOVA), ktorá umožňuje posúdiť či dôsledkom vyčlenených fyzickogeografických regionálnych tried sú aj výrazné rozdiely v regionálnych hydrologických hodnotách. Aplikácia *F*-štatistiky napr. Wiltshire (1986a), Acreman & Sinclair (1986) však nie je postačujúca. Zamietnutie nulovej hypotézy o rovnosti stredných regionálnych hydrologických hodnôt umožňuje síce vysloviť záver, že medzi fyzickogeografickými regionálnymi triedami a regionálnymi hydrologickými hodnotami existuje významná závislosť, ale neumožňuje urobiť záver o významnosti rozdielov regionálnych hydrologických hodnôt medzi jednotlivými fyzickogeografickými regionálnymi triedami. Takéto poznatky je možné získať aplikáciou metódy párového porovnania (cf. Neter et al. 1985, Hsu 1996) kedy sa testuje nulová hypotéza, že rozdiely medzi regionálnymi hydrologickými hodnotami fyzickogeografických regionálnych typov sa rovnajú nule. Aplikujúc tento prístup Solín (2002) hodnotil hydrologické dôsledky fyzickogeografických regionálnych typov vyčlenených pre účely regionálnej frekvenčnej analýzy na základe aplikácie logického delenia ako aj metód numerickej klasifikácie. V tab. 1 sú uvedené regionálne hodnoty *L*-Cv fyzickogeografických regionálnych typov vyčlenených rozdielnymi metódami.

Tab. 1. Regionálne hodnoty L-Cv a počet povodí vo fyzickogeografických regionálnych vyčlenených rôznymi metódami

Tab. .1 Regional value of sample L-Cv and the number of basins in the physical regional types delineated by different methods

Metóda regionálnej typizácie	Regionálne typy *L*-Cv/ počet povodí			
	I	II	III	IV
HC-priemernej vzdialenosti	*0,3304*/68	*0,2624*/*69*	*0,2503*/12	*0,2464*/7
HC-skupinového priemeru	*0.3609*/13	*0,3118*/74	*0,2561*/50	*0,2489*/19
NHC-K priemerov	*0,3354*/51	*0,2937*/54	*0,2412*/44	*0,2464*/7
LD-A	*0,3525*/11	*0,3108*/87	*0,2505*/52	*0,2252*/6
LD-P	*0,3539*/24	*0,3003*/82	*0,2450*/35	*0,2252*/6
LD- P+A	*0,3579*/12	*0,3167*/60	*0,2903*/34	*0,2426*/50

HC – hierarchická zhluková analýza, NHC – nehierarchická zhluková analýza, LD – logické delenie, P - ročný úhrn zrážok povodia, A - priemerná nadmorská výška povodia

V tab. 2 sú potom výsledky *F* -testu and a párového porovnania fyzickogeografických regionálnych typov z hľadiska významnosti rozdielov medzi regionálnymi hodnotami *L*-Cv.

Tab. 2. Výsledky testovania hydrologických konzekvencií

Tab. 2. Results of the tests of hydrological consequences

Metóda regionálnej typizácie	F-test	Nevýznamné rozdiely medzi regionálnymi typmi
HC-priemernej vzdialenosti	22,65	II-III, II-IV, III-IV
HC-skupinového priemeru	21,68	III-IV
NHC-K priemerov	27,68	III-IV
LD-A	21,18	III-IV
LD-P	28,33	III-IV
LD-P+A	25,19	-

Štyri fyzickogeografické regionálne typy vyčlenené v rámci súboru 156 malých povodí metódou logického delenia na základe kombinácie diferenciačných hodnôt priemerného ročného úhrnu zrážok a priemernej nadmorskej výšky povodia (tab.3) sa ukázali byť optimálne pre účely regionálnej frekvenčnej analýzy maximálnych prietokov na Slovensku.

Tab. 3. Fyzickogeogarfické regionálne typy: diferenciačné hodnoty prierného ročného úhrnu zrážok a priemernej nadmorskej výšky povodia

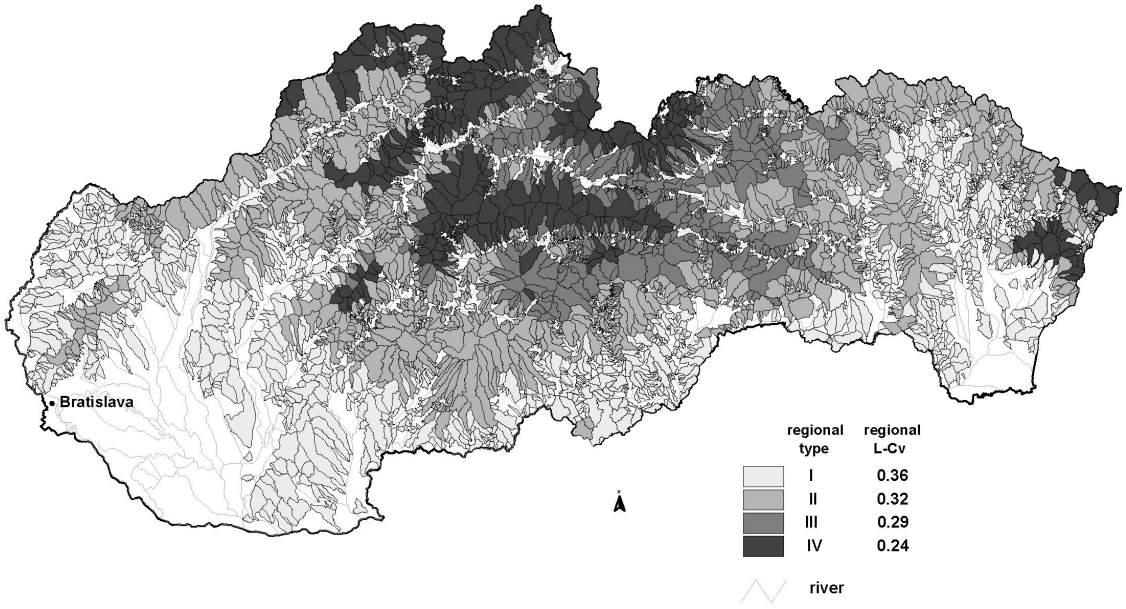
Tab. 3. Physical regional types: differentiation values of mean annual precipitation and mean altitude of basins

Fyzicko geografické regionalne typy	P (mm)	A (m a.s.l.)
I	≤950	≤350
II	≤950	351 - 700
III	≤950	>700
IV	>950	>700

Vyčerpávajúci charakter hydrologického regionálneho členenia

Po identifikovaní hydrologických regionálnych tried v rámci vyberaného súboru povodí s hydrologickým pozorovaním je nevyhnutné pristúpiť k záverečnému kroku regionálno taxonomického procesu a to k zaradeniu ostatných povodí študovaného územia do identifikovaných regionálnych tried. Ak sú regionálne triedy vyčlenené priamo na základe hydrologických atribútov povodí, vyčerpávajúci charakter regionálneho členenia študovaného územia je možné dosiahnuť prepojením priestorovej lokalizácie regionálnych tried na všeobecné fyzickogeografické regióny resp. geoekologické typy. Identifikácia takéhoto prepojenia na základe vizuálneho porovnania geografickej polohy hydrologických regionálnych tried a fyzickogeografických regionálnych jednotiek (napr. Mosley 1981) však nie je dostatočne presná a jednoznačná. Navyše predstavuje návrat ku koncepcii, ktorá sa v hydrológii už opustila.

V prípade vyčlenenia hydrologických regionálnych tried v rámci vybraného súboru povodí na základe fyzickogeografických charakteristík povodí sa vyčerpávajúce pokrytie študovaného územia regionálnymi triedami dosiahne klasifikáciou ostatných povodí do vyčlenených tried na základe ich fyzickogeografických vlastností. Vyčerpávajúce rozdelenie študovaného územia na malé povodia spolu s vytvorením databázy ich fyzickogeografických charakteristík (napr. Solín et al. 2000) je tak nevyhnutným predpokladom aplikácie tohto prístupu. Ak sa pri identifikovaní hydrologických regionálnych tried uplatnili metódy numerickej klasifikácie, tak potom zaradovanie ostatných povodí tried je možné uskutočniť na základe diskriminačnej analýzy. Ak sa aplikovali princípy logického delenia, tak povodia sa zaraďujú do regionálnych tried priamo na základe hodnôt diferenciačných fyzickogeografických atribútov. Napr. súvislosti s regionálnym členením Slovenska pre účely regionálnej frekvenčnej analýzy maximálnych prietokov do štyroch fyzickogeografických regionálnych typov, ktoré sú z hľadiska regionálnych hodnôt *L*-Cv medzi sebou výrazne odlišné, sa ostatné malé povodia SR klasifikovali na základe hodnôt priemerného ročného úhrnu zrážok a priemernej nadmorskej výšky povodia (obr. 1).



Obr. 1 Regionálne členenie Slovenska pre účely regionálnej frekvenčnej analýzy maximálnych prietokov

Fig. 1. Slovakia: Hydrological homogeneus regional types for regional flood frequency analysis

ZÁVER

V príspevku sa stručne načrtli základné princípy a kroky regionálno-taxonomického procesu a analyzovali sa niektoré aspekty vyčleňovania hydrologických regionálnych tried z pohľadu regionálnej taxonómie. Pozornosť bola zameraná predovšetkým na definovanie základnej priestorovej jednotky, ktorá je predmetom hydrologického regionálno taxonomického procesu, analýzu hydrologických regionálno taxonomických problémov a tomu zodpovedajúcej terminológie, evaluácii hydrologických dôsledkov vyčlenených fyzickogeografických regionálnych typov a dosiahnutie vyčerpávajúceho charakteru hydrologického regionálneho členenia študovaného územia. Vyzdvihli sa špecifiká regionálno taxonomického procesu v hydrológií, ako napr. identifikovanie regionálnych tried len v rámci vybraného súboru povodí s hydrologickým pozorovaním, vyčleňovanie hydrologických regionalnych tried nie na hydrologických ale fyzickogeografických atribútoch povodí, testovanie fyzickogeografických regionálnych typov nielen z hľadiska ich vnútornej hydrologickej homogenity ale aj vzájomnej vonkajšej hydrologickej heterogenity a dodatočné zaradenie ostatných povodí študovaného územia regionálnych tried identifikovaných v rámci vybraného súboru povodí, ktoré sú dôsledkom toho, že hydrologické pozorovania sa uskutočňujú len na obmedzenom počte povodí.

Poďakovanie

Príspevok vznikol v rámci riešenia projektu 2/3085, ktorý je finančné podporovaný grantovou agentúrou VEGA Slovenskej akadémie vied.

Literatúra

Acreman, M. C., Sinclair, C. D. (1986): Classification of drainage basins according to their physical characteristics; an application for flood frequency analysis in Scotland. *J. Hydrol*. **84**, 365-380.

Acreman, M. C., Wiltshire, S. (1989): The regions are dead; long live the regions. Method of identifying and dispensing with regions for flood frequency analysis. In: *FRIENDS in Hydrology* (ed. by T. Roald, K. Nordseth & k. A. Hassel) (Proceedings of the first international Symposium, Bolkesjø, Norway, April 1989), 175-188. IAHS Publ. 187, IAHS Press, Walingford, UK.

Armand, D. L. (1975): *Nauka o landschafte*. Mysel, Moskva, Russia.

Bunge, W. (1962): Theoretical geography. *Lund Studies in Geography, Series C, General and Mathematical Geography 1*

Burn, D. H. (1990): An appraisal of the "region of influence" approach to flood frequency analysis. *J. Hydrol*. **104**, 345-361.

Burn, D. H., Goel, N. K. (2000): The formation of groups for regional flood frequency analysis. *Hydrol. Sci. J*. **45**(1), 97-112.

Cavadias, G. S. (1990): *The canonical correlation approach to regional flood estimation*. Regionalization in hydrology. In: Proc.of the Ljubljana Symposium. IAHS, Publ. No. 191, 171-178.

Fischer, M. M. (1987): Some fundamental peoblems in homogeneus and functional taxonomy. *Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung* **11**, 267-282.

Grigg, D. (1965): The logic of regional systems. *Annals of the Assosiation of American Geographers* **55**, 465-491.

Hall, M. J., Minns, A. V. (1999): The classification of hydrologically homogeneous regions. *Hydrol. Sci. J*. **45** (5), 693-704.

Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. (1997): *Regional frequency analysis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Hsu, J. C. (1996): *Multiple comparison*. Chapman & Hall, Boca Raton, USA.

Jingyj, Z., Hall, M. J. (2004): Regional flood frequency analysis for the Gan-Ming river basin in China. *J. Hydrol*. **296**, 98-117.

Kohnová, S., Szolgay, J. (2000): Regional estimation of design flood discharges for river restoration in mountainous basins of northern Slovakia. In: *Flood Issues in Contemporary Water Management* (ed. By Marsalek, et al.), 41-47. NATO Science Series 71, Kluwert Academic Publisher, UK.

Kohnová, S., Szolgay, J. (2002): Practical applicability of regional methods for design flood computation in Slovakia. In: *Proceedings of International Conference on Flood Estimation* (eds by R. Weingartner & M. Sperafico) 529-539. CHR Report II-17 Bern, Switzerland.

McDonald, J. R. (1966): The region: its conception, design and limitation. *Annals of the Association of American Geographers.* **56**, 516-528.

Mosley, M. P. (1981): Delimitation of New Zealand hydrologic regions. *J. Hydrol*. **49**, 173-192.

Neter, J., Wasserman, W. and Kutner, R. M. (1985): *Applied linear statistical models*. Home Wood, Illinois, USA.

Ouarda, T. B. M. J., Girard, C., Cavadias, G. S. and Bobeé, B. (2001): Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis. *J. Hydrol*. **254**, 157-173.

Solín, Ľ., Poláčik, Š (1994): Identification of homogeneous hydrological regional types of basins. In: FRIEND: Flow Regimes from International Experimental and Network Data (eds. by P. Seuna, A. Gustard, N. W. Arnell & G. A. Cole) (Proceedings of an international conference) 467-473. IAHS Publ. 221, IAHS Press, Walingford, UK.

Solín, Ľ., Grešková , A. (1999): Small catchments of Slovakia: basic spatial units of hydrogeographical regional division (in Slovak). *Geographical Journal* **51** ***(1),*** 78-96.

Solín, Ľ., Cebecauer, T. Grešková, A. and Šúri, M. (2000): *Small basins of Slovakia and their physical characteristics*. Institute of Geography, Slovak Committee for hydrology, Bratislava, Slovakia.

Solín, Ľ. (2002): Regional flood frequency analysis: identification of physical regional types. In: *Proceedings of International Conference on Flood Estimation* (eds by R. Weingartner & M. Sperafico) 687-696. CHR Report II-17 Bern, Switzerland.

Spence, N. A., Taylor P. J. (1970): Quantitative methods in regional taxonomy. In: *Progress in Geography*, 2 (eds. by C. Board, R. J. Chorley, R. J. Hagget & D. R. Stoddart) 1-64. Arnold, London UK.

Wiltshire, S. E. (1986a): Identification of homogeneous regions for flood frequency analysis. *J. Hydrol*. **84**, 287-302.

Wiltshire, S. E. (1986b): Regional frequency analysis II: multivariate classification of drainage basins in Britain. *Hydrol. Sci. J*. **31**(3), 335-346.

Autor

Ľubomír Solín, Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava, e-mail:lubomir.solin@savba.sk

ODVOZENÍ TEORETICKÝCH POVODŇOVÝCH VLN DETERMINISTICKÝMI PŘÍSTUPY PRO ÚČELY POSUZOVÁNÍ BEZPEČNOSTI VODNÍCH DĚL ZA POVODNÍ

Petr Šercl

Grantový projekt výzkumu a vývoje v programu ministerstva zemědělství s označením QD1368 a názvem „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní" byl řešen v období od července 2001 do června 2004 a úzce navazuje na projekt VaV „Vývoj metod pro stanovení extrémních povodní", který byl řešen v letech 1997 až 2000 pod garancí Ministerstva životního prostředí. Deterministické přístupy odvozování teoretických povodňových vln byly v předchozím projektu řešeny zvláště ve VÚV T. G. M. za použití frekvenční verze TOP-modelu pro modelování srážko-odtokového procesu se stochasticky generovanými srážkami. Nevýhodou aplikace tohoto modelu je náročnost na vstupní data, náročnost na čas i výpočetní techniku a z toho vyplývající potřeba vyšších finančních prostředků. Metodika proto do praxe nebyla zavedena. V projektu QD1368 byla uskutečněna důkladná rešerše tematicky zaměřená na stávající srážkoodtokové modely, přičemž pro zavedení do hydrologické praxe se ukázal jako nejvhodnější model HEC-1. Model HEC-1 je po programové stránce připraven, proto hlavní práce v projektu směřovaly k získání nových a kvalitnějších podkladových dat jako základních vstupů do tohoto modelu. Rovněž jako důležitá součást přípravy vstupních dat do modelu byla vyvinuta aplikace pro odhad parametrů modelu HEC-1 v prostředí GIS na základě digitálního modelu terénu.V rámci projektu byly odvozeny nové hodnoty statistických charakteristik maximálních srážek daného trvání na základě verifikované a doplněné databáze maximálních srážek, která nyní pokrývá období 1895–2002. Tato databáze a statistické charakteristiky posloužily také jako podklad pro zpřesnění odhadu hodnot pravděpodobné maximální srážky. Dalším důležitým vstupem při řešení návrhové povodně je tzv. návrhový hyetogram, což je způsob časového rozložení celkového úhrnu návrhové N-leté maximální srážky do kratších intervalů. Jelikož tvar hyetogramu přímo ovlivňuje průběh a velikost kulminačního průtoku návrhové povodňové vlny, byla metodice odvození návrhového hyetogramu věnována patřičná pozornost. Objem přímého odtoku za povodně je kromě velikosti příčinné srážky a předcházející nasycenosti povodí vodou ovlivněn způsobem využívání území a hydropedologickými charakteristikami půdního pokryvu povodí. V rámci grantového projektu byla získána nová data o propustnosti a retenční vodní kapacitě zemědělsky využívaných i lesních půd. Tyto půdní charakteristiky v kombinaci s daty o využívání území jsou využívány k odvození parametru srážkoodtokového modelu sloužícího pro výpočet přímého povodňového odtoku. Pro vlastní odvození povodňové vlny a odhad dalších parametrů modelu HEC-1 byl připraven metodický postup, který byl již ověřen na povodích několika vodních děl.

Klíčová slova: bezpečnost vodních děl, deterministický srážkoodtokový model, návrhová srážka, návrhový hyetogram, jednotkový hydrogram, metoda CN, teoretická návrhová povodňová vlna

Derivation of theoretical design flood hydrographs by deterministic methods for the assessment of dam safety during floods. *Grant research and development project in the program of the Ministry of Agriculture with the code QD1368 and name "Verification of methods for the derivation of hydrological bases for the assessment of dam safety during floods" was being solved in the period from July 2001 to June 2004 and is closely connected to the project "Development of methods for the determination of extreme floods", which was being solved during 1997 to 2000 under the guaranty of the Ministry of Environment. Deterministic approaches of derivation of theoretical flood hydrographs were in the previous project solved especially at the VÚV T.G.M., using the frequency version of the TOP-model for the modelling of the precipitation-runoff process with stochastically generated precipitation. The disadvantage of the application of this model is the need for high quality and quantity of input data, the demands on time and computing equipment and the consequent need for higher financial means. This is why the method has not been put to practice. In the project QD1368, a thorough search was made of existing precipitation-runoff models, and the model HEC-1 proved to be the most suitable one for usage in hydrological practice. The HEC-1 model is program-wise ready, and therefore the main work in the project was aimed at gaining new and better quality base data as the basic input into this model. Also as an important part of the preparation of the input data into the model, an application was developed for the estimation of HEC-1 model parameters in the GIS environment on the basis of the digital terrain model. Within the framework of this project, new values have been derived of statistical characteristics of maximum precipitation of given duration on the basis of verified and supplemented database of maximum precipitation, which now covers the period of 1895-2002. This database and statistical characteristics were used also as a basis for the more exact estimation of the value of the probable maximum precipitation. Another important input data when solving a design flood is a so-called design hyetograph, which is the temporal pattern distribution of*

the overall design N-year maximum precipitation into shorter intervals. Because the shape of the hyetograph directly influences the course and the size of the peak discharge of the design flood hydrograph, the method of derivation of the design hyetograph was paid due attention. The volume of direct runoff during flood is, beside the size of the causative precipitation and the antecedent wetness of the catchment, influenced by the way of land use, and by the hydropedological characteristics of the catchment soil cover. Within the framework of a grant project, new data have been gained about the permeability and water retention capacity of agriculturally used and forest soils. These soil characteristics in combination with land use data are used for the derivation of a precipitation-runoff model parameter, which serves for the computation of direct flood runoff hydrograph. For the derivation of the flood hydrograph itself and for the estimation of other HEC-1 model parameters a methodology has been prepared, which has already been verified on several reservoirs' catchments.

Key words: dam safety, deterministic rainfall-runoff model, design precipitation, design hyetograph, unit hydrograph, CN method, theoretical design hydrograph.

ÚVOD

Metodika odvození teoretických povodňových vln deterministickými přístupy byla v ČHMÚ řešena v letech 2001–2004 v rámci grantového projektu „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní" programu VaV Ministerstva zemědělství ČR (Kulasová, Šercl, Boháč – 2004).

Metodický postup je založen na uplatnění vhodného srážkoodtokového modelu, pro který byly v průběhu řešení projektu připraveny všechny potřebné vstupy.

Cílem projektu nebylo proto vyvíjet nové srážkoodtokové modely, ale na základě rešerše literatury nalézt a pro podmínky ČR adoptovat model, který by splňoval následující požadavky:
- jednoduchá aplikace modelu, tj. příprava dat a výpočet nesmí být příliš časově náročné,
- obsažené metodologie v modelu musí být průhledné, tj. při změně parametrů modelu musí být chování modelu předvídatelné,
- parametry modelu bude možné odvodit z fyzicko-geografických charakteristik povodí, příp. bude možná jejich „přenositelnost" z charakterově podobného povodí.

Současně v rámci dalších výstupů tohoto grantu byl proveden výzkum a vývoj některých souvisejících metodik. Jedná se o:
- nové zpracování N-letých maximálních srážek o trvání 1–3 dny ve formě rastrových map a metodiku odvození N-letých maximálních plošných srážek,
- odvození hydrologických charakteristik půd (maximální retenční kapacita, propustnost) pro účely stanovení přímého povodňového odtoku,
- metodiku stanovení návrhových zatěžovacích hyetogramů s využitím srážkoměrných a radarových měření,
- upřesnění stávající metody odhadu plošné PMP (pravděpodobné maximální srážky) za využití numerických předpovědních modelů a radarových měření.

Jedním z modelů, který v podstatě splňuje požadavky na rutinní provoz v hydrologické praxi ČHMÚ, je srážkoodtokový událostní model HEC-1, vyvinutý v 60. letech v armádní hydrologii USA. Program řeší v několika variantách výpočet odtokové ztráty (např. SCS metoda CN-křivek) a pro transformaci odtoku z povodí využívá metodu jednotkového hydrogramu (např. metoda Clarka). Vstup srážek je řešen rovněž několika způsoby. HEC-1 umožňuje mimo jiné i modelovat odtok z tání sněhu, simulovat průchod povodňové vlny nádrží a omezeně i transformaci povodňové vlny v korytě (metody Muskingum či Muskingum-Cunge). Hlavní předností modelu je možnost kompozice řešeného povodí z menších celků, pro které se zadávají parametry.

Model HEC-1 byl v průběhu řešení projektu podrobně testován s poměrně úspěšnými výsledky a metodika odvození teoretických povodňových vln v ČHMÚ je proto založena na využití tohoto modelu.

Vedle ČHMÚ se na přípravě metodiky rovněž podíleli odborníci z Ústavu fyziky atmosféry (ÚFA) AV ČR a Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy (VÚMOP).

POPIS METODICKÉHO POSTUPU

Hlavní kroky zmíněného metodického postupu odvození návrhové povodňové vlny spočívají v:

a) sestavení tzv. hydrologického modelu povodí pro zvolený srážkoodtokový model, tj. schématické rozdělení povodí na dílčí subpovodí a eventuálně i říční úseky pro výpočet postupu povodňové vlny,
b) určení příslušné N-leté srážky na povodí
c) určení zatěžovacího hyetogramu, tj. rozdělení návrhové srážky do kratších, většinou hodinových intervalů
d) určení parametrů odtokových ztrát a stanovení podílu tzv. efektivního deště metodou CN-křivek na základě využívání území a hydrologických charakteristik půd
e) určení parametrů jednotkového hydrogramu na základě fyzicko-geografických parametrů povodí
f) výpočet teoretické povodňové vlny.

Software a dokumentace

Srážkoodtokový model HEC-1 je v současné době implementován do několika softwarových systémů, z nichž nejznámější a nejpoužívanější jsou systémy WMS a HEC-HMS.

WMS je programový systém pro nejrůznější hydrologické výpočty zaměřený zejména na rozsáhlou přípravu vstupních dat pro několik podporovaných srážkoodtokových modelů, které jsou jako vnější procedury systémem spouštěny. Jedná se tedy o jakousi zastřešující nadstavbu a rozhraní pro celou řadu programů, dnes zejména široce používaných v USA (např. HEC-1). Vstupní data v podobě fyzicko-geografických charakteristik povodí jsou odvozována ze vstupního digitálního výškového modelu (DEM) zkoumaného území, tím má tento systém i významné rysy geografického informačního systému (GIS) jakožto základního podpůrného aparátu pro hydrologické modelování v ploše. Možnosti využití prostředků GIS v rámci systému WMS se stále rozšiřují, v nejnovější verzi je podporován ArcGIS pomocí rozhraní ArcObjects.

Systém WMS vznikal v USA v průběhu devadesátých let (nyní je k dispozici verze 7.1) na Birgham Young University. Je šířen komerčně, ale za účelem otestování je možné omezeně funkční verzi stáhnout z internetu z adresy http://www.ems-i.com/WMS/wms.html.

Oproti tomu HEC-HMS je volně k dispozici na internetu (verze 2.2.2 na adrese http://www.hec.usace.army.mil), přičemž nabízí také rozsáhlé možnosti experimentování s modelováním odtoku v rámci srážkoodtokového modelu HEC-1, obsahuje rovněž i velmi dobré optimalizační rutiny. Jinak obecně prostředí programu HEC-HMS nenabízí ani zdaleka tolik možností jako systém WMS, především neobsahuje prostředí GIS pro práci s digitálním výškovým modelem. Pro tyto účely je k dispozici na stejné adrese extenze pro ArcView 3.x s názvem HEC-GeoHMS, která byla dále na úseku hydrologie ČHMÚ rozšířena jako HEC-GeoHMS Add-In.

Vzhledem k tomu, že systém HEC-HMS a veškerý podpůrný software jsou volně k dispozici a tudíž má větší perspektivu pro užívání v hydrologické praxi ČHMÚ, další kapitoly v tomto textu budou zaměřeny právě na tento systém a jeho možnosti využití při výpočtech pomocí modelu HEC-1. Popis modelů je uveden v (US Army Corps of Engineers – 1990, 2000, 2001).

Sestavení hydrologického modelu v prostředí GIS

Dříve než je možné přistoupit k vlastnímu srážko-odtokovému modelování v prostředí HEC-HMS, je nutné sestavit hydrologický model zkoumaného povodí. Pod pojmem hydrologický model povodí si lze představit orientovaný graf, kde body tvoří soutokové uzly říční sítě a povodí reprezentovaná

charakteristickým bodem (např. těžištěm), zatímco linie tvoří úseky říční sítě a spojnice bodů povodí a soutokových uzlů.

Pro účely sestavení hydrologického modelu povodí se využívá extenzí pro ArcView 3.x HEC-GeoHMS a HEC-GeoHMS Add-In, který kromě zmíněného ArcView vyžadují ještě Spatial Analyst, což je nadstavba (extenze) ArcView pro práci s gridovými daty. Vlastní sestavení hydrologického modelu povodí a příprava dat pro export do systému HEC-HMS zahrnuje tyto činnosti:

- příprava digitálního modelu terénu v rámci řešeného území (tvorba hydrologicky korektního výškového modelu, výpočet vektorů stékání atd.),
- odvození rozvodnic a říční sítě,
- určení závěrového profilu povodí, příp. dalších profilů uvnitř řešeného povodí,
- určení finální podoby modelu povodí a říční sítě,
- výpočet fyzicko-geografických charakteristik povodí,
- výpočet doby koncentrace povodí, příp. dalších charakteristik modelu,
- sestavení a export hydrologického modelu povodí pro HEC-HMS.

Příprava vstupních srážkových dat

Pro každé (sub)povodí je možné v HEC-HMS zadat průměrnou srážku na povodí, a to buď:

a) odvozenou z pozorovaných bodových srážek konkrétní srážkové události, nebo
b) určenou statistickými metodami jako N-letou návrhovou srážku (1denní, 2denní atd.).

Srážka se zadává ve formě hyetogramu v určitém kroku (zpravidla hodinovém). Aplikace modelu na pozorovaných srážkových událostech slouží zpravidla:

a) ke kalibraci parametrů modelu, pokud je na daném povodí k dispozici i vodoměrné pozorování, případně
b) k odvození teoretického průběhu povodňové vlny na nepozorovaném povodí.

V případě výpočtu N-leté teoretické povodňové vlny je nutné nejprve odvodit návrhovou N-letou plošnou srážku daného trvání. K dispozici jsou bodové N-leté 1–3denní maximální srážky zpracované do formy rastrových map. (Na obr. 1 je uvedena mapa 1denních 100letých maximálních srážek.)

Průměrná plošná hodnota srážky odvozená z map bodových hodnot je korigována:

- koeficientem přepočtu z fixního časového intervalu na plovoucí časový interval,
- koeficientem redukce závislým na ploše a trvání srážky.

Obtížný metodický problém nastává při konstrukci tzv. zatěžovacího hyetogramu, tzn. v tomto případě rozložení návrhové N-leté plošné srážky o trvání např. 24 hodin do kratších zpravidla hodinových intervalů. Klíčové je zejména určení délky trvání a hodinových intenzit rozhodující, extrémní fáze hyetogramu, která má největší vliv na formování povodně a velikost kulminačního průtoku.

V současné době jsou využívány tyto metody:

a) metoda založená na 100letých hodinových intenzitách dle Trupla (přístup ČHMÚ),
b) metoda založená na zpracování radarových dat a rozdělení území ČR do charakteristických oblastí.

Metoda ad a) je založena na zpracování 100letých hodinových srážek z ombrografických pozorování vyhodnocených Truplem a spočívá v odvození poměrů 100letých hodinových a 1denních srážek. Na základě těchto poměrů je určena maximální pořadnice hyetogramu, která má největší vliv na výsledný tvar povodňové vlny a výslednou hodnotu kulminačního průtoku. Ostatní pořadnice jsou rozděleny symetricky pomocí trojúhelníkového rozložení.

Metoda ad b) vychází ze zpracování radarových dat, kdy bylo zkoumáno časové a prostorové rozložení srážky s dobou opakování 1denního úhrnu delší než 2 roky. Výsledkem je územní rozdělení ČR do 4 charakteristických oblastí, které se liší tvarem návrhového hyetogramu. Byly víceméně

potvrzeny výsledky metody ad a), které ukazují, že v horských a podhorských oblastech jsou extrémní 1denní úhrny tvořeny především z orograficky zesílených srážek, zatímco na ostatním území se jedná o bouřkové přívaly.

Výpočet přímého odtoku – metoda CN-křivek

Program HEC-HMS nabízí několik metod pro výpočet přímého odtoku. Mezi nejpoužívanější pro svoji jednoduchost patří metoda CN-křivek, kdy podle druhu půdního pokryvu a tzv. hydrologické skupiny půdy (charakteristik propustnosti) je určena tzv. hodnota CN (rozsah 0–100) pro dané povodí. Hodnota blízká 100 je u téměř nepropustných ploch, běžné hodnoty CN se pohybují v rozmezí 55-85.

Ve spolupráci s Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy (VÚMOP) byla v rámci zmíněného grantového projektu připravena nová metodika pro stanovení hydrologických skupin půd. Dle podkladů VÚMOP byly odvozeny gridové vrstvy některých hydrologických charakteristik půd (propustnost, maximální retenční kapacita). Tyto vrstvy mohou nalézt uplatnění v různých oblastech srážko-odtokového modelování, ale především na jejich základě byla aktualizována gridová vrstva hodnot CN pro model HEC-1. Jako podkladová vrstva využívání území (půdního pokryvu), která rovněž slouží pro odvození hodnot CN, byla využita data z projektu CORINE.

Extenze pro ArcView GIS „HEC-GeoHMS Add-In“ umožňuje vypočítat průměrnou hodnotu CN na jednotlivá subpovodí hydrologického modelu, a to na podkladě citované gridové vrstvy CN. Mapa hodnot CN je uvedena na obr. 2.

Výpočet teoretické povodňové vlny

Volba metody transformace přímého odtoku je klíčovou součástí metodického postupu, neboť přímo určuje tvar vlny, a tím i velikost kulminačního průtoku.

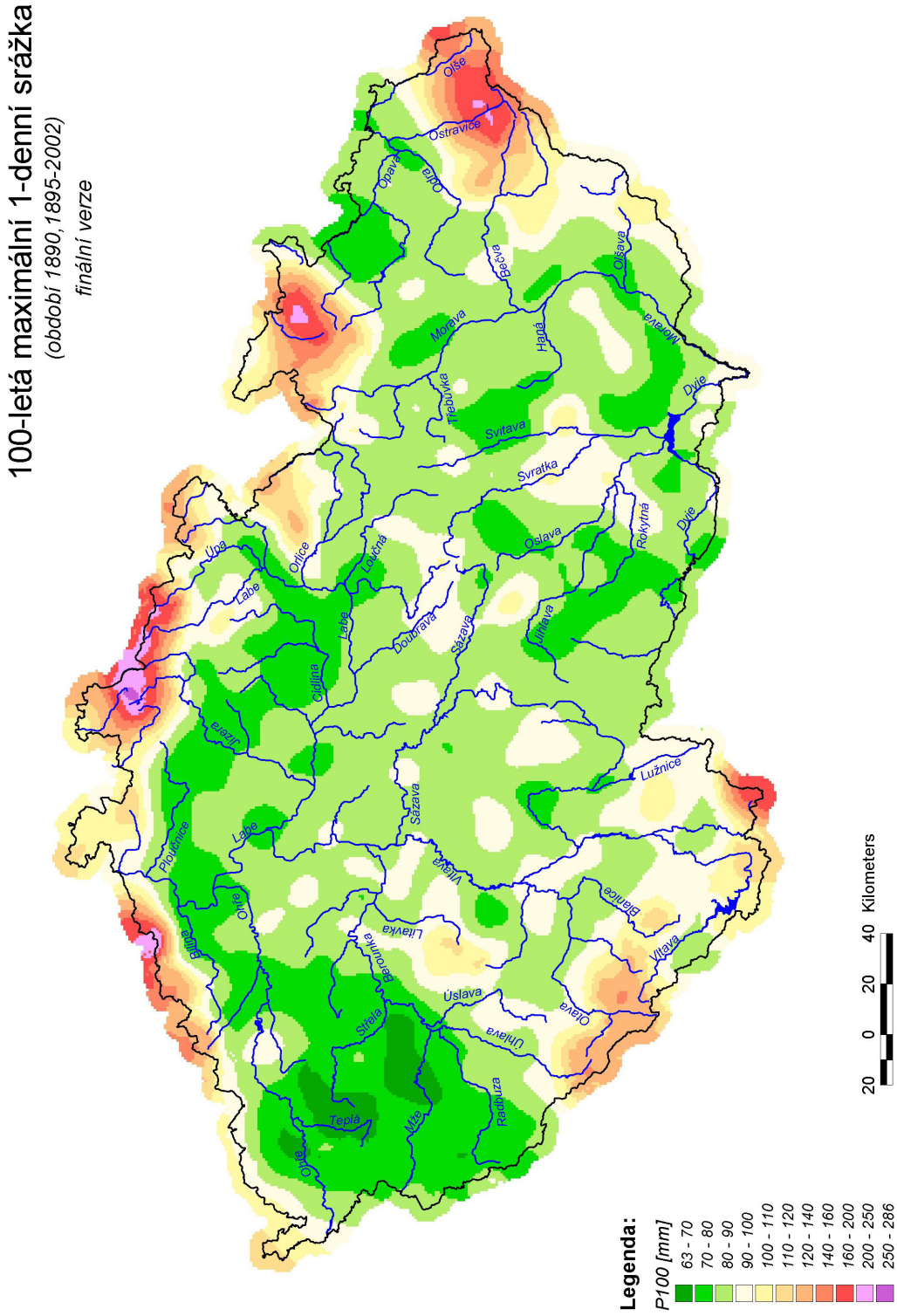
Jako transformační funkci povodí používá model HEC-1 jednotkový hydrogram. Prostředí HEC-HMS nabízí několik typů jednotkových hydrogramů, v praxi ČHMÚ je používán jednotkový hydrogram dle Clarka, který disponuje těmito parametry:

- *TC* – doba koncentrace povodí (hod)
- *R* – tzv. transformační faktor (hod), simulující dobu zadržení vody v povodí (storage coefficient)
- závislost doby dobíhání a velikosti plochy povodí při zasažené celé ploše povodí (tzv. time-area curve)

Parametry *TC* a *R* jsou odhadovány z fyzicko-geografických charakteristik povodí na základě vzorců:
Pro výpočet doby koncentrace je k dispozici několik vzorců, nejpoužívanější je vzorec SCS (Soil Conservation Service v USA) pro odvození tzv. TLAG (časový posun v hodinách mezi výskytem maxima příčinné srážky a výskytem kulminačního průtoku v závěrovém profilu povodí):

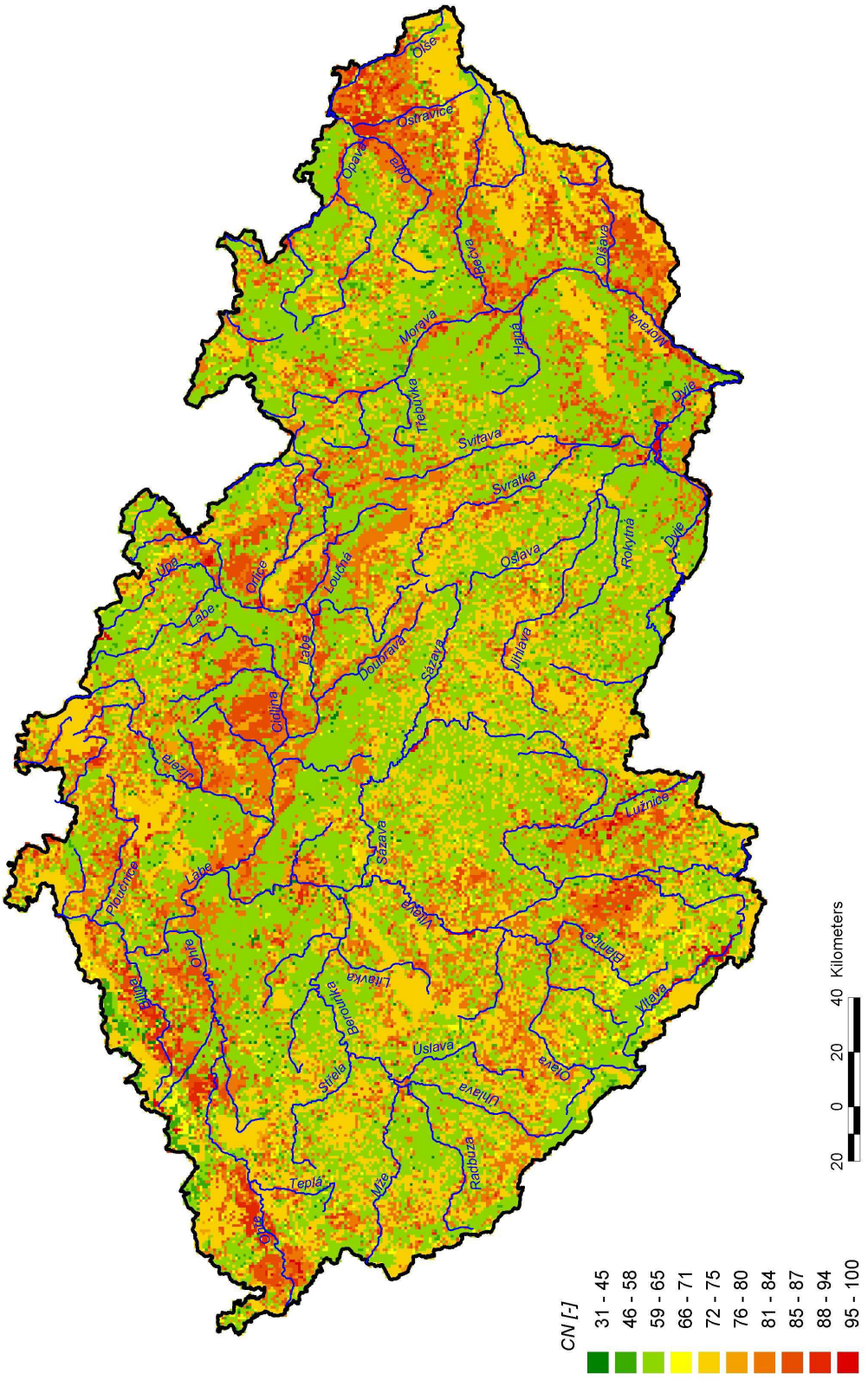
$$T_{LAG} = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900\sqrt{Y}}, \text{ kde} \qquad (1)$$

L délka údolnice k rozvodnici (feet)
S maximální retence povodí (inches)



Obr. 1 Maximální jednodenní srážka s dobou opakování 100 let

Fig. 1 Maximum 100year precipitation with duration 24 hours



Obr. 2 Hodnoty CN na území ČR odvozené na základě nových půdních charakteristik

Fig. 2 CN values on the Czech territory derived from the new soil characteristics

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \qquad (2)$$

Y průměrný sklon povodí v procentech

Doba koncentrace TC je poté odhadnuta jako $1.67*T_{LAG}$. (3)

Extenze pro ArcView „HEC-GeoHMS Add-In“ zahrnuje kromě zmíněného vzorce (1) výpočet doby koncentrace i dle dalších přístupů, na každý je však vhodný pro daný typ podmínek zkoumaného povodí.

Pro určení koeficientu R existuje jen minimum výpočetních vzorců, zpravidla se pro výpočet teoretické vlny na nepozorovaných povodích odhaduje velikost koeficientu R jako n-násobek doby koncentrace:

$R = n \,.\, TC$ (hod), kde (4)

hodnota „n“ se nejčastěji pohybuje v rozmezí intervalu 1,2–2.

Po provedení důkladnější rešerše literatury byl implementován vzorec pro výpočet R ve tvaru:

$$R = A \cdot L^B \cdot S_{1085}^C, \text{ kde} \qquad (5)$$

L je maximální délka toku v povodí v mílích (mi),

S_{1085} je průměrný sklon povodí podél maximální délky toku ve stopách na míli (ft/mi) v úseku mezi 10–85% délky,

A, B, C jsou parametry rovnice odvozené pro stát Illinois v USA (Straub, Melching, Kocher – 2000), které pro podmínky ČR byly upraveny na hodnoty A = 80, B = 0.342, C = -0.79. Podle dosavadních zkušeností dává rovnice (5) vcelku přijatelné výsledky.

PŘÍKLAD 1 – POVODÍ JEZDECKÁ

Jako příklad malého povodí bylo zde vybráno povodí Jezdecká na Černé Desné v Jizerských horách s plochou povodí 4,73 km^2. Je to jedno ze sedmi experimentálních povodí ČHMÚ, kde jsou k dispozici relativně velmi podrobné údaje o spadlých srážkách. Je to proto povodí ideální pro testování srážkoodtokových modelů.

Model povodí je znázorněn na obr. 3, jedná se o nejjednodušší typ modelu, neboť sestává jen z jediného prvku povodí.

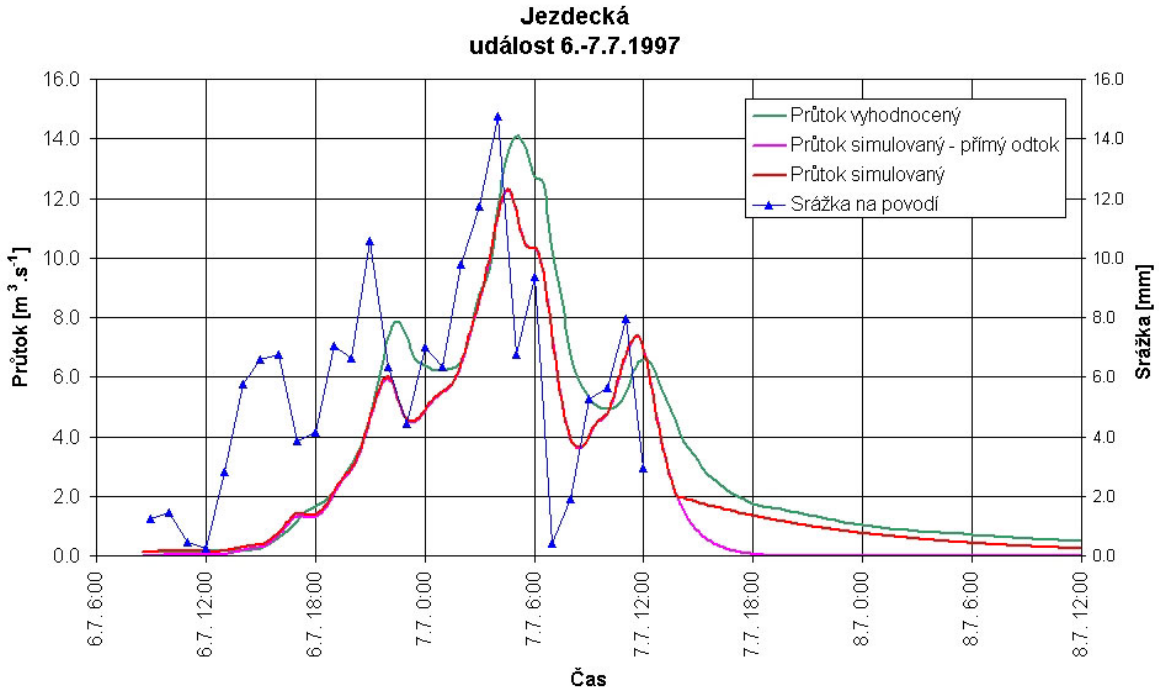
Na obrázcích 4-7 jsou znázorněny simulace vybraných srážkových událostí na povodí Jezdecká, kde parametry modelu byly odhadnuty z fyzicko-geografických charakteristik povodí. Výsledky prokazují celkem uspokojivou shodu simulovaných a dle měrné křivky odvozených průtoků.

Na obr. 8 jsou uvedeny návrhové hyetogramy stanovené dle obou dříve zmíněných metod, a to na podkladě odvozené plošné 100leté 1denní srážky. Odpovídající odtoková odezva je znázorněna na obr. 9.



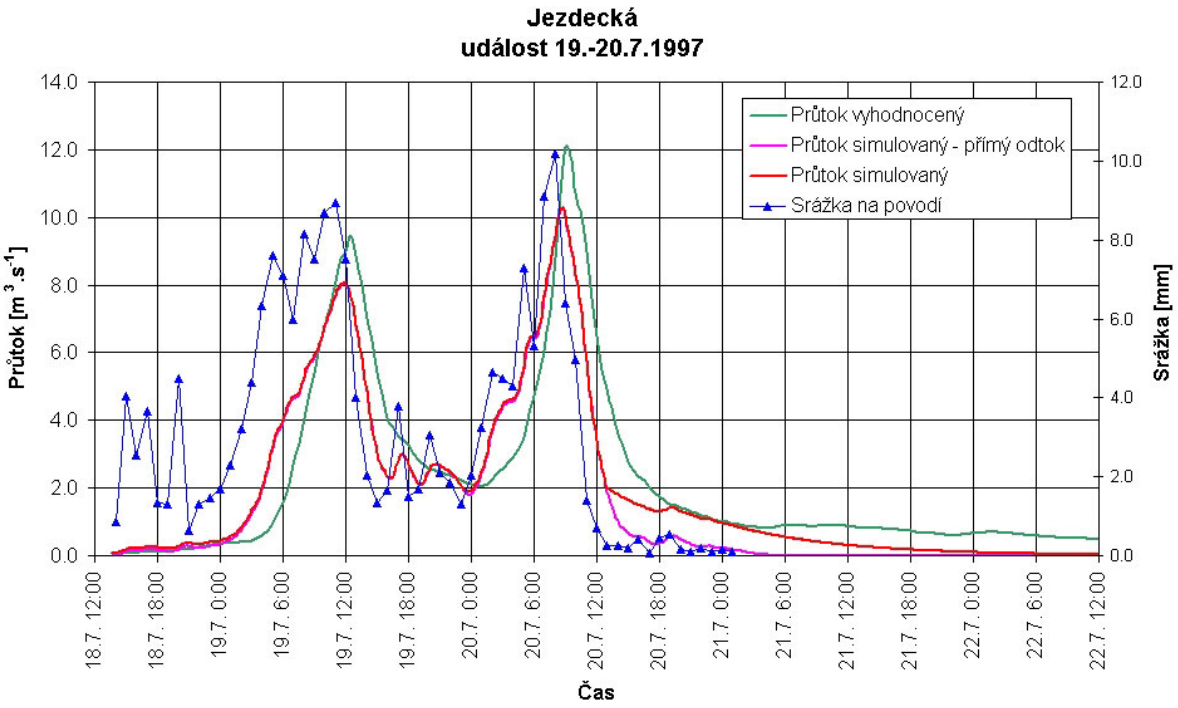
Obr. 3 Hydrologický model povodí Jezdecká po importu do prostředí HEC-HMS

Fig. 3 Hydrological model of Jezdecká catchment after the import into HEC-HMS environment



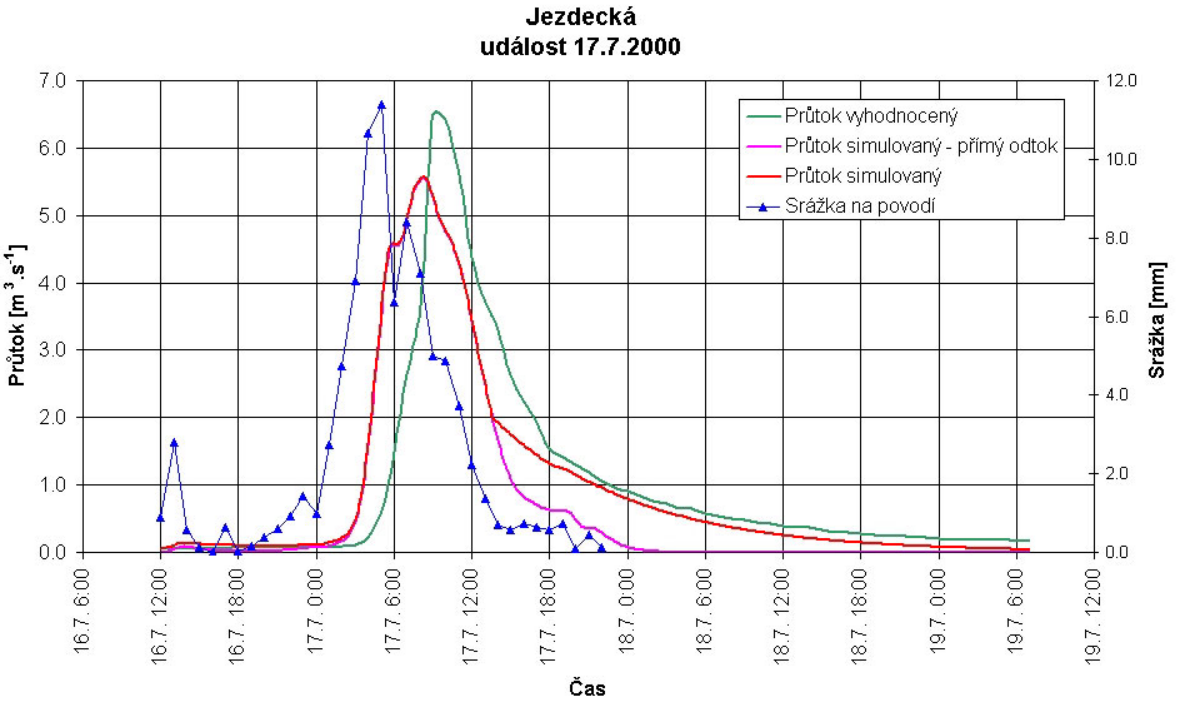
Obr. 4 Simulace povodňové události z 6. – 7. 7. 1997

Fig. 4 Simulation of the flood event 6–7 July 1997



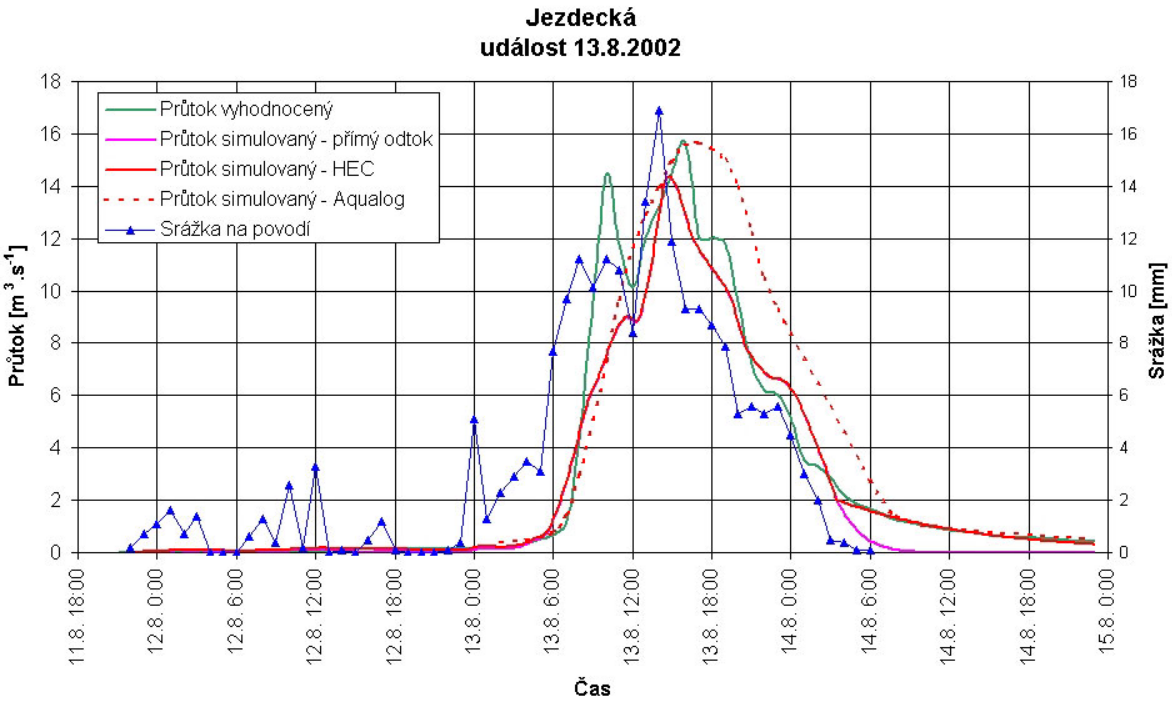
Obr. 5 Simulace povodňové události z 18. – 19. 7. 1997

Fig. 5 Simulation of the flood event 18–19 July 1997



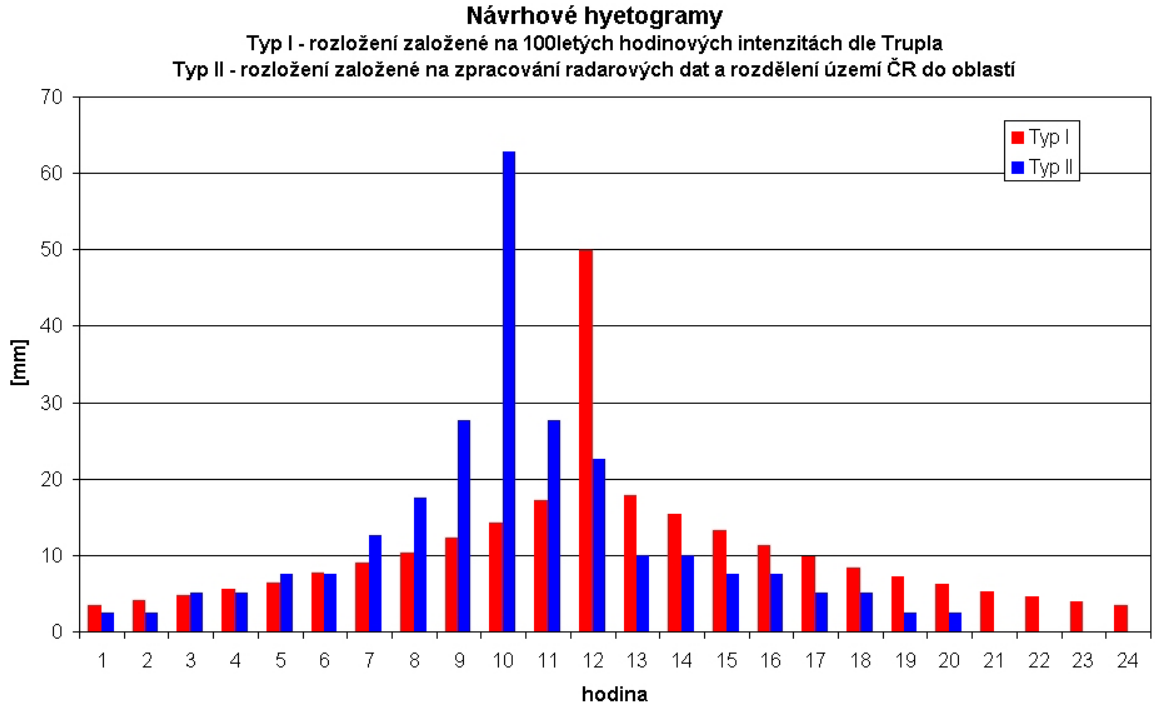
Obr. 6 Simulace povodňové události z 17. 7. 2000

Fig. 6 Simulation of the flood event 17 July 2000



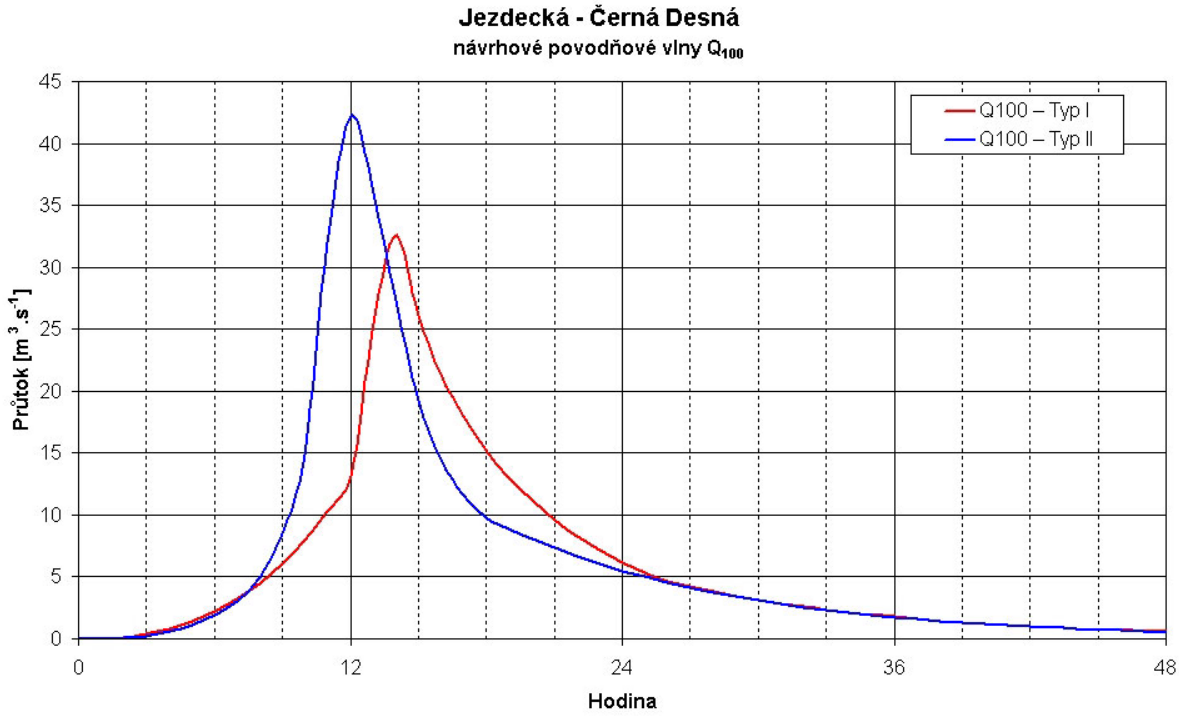
Obr. 7 Simulace povodňové události z 13. 8. 2002

Fig. 7 Simulation of the flood event 13 August 2002



Obr. 8 Návrhové hyetogramy 24hodinové 100leté srážky pro povodí Jezdecká

Fig. 8 Design hyetographs of 100year 24 hours precipitation for Jezdecká catchment



Obr. 9 Teoretické povodňové vlny s dobou opakování 100 let na povodí Jezdecká

Fig. 9 Design hydrographs with 100year recurrence interval for Jezdecká catchment

PŘÍKLAD 2 - NÁVRHOVÁ POVODŇOVÁ VLNA $Q_{10\,000}$ PRO VD ŽLUTICE NA STŘELE

Sestavení hydrologického modelu, odvození parametrů

Hydrologický model byl sestaven v prostředí HEC-GeoHMS, kde byly vypočteny po odvození průběhu rozvodnic na základě digitálního modelu terénu také potřebné fyzicko-geografické charakteristiky všech (pod)povodí a odhadnuty parametry modelu HEC-1.

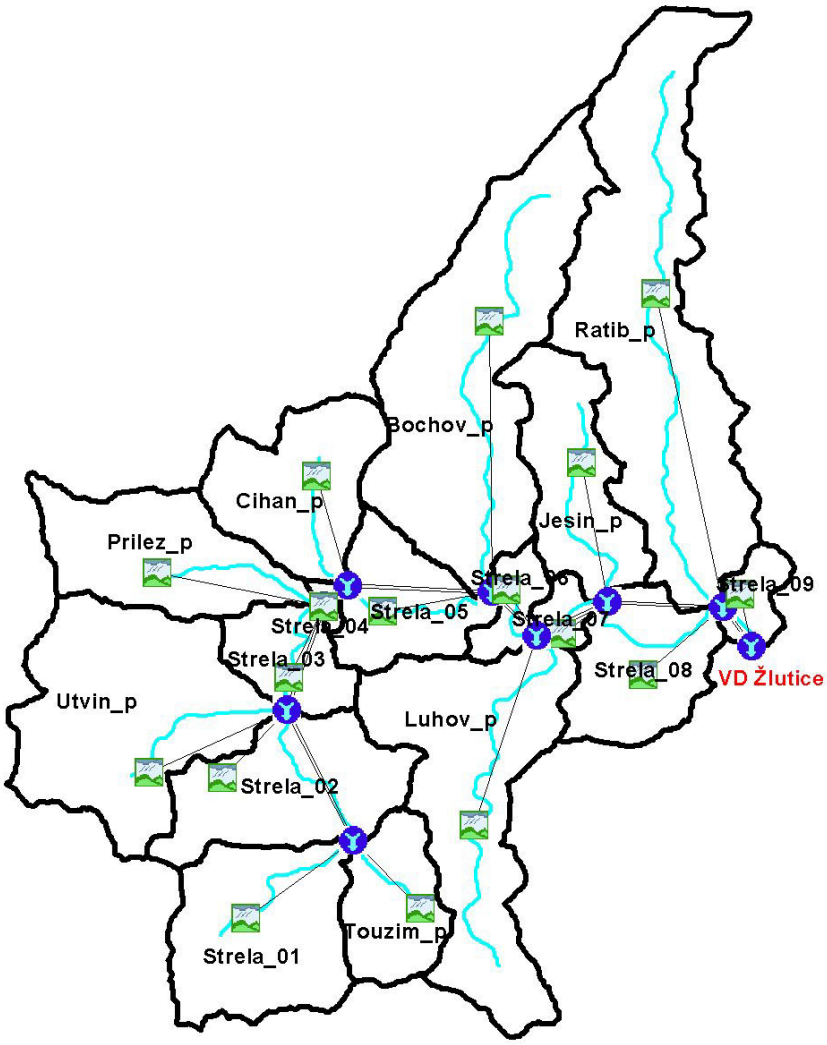
Tab. 1 Základní fyzicko-geografické a hydrologické charakteristiky povodí k hrázi VD Žlutice

Tab. 1 Basic physiogeographical and hydrological characteristics of Žlutice reservoir catchment

Charakteristika	Hodnota	Jednotka
Název	VD Žlutice	
Tok	Střela	
Číslo hydrologického pořadí	1-11-02-0190	
Plocha povodí	214.36	km^2
Průměrná nadm. výška	649	m n. m.
Sklon povodí	0.083	$m.m^{-1}$
Délka údolnice	29.42	km
Sklon údolnice	0.0095	$m.m^{-1}$
Srážka 1931–1980	650	mm
Odtok 1931–1980	188	mm

Charakteristika	Hodnota	Jednotka
Průměrný průtok 1931–1980	1.282	$m^3.s^{-1}$
$P_{10\,000}$ 1denní (korig.)	109	mm
$P_{10\,000}$ 2denní (korig.)	147	mm

Schematizovaný hydrologický model povodí je tvořen celkem 17 prvky představujícími povodí a dále 8 prvky představujícími říční úseky, viz obr. 10.



Obr. 10 Schéma hydrologického modelu povodí Střely po VD Žlutice

Fig. 10 Schema of the hydrological model of Žlutice reservoir catchment

Jako návrhové srážky byly použity plošné srážky trvání 1 den a doby opakování 10 000 let. Byly odvozeny z rastrových map o velikosti pixelu 1000×1000 metrů jako průměr z pixelů na ploše daného povodí. Na výsledné hodnoty srážek byla aplikována plošná redukce a korekce na plovoucí časový interval měření. Prostorové rozdělení srážky bylo uvažováno jako rovnoměrné pro celé povodí.

Návrhové hyetogramy byly odvozeny oběma přístupy uvedenými v předchozím textu a jsou znázorněny na obr. 11. V přístupu v odvození návrhového hyetogramu dle ÚFA AV ČR spadá povodí

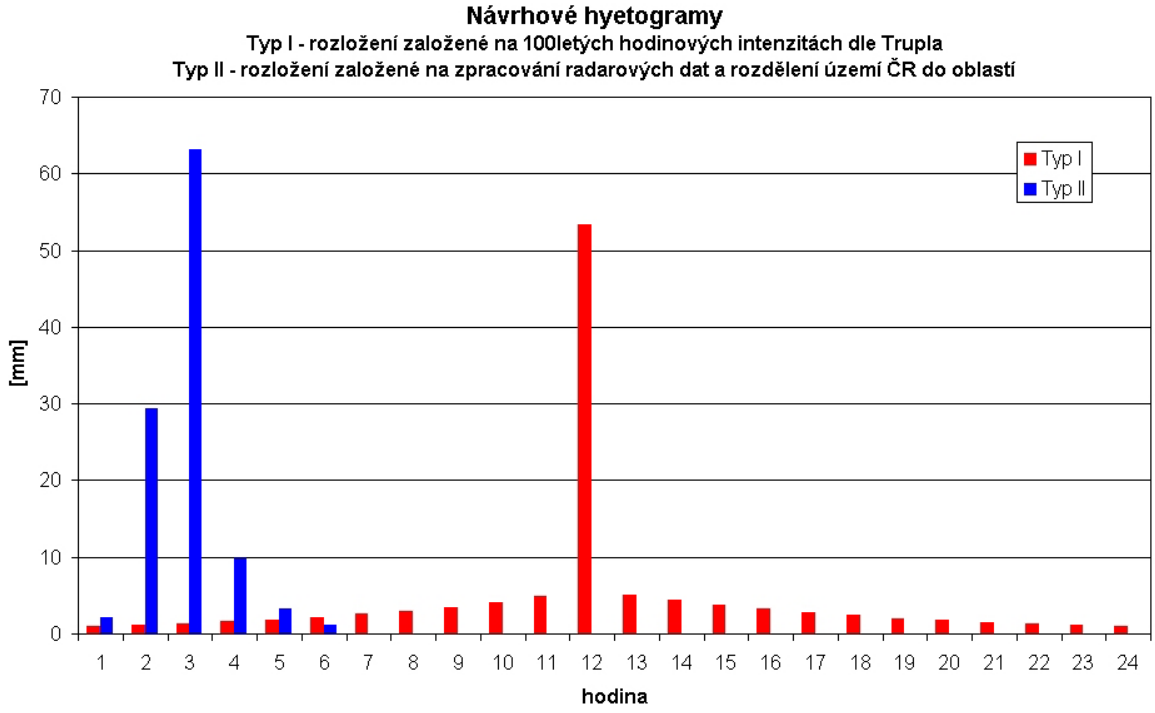
Střely po VD Žlutice do oblasti s výrazným vlivem konvektivních srážek na formování odtoku z malých a středních povodí.

Pro odvození parametrů odtokových ztrát byla použita rastrová mapa hodnot CN, získaných na základě využívání území (projekt Corine Land Cover) a hydrologických charakteristik půd (propustnost, max. retenční kapacita). Byly vždy určeny průměrné hodnoty CN na každé (pod)povodí s tím, že nebyly uvažovány počáteční ztráty.

Parametry jednotkového hydrogramu, tj. doba koncentrace povodí TC a tzv. „storage“ koeficient R charakterizující dobu zdržení vody v povodí (Clarkův model) byly určeny na základě fyzicko-geografických charakteristik povodí. Pro výpočet časového posunu a odhad transformace povodňové vlny v říčních úsecích byla použita metoda Muskingum.

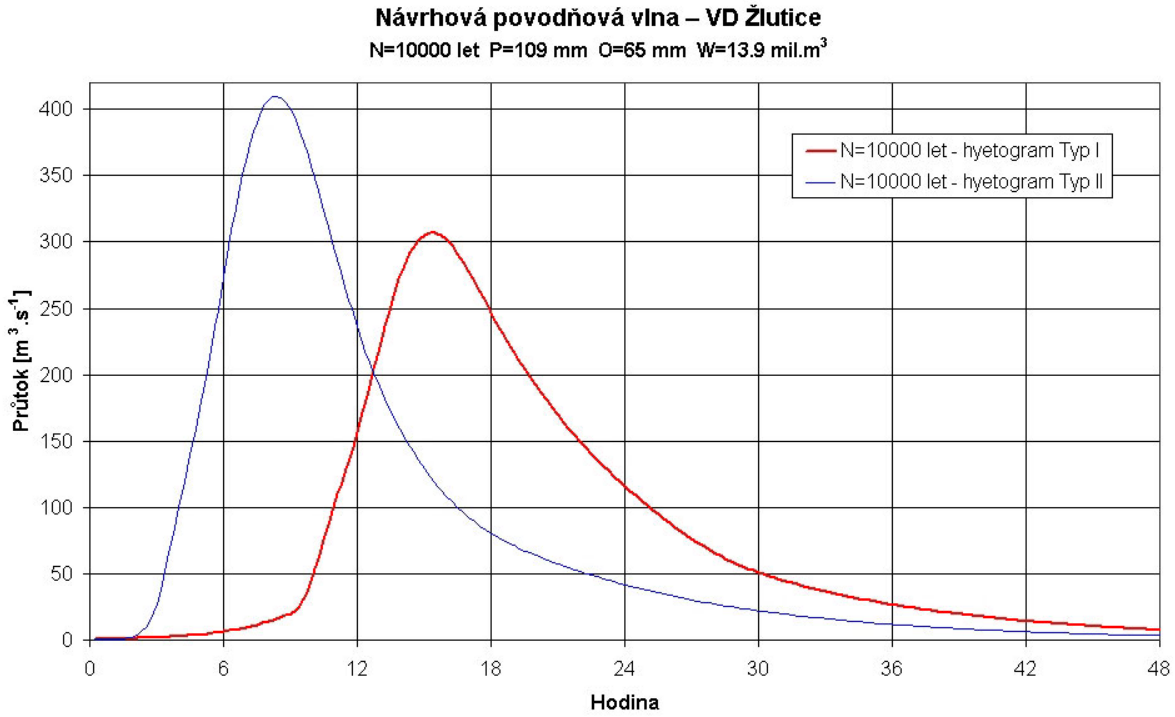
Odvození teoretických návrhových povodňových vln

Na základě obou typů hyetogramů (obr. 11) byly odvozeny teoretické návrhové povodňové vlny s dobou opakování N=10 000 let. Jejich průběh je znázorněn na obr. 12. Obě návrhové povodňové vlny mají shodný objem (vychází ze shodného celkového objemu srážek), liší se však výrazně v tvaru hydrogramu, přičemž vlna odvozená z hyetogramu dle metody ÚFA AV ČR má vyšší kulminaci a rychlejší nástup, což je dáno tvarem návrhového hyetogramu.



Obr. 11 Návrhové hyetogramy 24hodinové srážky s periodicitou 0.0001 pro povodí VD Žlutice

Fig. 11 Design hyetographs of 24 hours precipitation with 0.0001 periodicity for Žlutice reservoir catchment



Obr. 12 Teoretické povodňové vlny s peridicitou 0.0001 pro profil VD Žlutice

Fig. 12 Design hydrographs with 0.0001 periodicity for Žlutice reservoir catchment

ZÁVĚR

Kulminační průtok výsledné teoretické povodňové vlny stanovené na základě zatěžovacího hyetogramu návrhové srážky o době opakování N nemusí být nutně charakterizován stejnou dobou opakování N. Objem povodňové vlny by však u srážek s malou pravděpodobností výskytu měl mít shodnou dobu opakování jako návrhová srážka. Tvar výsledné vlny je silně determinován tvarem hyetogramu, je tudíž snahou stanovit co nejnepříznivější hyetogram.

Metodický postup založený na modelu HEC-1 lze zhodnotit takto:

a) Obecně je použitelný spíše pro menší povodí (cca do 500 km^2) horského a podhorského typu, příp. všude tam, kde jsou velikost a tvar povodňové vlny formovány morfologií terénu v povodí a hydraulicko-morfologické charakteristiky koryt a inundací hrají spíše podružnou roli.
b) V otázce návrhových srážek je nejsložitější otázkou definice vhodného návrhového hyetogramu pro dané povodí. V textu jsou zmíněny dvě metody odvození návrhového hyetogramu, které bude ale ještě třeba více prověřit v praxi.
c) Ke stanovení přímého odtoku (odtokových ztrát) byla i přes její nedostatky doporučena metoda CN-křivek, neboť je dobře aplikovatelná na nepozorovaná povodí a veškerá vstupní data jsou dnes již k dispozici. Otázkou zůstává další prověření hodnot CN odvozených empiricky z dat využívání území a hydrologických skupin půd, a to na konkrétních pozorovaných událostech, a jejich případná korekce.
d) Pro odhad parametrů jednotkového hydrogramu pro transformaci přímého odtoku jsou k dispozici regresní vztahy s vazbou na fyzicko-geografické charakteristiky povodí, které se zatím plně osvědčily.

Celkově je nutné konstatovat, že zmíněný metodický postup je založen na odvozování teoretických povodňových vln z přívalových či silně orograficky zesílených srážek, tedy se jedná o povodně vyskytující se převážně v letní polovině roku. Pro odvozování teoretických povodní zimního typu by bylo nutné zpracovat maximální srážky zvlášť za obě poloviny roku (zimní, letní), revidovat a

případně doplnit údaje o výšce a vodní hodnotě sněhové pokrývky a připravit metodický postup pro výpočet odtoku z tání sněhové pokrývky. Otevřenou otázkou dále zůstává metoda odvození návrhových hyetogramů, jejíž aktualizace závisí na okamžiku ukončení revize ombrografických pozorování v ČHMÚ a zpracování N-letých maximálních srážek kratšího trvání.

Literatura:

Janeček, M. (1998): Použití metody čísel odtokových křivek CN k navrhování protierozních opatření. Praha, VÚMOP.

Kulasová B., Šercl P., Boháč M. (2004): Projekt QD1368 „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní". Závěrečná zpráva. Praha, ČHMÚ.

Straub T. D., Melching C. S., Kocher K. E. (2000): Equations for Estimating Clark Unit-Hydrograph – Parameters for Small Rural Watersheds in Illinois. Water-Resources Investigations Report 00-4184. Urbana, Illinois, U.S. Geological Survey.

Trupl, J. (1958): Intensity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy. Praha, VÚV.

US Army Corps of Engineers (1990): HEC-1 - Flood Hydrograph Package, User Manual.

US Army Corps of Engineers (1994): Flood-Runoff Analysis. Engineer manual EM 1110-2-1417. Washington, DC 20314-1000.

US Army Corps of Engineers (2000): Geospatial Hydrologic Modeling Extension HEC-GeoHMS, user's manual, http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/hechms-geohms.html.

US Army Corps of Engineers (2000): Hydrologic Modeling System HEC-HMS, technical reference manual, http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/hechms-document.html.

US Army Corps of Engineers (2001): Hydrologic Modeling System HEC-HMS, user's manual, http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/hechms-document.html.

Autor

Ing. Petr Šercl, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, Praha 4 – Komořany, sercl@chmi.cz

BIOTICKÝ A ABIOTICKÝ HYDROLOGICKÝ CYKLUS

Miloslav Šír, Ľubomír Lichner, Miroslav Tesař

V příspěvku je vyhodnocena produkce entropie v hydrologickém cyklu na lokalitě Zábrod – louka na Šumavě v období 27.5. až 30.9.1992. V případě, kdy je uvažována potenciální transpirace (biotický cyklus), je produkce entropie vyšší o 2,2 % než produkce entropie v podmínkách silně omezené transpirace vlivem nedostatku vody (abiotický cyklus). Toto zjištění je v souladu s teorií, že transpirace rostlin se podílí na celoplanetární autoregulaci klimatu a hydrologického cyklu tím, že maximalizuje produkci entropie. Produkce entropie v hydrologickém cyklu (0,81 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$) je blízká hustotě entropického toku Země (1,05 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$) stanovené z astrofyzikálních výpočtů.

Klíčová slova: hydrologický cyklus, transpirace rostlin, produkce entropie

Biotic and abiotic hydrologic cycle. *Production of an entropy in the hydrologic cycle was evaluated in the locality Zábrod – louka meadow (Bohemian Forest, Czech Republic) in the period from 27 May till 30 September 1992. Two contrast cases are analysed: (1) Plant transpiration is equal to the potential one – it is a case of biotic cycle. (2) Plant transpiration is strongly limited due to a water shortage – it is a case of abiotic cycle. The entropy produced in the biotic cycle was higher by 2.2 % than that produced in the abiotic cycle. This fact indicates that the dissipative processes within the hydrologic cycle (e.g., plant transpiration) are aimed to the states in which the production of entropy is maximal.*

Key words: hydrologic cycle, plant transpiration, entropy production

ÚVOD

Dosud ne zcela poznané mechanismy vyrovnávají teplotu Země v čase a prostoru tak, že ji udržují daleko od rovnováhy se zdrojem tepla ze Slunce a s ochlazováním Země do vesmíru. Součástí těchto pochodů je i pohyb vody na planetě. Voda slouží jako chladivo v evaporačně kondenzačním cyklu. Při výparu vody z teplých míst se teplo spotřebovává na výpar – uschovává do latentního výparného tepla, čímž se Země chladí. Při kondenzaci vodní páry na chladných místech se latentní teplo naopak uvolňuje a Země se ohřívá (Pokorný, 1997, 2001, Rippl, 1995). Oběh tepla je tedy provázen oběhem vody – hydrologickým cyklem. Podstatnou složkou výparu na pevninách ve vegetační sezóně je transpirace rostlin.

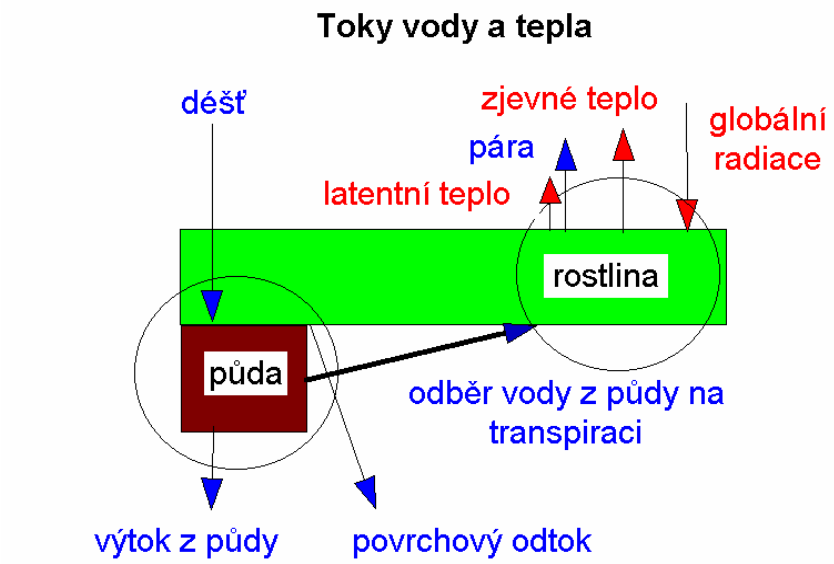
Kondenzačně-evaporační cyklus přiklání malý hydrologický cyklus většinou do podoby typických, jen málo odlišných, ročních cyklů. Přesto se však občas vyskytne rok se zcela netypickým průběhem srážkové činnosti. Tomu pak odpovídá i pozměněný průběh odtoku. V hydrologickém cyklu pevnin lze rozlišit dva odlišné režimy: (1) biotický režim ovlivněný transpirující vegetací, (2) abiotický režim, který nastupuje ve třech typických situacích: (1) nedostatek vody v cyklu způsobuje zastavení transpirace rostlin, (2) nedostatek tepla v cyklu způsobuje snížení transpirace rostlin, (3) přebytek vody v cyklu vede k hydraulickému kolapsu retence vody v půdě.

Pohyb atmosféry a hydrologický cyklus Země pohání sluneční radiace, která dopadá na Zemi plošně a časově nerovnoměrně. Celkový zářivý příkon Země je v průměru $1{,}23 \cdot 10^{17}$ W. V okolí vlnových délek odpovídajících záření těles s teplotou Slunce a Země je atmosféra Země dobře propustná, a proto je tento výkon opět vyzářen, takže se průměrná teplota Země nemění. Země je v dynamicky rovnovážném stavu, kdy vyzařuje tolik energie, kolik pohltí. V důsledku odlišnosti teploty dopadající energie ze Slunce 5800 K a teploty energie vyzařované Zemí 290 K dochází k produkci entropie při transformaci slunečního záření na teplo. Vztaženo na 1 m^2 Země je hustota entropického toku 1,05 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$. Lidstvo spotřebovává energii přibližně 10^{13} W, čímž produkuje entropii $6 \cdot 10^{-5}$ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ (Maršík, Dvořák, 1998).

Na Zemi jsou podstatným zdrojem entropie fázové přeměny vody. Jedna z těchto přeměn, výpar v důsledku transpirace rostlin, je biologickým procesem. To zásadně odlišuje transpiraci od prostého výparu z vody nebo půdy. V našem příspěvku studujeme rozdíly v biotickém a převážně abiotickém hydrologickém cyklu na lokalitě Zábrod – louka na Šumavě. Důvodem abiotického chování je nedostatek vody pro transpiraci. Měřítkem odlišnosti cyklů je produkce entropie.

RETENČNĚ-EVAPOTRANSPIRAČNÍ JEDNOTKA

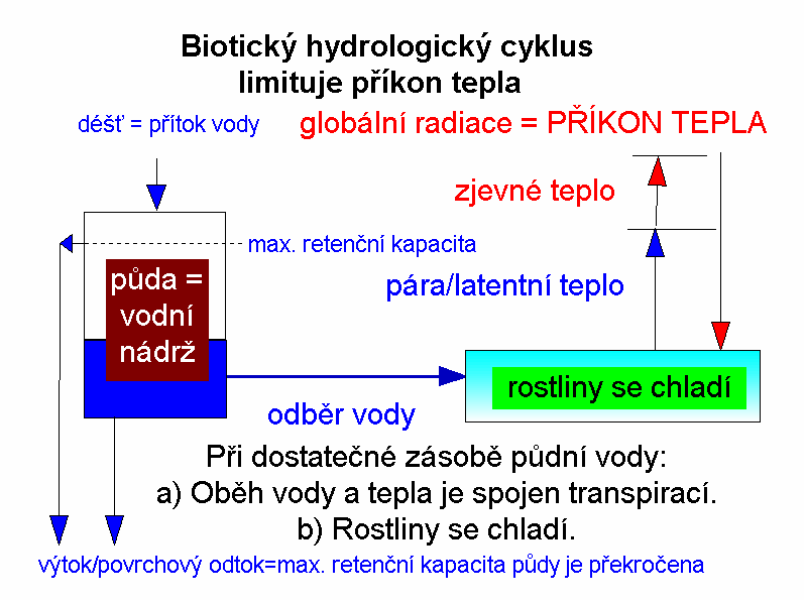
Výměna vody mezi půdou a rostlinami je studována na základě úvah o transformaci slunečního záření v latentní a zjevné teplo. Vazby oběhu vody a tepla mezi atmosférou, půdou a rostlinami ukazuje obr. 1. Hybatelem oběhu vody je příkon globální radiace na rostlinný kryt. Ten v kombinaci s teplem ve vzduchu způsobuje ohřívání rostlin. Z ohřátých rostlin vyzařuje do atmosféry zjevné teplo. Pokud odvod zjevného tepla z porostu není dostatečný, brání se rostliny přehřátí nad určitou optimální teplotu transpirací (Pražák a kol., 1994). Při ní dochází k ochlazení rostlin a přízemní vrstvy vzduchu vlivem odběru skupenského výparného tepla (latentního tepla). Rostliny čerpají vodu pro transpiraci z kořenové zóny půdy. Je-li vody v půdě nedostatek, k transpiraci nedochází, rostliny se nechladí, a dochází proto k zahřívání atmosféry. Toto těsné spojení oběhu vody a tepla mezi atmosférou, půdou a rostlinami – retenčně-evapotranspirační jednotka RETU – tvoří základ hydrologického cyklu pevnin v teplé části roku (Eliáš et al., 2000, 2002, Šír et al., 2004a).



Obr. 1 Oběh vody a tepla mezi atmosférou, půdou a rostlinami
Fig. 1 Water and heat circulation in the atmosphere – plant – soil system

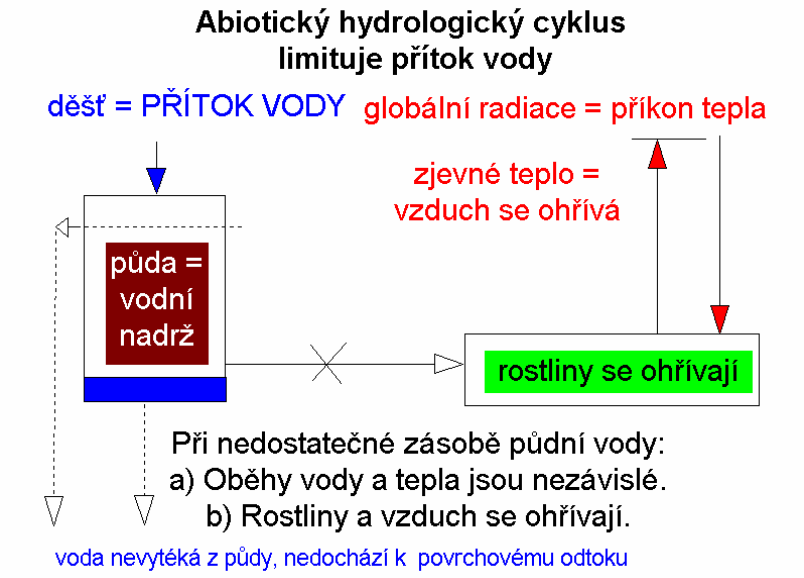
Obr. 1 ukazuje, že v RETU je jediná vazba oběhu vody a tepla, a to odběr vody z půdy na transpiraci rostlin. Je-li v půdě dostatek vody, mohou rostliny transpirovat dle svých potřeb. Půda slouží jako nádrž chladiva a rostliny se chovají jako chladič, kterým se snižuje teplota listů. Potřeba transpirační vody je určována fyziologickými nároky rostlin. Oběh vody je tedy úplně určen reakcí rostlin na příkon tepla ze slunečního záření. V takovém případě se jedná o biotický hydrologický cyklus (obr. 2). Naproti tomu, pokud je vody v půdě málo, rostliny netranspirují, takže jejich životní aktivita se v hydrologickém cyklu nijak neprojevuje. Jedná se tedy o abiotický hydrologický cyklus (obr. 3). Příkon slunečního záření nezpůsobuje oběh vody, takže oběhy tepla a vody jsou navzájem nezávislé. Veškeré pohlcené sluneční záření se mění ve zjevné teplo. Hydrologický cyklus v přechodovém klimatu, typickém pro přírodní podmínky ČR, se skládá z úseků biotických (v půdě je dostatek vody) a abiotických (půda je proschlá). Z hlediska vodního režimu půd koincidují biotické úseky hydrologického cyklu s perkolačními fázemi a abiotické úseky s výsušnými oddíly akumulačních fází (Tesař et

al., 2001). Vodní režim půd spoluurčuje rovněž vodní režim celého povodí a formování odtoku (Tesař et al., 2004a, b). Životní aktivita rostlin tedy prostřednictvím transpirace a chlazení/ohřívání atmosféry určuje podobu vodního hospodářství krajiny (Šír et al., 2004b).



Obr. 2 Biotický hydrologický cyklus

Fig. 2 The biotic hydrologic cycle



Obr. 3 Abiotický hydrologický cyklus

Fig. 3 The abiotic hydrologic cycle

EXPERIMENTÁLNÍ PLOCHA

Experimentální plocha Zábrod – louka se nachází v oblasti Vimperské vrchoviny, která svou jihovýchodní částí zasahuje do CHKO a NP Šumava. Území je součástí moldanubického masivu. Lokalita je využívána jako trvalý travní porost, v roce 1976 byla odvodněna systematickou trubní drenáží, genetický půdní představitel je hnědá půda kyselá slabě oglejená. Poloha: 13º 41´ 45´´ východní délky, 49º

04´ 15´´ severní šířky, 788 m n. m. Na experimentální ploše jsou osazeny automatické monitorovací stanice pro kontinuální měření teploty vzduchu, půdy, tenzometrických tlaků v půdě, vlhkosti půdy a chodu srážek. Globální radiace se měří v blízké meteorologické stanici ČHMÚ na Churáňově.

VÝSLEDKY

Ve vegetační sezóně 27.5. až 30.9.1992 na experimentální ploše Zábrod – louka byla vypočtena produkce entropie pro převážně abiotický a zcela biotický hydrologický cyklus. Charakteristiky sezóny přináší tab. 1. Celá sezóna byla vyjimečně teplá a suchá. Při výpočtu biotického hydrologického cyklu byl ignorován nedostatek půdní vody, takže výpočet zjevného tepla, latentního tepla a teploty rostlinného krytu vycházel z potenciální transpirace. V převážně abiotickém hydrologickém cyklu se uvažovala skutečná transpirace. Zdrojem transpirační vody byly převážně srážky. V tab. 2 jsou výsledky výpočtu pro typický den 3.8. 1992. Tab. 3 přináší souhrnné výsledky za celé období 27.5. až 30.9.1992. Produkce entropie je počítána pro denní období od 5 do 20 hodin.

Tab. 1 Charakteristiky studovaného časového období (27.5. až 30.9.1992) na ploše Zábrod – louka

Tab. 1 Characteristics of the studied time period (27.5. – 30.9.1992) in the locality Zábrod – louka meadow

sezóna	1992
trvání	27.5. – 30.9.
počet dní	127
srážky (mm)	204
průměrná teplota vzduchu (°C) od 5 do 20 hod	14,3
globální radiace ($MJ \cdot m^2$)	2210
pohlcená globální radiace ($MJ \cdot m^2$)	1658
odražená globální radiace ($MJ \cdot m^2$)	552

Celková entropie je součtem entropie latentního tepla (skupenské přeměny vody v páru) a entropie zjevného tepla (přeměny slunečního záření na zjevné teplo). Produkce entropie, vznikající transformací slunečního záření na zjevné teplo, se stanovuje jako podíl zjevného tepla vyzařovaného z rostlinného porostu do atmosféry a teploty porostu. Produkce entropie, vznikající skupenskou přeměnou vody v páru při transpiraci rostlin, se určuje jako podíl latentního tepla a teploty porostu. Zjevné teplo, latentní teplo a teplota porostů se stanovuje pomocí teorie chlazení rostlin (Pražák a kol., 1994). Pro výpočet se užívají měřené hodnoty teploty přízemní vrstvy vzduchu, globální radiace a tenzometrického tlaku půdní vlhkosti v kořenové zóně. Je-li tenzometrický tlak v kořenové zóně menší než –60 kPa, transpirace se zastavuje v důsledku nedostatku vody.

Tab. 2 Produkce entropie dne 3.8.1992 na ploše Zábrod – louka

Tab. 2 Entropy production in the locality Zábrod – louka meadow on 3 August, 1992

3.8.1992 od 5 do 20 hodin	biotický cyklus	abiotický cyklus
transpirace (mm)	7,8	0
latentní teplo ($MJ \cdot m^{-2}$)	14,61	0
zjevné teplo ($MJ \cdot m^{-2}$)	3,29	17,90
celková entropie ($Wh \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	17,05	15,84
entropie latentního tepla ($Wh \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	16,34	0
entropie zjevného tepla ($Wh \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	0,71	15,84

Tab. 3 Produkce entropie v studovaném časovém období (27.5. až 30.9.1992) na ploše Zábrod – louka

Tab. 3 Entropy production in the locality Zábrod – louka meadow in the studied time period (27.5. – 30.9.1992)

27.5. – 30.9.1992 od 5 do 20 hodin	biotický cyklus	abiotický cyklus
transpirace (mm)	310	121
latentní teplo ($MJ \cdot m^{-2}$)	698	274
zjevné teplo ($MJ \cdot m^{-2}$)	958	1382
celková entropie ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	0,81	0,80
entropie latentního tepla ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	0,34	0,14
entropie zjevného tepla ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	0,47	0,66

DISKUSE

Země je zřejmě globálním autoregulačním systémem. Autoregulace Země je umožněna disipací nízkoentropické energie ze Slunce. O povahu autoregulačních mechanismů se vedou zásadní vědecké spory (Kirchner 2002, 2003, Lovelock, 2003, Volk, 2002, 2003a, 2003b). Lovelock formuloval teorii (Lovelock, 1979, 2001, 2003), že autoregulace v planetárním měřítku je emergentní vlastností bioty (Gaia). Vyšel z poznatku, že zemská atmosféra je biologického původu. Kyslík, dusík, oxid uhličitý a další atmosférické plyny jsou totiž reaktivní, složení atmosféry se navzdory vzájemným reakcím udržuje vysoce přesně regulovanou biologickou produkcí plynů. Podnětem pro formulaci teorie Gaia byl fakt, že biologická produkce plynů reaguje na zvětšující se svítivost Slunce (za 3,4 miliardy let o asi 30 %) tak, že se úměrně snižuje skleníkový efekt atmosféry. V důsledku této proměny složení atmosféry je regulována i zemská teplota tak, že v průběhu života na Zemi nikdy nevybočila z mezí vhodných pro život.

Teorie Gaia podnítila širokou diskusi, která vyústila ve formulaci nulových hypotéz. Jedna z nich je, že autoregulační funkce bioty se musí projevovat zvýšením produkce entropie oproti poměrům bez života, příp. bez autoregulační funkce života (Kleidon et al., 2000, Kleidon, 2002, 2004, Lenton, 2002, Lenton, Wilkinson., 2003). V naší práci jsme dokázali, že biotický hydrologický cyklus vede k větší produkci entropie než cyklus abiotický a to v rámci jednoho dne (tab. 2) i vegetační sezóny trvající 127 dní (tab. 3). Je proto pravděpodobné, že autoregulační funkce bioty v měřítku povodí je tím potvrzena, a to metodicky nezávisle na pracích, ve kterých byla formulována.

V práci (Chlebek, Jařabáč, 1988) byla experimentálně potvrzena autoregulační funkce lesních porostů v hydrologickém cyklu v měřítku povodí (přírodní kompenzační tendence) již v roce 1988: „Výzkum srážkově odtokových vztahů v beskydských experimentálních povodích poskytl poznatek, že postupné obnovní zásahy na méně jak 50 % plochy povodí roční odtoková množství neovlivnily. Teprve při překročení této plochy je možné pozorovat tendenci k mírnému zvýšení odtoků (...), ale o příčinách těchto změn zatím není možné jednoznačně rozhodnout. Pravděpodobné je vysvětlení, že potlačení (...) výparů ve prospěch odtoku vody nastává, je-li nárazově postižen celý ekosystém. Při postupné obnově porostů se může dlouhodobě uplatňovat přírodní kompenzační tendence podporující stálost vodní komponenty lesního prostředí."

ZÁVĚRY

Produkce entropie ve zcela biotickém hydrologickém cyklu v období 27.5. až 30.9.1992 na lokalitě Zábrod – louka je vyšší o 2,2 % než produkce entropie v téměř abiotickém hydrologickém cyklu na téže lokalitě ve shodném období. V extrémně teplém dni byla větší dokonce o 6,8 %. Což podporuje teorii, že životní aktivita rostlin se podílí na celoplanetární autoregulaci klimatu a hydrologického cyklu. Celková entropie biotického hydrologického cyklu 0,81 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ je blízká hustotě entropického toku Země 1,05 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ stanovené z astrofyzikálních výpočtů (Maršík, Dvořák, 1998).

Poděkování

Výzkum podporuje AVČR (IBS2060104, AV0Z20600510). Za dlouholetou a podnětnou diskusi autoři děkují A. Chlebkovi a M. Jařabáčovi.

Literatura

Eliáš, V., Kubík, F., Lichner, Ľ., Pražák, J., Syrovátka, O., Šír, M., Tesař, M. (2000): Retenčně evapotranspirační jednotka. In: Bucek, J., Tesař, M. (eds.) Sborník konference Hydrologické dny 2000 – Nové podněty a vize pro příští století, Plzeň 18. – 21. září 2000. ČHMÚ, Praha, 299 – 306.

Eliáš, V., Tesař, M., Šír, M., Syrovátka, O. (2002): Stabilita a extremalizace hydrologického cyklu pramenných oblastí. In: Patera, A., Váška, J., Zezulák, J., Eliáš, V. (eds.): Povodně: prognózy, vodní toky a krajina. Fakulta stavební ČVUT v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 363 – 385.

Chlebek, A., Jařabáč, M. (1988): Důsledky porostních obnov na odtok vody z beskydských experimentálních povodí. Zprávy lesnického výzkumu, 4, 7 – 12.

Kirchner, J. W. (2002): The Gaia hypothesis: Fact, theory, and wishful thinking. Climatic Change, 52, 391 – 408.

Kirchner, J. W. (2003): The Gaia hypothesis: Conjectures and refutations. Climatic Change, 58, 21 – 45.

Kleidon, A., Fraedrich, K., Heimann, M. (2000): A green planet versus a desert world: Estimating the maximum effect of vegetation on the land surface climate. Climatic Change, 44, 471 – 493.

Kleidon, A. (2002): Testing the effect of life on Earth's functioning: How Gaian is the Earth system? Climatic Change, 52, 383 – 389.

Kleidon, A. (2004): Beyond Gaia: Thermodynamics of life and Earth system functioning. Climatic Change, 66, 271 – 319.

Lenton, T. M. (2002): Testing Gaia: The effect of life on Earth's habitability and regulation. Climatic Change, 52, 409 – 422.

Lenton, T. M., Wilkinson, D. M. (2003): Developing the Gaia theory. Climatic Change, 58, 1 – 12.

Lovelock, J. E. (1979): Gaia. Oxford University Press. Oxford.

Lovelock, J. E. (2001): Gaia – nový pohled na život na Zemi. Abies, Tulčík.

Lovelock, J. (2003): Gaia and emergence. Climatic Change, 57, 1 – 3.

Maršík, F., Dvořák, I. (1998): Biotermodynamika. Academia, Praha.

Pokorný, J.(1997): Opomíjená makroenergetika krajiny. Ekologie a společnost, VII(6), 5 – 7.

Pokorný, J. (2001): Dissipation of solar energy in landscape – controlled by management of water and vegetation. Renewable Energy, 24, 641 – 645.

Pražák, J., Šír, M., Tesař, M. (1994): Estimation of plant transpiration from meteorological data under conditions of sufficient soil moisture. J. Hydrol., 162, 409 – 427.

Ripl, W. (1995): Management of water cycle and energy flow for ecosystem control – the energy-transport-reaction (ETR) model. Ecological Modelling 78, 61 – 76.

Šír, M., Lichner, Ľ., Tesař, M., Syrovátka, O. (2004a): Retention – evapotranspiration unit. XXIInd Conference of the Danubian Countries of the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, 30 August – 2 September 2004, Brno, Czech Republic, Conference Abstracts and CD ROM.

Šír, M., Tesař, M., Lichner, Ľ., Syrovátka, O. (2004b): Vegetační porost krajiny a vodní hospodářství. Vodní hospodářství, 8, 234 – 237.

Tesař, M., Šír, M., Dvořák, I. J., Lichner, Ľ. (2004a): Influence of vegetative cover changes on the soil water regime in headwater regions in the Czech Republic. In: Herrmann, A., Schroeder, U. (eds.) Studies in Mountain Hydrology. IHP/HWRP-Berichte, Heft 2, Koblenz, 57 – 72.

Tesař, M., Šír, M., Pražák, J., Lichner, Ľ. (2004b): Instability driven flow and runoff formation in a small catchment. Geologica Acta, 2(1), 147 – 156.

Tesař, M., Šír, M., Syrovátka, O., Pražák, J., Lichner, Ľ., Kubík, F. (2001): Soil water regime in headwater regions – observation, assessment and modelling. J. Hydrol. Hydromech., 49(6), 355 – 375.

Volk, T. (2002): Toward a future for Gaia theory. Climatic Change, 52, 423 – 430.

Volk, T. (2003a): Seeing deeper into Gaia theory. Climatic Change, 57, 5 – 7.

Volk, T. (2003b): Natural selection, Gaia, and inadverted by-products. Climatic Change, 58, 13 – 19.

Autoři

Miloslav Šír, Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Pod Paťankou 30/5, 166 12 Praha 6, msir@mereni.cz
Ľubomír Lichner, Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 83102 Bratislava, lichner@uh.savba.sk
Miroslav Tesař, Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Pod Paťankou 30/5, 166 12 Praha 6, miroslav.tesar@iol.cz

INTEGROVANÝ MANAŽMENT POVODÍ

Adámková J., Dobiašová M., Šporka F.
Proces odvodzovania referenčných podmienok na príklade sapróbneho indexu bentických bezstavovcov ako súčasti hodnotenia vôd podľa Rámcovej smernice o vodách 620

Čaboun V.
Možnosti využitia lesa pri protipovodňovej ochrane 628

Dobiašová M., Hlúbiková D., Štefková E.
Hodnotenie stavu tečúcich vôd na Slovensku prostredníctvom bentických rozsievok 643

Hajtášová K., Matuška M.
Príspevok GWP CEE k integrovanému manažmentu povodní 650

Halaj P., Bárek V., Igaz D.
Vplyv morfologických zmien upravených malých vodných tokov v poľnohospodárskej krajine na úroveň protipovodňovej ochrany priľahlých pozemkov 659

Hanušin J.
Vplyv vybraných morfometrických vlastností povodí na dynamiku odtoku 669

Hlavčová K., Szolgay J., Kohnová S.
Kvantitatívne metódy integrovaného manažmentu povodia 677

Horák J., Unucka J., Stromský J., Orlík A.
Příspěvek projektu TRANSCAT pro integrovaný management povodí v pohraničních oblastech 685

Jurík Ľ., Bárek V., Halaj P.
Zlepšenie prirodzených funkcií mŕtveho ramena toku revitalizáciou 697

Langhammer J.
Strukturální změny kvality vody v povodí Labe v kontextu aplikace evropské environmentální legislativy 702

Lehotský M., Grešková A.
Prieskum a hodnotenie morfológie vodných tokov ako súčasť integrovaného manažmentu povodia 718

Lukáč M., Holubová K., Mravcová K.
Alternatívne riešenie protipovodňovej ochrany dolnej Moravy 730

Starý M., Doležal P., Králová H.
Operativní řízení odtoku vody z povodí za povodňových situací 743

PROCES ODVODZOVANIA REFERENČNÝCH PODMIENOK NA PRÍKLADE SAPRÓBNÉHO INDEXU BENTICKÝCH BEZSTAVOVCOV AKO SÚČASTI HODNOTENIA VÔD PODĽA RÁMCOVEJ SMERNICE O VODÁCH

Juliana Adámková, Marcela Dobiašová, Ferdinand Šporka

V minulých desaťročiach bolo hodnotenie kvality povrchových vôd založené na porovnaní hodnôt sledovaných ukazovateľov kvality vody vzhľadom k vopred stanoveným hodnotám limitov kvality vody. Tieto limity platili celoplošne pre celé územie SR bez rozlíšenia prirodzených rozdielov medzi rôznymi typmi tokov. Pritom tieto toky sa výrazne líšia fyzikálnymi a chemickými ukazovateľmi ovplyvňujúcimi druhové zloženie vodnej bioty.
V zmysle smernice 2000/60/ES (RSV) sa vyžaduje vyvinúť a uviesť do praxe systém hodnotenia stavu povrchových vôd založený na posúdení odchýlky existujúceho stavu oproti tzv. referenčnému stavu, ktorý reprezentuje stav vôd v určitom type povrchových vôd za podmienok žiadneho, alebo minimálneho narušenia vodného ekosystému.
Za účelom odvodenia referenčných podmienok pre bentické bezstavovce, ktoré predstavujú jeden z povinných prvkov kvality podľa RSV, bola prehodnotená a modifikovaná metodika odberu ich vzoriek z tokov, spôsob spracovania týchto vzoriek, a boli revidované autekologické charakteristiky druhov bentických bezstavovcov vyskytujúcich sa v SR.
Od r. 2003 sa uskutočňuje vzorkovanie bentických bezstavovcov vo vybraných referenčných lokalitách, výsledky z ktorých majú slúžiť ako základ pre odvodenie referenčných podmienok. Keďže existujú aj typy útvarov povrchových vôd, u ktorých vzhľadom na existujúce antropogénne vplyvy nie sú k dispozícii referenčné lokality – napr. veľké toky – v ich prípade bolo nutné v procese odvodenia referenčných podmienok využiť kombináciu existujúcich údajov z monitorovacieho programu a expertného posúdenia.
V prvej fáze procesu odvodzovania referenčných podmienok bola pozornosť zameraná na sapróbny index, ktorý má v SR dlhoročnú tradíciu, a napriek obmedzenému množstvu údajov bolo možné preň referenčné podmienky odvodiť. V príspevku uvádzame spôsob odvodenia referenčných podmienok pre sapróbny index bentických bezstavovcov, výsledky zo spracovania, ako i víziu ďalších aktivít, ktoré plánujeme uskutočniť za účelom prípravy systému hodnotenia bentických bezstavovcov ako významnej súčasti hodnotenia ekologického stavu povrchových vôd.

Kľúčové slová: Rámcová smernica o vodách (RSV), referenčné podmienky, bentické bezstavovce, sapróbny index, pomer ekologickej kvality (PEK), klasifikačná schéma

Establishing of reference conditions for saprobic index of benthic invertebrates in the process of water quality assessment according to Water Framework Directive.*. In the last decades the assessment of surface water quality for different purposes was based on values of water quality determinants comparison against before set limits of water quality. These limits were valid for whole Slovakia regardless natural differences among different water types. But the water types differ significantly with physical and chemical determinants influencing water biota.*
According to the Water Framework Directive (WFD) 2000/60/EC it´s necessary to develop and implement in praxis a system of surface waters quality assessment based on present status deviation from so called reference status which represents water status in certain water body type without or with minimal water ecosystem deterioration.
To establish reference conditions for benthic invertebrates which is one of by WFD required biological quality elements the sampling method was re-evaluated and modified as well as samples processing and the autecological characteristics of benthic invertebrates in Slovakia were actualized.
From the year 2003 on the benthic invertebrates sampling is running in reference localities, the sampling results will serve as a basis for reference conditions establishing. There are surface water body types without presence of reference localities because of human impacts – e.g. large rivers – in these cases it was necessary to combine the data from national surface waters monitoring network with the expert judgement to establish the reference conditions
In the first phase of reference conditions establishment process the benthic invertebrates saprobic index was of the concern because this indicator has a long tradition in Slovakia and despite of the limited data number it was possible to establish the reference conditions for this indicator. This article is about process how were the reference conditions established for benthic invertebrates saprobic index, the results as well as the next activities which are planned to be done to prepare the system of benthic invertebrates assessment as an important part of surface waters ecological status assessment.

Keywords: Water Framework Directive (WFD), reference conditions, benthic invertebrates, saprobic index, ecology quality ratios (EQR), classification scheme

ÚVOD

Hodnotenie kvality povrchových vôd, ktoré sa používalo v bývalom Československu, a neskôr aj v Slovenskej republike, vychádzalo z porovnania zistených ukazovateľov hodnôt kvality vody s vopred stanovenými tabuľkovými hodnotami určenými slovenskou technickou normou. Tieto hodnoty platili celoplošne pre celé územie štátu, bez ohľadu na charakter toho ktorého vodného útvaru. Pre vodnú biotu sa používal len jediný ukazovateľ, a to sapróbny index.

Smernica 2000/60/EC o vodách (RSV) zaviedla ako prioritu hodnotenie ekologického stavu vodných útvarov primárne na základe štyroch spoločenstiev vodných organizmov (fytobentos, makrofytá, makroevertebráta – bentické bezstavovce, ryby). Hodnotenie ekologického stavu vôd vychádza z porovnania stavu (kvalitatívneho – druhového zloženia a kvantitatívneho – početnosti) sledovaného spoločenstva v hodnotenom vodnom útvare voči referenčnému vodnému útvaru, ktorý reprezentuje nenarušený, prípadne len minimálne narušený vodný útvar s viac menej pôvodnými spoločenstvami vodnej bioty. Dôležitými kritériami pre zhodnotenie celkového stavu sú pritom aj ďalšie ukazovatele: fyzikálno-chemické, hydromorfologické a koncentrácie tzv. prioritných látok vo vodách.

Takéto hodnotenie si však vyžaduje vytvorenie typológie vodných útvarov, ktorá je založená spájaní tokov do typov na základe kritérií stanovených RSV ako sú ekoregióny, geologické zloženie, nadmorská výška, ako aj plocha povodia. V rámci každého typu sa potom porovnávajú odchýlky od referenčného stavu, nakoľko každý typ vodných útvarov má odlišné abiotické, a nimi podmienené biotické charakteristiky.

Pre pomoc implementácie RSV, ktorá detailnejšie nestanovuje spôsob vyhodnotenia ekologického stavu, sa riešili viaceré projekty financované EU, ako napr. AQEM, STAR, Fame. Tieto projekty mali ujednotiť jednak metodiky odberov biologických vzoriek, ako aj spôsob ich vyhodnotenia. Vyhodnotenie je založené na metrikách, ktoré vytvorením multimetrického indexu umožňujú získať komplexný ukazovateľ charakterizujúci stav biologického spoločenstva v danom vodnom útvare, ktorý po kalibrácii určí triedu ekologického stavu vyhodnocovaného vodného útvaru. Pre umožnenie stanovenia metrík bentických bezstavovcov bola vypracovaná publikácia, ktorá prináša autekologické charakteristiky u nás zistených druhov tohto spoločenstva živočíchov (Šporka, 2003). Na základe informácií v tejto publikácii sa dajú vypočítať rôzne indexy (metriky) vychádzajúce zo špecifík prostredia slovenských tokov.

Aby bolo možné dospieť k stanoveniu ekologického stavu vodných útvarov v zmysle RSV, je nevyhnutné získať dostatočne veľký súbor dát, ktorý umožní praktické vyhodnocovanie. Základným predpokladom je vytypovanie referenčných tokov, prípadne úsekov tokov, odber reprezentačných vzoriek organizmov, ich spracovanie, spoľahlivá determinácia špecialistami. Vzhľadom na celkovo nový prístup k vyhodnocovaniu nielen kvality povrchových vôd, ale aj ekologického stavu povrchových vôd, požadované súbory dát chýbajú. V predloženej práci dokumentujeme začiatočné kroky, ktoré boli dosiaľ uskutočnené pre skupinu vodných bentických bezstavovcov.

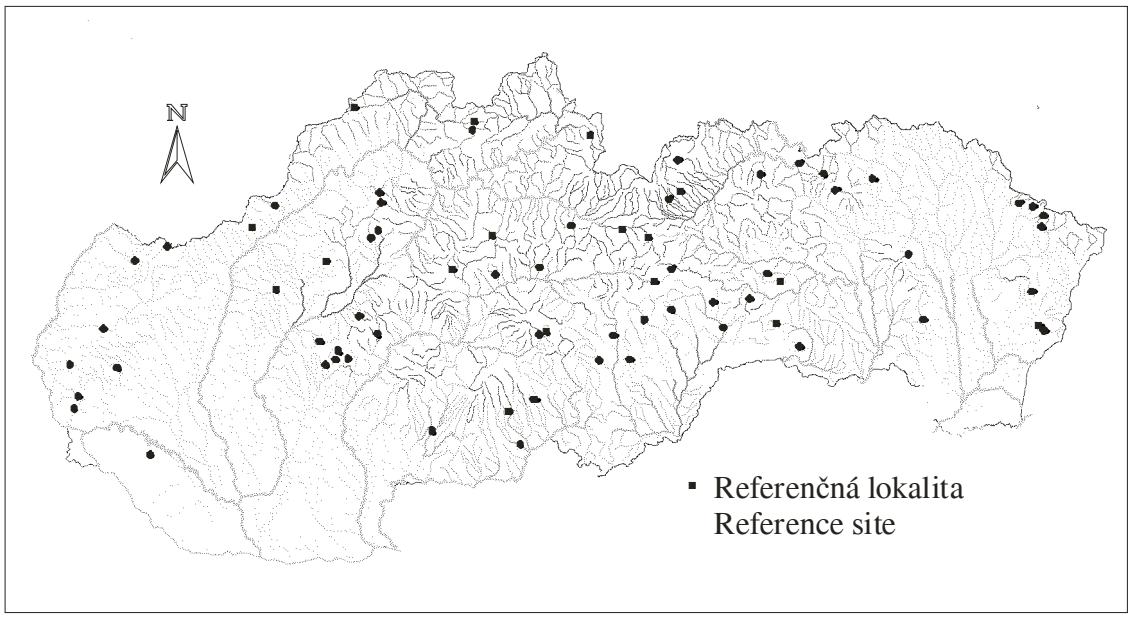
POSTUP PRI ODVODZOVANÍ REFERENČNÝCH PODMIENOK

Typológia vodných útvarov.

RSV vyžaduje pre hodnotenie stavu vôd zatriediť toky do typov podľa určených kritérií. Toky v jednom type majú rovnaké abiotické vlastnosti, ktoré podmieňujú výskyt podobných biologických spoločenstiev v nich. Do hodnotenia vodných útvarov v zmysle RSV boli zahrnuté toky s plochou povodia dosahujúcou minimálne 10 km^2.

RSV rozdeľuje územie Európy na ekoregióny, ktoré definovali Illies & Botosaneanu (1963). Podľa tohto delenia územie Slovenska zahŕňa dva ekoregióny: Panónska panva a Karpaty, ktoré však nezohľadňujú odlišné zoogeografické členenie nášho územia vyplývajúce z odlišného zloženia vodnej bioty, najmä bentických bezstavovcov a rýb vo Východných Karpatoch v porovnaní s ostatným územím. Preto bolo územie SR posudzované aj z hľadiska zoogeografického členenia určeného limnickým biocyklom (Atlas krajiny Slovenskej Republiky 2002). K rovnakým zisteniam dospeli napr. aj v Rakúsku, kde svoje územie rozdelili do tzv. vodných bioregiónov (Moog et al. 2001). Ďalšími kritériami, ktoré vyselektovali skupiny tokov s podobným charakterom boli: geologické zloženie, nadmorská výška, ako aj plocha povodia. V rámci vodných tokov sa podľa vyššie uvedených kritérií odvodilo 32 typov, pričom takáto abiotická typológia bola overená analýzami bentických bezstavovcov a nárastov (fytobentos).

Pre každý typ vodných útvarov sa hľadali existujúce referenčné lokality charakteristické pre dané územie, v ideálnom prípade sa v jednom type nachádzalo niekoľko referenčných lokalít. Problémy sú hlavne na veľkých tokoch v nížinných oblastiach, ktoré sú husto obývané a ich antropogénne zaťaženie je intenzívne. Referenčné lokality v týchto prípadoch reálne neexistujú, a je nutné referenčné podmienky hľadať spôsobmi odporúčanými RSV: odborné posúdenie, modelovanie, historické údaje. Miery odchýlok od stavu vodných útvarov v referenčných lokalitách daného typu určia triedu ekologického stavu vôd. Veľmi dôležitou a zložitou úlohou je teda zadefinovanie adekvátnych referenčných podmienok pre určené typy vodných útvarov, pričom jedným z ukazovateľov charakterizujúcich stav vôd sú bentické bezstavovce.



Obr. 1 Rozmiestnenie odberových referenčných lokalít na území Slovenska a typy vodných útvarov

Fig. 1 Map with reference sampling sites in Slovakia and typology of surface water bodies

Odber vzoriek a ich spracovanie.

Do roku 2003 sa odber vzoriek bentických bezstavovcov vykonával podľa technickej normy, ktorá nariaďovala semikvantitatívny odber a nezohľadňovala reprezentatívnosť miest odberov, ani proporčné zastúpenie substrátov v nich. Preto bola prehodnotená a modifikovaná metodika odberu vzoriek bentických bezstavovcov z tzv. „brodivých tokov“ (wadeable rivers), ako aj spôsob spracovania týchto vzoriek podľa výsledkov celoeurópskeho projektu AQEM zameraného na vyvinutie a testovanie integrovaného systému hodnotenia ekologickej kvality tokov využijúc bentické bezstavovce. Slovenská republika bola aktívne zapojená do uvádzaného projektu. Získanie reprezentačnej vzorky vodných makroevertebrát je založené na tzv. multihabitatovom vzorkovaní –

odbere organizmov zo všetkých substrátov na danom mieste, ktorých zastúpenie je väčšie ako 5%, pričom sa odbery vykonávajú z presne zadefinovanej plochy a počet vzoriek bioty z jednotlivých substrátov je priamo úmerný proporčnému zastúpenie substrátov v danom mieste. O dobrom výbere metodiky na národnej úrovni svedčia aj návrhy CEN noriem (CEN/TC 230 N 0503; CEN/TC 230 N 0504), ktoré nahradia pôvodné STN normy.

Podľa uvádzanej metodiky sa od roku 2003 uskutočňuje vzorkovanie bentických bezstavovcov vo vybraných referenčných lokalitách na celom území SR, výsledky z ktorých majú slúžiť ako základ pre odvodenie referenčných podmienok. Metodika AQEM sa aplikuje aj na miesta odberov patriacich do štátnej siete kvality povrchových vôd, ktoré sú sústredené prevažne v antropogénne ovplyvnených vodných útvaroch, aby sa dal zhodnotiť dopad ľudskej činnosti na kvalitu vôd. Tým je zabezpečená možnosť kalibrácie vybraných metrík, ako sa popisuje nižšie. Metodika AQEM sa používa aj v iných štátoch EÚ, výsledky z našich odberov sa teda budú môcť porovnať aj s výsledkami iných štátov v rámci interkalibračných cvičení.

Testovací súbor

Podklady pre výpočet rôznych metrík charakterizujúcich bentické bezstavovce boli čerpané z už spomenutej publikácie Šporka (2003), ktorá bola vypracovaná pre tieto účely. Pre nedostatočne rozsiahly súbor dát (1 vzorkovací cyklus v referenčných lokalitách a jeden v lokalitách patriacich do štátnej siete z r. 2003) však bolo odvodzovanie referenčných podmienok zamerané len na sapróbny index, ktorý má v SR dlhoročnú tradíciu, a napriek obmedzenému množstvu údajov bolo možné preň referenčné podmienky odvodiť. Sapróbny index bentických bezstavovcov nie je závislý od hodnôt geologického zloženia, ale vykazuje významnú závislosť od veľkosti povodia a nadmorskej výšky. Preto boli pre túto metriku vytvorené skupiny so zlúčením príslušných typov útvarov povrchových vôd, t.j. z 32 typov útvarov povrchových vôd sa vytvorili skupiny typov spojené veľkosťou povodia a nadmorskou výškou, v rámci ktorých sa stanovil spoločný sapróbny index.

Získali sa tak väčšie súbory dát, ktoré bolo možné použiť pri odvodzovaní referenčných podmienok.

Normalizácia metrík

Smernica 2000/60/ES požaduje, aby biologické prvky kvality boli vyjadrené vo forme pomeru ekologickej kvality (PEK), ktorý reprezentuje vzťah medzi hodnotami biologických ukazovateľov pozorovaných v určitom útvare povrchovej vody daného typu a hodnotami týchto ukazovateľov za referenčných podmienok v rovnakom type útvarov povrchových vôd. PEK takto dosahuje hodnoty od 0 – 1.

Pre normalizáciu biologických metrík pre bentické bezstavovce sa použil nasledovný vzťah podľa Böhmer, Rawer-Jost & Zenker, 2004:

$$EQR = \frac{\text{hodnota v testovanej lokalite} - \text{hodnota vyjadrujúca veľmi zlý stav}}{\text{referenčná hodnota} - \text{hodnota vyjadrujúca veľmi zlý stav}}$$

kde

referenčná hodnota je

- ⇒ 75. percentil z rozdelenia hodnôt metriky v 1. triede kvality ak *hodnota metriky klesá s antropogénnym ovplyvnením*
- ⇒ 25. percentil z rozdelenia metriky v 1. triede kvality ak *hodnota metriky stúpa s antropogénnym ovplyvnením*

hodnota vyjadrujúca veľmi zlý stav

- ⇒ 25. percentil z rozdelenia metriky v najhoršej triede, príp. hodnota 0, ak *hodnota metriky s antropogénnym ovplyvnením klesá*

⇒ 75. percentil z rozdelenia metriky v najhoršej triede, príp. teoretická maximálna hodnota ak *hodnota metriky s antropogénnym ovplyvnením stúpa*

Ak nie sú dostatočné údaje pre jednotlivé triedy kvality, možný je 5. percentil a 95. percentil zo všetkých dostupných hodnôt určitého typu tokov.

V prípade sapróbneho indexu, keďže ide o metriku, ktorej hodnota stúpa so vzrastom antropogénneho ovplyvnenia, bol referenčnou hodnotou 25. percentil z rozdelenia metriky v 1. triede kvality (tj. v testovaných referenčných lokalitách príslušného typu vodných útvarov), a hodnota vyjadrujúca veľmi zlý stav bola teoretická hodnota 3,5.

Z možností danými smernicou 2000/60/ES pre spôsob odvodenia referenčných podmienok sa využilo odvodenie na základe existujúcich údajov z referenčných lokalít a odborného odhadu, v niektorých prípadoch sa použila ich kombinácia, hlavne pri tokoch s plochou povodia nad 100 km^2.

Pri odvodzovaní referenčných podmienok sa v princípe postupovalo nasledovným spôsobom:

⇒ Všetky lokality – referenčné aj monitorovacie – boli predklasifikované do triedy 1-5 na základe odborného posúdenia ich stavu.

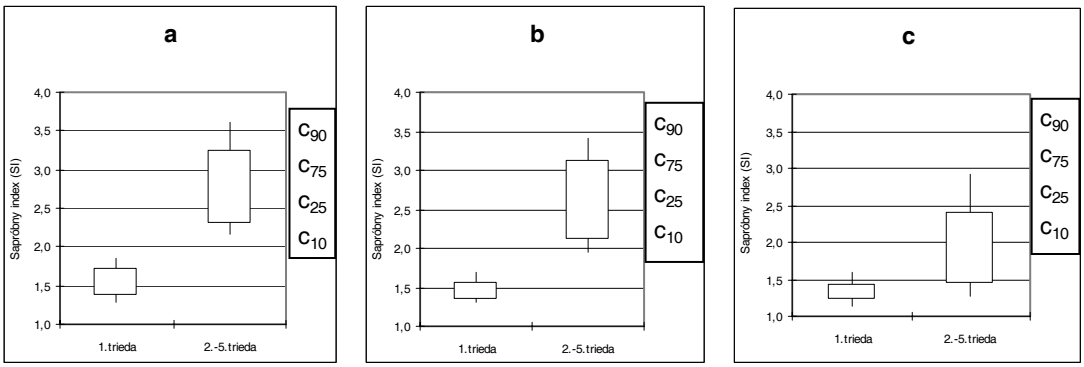
⇒ Hodnoty sapróbnych indexov boli normalizované podľa vyššie uvedeného spôsobu.

⇒ V prípade, že sa v danej skupine nachádzal dostatok referenčných lokalít, za hranicu medzi triedou 1-2 bol považovaný 75. percentil z hodnôt dosiahnutých v referenčných lokalitách.

⇒ V prípade, že sa v danej skupine nenachádzal dostatok referenčných lokalít, za hranicu medzi triedou 1-2 bol považovaný 10. percentil z hodnôt dosiahnutých v lokalitách predklasifikovaných do vyšších tried kvality (u skupín, kde sa ani v predklasifikácii nenachádzali lokality s predpokladanou 2. triedou, ale až s 3. triedou, 10. percentil vyjadroval hranicu medzi triedami 2-3). Takto získané výsledky boli následne posúdené s hodnotami v referenčných lokalitách a odborne posúdené.

Pre názornosť je na obr. 1.1, 1.2 a 1.3 znázornený rozdiel medzi hodnotami sapróbnych indexov v lokalitách zaradených do 1. triedy kvality (referenčné lokality) a v lokalitách zaradených do 2.-5. triedy kvality v r. 2003 u typov malých tokov pri rôznych nadmorských výškach. Na obrázkoch je jasne viditeľný rozdiel medzi neovplyvnenými a ovplyvnenými lokalitami, hodnoty sapróbnych indexov sú významne odlišné hlavne medzi 1. a ostatnými triedami kvality. Sapróbny index bentických bezstavovcov sa ukazuje týmto byť vhodnou metrikou, dostatočne citlivou na znečistenie vôd, je však indikátorom iba organického znečistenia biologického pôvodu, a teda citlivý iba na jeden typ znečistenia.

Výsledky sú zobrazené pomocou tzv. škatuľových grafov (Box plots), kde dolná hranica obdĺžnika predstavuje 25. percentil, horná hranica 75. percentil. Koniec dolnej čiary obdĺžnika je 5. percentil a hornej čiary 95. percentil.



Obr. 2a-c Škatuľové grafy s hodnotami sapróbneho indexu bentických bezstavovcov v referenčných lokalitách (1. trieda) a ostatných lokalitách (2. -5. trieda) malých tokov do nadmorskej výšky 200m (2a) v nadmorskej výške 200-500m (2b) a nadmorskej výške 500-800m (2c) na základe údajov z roku 2003.

Fig. 2a-c Box plots of Slovak Saprobic Index of benthic invertebrates on reference sites (1. class) and impacted sites (2. -5. class) in small rivers in altitude <200m a.s.l. ,(2a), 200-500 a.s.l. m(2b) and 500-800m a.s.l. (2c) according to the data from 2003.

Hodnoty pomeru ekologickej kvality pre sapróbny index pre všetky triedy ekologického stavu malých a stredných tokov sú uvádzané v tab. 1., na veľkých tokoch spolu s riekou Dunaj v tab. 2. Rieka Dunaj zaujíma osobitné postavenie, lebo pre jej významne upravené koryto tu chýbajú nenarušené referenčné úseky s pôvodnou bentickou faunou. Vzhľadom na významný pokles sklonu toku Dunaja pri Klížskej Nemej z 0,35‰ na 0,10‰ sme sa snažili stanoviť hranice tried oddelene pre horný úsek a dolný úsek. Pri stanovovaní referenčných podmienok sme si museli vypomôcť nepublikovanými dátami, ktoré nám poskytli Ústav zoológie SAV, ako aj VÚVH Bratislava, čím sme získali rozsiahlejší testovaný súbor. Takto získaný súbor sa použil pri tzv. expertnom posúdení – rekonštrukcii pôvodného druhového zloženia bentickej fauny. Hodnoty pomeru ekologickej kvality pre sapróbny index v rieke Dunaj uvádzané v tab. 2 preto pochádzajú z tzv. expertného posúdenia.

Tab. 1 Predbežná klasifikačná schéma pre sapróbny index bentických bezstavovcov malých a stredných tokov (PEK – pomer ekologickej kvality, SI – sapróbny index)

Tab*. 1 Preliminary classification scheme for benthic invertebrates saprobic index for small and medium rivers (PEK – EQR Ecological Quality Ratios, SSI Slovak Saprobic Index)*

	Malé toky Small rivers								Stredné toky Medium rivers					
Nadmorská výška (m) Altitude (m)	<200		200-500		500-800		>800		<200		200-500		500-800	
	PEK EQR	SI SSI	PEK EQR	SI SSI	PEK EQR	SI SSI	PEK EQR	SI SSI	PEK EQR	SI SSI	PEK EQR	SI SSI	PEK EQR	SI SSI
I-II	0,83	1,7	0,89	1,6	0,89	1,5	0,88	1,4	0,82	2,0	0,82	1,75	0,82	1,6
II-III	0,62	2,2	0,67	2,05	0,67	2,0	0,66	1,9	0,65	2,35	0,65	2,1	0,65	2,0
III-IV	0,41	2,6	0,45	2,5	0,45	2,5	0,44	2,4	0,43	2,7	0,43	2,6	0,43	2,5
IV-V	0,21	3,0	0,22	3,0	0,22	3,0	0,22	3,0	0,22	3,1	0,22	3,0	0,22	3,0

Tab. 2 Predbežná klasifikačná schéma pre sapróbny index bentických bezstavovcov veľkých rokov a rieku Dunaj (PEK – pomer ekologickej kvality, SI – sapróbny index)

Tab. *2 Preliminary classification scheme for benthic invertebrates saprobic index for large rivers and the Danube River (PEK – EQR Ecological Quality Ratios, SSI Slovak Saprobic Index)*

	Veľké rieky Large rivers						Dunaj horná časť Danube upper stretch		Dunaj dolná časť Danube lower stretch	
Nadmorská výška (m) Altitude (m)	<200		200-500		500-800		<200		<200	
Riečny km rkm							1880-1791		1791-1708	
	PEK EQR	SI SSI	PEK EQR	SI SSI	PEK EQR	SI SSI	PEK EQR	SI SSI	PEK EQR	SI SSI
I-II	0,82	2,2	0,82	2,0	0,82	1,8	0,85	2,1	0,85	2,1
II-III	0,65	2,5	0,65	2,35	0,65	2,2	0,70	2,3	0,70	2,35
III-IV	0,43	2,8	0,43	2,7	0,43	2,6	0,50	2,6	0,50	2,7
IV-V	0,22	3,2	0,22	3,1	0,22	3,0	0,30	3,0	0,30	3,0

ZÁVER

Vzhľadom na malý súbor údajov je potrebné považovať výsledky **P**omeru **E**kologickej **K**vality pre sapróbny index za predbežné, získaním ďalších dát budú tieto limitné hodnoty upravené (ukazuje sa napr., že osobitne sa možno budú musieť posudzovať typy vodných útvarov v popradskej oblasti, ktorá je vysoko položená a lokality v nej sú veľmi málo ovplyvnené, čo sa prejavuje aj na pomerne nízkom sapróbnom indexe v týchto referenčných lokalitách v porovnaní s ostatnými lokalitami). Treba tiež pozorne preskúmať dodržiavanie postupu pri odberoch vzoriek podľa metodiky AQEM, aby faktor nesprávneho odberu vzoriek nebol zanedbaný pri hodnotení výsledkov. V neskorších fázach, po získaní dostatočne rozsiahleho súboru dát z referenčných lokalít, bude nevyhnutné navrhnuté limity pre ekologické triedy kvality podľa sapróbneho indexu overiť, ako aj vyselektovať ďalšie metriky, ktoré sú citlivé pre jednotlivé typy povrchových vôd, a pre rôzne druhy znečistenia. U týchto metrík sa vykoná transformácia ich hodnôt do stupnice 0-1, čím sa stanovia hranice jednotlivých tried ekologického stavu. Z takto vyselektovaných metrík bude vytvorený multimetrický index. Zvýšené úsilie bude treba vynaložiť na stanovenie referenčných podmienok u vodných útvarov, kde nebude možné získať dostatočne veľký súbor dát z titulu malého počtu, resp. úplnej absencie referenčných lokalít. Výsledky z monitoringu bentických bezstavovcov budú musieť byť podporené aj výsledkami z monitoringu fytobentosu, makrofýt a rýb. Čo sa týka posledne spomínaného biologického prvku kvality, ryby neboli na území SR systematicky skúmané, je nutné uviesť do chodu ich monitoring, nakoľko sú relevantným prvkom v slovenských riekach.

Vzhľadom na uvedené fakty je jasné, že ide o odborne, aj časovo náročný proces vyžadujúci dôkladné overovanie s postupným nadobúdaním nových údajov.

Literatúra

Adamková J., Hensel, K., Grešková, A., Klozík, M., Lehotský, M., Oťahelová, H., Šporka, F., Štefková, E. and Valachovič, M. (2003): Príprava databázy hydromorfologických a biologických ukazovateľov pre proces výberu a charakterizácie referenčných miest podľa Smernice 2000/60/EC, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava.

AQEM Consortium (2002): Manual for application of the AQEM system. A comprehensive method to access European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water framework Directive, Version 1. (www.aqem.de)

Böhmer J., Rawer-Jost C. and Zenker A. (2004): Multimetric assessment of data provided by water managers from Germany: Assessment of several different types of stressors with macrozoobenthos communities, Hydrobiologia 516: 215-228.

CEN/TC 230 N 0503. Water quality – Guidance on pro-rata Multihabitat-Sampling of benthic invertebrates from wadeable rivers.

CEN/TC 230 N 0504. Water quality – Guidance standard on the design of Multimetric indices.

Illies, J. and Botosaneanu, L. (1963): Problemes et mèthodes de la clasification et de la zonation écologique des eaux courantes, consideré surtout du point vue faunistique. mitt. Internat. Verein. Limnol. 12: 1-57.

Moog, O., Nesemann, H. and Ofenböck, T. (2001). Österreichs Anteil and en europäischen Ökoregionen gemäß EU–Wasserrahmenrichtlinie – eine deduktive Analyse landschaftsprägender Milieufaktoren. Österr. Wasser.- und Abwallwirtschaft Wien. 52: 204-209.

Smernica 2000/60/ES Európskeho parlamentu a rady z 23. októbra 2000 ustanovujúca rámec pôsobnosti spoločenstva v oblasti vodnej politiky.

Šporka, F. (Ed.) (2003): Vodné bezstavovce (makroevertebráta) Slovenska, súpis druhov a autekologické charakteristiky, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava.

Autori

Juliana Adámková, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15, Bratislava, Slovenská republika

Marcela Dobiašová, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15, Bratislava, Slovenská republika, e-mail: Marcela.Dobiasova@shmu.sk

Ferdinand Šporka, Ústav zoológie, odd. hydrobiológie SAV, Dúbravská cesta 9, 845 06, Bratislava, Slovenská republika, e-mail: ferdinand.sporka@savba.sk

MOŽNOSTI VYUŽITIA LESA PRI PROTIPOVODŇOVEJ OCHRANE

Vladimír Čaboun

V príspevku sú stručne uvedené doterajšie súhrnné poznatky o vodnej bilancii lesných ekosystémov, o vplyve lesa, drevinovej skladby, ťažbových a dopravných technológií na odtokové a erózne pomery. Samostatná pozornosť je venovaná jednotlivým zložkám vodnej bilancie, vplyvu lesa na evapotranspiráciu, intercepciu, infiltráciu, retenciu, vplyvu lesa na odtok vody pri roztápajúcom sa snehu, ako aj konkrétnym výsledkom získaným na modelovom povodí rieky Kysuca a Predmieranka.

Uvedené sú určujúce faktory výsledného odtokového množstva a jeho časových zmien. Na záver je zhrnutá celá problematika vplyvu lesných ekosystémov na odtokové pomery povodia, uvedený je návrh vhodných metód obhospodarovania lesa z hľadiska plnenia protipovodňovej funkcie lesa a potreba ďalšieho výskumu v tejto oblasti.

Kľúčové slová: vodná bilancia, lesné ekosystémy, protipovodňová ochrana

Possibility of forest utilization for antiflooding protection *There are briefly introduced existing knowledge of water balance, hydric functions and influences of forest ecosystems and its structure on basin flow condition in the article. Special attention is addicted of individual components of water balance, forest influence on evapotranspiration, interception, infiltration, retention, of forest influence on water flow by snow melting and of forests effects on high-flood-water waves and of results raised on modeling basin Kysuca and Predmieranka.*

There is mentioned determining factors of final flow mass and its time changes there. In conclusion is summarized complete problems of influences of forest ecosystems on Basin flow condition, mentioned is proposal of applicable methods of forest management from point of view of forest antiflood function and necessarily of research continuality.

Key words: Water balance, forest ecosystems, antiflooding protection

---

1. ÚVOD - PRÍČINY POVODNÍ

Zrážkovo – odtokový režim v malých povodiach úzko súvisí s širokou škálou prírodných a miestnych podmienok. Väčšina podieľajúcich sa prvkov má veľkú variabilitu hodnôt. V malých horských povodiach, ktoré majú pomerne veľkú lesnatosť, bývajú príčinou povodní podľa M. JAŘABÁČA a A. CHLEBEKA (2000) dažde trojakého druhu:

1. *Búrkové prietrže mračien, zasahujúce pomerne malú plochu a trvajúce krátky čas – 1 až 2 hodiny, ktorých intenzita je často väčšia ako 2 mm.min^{-1}.*
2. *Búrkové dažde spojené so studeným frontom postupujúcim do Európy z Atlantického oceánu; tie môžu mať spočiatku podobnú intenzitu ako krátkodobé búrkové dažde, neskôr môžu zasiahnuť väčšie územie, kde sa vyskytne menej intenzívny dážď trvajúci i niekoľko dní. Vyskytujú sa prevažne v lete, len výnimočne začiatkom jari alebo v neskorej jeseni.*
3. *Regionálne dažde, nadväzujúce na cyklóny postupujúce do strednej Európy spravidla z juhu na sever po van Bebberovej dráhe V_b; súčasne s nimi prúdi od severu chladný vzduch. To podmieňuje v oblasti stretu síce menej intenzívne, ale dlhotrvajúce dažde zasahujúce často územie väčšie ako 10 tisíc km^2. Také dažde sa vyskytli koncom júna a začiatkom júla 1997 na viacerých miestach Slovenska a na území severovýchodnej Moravy, kde zapríčinili rozsiahle povodne na riekach Odra a Morava. Hoci tam intenzita dažďa dosahovala len 0,1 až 0,25 mm.min^{-1}, hodnoty špecifických odtokov z čiastkových povodí, v čase kulminácie boli 3 až 4 m^3.s^{-1}.km^{-2}.*

Ako uvádzajú spomínaní autori, najnebezpečnejšie povodne sú takmer vždy vyvolávané mimoriadne silnými dažďami, ktoré sa väčšinou vyskytujú v teplom ročnom období. Len ojedinele môžu byť povodne vyvolané náhlym topením snehu počas dažďa, čo je však pravdepodobnejšie v pahorkatinách a na nížinách.

Brechtel (1970) rozlišuje dva typy povodňových odtokov:

1. *Sú to predovšetkým miestne, prevažne krátkodobé povodne, ktoré vznikajú z povrchových odtokov vtedy, keď zrážky vysokej intenzity lokálne prevýšia infiltračné schopnosti pôdy.*

2. *Rozsiahlejšie a dlhšie trvajúce povodne, ktoré sú spôsobené výdatnými dažďami zasahujúcimi väčšiu plochu, alebo náhlym a intenzívnym topením snehu (vpád teplého vzduchu – dážď na sneh). V takomto prípade dochádza v celej oblasti k prekročeniu infiltračnej schopnosti a zadržiavaniu vody.*

Oba typy povodňových odtokov môžu byť redukované komplexnými úpravami povodí, ale v rôznej miere. Kým v prvom prípade je možné zlepšiť situáciu aj na poľnohospodársky využívaných pôdach opatreniami zvyšujúcimi zásak, v druhom prípade môže tlmiť povodňové maximá iba les (BRECHTEL 1970).

Extrémne dažde a nimi vyvolané odtoky majú pomerne malú početnosť opakovania, ale v nadväznosti na predpokladané globálne otepľovanie klímy, väčšina odborníkov predpokladá v budúcnosti ich častejší výskyt a intenzitu.

2. VPLYV LESNATOSTI NA ODTOK VODY PRI POVODŇOVÝCH VLNÁCH

Zovšeobecňujúce poznatky o vplyve celkovej lesnatosti povodia, ktoré uvádza VALTÝNI (1986) hovoria, že najvýraznejšie je ovplyvnený maximálny špecifický odtok vo flyšových oblastiach (čo sa potvrdilo aj v lete r.1997 - oblasť Kysúc, Torysy atď.), kde aj malý pokles v lesnatosti sa odrazí vo výraznom zvýšení maximálnych odtokových množstiev a ich rozkolísanosti. Najmenej je odtok ovplyvnený zmenou lesnatosti v povodiach na karbonátových podložiach, kde rozhodujúcu úlohu zohráva horninové prostredie a transformácia zrážok do podzemných vôd. Tam je účinok zmeny lesnatosti na odtok približne polovičný ako vo flyši.

Napriek mnohým často rozporným výsledkom štúdia vplyvu lesa na odtok vody je nesporné, že lesy síce nemôžu celkom zabrániť povodňovým vlnám, môžu však výrazným spôsobom zmierniť ich priebeh. Na základe Válkových meraní z Čiech z 2 porovnávacích povodí možno extrémny vodný stav na bystrine s lesnatým povodím, aký je tam pravdepodobný raz za 100 rokov ("storočná voda"), v zrovnávacom bezlesom povodí očakávať každých 16 rokov (MRÁČEK, KREČMER 1975).

2.1. Retenčná a ifiltračná kapacita lesných ekosystémov pri povodňových vlnách

Kľúčovým faktorom, ktorý zohráva rozhodujúcu úlohu pri modifikovaní odtoku z lesných porastov aj pri vysokých úhrnoch zrážok, je retenčná kapacita a infiltrácia lesných pôd. K prekročeniu retenčnej kapacity lesných pôd a v konečnom dôsledku aj lesných porastov môže dôjsť v zásade dvomi spôsobmi (MINĎÁŠ, ČABOUN 2002). Predstavme si, že máme fľašu, ktorá má určitý objem (retenčná kapacita) a určitý rozmer hrdla fľaše, ktorý limituje množstvo vody, ktoré môžeme do fľaše naliať (infiltračný koeficient). Ak do fľaše lejeme vodu, ktorá je schopná prejsť cez hrdlo fľaše tak naplníme celý obsah fľaše a ďalšie dodávané množstvo vyteká von. Tento prípad nastal napr. v lete roku 2001, keď menej intenzívne zrážky dokázali postupne nasycovať pôdu bez výraznejšej zmeny odtoku, ale nakoľko tento dážď trval niekoľko dní došlo k úplnému naplneniu retenčnej kapacity lesa a prebytková zrážková voda v celom objeme priamo prechádzala do odtoku a výrazne dynamizovala povodňovú vlnu až po určitom čase (rádovo desiatky hodín). V druhom prípade ak do fľaše lejeme naraz veľký objem vody, ktorý nestačí prejsť hrdlom fľaše časť z tejto vody sa dostáva mimo, aj keď je vo fľaši ešte voľný priestor. Tento druhý prípad nastal napr. v júli roku 2002, keď intenzita zrážok pri lokálnych búrkach bola taká vysoká, že retenčná kapacita lesnej pôdy a porastov sa nestačila napĺňať a prebytok zrážkovej vody prechádzal priamo povrchovým odtokom s minimálnym časovým posunom do riečnej siete.

Urobme si ešte predstavu aká je vlastne veľkosť retenčnej kapacity lesných ekosystémov. Kapacita nasýtenia korún lesných drevín zrážkovou vodou predstavuje hodnotu rádove 10 mm, čo pri úhrnoch zrážok pri povodňových situáciách zväčša nepredstavuje ani 10 % z celkového množstva spadnutých zrážok. Kapacita nasýtenia krovinatej, bylinnej vrstvy a vrstvy opadanky môže byť veľmi rozdielna a zväčša sa pohybuje na úrovni 5-20 mm. Pre najrozšírenejšie lesné pôdy na Slovensku môžeme podľa výsledkov výskumu uvažovať s retenčnou kapacitou 30-40 mm. Ak to zosumarizujeme tak celkovú retenčnú kapacitu lesných porastov môžeme odhadovať v rozsahu 45 - 70 mm. Táto hodnota platí pre stav 100 %-nej lesnatosti v krajine a pre zakmenenie 1,0 (resp. zápoj 100%). Súčasťou lesných komplexov sú však aj bezlesé plochy (lesné cesty, odvozné miesta, lúky, rúbaniská), ktorých retenčná

kapacita je oveľa nižšia, takmer až nulová (penetrované lesné cesty), čím sa celková retenčná kapacita lesnej krajiny znižuje. Pokles retenčnej kapacity krajiny pochopiteľne s klesajúcim percentom lesnatosti klesá, spočiatku pomalšie, do hodnoty 50-60 %-nej lesnatosti, pod touto hranicou je pokles s lesnatosťou oveľa výraznejší.
Problematika infiltrácie zrážkovej vody v pôde úzko súvisí so stavom vrstvy nadložného humusu. Ak v procese hospodárenia v lese dôjde k narušeniu tejto vrstvy okamžite dochádza k rapídnemu zvýšeniu povrchového odtoku a zvýšeniu erózneho odnosu, a tým aj k rozkolísanosti prietokov.
Aj VALTÝNI (2001) uvádza, že povodne sa vyskytli v povodiach rôznej lesnatosti. Hoci neboli publikované výsledky špecifických analýz vplyvu lesnatosti povodí na povodňové prietoky, vo viacerých publikovaných prácach sa autori vyjadrili k spomenutému problému. Zhodli sa v tom, že sa kritické dažde vyskytli spravidla v čase úplného alebo aspoň veľkého nasýtenia povodí vodou z predchádzajúcich zrážok. Potom lesné ekosystémy, predovšetkým lesné pôdy, ktoré majú v normálnom (nenasýtenom) stave veľkú retenčnú kapacitu, nedokázali úplne zadržať vodu z extrémnych zrážok, ani spomaliť odtok z povodia a rozdiel medzi odtokom zo zalesnených a bezlesích častí povodia v čase kulminácie povodne, bol relatívne malý. V takýchto prípadoch sa lesné porasty výrazne nepodieľali na retencii a retardácii odtoku z povodia bez ohľadu na zastúpenie drevín, vek, zakmenenie, spôsob obhospodarovania a iné charakteristiky.
VALTÝNI a KAZDA (2002) uvádzajú, že ak sa vyskytne extrémný dážď v krátkom časovom intervale s výdatnosťou napr. 100 mm, v našich prírodných podmienkach, po povrchu odtečie zo zalesnenej časti povodia len rozdiel medzi výškou dažďa a momentálnou retenčnou (zadržiavacou) kapacitou lesného ekosystému, čiže približne 40 % vody. Pri podobnej zrážke v povodí Malá Svinka v roku 1998 zadržali lesné porasty v hornej časti 68 mm vody, kým lúky a pasienky len 46 mm vody, teda približne 67 % z množstva vody zadržaného lesom. Výrazne horšiu schopnosť zadržiavania vody má však najmä orná pôda v období bez vegetačného krytu. Pôda ako rezervoár vody má úžasný potenciál a môže zadržiavať až 400 mm vody. V našich prírodných podmienkach je však voda stále čiastočne nasýtená vodou. Ak sa pôda úplne nasýti, dažďová voda odteká po jej povrchu a vzniká najnebezpečnejší odtok pre tvorbu povodne.

2.2. Vplyv lesa na odtok vody pri roztápaní sa snehu

Z hľadiska vplyvu vegetácie na odtokové pomery v povodí nie je možné zanedbať vplyv vegetácie na množstvo odtekajúcej vody z povodia pri roztápaní sa snehu. BRECHTEL (1970) uvádza výsledky meraní z horskej oblasti Vogelsberg (nad 600 m.n.m.), kde je jasne vidieť, že les má dôležitú funkciu pri zabraňovaní rýchlemu topeniu snehu. Kým z lúk odtieklo za 1 deň 5,8 – 11,8 mm - vzhľadom na expozíciu svahu, zo smrekového lesa odtieklo 5,0 mm a z bukového 4,3 mm vody z topiaceho sa snehu bez ohľadu na expozíciu svahu. Ukázalo sa, že druhová skladba a vek porastu sú pre ukladanie snehu a jeho topenie veľmi dôležité. Kým porasty zložené z listnatých drevín môžu (vzhľadom na intercepciu mnohých snežení) spôsobiť, že sa až o 20 % menej snehu dostane na pôdu ako v bezlesí, ale väčšinou je to 5 – 10 %; ihličnaté porasty znižujú kvantitu snehových zrážok dopadajúcich na pôdu o 20 – 40 % (WISLER a BRATER 1959 ex BRECHTEL 1970). Táto skutočnosť tiež môže zohrávať veľmi dôležitú úlohu pri kvantitatívnom útlme jarných povodní. Je teda možné povedať, že v oblastiach s veľkými snehovými zrážkami má les rozhodujúci vodohospodársky význam tým, že znižuje maximá povodňových odtokov na jar a rozkladá odtok na dlhšie obdobie.

2.3. Protipovodňový potenciál lesných geobiocenóz

Odtok z lesa i povodňový prietok je ovplyvňovaný nielen lesnatosťou povodia, ale tiež vekom a hustotou (zakmenením), zastúpením drevín, štruktúrou a inými charakteristikami lesných porastov.
Charakteristiku lesa vyjadrujeme jeho príslušnosťou do skupiny lesných typov (slt), čo sú podľa A. ZLATNÍKA (1976) súborné geobiocenologické jednotky, združujúce ekologicky podobné lesné typy a používajú sa ako súborné mapovacie jednotky lesnícko-typologických máp. Reprezentujú skupiny typov geobiocenóz, podobné podľa zastúpenia hlavných druhov drevín a štruktúry rastlinných spoločenstiev i klimatických, pôdnych a hydrických podmienok. Vzájomné vzťahy medzi jednotlivými komponentmi geobiocenózy založené na výmene látok a energie sú konštantné. Z toho

usudzujeme na špecifické účinky jednotlivých slt na odtok – výslednú zložku obehu vody v lese. Niektoré slt môžu ovplyvňovať odtok rovnako, kým iné sú od nich odlišné.
Hydrický protipovodňový potenciál chápeme ako potenciálny účinok lesa na zmenšenie kulminačných povodňových prietokov. Jednotlivé slt môžu mať z tohto hľadiska podobný, alebo navzájom odlišný význam.
Podľa výsledkov výskumu zameraného na zisťovanie hydrického potenciálu lesa bolo vyhodnotených 12 najvýznamnejších slt, zastúpených na 93,6 % plochy skúmaných lesov (244 tis. ha), pričom najmenšia skupina slt bola zastúpená na viac ako 2 tisíc ha; predpokladáme, že vyhodnotený súbor lesných porastov vhodne reprezentuje celkový stav lesov Slovenska.

3. VODNÁ BILANCIA LESNÝCH EKOSYSTÉMOV

Bilancia vody v lesnom ekosystéme vyjadruje vzájomný vzťah medzi príjmovými zložkami vody (atmosférické zrážky) a výdajovými zložkami vody (evapotranspirácia, odtok do povrchových a podzemných vôd). V prípade, že atmosférické zrážky (Z) sú jediným zdrojom vody pre lesný porast môžeme všeobecnú rovnicu vodnej bilancie vyjadriť nasledovne:

$$Z = \Delta W + ET + O$$

Z dlhodobého hľadiska preto platí, že priemerný úhrn zrážok sa rovná evapotranspirácii (ET) a odtoku (priesaku) vody (O). ΔW je zmena zásob vody v pôde a fytomase.
Z hľadiska posudzovania účinku lesov na transformáciu zrážok do povrchového (hydrologického) odtoku musíme osobitne zohľadňovať dva prípady. V prvom prípade ide o hodnotenie vplyvu lesa na celkovú vodnosť povrchových tokov, kedy rozhodujúcu úlohu zohráva veľkosť celkovej evapotranspirácie (celkový výpar) lesných ekosystémov, ktorá vo vzťahu k množstvu spadnutých zrážok udáva koľko vody opúšťa lesný ekosystém vo forme povrchového resp. podzemného odtoku. V druhom prípade ide o hodnotenie vplyvu lesa z hľadiska jeho protipovodňovej účinnosti, a to najmä vo vzťahu k tvorbe povrchového odtoku (stekanie zrážkovej vody po povrchu pôdy), kedy rozhodujúci význam má hodnotenie okamžitého záchytu zrážok v korunách lesných porastov (intercepcia) a stav bylinnej vrstvy a vrstvy nadložného humusu, ktoré majú rozhodujúci podiel na infiltráciu padajúcich dažďových kvapiek do pôdneho prostredia. Pozrime sa preto bližšie na rozhodujúce procesy, ktoré v konečnom dôsledku určujú akú úlohu bude lesný ekosystém zohrávať v hydrologickom režime krajiny.
Kantor (1984) študoval v experimentálnom dospelom smrekovom a bukovom poraste v Orlických horách (890 m.n.m.) všetky zložky vodnej bilancie. Z priemerných ročných zrážok volnej plochy 1296 mm pripadlo v smrekovom poraste na sumárny výpar 487 mm = 37,6 % (intercepcia 212 mm = 16,3 %, transpirácia 195 mm = 15,1 %, evaporácia z pôdy 80 mm = 6,2 %). V bukovom poraste 344 mm = 26,5 % (intercepcia 86 = 6,7 %, transpirácia 181 mm = 13,9 %, , evaporácia z pôdy 77 mm = 5,9 % zrážok z volnej plochy). Povrchový odtok bol v dôsledku značnej retenčnej schopnosti lesných pôd v obidvoch porastoch zanedbateľný. Rozhodujúca časť zrážkových vôd odtiekla v podzemnej forme. Zo smrekového porastu to bolo ročne priemerne 773 mm, z bukového 909 mm. Experimentálnym sledovaním v Orlických horách bola potvrdená nevýznamnosť rozdielu evaporačných hodnôt medzi zrovnávanými porastami. Celoročný priemer pri smreku bol 80,2 mm = 6,2 %, pri buku 76, 8 mm = 5,9 % zrážok.

3.1. Intercepčný proces v lesných porastoch

WEIHE (1970) uvádza výsledky meraní zadržiavania vody zmáčaním povrchu drevín (intercepciou) v smrekovom a bukovom lese pri rôznom množstve zrážok. Skropné straty závisia od veľkosti zmočiteľného povrchu. Pre svoj väčší povrch spôsobujú smrekové porasty väčšiu skropnú stratu než bukové porasty. Veľmi dôležité sú pre nás najmä údaje z horskej – smrekovej oblasti Nemecka pri priehrade Kerspe, s bohatými zrážkami. Pre porovnanie sú však významné aj údaje z teplejšej a suchšej bukovej oblasti pri Schapdettene. Z publikovaných výsledkov vyplýva, že v teplejšej oblasti pri 6 mm zrážkach dochádza k úplnému zmočeniu korún smreka, pričom sa na pôdu dostane 3 mm zrážok. V chladnejšej horskej oblasti je skropná strata o 1 mm väčšia a predstavuje 4 mm. K úplnému zmočeniu je potrebných 8 mm zrážok.

Úplne iná situácia je v bukových porastoch. Kým celkové skropné straty pri smreku boli 4 mm, pri buku boli iba 0,5 mm a zmáčanie bukov je ukončené už pri 1 mm zrážke. Pri bukových porastoch steká zrážková voda po kmeni, v smrekových porastoch sa dostáva na pôdu odkvapkávaním z ihličiek pdstatne rovnomernejšie po pocelej ploche.
Určujúcim faktorom, okrem meteorologických činiteľov (intenzita zrážok, celkový úhrn, výskyt horizontálnych zrážok), najmä pre celkovú hodnotu intercepcie, má charakter korunovej vrstvy lesného porastu, resp. lesného porastu ako celku. Na základe početných pozorovaní (INTRIBUS 1977, KANTOR 1983, KREČMER 1973, KREČMER *et al.* 1981, PETRÍK 1991, VALTÝNI 1986, MINĎÁŠ 1999, MINĎÁŠ, ČABOUN 2002) možno konštatovať, že celkovú intercepciu lesného porastu determinujú z pohľadu lesného porastu nasledovné faktory:

- drevinové zloženie
- zápoj, resp. zakmenenie lesného porastu
- vek porastu.

Záverom tejto časti je potrebné upozorniť, že všetky predchádzajúce konštatovania vo vzťahu k intercepčnému procesu sa vzťahovali na procesy vypadávania kvapalných zrážok. Intercepčný proces v období vypadávania tuhých (najmä snehových) zrážok má odlišný charakter, čo je spôsobené nasledovnými faktormi:

- *dlhodobá akumulácia snehu*
- *nízka intenzita evaporácie (nízka teplota) intercepčne zadržiavaného snehu v korunách*
- *výrazný vplyv vetra (sfúkavanie) a teploty vzduchu (skvapkávanie) na intercepčné straty snehu.*

Pri bilančných hodnoteniach intercepcie nemožno z úvah pri vodnej bilancii lesných porastov zanedbať význam stekania zrážkovej vody po kmeňoch stromov. Rozhodujúcim faktorom, určujúcim množstvo stečenej vody po kmeňoch, je uhol nasadenia konárov a charakter kôry (nepriamo teda druh a vek dreviny). Markantne je tento fakt viditeľný pri porovnaní stoku po kmeni u smreka a buka. KANTOR (1981) uvádza pre buk hodnotu stoku po kmeni vo vegetačnom období 19,9 % zo zrážok voľnej plochy, zatiaľ čo pre smrek táto hodnota predstavuje len 1,4 %. Veľké diferencie v stoku po kmeni pre rôzne dreviny zistil na lokalite Mláčik aj PETRÍK (1986). Ten istý autor poukazuje aj na výrazné rozdiely v stoku po kmeni pre buk v rôznom postavení v poraste, kde výrazne dominujú stromy úrovňové a predrastavé.

3.2 Evapotranspirácia lesných ekosystémov

Pojem evapotranspirácia lesných ekosystémov v sebe zahŕňa tri dôležité zložky, a to tzv. neproduktívny (intercepčný) výpar (výpar zachytenej zrážkovej vody najmä v korunách lesných drevín), ďalej je to výpar z pôdy a nakoniec výpar z lesných drevín, krovín a bylín (výdaj vody rastlinami prevažne cez prieduchy listov a ihlíc - transpirácia).
Podkorunové zrážky predstavujú tú časť zrážkovej vody, ktorá preniká na pôdny povrch buď priamo alebo odkvapom (BIOKLIMATOLOGICKÝ SLOVNÍK 1980). Interakciou korún lesného porastu (napr. krovinového a bylinného podrastu) dochádza k záchytu určitého množstva zrážkovej vody, ktorá sa vyparí a predstavuje stratovú položku v rovnici vodnej bilancie. Tento proces záchytu zrážkovej vody lesným porastom nazývame intercepcia. Intercepcia je najčastejšie vyjadrovaná ako rozdiel zrážok voľnej plochy a podkorunových, prípadne porastových zrážok. Spravidla sa intercepcia zhodnocuje za dlhšie časové obdobie (vegetačné obdobie, rok), vtedy hovoríme o úhrnnej intercepcii ako o množstve zrážok zadržaných v korunách za určité obdobie.
Početné merania v Čechách a na Slovensku poukázali na odlišný priebeh intercepčného procesu v rôznych nadmorských výškach. KREČMER (1973) na základe analýzy viacročných meraní podkorunových zrážok v Orlických horách dokumentoval význam konkrétnych meteorologických podmienok pre priebeh intercepčného procesu a to najmä v spojitosti s výskytom horizontálnych zrážok z hmly. Rozdiely v intercepčnom procese pri výskyte hmly a bez výskytu hmly môžeme dokumentovať krivkou (resp. priamkou) prepúšťania zrážok, ktorá sa v prípade bez výskytu hmlových zrážok nachádza pod krivkou maximálneho prepúšťania, naproti tomu v prípade výskytu zrážok z hmly sa namerané hodnoty prepúšťania zrážok nachádzajú nad maximálnou hladinou.
V tejto súvislosti je potrebné spomenúť aj otázku, aký je ďalší osud intercepčne zachytenej vody v korunách, nakoľko, ak hovoríme o intercepcii ako o strate časti zachytených zrážok, je namieste

poukázať, akými procesmi dochádza k tejto strate. Je zrejmé, že zachytená voda v korunovom priestore lesného porastu podlieha tzv. neproduktívnemu (intercepčnému) výparu podobného charakteru ako výpar z voľnej vodnej hladiny (BENETIN 1983). Intercepčný výpar je determinovaný prakticky len vonkajšími meteorologickými činiteľmi (teplota, vlhkosť, prúdenie vzduchu) pre daný lesný porast.

Aj napriek tomu, že transpirácia lesných porastov predstavuje vo vegetačnom období podstatnú časť z celkového výparu z lesa, v lesníckom hydrologickom výskume je stanovenie jej hodnôt stále nedoriešeným a otvoreným problémom. Ako uvádza KANTOR (1990), v strednej Európe sa podiel evapotranspirácie z celkového množstva zrážok odhaduje na 40–90 %. Podiel evapotranspirácie na vodnej bilancii povodia, či ekosystému závisí prevažne od:

1) *klimatických pomerov stanovišťa, tj. od množstva a rozloženia zrážok, vlhkosti pôdy a od tzv. evaporačných požiadaviek ovzdušia, ktoré predstavujú spolupôsobenie viacerých meteorologických prvkov (teplota, vlhkosť, prúdenie a tlak vzduchu),*
2) *vegetačného krytu a jeho vlastností, nakoľko výpar z vegetácie (transpirácia) je určovaný nielen fyzikálnymi zákonitosťami, ale i anatomickými, morfologickými a fyziologickými vlastnosťami rastlín.*

Množstvo vody vyparené z lesných porastov je určované najmä drevinovým zložením, vekom, štruktúrou i zdravotným stavom porastov, tj. vzájomnými vzťahmi medzi lesným porastom a okolitým prostredím.

Výsledky týkajúce sa transpirácie celých lesných porastov sú ťažko porovnateľné. Transpiráciu lesných porastov môžeme charakterizovať len určitým rozmedzím. BRECHTEL a LENHARDT (*ex* KANTOR 1989) zostavili údaje o transpirácii porastov európskych drevín z niekoľkých desiatok literárnych prameňov. Podľa nich sa pohybujú ročné hodnoty transpirácie v bukových porastoch v rozpätí 290–497 mm (v priemere 313 mm za rok) a v smrekových porastoch 100–516 mm (v priemere 286 mm za rok). Transpiráciou bukových a smrekových porastov sa v Orlických horách zaoberal KANTOR (1983, 1984, 1989). Podľa neho transpirácia dospelých bukových a smrekových porastov v oblasti stredoeurópskych stredohôr dosahuje 200 až 250 mm za rok. V zhode s týmto tvrdením sú i zistenia TUŽINSKÉHO (1987), ktorý stanovil evapotranspiráciu bukového porastu v Malých Karpatoch 223 mm za rok. Aktuálna transpirácia na hektár modelového bukového porastu vypočítaná na základe meraných hodnôt transpiračného prúdu v roku 1996 v lokalite Poľana – Hukavský grúň (850 m n. m.) na troch modelových stromoch buka je 258 mm za vegetačné obdobie (mesiace máj až október) pri potenciálnej evapotranspirácii 483 mm a zrážkovom úhrne 735 mm (STŘELCOVÁ & MINĎÁŠ 2000). Z úhrnu zrážok porast transpiroval 35 % a z potenciálnej evapotranspirácie to predstavovalo 46 %. Priemerná denná transpirácia za celé vegetačné obdobie bola 1,6 mm.

3.3 Infiltrácia zrážkovej vody do lesných pôd

Po prechode jednotlivými vrstvami nadzemnej časti lesného porastu sa zrážková voda dostáva do kontaktu s pôdnym prostredím, kde dochádza k výraznej transformácii jej ďalšieho pohybu. Značná vertikálna dynamika zrážok podmienená voľným gravitačným pohybom (čiastočne zmierňovaný kontaktom s vegetačným krytom) sa v styku s pôdou výrazne spomaľuje. Zrážková voda po dopade na pôdu steká po jej povrchu alebo vsakuje do pôdy, kde sa transformuje do jednej z foriem pôdnej vody. Z hľadiska vodnej bilancie má najväčší význam kapilárna (rastliny) a gravitačná voda (odtok do hydrogeologických štruktúr).

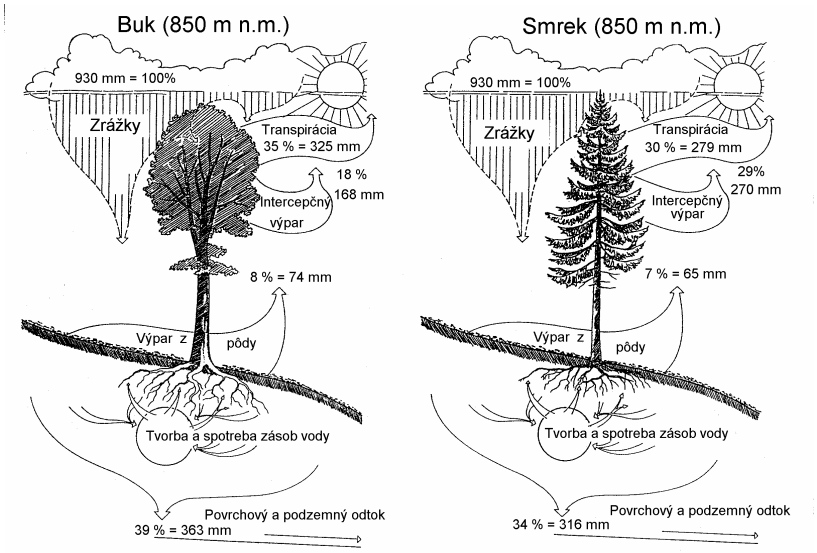
Proces infiltrácie je ovplyvnený jednak intenzitou a časovým trvaním zrážok a jednak charakterom pôdneho prostredia, najmä zrnitostným zložením pôdy a počiatočným vlhkostným stavom. Priepustnosť pre vodu je dôležitou vodno-fyzikálnou vlastnosťou, ktorá sa pri rovnakej pôde mení podľa jej vlhkosti, čím je pôda vlhšia, tým je menšia jej priepustnosť pre vodu (ŠÁLY 1988). Práve vzhľadom na rôzny vlhkostný stav pôd vykazujú experimentálne merané hodnoty aj na tom istom stanovišti značný rozptyl hodnôt. Ako príklad môžeme uviesť výsledky meraní KANTORA (1984) z obdobia 1977-81, kde sa hodnoty vertikálneho priesaku vody v hĺbke 70 cm pohybovali od 22,9 až do 51,6 % zrážok z voľnej plochy pre smrekový porast a od 39,9 % (v extrémne suchom roku) do 65 % zrážok z voľnej plochy pre bukový porast. Päťročný priemer priesaku vo vegetačnom období bol v smrekovom poraste 311,6 mm (42,6% letných zrážok) a 409,5 mm (56,3% zrážok). Uvedené výsledky zároveň dokumentujú rozdiely v kvantite priesakových vôd vplyvom rôzneho drevinového zloženia skúmaných porastov. Ešte väčšie rozdiely je možné vidieť z celoročných priemerných údajov

na experimentálných plochách v Orlických horách. V smrekovom poraste presiaklo pôdou a v podzemnej forme odtieklo 59,6 % zrážok z voľnej plochy. V bukovom poraste to bolo až 70,1 % zrážok. Pri buku tak došlo k zvýšeniu priesaku a podpovrchového odtoku o 10,5 % v porovnaní so smrekovým porastom. V absolútnych hodnotách bolo v sledovanom období z každého ha dospelého bukového porastu v Orlických horách k dispozícii ročne o 1350 m^3 vody viac než z porastov smrekových.

Ako miera vsakovania vody do pôdy slúži koeficient infiltrácie. Jeho analytické vyjadrenie pomocou rovníc na vyjadrenie pohybu vody v nenasýtenom pôdnom prostredí je pomerne zložité, preto sa na vyjadrenie časového priebehu infiltrácie používajú empirické vzťahy (VALTÝNI 1986). ŠÁLY (1988) uvádza hodnoty vsakovacích koeficientov v rozpätí 1-5 mm za hodinu pre ílovité pôdy, pre ílové hliny 10-50 $mm.h^{-1}$, pre hliny 50-100 $mm.h^{-1}$, pre piesčité hliny 100-150 $mm.h^{-1}$ a pre piesky viac ako 200 $mm.h^{-1}$.

V tejto časti je potrebné spomenúť aj problematiku povrchového odtoku, ktorý chápeme ako odtok vody, ktorá neinfiltrovala do pôdneho profilu a dosiahla vodný tok po pôvodnom pôdnom povrchu. Vznik povrchového odtoku a jeho množstvo sú hlavným faktorom, ktorý ovplyvňuje hydrologický režim povrchových tokov (maximálne prietoky) pri intenzívnych resp. dlhotrvajúcich zrážkach. Povrchový odtok je proces, na ktorého intenzitu v lese vplýva celkový úhrn i intenzita zrážok, sklon a expozícia svahu, drevinové zloženie, vek a štruktúra (zakmenenie, zápoj) lesného porastu i typ bylinnej vrstvy, hrúbka a forma nadložného humusu i pôdneho humusu a v konečnom dôsledku priepustnosť pôdy (teda jej zrnitostné a hydrofyzikálne vlastnosti) i stupeň jej premrznutia, čo rozhoduje o infiltrácii vody do pôdy (MIDRIAK 1992). Uvedený autor pre hospodárske podmienky lesných porastov ihličnatých drevín na Slovensku (smrek, jedľa, borovica, smrekovec) uvádza hodnoty od 22 do 782 (priemerne 255) $l.ha^{-1}$ za deň, čo je 0.07-2.52% (priemerne len 0.99%) z množstva zrážok, ktoré dopadli na voľnú plochu bez lesného porastu. V porastoch listnatých drevín (buk, dub, hrab) na Slovensku povrchove odteká 34 - 1080 (priemerne 323) $l.ha^{-1}.deň^{-1}$, t.j. 0.14-5.03% (priemerne 1.52%) zo zrážok na voľnej ploche (MIDRIAK 1992). Tieto údaje sa vzťahujú na lesné porasty s normálnym zápojom a nenarušeným stavom vrstvy pokryvného humusu.

Konkrétny prípad rozloženia zrážok a vodnej bilancie lesného porastu na príklade smrekového a bukového porastu v orografickom celku Poľana (850 m n.m.) ilustruje obr.1. Najväčšia časť vody z ročného úhrnu zrážok sa spotrebuje na fyzikálny a fyziologický výpar (intercepcia, transpirácia a evaporácia). Menšia časť vody infiltruje do pôdneho prostredia resp. odteká po povrchu pôdy. Len zanedbateľné množstvo vody sa akumuluje v pôde a fytomase vo forme zásob. Z predloženého obrázku (obr. 1) je zrejmý vplyv drevinového zloženia na distribúciu jednotlivých prvkov vodnej bilancie lesných ekosystémov.



Obr.1 Kolobeh vody a vodná bilancia dospelého bukového a smrekového porastu. (Poľana – Hukavský grúň) (STŘELCOVÁ, MINĎÁŠ 2000)

Fig. 1 Hydrologic cycle and *water balance of adult beech and spruce forest. (Poľana – Hukavský grúň)* (STŘELCOVÁ, MINĎÁŠ 2000)

4. SPRACOVANIE VÝSLEDKOV MERANÍ VODNEJ BILANCIE NA VÝSKUMNEJ PLOCHE GRÚNIK (POVODIE KYSUCE) Z HĽADISKA KVANTITY A KVALITY PRIESAKOVÝCH VÔD

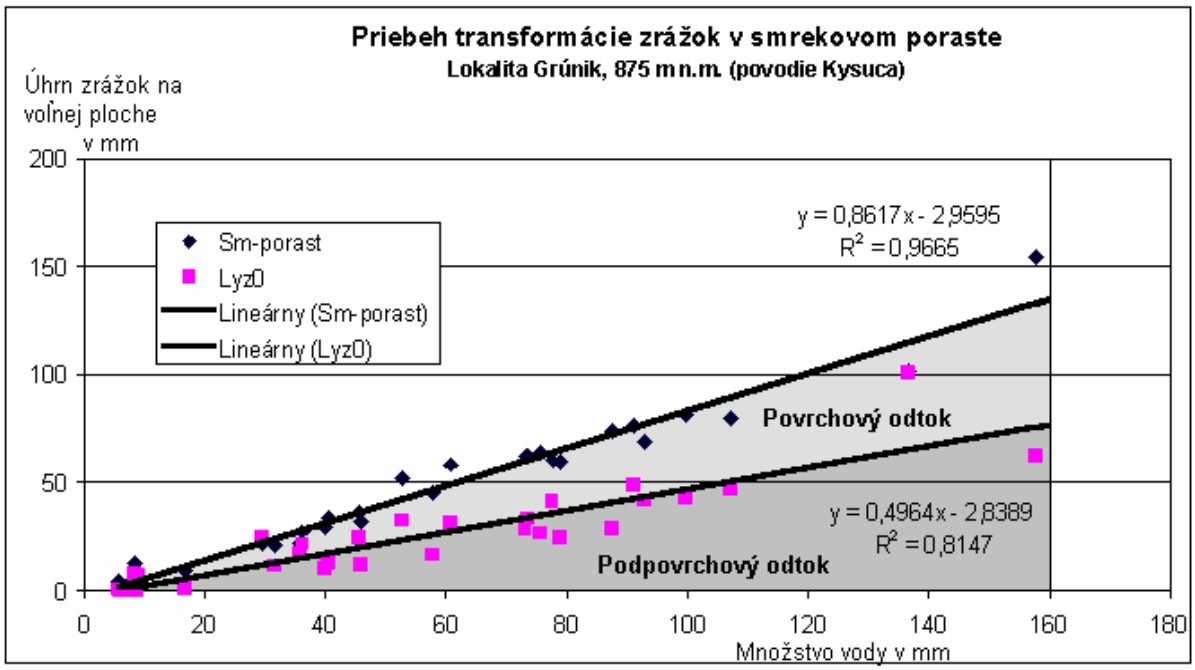
Na trvalej výskumnej ploche na Grúniku (horná časť povodia Predmieranky) v hrebeňovej časti Moravsko-sliezskych Beskýd sa v smrekovom poraste (vek 90 rokov, zápoj 75%) inštalovali platňové lyzimetre, a to na rozhraní nadložného humusu a minerálnej pôdy (celkove v 3 bodoch), v hĺbke 15 a 35 cm. Pôdnym predstaviteľom je modálny podzol, bylinný kryt je tvorený typickými druhmi kyslého radu (Vaccinium, Deschampsia a pod.) s pokryvnosťou 90%. Sklon svahu je 20-30°. Z lesníckeho hľadiska predstavuje tento porast typického predstaviteľa kyslých smrečín vonkajšieho flyšu.
V priebehu rokov 2000 až 2002 sa realizovali odbery lyzimetrických vôd v pravidelných dvojtýždňových periódach. Kumulatívne vzorky vôd sa analyzovali v laboratóriu LVÚ. Z nameraných údajov sa analyzovali kvantitatívne hodnoty a priebeh priesaku zrážkovej vody v jednotlivých pôdnych profiloch. Identifikoval sa významný vplyv vrstvy nadložného humusu a bylinného krytu na povrchový odtok (v zmysle Midriaka, odtok zrážkovej vody po povrchu pôdy) v závislosti od úhrnu zrážok. Pri analýze kvality priesakových vôd sa zistil dominantný vplyv pôdy na transformáciu chemického zloženia zrážkovej vody.

4. 1 Výsledky meraní podkorunových zrážok - intercepcia

Na tej istej lokalite sa realizuje aj sledovanie atmosférických zrážok na voľnej ploche a podkorunové zrážky v smrekovom poraste. Na základe nameraných údajov sa odvodili intercepčné krivky diferencovane podľa štruktúry porastu. Na základe veľkosti jednotlivých intercepčných strát sa identifikovali situácie s pravdepodobným výskytom hmlových zrážok (v zimnom období sa doplnkovo sledovali aj námrazové javy). V prípade kvality zrážkových vôd sa odvodili faktory obohatenia pre jednotlivé sledované ióny.
Podľa vypočítanej rovnice intercepčnej priamky môžeme konštatovať, že skropná kapacita korún sledovaného smrekového porastu predstavuje hodnotu 3 mm. Priemerná intercepcia tohto porastu reprezentuje hodnotu 14% z úhrnu zrážok voľnej plochy, 86% zrážok teda preniká korunovou vrstvou lesného porastu. Táto hodnota intercepcie je v porovnaní s hodnotami pre smrekové porasty (20-50%) pomerne nízka a dokladuje nezanedbateľný význam horizontálnych zrážok v tejto hrebeňovej časti Moravsko-sliezskych Beskýd. Ojedinele sa vyskytli aj prípady, kedy úhrny zrážok v poraste boli vyššie ako na voľnej ploche.

4. 2 Výsledky meraní lyzimetrických vôd - priesak

Obr.2 dokumentuje doterajšie výsledky hodnotenia procesu intercepcie a priesaku zrážkovej vody cez vrstvu nadložného humusu v horskom smrekovom poraste. Rozdiel medzi tými dvomi regresnými priamkami nám určuje množstvo vody, ktoré je transformované do zásoby vody (zvýšenia obsahu vody) vo vrstve nadložného humusu a do povrchového odtoku (v zmysle Midriaka: odtekanie zrážkovej vody po povrchu pôdy). Z tohto hľadiska sú zaujímavé výsledky pre dva odlišné prípady výskytu vysokého zrážkového úhrnu. Prvý prípad je zo začiatku augusta 2000, kedy v priebehu 2 týždňov spadlo 137 mm zrážok, toto množstvo zrážok však bolo spojené s cyklonálnymi zrážkami, preto dochádzalo k plynulému zasakovaniu zrážok do pôdy. Rozdiel medzi podkorunovými zrážkami a hodnotou priesaku na hornej hranici minerálnej vrstvy pôdy bol len 1,5 mm, zvyšných 102 mm sa dostalo do pôdy. Odlišný prípad bol z júla 2001, kedy v druhej polovici mesiaca spadlo 158 mm, avšak prevažne vo forme intenzívnych zrážok búrkového charakteru, čo spôsobilo, že rozdiel medzi hodnotou podkorunových zrážok a množstvom priesakovej vody pod vrstvou nadložného humusu bol až 92 mm, z čoho cca 85-90 mm sa transformovalo do povrchového odtoku a zapríčinilo vznik lokálnych povodní.



Obr.2 Priebeh transformácie zrážok v smrekovom poraste na TVP Grúnik (Minďáš, Čaboun 2002)

Fig. 2 Running of precipitate transformation in spruce forest on PRP Grúnik(Minďáš, Čaboun 2002)

5. OBHOSPODAROVANIE LESOV VO VZŤAHU K VODNEJ BILANCII POVODIA

Obhospodarovanie lesov vo vzťahu k vodnej bilancii povodia a celkovo k charakteru hydrickej účinnosti lesov prináša so sebou celý rad rizikových faktorov. Na druhej strane rozumne usmernená hospodárska činnosť vo vodohospodársky významných oblastiach môže priniesť kladné, často aj priamo ekonomicky vyčísliteľné úžitky (napr. zlepšenie kvality vody, a tým zníženie nákladov na jej úpravu). Z tohto hľadiska najrizikovejším prvkom sa javí ťažbovo-obnovná činnosť, a to najmä holorubná forma rúbaňového hospodárskeho spôsobu. Je potrebné poznamenať, že existencia samotného holorubu ešte nemusí znamenať výraznejšiu zmenu odtokových pomerov. Negatíva tejto činnosti sa objavujú až v súvislosti s poškodzovaním a narušením kompaktnosti povrchu pôdy pri odvoze dreva. Nadväzujúcim faktorom, ktorého význam je ešte stále podceňovaný, je lesná sieť približovacích a odvozných ciest. Výsledky z oblasti moravskej časti Beskýd ukázali, že založenie pásových holorubov nespôsobilo badateľné zmeny v odtoku. Ale následné zriadenie prístupových komunikácií pre otváranie porastov k ťažbe viedlo okamžite k ohromnému zvýšeniu erózneho odnosu pôdnych suspenzií z neupravených trás a nespevnených násypoch až o 300%.

5.1 Vplyv holorubov na vodnú bilanciu

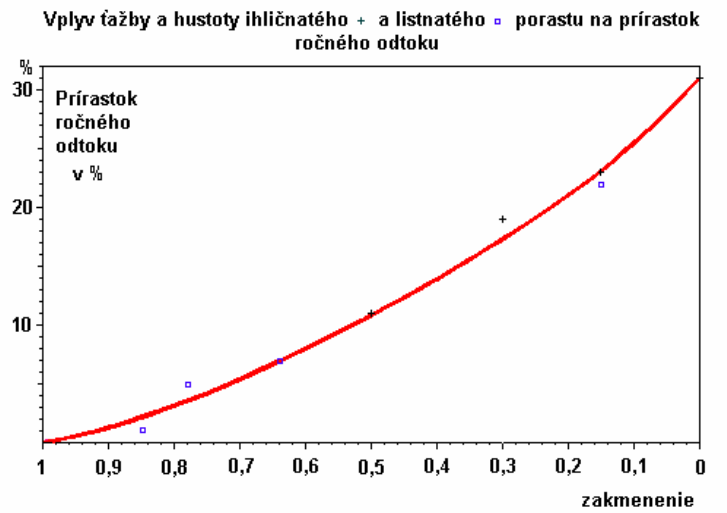
KANTOR (1992) uvádza, že na základe 10 ročných pozorovaní vodnej bilancie smrekového porastu v Orlických horách pred obnovou a po jeho obnove holorubom, že celkový výpar dospelého porastu bol v priemere 408 mm za vegetačné obdobie a nezaistená 1 – 5 ročná kultúra vykazovala 307 mm za vegetačné obdobie. Povrchový odttok bol úplne zanedbateľný nie len v dospelom poraste, ale aj v kultúre založenej na holorube. Už vo veku 15 – 20 rokov sa vodná bilancia smreku stabilizuje a dosahuje približne úroveň dospelých porastov.

V protiklade k dospelým porastom sú naše poznatky o hydrických účinkoch najmladších vývojových fáz lesných porastov dosiaľ veľmi malé. Nutnosť riešenia tejto otázky má veľký význam najmä v imisných oblastiach a na rozsiahlých kalamitných plochách, kde vznikajú nové pokolenia lesa.

Intercepcia a transpirácia kultúr v prvých rokoch po výsadbe je úplne zanedbateľná, takže z výdajových položiek ovplyvňuje vodnú bilanciu iba výpar z pôdy a z prízemnej vegetácie. Jeho hodnoty v úplne zaburinených kultúrach kolíšu od 270 do 390 mm za vegetačné obdobie (FEDOROV,

1977; RAEV a SERAFIMOV 1980 ex KANTOR 1987). Zvýšený odtok vody na odlesnenej časti povodia môže byť zaznamenaný v dôsledku nižšieho celkového výparu v prvých rokoch po ťažbe (KŘEČEK 1980), čo však čoskoro zaniká vzhľadom k skorému zarasteniu plochy burinou a novým porastom (KANTOR 1980).
Závažnou otázkou hydrickej účinnosti holorubu, resp. mladých porastov založených po holoruboch a kalamitách je možnosť vzniku povrchového odtoku zrážkových vôd s následnou eróziou. Väčšinou sa povrchový odttok aj na odlesnených plochách koncentruje len na transportnú sieť (odvozné cesty, zvážnice, približovacie cesty a linky v miestach, kde bola ťažkými mechanizmami poškodená vrchná vrstva pôdy. Poznatky o vplyve transportnej siete vrátane približovacích liniek na odtokové pomery imisných holorubov zhrnul ŠACH (1990). Dlhodobý a intezívny výskum síce priniesol množstvo výsledkov, aj kvalitatívne nových pohľadov. Napriek tomu sú naše znalosti o mimoriadne zložitých hydrických účinkoch lesa stále nedostatočné.
V súvislosti s odklonom od holorubnej formy rúbaňového hospodárskeho spôsobu v prospech podrastových foriem možno predpokladať najmä vo flyšovej oblasti kladné efekty na hydrické účinky lesov, čo však bude v značnej miere podmienené dodržiavaním technologickej disciplíny a ekologického prístupu najmä v procese ťažby a odvoze dreva a sprístupňovaní porastov. Ináč nebude možné znižovať riziko eróznych strát a rozkolísanosti prietokov.

5.2 Vplyv ťažby a hustoty porastu na odtok vody



Obr.3 Vplyv ťažby a hustoty lesných porastov na prírastok ročného odtoku

Fig.3 Influence of cuting and forests density on growth of annual waterflow

Vplyv ťažby a zakmenenia na ročný odtok z povodia bol sledovaný v ihličnatých aj listnatých porastoch najmä v USA. Na základe údajov WILMA a DUNFORDA (1948), REINHARTA, ESCHNERA A TRIMBLA (1963), ktoré uvádza BRECHTEL (1970) sme zostrojili graf vplyvu ťažby a hustoty ihličnatého a listnatého porastu na prírastok ročného odtoku.
V modelovom povodí horného toku Predmieranky (povodie Kysuce) sa v priebehu vegetačného obdobia uskutočnil terénny prieskum výskytu eróznych javov a to jednak v porastoch v štádiu obnovy (realizácia obnovných ťažieb) a jednak na lesnej dopravnej sieti. Urobila sa fotodokumentácia zistených javov a urobil sa aj ich priestorový výskyt. Z terénneho zistenia vyplynulo, že najrizikovejšími faktormi tvorby povrchového odtoku bola sieť približovacích ciest a pracovných polí spojených s realizáciou obnovných ťažieb príp. odstraňovaním následkov veľkoplošných kalamít (veterné, hmyzie). Tieto faktory priamo súvisia s aktivizáciou tzv. sekundárnej hydrickej siete, ktorá sa stáva aktívnou v čase väčších zrážkových udalostí. Primárne ju tvoria povrchovo narušené časti spravidla odlesnených plôch po ťažbe (jazdné linky približovacích mechanizmov), ktoré sa zbiehajú do jednej zbernice, ktorou je smer približovania dreva (približovacia linka). Tu už dosahuje povrchový odtok takú intenzitu, že v priebehu 1-2 rokov po ťažbe dochádza k značnému odnosu organickej aj

minerálnej zložky pôdy a obnažuje sa pôdny skelet. Tieto erózne ryhy ústia v určitom mieste na spevnené lesné odvozné cesty (penetrované asfaltom), čím sa povrchový odtok značne urýchľuje a rýchlo sa napája na primárnu hydrickú sieť (údolný tok).

6. ZHRNUTIE A NÁVRH VHODNÝCH METÓD OBHOSPODAROVANIA LESA Z HĽADISKA PLNENIA PROTIPOVODŇOVEJ FUNKCIE

Značné množstvo experimentov z povodí s rôznym stupňom lesnatosti, rôznym drevinovým zložením, spôsobom obhospodarovania lesov a pod., čo umožnilo určitý stupeň generalizácie poznatkov vzťahu lesa a odtoku. Všeobecne sa potvrdilo, že lesy majú (MRÁČEK, KREČMER, 1975):

- mimoriadnu schopnosť zadržiavať zrážkovú vodu v odtoku (*retenčnú schopnosť*),
- hromadiť zrážkovú vodu na rozsiahlom povrchu drevín, v pôdnej pokrývke a v samotnej pôde (*akumulačnú schopnosť*),
- spomaľovať odtok vody premenou povrchového odtoku v odtok podzemný (*retardačnú funkciu*).

Konkrétny účinok lesných porastov v určitom povodí môže byť veľmi špecifický, nakoľko odtok je determinovaný komplexom faktorov, z ktorých viaceré môžu pôsobiť protichodne a komplikujú tak správanie sa celého zrážkovo-odtokového systému v danom povodí. Určujúcimi faktormi výsledého odtokového množstva a jeho časových zmien sú najmä:

- *geomorfologická charakteristika reliéfu* (sklonitosť, reliéfova členitosť a pod.),
- *hydrogeologická stavba povodia* (charakter priepustnosti hornín, prítomnosť zvodnených vrstiev a pod.),
- *meteorologické podmienky* (dĺžka trvania a intenzita zrážok, spolupôsobenie horizontálnych zrážok a pod.),
- *vodná bilancia lesných porastov* (intercepcia, zásoby pôdnej vody, stav lesnej cestnej siete vo vzťahu k povrchovému odtoku a pod.),
- *celková lesnatosť povodia a štruktúra nelesnej krajiny povodia* (MINĎÁŠ a kol., 1998).

Ako uvádza aj Švihla (2001), nakoľko vplyv lesa na vodu v krajine nie je jednoduchý, je ťažké jeho zovšeobecnenie. Preto je dôležité venovať pozornosť úplnej hydrologickej charakteristike vplyvu lesa na odtokové pomery v malých povodiach. Veľké lesné komplexy zvyšujú celkový úhrn zrážok oproti bezlesiu maximálne o 5 - 6 %. Na horách lesy zvyšujú zrážkový úhrn zachytávaním horizontálnych zrážok. Úhrnný odtok z väčších lesních celkov je spravidla nižší než celkový odtok z bezlesia (z polí a luk). Celkový ročný objem odtoku z lesov predstavuje v priemere 0,75 - 1,04 odtoku z poľnohospodárskych kultúr. Nižší celkový odtok vody z lesných porastov oproti bezlesiu je spôsobený vyššou intercepciou lesných porastov oproti lúkam alebo poľným kulturam. Nedokázalo sa v našich podmienkach s dostatočnou štatisticky významnu preukaznosťou, že by holoruby, resp. kalamity v zalesnených povodiach významne ovplyvnili odtok z povodia. Spôsobuje to rýchla regenerácia nízkych porastov, ktoré pomerne rýchlo (za 2 – 5 rokov) prevezmú vo veľkej miere hydrickú funkciu lesného porastu. Už vo veku 15 – 20 rokov sa vodná bilancia smreku stabilizuje a dosahuje približne úroveň dospelých porastov.

Les vďaka vlastnostiam lesnej pôdy umožňuje infiltráciu vody do pôdy a znižuje povrchový odtok, a teda aj riziko erózie. Pretože vrstva pôdy je relatívne tenká a vodivá s vysokým sklonom nepriepustného podložia, tvorí sa podpovrchový odtok, ktorým sa napájajú podzemné vody, pramene a povrchové toky.

Vplyv vegetácie (lesa) na vodnú hodnotu snehu nie je vždy rovnaký, ale v zásade sa mení v období akumulácie a v období topenia snehu. V období akumulácie bývajú vplyvom zachytávania snehu v korunách stromov (intercepcie) zásoby snehu na otvorených plochách vyššie ako v lese. V období topenia snehu je v lese príkon energie oproti voľnej ploche nižší, takže snehová pokrývka sa tam topí pomalšie a dlhšie ako na otvorenej ploche.

Na záver je možné konštatovať, že lesné komplexy znižujú extrémity zrážok - znižujú veľkosť odtoku veľkých vôd a zvyšujú veľkosť odtoku nižších. V našich pomeroch môže lesný porast spôsobiť zníženie maximálneho odtoku až o 50 % (Dub 1959). Naopak v najsuchších mesiacoch bol odtok z lesa 1,43-krát vyšší než odtok z polí a 1,58-krát vyšší než odtok z trvalých trávnych porastov (Švihla 2001). K celkovému výparu uvádza Švihla (2001), že podľa prehľadu zverejneného KANTOROM a KLÍMOM (1997) pre oblasť pahorkatín centrálnej Evropy sa celkový výpar pohybuje v ihličnatých

porostoch mezi 506 - 687 mm.rok^{-1} s priemerom 554 mm.rok^{-1} a v listnatých porastoch 390 - 673 mm.rok^{-1} s priemerom 508 mm.rok^{-1}. Pre zrovnanie výpar z trvalých trávnych porastov sa v týchto podmienkach pohybuje mezi 350 - 550 mm.rok^{-1}, priemerne 450 mm.rok^{-1}. V horských oblastiach je to samozrejme o čosi menej, vzhľadom na príkon slnečnej energie.

V našich prírodných podmienkach môže zachytiť nadzemná časť dospelého lesa vo väčšine prípadov okolo 5 mm, maximálne 10 mm dažďovej vody. Kapacita nasýtenia krovinatej, bylinnej vrstvy a vrstvy opadanky môže byť veľmi rozdielna a zväčša sa pohybuje na úrovni 5-20 mm. Pre najrozšírenejšie lesné pôdy na Slovensku môžeme uvažovať s retenčnou kapacitou 30-40 mm. Spolu približne 60 mm. Celková retenčná kapacita lesných porastov pri krátkodobých intenzívnych zrážkach môže dosahovať až 70 mm. Táto hodnota platí pre stav 100 %-nej lesnatosti v krajine a pre zakmenenie 1,0 (resp. zápoj 100%). Súčasťou lesných komplexov sú však aj bezlesé plochy (lesné cesty, odvozné miesta, lúky, rúbaniská), ktorých retenčná kapacita je oveľa nižšia, prípadne až nulová (penetrované lesné cesty), čím sa celková retenčná kapacita lesnej krajiny znižuje. Ak sa teda vyskytne extrémny dážď v krátkom časovom intervale s výdatnosťou napr. 100 mm, po povrchu odtečie zo zalesnenej časti povodia len rozdiel medzi výškou dažďa a momentálnou retenčnou (zadržiavacou) kapacitou lesného ekosystému, minimálne 30 % vody, čo v tomto prípade predstavuje 30 mm. Uvedenej sumárnej kalkulácii zodpovedajú aj údaje VALTÝNIHO a KAZDU (2002), z podobnej zrážky v povodí Malá Svinka v roku 1998, kedy zadržali lesné porasty v hornej časti 68 mm vody, kým lúky a pasienky len 46 mm vody, teda približne 67 % z množstva vody zadržaného lesom. Výrazne horšiu schopnosť zadržiavania vody má však najmä orná pôda v období bez vegetačného krytu. Podobne na trvalej výskumnej ploche na Grúniku (horná časť povodia Predmieranky) v hrebeňovej časti Moravsko-sliezskych Beskýd sa v 60 ročnom smrekovom poraste v druhej polovici júla 2001, kedy spadlo 158 mm prevažne vo forme intenzívnych zrážok búrkového charakteru, sa v lesnom ekosystéme zachytilo a pretransformovala na podpovrchový odtok 66 mm zrážok.

Pokles retenčnej kapacity krajiny s klesajúcim percentom lesnatosti klesá. Spočiatku pomalšie, do hodnoty 50-60 %-nej lesnatosti, následne - pod touto hranicou je pokles s lesnatosťou oveľa výraznejší.

Problematika infiltrácie zrážkovej vody v pôde úzko súvisí so stavom vrstvy nadložného humusu. Ak v procese hospodárenia v lese dôjde k narušeniu tejto vrstvy okamžite dochádza k rapídnemu zvýšeniu povrchového odtoku a zvýšeniu erózneho odnosu, a tým aj k rozkolísanosti prietokov. Kľúčovým faktorom utvárania odtoku pri prívalovom daždi je vsak (infiltrácia), ktorý rozhoduje o retencii a tým aj o veľkosti efektívneho dážďa, ako aj o tom, či bude zrážková voda odtekať pomaly pôdou, či rýchlo po povrchu. Pri dlhotrvajúcich dažďoch s dobou trvania niekoľko dní, s veľmi malou intenzitou, zasahujúcou územie o rozlohe niekoľkých stoviek až tisíc km^2, sa rozhodujúcou mierou podieľa na veľkosti odtoku doba trvania dažďa a rýchlosť postupu zrážkovej vody k záujmovému profilu. Veľkosť povodia, ktoré se podieľa na odtoku, je tým väčšia, čím viac rastie doba trvania dažďa a jej zodpovedajúca doba koncentrácie.

Aj lesný ekosystém (v ideálnej štruktúre) má teda svoje kapacitné možnosti zachytávania zrážok (do 50 – 70 mm) a potom dochádza k povrchovému odtoku. Ak sa však vyskytnú opakované silné dažďe, môže dôjsť až k extrémnej situácii, že povrch drevín, pôdy a nedrevnej vegetácie je zmočený a pôda je nasýtená vodou, retenčná schopnosť lesa klesne na nulu a každá ďalšia zrážka odteká ako povrchová voda. V takomto prípade má les už iba spomaľujúcu funkciu pre odtekajúcu vodu. Z hľadiska záchytného v takomto prípade pomôžu už iba technické opatrenia.

Z flyšového súvrstvia voda vyteká v podobe bariérových alebo puklinových prameňov, alebo skryto napája povrchový tok. Problematika odtoku vody po svahu v malých povodiach, ako vyplýva aj z práce HLAVČOVEJ, HOLKU, SZOLGAYA (2001), nie je taká jednoduchá ako by sa zdalo. Preto si vyžaduje najmä v spojitosti s vplyvom vegetácie na odtokové pomery aj v budúcnosi podrobnejší systematický výskum.

Z hľadiska obhospodarovania je dôležité uvedomiť si, očakávanú dôležitú vodohospodársku a ďalšie hydrické funkcie lesa (ČABOUN 1996), čo môže uspokojivo a dlhodobo plniť iba les zdravý, zodpovedajúci daným stanovištným podmienkam, teda les ekologicky stabilný. Dôležita zásada pre vytvorenie ekologicky stabilného lesa je priblížiť ich štruktúru prirodzenej druhovej, vekovej a priestorovej štruktúre lesa. Aj z dlhodobej analýzy v povodí Červíku (LOCHMAN a kol. 1998 ex ŠVIHLA 2001) vyplynulo, že vekové a druhové rozrôznenie lesných porastov je pre veľkosť odtoku podstatné. Veľmi dôležitý je poznatok, že bezlesie dáva oproti zalesnenej pôde o 47 % vyššiu

kulmináciu veľkých vôd. Zalesnením bezlesia sa teda zníži kulminácia veľkých vôd približne 1,5-násobne.
Aj KREŠL (2001) uvádza, že celková retencia v zalesnenom povodí môže predstavovať priemerne 70 mm a viac. Je možné teda predpokladať, že správne obhospodarovaný lesný porast môže počas počiatočných 30 min. trvania dažďa zadržať a previesť do pôdy všetkú zrážkovú vodu (z prívalového dážďa) vyskytujúcej se s pravdepodobnosťou dosiahnutia, resp. i prekročenia raz za sto rokov. Pri dlhotrvajúcich dažďoch s intenzitou menšou, než je intenzita vsaku, se nemôže uplatniť vplyv rôznej kvality lesného porastu ani lesnej pôdy a v prvých hodinách dažďa je rozhodujúcim činiteľom iba retenčná kapacita pôdy. Nepriaznivo se pri retenčnej kapacite lesných pôd prejavuje narušovanie nadložného humusu a zhutňovanie pôdy pri ťažbe a sústreďovaní dreva. Podobne nepriaznivo sa prejavuje aj cestná sieť, která skracuje dĺžku nesústredeného odtoku, znižuje vsak, povrchovú akumuláciu a zárezmi prevádza podpovrchový odtok na povrchový, čím urýchľuje odtok.
Zachar (2001) uvádza, že výskumami bolo zistené, že les znižuje odtok z lejakových vôd najmä na nepriepustných pôdach. Čím je pôda a podložie menej priepustné, tým je rozdiel v odtoku medzi lesným a poľnohospodárskym územím väčší. Ďalej píše, že okrem lesa, trvalých trávnatých porastov a poľnohospodárskych kultúr má pri ochrane proti povodniam dôležitý význam sieť ciest, najmä ciest na lesnom a poľnom území. Ich hustota (dĺžka) rozmiestnenie a odvodňovacia schopnosť rozhodujú o rýchlosti odtoku vody z povodia, a tým o deštrukčnom účinku vody.
Spomínaný autor ďalej upozorňuje, že osobitná pozornosť by sa mala zamerať na hospodárenie v lesoch, vypracovať súbor protipovodňových a iných ochranných opatrení na lesnom území, ktoré by sa týkali spôsobu hospodárenia, zákazu holorubov na väčších plochách, zalesňovaním nechránených plôch vzniknutých ťažbou, pohromami, imisiami, zamedziť drancovaniu lesa a vylúčiť spôsoby porušovania pôdy ťažkými mechanizmami a inými.

Použitá literatúra:

Benetin, V. (1983): Analytické riešenie vzťahu medzi transpiráciou a výparom z intercepcie. Vodohospodársky časopis, 31, č. 3-4, s. 354-368.

Bioklimatologický slovník - terminologický a explikativní. Academia, (1980), Praha, , 244 s.

Brechtel, H.M. (1970): Komplexní úprava povodí. Nová hlediska při obhospodařování krajiny. Zprávy les. Výsk. 16, , 2, s. 1 – 8

Bucha,T. a kol. (1996): PHARE MERA Forest ecosystems Mapping Sub-Project. Záverečná správa projektu, LVÚ Zvolen, 137 p.

Bucha,T.- Vladovič, J. (1997): Teroretická a praktické východiská uplatnenia DPZ a GIS ako súčasti klasifikácie stanovištnej vhodnosti drevinového zloženia. Konferencia Les-drevo-životné prostredie 8 - 11.september 1997, Zborník referátov, sekcia č.3, s.71-78.

Bucha,T.Botár,I.,Vladovič,J.,Meňuš,M.,Machková,N.,Brunclíková,I. (1997):Drevinové zloženie Slovenska. Mapa 1:500000, SAŽP B.Bystrica,.

Čaboun, V. (1996): Ekológia lesa. Vysokoškolský učebný text pre FEE TU Zvolen, TU Zvolen, 194 s.

Čaboun, V. (2003)**:** Vplyv lesných ekosystémov na odtokové pomery z povodia. Výskum vplyvu antropogénnych faktorov na vodné systémy. VÚVH Bratislava, (elektronická forma), 17 str.

Chlebek, A., Jařabáč, M. (1996): Význam lesů pro ochranu před povodněmi. Lesnická práce, 3/96, s.80-81.

Dub, O. (1963): Hydrológia, hydrografia, hydrometria. SVTL Bratislava, 526 s.

Hlavčová, K.-Holko, L,- Szolgay, J. (2001): Tvorba a modelovanie odtoku na svahoch a z malých povodí. Život. Prostr., Vol. 35, No. 3, str. 126 - 132

Intribus, R. (1977): Bilancia zrážok v lesnom bióme Carpineto-Quercetum. Lesnícke štúdie VÚLH vo Zvolene, 28, 63 s.

Kantor,P. (1981): Intercepce horských smrkových a bukových porostů. Lesnictví, 27, č.2, 1981: 171-192.

Kantor, P. (1983): Výpar z půdy a přízemní vegetace ve smrkovém a bukovém porostu. *Práce VÚLHM* 63:165—199.

Kantor, P. (1984): Vodní bilance smrku a buku ve vegetačním období. *Práce VÚLHM* 64:219—262

Kantor. P. (1984): Vodohospodářská funkce horských smrkových a bukových porostú. Lesníctví, 30, 6. s. 471 – 490.

Kantor, P. (1987a): Kalamitní holiny a odtok vody z povodí. Zprávy lesn. Výzk., 32, 4, s.15 – 18

Kantor, P. (1987b): Evaporace z povrchu půdy a z přízemní vegetace ve smrkových a bukových lesích. Vodohosp. Čas., 25,

Kantor, P. (1989): Transpirace smrkových a bukových porostů. *Vodohosp. Čas.* 37:222—237.

Kantor, P. (1990): Základní vazby celkového výparu a odtoku vody ze smrkových a bukových lesů. Vodohosp. Čas. 38:327—348

Kantor, P. (1992): Změny vodní bilance smrkového porostu po jeho obnově holou sečí. Lesníctví – Forestry, 38, 9-10, s. 823-838

Kantor, P. (1995): Vodní režim bukového porostu před jeho obnovou holou sečí a po ní. *Lesnictví - Forestry* 41:1—10.

Kantor,P.-Klíma,S. (1997): Mikroklima a vodní bilance jedlo-bukového porostu v pahorkatině. Lesnictví-Forestry, 43, 1997 (8): 333-346.

Krečmer, V. (1973): Meteorologické podmínky výskytu kapalných srážek z mlhy a jejich význam pro intercepční proces ve středohorském lese. Meteorologické zprávy, 27, č.1, s. 18-25

Krečmer,V.-Fojt,V.-Hynčica,V. (1981): Intercepční proces ve smrkových porostech. Vodohospodářský časopis, 29, č.6, 1981: 593-614.

Krešl, J. (2001): Vliv lesa na utváření odtoku při přívalových a dlouhotrvajících deštích. Les. Práce, 2,.

Midriak, R. (1992): Výskum povrchového odtoku a eróznych pôdnych strát v lesných ekosystémoch. In: Ekologický a ekofyziologický výskum v lesných ekosystémoch. Zvolen, Poľana, s. 32-36.

Minďáš, J. (1999): Kvantitatívna a kvalitatívna charakteristika zrážkového režimu jedľo-bukového ekosystému. Dizertačná práca, LF TU Zvolen, Zvolen 1999, 153 s.

Minďáš, J., Čaboun, V. (2002):Výskum vplyvu antropogénnych faktorov na vodné systémy, E 02.03: Vplyv rastlinných spoločenstiev na odtokové pomery z povodia. ZS za etapu. LVÚ Zvolen, 30 str.

Minďáš,J.-Moravčík,M.-Stanovský,M. (1998): Význam lesov a ich obhospodarovania z hľadiska protipovodňovej ochrany krajiny. *In:* O povodniach v roku 1998. Zborník referátov. Práce a štúdie SHMÚ, Bratislava, s. 66-71.

Minďáš, J. - Škvarenina, J. – Střelcová, K. (2001): Význam lesa v hydrologickom režime krajiny. Životné prostredie, 35, s. 3.

Mráček, Z.-Krečmer, V. (1975): Význam lesa pro lidskou společnost. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 225 str.

Novák, V. (2001): Evapotranspirácia a jej rozdelenie na území Slovenska. Životné prostredie, 35, 3.

Petrík, M. (1986): Príspevok k zrážkovému režimu jedľobukového ekosystému. In: Poznatky z bioklimatológie, lesníckej ekológie a meliorácií. Zborník referátov z konferencie, Zvolen, Bratislava, s. 54-59.

Petrík, M. (1991): Regime of rain precipitation in a fir-beech stand. In: Šály, R., Križová, E., Petrík,M, Mihálik, A.: Ecosystem study of the fir-beech stand in the Mláčok State Nature Reserve. Vedecké a pedagogické aktuality, VŠLD Zvolen, 1, s. 85-124

Reinhart, K.G.- Eschner, A.R.- Trimble, G.R. (1963): Effect on streamflow of four forest practices in the mountain of West Virginia. U.S. Forest Service Res. Paper NE-1,

Střelcová, K., Minďáš, J. (2000): Transpirácia buka lesného vo vzťahu k meniacim sa podmienkam prostredia. Vedecké štúdie 2000, Technická Univerzita vo Zvolene, 64 str.

Šach, F. (1978): Vliv způsobu hospodaření na vsakování a povrchový odtok srážkových vod v lese. [Influence of management practices on infiltration and surface runoff of precipitations in forest]. Zprávy lesnického výzkumu, 24, , č. 3, s. 17 - 22.

Šach, F. (1990): Vliv lesní dopravní sítě na odtokové poměry imisních holosečí. [Impacts of the forest road network on runoff from immission clearcuts]. Lesnictví, 36, č. 2, s. 139 - 158. - Res. angl.

Šály, R. (1988): Pedológia a mikrobiológia. VŠLD Zvolen, 376 s.

Švihla, V. (2001): Vliv lesa na odtokové poměry na malem povodí. Lesnická práce, 2, s.66-68

Tužinský, L. (1987): Water Balance in Forest Ecosystems of the Small Carpathians. *Ekológia* 6:23—39

Valtýni, J. (1981): Príspevok na určenie hydrického potenciálu lesa. Lesnícky časopis, 27, č. 3, s. 227-241.

Valtýni, J. (1986): Vodohospodársky a vodoochranný význam lesa. Lesnícke štúdie VÚLH Zvolen, 38, 68 s.

Valtýni, J. (2001): Les a povodne. Vedecké práce, TU vo Zvolene, 5/2001/A, 46 str.

Valtýni, J.- Kazda, R. (2002): Lesy a povodne. Domino Fórum 31, s. 15

Wisler, C.O.- Brater, E.F. (1959): Hydrology. J. Willy and Sons, Inc., New York,

Weihe, J. (1970): Proč zkoumat ztrátu skropné vody v lese? Zprávy lesníckeho výzkumu, 16, 2, s. 9 – 14.

Wilm, H.G.- Dunford, E.G. (1948): Effect of timber cutting on water available for stream flow from a lodepole pine forest, U.S. Dep. Agr. Techn. Bull. 968

Vladovič, J. a kol. (1994): Lesné oblasti Slovenska. Lesoprojekt,.

Zachar, D. (2001): Vodohospodárska funkcia lesov – kľúčový problém dneška a zajtrajška. Enviromagazín, 5, s. 16 – 17.

Zlatník, A. (1976): Lesnická fytocenologie. Praha, SZN

Doc. Ing. Vladimír Čaboun, CSc.

Lesnícky výskumný ústav

T.G.Masaryka 22, 960 92 Zvolen

tel.: 045 5314205, fax: 045 5314192, e mail: caboun@fris.sk

HODNOTENIE STAVU TEČÚCICH VÔD NA SLOVENSKU PROSTREDNÍCTVOM BENTICKÝCH ROZSIEVOK

Marcela Dobiašová, Dáša Hlúbiková, Elena Štefková

S cieľom postupného naplnenia požiadaviek Rámcovej Smernice o vodách (2000/60/ES) v oblasti monitoringu útvarov povrchových vôd sa na Slovensku v roku 2003 začalo s prvým komplexným monitoringom bentických rozsievok. Tieto odbery prebiehajúce súčasne s odbermi bentických bezstavovcov sa v roku 2003 vykonali v 158-ich odberových miestach národnej monitorovacej siete v jarnom období. Cieľom monitoringu je sledovanie druhového zloženia spoločenstiev bentických rozsievok v tokoch Slovenska ako dôležitých indikátorov environmentálnych podmienok za účelom ich využitia na hodnotenie ekologického stavu povrchových vôd.

Národná monitorovacia sieť je zostavená tak, že zahŕňa najmä antropogénne ovplyvnené útvary povrchových vôd. Preto od r. 2003 prebiehajú odbery bentických rozsievok i na 70-ich vybraných referenčných lokalitách, predstavujúcich tzv. neovplyvnený, alebo minimálne ovplyvnený stav, výhľadovo dva razy ročne - v jarnom a jesennom období. Údaje z referenčných lokalít slúžia na prípravu referenčných podmienok pre bentické rozsievky formou vhodných metrík (ukazovateľov, indexov), ako i na zostavenie reprezentatívnej štruktúry spoločenstiev fytobentosu v jednotlivých typoch vodných útvarov.

Odbery vzoriek prebiehajú v súlade s normou pre rutinný odber rozsievok v tokoch STN EN 13946:2004 a laboratórne sa spracovávajú podľa STN EN 1440:2004.

Výsledky z týchto prác sa v r. 2004 začali vyhodnocovať, pričom proces pozostával z výpočtu vybraných metrík, posudzovania ich vhodnosti z hľadiska schopnosti rozlíšenia rôznych stupňov degradácie vodného prostredia a z odvodzovania referenčných podmienok formou testovaných metrík.

V práci prezentujeme prvé výsledky spracovania, pričom najväčší dôraz je kladený na výsledky sapróbneho indexu podľa Zelinku & Marvana, 1961, ktoré podľa našich poznatkov v porovnaní s výsledkami bentických bezstavovcov, ako aj s reálnym stavom vo vodných útvaroch, stav vody značne nadhodnocujú.

Kľúčové slová: Rámcová smernica o vodách, bentické rozsievky, referenčné podmienky, sapróbny index bentických rozsievok, klasifikačná schéma, ekologický stav povrchových vôd

***Assessment of status of the running waters in the Slovak republic expressed by the benthic diatoms**. To meet the requirements of the Water Framework Directive 2000/60/EC (WFD) in the field of surface waters monitoring in Slovakia the first comprehensive monitoring of phytobenthos (benthic diatoms) has been started in 2003. The diatoms sampling in 2003 was done on 158 sampling sites of the national surface water quality monitoring network together with macrozoobenthos sampling in the spring period. The aim of this biological monitoring is to determine the species composition of benthic diatoms in the streams of Slovakia as they are an important indicator of environmental conditions and can be used to assess the ecological status of the surface waters.*

The national surface waters quality monitoring network is focused on water bodies influenced by anthropogenic activities. Based on this from 2003 the benthic diatoms monitoring has been running also in 70 reference localities, which represent non-disturbed or by human activities minimally disturbed status. The results from reference localities monitoring will serve for establishing the reference conditions for benthic diatoms expressed by different metrics, as well as for establishing of the representative benthic diatoms structure for different water bodies types.

The sampling is done according to the standard for routine benthic diatoms sampling in streams EN 13946:2004 and the samples are processed in the laboratories according to the standard EN 1440:2004.

Sampling and analyses from the year 2003 has been evaluated from the year 2004 on and this evaluation process had next steps: calculation of chosen indices, judgement of their suitability for determination of several water ecosystem degradations and deriving the reference conditions expressed by chosen metrics.

In this article the first results of the process are presented, the main emphasis is put on saprobic index according to the Zelinka & Marvan, 1961, testing, which show compared with macrozoobenthos testing results and with the real surface waters status overestimation of surface waters status.

Key words: Water Framework Directive, benthic diatoms, reference conditions, saprobic index of the benthic diatoms, classification scheme, ecological status of surface waters

ÚVOD

S cieľom postupného naplnenia požiadaviek Rámcovej Smernice o vodách 2000/60/ES (RSV), ktorá určuje vodnú politiku v rámci európskeho spoločenstva, sa v oblasti monitoringu útvarov tečúcich povrchových vôd na Slovensku začalo v roku 2003 s prvým komplexným monitoringom bentických rozsievok (fytobentos, nárasty).

Tieto odbery prebiehajúce súčasne s odbermi bentických bezstavovcov sa v roku 2003 vykonali v 158-ich odberových miestach štátnej monitorovacej siete v jarnom období. Cieľom monitoringu je sledovanie druhového zloženia spoločenstiev bentických rozsievok v tokoch Slovenska ako dôležitých indikátorov environmentálnych podmienok za účelom ich využitia na hodnotenie ekologického stavu povrchových vôd. Spĺňa sa tým požiadavka RSV, ktorá za účelom zhodnotenia ekologického stavu vôd definuje 4 biologické prvky kvality pre kategóriu rieky: vodná flóra (fytobentos a fytoplanktón), bentické bezstavovce, makrofyty a ryby. Pre každý biologický prvok kvality sú zvlášť zadefinované ukazovatele charakterizujúce jednotlivé spoločenstvá. Jedná sa o charakteristiky zloženia a štruktúry spoločenstiev vodnej bioty.

Štátna monitorovacia sieť je zostavená tak, že sleduje kvalitu vôd najmä v antropogénne ovplyvnených útvaroch povrchových vôd, t.j. pod významnými bodovými a difúznymi zdrojmi znečistenia a v ústiach riek. Preto od r.2003 prebiehajú odbery bentických rozsievok i na 70-ich vybraných referenčných lokalitách, predstavujúcich tzv. neovplyvnený, alebo minimálne ovplyvnený stav, výhľadovo dva razy ročne - v jarnom a jesennom období. Údaje z referenčných lokalít slúžia na prípravu referenčných podmienok pre bentické rozsievky formou vhodných metrík, ako i na zostavenie reprezentatívnej štruktúry spoločenstiev fytobentosu v jednotlivých typoch vodných útvarov.

V zmysle smernice 2000/60/ES (RSV) je totižto potrebné vyvinúť a uviesť do praxe systém hodnotenia stavu povrchových vôd založený na posúdení odchýlky existujúceho stavu oproti tzv. referenčnému stavu, ktorý reprezentuje stav vôd v určitom type povrchových vôd za podmienok žiadneho, alebo minimálneho narušenia vodného ekosystému.

V prvej fáze uvedeného procesu sa preto pristúpilo k vytvoreniu typológie vodných tokov SR s plochou povodia minimálne nad 10 km^2. Územie Slovenska sa v zmysle RSV rozdelilo na dva ekoregióny: Panónsku panvu a Karpaty. Ďalšími kritériami, ktoré vyselektovali skupiny tokov s podobným charakterom boli: geologické zloženie, nadmorská výška, ako aj plocha povodia. Podľa uvedených kritérií sa odvodilo 32 typov vodných útvarov tokov, pričom takáto abiotická typológia bola overená analýzami bentických bezstavovcov a bentických rozsievok. Z hľadiska vodnej bioty, najmä bentických bezstavovcov a rýb sa muselo prihliadať na jej rozdielne druhové zloženie v jednotlivých povodiach, najmä na jej odlišné zloženie v tokoch povodia Tisy v porovnaní s ostatnými tokmi Slovenska.

Odvodzovanie referenčných podmienok

V ďalšej fáze sa pristúpilo k odvodzovaniu referenčných podmienok pre jednotlivé typy vôd. Kvôli porovnateľnosti výsledkov analýz z monitoringu odberových miest patriacich do štátnej siete s výsledkami analýz z referenčných lokalít, ako aj s výsledkami analýz iných členských štátov sa zvolila pre odber vzoriek norma pre rutinný odber rozsievok v tokoch STN EN 13946:2004, vzorky sa laboratórne spracovávajú podľa STN EN 1440:2004.

Výsledky z týchto prác (1 vzorkovací cyklus v referenčných lokalitách a jeden v lokalitách patriacich do štátnej siete z r. 2003) sa v r. 2004 začali vyhodnocovať, pričom proces pozostával z výpočtu vybraných metrík pre bentické rozsievky, posudzovania ich vhodnosti z hľadiska schopnosti rozlíšenia rôznych stupňov degradácie vodného prostredia a z odvodzovania referenčných podmienok pre testované metriky.

V práci sú prezentované prvé výsledky spracovania, pričom najväčší dôraz je kladený na výsledky sapróbneho indexu podľa Zelinku & Marvana, 1961, ktoré podľa našich poznatkov v porovnaní s výsledkami bentických bezstavovcov, ako aj s reálnym stavom vo vodných útvaroch, stav vody značne nadhodnocujú.

Normalizácia metrík

Smernica 2000/60/ES požaduje, aby biologické prvky kvality boli vyjadrené vo forme pomeru ekologickej kvality (PEK), ktorý reprezentuje vzťah medzi hodnotami biologických ukazovateľov pozorovaných v určitom útvare povrchovej vody daného typu a hodnotami týchto ukazovateľov za referenčných podmienok v rovnakom type útvarov povrchových vôd. PEK takto dosahuje hodnoty od 0 – 1.

Pre normalizáciu biologických metrík pre bentické rozsievky sa použil nasledovný vzťah podľa Böhmer, Rawer-Jost & Zenker, 2004:

$$EQR = \frac{\text{hodnota v testovanej lokalite} - \text{hodnota vyjadrujúca veľmi zlý stav}}{\text{referenčná hodnota} - \text{hodnota vyjadrujúca veľmi zlý stav}}$$

kde

referenčná hodnota je

- 75. percentil z rozdelenia hodnôt metriky v 1. triede kvality, ak *hodnota metriky klesá s antropogénnym ovplyvnením*
- 25. percentil z rozdelenia metriky v 1. triede kvality, ak hodnota metriky stúpa s antropogénnym ovplyvnením

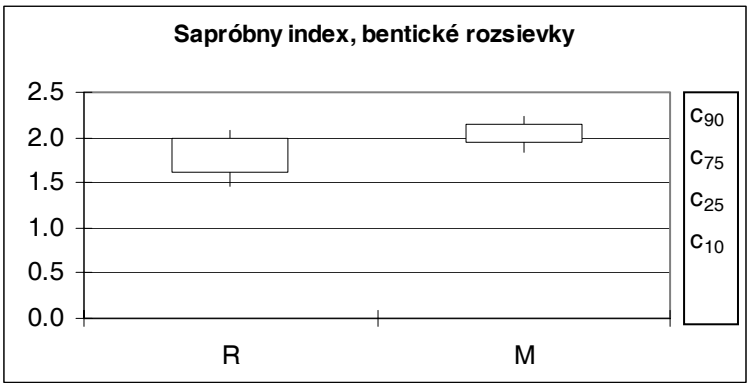
hodnota vyjadrujúca veľmi zlý stav

- 25. percentil z rozdelenia metriky v najhoršej triede, príp. hodnota 0, ak *hodnota metriky s antropogénnym ovplyvnením klesá*
- 75. percentil z rozdelenia metriky v najhoršej triede, príp. teoretická maximálna hodnota, ak hodnota metriky s antropogénnym ovplyvnením stúpa

Ak nie sú dostatočné údaje pre jednotlivé triedy kvality, možný je 5. percentil a 95. percentil zo všetkých dostupných hodnôt určitého typu tokov.

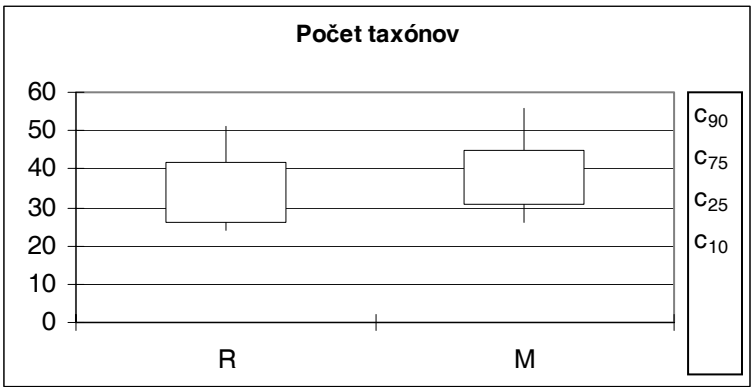
V prípade biologického prvku kvality fytobentos (nárasty) sa za reprezentatívnu skupinu organizmov v riekach zvolili bentické rozsievky, pretože tvoria dominantnú zložku fytobentosu rastúceho na rôznych substrátoch v tokoch. Do testovania metrík charakterizujúcich spoločenstvá bentických rozsievok boli v prvej fáze vybraté nasledovné ukazovatele (indikátory): sapróbny index, početnosť, počet taxónov a indexy diverzity ako: Simpsonov index, Shanon-Wienerov index a Margalefov index.

Zo súborov hodnôt jednotlivých metrík vypočítaných pre vzorky z referenčných miest a miest štátnej monitorovacej siete povrchových vôd (ovplyvnených antropogénnou činnosťou) sa vyrátali percentily c_{10}, c_{25}, c_{75} a c_{90}. Takto sa mohli posúdiť rozdiely medzi ľudskou činnosťou minimálne ovplyvnenými (referenčnými) a antropogénne zaťaženými lokalitami. Výsledky sú zobrazené na obrázkoch 1-5 pomocou tzv. škatuľových grafov (box plots) , kde dolná hranica obdĺžnika predstavuje 25. percentil, horná hranica 75. percentil. Koniec dolnej čiary obdĺžnika je 5. percentil a hornej čiary 95. percentil.



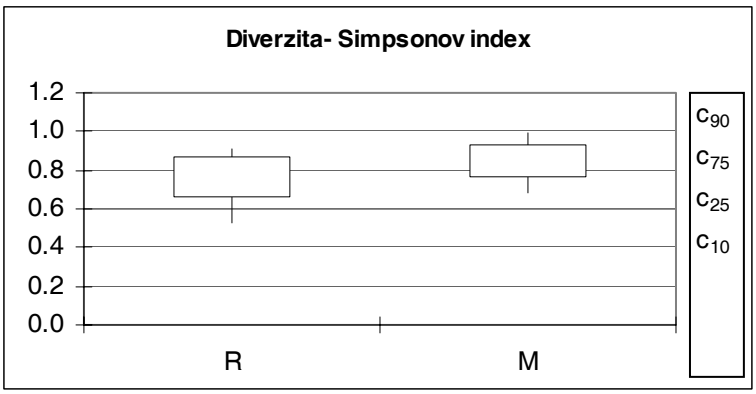
Obr. 1 Škatuľový graf vyjadrujúci hodnoty sapróbneho indexu bentických rozsievok nájdených na referenčných lokalitách a lokalitách patriacich do štátnej monitorovacej siete na základe údajov z roku 2003

Fig.1 Box plot expressing the values of sabrobic index of the benthic diatoms found on reference localities and localities that belong to the national monitoring network on the basis of the data from 2003



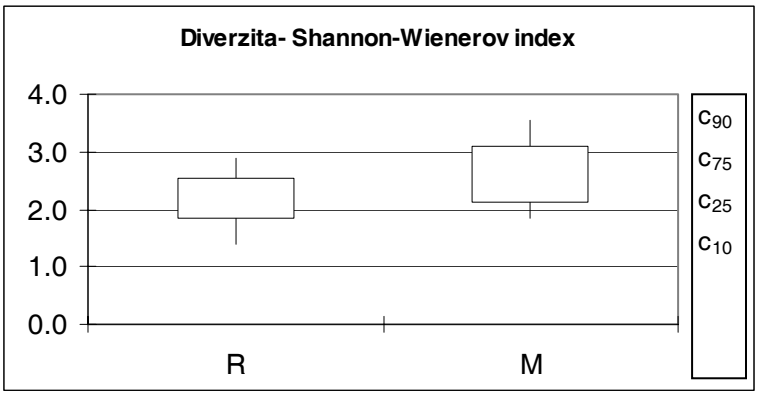
Obr. 2 Škatuľový graf vyjadrujúci počty taxónov bentických rozsievok nájdených na referenčných lokalitách a lokalitách patriacich do štátnej monitorovacej siete na základe údajov z roku 2003.

Fig.2 Box plot plot expressing the count of benthic diatoms taxons found on reference localities and localities that belong to the national monitoring network on the basis of the data from 2003



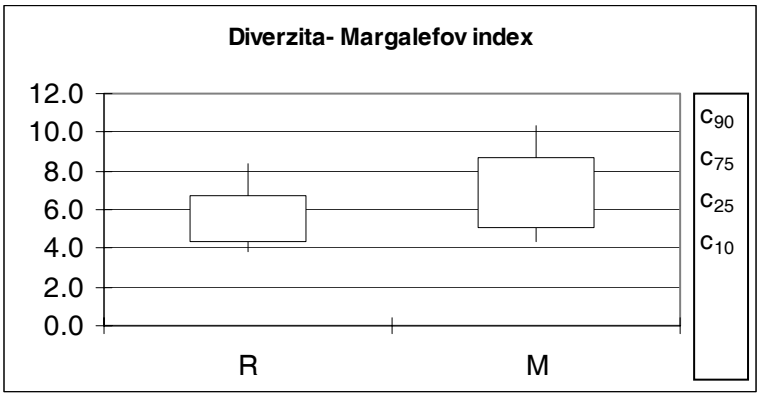
Obr. 3 Škatuľový graf vyjadrujúci hodnoty Simpsonovho indexu diverzity bentických rozsievok nájdených na referenčných lokalitách a lokalitách patriacich do štátnej monitorovacej siete na základe údajov z roku 2003

Fig. 3 Box plot expressing the values of diversity by Simpson-Index of benthic diatoms found on reference localities and localities that belong tothe national monitoring network on the basis of the data from 2003



Obr. 4 Škatuľový graf vyjadrujúci hodnoty Shannon-Wienerovho indexu diverzity bentických rozsievok nájdených na referenčných lokalitách a lokalitách patriacich do štátnej monitorovacej siete na základe údajov z roku 2003

Fig. 4 Box plot plot expressing the values of diversity by Shannon-Wiener-Index of benthic diatoms found on reference localities and localities that belong to the national monitoring network on the basis of the data from 2003



Obr. 5 Škatuľový graf vyjadrujúci hodnoty Margalefovho indexu diverzity bentických rozsievok nájdených na referenčných lokalitách a lokalitách patriacich do štátnej monitorovacej siete na základe údajov z roku 2003

Fig. 5 Box plot plot expressing the values of diversity by Margalef-Index of benthic diatoms found on reference localities and localities that belong to the national monitoring network on the basis of the data from 2003

Následne sa pristúpilo k ďalšiemu testovaniu uvedených ukazovateľov bentických rozsievok. Popis procesu odvodzovania referenčných podmienok a tvorby klasifikačnej schémy je totožný s prípadom odvodzovania referenčných podmienok a klasifikačnej schémy sapróbneho indexu bentických bezstavovcov opísaného v článku „Proces odvodzovania referenčných podmienok pre sapróbny index bentických bezstavovcov ako súčasti hodnotenia vôd podľa Rámcovej smernice o vodách“ autorov Ing. Juliana Adamková, Mgr. Marcela Dobiašová, RNDr. Ferdinand Šporka, CSc. uvedenom v tomto zborníku.

Ukázalo sa, že jediným potenciálnym kandidátom na určenie referenčných podmienok, vzhľadom na údaje, ktoré boli k dispozícii, je sapróbny index rozsievok, čo potvrdzujú aj obrázky č. 1-5. Problémom sapróbneho indexu bentických rozsievok je však jeho nedostatočná rozlišovacia schopnosť medzi ovplyvnenými lokalitami, čo veľmi obmedzuje možnosť vytvoriť limitné hodnoty pre triedy kvality 2-5. Z výsledkov analýz z roku 2003 bolo možné odvodiť limitné hodnoty pre hranicu medzi 1-2 triedou kvality pre jednotlivé typy tokov. V tabuľke 1 je uvedený návrh hodnôt pomerov ekologickej kvality (PEK) a im príslušných hodnôt sapróbneho indexu bentických rozsievok pre triedy kvality 1-2. Referenčné podmienky zodpovedajú 1.triede kvality, tzn. ich hranica je medzi 1.-2. triedou.

V ďalších krokoch bude nutné skontrolovať a zhodnotiť celý proces odberu a spracovania vzoriek, kým sa začne uvažovať o vylúčení ukazovateľa sapróbny index bentických rozsievok ako nevhodného pre účely hodnotenia ekologického stavu povrchových vôd. Ostatné testované ukazovatele neposkytli spoľahlivé výsledky a bude potrebné pokračovať v intenzívnom testovaní týchto i nových ukazovateľov (pre ktoré neboli k dispozícii potrebné podklady, napr. index trofického stupňa) po získaní väčšieho súboru údajov.
V rámci Európy sa pri monitoringu a hodnotení tokov na základe bentických rozsievok využíva software OMNIDIA (LECOINTE et al. 1993), ktorý bol vytvorený pre počítanie 14 rozsievkových indexov a je teda dobre využiteľný pri posudzovaní ich ekologického stavu. Použitie tohto programu pri spracovaní väčšieho súboru dát z odberu bentických rozsievok z tokov (jarné aj jesenné odbery, väčší počet odberových miest) a počítaní indexov bude teda vhodné využiť tento program aj v našich podmienkach a získať tak súbor viacerých rozsievkových indexov. Na základe následného testovania takto získaného väčšieho súboru hodnôt bude potrebné vybrať vhodný index alebo súbor indexov, ktoré budú najlepšie charakterizovať podmienky našich tokov na základe spoločenstiev bentických rozsievok.

Literatúra

Adamková, J., Hensel, K., Grešková, A., Klozík, M., Lehotský, M., Oťahelová, H., Šporka, F., Štefková, E., Valachovič, M. (2003): Príprava databázy hydromorfologických a biologických ukazovateľov pre proces výberu a charakterizácie referenčných miest podľa Smernice 2000/60/EC, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava.

Smernica 2000/60/ES Európskeho parlamentu a rady z 23. októbra 2000 ustanovujúca rámec pôsobnosti spoločenstva v oblasti vodnej politiky.

Böhmer, J., Rawer-Jost, C. a Zenker, A. (2004): Multimetric assessment of data provided by water managers from Germany: Assessment of several different types of stressors with macrozoobenthos communities, Hydrobiologia 516: 215-228.

Autori

Marcela, Dobiašová, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, marcela.dobiasova@shmu.sk

Dáša, Hlúbiková, Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nábr. arm. generála L.Svobodu 5, 812 49 Bratislava, Dasa_Hlubikova@vuvh.sk

Elena, Štefková, Slovenská akadémia vied, Dúbravská cesta 9, 845 06 Bratislava, Elena.Stefkova@savba.sk

Tab. 1 Návrh referenčných podmienok pre sapróbny index bentických rozsievok (PEK – pomer ekologickej kvality, SI – sapróbny index)

Tab.1 Proposal of the reference conditions for the saprobic index of benthic diatoms (PEK -ecological quality ratio, SI - saprobic index)

	malé toky								**stredne veľké toky**						**veľké toky**					
nadm. výška (m)	**< 200**		**200-500**		**500-800**		**>800**		**< 200**		**200-500**		**500-800**		**< 200**		**200-500**		**500-800**	
typ	**17a**		**1a, 6a, 9a, 10a, 15a, 18a, 19a**		**2a, 4a, 7a, 11a, 12a, 16a**		**3a, 5a, 8a, 13a, 14a**		**17b**		**10b, 15b, 19b, 9b, N1, S1**		**11b, 2b, P1**		**VP1**		**VK1**		**VK2**	
	PEK	**SI**	**PEK**	**SI**	**PEK**	**SI**	**PEK**	**SI**	**PEK**	**SI**	**PEK**	**SI**	**PEK**	**SI**	**PEK**	**SI**	**PEK**	**SI**	**PEK**	**SI**
I-II	0.61	2.0	0.73	2.0	0.74	1.9	0.87	1.6	0.70	2.0	0.80	1.9	0.80	1.7	0.80	1.9	0.80	1.7	0.80	1.7

PRÍSPEVOK GWP CEE K INTEGROVANÉMU MANAŽMENTU POVODNÍ

Katarína Hajtášová, Milan Matuška

Global Water Partnership Organization (GWPO) je nezisková medzivládna organizácia, ktorej poslanie zabezpečuje 14 regionálnych štruktúr na celom svete. Jednou z nich je GWP CEE (pre východnú a strednú Európu), ktorá má štatút mimovládnej organizácie. Úlohou tejto organizácie je uľahčovať implementáciu integrovaného manažmentu vodných zdrojov (IMVZ), berúc do úvahy systém povodí a všetky antropogénno-krajinné aspekty, ktoré režim vôd v povodí ovplyvňujú.

Základnou metódou práce GWP štruktúr je organizovanie dialógov o vopred identifikovanej problematike pre všetkých zainteresovaných účastníkov. Výhodou v tomto procese je nezávislé postavenie organizácie, ktorá má predpoklady, aby dialógy formulovala podľa ich skutočnej naliehavosti a aby objektívne aj tieto dialógy vyhodnocovala. Zároveň sú vytipovávané tie témy, ktoré nie sú dostatočne pokryté oficiálnymi štátnymi inštitúciami a organizáciami.

Jednou z najnaliehavejších tém súčasnosti sú prívalové povodne, pohľad na tieto povodne ako integrovaný výsledok všetkých aspektov, ovplyvňujúcich režim vôd v povodí a zároveň aj problematika účinnej krátkodobej predpovede vo vzťahu k jej užívateľom, ktorá sa v súčasnosti stále viac chápe ako dostatočne rýchla, spoľahlivá a zrozumiteľná komunikácia medzi profesionálnymi predpovednými centrami a ich užívateľmi.

V minulom roku bol odštartovaný spoločný projekt WMO a GWP CEE, ktorý je zameraný na uvedené problémy. Predpokladá sa riešenie v troch fázach, prvá fáza zameraná na historiografiu významných prívalových povodní v siedmich štátoch východnej a strednej Európy bola práve ukončená. V druhej fáze budú navrhnuté riešenia vyššie uvedených problémov v jednom, prípadne dvoch pilotných povodiach. Výsledky druhej fázy by sa mali v tretej fáze projektu postupne realizovať v celom regióne.

Kľúčové slová: Global Water Partnership, mimovládna organizácia, implementácia, integrovaný manažment vodných zdrojov, integrovaný manažment povodní, dialóg, prívalové povodne, komunikácia, predpovedné centrá, užívatelia, Svetová meteorologická organizácia, WMO, pilotné povodia, fázy projektu, opatrenia

GWP CEE contribution to integrated flood management. *Global Water Partnership Organisation (GWPO) is worldwide intergovernmental organisation actuating through its regional structures. One of them is GWP CEE (for Central and Eastern Europe) having statute of nongovernmental organisation. GWP CEE mission is to facilitate implementation of Integrated Water Resources Management (IWRM) taking into account river basin and all anthropogenic-landscape aspects influencing water regime in relevant river basin.*

Basic method of GWP is organising dialogues on specific topics identified in advance for all stakeholders involved. Independence of GWP in this process occurs as a great advantage in formulating significant topics of dialogues according to their real ranking and finally coming to fair-minded conclusions. Additionally, new vital topics are identified not sufficiently covered by official state institutes and organisations.

One of the most urgent task of today are flash floods recognised increasingly as integrated result of all aspects influencing water regime in relevant river basin. At the same time this phenomenon must be seen as subject of efficient short term forecasting coming to its users. This process must be understood as sufficiently fast, reliable and straightaway communication between professional forecast centres and users.

The last year a new joint WMO/GWP CEE project has been launched which is oriented on those questions. Three phase of the project are suggested; the first one focussed on historiography of significant flash floods of seven countries of the Central and Easter Europe has been just completed. In the next second phase in one-two pilot river basins the mentioned problems will be more specified and remedial measures should be suggested. The results achieved in the second phase should be used for broad implementation in the whole CEE region within the third phase of the project.

Key words: Global Water Partnership, Non Governmental Organisation, implementation, integrated water resources management, integrated flood management, dialogue, flash floods, communication, forecast centres, users, World Meteorological Organisation, WMO, pilot river basins, project phases, measures

POSLANIE ORGANIZÁCIE GLOBAL WATER PARTNERSHIP

Na globálnej úrovni

Využívanie vodných zdrojov v súlade s princípmi trvalo udržateľného rozvoja bude jednou z najvýznamnejších výziev ľudstva v budúcnosti. Čiastkové a krátkodobé prístupy spôsobujú dokonca katastrofy a vnášajú určite disharmóniu do sociálneho a ekonomického rozvoja v mnohých častiach sveta tak v súčasnosti, ako aj s dopadom na budúce generácie. Organizácia Global Water Partnership (GWP) bola založená v roku 1996 preto, aby pomohla zamerať pozornosť všetkých, ktorí sa angažujú v problematike vôd na potrebu rozvoja a riadenia vodných zdrojov integrovaným spôsobom. GWP sa okrem zvyšovania povedomia hlási k roli strategickej asistencie krajinám na ich ceste k integrovanému riadeniu vodných zdrojov (Integrated Water Resources Management – **IWRM**). V priebehu rokov GWP definovala seba ako *„medzinárodnú sieť organizácií, angažovanú v oblasti riadenia vodných zdrojov, ktorá podporuje IWRM vytváraním fór na globálnej, regionálnej a národnej úrovni, zameraných na uľahčovanie zmien a systematické vytváranie, zhromažďovanie a rozširovanie vedomostí, podporujúcich proces zmeny“*.

Po období rýchleho rastu a významných príspevkov v oblasti generovania vedomostí o IWRM, ich rozširovania, zvyšovania povedomia a zakladania neutrálnych platforiem širokého zamerania na rôznych úrovniach, je GWP na križovatke svojej existencie. Rok 2004 znamená začiatok nového plánovacieho obdobia, počas ktorého sa od GWP najviac očakáva práve v oblastiach vedúcej úlohy, akcieschopnosti a zlepšovania systémov riadenia vodných zdrojov. IWRM, považovaný za základnú kompetenciu GWP, je chápané ako hnací proces agendy národných reforiem v oblasti vôd. Očakáva sa, že krajiny významne pokročia na ceste k IWRM počas niekoľkých rokov a osobitne v národnom strategickom plánovaní do roku 2005 (Johannesburg, Svetový summit o trvalo udržateľnom rozvoji, 2002).

V tomto kontexte je definovaná strategická orientácia GWP pre nasledujúce obdobie: viac aktivít, väčšia decentralizácia činností v zmysle alokácie zdrojov, osobitne finančných zdrojov a zásadná požiadavka na excelentné riadenie celej siete. Najvyššie ašpirácie GWP sú zahrnuté v jej okamžitom cieli, ktorý si stanovila a v očakávaných výstupoch plánovacieho obdobia:

A) Okamžitým cieľom GWP je zabezpečiť aplikáciu integrovaného riadenia vôd v podstatne väčšom počte krajín a regiónov, dovoľujúceho a umožňujúceho trvalo udržateľné a spravodlivé využívanie vôd
B) Výstupmi budú:
    a. politické a strategické materiály pre oblasť vôd, založené na princípe integrovaného riadenia vodných zdrojov, vypracované za podpory GWP
    b. programy a nástroje integrovaného riadenia vodných zdrojov ako odozvy na potreby regiónov a krajín
    c. založená, stabilizovaná a efektívna sieť partnerov GWP, ktorých predstavujú významné organizácie a inštitúcie, zainteresované v problematike vôd

Jedna zo súčasných a dôležitých úloh GWP je komunikácia s tými, ktorí sú mimo „vodnej“ komunity. Pôsobenie v širšej sfére ekonomického rozvoja je podmienkou podstatného vplyvu a vyvolania významného a trvalo udržateľného procesu v progresívnom pohybe. Týka sa to samozrejme aj idey implementácie IWRM. GWP preto vynaloží potrebné úsilie v kontexte širšej ekonomickej perspektívy a zainteresovania relevantných subjektov, ktorí sú často ignorovaní „vodármi“. Sústredí sa na vytváranie reálnych komunít a partnerstiev, ktoré sú schopné zmien v pozitívnom zmysle.

Poslanie GWP CEE

Global Water Partnership Organisation (GWPO) je nezisková medzivládna organizácia, ktorej poslanie zabezpečuje 14 regionálnych štruktúr na celom svete, riadených príslušnými regionálnymi sekretariátmi. Jedným z nich je GWP CEE so sídlom v Bratislave (pre východnú a strednú Európu), ktorý koordinuje činnosť desiatich národných sietí GWPO so štatútom mimovládnych organizácií.

Zatiaľ sú národné siete GWPO etablované v desiatich krajinách regiónu, sú to: Česká republika, Slovenská republika, Maďarsko, Slovinsko, Rumunsko, Bulharsko, Poľsko, Estónsko, Lotyšsko a Litva. Úlohou týchto štruktúr je uľahčovať implementáciu integrovaného manažmentu vodných zdrojov, berúc do úvahy osobitosť regiónov a krajín, ako aj daných antropogénnych a krajinných aspektov, ktoré režim vôd v povodiach ovplyvňujú.

Základnou metódou práce GWP štruktúr je organizovanie dialógov o vopred identifikovanej problematike pre všetkých zainteresovaných účastníkov. Výhodou v tomto procese je nezávislé postavenie organizácie, ktorá má predpoklady, aby dialógy formulovala podľa ich skutočnej naliehavosti, pozývala na ne zainteresovaných účastníkov bez predpojatosti a aby objektívne aj tieto dialógy vyhodnocovala. Zároveň sú pre dialógy vyberané tie témy, ktoré nie sú dostatočne pokryté oficiálnymi štátnymi inštitúciami a organizáciami.

Doterajšie výsledky činnosti GWP CEE

Na regionálnej úrovni boli dohodnuté od roku 1996, kedy bolo GWP CEE etablované v organizačnej forme dočasnej a neskoršie od roku 2003 vo forme definitívnej, tieto témy pre dialógy: Finančné toky, Voda, potraviny, životné prostredie, Rovnosť rodových príležitostí, Riadenie vôd, Voda pre 21. storočie, Účasť verejnosti pri plánovaní v povodiach. Dialógy prebiehali v jednotlivých krajinách, správy o nich obsahovali závery a odporúčania. Sumarizácie týchto správ na regionálnej úrovni boli spracované vybratými expertmi a poskytnuté oficiálnym inštitúciám všetkých krajín v regióne CEE ako podklad pre uskutočnenie nevyhnutných reforiem v oblasti vodného hospodárstva. K dispozícii sú tieto dokumenty:

Finančné toky: Prijateľné finančné zaťaženia vo vodnom hospodárstve v regióne strednej a východnej Európy (CEE)
Regionálna správa o finančných tokoch vo vodnom sektore CEE

Voda, potraviny a životné prostredie
Druhá fáza dialógu o implementácii EÚ Rámcovej smernice pre vodu v poľnohospodárskej praxi v regióne CEE

Rovnosť rodových príležitostí
Zhodnotenie dotazníka o zapojení žien a mužov do aktivít GVP CEE

Riadenie vôd
Regionálna správa o riadení vôd v regióne CEE

Voda pre 21. storočie: Od vízie k akcii v regióne CEE
Regionálny dokument, pripravený pre 2. Svetové fórum o vode

Účasť MVO pri zostavovaní vodohospodárskych plánov v povodí Dunaja
Informácia, analýza a závery o účasti MVO pri implementácii EU Rámcovej smernice

Súčasné aktivity GWP CEE

Školenia v regióne GWP CACENA (Stredná Ázia)
Proces implementácie IWRM je podstatne ľahšie realizovateľný v tých krajinách, ktoré plnia úlohy, vyplývajúce z požiadaviek EÚ Rámcovej smernice pre vodu (RSV). Región GWP CEE už prešiel prvými fázami implementácie RSV a jeho skúsenosti sú zaujímavé pre región Strednej Ázie, ktorej tradícia vo vodnom hospodárstve má veľa spoločných čŕt ***a znakov*** s tradíciou vodného hospodárstva krajín strednej a východnej Európy. Preto aj komunikácia medzi obidvoma regiónmi o problematike vôd je bezprostredná, bezproblémová a vzájomne vyhľadávaná.
Na základe osobitnej požiadavky GWP CACENA pripravilo GWP CEE a postupne v tomto roku aj realizuje sériu školení, ktorých témou je výklad RSV a sprostredkovanie skúseností s implementáciou tejto najnáročnejšej a komplexnej smernice o vode. Ide o program, ktorý má nekoľkoročnú perspektívu. Školenia sa realizujú v rámci globálneho programu GWP s názvom Tool Box, ktorého cieľom je zozbierať prípadové štúdie o praktickom uplatňovaní

udržateľného manažmentu vodných zdrojov a sprostredkovať ich širokej odbornej verejnosti,. Viac informácií o Tool Box je na web stránke www.gwpforum.netmasters05.netmasters.nl/.

Komunikácia hydroprognóznych centier s užívateľmi počas prívalových povodní

Jednou z najnaliehavejších tém súčasnosti sú **prívalové povodne**, pohľad na tieto povodne ako integrovaný výsledok všetkých aspektov, ovplyvňujúcich režim vôd v povodí a zároveň aj problematika účinnej krátkodobej predpovede vo vzťahu k jej užívateľom, ktorá sa v súčasnosti stále viac chápe ako dostatočne rýchla, spoľahlivá a zrozumiteľná komunikácia medzi profesionálnymi predpovednými centrami a ich užívateľmi. Predovšetkým v horských oblastiach regiónu znamená v prípade prívalových povodní účinná komunikácia medzi predpovednými centrami a lokálnymi komunitami možnosť efektívnej ochrany životov a majetku obyvateľstva.

V minulom roku bol odštartovaný spoločný projekt WMO a GWP CEE, ktorý je zameraný na uvedené problémy. Predpokladá sa riešenie v troch fázach, prvá fáza zameraná na historiografiu významných prívalových povodní v siedmich štátoch východnej a strednej Európy bola práve ukončená. V druhej fáze budú navrhnuté riešenia vyššie uvedených problémov v jednom, prípadne dvoch pilotných povodiach. Výsledky druhej fázy by sa mali v tretej fáze projektu postupne realizovať v celom regióne. Druhá a tretia fáza projektu budú zohľadňovať špecifiká krajín a budú prispôsobené projektom a systémom, ktoré sa už realizujú. Ide o projekt dlhodobého charakteru, jeho realizácia v celom regióne CEE sa vzhľadom na výraznú odlišnosť geografických, technických a sociálno-ekonomických podmienok v jednotlivých krajinách predpokladá v horizonte piatich, až desiatich rokov.

Vzdelávanie mladej generácie v oblasti vôd

Pri zavádzaní postupných a náročných systémových zmien do vodohospodárskej praxe, ktoré umožnia reálnu a dôslednú implementáciu IWRM, je nevyhnutná čo najširšia účasť verejnosti. Podľa skúseností tých krajín, v ktorých sa účasť verejnosti dlhodobo a účinne uplatňuje, práve mladá generácia, ak je dostatočne vzdelaná v danej problematike, predstavuje ten najúčinnejší nástroj pre dosiahnutie verejne užitočného cieľa. Riadiaci výbor GWP CEE rozhodol na sklonku roka 2004 odštartovať osobitný program, zameraný na vzdelávanie mladej generácie v oblasti vôd.

Cieľom tohto programu je zhodnotenie a doplnenie súčasných školských osnov základných a stredných škôl z hľadiska ich obsahu, zodpovedajúcemu tematike vôd, s osobitným zreteľom na dostatočné pochopenie princípov integrovaného riadenia vôd, jeho uplatnenia v procese plánovania a nakoniec jeho aplikácie v praxi. Ide o pomôcku, manuál, pre učiteľov, ktorí ju vhodne využijú v súlade s celkovým učebným plánom pre základné a stredné školy v celom regióne strednej a východnej Európy. Predpokladá sa zhotovenie doplňujúcich textových a obrazových pomôcok, vo forme krátkych náučných filmov, videonahrávok, prípadových štúdií a ďalších obrázkov a textov, spracovaných v digitálnej forme, uložených na počítačových médiách a distribuovaných internetom. Ide opäť o dlhodobý program, ktorý sa bude realizovať v súlade s finančnými prostriedkami, ktoré budú pre GWP CEE k dispozícii.

Dlhodobý program GWP CEE do roku 2008

V dlhodobom programe, odsúhlasenom Riadiacim výborom GWPO má GWP CEE ďalšie témy, ktoré budú realizované postupne podľa financií, ktoré budú k dispozícii z centrálneho rozpočtu alebo od sponzorských subjektov v regióne. Ide napríklad o komplexné riešenie zásobovania vodou a odkanalizovanie odpadových vôd v lokalitách marginálnych etník v regióne, zavedenie ekoremediačných metód do revitalizačných programov a do programov čistenia odpadových vôd, účasť na monitorovacích programoch vôd a ich vyhodnocovaní, ako aj na vypracovávaní strategických dokumentov vlád v oblasti ochrany a zlepšovania stavu vôd.

Financovanie aktivít GWP CEE

GWPO nie je implementačná agentúra, svoje programy realizuje po dohode so sponzormi, financujúcimi aktivity GWPO na všetkých úrovniach – na globálnej, regionálnej a národnej. Nominovaní zástupcovia sponzorov sú členmi Riadiaceho výboru GWPO, ktorý schvaľuje tak dlhodobé programy, ako aj ročné plány jednotlivých regiónov. Keďže sponzori sú presvedčení o tom, že na úrovni regiónov sú podstatne lepšie kontrolovateľné výstupy a financovanie programov, dávajú prednosť priamemu financovaniu aktivít na úrovni regiónu, bez sprostredkovateľskej funkcie centrálneho GWPO sekretariátu, sídliaceho v Štokholme. V súčasnosti však komunikácia medzi sponzormi a regiónmi nie je na takej úrovni, aby bolo možné pokryť finančné potreby regiónov a zabezpečiť realizáciu ich programov, nevyhnutných pre realizáciu procesov, vedúcich k implementácii IWRM.

Podrobnejšie informácie o GWP CEE sú na web stránke www.gwpceeforum.org.

Asociované programy GWPO

GWPO založila niekoľko programov na pomoc svojim partnerom, ktoré uľahčia rozvoj a implementáciu správnej praxe v oblasti trvalo udržateľného riadenia vodných zdrojov.

Sú to témy, zamerané na ochranu a tvorbu vodných zdrojov, zlepšovanie podzemných vôd alebo riadenie povodní, hľadajúce zabezpečenie dostatku vôd pre potraviny a hygienu, definujúce potreby urbanizácie. Predovšetkým však ide o presadzovanie najmodernejších prístupov, ktoré by sa mali uplatňovať v každodennej praxi.

Rôzne typy asistencie poskytujú poradenstvo o metódach riadenia, o stratégii v zvyšovaní povedomia a organizovaní dialógov medzi záujmovými skupinami, výsledky práce expertných tímov a pomáhajú s výskumom, rozvojom a školeniami.

Tieto programy sa realizujú nezávisle, nie sú majetkom GWPO, ale sa uskutočňujú v rámci rôznych etablovaných organizácií na medzinárodnej úrovni, sú usmerňované príslušnými GWP technickými komisiami ako služba pre partnerov GWP, prípadne pre využitie rozbiehajúcich sa programov skôr, ako sa formálne potvrdia vo forme „GWP asociovaných programov“.

Asociovaný program o riadení povodní – spolupráca GWPO a WMO

Zabezpečenie projektu
Pre realizáciu tohto programu bolo vytvorené potrebné finančné, logistické a kapacitné zázemie na vrcholovej, regionálnej a národnej úrovni.

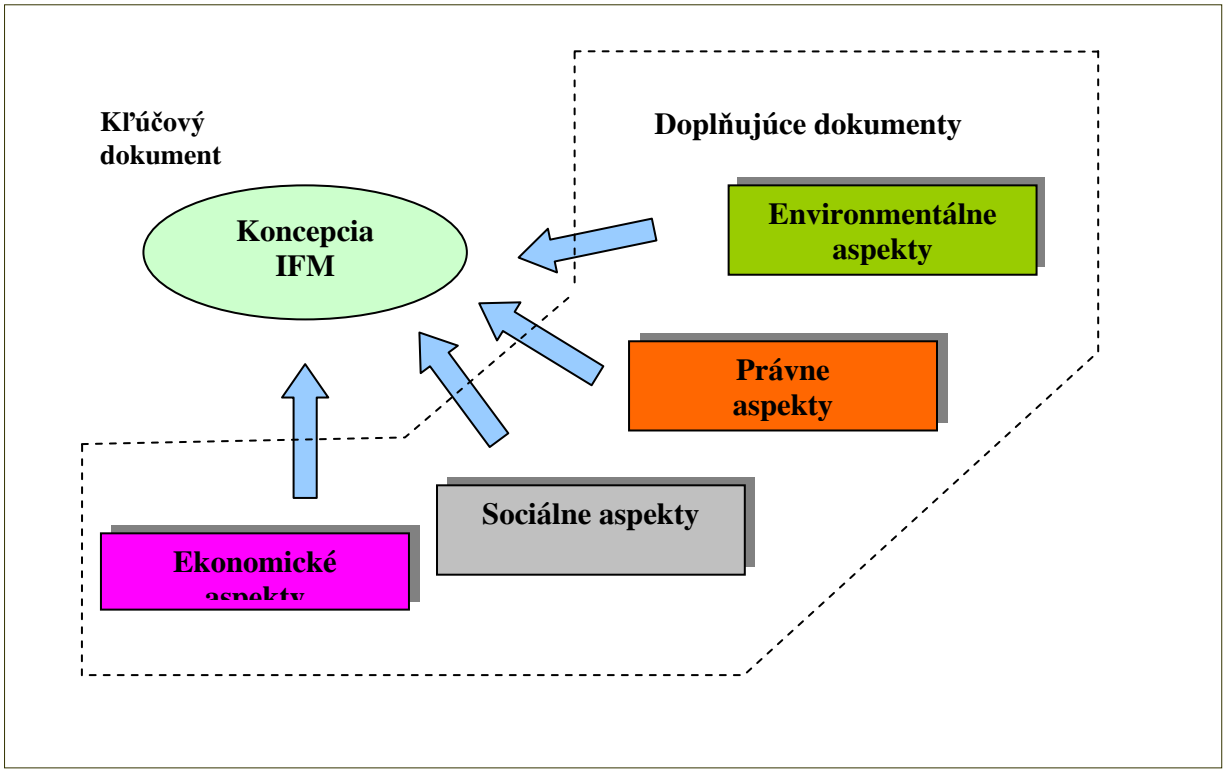
Technická podporná jednotka (Technical Support Unit – TSU) na WMO, ktorá je zodpovedná za usmerňovanie programu tak, aby bol užitočný z hľadiska poslania tejto organizácie. Stanovisko TSU je rozhodujúce pri uvoľňovaní financií sponzormi na tento program.

Financovanie programu je zabezpečené dvoma stabilnými sponzormi, holandskou a japonskou vládou. Program pozostáva z niekoľkých etáp a po ukončení každej sa vykoná jej zhodnotenie, odobrí sa jej konečné vyúčtovanie a a pripraví sa podrobný návrh ďalšej etapy, ktorý je znovu odsúhlasovaný Poradným a riadiacim výborom Programu. Etapovite prebieha tak technická príprava a realizácia jednotlivých fáz Programu, ako aj jeho financovanie.

Predsedom poradného a riadiaceho výboru Programu (Advisory and Management Committee – AMC) je zástupca GWPO, Torkil Jønch-Clausen z Dánska, jeden z autorov základných dokumentov GWPO o integrovanom manažmente vodných zdrojov. Členmi tohto výboru sú okrem zástupcov GWPO a WMO aj reprezentanti sponzorov Programu, japonskej a holandskej vlády.

Aktivity v rámci Programu

1. Kompilácia koncepcie Integrovaného riadenia povodní (Integrated Flood Management – IFM) vrátane doplňujúcich dokumentov
2. Implementácia regionálnych pilotných projektov
3. Kompilácia prípadových štúdií o riadení povodní
4. Vytvorenia prepojenia medzi partnermi a spolupracujúcimi subjektami Asociovaného programu o riadení povodní
5. Šírenie informácií v priebehu Programu a po jeho ukončení



Obr. 1 Kompilácia kľúčového a doplňujúcich dokumentov
Fig.1 Compilation of Key and Supplementary documents

Implementácia regionálnych pilotných projektov

- Pilotné projekty sa uskutočnia v Južnej Afrike, Južnej Amerike a Strednej a Východnej Európe v rámci GWP a WMO štruktúr
- Pilotný projekt v Strednej Amerike je už ukončený
- Cieľom pilotných projektov je demonštrovať rešpektovanie a realizáciu idey koncepcie integrovaného riadenia povodní v praxi

Charakteristika integrovaného riadenia povodní

- Integrované riadenie povodní (Integrated Flood Management – IFM) zohľadňuje integráciu riadenia v území s riadením vôd v povodiach, čo zodpovedá integrovanému riadeniu vodných zdrojov (Integrated Water Resources Management – IWRM)
- Rešpektuje, že povodie je dynamický systém s množstvom neustále sa meniacich interakcií medzi územím a vodnými útvarmi
- Integrácia sa týka aj inštitucionálneho zabezpečenia implementácie IWRM

Pilotný projekt v regióne Východnej a Strednej Európy

Desať štátov patriacich do regiónu Strednej a východnej Európy (Bulharsko, Česká republika, Estónsko, Litva, Lotyšsko, Maďarsko, Poľsko, Rumunsko, Slovensko a Slovinsko) sa k Asociovanému programu povodňového manažmentu (APFM) pripojilo na jeseň v roku 2002. Na odporúčanie WMO aktivity APFM v jednotlivých krajinách sú organizované prostredníctvom národných hydrologických služieb. Koordináciou APFM v rámci CEE regiónu bol poverený Slovenský hydrometeorologický ústav.

V prvom roku činnosti CEE APFM boli identifikované kontaktné osoby v jednotlivých štátoch, vymenili sa základné informácie o aktivitách národných hydrologických služieb nielen v oblasti predpovedania povodní, ale aj spolupráce s orgánmi a organizáciami zodpovednými za protipovodňovú službu a širokou verejnosťou.

Povodne patria k najčastejším prírodným katastrofam spôsobujúcim veľké materiálne škody ale aj straty na ľudských životoch. V regióne CEE sa v ostatných rokoch vyskytli rozsiahle povodne v dôsledku dlhotrvajúcich extrémnych zrážok zasahujúcich veľké oblasti, povodne spôsobené ľadovými zápchami a zátarasami, povodne v urbanizovaných oblastiach ako aj relatívne veľký počet prívalových povodní.

Prívalové povodne sú spôsobované krátkodobými intenzívnymi zrážkami konvektívneho charakteru trvajúcimi niekoľko desiatok minút až niekoľko hodín. Predpovedať zrážky s predstihom na niekoľko hodín, ako aj určiť ich začiatok, intenzitu, odhadnúť trvanie a priestorové rozloženie ich množstva je zatiaľ prakticky nemožné. Naviac okamžitá odozva povodia na prívalový dážď podstatne limituje možnosť včasnej predpovede povodní z prívalových dažďov a výstrah pred nimi. Priebeh povodne je zvyčajne veľmi rýchly, na organizáciu zabezpečovacích a záchranných prác nezostáva veľa času a následky v obývaných oblastiach môžu byť katastrofálne, čo potvrdzujú konkrétne prípady.

Na jeseň 2003 sa uskutočnilo v Bratislave úvodné stretnutie CEE APFM, na ktorom sa zúčastnili zástupcovia všetkých desiatich krajín.

Hlavným predmetom diskusie na uvedenom stretnutí bolo nájsť tému pre pilotný projekt v regióne, ktorá by pokrývala záujmy a potreby aspoň väčšiny zúčastnených krajín. Bolo navrhnutých niekoľko oblastí možnej spolupráce:

- Analýza historických povodní v regióne
- Identifikácia požiadaviek koncových užívateľov povodňových predpovedí
- Spôsob vyjadrenia nepresnosti predpovedí
- Štandardizácia povodňových výstrah a varovaní
- Analýza efektivity informácií o povodniach

Námety na spoluprácu boli predložené a diskutované na sekretariáte WMO s členmi TSU (Technical Support Unit) a výsledkom bol návrh na implementáciu pilotného projektu s názvom: „Progresívna integrácia povodňových varovaní v oblastiach postihovaných prívalovými povodňami“.

Navrhnutý pilotný projekt odsúhlasila na svojom zasadnutí aj Rada GWP CEE.

Implementácia projektu je rozvrhnutá do niekoľkých etáp. V minulom roku bola zahájená prvá etapa realizácie projektu pod názvom „Štúdia historických povodní z pohľadu integrovaného povodňového manažmentu“.

Podľa vypracovaných propozícií hlavnými cieľmi 1.etapy projektu sú:

- Analyzovať nedávne povodne v CEE regióne so zvláštnym dôrazom na prívalové povodne
- Na základe analýz identifikovať metódy a nástroje na vývoj komplexného varovného systému v oblastiach postihovaných prívalovými povodňami
- Vybrať pilotné povodie (povodia) na implementáciu varovného systému na základe dohodnutých kritérií

Predpokladalo sa, že každá zúčastnená krajina podrobne vyhodnotí jeden alebo dva prípady povodňových udalostí zo všetkých relevantných hľadísk v súlade s princípami Integrovaného manažmentu povodní :

a) Charakteristiky povodia
   - o *prírodné podmienky*
   - o *sociálne aspekty*

b) Hydrometeorologické podmienky vzniku povodne
   - o *meteorologické charakteristiky*
   - o *hydrologické charakteristiky*

c) Funkčnosť včasného varovného a záchranného systému počas povodne
   - o *vydané meteorologické a hydrologické predpovede*
   - o *funkčnosť včasného varovného systému (ak existuje)*
   - o *činnosť zložiek záchranného systému počas povodne*

d) Vzájomné pôsobenie prírodných zdrojov počas povodne
   - o *vplyv využívania pôdy na priebeh povodne*
   - o *vplyv povodne na pôdu, podzemné vody a kvalitu vody*

e) Protipovodňové opatrenia
   - o *ako existujúce protipovodňové opatrenia ovplyvnili priebeh povodne*
   - o *či boli vykonané dodatočné protipovodňové opatrenia tesne pred alebo počas povodne*

f) Správanie sa obyvateľstva počas povodne
   - o *schopnosť obyvateľstva vyrovnať sa so situáciou, pomôcť si sám sebe ako aj okoliu*
   - o *spolupráca s povodňovými orgánmi, rešpektovanie ich pokynov*
   - o *spolupráca so zložkami záchranného systému*

g) Povodňové škody
   - o *materiálne škody*
   - o *straty na ľudských životoch*

h) Odstránenie povodňových škôd
   - o *finančné aspekty*
   - o *technické aspekty*

i) Prijaté opatrenia protipovodňovej ochrany
   - o *štrukturálne opatrenia*
   - o *neštrukturálne opatrenia*

Do 1. etapy pilotného projektu sa zapojilo sedem krajín z regiónu s analýzou povodní, ktoré sa vyskytli od začiatku deväťdesiatich rokov, len Litva zaradila do štúdie jednu povodeň z roku 1958:

Krajina	Postihnuté povodia tokov	Rok (y) výskytu povodne
Bulharsko	Arda a Yantra	1990, 2002, 2003,1991
Česká republika	Svratka a Svitava	2002
Litva	Nemunas	1958, 1994
Poľsko	Visla a Klodzko	2001, 1997
Rumunsko	Slanic, Viseu, Crisul Alb	2002, 2001, 2000
Slovensko	Malá Svinka, Štrbský potok	1998, 2001
Slovinsko	Savinja	1990, 1998

Všetky štúdie boli vypracované v súlade s odporučeným scenárom a poskytujú mnoho hodnotných informácií. Na ich základe bola vypracovaná súhrnná správa, ktorá je v súčasnosti v pripomienkovom konaní.

Na získanie ďalšieho materiálu pre vypracovanie metodiky komplexného varovného systému pre prívalové povodne sekretariát WMO odporučil organizovať špeciálne semináre v jednotlivých krajinách za účasti meteorológov, hydrológov a vodohospodárov ako aj reprezentantov zložiek záchranných systémov a predstaviteľov miestnych správ a samospráv.

V troch štátoch (Bulharsko, Česká republika a Slovensko) boli v priebehu mája a júna 2005 usporiadané odporúčané semináre. V ostatných krajinách sa obdobné akcie konali v nedávnej minulosti. Závery seminárov sú zhrnuté v záverečných správach, ktoré sa v súčasnosti vyhodnocujú.

Vyššie uvedené materiály tvoria podklad pre vypracovanie propozícií pre 2. etapu projektu, ktorej hlavným cieľom je aplikovať princípy integrovaného manažmentu povodní pri vývoji komplexného varovného systému pre prívalové povodne a jeho implementácia v pilotnom povodí alebo povodiach.

Kritéria na výber pilotných povodí by mali zohľadňovať:

- Klimatické podmienky
- Charakteristiku povodia
- Sociálno-ekonomické podmienky lokality
- Citlivosť a zraniteľnosť povodia vzhľadom na prívalové povodne
- Schopnosť krajiny podieľať sa na spolufinancovaní projektu
- Podmienky na udržateľnosť prevádzky systému

V rámci projektu POVAPSYS boli v Slovenskej republike vybudované dva „Lokálne varovné systémy“ (LVS) v obciach Vrbovce (povodie Moravy) a Čierny Balog (povodie Hrona). Pri výbere povodí boli brané do úvahy závery ďalšej úlohy riešenej v rámci projektu POVAPSYS – Rizikovosť územia, ale aj ďalšie faktory ako napríklad pokrytie aspoň jedného povodia radarovým signálom. Rozhodujúcu úlohu vo výbere lokalít zohrala najmä ochota predstaviteľov miestnej správy spolupracovať na projekte.

Oba systémy pozostávajú z dvoch zrážkomerných a jednej vodomernej stanice, komunikačného systému, zberného počítača a zariadenia na príjem alarmov. LVS boli inštalované na jeseň minulého roku a v súčasnosti sa testuje ich spoľahlivosť.

Podobné systémy už existujú napríklad aj v Českej republike a Poľsku a predpokladáme, že vo výbere pilotných povodí pre APFM projekt bude aspoň jedno s existujúcim LVS.

Vybudovať komplexný varovný systém pre prívalové povodne isto nie je jednoduchá záležitosť, najmä ak v regióne s tým nie sú takmer žiadne skúsenosti. Na druhej strane každoročne empiricky potvrdzovaná skúsenosť s extrémnymi prejavmi počasia a narastajúce škody v dôsledku enormných zrážok zasahujúcich veľké oblasti alebo krátkotrvajúcich lokálnych intenzívnych búrok nútia odborníkov aj zodpovedných predstaviteľov krajín hľadať riešenia účinnejšej ochrany pred povodňami. Podobne aj očakávané klimatické zmeny s pravdepodobným narastaním extrémnych zrážok indikujú zvýšenie extremality aj v hydrologickom režime, a to ako možný zvýšený výskyt povodní tak súch. A z tohto pohľadu sa úloha vybudovať prototyp komplexného varovného systému pre prívalové povodne, ktorý bude možné v budúcnosti implementovať v rôznych oblastiach regiónu, javí ako nanajvýš aktuálna a potrebná.

Literatúra:

Lešková, D.(2003): POVAPSYS, Metodika úlohy: Lokálny varovný systém, SHMÚ, Bratislava
Majerčáková, O. (2003): POVAPSYS, Metodika úlohy: Rizikovosť územia, SHMÚ, Bratislava
Písomné materiály CEE APFM (2003-2005):
Study of the Historical Floods from Integrated Flood Management Viewpoint (Project Proposal)
Study of the Historical Floods from Integrated Flood Management Viewpoint (Progress Report)
Study of the Historical Floods from Integrated Flood Management Viewpoint (country reports: Bulgaria, Czech Republic, Lithuania, Poland, Romania, Slovakia, Slovenia)
Project Fiche (Phase 2)
Study of the Historical Floods from Integrated Flood Management Viewpoint (Summary Report)
Workshops´ reports

Autori: RNDr. Katarína Hajtášová, CSc., SHMÚ Bratislava, katarina.hajtasova@shmu.sk
Ing. Milan Matuška, GWP CEE Bratislava, milan.matuska@shmu.sk

VPLYV MORFOLOGICKÝCH ZMIEN UPRAVENÝCH MALÝCH VODNÝCH TOKOV V POĽNOHOSPODÁRSKEJ KRAJINE NA ÚROVEŇ PROTIPOVODŇOVEJ OCHRANY PRIĽAHLÝCH POZEMKOV

Peter Halaj, Viliam Bárek, Dušan Igaz

V metódach minulosti realizovaných úprav malých vodných tokov boli často preferované hlavne exploatačné hľadiská (protipovodňová ochrana, minimalizácia nákladov na údržbu, recipient odvodňovacích zariadení, atď.). Venovala sa pozornosť v prvom rade abiotickej zložke tokov a zároveň bol bežný určitý schematizmus v pohľade na procesy prebiehajúce v neupravenom toku (vplyv zmien v povodiach tokov na morfológiu koryta, podcenenie významu existujúcej dynamiky a charakteru morfologických procesov, vplyv inundačného územia). Návrhy sa zameriavali prioritne na riešenie otázok kapacity a stability koryta vodného toku. Vplyvom zmien vo využití okolia vodného toku, akceleráciou eróznych procesov na priľahlých pozemkoch a neperiodickej údržbe koryta dochádza k morfologickým zmenám, ktorých dôsledky sa prejavujú v zníženej prietočnosti koryta a tým i zmenou stupňa protipovodňovej ochrany priľahlých pozemkov. Príspevok je zameraný na zhodnotenie morfologických zmien dvoch malých vodných tokov v poľnohospodárskej krajine, analýzu ich vplyvu na hladinový režim povodňových prietokov vrátane zhodnotenia zmien v úrovni protipovodňovej ochrany priľahlých pozemkov.

Kľúčové slová: morfologické zmeny, malý vodný tok, protipovodňová ochrana, hladinový režim, poľnohospodárska krajina

Effect of morphological changes of small regulated streams in agricultural land on flood control level of surrounding areas. *River regulation measures often emphasized priority of exploitation aspects (flood control, low cost's maintenance, soil drainage requirements, etc.) and focused on abiotic elements of river ecosystem. The simplified approach used for natural stream processes (basin changes effect on channel geomorphology, simplified view on character and dynamics of geomorphological processes, floodplain areas influence etc.) often depreciates other important functions of natural rivers. Regulation measures have been focused on capacity design and stream channel stability analysis. Mainly by means of basin cover changes, acceleration of soil erosion processes and nonperiodical maintenance of stream channel result in channel geomorphological changes with decreasing of channel conveyance and level of flood control for surroundings areas. Article is focused on inventory of geomorphological changes for two small agricultural streams and their impact assessment on water level characteristics and level of decreasing flood control on surroundings areas.*

Key words: geomorphological changes, small stream, creek, flood control, water level regime, and agricultural land

---

ÚVOD

Ochrana a zabezpečenie trvaloudržaťelnosti akvatických ekosystémov je kľúčovou prioritou Rámcovej Smernice Európskej únie o vode. Jednou z úloh, ktoré sú v nej načrtnuté je mapovanie a hodnotenie hydromorfológie vodného toku, ktorá je jedným z dôležitých ukazovateľov kvality vodného toku. V nich má nezastupiteľné postavenie štúdium geomorfologických procesov, ktoré zahrňuje i stanovenie aktuálneho stavu morfológie koryta vodného toku, odhad trendu vývoja a v rozhodovacom procese vyúsťujú v prijatie adekvátnych opatrení. V podmienkach degradovaných vodných ekosystémov poľnohospodárskej krajiny dochádza k zmenám geomorfológie korýt upravených i prirodzených vodných tokov s dôsledkami pre ich biotickú i abiotickú zložku, ako aj pre terestrickú i akvatickú oblasť týchto biotopov. Pri upravených tokoch, ktoré majú paralyzované autoregulačné mechanizmy je situácia sťažená neperiodickou údržbou toku. Okrem, iných sa zmeny prejavujú i v zmenách stupňa ochrany okolitého územia. Keďže požiadavky v minulosti realizovaných úprav tokov sa líšia od súčasných trendov úprav prírode blízkych a zahŕňajú i problematiku prehodnocovanie stupňa ochrany okolitého územia a tým pádom aj intenzity jeho využitia, vo svojom príspevku sa zameriame na analýzu morfologických zmien dvoch upravených vodných tokov a dopad týchto zmien na hladinové režimy pri povodňových prietokoch.

MATERIÁL a METODIKA

Charakteristika toku Bocegaj

Potok Bocegaj (povodie 4-21-12-035) je pravostranným prítokom potoka Drevenica. Potok Bocegaj preteká stredom záujmového územia. Hydrografickú sieť povodia dopĺňa vodná nádrž Kolíňany. Riečna sieť v záujmovom území má hustotu $\rho = 0{,}52$ km.km^{-2}. Analýzou mapových podkladov sme stanovili plochu povodia toku Bocegaj k uzatvárajúcemu profilu v mieste mostného objektu cestnej komunikácie I. triedy F=9,75 km^2. Plocha lesov zaberá 2,63 km^2 , čo predstavuje lesnatosť Le = 27,0 %. Dĺžka údolnice je 4620 m, pričom vlastné koryto toku má dĺžku 3408 m. Sklon údolnice $I_ú = 8{,}9$ %. Súčiniteľ tvaru povodia $\alpha = 0{,}45$, čo zaraďuje povodie medzi vejárovité typy povodia. Dlhodobý ročný prietok dosahuje hodnotu $Q_a = 43$ l.s^{-1}

Morfologické charakteristiky toku Bocegaj

Dĺžka toku v skúmanom úseku: $L_t = 784$ m
Dĺžka údolnice $L_ú = 784$ m
Vlnitosť trasy $Si = \frac{L_t}{L_ú} = \frac{784}{784} = 1$
Relatívna šírka koryta: $\beta = \frac{B}{h} = \frac{4{,}6}{1{,}2} = 3{,}83$
Sklon dna: $i_o = 0{,}005 = 5$ ‰
Ohraničenosť inundačného územia: **< 1,4**
Materiál koryta: kamene dlažba
Podľa Rosgenovej klasifikácie vodných tokov sme zatriedili vodný tok do typu **A2.** Podľa Simonovej klasifikácie patrí vodný tok do **II.** evolučného stupňa.

Tab. 1 Hĺbky vody pre jednotlivé návrhové prietoky a úseky toku Bocegaj km 8,864 - 9,638

Tab.1 Water depths for given design discharges and reaches of stream Bocegaj km 8,864 - 9,638

Roky		**1**	**2**	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**
Návrhový prietok [m^3.s^{-1}]		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	11,0	14,0
		Hĺbky pri návrhovom prietoku Q_n a sklone dna i_o						
Sklon [‰]	4,4	0,48	0,69	0,96	1,15	1,31	1,51	1,68
	7	0,43	0,61	0,86	1,04	1,18	1,37	1,52
	10	0,39	0,56	0,79	0,95	1,09	1,26	1,40

Analyzovaný bol úsek toku Bocegaj od km 8,864 až po km 9,638. Začiatok analyzovaného úseku sa nachádzal v blízkosti mostného objektu štátnej cesty I. triedy Nitra – Zlaté Moravce. Koniec úseku bol zvolený vo vzdialenosti 72 m od objektu stupňa v km 9,566. Tok Bocegaj bol upravovaný v 60-tych rokoch minulého storočia. Úprava mala za cieľ ochrániť okolité územie pred záplavami a zaistiť recipient pre pripravovanú odvodňovaciu stavbu Prietokový profil lichobežníkového tvaru má šírku dna b= 0,50 m, sklon svahov 1 : 1,5 a hĺbku minimálne 1,20 m, aby bolo umožnené zaústenie odvodňovacieho detailu. Dno koryta a svahy do výšky 0,5 m boli opevnené kamennou dlažbou na sucho. Hodnoty hĺbok pre jednotlivé návrhové prietoky a úseky toku Bocegaj pre projektovaný stav (súčiniteľ drsnosti n=0,030) sú uvedené v tabuľke 1.

Charakteristika Štitárskeho kanála

Štitársky kanál je ľavostranným prítokom potoka Selenec (povodie 4-21-12-055) patriaceho do základného povodia rieky Nitry (4-21-12). Z hľadiska geografického členenia patrí povodie

Štitárskeho kanála do Žitavskej pahorkatiny. Nadmorská výška v povodí je v rozpätí 160 až 220 m n.m., pričom výšková členitosť územia v juhovýchodnej a vo východnej časti vzrastá. Analýzou mapových podkladov sme stanovili plochu povodia Štitárskeho kanála k uzatvárajúcemu profilu v mieste mostného objektu cestnej komunikácie IV. triedy $F=3,35\ km^2$. Plocha lesov zaberá $1,01\ km^2$, čo predstavuje lesnatosť $Le= 30,1\ \%$. Okrem ornej pôdy, ktorej plocha zaberá v záujmovom území 1,24 km^2 (37%) sú v čiastkovom povodí zastúpené i vinice o ploche 1,1 km^2 (32,8 %). Dĺžka údolnice je 4350 m, pričom vlastné koryto toku má dĺžku *980 m*. Sklon údolnice $I_{ú} = 5,99\ \%$. Súčiniteľ tvaru povodia $\alpha = 0,18$, čo zaraďuje povodie medzi tvarovo pretiahnuté symetrické typy. Riečna sieť v záujmovom území je pomerne riedka a má hustotu ρ= 0,39 $km.km^{-2}$. Hydrografickú sieť povodia dopĺňajú dva umelé rybníky, do ktorých zaúsťuje Štitársky kanál, ktorý ich sústavne zanáša splaveninami. Intenzitu zanášania dokumentuje fakt, že pri poslednom čistení horného rybníka v r. 1983 bolo vybagrovaných 9 290 m^3 nánosov. Dlhodobý ročný prietok dosahuje hodnotu $Q_a = 16\ l.s^{-1}$

Morfologické charakteristiky Štitárskeho kanála:

Dĺžka toku v skúmanom úseku: L_t = 980 m
Dĺžka údolnice v skúmanom úseku: Lú = 980 m
Typ trasy koryta: priame koryto, jednoduché.
Vlnitosť trasy $Si = \frac{L_t}{L_{ú}} = \frac{980}{980} = 1$
Relatívna šírka koryta: $\beta = \frac{B}{h} = \frac{6,5}{1,5} = 4,\overline{33}$
Priemerný sklon dna: $i_o = 0,015 = 15\ ‰$
Ohraničenosť inundačného územia: **< 1,4**
Charakter splaveninového materiálu koryta: piesočnato-hlinitá zemina (obsah I. kateg. = 26 %)
Podľa Rosgenovej klasifikácie vodných tokov sme zatriedili vodný tok do typu **A6**. Podľa Simonovej klasifikácie patrí vodný tok do II. evolučného stupňa.
Začiatok analyzovaného úseku Štitárskeho kanála sa nachádza pred mostným objektom poľnej cesty spájajúcej usadlosť Malanta s obcou Pohranice a končí pod začiatkom objektu priepustu pod štátnou cestou I. triedy Nitra – Zlaté Moravce.

Tab. 2 Hĺbka vody pre jednotlivé návrhové prietoky a úseky Štitárskeho kanála km 0,000 - 0,980.

Tab.2 Water depth for given design discharges and reaches of stream Štitársky kanál km 0,000 – 0,980

Roky		**1**	**2**	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**
Návrhový prietok [$m^3.s^{-1}$]		0,66	0,99	1,55	2,12	2,82	3,81	4,7
		Hĺbky pri návrhovom prietoku Q_n a sklone dna i_o						
Sklon [‰]	12	0,36	0,43	0,53	0,60	0,68	0,78	0,85
	18	0,32	0,39	0,48	0,55	0,63	0,71	0,78

Koryto kanála bolo v 80-tych rokoch minulého storočia upravené tak, aby umožnilo zaústenie odvodňovacieho detailu s hĺbkou drenáže H = 1,20 m. Upravený lichobežníkový prietokový profil má jednotnú šírku dna b = 0,50 m, hĺbka h = 1,50 m a sklon svahov je 1:2. Sklon kanála zhruba kopíruje sklonové pomery údolnice v sledovanom úseku a rozdeľuje kanál na dve časti s rozdielnym sklonom (i_o = 12 a 18 ‰). Hodnoty hĺbok pre jednotlivé návrhové prietoky a úseky Štitárskeho kanála pre projektovaný stav (súčiniteľ drsnosti n=0,030) sú uvedené v tabuľke 2.

Charakteristika softvérového prostriedku HEC-RAS

K skúmaniu hladinových režimov počas povodňových prietokov sme použili softvér HEC-RAS verzia 3.1.2, ktorý bol vyvinutý inštitúciou Hydrologic Engineering Center Army Corps of Engineers. Tento

1 D softvérový prostriedok využíva podrobne riešenú hydrauliku ustáleného a neustáleného prúdenia v otvorených korytách a objektoch umelých i prirodzených tokov. Výpočet vyžaduje zadanie troch hlavných kategórií dát:
− geometriu koryta a objektov,
− stratové súčinitele a drsnostné súčinitele,
− okrajové podmienky.
Pre hydraulické posúdenie kapacít systému otvorených korýt a objektov z hľadiska maximálnych odtokov sme použili schematizáciu na úrovni ustáleného nerovnomerného prúdenia, riešením ktorého sme stanovili pozdĺžne profily hladín, ktoré odpovedajú jednotlivým návrhovým N-ročným prietokom. Podrobné definovanie geometrických parametrov priečnych profilov, ako aj ich hydraulických charakteristík vrátane parametrov údolnej nivy nám umožnilo určiť rozsah inundácií.

VÝSLEDKY a DISKUSIA

Tok Bocegaj

Pri terénnych prácach bolo zameraných 7 priečnych profilov, ktoré zachytávajú nie len prietokovú plochu koryta, ale aj priľahlé inundačné územie. Zaznamenaný bol aj charakter povrchov v jednotlivých častiach omočeného obvodu koryta i inundačného územia. Z výsledkov meraní, ktoré sú dokumentované zobrazením aktuálnej morfológie priečnych profilov a ich porovnaním s projektovaným stavom na (obr. 1) vyplýva, že došlo k určitým morfologickým zmenám v tvare priečnych profilov. Výraznejšie, vzhľadom na charakter opevnenia (dlažba z lomového kameňa do cementovej malty) a pomerne veľkému pozdĺžnemu sklonu dna (4,4–7–10 ‰), sa nevytvárali podmienky pre vznik agradačných ani degradačných procesov, došlo však k markantnejším zmenám v prietokových profiloch priečnom smere, kolmo na smer prúdenia. V prietokových profiloch došlo k zmenám línie a úrovne brehov, k zmenám sklonu svahov a šírok toku v hladine. Tento fakt vyplýva z charakteru procesov, s ktorými je táto časť opevnenia v priebehu roka konfrontovaná. Hodnota návrhového prietoku podľa pôvodnej projektovej dokumentácie z roku 1960 boli Q = 2,58 $m^3.s^{-1}$ Q = 3,05 $m^3.s^{-1}$. Hodnoty kapacita prietokového profilu pre jednotlivé sklony úsekov a hodnoty návrhových prietokov sú uvedené v tab. 2. Významným negatívnym prvkom, ktorý hlavne vo vegetačnom období znižuje prietočnosť koryta, je zarastanie prietokového profilu vegetáciou.

Analýza hladinových režimov pri maximálnych prietokoch – tok Bocegaj

Pre porovnanie projektovaného a súčasného stavu koryta toku sme najskôr uskutočnili sériu simulácii pre pôvodný a projektovaný stav koryta. V tabuľke 3 sú zdokumentované výstupy zo simulácií pri prietokoch Q_{100}, Q_{10} a Q_1. Pri prietoku Q_{100} = 14,0 $m^3.s^{-1}$ je rozsah inundácií rozsiahlejší, pretože výška brehových čiar ani prirodzená geomorfológia potočného koridoru neumožňujú udržať prietok v úzkom páse inundačného územia. Rozsah ľavobrežnej záplavy počas prechodu povodňovej vlny v kulminácii predstavuje 6 210 m^2 s akumulovaným objemom vody 2 270 m^3. Pravobrežná inundácia zaplaví 7 300 m^2 s akumulovaným objemom vody 1 480 m^3.

Pri súčasnom stave koryta poznamenanom zmenami v morfológii i drsnostných charakteristikách pre 100-ročný prietok dochádza k nárastu plôch inundácií, pričom ľavostranná sa rozleje na ploche 7 390 m^2, čo predstavuje objem 3 310 m^3. Plocha zaplavená na pravej strane sa vyrovnáva veľkosti protiľahlej inundácie s hodnotou 7 780 m^2 s akumulovaným objemom 2 600 m^3. Koryto pri Q_1= 1,00 $m^3.s^{-1}$ vo všetkých profiloch prevádza prietok bezpečne až do problémových miest so zníženou brehovou čiarou t.j. km 9,106 a km 9,239 kde dochádza k ľavobrežným inundáciám v rozsahu 690 m^2. Pri prietoku Q_{10} = 6 $m^3.s^{-1}$ inundácia na ľavej strane vzrastá na 3 490 m^2 a na strane pravej dosahuje 3 590 m^2.

Tab. 3 Kumulatívny objem vody a plocha vodnej hladiny pre jednotlivé návrhové prietoky – Bocegaj stav v r. 1960

Tab.3 Cumulative water volume and water surface area for given design discharges – stream Bocegaj- year 1960

Návrhový prietok	Kumulatívny objem vody				Plocha vodnej hladiny			
	Koryto	Ľavostranná inundácia	Pravostranná inundácia	Celkom	Koryto	Ľavostranná inundácia	Pravostranná inundácia	Celkom
$m^3.s^{-1}$	1000 m^3				1000 m^2			
Q_1 = 1,0	0,499	0,000	0,000	0,499	1,650	0,000	0,000	1,650
Q_{10} = 6,0	1,918	0,502	0,000	2,421	3,231	1,859	0,000	5,091
Q_{100} = 14,0	4,013	2,273	1,482	7,768	4,579	6,211	7,301	18,091

Tab. 4 Kumulatívny objem vody a plocha vodnej hladiny pre jednotlivé návrhové prietoky – Bocegaj stav v r. 2004

Tab.4 Cumulative water volume and water surface area for given design discharges – stream Bocegaj- year 2004

Návrhový prietok	Kumulatívny objem vody				Plocha vodnej hladiny			
	Koryto	Ľavostranná inundácia	Pravostranná inundácia	Celkom	Koryto	Ľavostranná inundácia	Pravostranná inundácia	Celkom
$m^3.s^{-1}$	1000 m^3				1000 m^2			
Q_1 = 1,0	0,643	0,019	0,000	0,661	1,479	0,694	0,000	2,174
Q_{10} = 6,0	2,516	1,133	0,359	4,008	3,688	3,490	3,588	10,766
Q_{100} = 14,0	4,228	3,311	2,599	10,137	5,252	7,385	7,780	20,416

Štitársky kanál

V rámci terénnych prác bolo zameraných 6 priečnych profilov, ktoré zaznamenávajú aktuálnu morfológiu koryta Štitárskeho kanála. Taktiež bol zaznamenaný i charakter povrchov v jednotlivých častiach omočeného obvodu koryta a inundačného územia. Výsledky merania znovu poukazujú na výrazne zmeny v tvare priečnych profilov, pričom prevažujú agradačné procesy. V prietokových profiloch došlo k zmenám línie a úrovne brehov, k zmenám sklonu svahov a šírok toku v hladine. Je to dané charakterom procesov, s ktorými je táto časť opevnenia v priebehu roka konfrontovaná. Hodnoty kapacita prietokového profilu pre jednotlivé sklony úsekov a hodnoty návrhových prietokov sú uvedené v tabuľke 2. Negatívnym prvkom, ktorý počas celého roka znižuje prietočnosť koryta je zarastanie prietokového profilu vegetáciou. Veľmi hustú sprievodnú bylinnú vegetáciu reprezentovaná hlavne trsť obyčajná (*Phragmites communis TRIN.*). Je rozšírená hlavne v prietokovom profile vrátane dna a v tesnej blízkosti brehových čiar do vzdialenosti 2 m. Ďalšou je chrastnica trsťovitá (*Typhoides arundinacea L., MOENCH),* ktorá patrí medzi mezohygrofytné druhy obľubujúce stanovištia s dostatkom vlahy a živín. Nachádza sa hlavne v úsekoch km 0,000 až 0,320 a v úseku km 0,500 až 0,980, čo sú miesta, do ktorých je vďaka prirodzenej konfigurácii reliéfu, sústreďuje povrchový odtok a tým i dostatok, eróznym zmyvom spláchnutých živín. Negatívny vplyv na zmeny v morfológii koryta má prísun splavenín do koryta toku práve už spomenutým zmyvom pôdnych častíc z priľahlých pozemkov. V podmienkach zvýšenej drsnosti dna sa týmto spôsobom iniciujú procesy postupného zazemňovania koryta vodného toku.

Analýza hladinových režimov pri maximálnych prietokoch – Štitársky kanál

Z tabuľky 4.8 je vidieť, že vo všetkých skúmaných profiloch je odvádzanie prietoku Q_1= 0,66 $m^3.s^{-1}$ bez inundácií. To isté platí aj pre Q_{10} = 2,12 $m^3.s^{-1}$, pretože nedochádza k žiadnym inundáciám. Pri prietoku Q100 = 4,7 m3.s-1 je rozsah inundácií veľmi malý (len 15 m^2), i to len za pravostranným brehom. Pri súčasnom stave koryta poznamenanom zmenami v morfológii i drsnostných charakteristikách je Q_1= 0,66 $m^3.s^{-1}$ vo všetkých profiloch odvádzaný bezpečne bez inundácií. Pri prietoku Q_{10} = 2,12 $m^3.s^{-1}$ sa vyskytuje pravostranná inundácia v horných úsekoch toku (km 0,500 až km 0,980) s plochou 130 m^2. Pri 100-ročnom prietoku dochádza k nárastu plôch pravostrannej

inundácie, pričom ľavostranná sa nevyskytuje vôbec (vďaka vyššej úrovni brehových čiar). Zaplavovaná plocha má výmeru 7 560 m^2, s objemom 520 m^3 vody. Obrázok 2 znova potvrdzuje predpoklady o znížení, i keď nie tak výraznom pre nižšie hodnoty povodňových prietokov. Znova sa potvrdila skutočnosť o vyššej akumulácii vody v koryte toku a v inundačnom území. Inundácie sa vyskytujú len v miestach kde úroveň brehových čiar neumožňuje udržať prietok v prietokovom profile a ten sa vybrežuje a takisto v dolných úsekoch s miernejším sklonom (i_o = 12 ‰). Na základe zistených faktov môžeme konštatovať, že i napriek výrazným zmenám v morfológii priečneho profilu, v dôsledku neperiodickej údržby a spôsobu hospodárenia na okolitých pozemkoch si Štitársky kanál zachováva ešte dostatočne veľkú kapacitu na prevádzanie povodňových prietokov. Je to hlavne vďaka prirodzene vysokému priemernému sklonu údolnice (i_o = 15 ‰) a neprirodzenému zahĺbeniu dna upraveného koryta Štitárskeho kanála. Miera zazemnenia však dosiahla úroveň, pri ktorej sa stali nefunkčnými drenážne výusty, a tým i celý odvodňovací systém vybudovaný na pravej a ľavej strane Štitárskeho kanála.

Tab. 5 Kumulatívny objem vody a plocha vodnej hladiny pre jednotlivé návrhové prietoky – Štitársky kanál stav v r. 1980

Tab.5 Cumulative water volume and water surface area for given design discharges – stream Štitársky kanál - year 1980

Návrhový prietok	Kumulatívny objem vody				Plocha vodnej hladiny			
	Koryto	Ľavostranná inundácia	Pravostranná inundácia	Celkom	Koryto	Ľavostranná inundácia	Pravostranná inundácia	Celkom
$m^3.s^{-1}$	1000 m^3				1000 m^2			
Q_1 = 0,66	0,378	0,000	0,000	0,378	1,805	0,000	0,000	1,805
Q_{10} = 2,12	0,993	0,000	0,000	0,993	2,851	0,000	0,000	2,851
Q_{100} = 4,70	1,873	0,000	0,000	1,873	3,891	0,000	0,015	3,906

Tab. 5 Kumulatívny objem vody a plocha vodnej hladiny pre jednotlivé návrhové prietoky – Štitársky kanál stav v r. 1980

Tab.5 Cumulative water volume and water surface area for given design discharges – stream Štitársky kanál - year1980

Návrhový prietok	Kumulatívny objem vody				Plocha vodnej hladiny			
	Koryto	Ľavostranná inundácia	Pravostranná inundácia	Celkom	Koryto	Ľavostranná inundácia	Pravostranná inundácia	Celkom
$m^3.s^{-1}$	1000 m^3				1000 m^2			
Q_1 = 0,66	0,834	0,000	0,000	0,834	2,750	0,000	0,000	2,750
Q_{10} = 2,12	2,105	0,000	0,002	2,107	4,619	0,000	0,130	4,749
Q_{100} = 4,70	3,556	0,000	0,522	4,077	5,884	0,000	4,564	10,447

ZÁVER

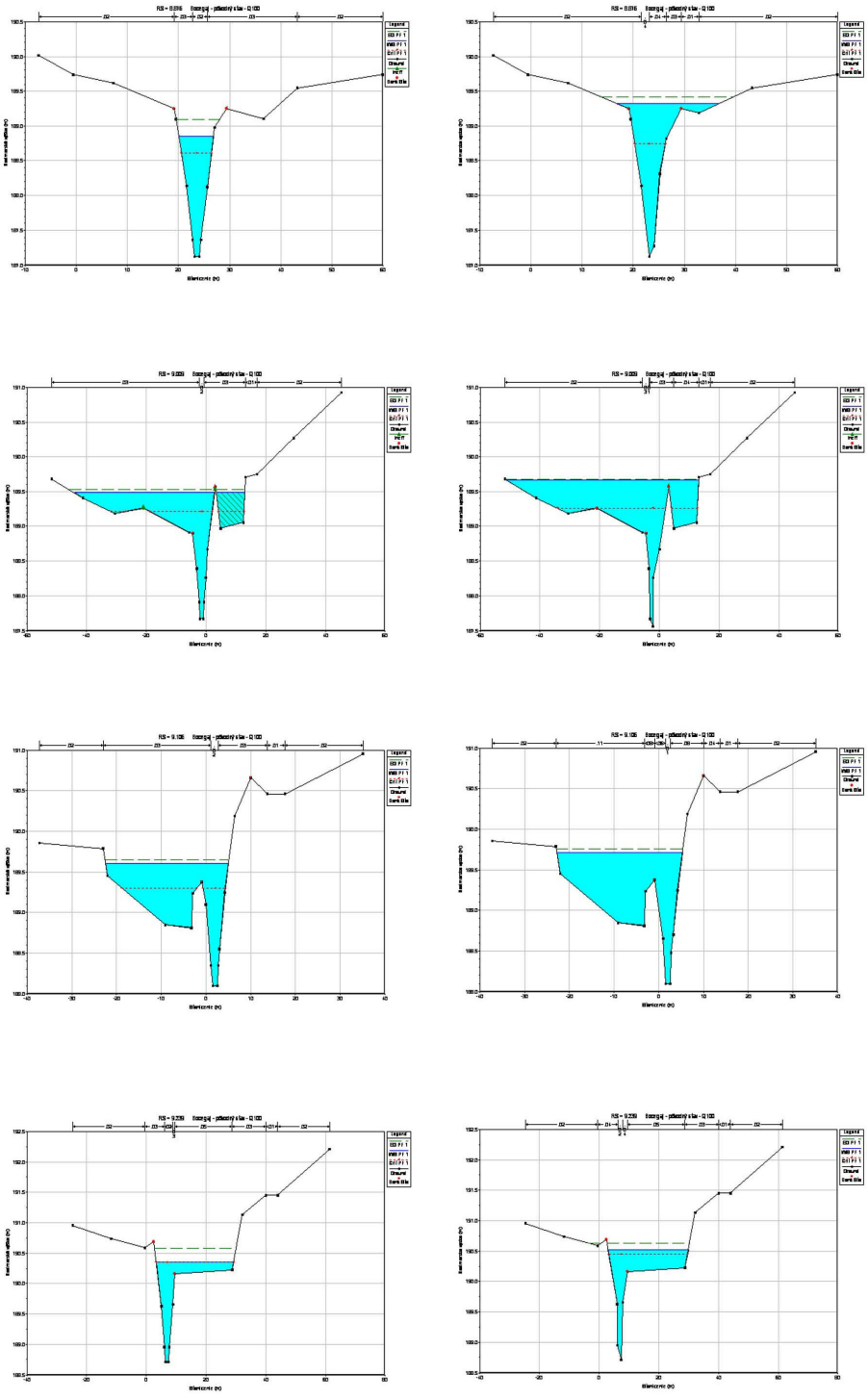
Tok Bocegaj

Výsledky terénneho prieskumu preukázali určité, i keď nie výrazné (berúc v úvahu obdobie, ktoré uplynulo od realizácie úpravy) zmeny v morfológii koryta. Ako potvrdili i terénne merania v skúmanom úseku k zmenám úrovne dna došlo len v úseku nad mostným objektom (km 8,864 – km 8,885)v dôsledku akumulácie jemnozrnných splavenín. Pomerne vysoké hodnoty pozdĺžneho sklonu dna (4,4; 7 a 10 ‰), sprievodná vegetácia, hlavne v strednej časti skúmaného úseku, ako aj rozšírenie potočného koridoru v strednom a hornom úseku toku kladne vplývajú na zachytávanie eróznych zmyvov. Charakter materiálu dna (kamenná dlažba) a kvalitne realizované stavebné práce pri

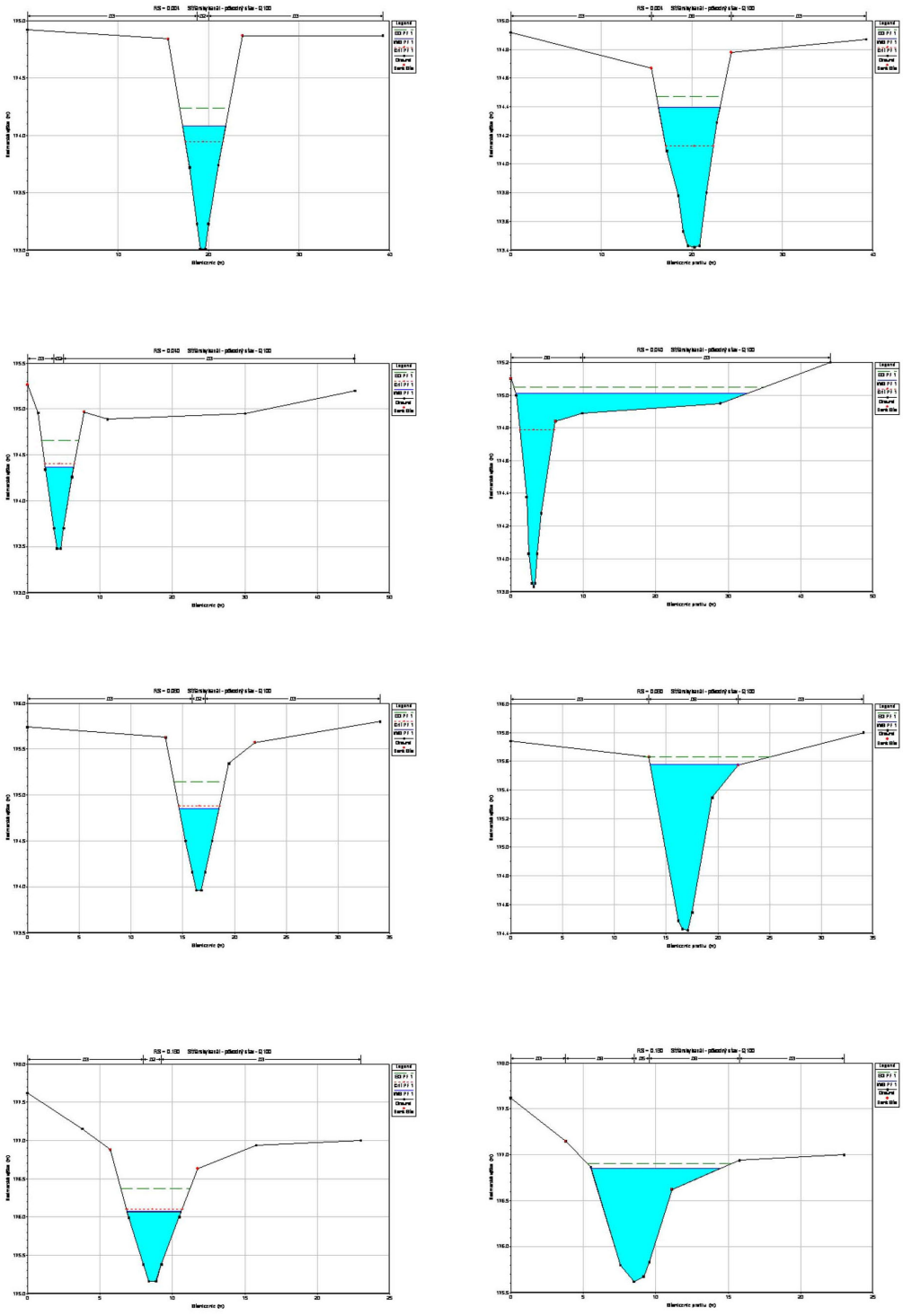
budovaní opevnenia neumožnili vznik hĺbkovej erózie. Zmeny morfológie sa dotkli hlavne brehových častí omočeného obvodu koryta nad opevnením. Prejavili sa zúžením prietokového profilu v časti opevnenej vegetačným materiálom v dôsledku zachytávanie splaveninového materiálu pri zvýšených prietokoch a eróznych zmyvov z okolitého územia. Na základe výsledkov terénnych meraní a realizovaných simulácií povodňových situácií sme došli k záveru, že tok si i napriek zanedbávanej údržbe plní funkciu protipovodňovej ochrany územia. Koryto je schopné bezproblémovo, len s malými lokálnymi inundáciami previesť prietok Q_{10} = 6 $m^3.s^{-1}$. Túto funkčnosť si zachovalo najmä vďaka kvalitnému opevneniu dna (kamenná dlažba), ktoré takmer vylučuje vznik hĺbkovej erózie a degradácie dna, relatívne veľkému pozdĺžnemu sklonu dna (4,4; 7 a 10 ‰), značnému až neprirodzenému zahĺbeniu upraveného koryta a prirodzenému terénnemu ohraničenie potočného koridoru. Z hľadiska plnenia si komplexných ekologických funkcií má tok niekoľko zásadných nedostatkov, ktoré vyplývajú z charakteru a cieľa realizovanej úpravy t.j. protipovodňová ochrana územia a zaistenie recipientu pre zaústenie drenážnych vôd z odvodňovacích stavieb. Výrazne zahĺbené koryto, neprirodzený pomer šírky a hĺbky koryta, uniformný tvar pozdĺžneho profilu, charakter opevnenia dna, nízka morfologická členitosť mikrohabitatu a migračné prekážky v podobe vysokých stupňov (výška stupňa s= 1,0 m) vytvárajú nepriaznivé podmienky pre biotu toku.

Štitársky kanál

Štitársky kanál, upravený v osemdesiatych rokoch, prejavoval vyššiu úroveň degradácie ako tok Bocegaj. Výraznejšie zmeny v morfológii koryta sú zapríčinené bezprostrednejším kontaktom toku s okolitými intenzívne využívanými poľnohospodárskymi plochami. Vyššia sklonitosť svahov, stopercentné zastúpenie ornej pôdy v čiastkovom povodí skúmaného úseku Štitárskeho kanála spôsobili zintenzívnenie agradačných procesov koryta vodného toku. Ako je to zdokumentované na obrázku 2, agradačné procesy sa prejavili v zmene morfológie priečnych profilov, v zanášaní dna vo zvýšenej intenzite zarastania prietokového profilu a príbrežnej zóny mezohygrofytnými druhmi rastlín. Tie veľmi intenzívne zarastajú prietokový profil (úsek km 0,000-0,320 a km 0,500- 0,980), znižujú prietočnosť koryta a podporujú proces jeho zazemňovania. Tým istým postupom ako v predchádzajúcom prípade sme prišli k záveru, že Štitársky kanál si i napriek zanedbávanej údržbe stále zachováva funkcie súvisiace s protipovodňovou ochranou územia. Koryto v skúmanom úseku, ako ukazujú výsledky simulácií, taktiež bezproblémovo prevádza prietok Q_{10} = 2,12 $m^3.s^{-1}$. Znovu môžeme konštatovať, že i napriek veľmi zanedbanej údržbe a značnému zazemneniu koryta je koryto funkčné a plní funkcie spojené s ochranou okolitých pozemkov. K tomuto stavu prispieva hlavne značné zahĺbenie upraveného koryta (1,5 – 2,0 m) a veľké pozdĺžne sklony nivelety dna kanála (12 a 18 ‰). Z hľadiska plnenia si komplexných ekologických funkcií má tok nedostatky, ktoré podobne ako v predchádzajúcom prípade vyplývajú z charakteru a cieľa realizovanej úpravy t.j. protipovodňová ochrana územia a zaistenie recipientu pre zaústenie drenážnych vôd z odvodňovacích stavieb. Výrazne zahĺbené koryto, neprirodzený pomer šírky a hĺbky koryta, uniformný tvar pozdĺžneho profilu, charakter opevnenia dna a nízka morfologická členitosť mikrohabitatu majú nepriaznivé podmienky pre biotu toku v čase minimálnych prietokov. Situáciu zhoršuje i narušenie trofickej rovnováhy vodného prostredia zvýšenou koncentráciou živín vo vodnom prostredí i v splaveninovom materiále.



Obr. 1 Úroveň hladín toku Bocegaj pri Q_{100}. Projektovaný tvar koryta (vľavo) a aktuálny stav (vpravo)
Obr.1 Water level for design discharge Q_{100} . Channel state in 1980 (left), recent state in 2004 (right)



Obr.2 Úroveň hladín pre Štitársky kanál pri Q_{100}. Projektovaný tvar koryta (vľavo) a aktuálny stav (vpravo)

Obr.2 Water level for design discharge Q_{100} . Channel state in 1980 (left), recent state in 2004 (right)

Literatúra:

Antal, J. , Igaz, D. (2003): Aplikovaná agrohydrológia. Nitra: SPU, 173 s. ISBN: 80-8069-163-0

Halaj, P., (2004): Revitalizácia vodných tokov. Nitra : Vydavateľstvo SPU, 2004. 204 s. ISBN 80-8069-424-9

Halaj, P. (2004): Revitalizácia vodných tokov – prehľad metód návrhu koryta. In: Zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie Bioklimatické dni 2004. [CD-ROM]. Viničky: Medzinárodná bioklimatická spoločnosť, 2004 ISBN 80-8069-402-8.

Leopold, L.B. et al. (1964): Fluvial Processes in Geomorphology. W.H. Freeman and Co. : San Francisco, 522 s.

Autori:

Peter Halaj, Katedra krajinného inžinerstva, FZKI, SPU v Nitre, Hospodárska 7, 949 76 Nitra, Peter.Halaj@uniag.sk

Viliam Bárek, Katedra krajinného inžinerstva, FZKI, SPU v Nitre, Hospodárska 7, 949 76 Nitra, Viliam.Bárek@uniag.sk

Dušan Igaz, Katedra krajinného inžinerstva, FZKI, SPU v Nitre, Hospodárska 7, 949 76 Nitra, Dusan.Igaz@uniag.sk

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu vedy a techniky na základe Zmluvy č. APVT-51-019804.

VPLYV VYBRANÝCH MORFOMETRICKÝCH VLASTNOSTÍ POVODÍ NA DYNAMIKU ODTOKU

Ján Hanušin

Cieľom príspevku je vyhodnotiť základné morfometrické vlastnosti povodia vo vzťahu k dynamike odtoku, na súbore 30 malých povodí. Veľkosť dynamiky odtoku je vyjadrená ako počet mesiacov, v ktorých bol Qmes>1,5-násobok $\overline{Q}$mes počas sledovaného 25-ročného (300-mesačného) pozorovacieho radu obdobia 1976-2000. Zaviedli sme hodnotu koeficienta reagencie povodia (Rp) ako pomer počtu prekročení 1,5-násobku $\overline{Q}$mes na 1000 mm spadnutých zrážok, vypočítaných z priemeru zrážkových úhrnov za 25-ročné obdobie. Týmto spôsobom sme získali pre všetky povodia porovnateľnú hodnotu vyjadrujúcu reagenciu systému povodia na jednotkový objem spadnutých zrážok. Ťažiskovým problémom štúdie je hodnotenie vzťahu koeficienta Rp ku štyrom vybraným morfometrickým charakteristikám povodí: k priemernej nadmorskej výške, rozdielu maximánej a minimálnej výšky v povodí, priemernému sklonu hlavnej doliny a ku hustote riečnej siete. Závislosť medzi koeficientom Rp a morfometrickými charakterisitkami sme vyhodnocovali graficky a analýzou korelačného koeficientu. Výsledné zistenia ukázali, že koeficient Rp, a teda aj pravdepodobnosť dosiahnutia nadpriemerného prietoku, meranom v záverečnom profile, je dobre skorelovaný (zostupne, podľa veľkosti koeficienta korelácie) s priemernou nadmorskou výškou povodia, rozdielom maximálnej a minimálnej nadmorskej výšky v povodí a s hustotou riečnej siete. Závislosť Rp na priemernom sklone hlavnej doliny sa nepreukázala ako významná.

Kľúčové slová: morfometrické vlastnosti povodia, dynamika odtoku, povodne

The impact of chosen morphometric basin parameters on runoff dynamics. The goal of the paper is to assess basic *morphometric basin parameters in relation to the runoff dynamics on sample of 30 small basins. The runoff dynamics was defined as number of months in which the Qm >1,5 multiple of $\overline{Q}$m from the 25 year period 1976 – 2000 (300 months). The coefficient of basin response (Rp) was set up as ratio between the exceedance of 1,5 multiple of $\overline{Q}$m on 1000 mm of precipitation falled on respective basin as calculated from the 25 year precipitation record. In this way a comparable value of basin system response on unit precipitation volume for all investigated basins has been obtained. The key issue of the paper is to asses the relations among Rp value and the 4 chosen morphometric basin parameters: mean basin altitude, difference between maximum and minimum altitude within basin, mean main valley slope and river network density. The dependance between Rp value and morphometric parameters was set up in graphic form and by use of correlation coefficient as well. The final results revealed that the Rp value, and therefore probability of above average discharge in final profile at the same time, is well correlated to (downlink according to correlation coefficient) mean basin altitude, difference between maximum and minimum altitude within basin and river network density. The relation between Rp and mean main valley slope were revealed as not important.*

Key words: morphometric basin parameters, runoff dynamics, floods

---

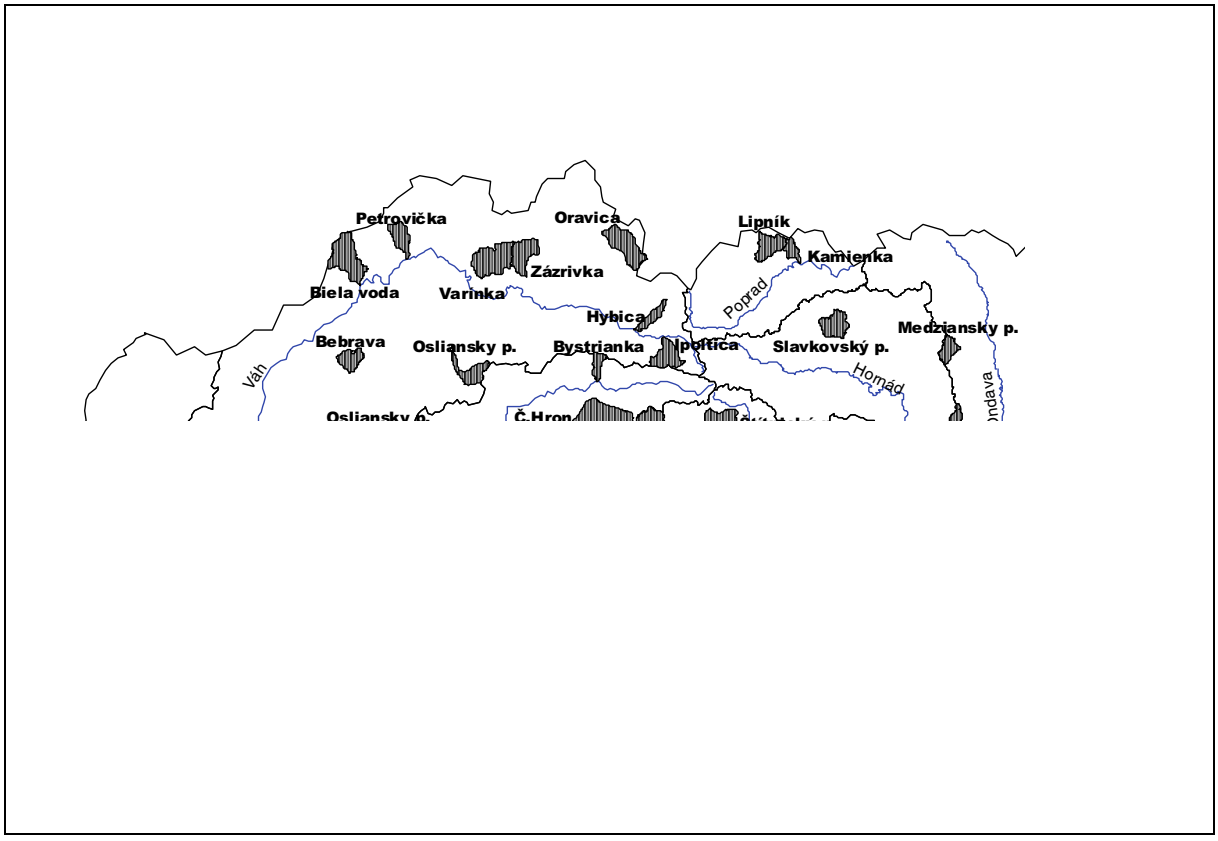
ÚVOD A CIEĽ

Rozsiahle povodne v strednej Európe v poslednom desaťročí podmienili záujem o ďalšie štúdium príčin ich vzniku, šírenia a dopadu na spoločnosť i prírodnú krajinu. Popri klimatických podmienkach vzniku povodní, z ktorých má jednoznačne najväčší význam množstvo, charakter a režim spadnutých zrážok sa na transformácii odtokového (povodňového) procesu podieľa množstvo faktorov, z ktorých významnú úlohu hrajú aj morfometrické vlastnosti povodia.

Toky ako línie odnosu hmoty z krajiny za stálych klimatických, hydrologických a tektonických podmienok sa snažia vytvoriť systém založený na rovnováhe medzi procesmi odnosu a akumulácie. Procesy hľadania rovnováhy sa premietajú do viacerých hydrografických a hydromorfologických charakteristík (parametrov) tokov akými sú pozdĺžny sklon, kľukatosť, tvar a hustota riečnej siete.
Problematika štúdia vzťahu medzi morfometrickými vlastnosťami povodia a charakteristikami odtoku je vo svetovej literatúre pomerne široko rozpracovaná. Prehľad s odkazmi na rozsiahlu literatúru po-

dávajú napr. Mosley a McKerchar (1992, prehľad názorov na závislosť medzi hustotou riečnej siete a vlastnosťami krajinných zložiek podáva napr. Vogt et al. (2003). Detailne je študovaná problematika popísaná v práci Zavoianu (1985), aj keď je viac zameraná na hodnotenie vzťahu jednotlivých morfologických charakteristík voči rádu tokov.

Cieľom príspevku je vyhodnotiť základné morfometrické vlastnosti povodia vo vzťahu k dynamike odtoku definovanej nižšie uvedeným spôsobom. Problematiku sme sledovali na súbore 30 malých povodí (obr.1), z ktorých s výnimkou troch, je zvyšných 27 povodí úplne alebo v rozhodujúcej časti v geomorfologickej provincii Západné Karpaty. Výber povodí bol limitovaný dostupnosťou a úplnosťou pozorovacieho radu prietokov v záverečnom profile. Snahou bolo vybrať čo najmenšie a čo najautochtónnejšie povodia. Priemerná rozloha povodia je približne 86 km^2, priemerná nadmorská výška je 635 m n.m., priemerný rozdiel maximálnej výšky a nuly vodočtu je 780 m. Posledné dve priemerné hodnoty naznačujú, že súbor obsahuje viac horské povodia, preto ho nemožno považovať vzhľadom na celé územie Slovenska za reprezentatívny. Základné morfometrické údaje o povodiach boli odčítané z databázy malých povodí v prostredí GIS spracovanej na GÚ SAV (Solín et al. 2000), dĺžku a hustotu tokov sme spracovali v ArcView GIS, rozsah riečnej siete zodpovedá rozsahu "blue lines" na Vodohospodárskej mape SR 1:50 000, údaje o prietokoch poskytol SHMÚ.



Obr. 1 Rozloženie hodnotených 30 malých povodí v rámci Slovenska

Fig.1 Distribution of 30 small basin on the Slovak territory

METODIKA

Termín dynamika odtoku je pomerne široký, na pohľad vágny, a preto nie všetkými autormi akceptovaný. Dynamika odtoku v našom ponímaní by mala istým spôsobom syntetizovať dva rozhodujúce parametre odtoku, a to veľkosť a režim. Dynamiku odtoku sme definovali ako početnosť výskytu nadpriemerného prietoku nad konvenčne stanoveným limitom, a to počtom mesiacov, v ktorých bol Q_{mes} väčší ako 1,5- násobok $\overline{Q}_{mes}$ počas sledovaného 25-ročného (300-mesačného) pozorovacieho radu

obdobia 1976-2000. V takto chápanom vyjadrení syntetizuje dynamika odtoku veľkostnú zložku (Q_{mes}>1,5- násobok $\overline{Q}_{mes}$) a režimovú zložku (počet mesiacov, v ktorých bola stanovená hodnota prekročená). Hodnoty n-ročnej vody ako pravdepodobnostný ukazovateľ sme kvôli neúplnosti údajov i kvôli diskutabilite tejto hodnoty vylúčili. Vzhľadom na cieľ, ktorým bolo hodnotiť vplyv morfometrických parametrov na dynamiku odtoku museli sme hľadať spôsob ako odfiltrovať vplyv rozdielnych zrážkových úhrnov, ktoré sú hlavným činiteľom ovplyvňujúcim dynamiku odtoku. Z tohto dôvodu sme zaviedli hodnotu koeficienta reagencie povodia (Rp) ako pomer počtu prekročení 1,5-násobku $\overline{Q}_{mes}$ na 1000 mm spadnutých zrážok, vypočítaných z priemeru zrážkových úhrnov za 25-ročné obdobie. Týmto spôsobom sme získali pre všetky povodia porovnateľnú hodnotu vyjadrujúcu reagenciu systému povodia na jednotkový objem spadnutých zrážok. Inými slovami takýto prístup umožňuje porovnať reakciu povodí s odlišnými fyzickogeografickými vlastnosťami ak na ne spadne rovnaké množstvo zrážok, čo je jedným z predpokladov pre stanovenie vplyvu jednotlivých fyzickogeografických vlastností povodia na charakter odtoku. Prirodzene, v tomto kontexte nemožno zabudnúť, že 1000 mm spadnutých resp. nameraných zrážok spadne v rôznom časovom režime v rôznej forme (tekuté, pevné zrážky) a bilančne sa transformuje v každom povodí odlišným spôsobom, a teda následne režim a veľkosť efektívnych zrážok zo spadnutých (nameraných) 1000 mm budú v každom povodí iné. Koeficient Rp je nepriamo skorelovaný s počtom prekročení 1,5-násobku $\overline{Q}_{mes}$, (r_{xy}= -0,62), teda povodia, v ktorých je vysoký koeficient Rp majú nižší počet prekročení. Povodia s najvyšším počtom prekročení 1,5-násobku $\overline{Q}_{mes}$ ležia temer všetky úplne alebo sčasti v pohoriach budovaných neogénnymi vulkanickými horninami (Tisovník, Sobranský potok, Kľak, Kamenica, Svinický potok a i.).

Ťažiskovým problémom štúdie je hodnotenie vzťahu koeficienta Rp ku štyrom vybraným morfometrickým parametrom povodí:

- priemernej nadmorskej výške
- rozdielu maximánej a minimálnej výšky v povodí
- priemernému sklonu doliny hlavného toku
- hustote riečnej siete
- hustote tokov.

Popri sledovaní závislosti Rp voči morfometrickým parametrom sme sledovali aj vzťah morfometrických parametrov voči vybraným hydrologicko-bilančným parametrom: priemernému ročnému úhrnu zrážok (v mm), priemernému ročnému prietoku (v $m^3.s^{-1}$), a voči priemernému špecifickému odtoku (v $l.s^{-1}.km^{-2}$).

Vzťah koeficienta Rp voči vybraným parametrom ako aj vzťah morfometrických a hydrologicko-bilančných parametrov sme hodnotili na základe vyhodnotenia spoľahlivosti korelačného koeficientu r_{xy} medzi sledovanými parametrami. Hranicu spoľahlivosti r_{xy} sme pre 99%-nú hladinu spoľahlivosti určili na základe vzťahu (Pavlík, Kűhnl 1981):

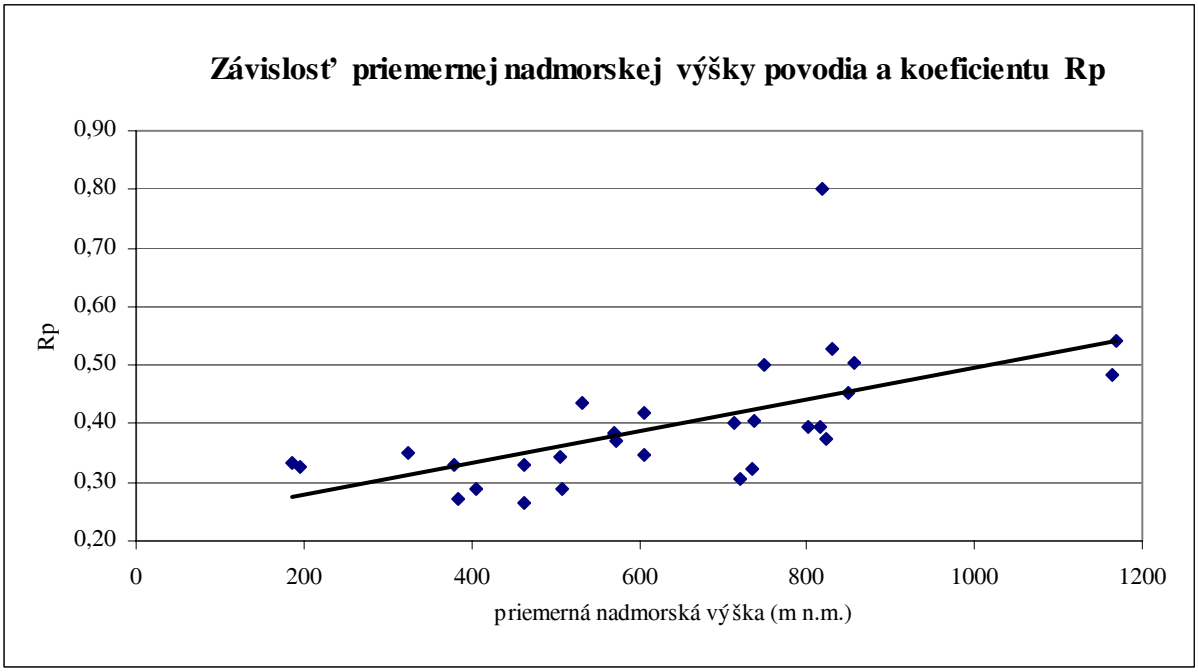
$$r_{xy} = \pm \frac{2,58}{\sqrt{n-1}} \qquad (1)$$

Pre n = 30 je 99%-ná spoľahlivosť vymedzená hodnotou $r_{xy} = \pm 0,48$.

VÝSLEDKY

Priemernú nadmorskú výšku povodia považujeme zo súboru nami vybraných morfometrických parametrov z dôvodu svojej syntetizujúcej povahy za najvýznamnejší parameter vo vzťahu k dynamike odtoku. Bola odvodená na základe výpočtu z DEM územia Slovenska (Solín et al.2000). Priemerná nadmorská výška je významne pozitívne skorelovaná (r_{xy}>0,48) s priemernými zrážkami, špecifickým odtokom, rozdielom maximánej a minimálnej výšky v povodí a s hustotou riečnej siete. Tento parameter je najlepšie skorelovaný s hodnotou Rp. (obr. 2). Rozloženie súboru povodí voči vzťahu k priemerným hodnotám skúmaných parametrov vykazuje určité regionálne väzby na typy reliéfu, litologickú stavbu či polohu v rámci Slovenska. Treba ich však považovať za veľmi rámcové a

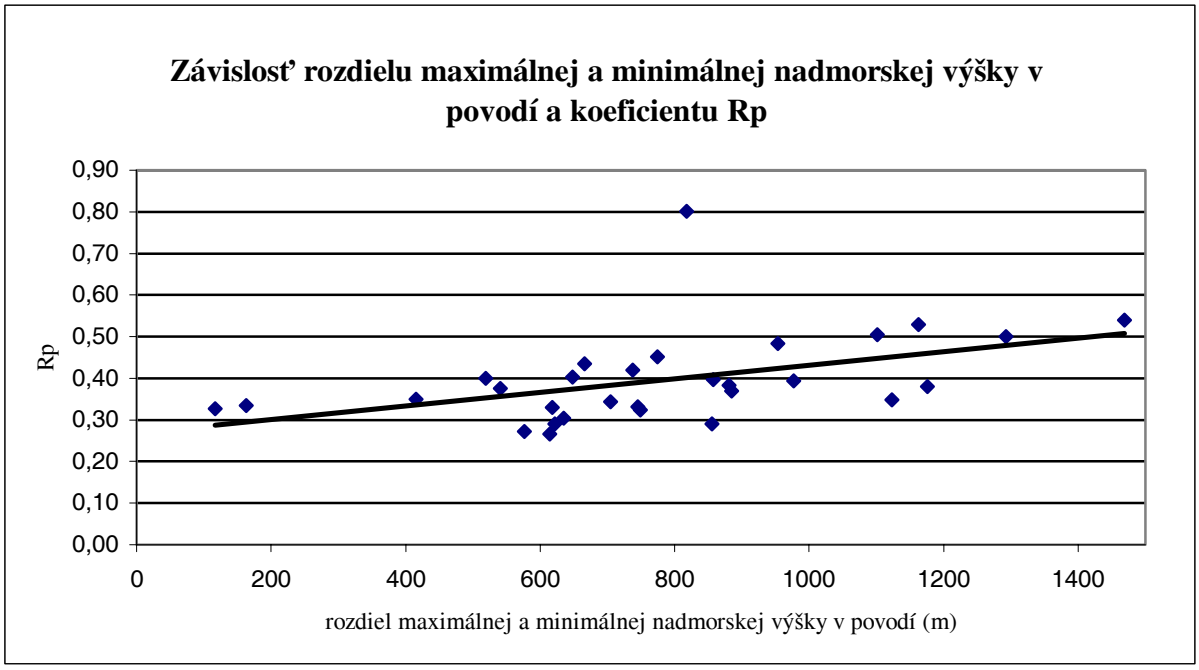
vzhľadom na rozsah skúmaného súboru možno hovoriť o systémovej väzbe medzi hodnotenými parametrami a vlastnosťami či polohou povodí len veľmi opatrne. Ak je hodnota obidvoch skúmaných parametrov väčšia ako ich priemerné hodnoty, potom sú takéto povodia regionálne viazané na vrchoviny a hornatiny jadrových pohorí stredného a severného Slovenska (Bystré, Ipoltica, Zázrivka, Kamienka, Varínka, Čierny Hron) a na podvrchoviny a kotlinách severného a stredného Slovenska (Hybica, Oravica). Ak sú obidve hodnoty parametrov pod priemernou hodnotou povodia sú koncentrované prevažne na nížinách alebo v nižších jadrových pohoriach juhozápadného Slovenska (Andač, Búr, Vydrica, Hostiansky p.), alebo v pohoriach budovaných prevažne vulkanitmi (Kľak, Neresnica, Svinica, Medziansky potok, Sobranecký potok).



Obr.2 Závislosť priemernej nadmorskej výšky povodia a koeficientu Rp

Fig. 2 Relation between mean basin altitude and Rp

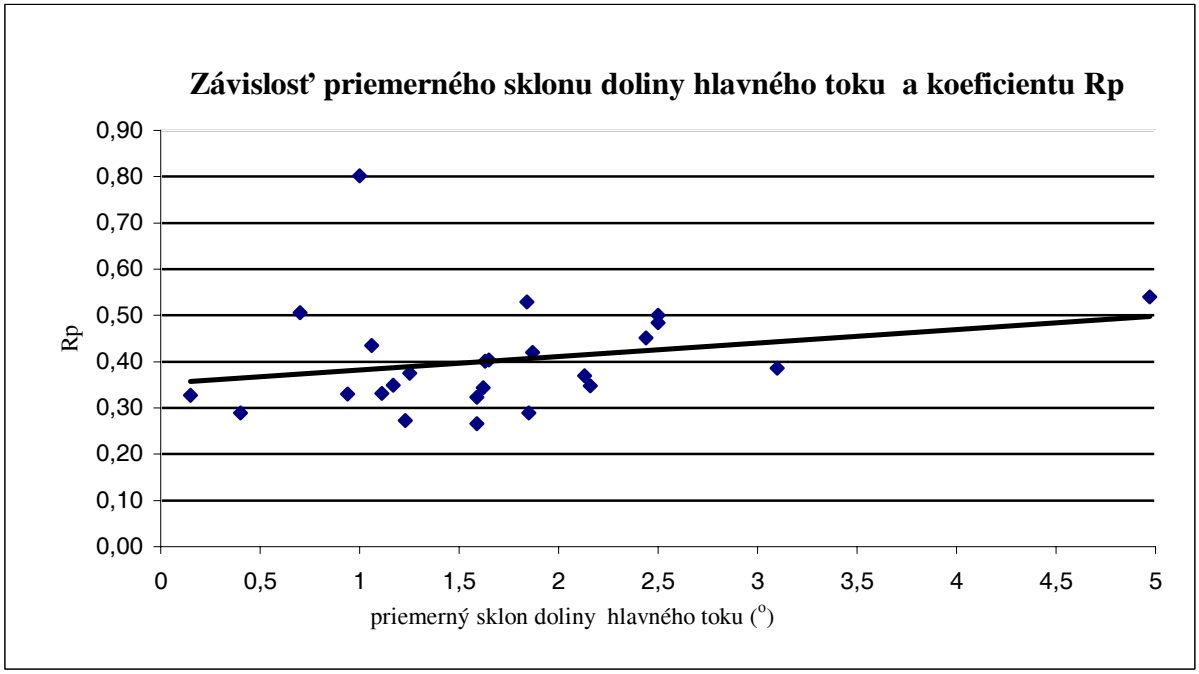
Rozdiel maximánej a minimálnej výšky v povodí v obecnej rovine vyjadruje hodnotu energie reliéfu v povodí. Od tohto parametra sa odvíja charakter procesov geomorfologického vývoja povodia a dynamika procesov odtoku. Je najlepšie skorelovaný s priemernými zrážkami, špecifickým odtokom, priemerným sklonom a s priemernou nadmorskou výškou povodia menej s hustotou riečnej siete. Závislosť s hodnotou Rp je tesne pod hladinou významnosti (r_{xy} = 0,46) (obr. 3). Rozloženie jednotlivých povodí vzhľadom na nadpriemerné a podpriemerné hodnoty sledovaných parametrov sa v porovnaní s rozložením pri priemernej výške povodia v zásade nezmenilo. Výnimkou sú autochtónne povodia vo vysokopoložených kotlinách, v ktorých je rozdiel nadmorských výšok relatívne malý (Hybica), resp. na opačnej strane povodia s nižšou priemernou nadmorskou výškou, ale s veľkým rozdielom nadmorských výšok medzi vysočinovým reliéfom v pramennej časti a podvrchovinným reliéfom pri ústí (povodie Kľakovského potoka na prechode z Vtáčniku do Žiarskej kotliny alebo povodie Štítnického potoka na prechode zo Stolických vrchov do Štítnického podolia).



Obr.3 Závislosť rozdielu maximálnej a minimálnej výšky v povodí a koeficientu Rp

Fig. 3 Relation between the difference maximal – minimal basin altitude and Rp

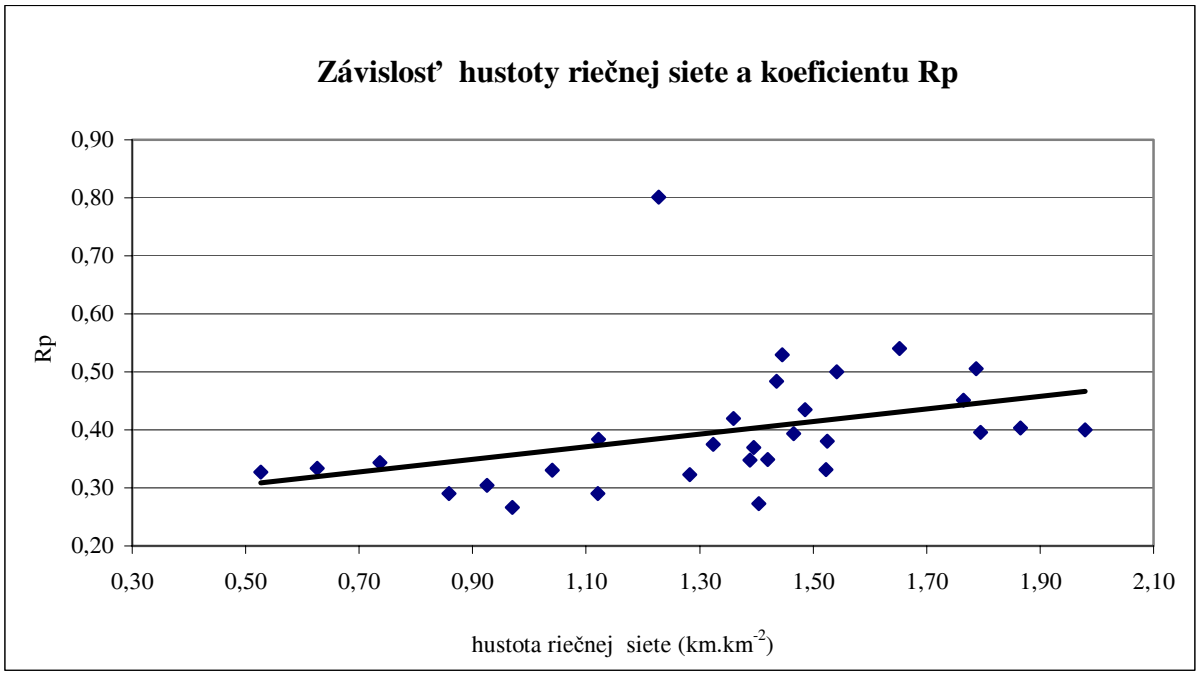
Priemerný sklon doliny hlavného toku (v stupňoch) bol stanovený trigonometricky z trojuholníka s dvoma vrcholmi v prameni a v profile ústia (vodočtu) hlavného toku a so základňou rovnou dĺžke osi doliny hlavného toku v úseku od ústia (vodočtu) po prameň. Priemerný sklon je významne skorelovaný s rozdielom nadmorských výšok, priemernými zrážkami a s priemernou nadmorskou výškou povodia (obr. 4). Korelácia s koeficientom Rp je zo všetkých morfometrických parametrov povodí najmenšia, je výrazne pod hranicou významnosti (r_{xy} = 0,20) .



Obr.4 Závislosť priemerného sklonu doliny hlavného toku a koeficientu Rp

Fig. 4 Relation between mean main valley slope and Rp

Hustota riečnej siete je výsledkom vzájomného pôsobenia prakticky všetkých krajinných zložiek a času t, z ktorých za najvýznamnejšie môžeme všeobecne považovať klimatické a litologické faktory. Hustota riečnej siete je najlepšie skorelovaná so špecifickým odtokom, priemernými zrážkami a s priemernou nadmorskou výškou. Korelácia s hodnotou Rp je menej významná (obr.5). Potvrdzuje sa závislosť konštatovaná viacerými autormi, že hustota riečnej siete je nepriamo úmerná priepustnosti pôdno-horninového komplexu. Na súbore študovaných povodí to dokumentuje posun povodí budovaných prevažne slabo priepustnými flyšovými horninami do úrovne nadpriemerných hodnôt parametra hustoty riečnej siete (Kamienka, Lipník, Pčolinka).

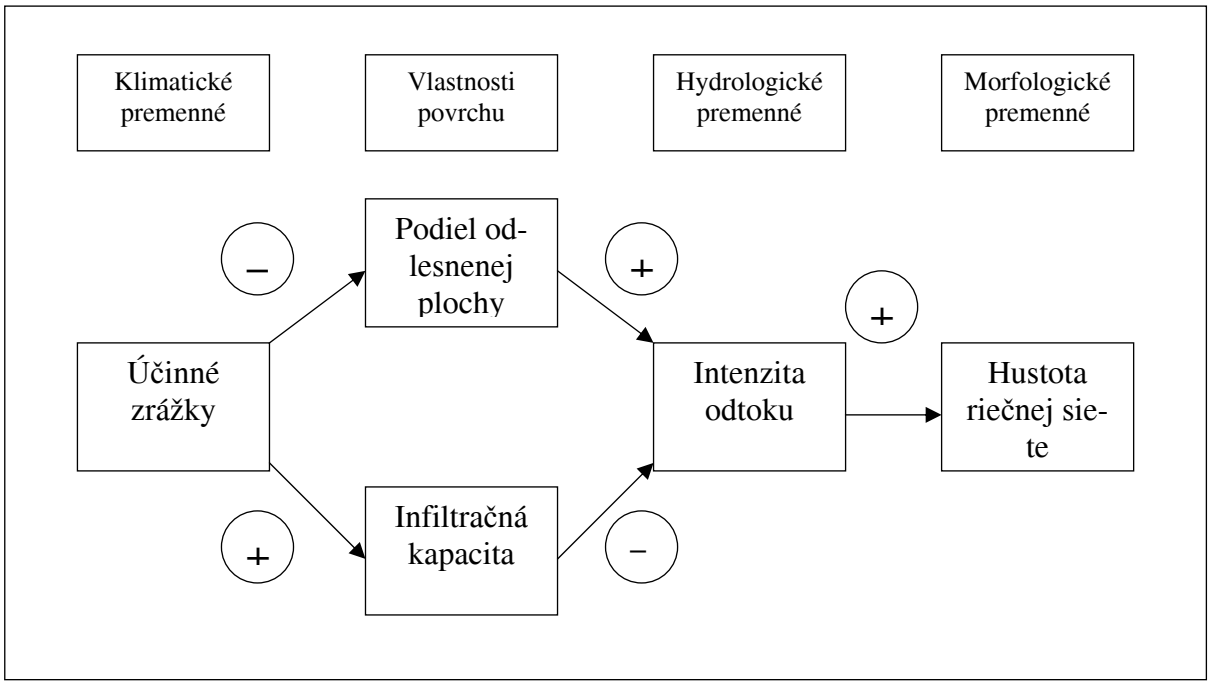


Obr. 5 Závislosť hustoty riečnej siete a koeficientu Rp

Fig. 5 Relation between river network density and Rp

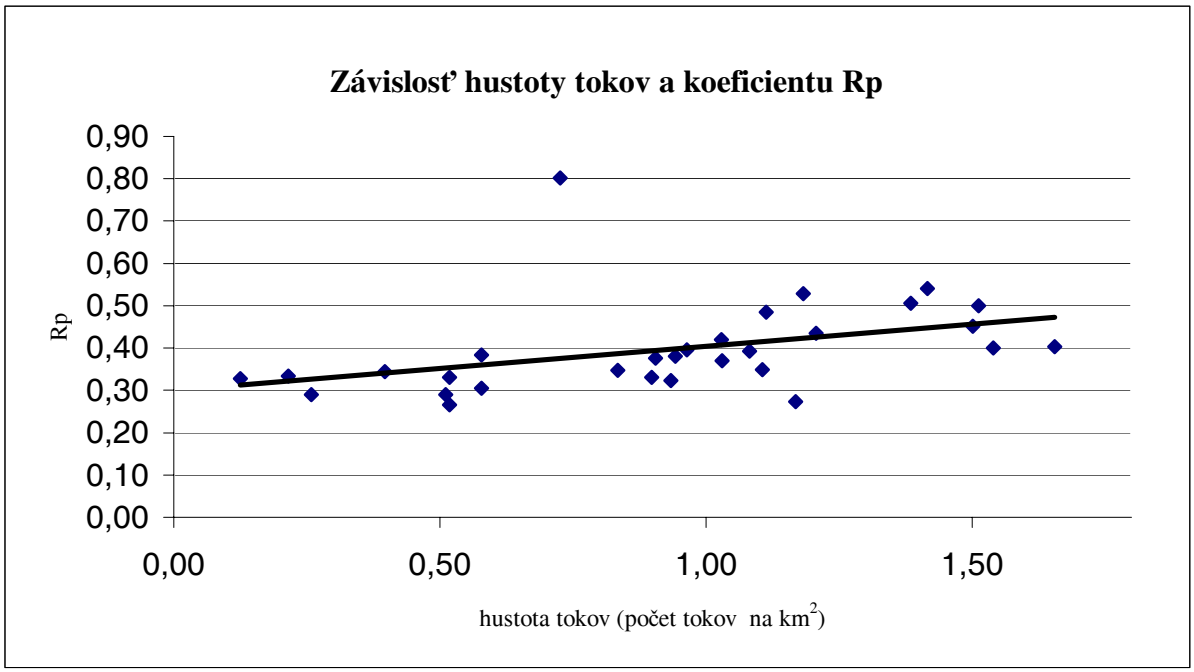
Korelačnú štruktúru medzi efektívnymi zrážkami, vlastnosťami povrchu povodia, odtokom a hustotou riečnej siete vyjadruje schéma znázornená na obr. 6. (Upravené podľa Meltona, in Richards 1982). Z nej sa dá vyčítať, že korelácia medzi efektívnymi zrážkami (zrážky spadnuté – výpar) a podielom odlesnenej plochy je negatívna, medzi podielom odlesnenej plochy a intenzitou odtoku pozitívna, atď.

Odvodeným morfometricko-hydrografickým parametrom, ktorý sme hodnotili je hustota tokov (stream density). Je to počet tokov na jednotku plochy v danom povodí. Túto veličinu zaviedol už Horton v 30. rokoch 20. storočia (Zavoianu 1985). Ak hodnotíme tento parameter je dôležité, ktorý zo systémov vyjadrujúcich rád toku použijeme. Ak použijeme Strahlerov systém, počet tokov je vyšší v porovnaní s Hortonovým systémom. Na rozdiel od hustoty riečnej siete (drainage density), ktorá indikuje celkovú dĺžku dolinovej (riečnej) siete, hustota tokov indikuje počet nodov (uzlov), v ktorých sa dolinová (riečna) sieť spája. V našom hodnotení sme použili Hortonov systém. Hustota tokov je najlepšie skorelovaná s hustotou riečnej siete, so špecifickým odtokom, priemerným úhrnom zrážok, priemernou nadmorskou výškou, priemerným prietokom a rozdielom maximálnej a minimálnej výšky. Korelačná závislosť s priemerným sklonom hlavnej doliny a s koeficientom R_p je pod stanovenou hodnotou spoľahlivosti r_{xy} (obr. 7).



Obr.6 Schéma korelačnej štruktúry medzi efektívnymi zrážkami, vlastnosťami povrchu povodia, odtokom a hustotou riečnej siete

Fig.6 The scheme of correlation structure among efficient precipitation, basin surface properties, runoff and river network density



Obr. 7 Závislosť hustoty tokov a koeficientu Rp

Fig. 7 Relation between stream density and Rp

Najvyššiu priemernú mieru závislosti (priemerná hodnota r_{xy}) z morfometrických parametrov vykazuje priemerná nadmorská výška a rozdiel nadmorských výšok, najnižšiu priemerný sklon. Ak hodnotíme takýmto spôsobom celý súbor parametrov, vrátane hydrologicko-bilančných, potom najvyššiu priemernú mieru závislosti vykazujú zrážky a špecifický odtok.

Z hodnôt r_{xy} sa potvrdilo, že priemerné úhrny zrážok sú najdôležitejším parametrom podmieňujúcim vznik nadpriemerných prietokov. Ak pripustíme, že zrážky sú do veľkej miery funkciou priemernej nadmorskej výšky a rozdielu maximálnej a minimálnej nadmorskej výšky, a ak význam týchto dvoch parametrov potlačíme, potom z ostatných morfologických parametrov majú významný vplyv na nadpriemerné prietoky hustota riečnej siete a hustota tokov.

ZÁVER

Závislosť medzi koeficientom Rp a jednotlivými morfometrickými parametrami sme vyhodnocovali analýzou korelačného koeficienta a graficky. Výsledné zistenia ukázali, že koeficient Rp, a teda aj pravdepodobnosť dosiahnutia nadpriemerného prietoku, meranom v záverečnom profile, je skorelovaný (zostupne, podľa veľkosti r_{xy}) s priemernou nadmorskou výškou povodia a rozdielom maximálnej a minimálnej nadmorskej výšky v povodí, s hustotou riečnej siete a s priemerným sklonom hlavnej doliny, pričom však len korelácia s priemernou nadmorskou výškou je nad úrovňou 99%-nej spoľahlivosti r_{xy}.

Príspevok vznikol v rámci riešenia vedeckého projektu č. 2/3084, finančne podporeného grantovou agentúrou VEGA.

Literatúra

Mosley, P.M, McKerchar A.I. (1992): Streamflow. In: Maidment, D.R (ed.): Handbook of hydrology McGraw-Hill, NewYork, pp 8.1- 8.39.

Pavlík, Z., Kűhnl, K. (1981): Úvod do kvantitativních metod pro geografy. Fakulta přírodovědecká UK, SPN Praha.

Richards, K. (1982): Rivers. Forms and process in alluvial channels. Methuen, London and New York.

Solín, Ľ., Cebecauer, T., Grešková, A., Šúri, M. (2000): Small basins of Slovakia and their physical characteristics. National report 2000 of the IHP UNESCO project 1.1.FRIEND. Bratislava, Geografický ústav SAV a Slovenský výbor pre hydrológiu.

Vogt, J.V., Colombo, R., Bertolo, F. (2003): Deriving drainage networks and catchment boundaries: a new methodology combining digital elevation data and environmental characteristics. Geomorphology, 53, pp 281-289.

Zavoianu, I. (1985): Morphometry of drainage basins. Developments in water science, 20. Elsevier, Amsterdam.

Autor

RNDr.Ján Hanušin, CSc., Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava, SR, hanusin@savba.sk

KVANTITATÍVNE METÓDY INTEGROVANÉHO MANAŽMENTU POVODIA

Kamila Hlavčová, Ján Szolgay, Silvia Kohnová

Článok sa zaoberá problematikou integrovaného manažmentu povodia pre zabezpečenie trvalo udržateľného rozvoja vodných zdrojov. Spracovaný je tu prehľad o progresívnych metódach, ktoré sa v súčasnosti v IMP vo svete využívajú, resp. zavádzajú do praxe. Dôraz je kladený najmä na sektorálne nástroje a modely na simulovanie procesov v povodiach a integrované systémy, ktoré integrujú v sebe nástroje pre modelovanie, rozhodovanie a plánovanie v oblasti integrovaného manažmentu povodí. Ako príklad možností využitia nástrojov IMP v praxi sú tu uvedené výsledky prípadovej štúdie na povodí Hrona, v ktorej bolo na určenie možných zmien odtokových procesov, spôsobených zmenou manažmentu povodia, využité modelovanie odtoku fyzikálne orientovaným hydrologickým modelom s rozčlenenými parametrami.

Kľúčové slová: integrovaný manažment povodia (IMP), trvalo udržateľný rozvoj vodných zdrojov, sektorálne nástroje a integrované systémy IMP, hydrologický model s rozčlenenými parametrami

Progressive methods in integrated river basin management. *In the paper progressive methods in integrated river basin management are reviewed with emphasis on tools and integrated systems for sustainable development of water resources. As an example of using such methods in the practice, the results of a case study in the Hron river basin are presented. A physically based hydrological model with distributed parameters was used for the assessment of changes in runoff regime due to changes in basin management.*

Key words: integrated river basin management (IRBM), sustainable development of water resources, sectoral tools and integrated systems in IRBM, hydrological model with distributed parameters

---

1. ÚVOD

Podľa Rámcovej smernice EÚ o vodách základnú jednotku, v ktorej by sa malo realizovať hospodárenie s vodnými zdrojmi, predstavujú povodia. Zabezpečenie trvalo udržateľného hospodárenia s vodnými zdrojmi v povodiach je možné iba ich integrovaným manažmentom (IMP), na ktorom sa zúčastňujú ako správcovia, tak aj užívatelia vodných zdrojov a ktoré zahŕňa plánovanie, využívanie a manažment krajiny, a všetky oblasti hospodárenia s vodou z hľadiska jej kvantity aj kvality (vodné hospodárstvo, zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou, priemysel, poľnohospodárstvo, lesníctvo, ako aj sociálno-ekonomické a politické hľadiská a záujmy spoločnosti).

Mnohé zo základných princípov pre integrovaný manažment vodných zdrojov boli sformulované v roku 1992 v Dubline na medzinárodnej konferencii o vode a životnom prostredí. Cieľom týchto princípov bolo urýchliť zmeny v tých oblastiach a aktivitách, ktoré sú považované za základné pre zdokonalenie manažmentu vodných zdrojov. Dublinské princípy prispeli značnou mierou k vytvoreniu odporúčaní Agendy 21- kapitoly 18 o vodných zdrojoch, ktorá bola prijatá na konferencii o životnom prostredí a rozvoji OSN v de Janiero v roku 1992. Tento prístup k vodným zdrojom známy ako Dublin-Rio Principle (Thomas, 2003) zdôrazňuje, že zásoby pitnej vody sú obmedzené a náchylné na ohrozenie, preto sú prvoradé z hľadiska udržania života, populácie, ekonomického rastu a životného prostredia. V nasledujúcom období boli tieto princípy rozpracované na rokovaniach viacerých medzinárodných konferencií o vode napr. v Harare a v Paríži 1998, a venovala sa im aj komisia OSN pre trvaloudržateľný rozvoj na svojom zasadnutí v Rio de Janiero „Rio+5“ roku 1998.

V článku sme spracovali prehľad o kvantitatívnych metódach, ktoré sa v súčasnosti vo svete využívajú, resp. sú v štádiu zavádzania v integrovanom manažmente povodí. Zamerali sme sa pritom na projekty podporované Európskou úniou v oblasti integrovaného manažmentu povodia, sektorálne nástroje, ktoré sa v súčasnosti používajú na modelovanie rôznych procesov v povodiach a integrované systémy pre modelovanie, rozhodovanie a plánovanie v oblasti integrovaného manažmentu povodí. Ako príklad možností využitia nástrojov IMP v praxi sú tu uvedené výsledky prípadovej štúdie na

povodí Hrona, v ktorej bolo na určenie možných zmien odtokových procesov, spôsobených zmenou manažmentu povodia, využité modelovanie odtoku fyzikálne orientovaným hydrologickým modelom s rozčlenenými parametrami.

2. DEFINÍCIE INTEGROVANÉHO MANAŽMENTU POVODIA (IMP)

Na vyjadrenie pojmu integrovaný manažment vodných zdrojov v povodí, resp. integrovaný manažment povodia (IMP) existuje v súčasnosti množstvo definícií, ktoré sa navzájom dopĺňajú a upresňujú. Ako príklad tu uvádzame niektoré z nich.

Integrovaný manažment povodia zohľadňuje multisektorálnu podstatu v kontexte celkového spoločensko-ekonomického rozvoja, ako aj rôznych záujmov týkajúcich sa využívania a ochrany vodných zdrojov, a to v oblasti zásobovania vodou a kanalizačných sietí, poľnohospodárstva, priemyslu, sídelného rozvoja, vodných diel, ako aj v oblasti dopravy, rekreácie, rybárstva a ďalších činností.

Integrovaný manažment vodných zdrojov je proces, ktorý podporuje koordinovaný rozvoj a riadenie vodných zdrojov, krajiny; a ďalších súvisiacich zdrojov, v snahe maximalizovať výsledné ekonomické a sociálne blaho, bez porušenia trvalej udržateľnosti ekosystému. Táto definícia bola neskôr rozšírená o integráciu vo využívaní vodných zdrojov aj v zmysle technickom, sociálnom i politickom a zahŕňa aj riešenie konfliktov v potrebe vody (Global Water Partnership Technical Advisory Comittee, 2000).

Podľa Ballweber (1995); Bulkley (1995); Deyle (1995) integrovaný manažment povodia znamená zlúčenie a zohľadnenie sociálnych, environmentálnych a technických aspektov pri využívaní vodných zdrojov. Tento proces zahŕňa vytvorenie diskusného fóra, zmeny v procesoch plánovania a riadenia vodných zdrojov, vytypovanie nových vodných zdrojov, kontrolu kvantity a kvality vôd, ochranu a revitalizáciu prírodných systémov, prehodnotenie súčasných projektov, výchovu, vzdelávanie, hľadanie spolupráce s verejnosťou a pod. Snahou je smerovanie vodohospodárskych rozhodnutí smerom k flexibilnému holistickému a environmentálnemu riadeniu.

Mitchell (1990) hovorí, že integrovaný manažment povodia predstavuje komplex, ktorý zahŕňa prvky celého hydrologického cyklu, prechádza cez hranice povodí a krajiny a spája vodu so širšími politickými otázkami regionálneho, ekonomického a environmentálneho rozvoja. Rovnako aj Grigg (1996) poukazuje na to, že integrovaný manažment povodia zahŕňa politické, geografické a hydroekologické vedné hľadiská.

Združenie American Water Works Association (AWWRA) sa pokúsilo spracovať definíciu konceptu tzv. „Celkového manažmentu vôd“, ktorý tiež v sebe zahŕňa definíciu integrovaného manažmentu povodia. „Celkový manažment vôd“ predstavuje taký spôsob riadenia vodných zdrojov, snahou ktorého je zabezpečiť prosperitu spoločnosti a nenarušiť životné prostredie. Je založený na princípe trvalo udržateľného rozvoja. Tento spôsob riadenia podporuje plánovanie a využívanie vodných zdrojov na princípe prírodného dynamického procesu, ktorý sa prispôsobuje zmeneným podmienkam, zahŕňa spoluúčasť všetkých zložiek riadenia, užívateľov a riadiacich pracovníkov, prostredníctvom procesu koordinácie a riešenia konfliktov, zvyšuje využívanie vody, recykláciu, ochranu zdrojov, a podporuje riadenie kvality a kvantity vôd, podporuje zdravie, bezpečnosť, a prosperitu spoločnosti.

3. EURÓPSKE PROJEKTY V OBLASTI INTEGROVANÉHO MANAŽMENTU POVODIA

Európska únia si plne uvedomuje dôležitosť problematiky integrovaného manažmentu vodných zdrojov v povodí a snaží sa všestranne podporovať vývoj v tejto oblasti. V súčasnosti podporuje množstvo projektov, ktoré pokrývajú vývoj a využívanie nástrojov a integrovaných systémov v oblasti manažmentu, rozhodovania a plánovania vodných zdrojov, ich štandarizáciu a harmonizáciu, testovanie v pilotných povodiach, ako aj rozširovanie výsledkov a vzdelávanie v tejto oblasti.

K takýmto projektom patrí napr. Rhine Network pre lepšie spoločné riadenie rieky Rýn, výskumný projekt Water Strategy Man pre vyhodnotenie alternatívnych stratégií pre riadenie vodného hospodárstva, projekt IRBM (Európska pracovná skupina pre definovanie podmienok zavádzania Rámcovej smernice EÚ o vodách v jednotlivých európskych štátoch), projekt IWRM Net (sieť na rozširovanie výsledkov výskumu v oblasti integrovaného manažmentu povodí) a projekt WEST (Water EconomicS Training pre spracovanie prehľadu o výskume v oblasti vody v Európe). Európska únia podporuje aj vzdelávanie v oblasti integrovaného manažmentu povodia, a to napr. projektmi Leonardo da Vinci, v ktorom sú podporované projekty Limousin Water a Tech III, a projekt WFD - Community – virtual community for training of water professionals. V rámci 6. RP EÚ sa tiež rieši rozsiahly projekt CATCHMOD Cluster, obsahujúci 10 projektov zameraných na integrovanie fyzicko-chemických, ekologických a sociálno-ekonomických aspektov a vytvorenie univerzálne akceptovateľného a prepojeného modelovacieho nástroja. Súčasťou CATCHMOD Cluster je projekt HarmoniCA zameraný na harmonizáciu nástrojov na modelovanie procesov v povodí pre ciele IMP, so svojimi zložkami - HarmonIT pre tvorbu nástrojov pre modelovanie životného prostredia, HarmoniQuA pre zabezpečenie kvality modelovania a Harmoni COP pre plánovanie (Refsgaard, 2001). Do oblasti skúšobného modelovania patria napr. EUROHARP pre optimalizáciu modelovania nutrientov, CLIME pre modelovanie vplyvu klimatickej zmeny na jazerá a prípadové štúdie Tisza River Project, HarmoniRiB, a TRANSCAT. Podobné projekty ako CATCHMOD sú aj projekty ARID, CITY-NET - Cluster, a projekt ACTIF.

4. NÁSTROJE A SYSTÉMY POUŽÍVANÉ PRE INTEGROVANÝ MANAŽMENT POVODIA

V súčasnosti sa v mnohých krajinách využívajú rôzne sektorálne nástroje a modely na modelovanie jednotlivých procesov v povodiach, a to v oblasti podzemných vôd, zrážkovo-odtokových procesov, hydrodynamických procesov, protipovodňovej ochrany, kvality vody, ekológie, bioty, a v sociálno-ekonomickej oblasti. Tieto oblasti modelovania sú často prepojené do integrovaných systémov na analýzu, rozhodovanie a plánovanie hospodárenia s vodnými zdrojmi s ohľadom na všetky možné záujmy a aspekty. Aj keď niektoré z týchto systémov sú prioritne zamerané iba na niektoré hľadiská hospodárenia s vodnými zdrojmi, všetky sa snažia poskytnúť ucelené nástroje pre potreby riadenia a rozhodovania. Ako príklady takýchto systémov možno uviesť (podľa Water Strategy Man, 2003) napr.: DSS (Podporný rozhodovací systém pre plánovanie vodných zdrojov na základe environmentálnej bilancie), SDSS (Priestorový systém pre podporu rozhodovania v hodnotení schém riadenia spotreby a dodávky vody), IQQM (Integrated Quantity and Quality Model - Integrovaný model kvantity a kvality), systém Basins (Better Assesment Sience Integrating Point and Non-Point Sources), model Mike Basin (komplexný podporný systém rozhodovania v integrovanom manažmente vodných zdrojov a plánovaní) (DHI, 1996), model RIBASIM (RIver BAsin SImulation), model ENSIS (Enviromental Surveillance and Information System - nástroj na environmentálny monitoring a ochranu), model REALM (the Resorce Allocation Model - model pre simuláciu systémov zásobovania vodou), model MULINO (MULtisektorálny, INtegrovaný a Operatívny systém pre udržateľné využívanie vodných zdrojov v povodiach (La Jeunesse, a kol., 2003), model WEAP (Water Evaluation and PLanning System – model pre podporu rozhodovania pri zásobovaní vodou a pri manažmente potreby vody), systém WaterWare (systém pre podporu rozhodovania pre integrované plánovanie a manažment riečnych povodí), systém Aquatool (zovšeobecnený systém pre plánovanie zdrojov vody a prevádzkový manažment povodia) a model Iras (Interactive River-Aquifer Simulation – nástroj pre simuláciu zdrojov povrchových a podzemných vôd).

4.1 Štandardizácia a zabezpečenie kvality modelovania v nástrojoch pre IMP

Vzhľadom na to, že integrované systémy, používané pre IMP integrujú modelovanie zložitých prírodných, ako aj sociálno – ekonomických procesov, okrem rozvoja a zavádzania týchto nástrojov sa začína klásť dôraz ich štandarizáciu a na zabezpečenie kvality pri ich využívaní. V mnohých krajinách sa kvalita modelovania zabezpečuje rôznymi smernicami a štandardami, ktorými by sa mali modelovacie projekty riadiť. Príkladom je napr. holandská príručka Good Modelling Practice Handbook (Waveren a kol., 2000), určená pre plánovanie a navrhovanie, operatívne riadenie,

ohodnotenie, optimalizáciu, verejné informácie, vzdelávanie a pod. vo všetkých oblastiach vodného hospodárstva. Pokrýva modely podzemných vôd pre nasýtenú a nenasýtenú zónu, zrážkovo-odtokové modely, modely distribúcie vody, hydrodynamické modely, modely na predpoveď povodní a včasného varovanie pred nimi, modely kvality povrchovej vody, modely čistenia odpadových vôd, ekologické modely, modely pre ekonomické odvetvia týkajúce sa vody a modely záťaže odpadmi a emisiami. Príručka sprevádza modelujúcich počas celého modelovacieho cyklu a poukazuje aj na mnohé zradné a chúlostivé miesta všeobecného charakteru a na mnohé podľa špecifickej oblasti. Príručka tiež poskytuje návody, ako zaznamenať a popísať všetky aktivity spojené s modelovaním, ktoré môžu byť využité pri rekonštrukcii projektu.

Podobné príručky boli spracované aj v iných európskych krajinách, aj keď mnohé z nich sú kladú dôraz iba na niektoré oblasti alebo aspekty integrovaného manažmentu povodia, napr. na modelovanie podzemných vôd. Aj vzhľadom na uvedené vzniká rad ďalších projektov (napr. projekt HarmoniQua, Refsgaard, 2001), ktoré sa zameriavajú na porovnanie skúseností v oblasti modelovania a na harmonizáciu uvedených príručiek v rámci Európy, ako aj v rámci jednotlivých oblastí modelovania.

Smernice na zabezpečenie kvality spĺňajú špecifické požiadavky z hľadiska ozrejmenia postupov modelovania a odporučení pre jasné aktivity modelovania. Vyplýva z nich však aj to, že istá časť modelovania je stále založená na skúsenostiach modelujúceho, jeho intuícii a tvorivosti. Tieto schopnosti nikdy nemôžu byť nahradené žiadnymi smernicami, takže mnohé detaily práce s modelmi nemôžu smernice zabezpečenia kvality zahŕňať. Smernice na zabezpečenie kvality by mali slúžiť prinajmenšom na štandardizáciu postupov práce s modelmi a spracovania údajov, zadefinovanie minimálnych požiadaviek na údaje pre rôzne účely modelovania, zadefinovanie minimálnych požiadaviek a funkčnosti matematických modelov (schematizácia, použité rovnice, pomocné výpočty, prezentácia výsledkov), definovanie možných postupov pri kalibrácii a overení modelu a pri odhade presnosti výsledkov modelovania.

4.2 Hodnotenie situácie na Slovensku

U nás sa zatiaľ modely v úlohách súvisiacich s integrovaným manažmentom povodí dostatočne neuplatňujú, modelovacie postupy sa vo vodnom hospodárstve síce využívajú sektorálne pri riešení parciálnych problémov, ale nezahŕňajú problematiku v celej komplexnosti. Tieto nástroje sa využívajú v aplikovanom výskume, špičkových pilotných štúdiách a v rámci zahraničných projektov, ale nie sú bežnou súčasťou vodohospodárskej praxe ani v plánovacom procese a ani v operatívnom riadení. Je zrejmé, že doterajšie práce na implementácii RS EÚ si nasadenie takýchto nástrojov nevyžadovali, no realizácie metodík kapitol RS si ich vyžadovať bude. Rovnako sa bez nich nezaobídeme pri integrácii krajinného plánovania a hospodárenia s vodou, keď bude nevyhnutné vedieť kvantitatívne odhadovať dopady rozvojových koncepcií a spôsobov využívania krajiny na stav vôd.

Ani pri aplikácii modelovacích nástrojov sa u nás nedá hovoriť o koordinácii alebo riadení podmienok ich nasadenia. Manažment kvality modelovania nie je zatiaľ pojem, ktorý by sa pri ich doterajšom nasadení uplatnil. V tejto súvislosti je potrebné si uvedomiť, že modely sú v istých súvislostiach používané ako analytické nástroje na hodnotenie stavu vodného prostredia a jeho zmien rovnako ako chemické alebo biologické laboratórne postupy. Ich výstupy zaujímajú v procese plánovania a riadenia podobné postavenie ako napr. výstupy chemických analýz a biologických prieskumov (i keď sa jedná väčšinou o rádovo rozdielne presnosti, prípadne časové a priestorové rozlíšenia). V prípade chemických laboratórií je však hodnotenie ich kvality bežných javom, resp. akceptovanou nutnosťou. Táto tendencia sa v zahraničí už uplatňuje aj pri používaní matematických modelov vo vodnom hospodárstve. Je to prirodzené, pretože s ohľadom na existenciou veľkého množstva modelovacích koncepcií (najmä v hydrológii) je potrebné riadiť podmienky ich používania, aby boli dosiahnuté porovnateľné a interpretovateľné výsledky.

5. PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA VYUŽITIA NASTROJA IMP NA POVODÍ HORNÉHO HRONA

V tejto časti ako príklad využitia modelovacieho nástroja v integrovanom manažmente vodných zdrojov v povodí opisujeme aplikáciu fyzikálne orientovaného zrážkovo-odtokového modelu s rozčlenenými parametrami pre analýzu vplyvu možných zmien vo využívaní územia na odtokové procesy. Zamerali sme sa na hodnotenie odtoku zo zrážok a topenia snehu na povodí horného Hrona a zmenu spôsobu využívania územia sme vyjadrili rôznymi scenármi, pri ktorých sme simulovali a porovnávali zmeny odtoku oproti súčasnému stavu (Szolgay, a kol., 2004). Dôraz sme pritom kládli na porovnanie zmien objemu odtoku a jeho zložiek, zmien extrémnych fáz odtoku a zmien priestorového rozloženia odtoku a jeho zložiek na povodí.

5.1 Opis zrážkovo-odtokového modelu s rozčlenenými parametrami

Pri tvorbe zrážkovo-odtokového modelu sme vychádzali zo štruktúry fyzikálne orientovaného modelu WetSpa (Wang a kol., 1996), ktorého zložky a programovú štruktúru sme upravili tak, aby bol vhodný na modelovanie odtoku zo zrážok a topenia snehu na povodí horného Hrona (Szolgay a kol., 2004). Fyzikálne orientovaný zrážkovo-odtokový model s rozčlenenými parametrami rozdeľuje povodie štvorcovou sieťou na rovnomerné priestorové jednotky, v ktorých počíta hydrologickú bilanciu a simuluje pohyb vody do záverečného profilu povodia. Jednotlivé zložky hydrologickej bilancie tvoria tekuté a tuhé zrážky, intercepcia, pôdna vlhkosť, infiltrácia, aktuálna evapotranspirácia, povrchový odtok, podpovrchový odtok a podzemný odtok. Transformácia povrchového odtoku v povodí sa simuluje na základe difúznej vlny a hydraulických charakteristík prúdenia vody na svahoch a v riečnej sieti. Výpočet podpovrchového odtoku vychádza z Darcyho zákona a metódy kinematickej vlny. Základné vstupy do modelu tvoria rastrové digitálne vrstvy (digitálny model reliéfu, mapa využitia územia a mapa pôdnych druhov) a hydrologické a klimatické vstupné údaje v dennom alebo hodinovom kroku. Okrem rozsiahleho množstva fyzikálne orientovaných parametrov, odvodených na základe fyzicko-geografických vlastností povodia, vstupuje do modelu 11 globálnych parametrov, ktoré sú kalibrovateľné.

Model bol nakalibrovaný a validovaný na povodí horného Hrona po Banskú Bystricu v dennom kroku pre vybrané časové úseky z disponibilného obdobia 1981-2000. Miera zhody medzi meranými a simulovanými priemernými dennými prietokmi bola posudzovaná koeficientom Nash-Sutcliffe, ktorého dosiahnutá hodnota pre celé 20-ročie bola 0,732.

5.2 Scenáre zmeny využívania územia na povodí horného Hrona

Na vyjadrenie zmien vo využívaní územia na povodí horného Hrona sme vytvorili niekoľko scenárov, za predpokladu ktorých sme simulovali odtok zo zrážok a topenia snehu v dennom kroku pre obdobie 1981-2000. Zmeny odtoku sme vyhodnotili porovnaním simulovaných priemerných denných prietokov a ich štatistických charakteristík pre súčasný stav využitia územia a scenáre zmeny využitia územia, ako aj priestorovo v podobe máp. Vo vyhodnocovaní zmien sme sa zamerali aj na zmeny jednotlivých zložiek odtoku, ktoré tvorí povrchový, podpovrchový a podzemný odtok. Na vyjadrenie zmeny využitia územia sme vytvorili nasledovné scenáre : 1/ prirodzený stav – scenár, ktorý vyjadruje spôsob využitia územia najbližší prirodzenej krajine, takmer celé povodie je zalesnené; 2/ zmena druhovej skladby lesa – spôsob využitia územia, ktorý je možné zrealizovať na povodí pri rešpektovaní súčasného využívania územia (urbanizované územie, orná pôda a pod.); 3/ zatrávnenie lesa – scenár, pri ktorom sa predpokladá, že sa zalesnené plochy zmenia na trávnaté porasty; 4/ zmena nepriepustných plôch – scenár, pri ktorom sa predpokladá, že na urbanizovanom území bude podiel nepriepustných plôch 100 %; 5/ zatrávnenie ornej pôdy – scenár, pri ktorom sa predpokladá, že sa zatrávnia plochy, v súčasnosti využívané ako orná pôda; 6/ zalesnenie kritických hydrotopov – scenár, pri ktorom sa predpokladá zalesnenie území, ktoré predstavujú kritické územia s možnosťou tvorby najväčšieho povrchového odtoku.

5.3 Zhodnotenie výsledkov

Porovnanie zmeny celkového, povrchového, podpovrchového a podzemného dlhodobého priemerného ročného odtoku [mm.rok^{-1}] pre uvažované scenáre zmeny využitia územia oproti súčasnému stavu (za obdobie 1981-2000) je uvedené v tab. 1.

Tab. 1 Zmena dlhodobého priemerného ročného odtoku [mm.rok^{-1}] a jeho jednotlivých zložiek pre uvažované scenáre zmeny využitia územia oproti súčasnému stavu (za obdobie 1981-2000)

Tab.1 Changes in the long-term mean annual runoff [mm.year^{-1}] and its components for different land use change scenarios as opposed to the reference state (1981-2000 period)

	Povrchový odtok	Podpovrchový odtok	Podzemný odtok	Celkový odtok
	[mm.rok^{-1}]	[mm.rok^{-1}]	[mm.rok^{-1}]	[mm.rok^{-1}]
prirodzený stav	-63.3	-72.2	-0.7	-136.2
zmena skladby lesa	2.7	3.8	1.8	8.3
zatrávnenie lesa	0.6	-4.2	15.2	11.6
zmena nepriepustných plôch	66.3	-3.9	-17.7	44.7
zatrávnenie ornej pôdy	-36.6	1.1	3.2	-32.3
zalesnenie kritických hydrotopov	-2.9	-0.2	-1.8	-4.9

Zo zhodnotenia zmeny odtoku pre jednotlivé scenáre vyplývajú nasledovné závery:

Z porovnania zmeny priemerných denných prietokov pre scenár „prirodzený stav“ oproti súčasnému stavu vyplynulo, že takmer úplné zalesnenie povodia môže spôsobiť výrazné zníženie priemerných denných prietokov. Priemerná ročná odtoková výška sa znížila približne o 140 mm za rok, čo predstavuje rozdiel oproti súčasnému stavu približne o -30 %. Najvýraznejšie z jednotlivých zložiek odtoku sa znížil povrchový odtok, a to o 63 mm za rok (-91 % oproti súčasnému stavu) a podpovrchový odtok, ktorý sa znížil o 72 mm za rok (-53 % oproti súčasnému stavu). Zmena podzemnej zložky odtoku sa pri tomto scenári neprejavila.

Z porovnania zmeny priemerných denných prietokov pre scenár „zmena skladby lesa“ oproti súčasnému stavu vyplynulo, že zmena skladby lesa by sa na povodí horného Hrona na zmene odtoku takmer neprejavila. Zmena celkovej priemernej ročnej odtokovej výšky v mm za rok je 8,3 mm, čo je zanedbateľná hodnota. Podobne sa nepatrné zmeny prejavili aj pri jednotlivých zložkách odtoku.

Posúdenie zmeny priemerných denných prietokov pre scenár „zatrávnenie lesa“ oproti súčasnému stavu ukázalo, že pri takomto scenári môže nastať iba mierne zvýšenie celkového odtoku, ktoré sa prejaví v zvýšení priemernej ročnej odtokovej výšky asi o 12 mm (+2,5 %). Zvýšenie celkového odtoku spôsobí najmä zvýšenie podzemného odtoku, a to asi o +15 mm (+6 %). Povrchový odtok sa takmer nezmení a podpovrchový odtok sa zníži asi o -4 mm (-3 %).

Z porovnania zmeny priemerných denných prietokov pre scenár „zmena nepriepustných plôch“ oproti súčasnému stavu vyplynulo, že zmena všetkých plôch urbanizovaného územia na nepriepustné plochy môže spôsobiť zvýšenie priemerných denných prietokov na celom povodí. Priemerná ročná odtoková výška sa zvýšila o približne 45 mm za rok, čo predstavuje rozdiel oproti súčasnému stavu približne o +10 %. Najvýraznejšie z jednotlivých zložiek odtoku sa zvýšil povrchový odtok, a to o 66 mm za rok (+96 % oproti súčasnému stavu). Podpovrchový odtok sa pritom nepatrne znížil, a to o -4 mm za rok (-3 % oproti súčasnému stavu) a znížil sa aj podzemný odtok, a to o -18 mm za rok (-7 % oproti súčasnému stavu).

Z porovnania zmeny priemerných denných prietokov pre scenár „zatrávnenie ornej pôdy“ oproti súčasnému stavu vyplynulo, že pri tom scenári možno očakávať pokles odtoku, ktorý sa prejavil v poklese priemerných denných prietokov v jednotlivých mesiacoch aj v celom roku, ako aj v poklese priemernej ročnej odtokovej výšky. Celková priemerná odtoková výška sa znížila o 32 mm, čo

predstavuje pokles oproti súčasnému stavu o -7%. Tento pokles spôsobil najmä pokles povrchového odtoku, ktorého priemerná ročná odtoková výška sa znížila o 37 mm (-53 % oproti súčasnému stavu). Ostatné zložky odtoku sa zmenili len veľmi nepatrne.

Z porovnania zmeny priemerných denných prietokov pre scenár „zmena zalesnenie kritických hydrotopov“ oproti súčasnému stavu vyplynulo, že pri tomto scenári sa zmena odtoku takmer neprejavila. Zmeny celkovej priemernej ročnej odtokovej výšky sa prejavili v jej znížení oproti súčasnému stavu asi o 5 mm, čo predstavuje zníženie asi -1 % oproti súčasnému stavu. Uvedené výsledky sú spôsobené tým, že kritické oblasti (vysoké sklony svahov, nepriepustné pôdy) sú na povodí horného Hrona prevažne zalesnené, a preto uvedený scenár je veľmi podobný súčasnému stavu na povodí.

6. ZÁVER

Prezentované výsledky ukazujú na možnosti využitia hydrologického modelovania s priestorovo rozčlenenými parametrami pri analýze odtoku a jeho zmien pri rôznom manažmente povodia, vyjadrenom spôsobom využívania územia. Takýto prístup je možné využiť v integrovanom manažmente povodia, a to najmä pri organizovaní spôsobu využívania povodia a posudzovaní jeho vplyvu na odtokové procesy. Zmena odtoku sa dá vyjadriť porovnávaním priemerných denných, mesačných, ako aj ročných prietokov, ich štatistických charakteristík, ako aj priestorovým rozložením odtoku. Okrem toho je možné zhodnotiť aj zmeny jednotlivých zložiek odtoku – povrchového, podpovrchového a podzemného a zmeny zložiek prvkov hydrologickej bilancie, ako je evapotranspirácia a infiltrácia.

Na druhej strane, pri využívaní výsledkov distribuovaného hydrologického modelovania je potrebné uvedomiť si aj mnohé neistoty uvedeného prístupu, ktoré treba v integrovanom manažmente povodia zohľadňovať. Spoľahlivosť výsledkov modelu veľmi úzko súvisí s disponibilnými vstupnými údajmi, s mierou schematizácie hydrologických procesov v modeli, s parametrizáciou vlastností prostredia v simulovaných fyzikálnych procesoch a s určením dostatočne spoľahlivých fyzikálnych, ako aj kalibrovaných parametrov modelu.

Uvedený prístup predstavuje len časť možností, ktoré v integrovanom manažmente povodí ponúka využitie modelov a integrovaných systémov. S ohľadom na v článku dokumentovaný zahraničný vývoj, existenciu veľkého množstva modelovacích nástrojov v oblasti integrovaného manažmentu povodí by pre zlepšenie situácie na Slovensku bolo v prvom rade potrebné vyjasniť pojem a záber integrovaného manažmentu povodí a legislatívne ho zakotviť, vrátane zodpovednosti jednotlivých organizácií činných vo VH a súvisiacich sektoroch. Ďalej by bolo potrené vybrať okruh nástrojov (modelov) potrebných pre podporu realizácie integrovaného manažmentu, resp. plánovacích procesov vo vodnom hospodárstve a v pilotných povodiach preveriť výpovednú schopnosť týchto nástrojov v našich fyzicko-geografických podmienkach. Pri nasadení modelov alebo nástrojov by bolo vhodné zamerať sa najskôr na nástroje, s ktorými už sú u nás čiastočné skúsenosti, t.j. na zrážkovo-odtokové a hydraulické modely s rozčlenenými parametrami na hodnotenie vplyvu využívania územia na hydrologický režim a na obdobné modely hodnotenia kvality vôd. Následne sa bude treba pripraviť na nasadenie modelov v oblasti integrovaného hospodárenia s vodou na báze povodí, ktoré sa u nás zatiaľ v plánovacom procese vôbec neuplatnili, uskutočniť ich pilotné testovanie pre úlohy, ktoré vyplynú z vyjasnia zodpovednosti a úloh jednotlivých organizácií činných vo vodnom hospodárstve a súvisiacich sektoroch.

Poďakovanie
Autori ďakujú agentúre VEGA za podporu grantu 2/5056/25 a Agentúre na podporu vedy a techniky za podporu projektu APVT-51-017804.

7. LITERATÚRA

Ballweber, J.A. (1995): Prospects for Comprehensive, Integrated Watershed Management Under Existing Law. Water Resources Update, Universities Council on Water Resources, Issue No. 100, 19-23.

Bulkey, J.W. (1995): Integrated Water Management: Past, Present and Future. Water Resources Update, Universities Council on Water Resources, Issue No. 100, 7-18

Deyle, R.E. (1995): Integrated Water Management: Contending With Garbage Can Decision making in Organized Anarchies. Water Resources Bulletin, AWRA, Vol. 31, No. 3, 387-398.

DHI (1996): NAM - MIKE 11. Documentation and User's Guide. Danish Hydraulic Institute, 50 s.

La Jeunesse, I., Rounsevell, M., Vanclooster, M. (2003): Delivering a decision support system tool to a river contract: a way to implement the participatory approach principle at the catchment scale? Physics and Chemistry of the Earth, 28, 547-554.

Mitchell, B., ed. (1990): Integrated Water Management: International Experiences and Perspective, Belhave Press, London.

Refsgaard, J.CH. (2001): HarmoniQuA. State-of-the-Art Report on Quality Assurance in modeling related to river basin management. Contract EVK2-CT201-00097.

Water Strategy Man, EVK1-CT-2001-00098. (2003): Deliverable 10. Report on models, tools and DSS for water management. Progea s.r.o.

Szolgay, J., **Hlavčová, K., Kohnová, S., Kubeš, R., Zvolenský, M., Papánková, Z., Horvát, O.** (2004): Analýza možných zmien odtoku zo zrážok a topenia sa snehu na povodí rieky Hron vplyvom využívania územia a jeho retenčných vlastností. Záverečná správa. SvF STU, Bratislava, 132 s.

Thomas, J. S., Durham, B. (2003): Integrated Water Resource Management: looking at the whole picture. Desalination, 156, 21-28.

Van Waveren, R.H., Groot, S., Scholten, H., Van Geer, F.C., Wösten, J.H.M., Koeze, R.D. and Noort, J.J. (2000): Good Modelling Practise Handbook, STOWA Report 99-05, Utrecht, RWS-RIZA, Lelystad, The Netherlands. http://waterland.net/riza/aquest

Wang Z., Batelaan, O., De Smedt, F. (1996): A distributed Model for Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere (WetSpa). Phys. Chem. Earth, 21(3): 189-193.

PŘÍSPĚVEK PROJEKTU TRANSCAT PRO INTEGROVANÝ MANAGEMENT POVODÍ V POHRANIČNÍCH OBLASTECH

Jiří Horák, Jan Unucka, Josef Stromský, Antonín Orlík

Hlavním cílem projektu TRANSCAT (Integrated Water Management of Transboundary Catchments) je vytvoření operativního a integrovaného komplexního systému podpory při rozhodování, který by měl prospět optimálnímu managementu vodního hospodářství v příhraničních povodích v kontextu zavádění Rámcové směrnice EU pro vodní politiku. Pilotními oblastmi projektu jsou povodí Bělé (číslo 2-04-04, III. řád, pravostranné přítoky Kladské Nisy v Jeseníku), horního toku Vltavy (Šumava), Pasviku (Norsko – Rusko), Guadiany (Španělsko – Portugalsko) a Mesta/Nestos (Bulharsko – Řecko).

V rámci projektu byl vytvořen distribuovaný a platformně nezávislý systém TDSS, který pracuje v prostředí Internetu s využitím Open Source technologií jako je např. University Minessota Map Server v roli mapového serveru.

TDSS staví na otevřené a plně distribuované architektuře. Pro podporu integrovaného rozhodování v pohraničních oblastech je schopen využít různé typy dat a plnohodnotně pracuje s jejich jazykovými verzemi. Evidence a správa dat je podpořena uloženými metadaty, všechny parametry nastavení aplikace jsou uloženy v databázi a to dovoluje snadno modifikovat a upravovat vzhled a činnost výsledné aplikace.

TDSS může být využit při operativním i strategickém řízení; je schopen poskytovat řadu aktuálních informací pro rozhodování (mapy, hyperlinky, informační panely).

TDSS se rovněž snaží integrovat GIS, hydrologické (HEC-HMS, GRASS GIS), hydrogeologické (MODFLOW) a geoekologické modely v jednotném systému. Předpokládá výstavbu a kalibraci jednotlivých modelů a jejich zapojení do sítě, která bude umožňovat řízené využívání těchto modelovacích nástrojů při široce orientované podpoře rozhodování. Novou kvalitu modelování nabízí integrovaný systém v možnosti využití vzájemné interakce jednotlivých modelů.

Vedle toho nabízí TDSS vazbu i na systémy podpory rozhodování pracující komplexním způsobem nejenom s hydrologickými, ale i s ekonomickými, demografickými či ekologickými faktory. Takovým nástrojem je např. mDSS z evropského projektu MULINO, které využívá DPSIR metodiku. TDSS zde podporuje rozhodování v konceptuální, návrhové i výběrové fázi.

Klíčová slova: vodní hospodářství, přeshraniční povodí,OpenSource, distribuovaná architektura,hydrologické modelování, systém pro podporu rozhodování

The TRANSCAT Project Contribution to Integrated Water Management of Transboundary Catchments. *The main goal of the TRANSCAT project (Integrated Water Management of Transboundary Catchments) will be to create an operational and integrated comprehensive Decision Support System (DSS) for optimal water management of catchments in borderland regions, in context of the implementation of the EU Water Framework Directive.*

Pilot areas for the project are Bela catchment (Czech - Poland), high part of the Vltava river catchment (Sumava), Pasvik catchment (Norway – Russia), Guadiana catchment (Spain – Portugal) and Mesta/Nestos catchment (Bulgaria – Greece).

It was developed the distributed and platform independent system TDSS, running in Internet environment using Open Sources technologies, like University Minnesota Map Server in the role of map server.

TDSS is based on open and fully distributed architecture. To support of integrated management in transboundary catchments, it is able to utilise different types of data and deal with their language versions. The evidence and data management is supported by stored metadata, all parameters for setting of the application are stored in the database and it allows to easy modify the design and functionality of the resulting application.

TDSS can be used during the management on both operational and strategic levels; it is able to provide the set of actual information needed for decision taking (maps, hyperlinks, info-panels etc.).

TDSS is aimed to integration of GIS, hydrologic (HEC-HMS, GRASS GIS), hydrogeological (ModFlow) and geo-ecological models in the unified system. The construction and calibration of individual models are assumed, their integration into the network, which will enable the controlled application of these modelling tools in widely oriented decision support. The new quality of modelling is offered on the base on mutual integration individual models.

TDSS also offers the connection to decision support systems working complex way not only with hydrologic but also with economic, demographical or ecological factors. Such tool is e.g. mDSS (MULINO project), which applies DPSIR methodology. TDSS supports her the decision taking in conceptual, design and choice phases

PROJEKT TRANSCAT

Hlavním cílem projektu TRANSCAT (Integrated Water Management of Transboundary Catchments) je vytvoření operativního a integrovaného komplexního systému podpory při rozhodování, který by měl prospět optimálnímu managementu vodního hospodářství v příhraničních povodích v kontextu zavádění Rámcové směrnice EU pro vodní politiku.
TRANSCAT je projektem 5.rámcového programu EU řešeným v letech 2003-2006, na kterém se podílí 12 partnerů z 8 zemí. V rámci projektu je vymezeno 5 pilotních oblastí: povodí Bělé (číslo 2-04-04, III. řád, pravostranný přítok Kladské Nisy v Jeseníku), horní tok Vltavy (Šumava), Pasvik (Norsko – Rusko), Guadiana (Španělsko – Portugalsko) a Mesta/Nestos (Bulharsko – Řecko). Základní informace o projektu TRANSCAT je možné nalézt na webových stránkách http://www.transcat-project.net/, vývoj systému a jeho uživatelé je popsán v (Horák J. et al. 2004).

TRANSCAT DSS (TDSS) staví na otevřené a plně distribuované architektuře. Pro řešení byla zvolena internetová technologie, kde základ tvoří mapový server (University Minessota Map Server UMMS). Na straně uživatele se nic neinstaluje a k provozu postačí běžný internetový prohlížeč. O vše ostatní (HW, SW, data, správa systému) se stará poskytovatel služby.

Funkčnost vytvořené klientské aplikace je v oblasti GIS poměrně vysoká. Uživatel musí být schopný nalézt co nejvíce údajů pro potřeby rozhodovacího procesu, data vizualizovat a vyhodnocovat. Přitom by měla aplikace mít jednoduché rozhraní pro koncové uživatele.
Klient nabízí běžné funkce GIS, jako např. zobrazování mapových vrstev, zvětšování a zmenšování, posun, definice měřítka, vyhledávání a kurzorový dotaz, navíc i automatické popisování vrstev.
Rozhodně by to ale neměl být jen vizualizační nástroj, ale systém propojený s modelovacími nástroji pro podporu rozhodování především v oblasti vodního hospodářství.

TDSS se snaží integrovat GIS, hydrologické, hydrogeologické a geoekologické modely v jednotném systému. Předpokládá výstavbu a kalibraci jednotlivých modelů a jejich zapojení do sítě, která bude umožňovat řízené využívání těchto modelovacích nástrojů při široce orientované podpoře rozhodování. Novou kvalitu modelování nabízí integrovaný systém v možnosti využití vzájemné interakce jednotlivých modelů.
Vedle toho nabízí TDSS vazbu i na systémy podpory rozhodování pracující komplexním způsobem nejenom s hydrologickými, ale i s ekonomickými, demografickými či ekologickými faktory. Takovým nástrojem je např. mDSS z evropského projektu MULINO.

Vzhledem k zaměření systému je možné se napojovat i na aktuální meteorologické a hydrologické informace (především předpovědi a varování).

TDSS může být díky výše uvedeným vlastnostem využit při operativním i strategickém řízení vodního hospodářství.

SPECIFIKA SYSTÉMU PRO PŘESHRANIČNÍ OBLASTI

TDSS byl jako distribuovaný systém navržen zejména s ohledem na prostředí, v němž měl být implementován. Tímto prostředím jsou přeshraniční povodí, kde je třeba uspokojovat řadu požadavků, v běžných informačních systémech těžko řešitelných.

Problémy můžeme rozdělit do několika skupin:

1) rozdílný jazyk a znaková sada
2) datová nekompatibilita
   - rozdílné formáty dat
   - rozdílné souřadnicové systémy a zobrazení
   - rozdílná sémantika
3) rozdíly v kartografických a informačních zvyklostech

ad 1) Prvním zjevným problémem je jazyková bariéra mezi uživateli zúčastněných stran. Přesto, že v normálně fungujících pohraničních oblastech jsou tyto bariéry dlouhodobě snižovány díky spolupráci obou (či více) stran, není možné spoléhat, že budou uživatelé dobře rozumět druhé straně a to může být zásadní např. při krizových situacích, pokud má systém i k takovým účelům sloužit.

Vzdálené řešení může být v použití automatizovaných překladačů, v současnosti a v blízké budoucnosti však za jediné spolehlivé řešení považujeme tlumočnické překlady. Tento závěr nás vedl k návrhu systému, který nespoléhá na překlady on-the-fly (tedy průběžné překládání termínů a textů během práce aplikace), ale ukládání více jazykových mutací ke každému textu, kde to může být zapotřebí. Tyto další jazykové verze jsou naplňovány off-line, ať už s pomocí automatických překladačů (což nevyužíváme) nebo tlumočnicky.

To vede samozřejmě k problémům jak v datové struktuře tak i vlastního ovládání aplikace.

Ukládání jazykových verzí musí být samozřejmě řešeno správně i s ohledem na používanou znakovou sadu.
Připravené multijazyčné prostředí je schopno adekvátním způsobem publikovat data (ať už běžná či prostorová) v různých jazycích, řeší ale také jejich integritu, relevantnost a korektnost. Vytvořené prostředí dovolí i řešit samostatně některé problémy spojené s lokalizací dat, především překlady a verifikace.

ad 2) Datová nekompatibilita se v nejjednodušší formě projevuje rozdílnými formáty dat. Zpravidla není problémem najít způsob transformace datových souborů, nemusí se to ale dařit se 100% zachováním informací (např. texty v CAD systémech). Rovněž transformace rozdílných datových typů při změně databázového prostředí vede ke stejným závěrům.

V projektu TRANSCAT zatím největším problémem bylo zpracování tzv. SOSI souborů (národní standard prostorových dat Norska, formát Norské kartografické služby).

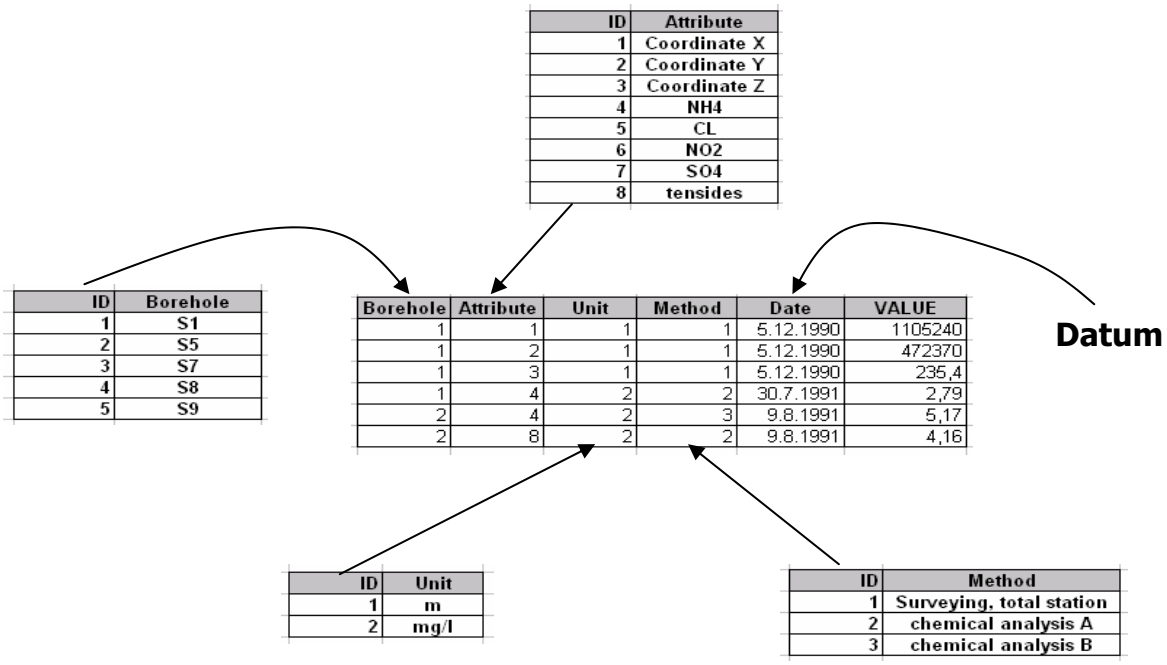
Druhý v pořadí z hlediska náročnosti je problém rozdílných souřadnicových systémů, které popisují lokalizaci prostorových dat. Je známo, že většina především evropských zemí používá své národní souřadnicové systémy. Česká a Slovenská republiky používají nadále S-JTSK, který je velmi specifickým systémem, u kterého není jednoduché provádět transformace do a z jiných systémů. V případě centralizovaného přeshraničního systému je nezbytné data transformovat do jednoho systému, což ovšem není příliš výhodné pro místní uživatele, kteří jsou nuceni se dívat na geografická data na své straně v jiném systému než na jaký jsou zvyklí a především tím ztrácí možnost integrace s jinými národními systémy.

Systém TDSS k zachování kompatibility lokálně ukládá geografická data a zobrazuje ve WGS-84/NUTM33. Vzdálená geografická data (tedy uložená na jiném serveru) jsou dostupná především pomocí služby WMS (web mapping services) a před zobrazením na pozadí jsou transformována do systému WGS-84/NUTM33 pomocí programové knihovny PROJ 4.

Nejhorší problém představuje řešení rozdílné sémantiky dat. Na tento problém poukazuje řada teoretických prací a zabývá se jím i několik aktuálních evropských projektů (např. HarmonIT http://www.harmonit.org/).
V systému TDSS se nepokoušíme unifikovat data při jejich sběru, ale naopak se snažíme, aby při pořizování dat byla tato zapsána v primární, co nejméně změněné podobě a současně aby se zapisovala řada metadat, která umožňují následné správné využití dat. Kromě jiného jsou tato metadata také základem pro provádění unifikace dat, pokud je jí z důvodu přeshraniční analýzy zapotřebí.

Data jsou uložena v datovém skladu s multidimenzionální strukturou. To umožňuje zapisovat měřená data s plnými metadaty, popisujícími kdy, kde, co a jak bylo měřeno (obr.1). Plná sestava dimenzí zahrnuje:

- čas (datum a čas)
- metoda (např. identifikace analytické metody)
- datová sada (potřebné kvůli vazbě na plná metadata, copyright)
- jednotka měření
- kvalifikátor (=, >,<, stopy apod.)
- hodnocení neurčitosti
- klasifikační schéma (v případě ukládání kódů hornin, typů vrstev, půdy, vegetace, apod.)
- zdroj
- jazyk



Obr.1 Princip ukládání dat v multidimenzionální struktuře

Vzniklá struktura je sice relativně málo srozumitelná pro běžného uživatele, ale má řadu výhod při přístupu aplikace k datům a především jsou data zachována v podobě, která by neměla omezovat budoucí využití.

ad 3) Je potřebné si uvědomit, že multinárodní systém (tento termín považujme za vhodnější než nadnárodní, který vyvozuje představu unifikovaného systému, např. s jedním „univerzálním“ jazykem) není možné omezit jen na řešení jazykové stránky věci. Každý stát a dokonce i řada komunit má určité zvyklosti, které očekává, že bude používaný systém také mít. Dobrým příkladem mohou být třeba kartografické zvyklosti, kdy se určitými značkami vyznačují významné objekty v terénu. Pokud máme hovořit o multinárodním systému, je potřebné, aby systém zobrazoval uživateli symboly, na které je zvyklý.

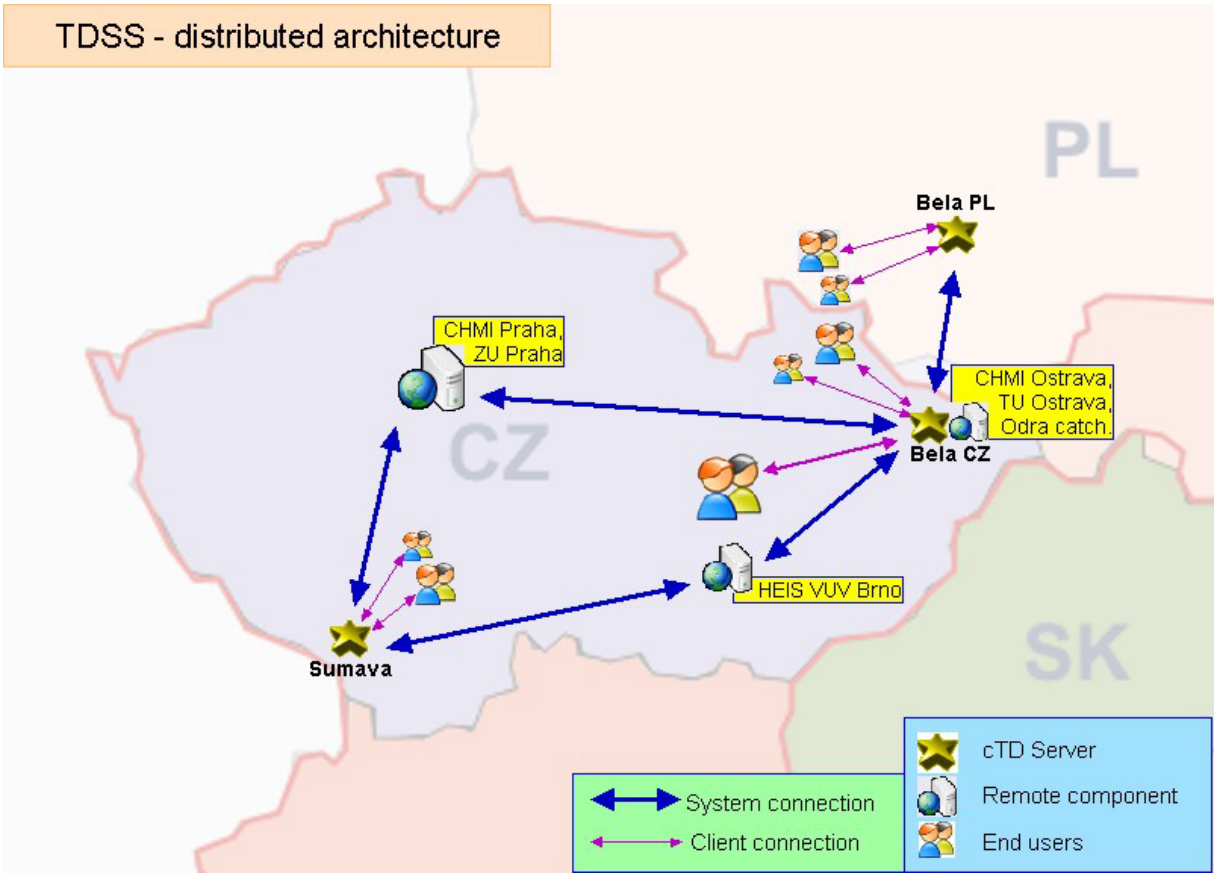
Pravděpodobně bychom mohli nalézt i jiné případy „národního“ prostředí, které zobecňujeme jako informatické zvyklosti.

Systém TDSS je plně konfigurovatelný v tomto směru a je možné nastavit jednotlivým skupinám, či celému národnímu prostředí, preferované způsoby zobrazení, včetně jiných symbolů. Tento rys je popsán při dynamickém generování systému.

DOSTUPNOST DAT

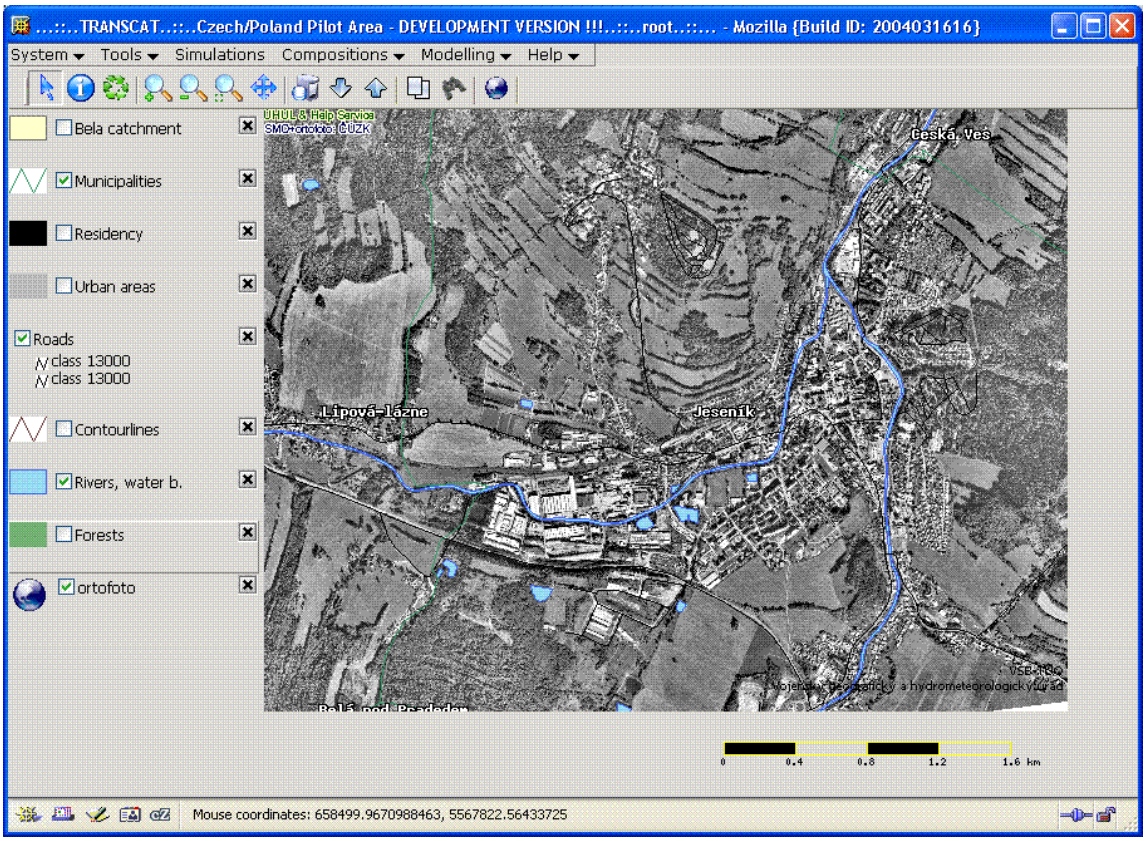
Autoři jsou si vědomi četných problémů se zdroji potřebných dat, s jejich cenou, autorskými právy, dostupností a aktuálností.
Významnou změnu v tomto směru (minimálně v dostupnosti a standardizaci pravidel poskytování) by měl přinést evropský projekt INSPIRE (viz např. Dufourmont et al. 2004).

Tato problematika je v návrhu systému řešena právě distribucí jednotlivých komponent (uzlů) v síti Internet. Umístění softwarových komponent tak reflektuje rozložení organizací v této síti a umožňuje zpřístupňovat, publikovat či dále užívat data a informace z nich extrahované, aniž by musela původní data opustit organizaci, ke které jsou právně vázána.
Centrální komponenta systému je pak vždy umístěna do organizace schopné personálně a technicky garantovat její provoz (v současnosti VŠB-TU Ostrava, Správa národního parku Šumava, Polská akademie věd).



Obr.2 Princip distribuovaného systému v současné implementaci

Systém tato vzdálená data poskytuje prostřednictvím mapových služeb (především WMS https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=8798).



Obr. 3 Ortofoto jako WMS vrstva (vzdálená data, poskytnutá servem UHUL)

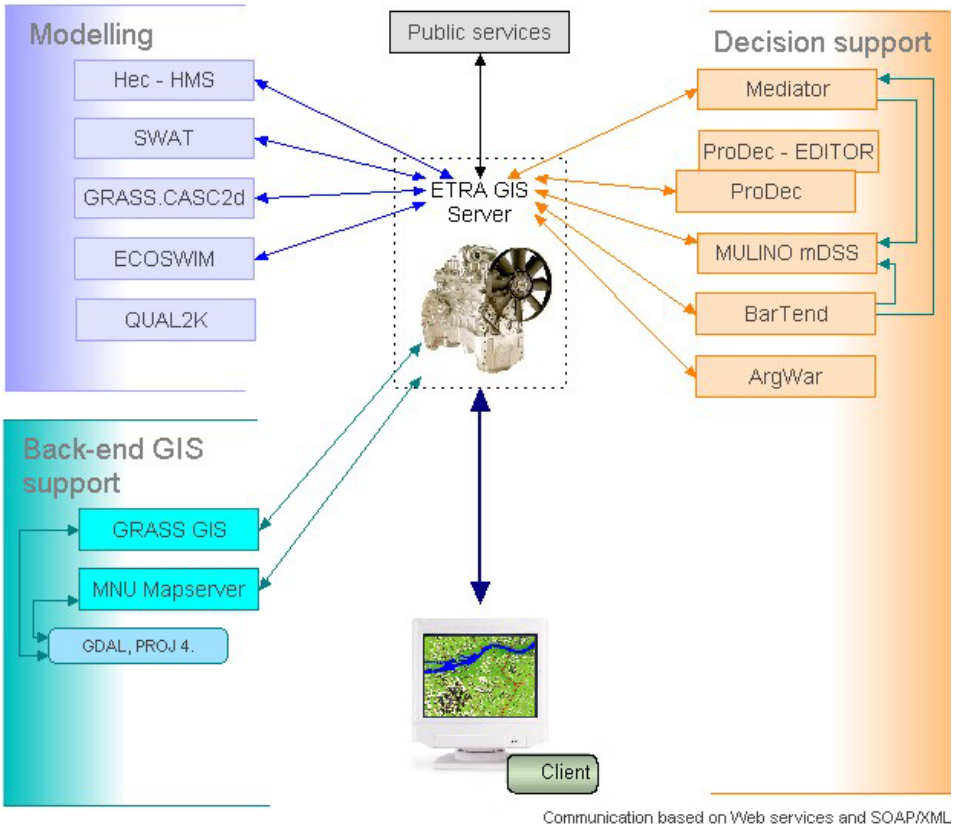
V rámci České republiky lze takto uvažovat perspektivně o využití služeb

- geoportál ČUZK (http://geoportal.cuzk.cz/),
- dálkový přístup ke katastru nemovitostí (http://www.cuzk.cz),
- portál veřejné správy (http://portal.gov.cz/wps/portal)
- mapové služby ePUSA (administrativní hranice) (http://www.epusa.cz),
- mapový server České informační agentury životního prostředí (http://geoportal.cenia.cz),
- mapový server VUV (http://heis.vuv.cz/),
- mapový server UHUL (http://www.uhul.cz/carto/) (viz obr. 3)

Kromě mapových podkladů systém nabídne odkazy na legislativní dokumenty (nebo odkazy na příslušné portály, jako portál veřejné správy) a také odkazy na místní vyhlášky, projekty, publikované místní samosprávou, příp. státní správou.

ARCHITEKTURA SYSTÉMU

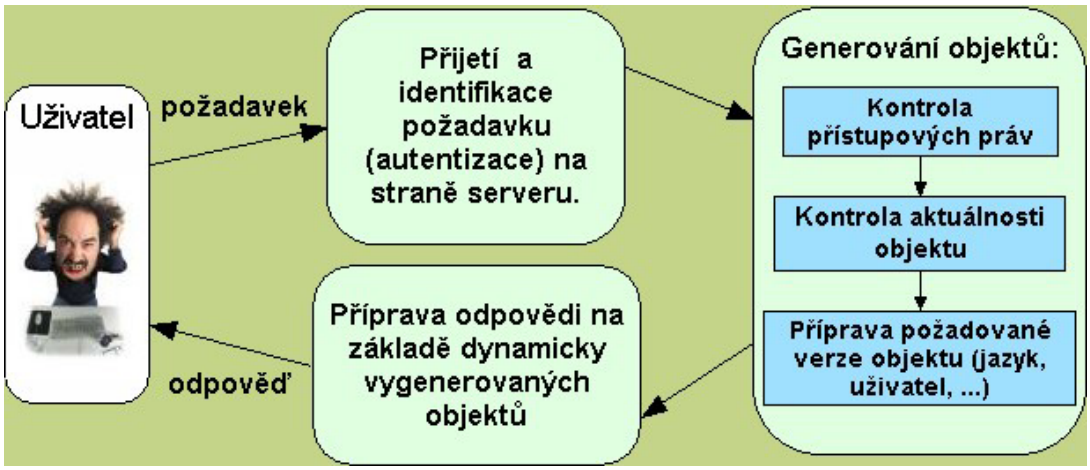
Systém TDSS byl vybudován integrací distribuovaného geografického informačního systému s řadou výkonných systémů pro podporu v rozhodování, modelovacích serverů (především hydrologických a hydrogeologických), datových skladů a relevantních informačních služeb. K tvorbě distribuovaného GIS byl využit systém ETRA GIS (jehož vývoj je z velké části veden v rámci projektu TRANSCAT) sloužící k tvorbě právě takto orientovaných informačních systémů. Představuje centrální prvek integrující komponenty distribuované v síti.



Obr. 4 Architektura TDSS

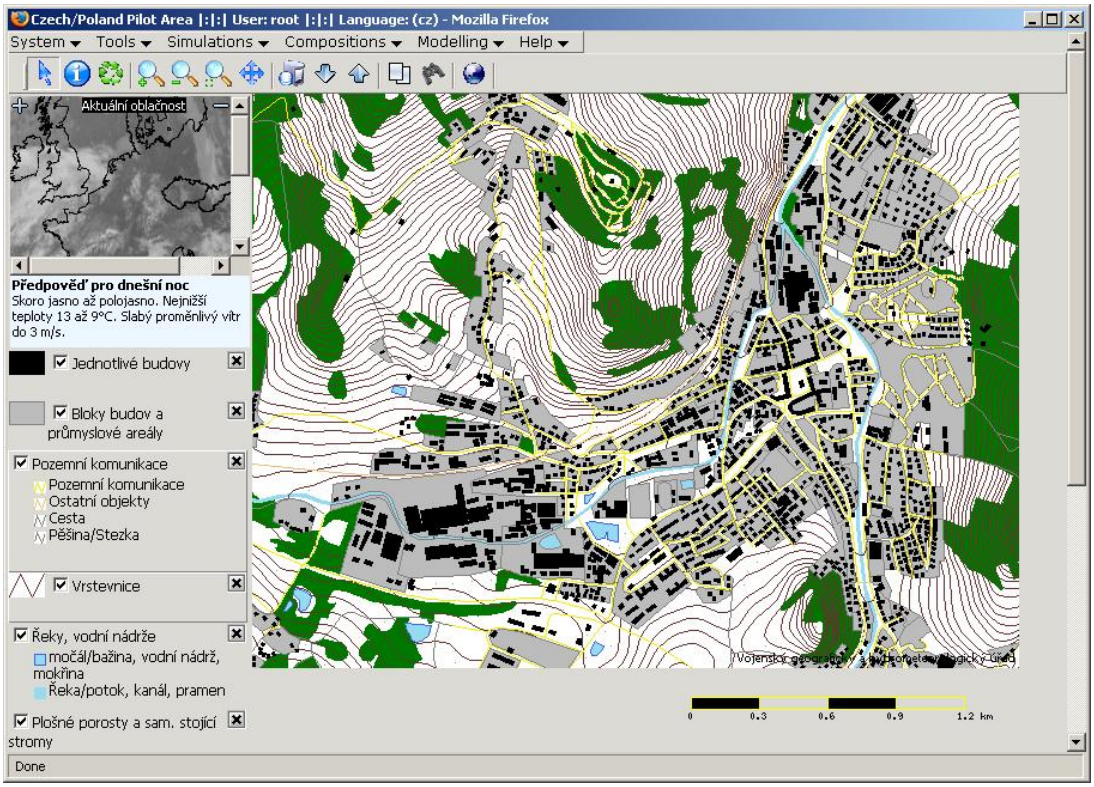
ETRA GIS (Extensible gisToolkit with Remote Access) zajišťuje komunikaci s mapovým serverem a databázovým rozhraním realizujícím ukládání, správu a výběr objektů na požádání (objektově relační mapování systému řízení báze dat). Toolkit dále zásadně rozšiřuje možnosti mapového serveru (UMMS), zejména v oblasti metadat, definice a autorizace uživatelů, multijazyčnosti atd.

Další podstatnou vlastností je schopnost dynamického generování vzhledu klientské aplikace. Znamená to, že klientská aplikace je dynamicky vytvořena v závislosti na právě přihlášeném uživateli a jeho přístupových právech, roli v systému, zvoleném jazyce (gisToolkit pak požaduje od datového skladu a vzdálených komponent data v tomto jazyce) a aktuálním datu (gisToolkit kontroluje, zda-li jsou požadovaná data ke konkrétnímu datu platná).



Obr. 5 Princip dynamického generování odpovědi klientské aplikace

Dynamické generování vzhledu klientské aplikace je důležité pro plné přizpůsobení pro předpokládané využití systému různými skupinami uživatelů. Ty se budou lišit různými požadavky na funkčnost, způsobem zobrazení vybraných geoprvků (např. podnik Povodí bude používat více technického způsobu zobrazení než uživatel z vodoprávního úřadu).
Tento rys nabývá zásadního významu při zajištění hladké přeshraniční komunikace – způsob zobrazování geografických vrstev, jejich pojmenování, volba atributů může být definována i v závislosti na jazykovém a kulturním prostředí.



Obr. 6 ETRA GIS Web klient

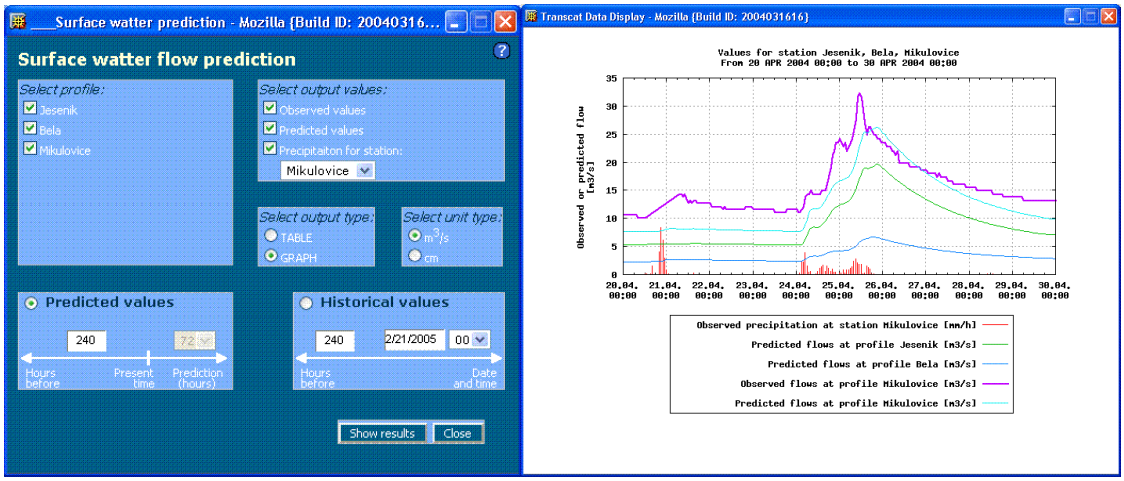
Většina dat, se kterými systém pracuje, má prostorový charakter, proto je základní funkcí zobrazení mapového okna, vizualizace geografických vrstev a běžné funkce pro práci s interaktivní digitální mapou (dokumentovány např.v Horák J., Owsinski J.W. (2004)). Méně obvyklou je funkce popisování vrstev, která do mapy vloží popisky pro vybraný atribut a nastavení. Připravená nastavení je možno uložit jako mapovou kompozici (a opět k ní definovat práva jako k ostatním objektům).
K dotazování připojených atributových dat je k dispozici kurzorový nástroj, kde je možné definovat (a opět plně personalizovat), které atributy a v jakém jazyce se mají konkrétnímu uživateli zobrazovat při kliknutí do mapy.
Větší možnosti nabízí nástroj pro vyhledávání, který zobrazí seznam dostupných atributů pro vybranou vrstvu včetně operátorů SQL pro konstrukci dotazu a přesné zadání hledané podmínky.
Dále umožňuje zobrazovat vybrané informace v informačním okně – typicky výřez snímku nebo předpověď počasí pro dané stanice či oblast.
Pro demonstraci využití systému jsou k dispozici simulace, které ukazují např. použití v případě modelování transportu kontaminace ve vodě, postupové doby kulminačních průtoků, odtávání sněhu, změna čerpání podzemní vody, havárie s kontaminací podzemní vody, hodnocení zranitelnosti území, hodnocení ekologické kvality v rámci WFD a další.
V provozu jsou již vybrané funkce, které využívají především připravený srážkoodtokový model. Jde o předpověď průtoku na několik dní dopředu, povolování odběru vody v tomto období a doplňkově zobrazování informací o profilech na vodním toku a sledování srážek z radaru.

Jak již bylo uvedeno, srážkodtokový model byl připraven v prostředí HEC-HMS. Program HEC-HMS (http://www.hec.usace.army.mil/default.html) simuluje srážkoodtokové procesy v povodích. Jeho bližší popis a výsledky testování lze najít v Tylčer O. et al. (2004).
Další funkce budou postupně doplňovány. Připravuje se také hydrogeologický model proudění podzemní vody v nasycené zóně pro kvartérní sedimenty u Mikulovic, který bude využívat i simulaci komunikace s povrchovým tokem Bělé. Model je vytvářen v prostředí GMS a využívá podobně jako HEC-HMS preprocessingu dat z ArcGIS.

VYUŽITÍ SYSTÉMU

TDSS představuje systém použitelný pro velké množství koncových uživatelů s různorodými požadavky na činnost systému. Primárně je určen pro podporu rozhodování v oblasti vodního hospodářství. Může být využit při operativním i strategickém řízení.
V rámci operativního řízení poskytuje řadu aktuálních informací potřebných pro rozhodování (mapy, grafy, tabelární data, hyperlinky, informační panely). Jeho významným rysem je propojení s modelovacími nástroji především v oblasti vodního hospodářství (aktuálně HEC-HMS, ModFlow a jednotlivé moduly GRASS GIS).
V oblasti modelování se předpokládá především:

1. Modelování (simulace odtoku a precipitace, sledování změn zásob vody ve vztahu k požadavkům)
2. Modelování proudění podzemní vody v saturované i nesaturované zóně včetně komunikace s povrchovou vodou
3. Modelování transportu kontaminace v podzemní vodě,
4. Modelování proudění v povrchové vodě,
5. Modelování transportu kontaminace v povrchové vodě,



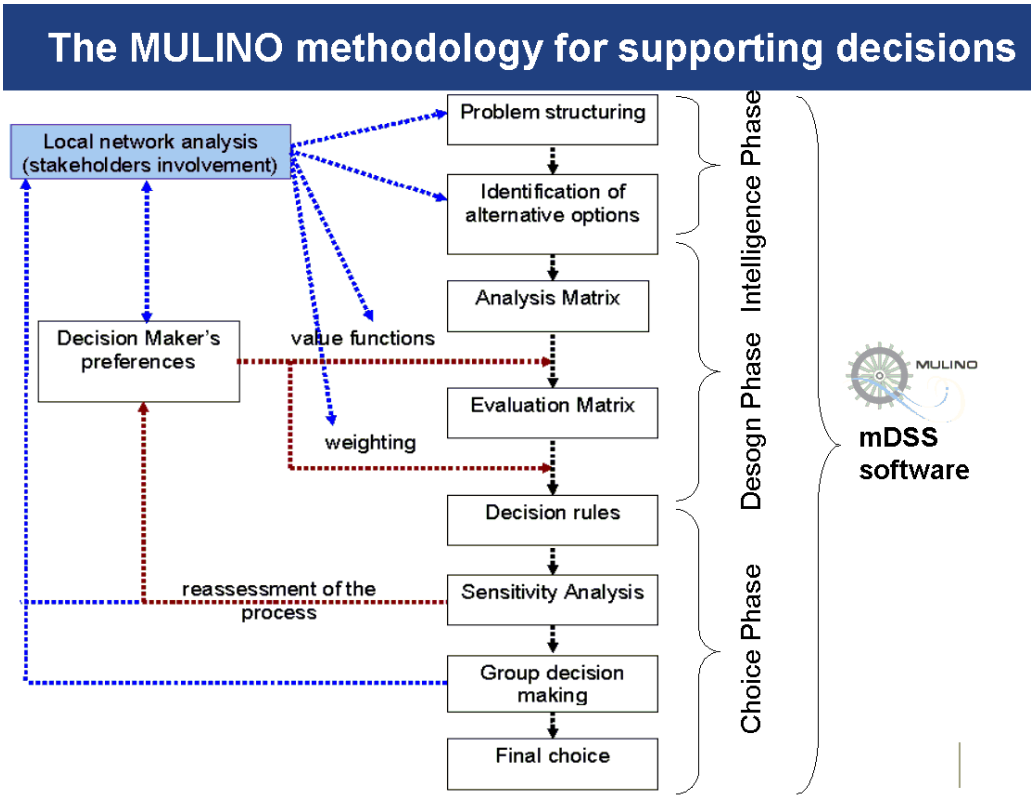
Obr. 7. Grafický výstup z HEC-HMS – historie a predikce průtoku na vybraných profilech

DSS systém by nemohl být plně rozvinout bez integrace specifických aplikací pro rozhodování, které podpoří především oblast strategického rozhodování. Pro tyto systémy je vytvářeno patřičné rozhraní a zajištěna jednosměrná nebo obousměrná komunikace, principielně stejným způsobem jako u modelovacích systémů.
Tyto aplikace slouží typicky při zvažování určitých alternativ aktivit ve sledovaném území a rozhodování, která z nich je vhodnější z hlediska komplexního hodnocení a možných dopadů.
Následující systémy jsou připravovány pro integraci v rámci TDSS:

Systém mDSS je jedním z výstupů projektu MULINO (Multisectoral Integrated and Operational Decision Support System for sustainable use of water resource at the catchment scale), 5.rámcový program EU. Využívá metodiku DPSIR, doporučenou EEA pro environmentální monitoring a reporting. Tato metodika popisuje na konceptuální úrovni

(potřebné pro pochopení vazeb mezi jednotlivými faktory ovlivňující rozhodování) – řídící síly (Driving forces), tlaky (Pressure), stavy (Status), indikátory (Indicators). Jednotlivé aktivity vyvolají příslušné odpovědi (Responses), které zpětně ovlivňují jednotlivé DPSI ukazatele.

Je nasazován v případech výběru mezi konkrétními opatřeními v povodí. K hodnocení alternativ používá multikriteriální analýzu (MCA), která je doplněna citlivostní analýzou a analýzou udržitelnosti režimu řízení. Přiřazené váhy jednotlivým faktorům jsou prověřeny, kombinovány a následně použity ve výpočtu určitého skóre jednotlivých variant. Přitom je podporováno skupinové rozhodování. Více informací je na http://siti.feem.it/mulino/index1.htm.



Obr. 8 Postup metodiky MULINO při rozhodování (http://siti.feem.it/mulino/index1.htm)

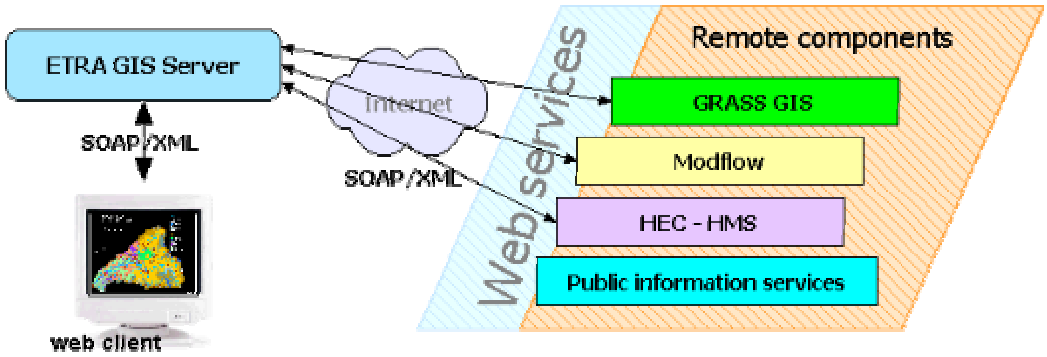
Mediator reprezentuje nástroj pro skupinové rozhodování. Pro zvolený problém je nabízeno několik variant řešení, u kterých uživatel vyjadřuje svoje preference. Tyto preference jsou následně agregovány podle sady pravidel. Systém následně ukáže výsledky agregací při aplikaci různých pravidel a umožňuje iteračním způsobem při vzájemné komunikaci partnerů dospět k cílové variantě (http://oxygene.ibspan.waw.pl/mediator/cgi-bin/mediator.cgi).

ProDec usnadňuje vytváření rozhodovacích stromů a dovoluje aplikovat fuzzy logiku v jednotlivých pravidlech.

BarTend představuje jednoduchou aplikaci pro situace, kdy realizaci a naopak nerealizaci jistých opatření lze finančně hodnotit.

Pro každý modelovací subsystém v rámci TDSS musí být navržen speciální interface (wrapper). Tyto interface jsou vytvářeny v podobě webových služeb a SOAP protokolu, aby byla zajištěna maximální přístupnost a nezávislost jednotlivých částí systému.

Prostřednictvím webových služeb je umožněno připojovat libovolné systémy a výrazně tak rozšiřovat základní možnosti komponenty gisToolkit (obr.9). V konkrétním případě implementace TDSS se jedná o systém GRASS GIS, modelovací platformy Modflow a HEC-HMS a celou řadu hydrologických informačních služeb



Obr.9. - Příklady vzdálených komponent systému

IMPLEMENTACE

V současnosti je systém implementován pro povodí Bělé (číslo 2-04-04) v Jeseníkách (pravostranný přítok Kladské Nisy) na české i polské straně, dále pro oblast Národního parku Šumava (srážkoodtokový model pro oblast horního toku Vltavy nad Lipnem) a pro povodí řeky Pasvik na pomezí Finska, Norska a Ruska. Předpokládají se další implementace pro povodí Guadiana (Španělsko – Portugalsko) a Mesta/Nestos (Bulharsko – Řecko).
Ve spolupráci s ČHMU se řeší způsob zajištění operativního provozu pro české modely.

ZÁVĚR

Systém TDSS je ve vývoji, nicméně je již implementován v pilotních verzích na prvních místech. Architektura systému je otevřená a plně distribuovaná, využívající webových služeb pro různé činnosti.
TDSS byl jako distribuovaný systém navržen zejména s ohledem na přeshraniční prostředí, v němž měl být implementován. Přitom je schopen zabezpečit provoz i v podmínkách rozdílného jazyka a znakových sad, datové nekompatibility a rozdílů v kartografických a informačních zvyklostech
Systém je schopen pracovat nejen s daty uloženými lokálně, ale i uloženými na jiných serverech prostřednictvím webových služeb. Obdobně je systém schopen využívat i služeb (výpočetních modelovacích, vizualizačních apod.) vzdálených strojů. Tohoto principu je také využito při řešení propojení na některé modelovací systémy, především pro řešení úloh modelování proudění podzemní vody v saturované i nesaturované zóně, modelování proudění v povrchové vodě a modelování transportu kontaminace.
Ve vývoji je rozhraní k dalším modelovacím systémům (např. SWAT, ECOSWIM) a především rozhraní pro komunikaci s DSS nástroji pro podporu strategického rozhodování, jako je mDSS, Mediator, Bargain a další.

Adresa prototypu je: http://transcat.vsb.cz
Přístupové jméno guest, heslo guest.

Literatura

Dufourmont H., Annoni A., Groof H (2004).: INSPIRE Work Programme Preparatory Phase. http://www.ec-gis.org/inspire/. 2004, 78 stran.

Horák J., Maršík V., Stromský J., Hanzlová M. (2004): Prototyp TRANSCAT systému pro podporu rozhodování v oblasti vodního hospodářství. In Sbor. ref. konference GIS Seč 2004 9.-11.6.2004, Seč, 2004, 12 s. ISBN: 80-86143-28-7 , ISSN: 1213-4163

Horák J., Owsinski J.W. (2004): TRANSCAT PROJECT AND PROTOTYPE OF DSS. In Proceedings of 10th EC-GIS workshop. http://wwwlmu.jrc.it/Workshops/10ec-gis/papers/25june_horak.pdf. Varšava, Polsko, 23.-25.6.2004. 11 stran.

Tylčer O., Chaussée D., Ďuráková D., Eleftheriadou E., Horák J., Kochanek K., Marsik V., Mieseler T., Owsinski J., Rapantova N., Rubbert T., Unucka J., Vojtek D. (2004): Analysis of selected DSS for the water management. Public report. Projekt TRANSCAT, 5FP, EVK1-CT2002-00124, Ostrava 2004, 134 s.. http://gis.vsb.cz/transcat/ php/archives/english/index.php?lang=cz.

Internetové odkazy

Elektronický portál veřejné správy: http://portal.gov.cz/wps/portal

Elektronický portál územních samospráv: http://www.epusa.cz

Geoportál ČUZK: http://geoportal.cuzk.cz/

Hydroekologický informační systém VÚV T.G.M.: http://heis.vuv.cz/

Informace o dálkovém přístupu do Katastru nemovitostí: http://www.cuzk.cz

Mapový server České informační agentury životního prostředí: http://geoportal.cenia.cz

Mapový server Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů, Brandýs nad Labem
http://www.uhul.cz/carto/

Mediator project: http://oxygene.ibspan.waw.pl/mediator/cgi-bin/mediator.cgi

MULINO projekt: http://siti.feem.it/mulino/index1.htm.

Projekt IT Frameworks – HarmonIT http://www.harmonit.org/

TRANSCAT centrální server: http://www.transcat-project.net/

TRANSCAT VŠB-TU Ostrava: http://transcat.vsb.cz

Web Map Services – specifikace
https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=8798

Autoři

Doc. Dr. Ing. Jiří Horák, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Institut geoinformatiky, 17.listopadu 15, 70833 Ostrava-Poruba, jiri.horak@vsb.cz

Mgr. Jan Unucka, ČHMU, pobočka Ostrava, K Myslivne 3, 70800 Ostrava-Poruba, unuckaj@chmi.cz

Ing. Josef Stromský, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Institut geoinformatiky, 17.listopadu 15, 70833 Ostrava-Poruba, josef.stromsky.hgf@vsb.cz

Ing. Antonín Orlík, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Institut geoinformatiky, 17.listopadu 15, 70833 Ostrava-Poruba, antonin.orlik.hgf@vsb.cz

ZLEPŠENIE PRIRODZENÝCH FUNKCIÍ MŔTVEHO RAMENA TOKU REVITALIZÁCIOU

Ľuboš Jurík, Viliam Bárek, Peter Halaj

Využívanie prirodzených vodných tokov a plôch na Slovensku v posledných desiatich rokoch je stále populárnejšie a atraktívnejšie. Pre využívanie týchto plôch na rekreáciu je podmienené splnením viacerých požiadaviek. K najdôležitejším patrí Európska smernica 76/160/EEC, týkajúca sa kvality vody na kúpanie a jej aplikácie v slovenskej legislatíve. Fyzikálne a chemické ukazovatele spravidla nie sú nadlimitné, problematická je biologická kvalita vody. Praktických skúseností s riešením je na Slovensku málo. Naša práca má za cieľ hľadať riešenia v konkrétnej lokalite.

Kľúčové slová: revitalizácia stojatých vôd, kvalita vody, hydrobiologický rozbor, sapróbny index

Improvement of Natural Functions of Death Stream Segment by Revitalisation. *The utilisation of water streams and areas in Slovakia is more and more popular and attractive in the last ten years. To utilise these areas for recreation is necessary to fulfil more requirements. The most important is the European Directive 76/160/EEC concerning to water quality for swimming and its application in Slovak legislation. Physical and chemical parameters are usually not over limit, the problem is biological quality of water. Practical experiences with solution are usually less in Slovakia. Our goal is to find the solutions in concrete locality.*

Key words: stagnant surface waters revitalisation, water quality, hydrobiological analyse, saprobic index

---

1. ÚVOD

Medzi Komárnom a Sereďou sa na lokalitách v okolí Váhu zachovali v celkove človekom intenzívne využívanej krajine zvyšky jej pôvodných prvkov. Sú to hlavne vodné, mokraďové, lesné i trávovo-bylinné biotopy s charakteristickou, často aj veľmi vzácnou a zraniteľnou flórou a faunou. Svojou činnosťou rieka Váh v rozhodujúcej miere modelovala okolitú časť Podunajskej nížiny. Výsledkom dlhodobého vývoja je súčasný charakter alúvia Váhu, značne poznamenaný zásahmi človeka. V jeho južnej časti má vplyv na prírodné prostredie aj rieka Dunaj.

2. METODIKA PRÁCE

Lokalita mŕtveho ramena sa nachádza severne od mesta Komárno po pravom brehu Váhu. Ide o meander odrezaný od hlavného toku tesniacou hrádzou s 15 cm hrubým ílovitým jadrom, siahajúcou do hĺbky 11 m. Má tvar písmena „Z“, vytvára približne 90^0 uhol, vrchná časť ramena je rozdelená na dve vetvy. Do pravej vetvy ústi prívodný kanál určený na závlahy Žitného ostrova, tzv. Komárňanský kanál, oddelený od mŕtveho ramena dvojitou haťou. Hradiace segmenty hate sú tvorené hradidlovými valcovými doskami s prispôsobeným sedlom na spojenie. Priepustnosť hate je napriek tomu pomerne veľká, kontakt obidvoch hladín a vôd je neustály. Ďalší prítok cudzích vôd do ramena je na južnej časti lokality, a to z kanálu, ktorý zberá drenážne vody z územia medzi novou hrádzou na Váhu a pôvodným ohrádzovaním na okraji mestských hradieb. Tento kanál privádza tiež vody z povrchového splachu po intenzívnych zrážkach.

Prieskumy súčasného stavu kvality vody

Lokalita je využívaná predovšetkým na rekreačné a rybárske aktivity. Kvalita vody je veľmi premenlivá, v minulosti sa prejavili sa nežiadúce vlastnosti vody. Mesto Komárno v záujme zlepšenia možnosti rekreácie v tejto oblasti objednalo niektoré prieskumy zamerané na kvalitu vody. Tieto spolu s prieskumom dna a brehov sú zároveň podkladom pre navrhovanie možných revitalizačných opatrení. Na zistenie súčasného stavu kvality vody boli vykonané tieto prieskumy :

Prieskum brehov a brehových porastov

Prieskumom bolo zistené, že brehy mŕtveho ramena sú na väčšine brehovej čiary nevhodne tvarované. Len veľmi malá časť brehov je prispôsobená rekreácii a vyprofilovaná tak, že súčasne nedochádza

k ich erózii. Časť je porastená krovinami a stromami a časť je voľná, resp. porastená len bylinnými porastami.

Prieskum dna a dnových sedimentov

Pri prieskume sedimentov dna bolo zistené, že rozsah kalov zahŕňa takmer celé slepé rameno. V južnej užšej časti pokrývajú celú plochu s výnimkou asi 3 m od brehu na oboch stranách. Pobrežné časti sú husto porastené dnovými rastlinami vodomoru kanadského (Elodea canadensis) a rožkatca ponoreného (Ceratophylum demersum). Na južnej časti stredného širšieho úseku sa tiahne pás úplne zarastený vegetáciou od jedného brehu po druhý v šírke cca 3 – 5 m. Ďalej nasleduje podobne ako v južnej časti súmerná vrstva čierneho organického kalu v celej ploche. Kal sa nevyskytuje v blízkosti brehov vo vzdialenosti asi 3 – 4 m, brehy sú tiež porastené vodnými rastlinami. V severnej časti ramena je situácia podobná iba v jednej časti, druhá časť smerujúca ku Váhu je plytká a prakticky v celej ploche porastená vodnými rastlinami.

3. VÝSLEDKY

Z odobratých vzoriek kalov z dna mŕtveho ramena bol urobený mechanický rozbor. Vzorky sú zrnitostne rôzne podľa miesta odberu. Z brehových častí sú zrnitostne piesčité až hlinitopiesčité. Vzorky zo stredu sú zložené z jemných hlinitých až ílovitých častíc, s úhrnným obsahom častí I. a II. kategórie od 80 do 90 %. Tomu zodpovedá i súčiniteľ hydraulickej vodivosti k – 0 – 1,05 m.deň$^{-1}$, čo je malá priepustnosť.

Pôvod nánosov je predovšetkým organická hmota z odumretých rias a vodných rastlín, čiastočne premiešaná s ílovitými časticami, odplavenými z brehovej časti vplyvom erózie. Dokazuje to ich takmer čierna farba so svetlejšími škvrnami ílov.

Výsledky prieskumu poukazujú na zaujímavé zvrstvenie sedimentov. Vrchná vrstva je tvorená organickými kalom, pod ktorým je tenšia, asi 7 – 10 cm hrubá vrstva jemných ílovito-hlinitých materiálov. Pod touto je opäť vrstva organického kalu. Možným vysvetlením takéhoto rozloženia vrstiev je povodeň na Dunaji z roku 1965, z ktorej pochádza stredná ílovitá vrstva sedimentu. Tento predpoklad sa dá zdôvodniť tým, že táto vrstva by nemohla do takej hrúbky prirodzene sedimentovať z materiálu brehov mŕtveho ramena ani z jeho blízkeho okolia. Navyše aj vrstva organického kalu pod ňou obsahuje väčšie množstvo častíc I. a II. kategórie. Kvalitu vody v mŕtvom ramene poznačili regulácie na rieke Váh, pri ktorých bolo rameno oddelené od hlavného roku tesniacou hrádzou. Tým mohlo dochádzať k výmene vody len prirodzeným prúdením podzemnej vody cez mŕtve rameno. Avšak vznik dosky ílu na dne počas povodní na Dunaji znemožnil i tento proces výmeny, čo zrejme spôsobilo súčasný stav kvality vody.

Rozbor kvality vody v zmysle STN 75 7221

Rozbor vody bol zameraný na fyzikálno-chemické, mikrobiologické a biologické ukazovatele

Výsledky a ich hodnotenie na základe tejto normy vykazujú značné rozdiely pre jednotlivé skupiny ukazovateľov. Podľa väčšiny fyzikálno-chemických ukazovateľov sa kvality vody v ramene radí do I. a II. triedy kvality. Na rozdiel od fyzikálno-chemických ukazovateľov zaraďujú mikrobiologické ukazovatele vodu v priebehu prieskumu vodu do V. triedy. Toto zaradenie ovplyvňuje najmä veľké množstvo fekálnych a koliformných baktérií stanovených vo vzorke. Ide predovšetkým o baktérie Plesiomonas shigelloides, Citrobacter freundi, Aeromonas sobria, Aeromonas hydrophila, Enterobacter aerogenes, Pseudomonas aeruginosa, Bacillus ceresu, Escherichia coli, E. coli haemolytica a i. Výskyt veľkého množstva týchto baktérií je spôsobený nevhodným zaobchádzaním s odpadovými vodami z priľahlých rekreačných zariadení, domov a chát. Mikrobiologické znečistenie je následkom prieniku splaškových vôd do vôd mŕtveho ramena.

Hydrobiologický rozbor vody

Rozbor vody vykonala Hydrotechnológia s.r.o., Bratislava. Rozbor vody bol zameraný na stanovenie biosestónu a abiosestónu.

Vo vode prevládajú producenti (sinice a riasy. V najväčšom kvantitatívnom zastúpení boli vo vzorkách zelené riasy (Volvox globator) a žltohnedé riasy (Dinobryon divergens). Kým zelené riasy tvoria v niektorých vodách vodný kvet, zatiaľ žltohnedé riasy sú zodpovedné za vegetačné sfarbenie vody. Oba druhy sú z hľadiska rekreácie nevítané tiež preto, že spôsobujú rybací pach vody. Ostatné organizmy nedosiahli počtu 100 v 1 ml. Neprijateľný z nich je ale zástupca siníc rod Phormidium, ktorý je hlavne producent alergénov.

Z hľadiska hydrobiologického má horšiu kvalitu voda v ramene nad dnom. Vo vode nad dnom majú prevahu sinice zastúpené rodom Phormidium, ktoré ešte nemali možnosť v danom ročnom období preniknúť do voľnej vody. Boli zistení aj zástupcovia rodov Aphanizomenom a Microcystis, ktoré môžu v letnom období vytvárať typický vodný kvet, produkujúci toxíny a zhoršujúci pach vody. Zvýšený výskyt siníc v tomto mieste súvisí s ich metabolizmom a s tým, že v zimnom období prežívajú v kľudovom štádiu nad dnom ramena. Vo vode nad dnom sa nenašli zelené riasy, ktorých životný cyklus má iný charakter ako majú sinice. Vo všetkých vzorkách boli okrem siníc a rias z voľnej vody aj zelené riasy zastúpené rodom Spirogyra, Pediastrum a Scenedesmus.

Výsledky hydrobiologického rozboru možno hodnotiť podľa STN 83 0532 Biologický rozbor povrchovej vody. Sapróbny index S zaviedli Pantle a Buck (1955), ktorý zahŕňal 4 triedy saprobity s hodnotami od 1 do 4 vždy ako celé čísla. Nevýhodou bolo, že sa pre každý organizmus predpokladala príslušnosť len k jednému stupňu saprobity. Nevýhodou pôvodnej metódy podľa Pantleho a Bucka i po zlepšení Sládečkovou modifikáciou je fakt, že zanedbáva rôznu indikačnú hodnotu jednotlivých druhov. Indikačná váha druhu vyjadruje číselne, či je organizmus výborný, stredný alebo zlý indikátor saprobity. Na odstránenie tohto nedostatku navrhol Marvan (1969) ďalšiu modifikáciu výpočtu, takže v konečnej forme je vzorec na výpočet sapróbneho indexu takýto :

$$S = \frac{\sum S_i \,.h_i.I_i}{\sum h_i.I_i}$$

kde S_i je individuálny sapróbny index organizmu,
h_i je abundancia daného organizmu v skúmanej vzorke,
I_i je individuálna indikačná váha organizmu.

Tab. 1 Hodnotenie hydrobiologického rozboru vody mŕtveho ramena Váhu na základe výpočtu sapróbneho indexu

Table 1 The evaluation of hydrobiological analyse of water from death stream segment

Voľná voda pod hladinou	Vzorka č. 1	Vzorka č. 2	Vzorka č. 3
Podľa Sládečka	1,9	1,8	1,9
Podľa Marvana	1,9	1,8	1,9
Voľná voda nad dnom	Vzorka č.1	Vzorka č. 2	Vzorka č. 3
Podľa Sládečka	1,8	1,8	2,0
Podľa Marvana	1,8	1,8	2,0

Na základe vypočítaných hodnôt sapróbneho indexu možno vodu mŕtveho ramena klasifikovať do β-mezosapróbneho stupňa čistoty.

Podľa normy STN 75 7221 je voda mŕtveho ramena Váhu najmä v letnom období zaradená do IV. a V. triedy kvality vody. Toto zaradenie ovplyvnil vysoký počet koliformných a fekálnych baktérií. Ich pôvod je v prieniku splaškových vôd z priľahlých rekreačných zariadení domov a chát do vôd mŕtveho ramena. Úpravu tohto stavu nie je možné zabezpečiť vhodným spôsobom vo vode mŕtveho ramena, ak sa vylúči použitie chemických dezinfekčných prostriedkov. Preto je potrebné riešiť tento problém priamo v mieste vzniku. Vhodným riešením sú malé čistiarne odpadových vôd (ČOV).

Návrh revitalizačných opatrení

Príbrežné čistiace zóny

Problémom štrkoviska je i prítok cudzích vôd, ktoré majú rôzny pôvod. Jediným riešením na odstránenie znečistenia z týchto zdrojov je zvýšenie samočistiacej schopnosti vody v mŕtvom ramene. Jednou z efektívnych možností je vytvorenie príbrežných čistiacich zón. Ich účelom je vytvoriť optimálne podmienky na usadenie mikroorganizmov, zabezpečujúcich čistenie vody od organických látok. Konštrukcia čistiacej zóny je z prirodzených materiálov, ktoré sa zabudujú do priestoru v brehovej časti mŕtveho ramena. Najvhodnejšie je použiť porast trste obyčajnej (Phragmites communis), ktorej výskyt je pre lokalitu prirodzený. Plocha týchto čistiacich zón by mala zodpovedať veľkosti znečistenia. Predpokladá sa znečistenie na úrovni cca 130 EO. Na 1 EO je potrebná plocha 3 – 5 m^2. Plocha čistiacich zón by mala byť 390 – 650 m^2. Účelom čistiacich zón bude zachytenie vznikajúceho znečistenia a zabránenie jeho rozširovania do ďalších častí mŕtveho ramena. Účinnosť čistenia sa prejaví v odbúraní organického znečistenia, väzbou výživných látok (N, P) na masu organickej hmoty mokraďných rastlín a čiastočnou elimináciou i rôzneho bakteriálneho znečistenia.

Odstránenie sedimentov z dna

Súčasný stav kvality vody je spôsobený predovšetkým nedostatkom prúdenia vody v ramene. Prečerpávania vody v rámci ramena, alebo vody z Váhu a jej spätné odvádzanie sú energeticky i nákladovo problematické riešenia. Vhodným riešením by preto bolo odstránenie sedimentov z dna, vrátane ílovitej dosky, ktorá svojimi vlastnosťami zamedzuje premiešavaniu povrchovej vody v ramene s prúdiacou vodou podzemnou.

Plocha mŕtveho ramena je 22,9 ha. Priemerná hrúbka sedimentov dna bola zistená 0,9 m. Podľa týchto údajov je teda objem odťaženej hmoty sedimentov 164 880 m^3. Odťažená hmota sa môže použiť na vyrovnanie mnohých terénnych depresií najmä v rekultivovanej časti blízko Váhu. Organické zvyšky sa v aeróbnom prostredí rozložia. Jediným vhodným miestom pre uloženie odťažených sedimentov v blízkosti vodnej plochy mŕtveho ramena je územie na pravom brehu porastené topoľmi a vrbinami.

Zlepšenie kvality vody v ramene biomanipuláciou

K zhoršeniu kvality vody v mŕtvom ramene došlo tiež po výraznom zredukovaní makorfýt bylinožravými rybami. Takto uvoľnené živiny sa začali aktívnejšie využívať fytoplanktónom, najmä sinicami, ktoré sa natoľko premnožili, že vznikol sinicový vodný kvet. Biomanipulácia je cieľavedomé využitie vzťahov medzi jednotlivých zložkami vodného ekosystému tak, aby vytvorená biomasa fytoplanktónu bola nižšia, než odpovedá množstvo živín vo vodnej nádrži. Teoretickým základom pre biomanipulácie je model trofickej kaskády alebo regulácia potravného reťazca zhora. To znamená menej rýb, viac zooplanktónu, menej rias.

4. ZÁVER A DISKUSIA

V mŕtvom ramene Váhu pri Komárne je pre zaistenie kvality vody potrebné :

- Eliminovať počet amurov bielych, ktorých dospelé jedince sú jednoznačne herbivorné, uprednostňujúce mäkké vodné rastliny. Rýchlosťou rastu amur biely ďaleko predstihuje všetky naše druhy rýb, preto sa používa ako biologický likvidátor nadmerného vodného rastlinstva. V tomto prípade pôsobí negatívne, pretože úbytkom vegetácie dochádza k menšiemu odčerpávaniu živín, najmä dusíka, čo sa prejavuje silným rozvojom siníc. Amury je vhodné eliminovať pomocou intenzívneho a neobmedzeného odlovu.
- Uprednostňovať odchov tolstolobikov bielych, ktoré hoci sa v mladosti živia zooplanktónom, veľmi skoro prechádzajú na konzum fytoplanktónu. Tým sa líši od našich rýb, ktoré fytoplanktón prakticky nevyužívajú. Je vhodný do nadmerne eutrofizovaných vôd i nádrží s rekreačným využitím a prejavuje sa minimálnou konkurenciou voči ostatným druhom.
- Rybiu obsádku doplniť o vyšší podiel dravcov, ktoré žijú v nenarušených prírodných podmienkach.
- Udržiavať optimálny pomer medzi dravcami a ostatnými rybami.

Úprava brehov ramena

Toto opatrenie je veľmi potrebné, keďže väčšina brehov je silne erodovaná. Erozny odnos spôsobuje zanášanie dna, vytvárajú sa plytké miesta s nadmerným rozvojom vodného hmyzu, najmä komárov. Úprava by pozostávala z prečistenia a svahovania do sklonu 1 : 5 (1 : 6), zahumusovania a zatrávnenia. V určitých miestach by bolo možné povrchovo upraviť brehy štrkopieskom, pričom vrchnú vrstvu by tvorili zrná s veľkosťou 4 – 16 mm, spodnú vrstvu zrná 0 – 32 mm.

Literatúra

Gábriš, Ľ. A kol.(1998): Ochrana a tvorba životného prostredia. 1. Vyd. SPU Nitra, 1998, 461 s. ISBN 80-7137-506-3.

Hartman, P., Přikryl, I., Štědronský, E. (1998): Hydrobiologie. 1. Vyd. Praha : Informatorium, 1998. 335 s. ISBN 80-860 73-27-0.

Heteša, J., Sukop, I. (1994): Ekologie vodního prostředí. Brno: VŠZ, 1994. 132 s. ISBN 80-7157-131-8.

Holobradý, K., Chraneková, E., Vollmanová, A. (1991): Chémia vody. SPU Nitra, 1991, s. 80.

Hyánek, Ľ. et al. (1991): Čistota vôd. Bratislava : ALFA, 1991, s. 264. ISBN 80-05-00700-0.

Jurík, Ľ. (2000): Trvalo udržateľné vodné hospodárstvo a čistota vody. In : Využitie vodných zdrojov v poľnohospodárskej krajine a ich kvalita – odborný seminár ÚKIS Bratislava, december 2000.

Húska D., Jurík Ľ. (1999) : Technické opatrenia na zlepšenie kvality povrchových vôd metódami krajinného inžinierstva, In Hydromeliorácie Slovenska na prahu 21. stor., Bratislava 1999.

Klopček,A., Bárek, V. (1999): Hydromechanika, 2. nezmenené vyd. - Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 1999. - 226 s. : Grafy, obr., tab., lit. 38. ISBN 80-7137-643-4.

Lundin, Lars-Christer , Water In Society, Uppsala University, Uppsala, printed by: Ditt Tryckeri i Uppsala AB, First edition: (1999), ISBN: 91-973579-1-X.

Rončák, V., Vančová, Z., Domeniová, J. (1997): Potencionálna eutrofizácia Nitry a dolného Toku Váhu.: Váh - rieka, ktorá spája, 1997, s. 403-415.

Sládeček, V. a kol. (1981): Biologický rozbor povrchové vody. Komentář k ČSN 830532 – časti 6: stanovení saprobního indexu. Praha: Vydavateľství úřadu pro normalizaci a měření, 1981. 186 s.

Sládečková, A., Sládeček, V.(1997): Hydrobiologie. 1. vydanie. Praha: ČVÚT, 141 s. ISBN 80-01-01298-0.

STN 757221: 1999: Kvalita vody. Klasifikácia kvality povrchových vôd.

Šútor, J.(1999): Voda ako súčasť hydrologického cyklu. In: Vodohospodársky spravodajca, č.3, 1999, s. 20-25

Zákon č. 364/2004 Z. z. o vodách a o zmene a doplnení niektorých zákonov (vodný zákon), SNR 2004

Ing. Ľuboš Jurík PhD., Ing., Viliam Bárek, CSc., Ing. Peter Halaj, CSc., Katedra krajinného inžinierstva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Hospodárska 7, 949 76 Nitra, tel.: 037 6 514 527, e-mail: Lubos.Jurik@uniag.sk., Peter.Halaj@unaig.sk, Viliam.Barek@uniag.sk.

STRUKTURÁLNÍ ZMĚNY KVALITY VODY V POVODÍ LABE V KONTEXTU APLIKACE EVROPSKÉ ENVIRONMENTÁLNÍ LEGISLATIVY

Jakub Langhammer

V české části povodí Labe jsme byli v průběhu posledního století svědky mimořádně dynamických změn zátěže přírodního prostředí včetně jeho vodní složky. Rozvoj průmyslových aktivit, intenzivní zemědělství, nárůst osídlení, dopravy a dalších lidských aktivit v krajině vyvolaly v průběhu 20. století enormní nárůst zátěže vodních toků znečištěním. Od počátku 90. let naopak dochází k mimořádně intenzivnímu snížení objemu emisí zejména díky zesílenému tlaku na ochranu přírodního prostředí ze strany národních i evropských institucí, díky mezinárodním programům a přijatým systémovým opatřeními na ochranu vod před znečištěním. Rychlost a rozsah těchto změn jsou unikátní v národním i evropském měřítku; přesto změny jakosti vody v celku povodí Labe není možno hodnotit jako bezvýhradně pozitivní.

Příspěvek hodnotí časovou a prostorovou dynamiku změn v intenzitě znečištění hydrografické sítě povodí Labe v průběhu období 1970 – 2002 a souvislost charakteru změn s implementací evropské environemtnální legislativy, zejména Rámcové směrnice o vodě.

Analýza, provedená na základě nové metodiky geostatistické klasifikace ukázala, že pozitivní změny v látkové bilanci jsou soustředěny především na největší toky – Labe a Vltavu a nejsou doprovázeny obdobným vývojem v celém povodí. Přes pozitivní vývoj jakosti vody v hlavních sídelních a průmyslových regionech v 90. letech zaznamenává převážná většina říční sítě povodí Labe ve většině ukazatelů stálý nárůst znečištění. Na řadě zejména drobných toků navíc po poklesu z počátku 90. let dochází v posledních letech k opětovnému nárůstu zátěže. Těchto oblastí, které představují prioritu z hlediska ochrany před znečištěním, se však zároveň nejintenzivněji dotkne přechodné období pro výstavbu ČOV u drobných a středních komunálních zdrojů do roku 2010, které zde představují hlavní zdroj zátěže.

Klíčová slova: Hydrologie, kvalita vody, znečištění, Labe, GIS, geostatistická analýza

Spatial trends of water quality changes in Elbe river basin in the context of application of EU environmental legislation. *With regard to the water quality changes, the area of the Czech part of the Elbe river basin is extraordinarily dynamic. In the 20th century it experienced an enormous increase of load of pollution. Since the beginning of the 1990´s due to the political and economical changes we have witnessed a particularly intensive decrease in the emission volume and a related increase in water quality of watercourses.*

However, positive changes in the pollution load balance have occurred mainly in the biggest watercourses and these changes have not been accompanied by similar development in the whole river system.

Using a newly created classification methodology the basic models of dynamics of water quality changes in the Elbe river basin have been derived. Based on GIS geostatistical analysis, regions with analogous water quality development trends have been defined for selected parameters and critical areas have been identified. It has become apparent that the prevailing part of the Elbe river basin has been experiencing a gradual increase in pollution. In addition, after a previous decrease, a number of watercourses experienced a recurrence of the increase in load. These areas are priorities for further development and the control of surface water protection against pollution. However, their actual protection is limited by postponement of application of EU directive concerning the waste water treatment at small and medium communal sources until year 2010.

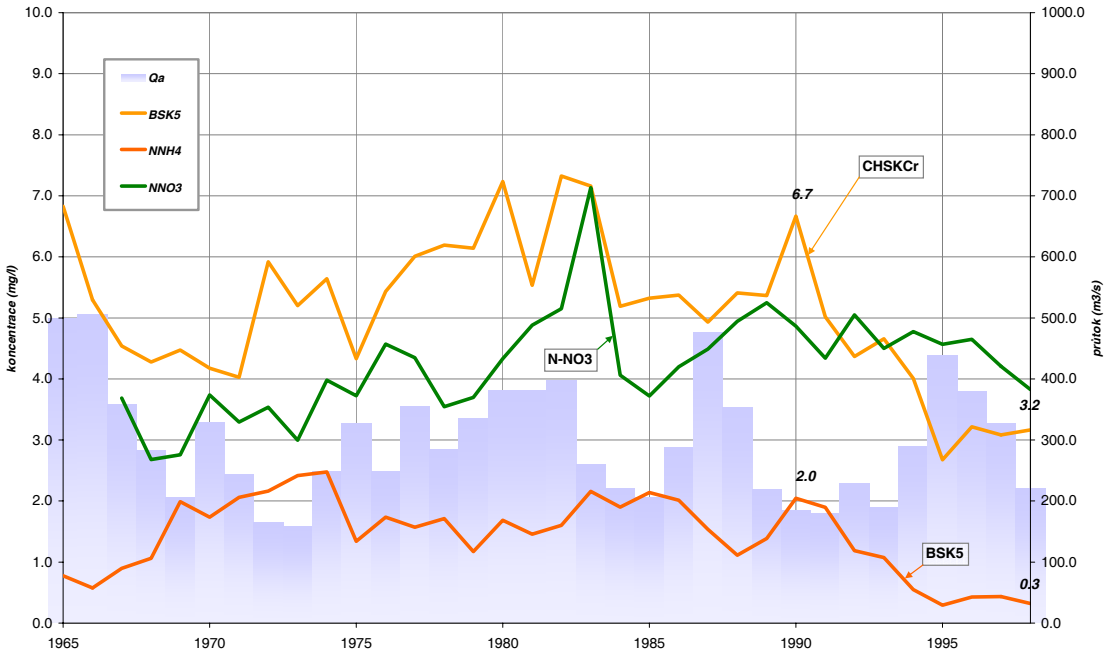
Key words: Hydrology, Water quality, Pollution, Elbe, GIS, Geostatistical analysis

---

1 ÚVOD A CÍL

V průběhu 20. století došlo k několika významným změnám kvality povrchových vod v evropských řekách, včetně toků v rámci povodí Labe. Zatímco ještě na počátku století byla kvalita vody českých toků vhodná pro většinu běžných aktivit, s nástupem rozvoje průmyslu spolu s minimálním ohledem na životní prostředí tak zejména v období po 2. světové válce se situace radikálně změnila. Voda byla postupně degradována na surovinu a řeky postupně byly nuceny absorbovat větší množství odpadů. Stejný vývoj zaznamenala většina vyspělého světa. Dekády 60. a 70. let tak celosvětově představují

období nejvyšší úrovně do té doby prakticky nekontrolovaného znečišťování vod. V západní Evropě i v Severní Americe se od 70. let začaly postupně řešit nejnaléhavější problémy související se znečišťováním toků (De Wit, 1999, EEA, 2002) . V ČR obrat ve vývoji nastal až se změnou politických poměrů po roce 1989. Během jednoho desetiletí se podařilo díky systematickým investicím do čistíren odpadních vod největších průmyslových zdrojů a sídel rychle a významně snížit do té doby kritickou úroveň znečištění našich nejvýznamnějších toků. (viz Langhammer, 2000).
Přelomovým obdobím přitom byla první polovina 90. let, kdy byly zprovozněny nové čistírny odpadních vod (dále ČOV) u největších přímých zdrojů emisí na toku Labe a Vltavy. V důsledku masivní výstavby a intenzifikace ČOV u hlavních zdrojů znečištění poklesly v průběhu deseti let koncentrace hlavních bilančních ukazatelů jakosti vody ve výústním profilu Labe na úroveň, která v řadě ukazatelů byla dokonce nižší než na počátku období sledování v 60. letech (obrázek 1).



Obr.1 Vývoj základních ukazatelů jakosti vody ve profilu Labe - Děčín v období 1970-2000. Data ČHMÚ
Fig. 1. Water quality changes in Czech Elbe mouth profile (Labe-Děčín) in period 1970-2000 for parameters BOD-5, COD and N-NO_3. Data CHMI.

K pozitivním změnám však nedošlo v rámci celé říční sítě. Při bližším pohledu na dynamiku vývoje zátěže celé hydrografické sítě českého povodí Labe naopak zjišťujeme, že na řadě toků v různých ukazatelích kvalita vody stagnuje nebo se dokonce zhoršuje.
Příspěvek se zabývá klasifikací dynamiky vývoje kvality vody v povodí Labe z kvalitativního, časového a prostorového hlediska, identifikací kritických aspektů vývoje a možností jejich řešení v kontextu implementace environmentální legislativy EU v ČR. Výsledky ukazují na současný charakter é priority

2 MATERIÁL A METODY

Pro potřeby objektivní klasifikace prostorové a časové dynamiky vývoje kvality vody v ploše povodí byla v rámci výzkumného projektu autorem vytvořena nová metoda klasifikace dynamiky změn jakosti vody. Řešení je založeno na využití metod geostatistické analýzy za využití nástrojů GIS, přičemž navazuje na předchozí analýzy změn jakosti vody v toku Labe a jeho povodí za využití metod matematického modelování a prostorové analýzy (Langhammer, 2000, 2004). Hodnocení je prováděno na komplexním souboru profilů kvality vody v české části povodí Labe v období hodnocení pokrývající hlavní etapy změn jakosti vody

2.1 Metodika hodnocení

Pro analýzu prostorových aspektů vývoje kvality vody je použita metodika klasifikace základních modelů změn kvality vody (Langhammer, 2005), založená na kombinaci metod geostatistické analýzy na datech dlouhodobých časových řad koncentrací vybraných ukazatelů kvality vody v profilech sítě ČHMÚ.

2.1.1 Metodika klasifikace dynamiky změn kvality vody

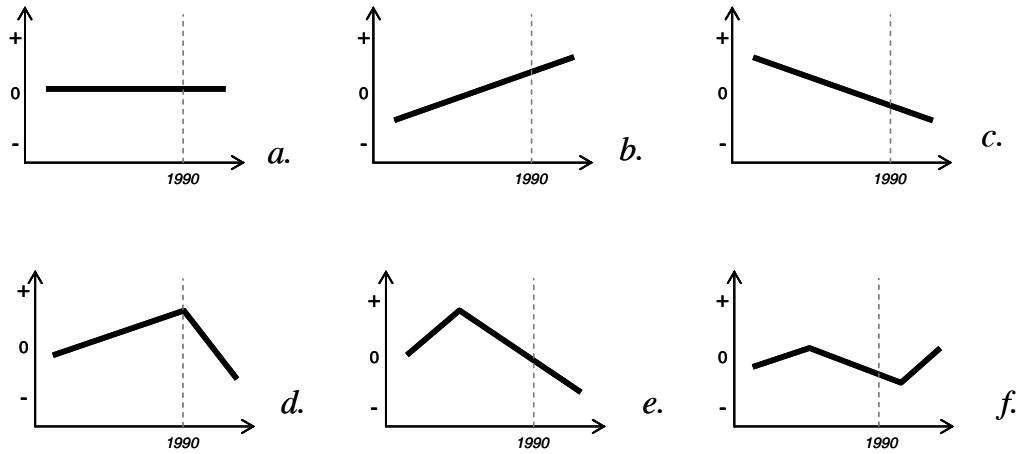
Princip hodnocení spočívá v odvození charakteristik trendů vývoje kvality vody na všech hodnocených profilech, následné identifikaci příbuzných rysů vývoje a jejich seskupení do základních modelů pomocí metod regresní a shlukové analýzy.
Časové řady ročních průměrných koncentrací vybraných ukazatelů pro jednotlivé profily jsou rozděleny do homogenních časových úseků, korespondujících s významnými obdobími změn jakosti vody. Pro jednotlivá hlavní období vývoje kvality jsou pomocí regresní analýzy vypočteny směrnice trendu změny. Tyto směrnice vstupují jako zdrojová data do clusterové analýzy, jejímž výstupem je klasifikace typů dynamiky změn kvality vody na základě vývoje v hlavních obdobích. Výsledná data jsou transportována do GIS, kde jsou analyzována z hlediska prostorového rozložení. Výpočet je postupně opakován pro všechny hodnocené ukazatele jakosti vody.
Jednotlivé typy průběhu změn kvality vody, vygenerované pro hodnocené ukazatele pomocí clusterové analýzy, jsou přiřazeny k základním modelům dynamiky změn kvality vody, vyskytujícím se napříč spektrem hodnocených ukazatelů, vygenerovaným pro celé povodí Labe (obrázek 3). Clustery jsou k těmto modelům přiřazeny podle charakteru průběhu trendu změny v jednotlivých obdobích – pozitivního, neutrálního nebo negativního.

2.1.2 Základní modely vývoje kvality vody

Základní modely vývoje kvality vody (obrázek 3), popisují klíčová schémata dynamiky změn kvality vody v povodí Labe. Modely odrážejí hlavní příčinné faktory změn a navzájem se zároveň liší jak prostorově – pro různá povodí a vodní toky, tak strukturně – pro jednotlivé ukazatele znečištění.

- **Model A** popisuje vývoj bez výrazného trendu změny kvality vody v celém pozorovaném období. Tento typ rozložení změn jakosti vody pozorujeme na řadě toků střední velikosti, zejména u ukazatelů organického znečištění. Za nevýrazným trendem stojí zpravidla celkově nízká ekonomická aktivita v povodí, kdy vodní toky nejsou pod vlivem výrazných zdrojů bodového znečištění a které neprošly intenzivními změnami.
- **Model B** popisuje postupný nárůst zátěže v celém hodnoceném období. Ze statistického a prostorového hlediska je jednoznačně nejčetnějším modelem vývoje u všech hodnocených parametrů jakosti vody. Vyskytuje se napříč spektrem hodnocených ukazatelů i geografických regionů. Odráží celkově vysokou intenzitu využití území bez odpovídajících opatření na ochranu vod před znečištěním.
- **Model C** naopak vyjadřuje kontinuální pokles úrovně zátěže toku v celém období. Jde zpravidla o oblasti s tradičním osídlením i ekonomickými aktivitami, kde dochází k soustavnému zpracování a čištění odpadních vod a kde vodní toky nebyly zasaženy intenzivní industrializací.
- **Model D** popisuje výrazný pokles znečištění v devadesátých letech 20. století. Tento model charakterizuje nejvýraznější změny v jakosti vody, ke kterým došlo v české části povodí Labe po roce 1990. Jde především o ukazatele a oblasti, ovlivněné významnými bodovými zdroji znečištění.
- **Model E** odráží situaci poklesu zátěže před rokem 1990. Radikální změny kvality vody na tocích v 70. a 80. letech je třeba připisovat prvovýstavbě čistíren odpadních vod zejména u velkých průmyslových a komunálních zdrojů jako nástroj pro odstranění havarijního stavu, způsobeného vypouštěním zcela nečištěných nebo pouze minimálně upravených odpadních vod do vodních toků.
- **Model F** popisuje situaci opětovného nárůstu zátěže toků v devadesátých letech 20. století po předchozím období poklesu. Opětovný nárůst znečištění povrchových vod po období předchozího poklesu indikuje vývoj, který nastal zpravidla v důsledku změny struktury ekonomických aktivit. Pokles zátěže toku na počátku 90. let byl vyvolán útlumem výroby, nikoliv systematickými opatřeními na ochranu vod. Současné ekonomického oživení proto působí nárůst zátěže toků

znečištění. Z hlediska budoucího vývoje jde o kritický model změn, jehož výskytu v hodnocených povodích je nutno věnovat maximální pozornost.



Obr. 2 Hlavní modely změn kvality vody v povodí Labe
Fig. 2 Main models of water quality trends in Elbe river basin

2.2 Použitá data

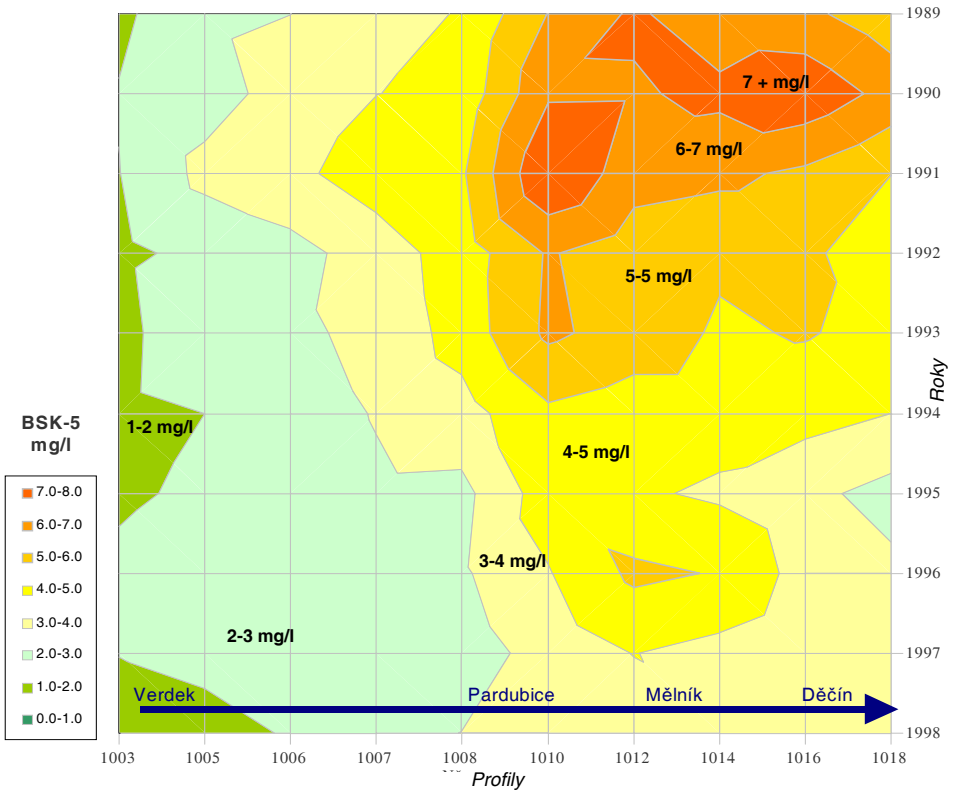
Pro analýzu vývoje jakosti povrchových vod v povodí Labe byl jako základ použit soubor dat ze sítě celkem 160 profilů státní sítě sledování kvality vody za období 1970-2002, poskytnutých ČHMÚ a dostupných na internetových stránkách www.chmi.cz . Použity byly roční průměrné koncentrace za celé uvedené období pro 12 vybraných jakostních parametrů – BSK_5, $CHSK_{Cr}$, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_3$, Pcelk, RL, NL, saprobita, konduktivita, Pb, Cd, Hg. Pro vlastní analýzu byly vyřazeny ty ty ukazatele, které hodnocené období pokrývaly nedostatečně. Šlo zejména o parametry zátěže těžkými kovy, kde datové řady začínají až v průběhu 90. let a i zde jsou v řadě profilů nekompletní. Vyřazen byl i ukazatel celkový fosfor, pro který byly u většiny profilů řady nekompletní, s přerušeným sledováním a často opět začínající až v 90. letech.

3 VÝSLEDKY

3.1 Vývoj kvality vody v Labi

Povodí Labe v průběhu devadesátých let zaznamenalo výrazný pokles objemu emisí znečišťujících látek z evidovaných bodových zdrojů znečištění. Díky výstavbě a intenzifikaci čistíren odpadních vod u velkých průmyslových i komunálních zdrojů emisí postupně došlo k razantnímu poklesu vypouštěného množství emisí v ukazatelích, odrážejících tento typ zátěže. U ukazatele organického znečištění BSK_5 tak došlo ke snížení celkových evidovaných emisí mezi roky 1990 a 1999 až na pětinu počátečního množství. Objem zátěže, vypouštěné na konci devadesátých let v ukazateli $CHSK_{Cr}$ představuje jednu třetinu a v ukazateli $N\text{-}NH_4$ polovinu množství, emitovaného do povodí Labe na počátku tohoto období.

Změny v emisní situaci a struktuře zdrojů emisí v povodí Labe, ke kterým v průběhu 90. let došlo, se výrazně projevily na jakosti vody v hlavním toku říční soustavy – Labi. U většiny sledovaných ukazatelů došlo k poklesu koncentrací znečištění i ke snížení celkového látkového odnosu zátěže.
Tento vývoj dokumentuje obrázek 4, ukazující změnu průměrných ročních koncentrací organického znečištění v ukazateli BSK_5 v podélném profilu toku Labe. Od poloviny 90. let na Labi dochází k odbourání kritické úrovně zátěže na středním a dolním toku a jakost vody se na konci tohoto období dostává na celém toku na úroveň, která na přelomu 80. a 90. let byla dosahována pouze na horním toku Labe.



Obr. 3 Vývoj koncentrací BSK_5 v podélném profilu Labe v období 1989-1998. Data ČHMÚ.
Fig. 3. Changes of BOD-5 concentrations in logitudinal profile of the Elbe between 1989-1998. Data CHMI.

Obecně lze v průběhu devadesátých let na Labi pozorovat jasný pokles jak koncentrací, tak látkového odnosu u základních parametrů jakosti vody a to zejména u ukazatelů, odrážejících zátěž z bodových zdrojů znečištění. Týká se to ukazatelů, odrážejících celkové organické znečištění sledované ukazateli CHSKCr a BSK5, stejně jako amoniakálního dusíku. U těchto ukazatelů došlo zejména ve druhé polovině devadesátých let k zásadnímu poklesu zátěže Labe a jeho povodí v důsledku radikálního omezení emisí u významných průmyslových a komunálních zdrojů.
Odlišný je vývoj znečištění Labe celkovým fosforem. V tomto ukazateli, odrážejícím zátěž z průmyslových, ale především komunálních bodových zdrojů, totiž v průběhu devadesátých let dochází nejen ke stagnaci, ale v určitých úsecích toku i k nárůstu úrovně znečištění. Pozvolný nárůst zátěže fosforem se přitom netýká jen toku Labe, ale především dílčích povodí jeho jednotlivých přítoků. Tento trend je nutno vidět v souvislosti se nárůstem emisí fosforu z komunální sféry a s nízkou vybaveností zejména malých a středních obcí čistírnami odpadních vod a jejich technickým stavem. Poklesy emisí fosforu, ke kterým došlo u velkých průmyslových a komunálních zdrojů na Labi a jeho hlavních přítocích tak v celkové bilanci nebyly schopny absorbovat rostoucí zátěž z celého povodí.
U ukazatelů odrážejících zátěž z plošných zdrojů znečištění, jmenovitě u dusičnanového dusíku, se v průběhu devadesátých let neprojevuje výraznější kvalitativní posun. Přísun živin ze zdrojových ploch povodí neklesá i přes evidentní útlum zemědělské činnosti a snížení aplikace hnojiv, ke kterému v České republice v průběhu devadesátých let došlo.

3.2 Prostorové trendy změn kvality vody v povodí Labe

Zatímco vývoj kvality vody ve většině ukazatelů v závěrovém profilu povodí Labe i jeho podélném profilu ukazují na jednoznačně pozitivní tendenci, vývoj v celku hydrografické sítě povodí je méně příznivý. Pro klasifikaci prostorových aspektů dynamiky vývoje kvality vody byla použita metodika popsaná v kapitole 2.1. Jako vstupní data byly použity údaje o průměrných ročních koncentracích vybraných ukazatelů jakosti vody ze všech profilů sítě ČHMÚ v rámci povodí Labe od roku 1970 do roku 2002 (ČHMÚ, 2004, Rieder a kol, 2000).
Datová řada byla rozdělena do tří období, která v povodí Labe z hlediska vývoje kvality vody klíčová:

- 1971-1980: počáteční období sledování, nástup intenzivního znečišťování povrchových vod.

- 1981-1990: období vrcholící zátěže toků ze zdrojů průmyslového a komunálního znečištění
- 1991-2000: změny po roce 1989, které odrážejí jak systémová opatření (výstavba ČOV u velkých zdrojů znečištění), tak změny v ekonomickém a sociálním prostředí (uzavírání řady výrob a budování nových provozů, rozvoj sídel, změny v zemědělství).

Pro každé období byla z hodnot průměrných ročních koncentrací hlavních ukazatelů znečištění pro všechny profily vypočtena směrnice trendu lineární regrese, ukazující na trend změn kvality vody v daném ukazateli pro toto období. Kombinace trendů vývoje v těchto třech období byla použita jako vstupní údaj pro clusterovou analýzu. Výsledky jsou prezentovány na příkladu tří ukazatelů, odrážející rozdílné mechanismy znečišťování povrchových vod - parametr BSK_5, odrážející organické znečištění zejména z bodových komunálních zdrojů, amoniakální dusík ($N\text{-}NH_4$), reprezentující zátěž z průmyslových bodových zdrojů znečištění a dusičnanový dusík ($N\text{-}NO_3$) charakterizující zátěž z plošných zdrojů znečištění, majících původ zejména v zemědělství.

Tab. 1 Výsledky clusterové analýzy klasifikace změn kvality vody pro hodnocené ukazatele
Tab. 1 Results of cluster analysis – classification of water quality changes for selected parameters

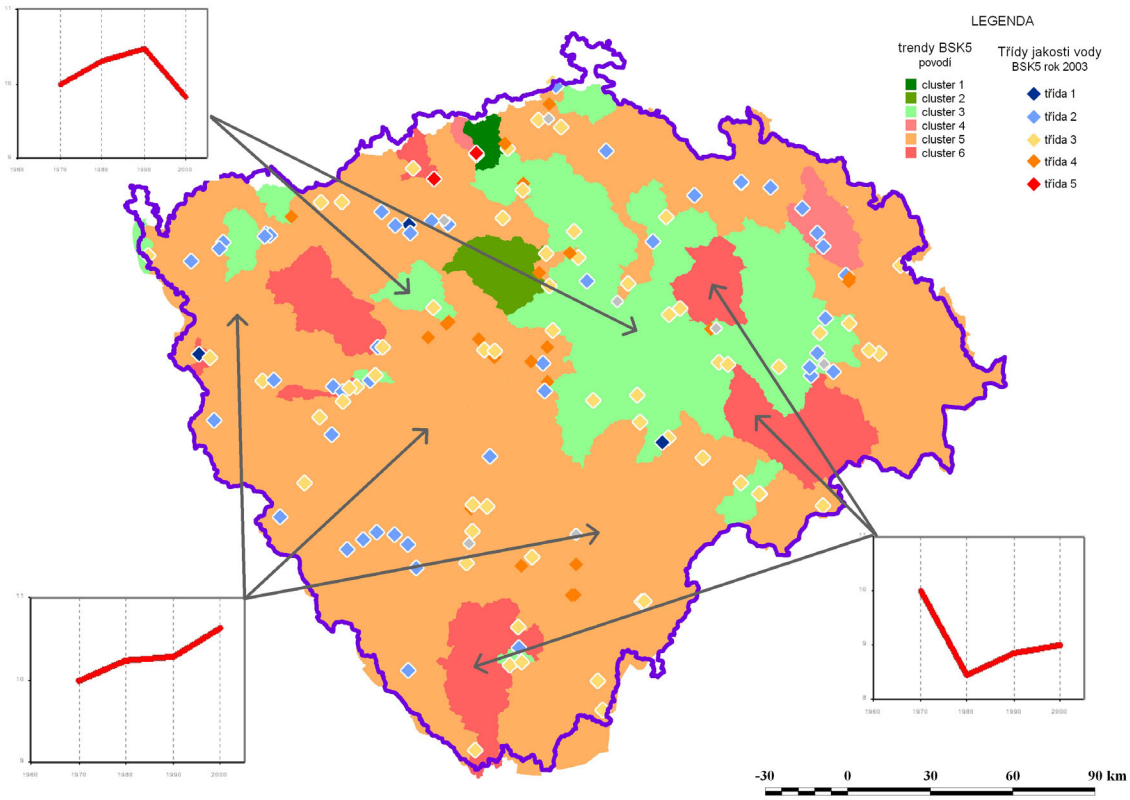
	BSK_5				$N\text{-}NO_3$				$N\text{-}NH_4$			
	71-80	***81-90***	***91-00***	***Počet profilů***	***71-80***	***81-90***	***91-00***	***Počet profilů***	***71-80***	***81-90***	***91-00***	***Počet profilů***
Cluster 1	-5.47	4.51	-7.83	1	-0.62	-0.75	0.10	61	0.08	0.27	-1.64	9
Cluster 2	1.49	-4.15	-4.51	2	0.43	-0.38	1.94	16	0.27	0.17	0.39	105
Cluster 3	0.31	0.16	-0.65	34	1.84	0.36	-1.53	15	0.17	0.19	-0.37	29
Cluster 4	-4.16	-3.25	0.28	4	-0.55	0.53	-0.23	41	-5.25	-5.11	-4.75	4
Cluster 5	0.22	0.07	0.34	109	0.55	3.85	-1.78	3	-0.56	0.44	0.12	7
Cluster 6	-1.56	0.42	0.13	10	1.01	0.54	0.02	24	-1.43	-1.40	0.45	6

3.2.1 Biochemická spotřeba kyslíku (BSK_5)

Pomocí shlukové analýzy byl vývoj kvality vody v ukazateli BSK_5 v období 1970-2000 na jednotlivých jakostních profilech rozdělen do šesti skupin podle vzájemné příbuznosti.
Jednotlivé clustery (viz Tab. 1) mají rozdílnou četnost, přičemž dominantní zastoupení má cluster 5, clustery 3 a 6 lze brát jako významné, ostatní jako okrajové.
Clustery, představující vygenerované typologické skupiny vývoje jakosti vody, můžeme následně podle četností zastoupení a podle charakteru průběhu trendů změn zredukovat do tří skupin, odpovídajících hlavním modelům vývoje (viz kap. 2.1):

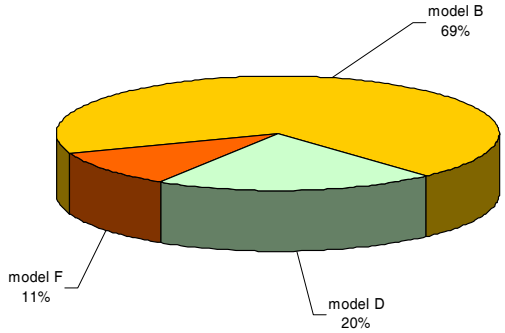
- *Model B*, charakterizující kontinuální nárůst zátěže v celém hodnoceném období (cluster 5, celkem 109 profilů)
- *Model D*, reprezentující pokles koncentrací BSK_5 po roce 1990 (clustery 3,2,1, zahrnující celkem 37 profilů)
- *Model F*, představující nárůst zátěže po předchozím poklesu (clustery 6 a 4, zahrnující celkem 14 profilů)

Základní modely vývoje kvality vody v ukazateli BSK_5 vykazují výrazné prostorové uspořádání. Nejčetnějším zastoupeným typem vývoje je *model B*, zobrazující kontinuální nárůst zátěže organického znečištění v celém hodnoceném období. Tento typ vývoje převažuje v oblasti jihozápadních a severozápadních Čech – v povodí Vltavy, Otavy, Berounky a Ohře. K nárůstu zátěže toků v ukazateli BSK_5 dochází z prostorového hlediska na převážné většině území. Jedná se zpravidla o drobné až středně velké toky v urbanizovaných a antropogenně transformovaných oblastech, které zaznamenávají ekonomický rozvoj.
Oblasti s výrazným poklesem zátěže organickým znečištěním po roce 1990 (*model D)* jsou soustředěny v regionech středních a dolních úseků velkých toků, zahrnujících významné sídelní a průmyslové oblasti zejména na toku středního a dolního Labe a dolní Vltavy (Obr. 4).
Třetím typem změn jakosti vody je *model F*, který označuje toky, ve kterých po předchozím poklesu dochází k opětovnému nárůstu zátěže. Jde zejména o sídelní a průmyslové oblasti na středních tocích – tok Berounky, stejně jako oblast severovýchodních Čech.



Obr. 4 Prostorové rozložení trendů změn kvality vody v povodí Labe v ukazateli BSK_5
Fig. 4. Spatial distribution of trends of water quality changes in parameter BOD-5

Z hlediska plošného rozsahu jednotlivých povodí podle příslušnosti k jednotlivým modelům dynamiky změn (obrázek 5) vidíme jednoznačně dominující podíl ploch s negativními rysy vývoje. Pouze na 20 % plochy povodí Labe dochází k pozitivním změnám, celých 80 % zaznamenává kontinuální nárůst nebo nárůst v 90. letech. Z plošného rozdělení však můžeme vidět i vysokou efektivitu realizovaných opatření. Zásadní pokles objemu imisního zatížení povodí Labe ve výústním profilu byl umožněn vhodným výběrem sanačních lokalit. Analýza zároveň ukazuje na potenciál pro další snižování zátěže povrchových vod organickým znečištěním.



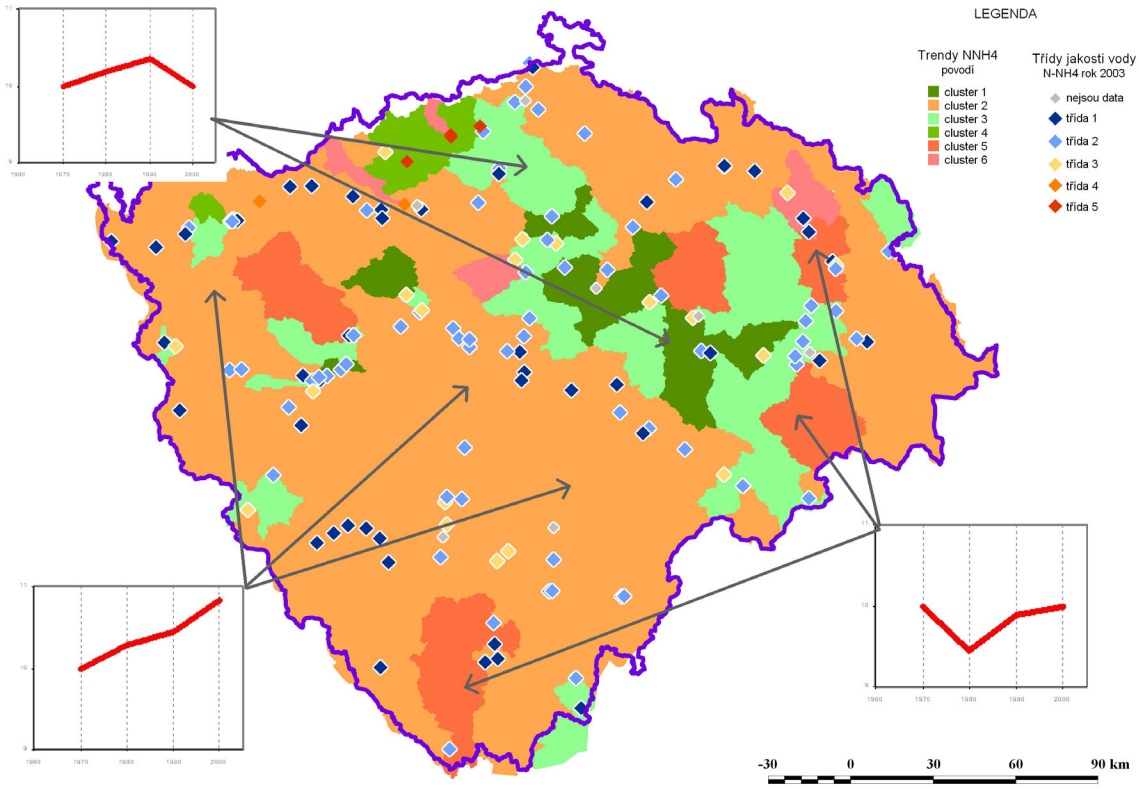
Obr. 5 Podíl ploch dílčích povodí Labe podle příslušnosti k modelu dynamiky změn BSK_5
Fig. 5 Shares of basin area corresponding to the main water quality change models in BOD-5 parameter

Za rozdíly ve vývoji jakosti vody, popisovaném jednotlivými modely můžeme vidět zásadní systémové odlišnosti působící na změny imisní zátěže toků. U modelu D, kdy pozorujeme prudký pokles zátěže zejména v období po roce 1990, u některých profilů ovšem i dříve, jsou hlavním hnacím motorem změn jakosti vody systémová opatření, zejména výstavba a intenzifikace ČOV u významných zdrojů znečišťování. Model F, popisující nárůst zátěže po předchozím poklesu naopak odpovídá situaci, kdy předchozí pokles byl vyvolán spíše útlumem výroby než systémovými kroky na ochranu vod a současný růst zátěže je tak vyvolán oživením ekonomických aktivit v regionu. Společně s modelem B, představujícím stále rostoucí zátěž, tak povodí s tímto typem vývoje představují oblasti rizikové a oblasti, které by z hlediska směrování péče o ochranu vod měly být prioritní.

3.2.2 *Amoniakální dusík ($N\text{-}NH_4^+$)*

Kvantitativní i prostorové vyhodnocení dynamiky změn jakosti vody v ukazateli $N\text{-}NH_4$ vykazuje výrazně asymetrické rozdělení. Vygenerovaným skupinám (viz tabulka 1) dominuje cluster 2 zahrnující 105 z celkových 160 jakostních profilů. Druhým nejčetnějším typem je cluster 3, který spolu s geneticky příbuzným clusterem 1 zahrnuje celkem 38 profilů. Zbylé clustery jsou vzhledem svojí velikostí hodnoceny jako doplňkové.
Při zařazení vygenerovaných clusterů do hlavních modelů vývoje můžeme jejich počet redukovat na 4 hlavní skupiny:

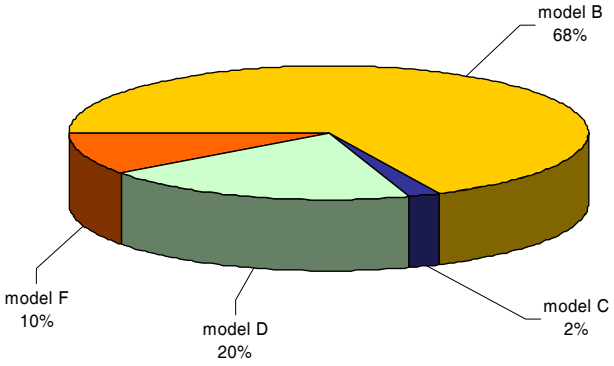
- *Model B* – kontinuální nárůst zátěže v celém období (cluster 2, celkem 105 profilů)
- *Model C* – pokles zátěže v celém období (cluster 4, 4 profily)
- *Model D* – pokles zátěže v 90. letech (clustery 1 a 3, celkem 38 profilů)
- *Model F* – nárůst zátěže v 90. letech po předchozím poklesu (clustery 5 a 6, celkem 13 profilů)



Obr. 6 Prostorové rozložení trendů změn kvality vody v povodí Labe v ukazateli $N\text{-}NH_4$
Fig. 6. Spatial distribution of trends of water quality changes in parameter $N\text{-}NH_4$

Dynamika změn jakosti vody v ukazateli $N\text{-}NH_4$ je ze všech hodnocených ukazatelů prostorově nejsilněji diferencovaná (obrázek 6). Pozitivní změny související především s poklesem zátěže toků po roce 1990 jsou totiž soustředěné téměř bezvýhradně na oblasti toků pod vlivem velkých zdrojů průmyslového znečištění – středního a dolního Labe, dolní Vltavy, Berounky a Bíliny.
Převažující část povodí Labe naopak zaznamenává postupný nárůst zátěže v ukazateli $N\text{-}NH_4$ v průběhu celého hodnoceného období. Celkem jde o 105 jakostních profilů, na dalších 13 profilech potom dochází k nárůstu zátěže v 90. letech po předchozím zaznamenaném poklesu.
Prostorová diferenciace dynamiky změn jakosti vody v tomto ukazateli souvisí s charakterem a prostorovou koncentrací zdrojů přičinného znečištění. Nejvýznamnější zdroje znečištění $N\text{-}NH_4$ v povodí Labe představují průmyslové zdroje, koncentrované do oblasti dolních úseků toků Labe, Vltavy a do povodí Bíliny. Deset největších producentů emisí $N\text{-}NH_4$ v těchto oblastech (databáze SVHB,VÚV, 2000) představuje přes 55 % celkového objemu vypouštěného $N\text{-}NH_4$ v povodí Labe. Výrazný pokles objemu vypouštěného znečištění z těchto zdrojů v průběhu 90. let byl umožněn právě díky masivním investicím těctho podniků do čištění odpadních vod v rámci národních a mezinárodních projektů.

V rámci povodí Labe však tento vývoj nebyl následován i v ostatních částech povodí, které se tak dodnes potýkají nejen s celkově vysokou úrovní zátěže toků, především však s nepříznivým trendem vývoje, který nedává možnosti rychlého zlepšení situace bez přijetí radikálních opatření.



Obr. 7 Podíl ploch dílčích povodí Labe podle příslušnosti k modelu dynamiky změn N-NH_4
Fig. 7 Shares of basin area corresponding to the main water quality change models in N-NH_4 parameter

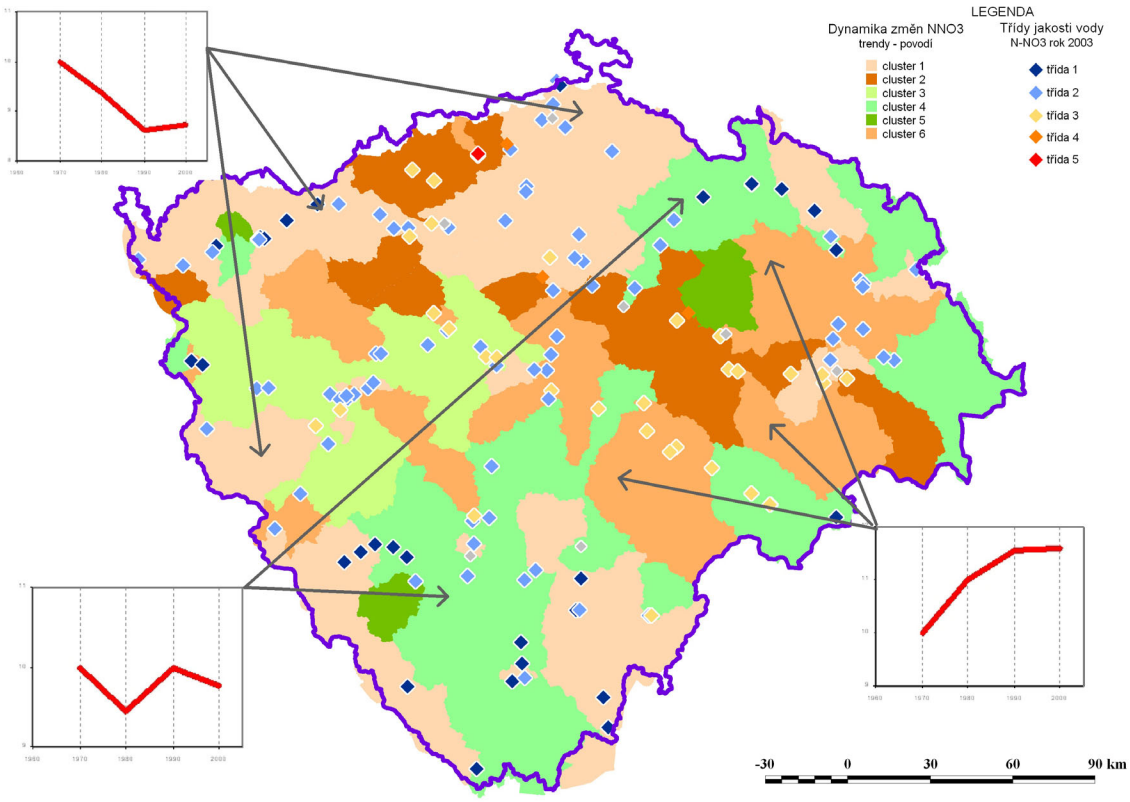
Podíly ploch dílčích povodí s analogickou dynamikou vývoje zátěže v ukazateli N-NH_4 (obrázek 7) potvrzují výše uvedený mechanismus vývoje. Pouze necelá čtvrtina plochy povodí Labe zaznamenává pokles úrovně zátěže, na více než dvou třetinách plochy povodí dochází ke kontinuálnímu nárůstu koncentrací, dalších 10 % plochy povodí potom zaznamenává nárůst zátěže v 90. letech. I v případě znečištění amoniakálním dusíkem jsou patrné obrovské rezervy pro řízení kvality vody, stejně jako je zřejmá efektivita výběru lokalit pro sanační opatření v 90. letech.

3.2.3 Dusičnanový dusík (N-NO_3^-)

Zátěž povrchových toků dusičnanovým dusíkem vyjadřuje oproti předchozím ukazatelům odlišný mechanismus znečišťování. Zatímco u ukazatelů BSK_5, $CHSK_{Cr}$ a N-NH_4 jsou primárním zdrojem emisí bodové zdroje znečištění, u dusičnanového dusíku jde především o znečištění z plošných zdrojů, zejména zemědělství.
Výsledky klasifikace dynamiky vývoje zátěže vodních toků dusičnanovým dusíkem (viz tabulka 1) i jejich prostorového rozložení mají proto odlišný charakter.
Vygenerované clustery, popisující dynamiku změn jakosti vody v povodí Labe bylo možno přiřadit do tří hlavních skupin vývoje jakosti vody, konstatovaným pro povodí Labe:

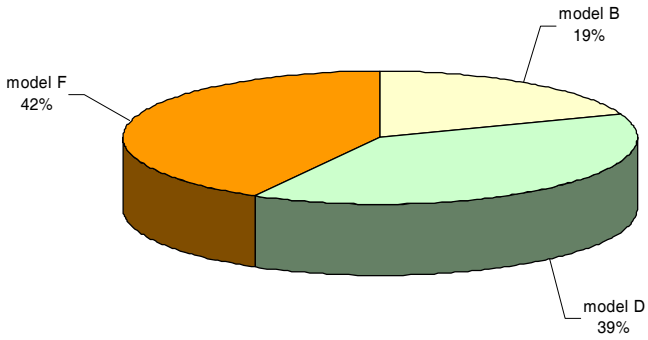
- *Model B* – kontinuální nárůst zátěže (cluster 6, celkem 24 profilů)
- *Model D* – pokles zátěže v 90. letech (clustery 3, 4 a 5, celkem 59 profilů)
- *Model F* – nárůst zátěže v 90. letech (clustery 1 a 2, celkem 77 profilů)

Změny zátěže povrchových vod povodí Labe dusičnany jsou ze statistického i prostorového hlediska nepříznivé. Statisticky nejčetnější charakter změny představuje typ F, reprezentující nárůst zátěže v průběhu 90. let, do kterého můžeme řadit clustery 1 a 2, tj. celkem 77 jakostních profilů. Jde o prostorově rozsáhlé oblasti okrajových částí povodí v severozápadních Čechách, střední a dolní tok Labe, a oblasti jižních a jihovýchodních Čech (obrázek 8).
Celkem 24 profilů patří do typu B, ukazujícího na kontinuální nárůst zátěže toku v daném ukazateli. Jmenovitě jde o zemědělské oblasti Vysočiny, stejně jako o oblasti v povodí Berounky a střední Vltavy.
Oba modely, které odrážejí velice negativní trend aktuálního nárůstu znečištění, jsou pozorovány na téměř dvou třetinách profilů – celkem 101 profilů ze 160 hodnocených.
K poklesu zátěže v 90. letech po předchozím nárůstu znečištění naopak došlo na 59 dílčích povodí, představujících 39 % rozlohy českého povodí Labe. Jde o povodí, soustředěná do oblasti středního povodí Vltavy, povodí Jizery a do oblasti severovýchodních Čech. Na celkem 15 jakostních profilech (cluster 3) je přitom konstatovaný pokles zátěže velmi mírný. Z dlouhodobého hlediska je zde celková úroveň zátěže stabilní a současný pokles tak nemusí indikovat pozitivní trend.



Obr. 8 Prostorové rozložení trendů změn kvality vody v povodí Labe v ukazateli N-NO_3
Fig. 8. Spatial distribution of trends of water quality changes in parameter N-NO_3

Z prostorového hlediska je pro vývoj v ukazateli N-NO_3 příznačný nárůst zátěže v okrajových oblastech povodí Labe, zachování trendu kontinuálního nárůstu úrovně koncentrací v tradičních zemědělských oblastech a pokles zátěže v oblasti jižních a části severovýchodních Čech.
Dlouhodobý nárůst zátěže pozorujeme především v oblastech středního Polabí, Vysočiny a částečně i v západních Čechách. Jde o oblasti s intenzivní zemědělskou výrobou, přičemž při hodnocení časové dynamiky změn je pozitivním faktem zmírnění dynamiky růstu zátěže v posledních deseti letech. Snížení intenzity zemědělské výroby představuje hlavní faktor poklesu úrovně zátěže toků dusičnany v oblastech jižních Čech, horní Sázavy či Jizery.
Nárůst zátěže povrchových vod dusičnanovým dusíkem pozorujeme v rozsáhlých okrajových oblastech povodí Labe – v severozápadních Čechách, pokrývajících prakticky celé povodí Ohře, v oblastech Šumavy, jihovýchodních Čech či horního a středního Labe. Pro interpretaci těchto změn je důležité brát v úvahu heterogenitu prostředí jednotlivých povodí. Jde o oblasti s výrazně odlišnými fyzickogeografickými charakteristikami, rozdílnou intenzitou antropogenních aktivit a v neposlední řadě i s odlišnou mírou stávající zátěže toků.



Obr. 9 Podíl ploch dílčích povodí Labe podle příslušnosti k modelu dynamiky změn N-NO_3
Fig. 9 Shares of basin area corresponding to the main water quality change models in N-NO_3 parameter

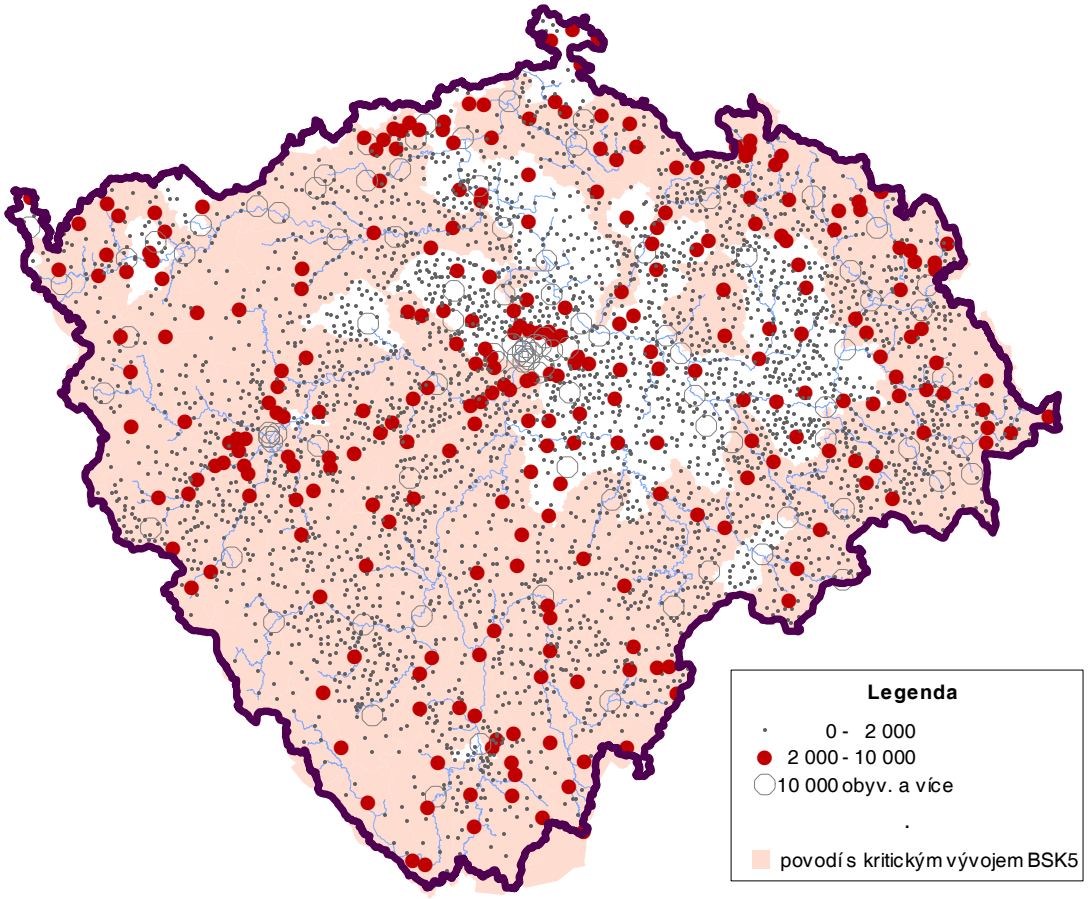
Z hlediska podílu plochy povodí posle příslušnosti k danému modelu dynamiky vývoje kvality vody (obrázek 9) je zřejmý celkově nepříznivé prostorové rozložení. pouze 29 % plochy povodí Labe patří do oblastí, ve kterých dochází k poklesu koncentrací dusičnanového dusíku v toku. Na zbylých oblastech dochází k více či méně intenzivnímu nárůstu, přičemž na celých 42 % rozlohy povodí českého povodí Labe pozorujeme nárůst zátěže v průběhu 90. let.

4 ZMĚNY KVALITY VODY V POVODÍ LABE V KONTEXTU IMPLEMENTACE ENVIRONMENTÁLNÍ LEGISLATIVY EU

Pro řízení kvality vody v prostředí environmentální legislativy EU představuje zásadní dokument Rámcová směrnice o vodě (Water Framework Directive, dále WFD). WFD, schválená Parlamentem a Radou Evropy v roce 2000 zastřešuje dílčí směrnice, které byly pro jednotlivé oblasti vodního hospodářství v EU od 70. let postupně přijímány.
Celkovým cílem WFD je dosáhnout "dobrého stavu" všech vod do roku 2015, přičemž "dobrý stav" je určen dobrým ekologickým a dobrým chemickým stavem. Tento integrální přístup představuje v českém pojetí ochrany vodního prostředí významný posun, zejména díky posunu vnímání povrchových vod směrem k holistickému pojetí. Konečná podoba směrnice je však výsledkem kompromisu v průběhu dlouhodobého procesu diskuse a konfliktů mezi odbornými hledisky a politickými zájmy. WFD jako nejvýznamnější nástroj, který u nás v současné době upravuje environmentální politiku v oblasti ochrany vod, tak sice mimořádně komplexní dokument, který je však v řadě oblastí obecný a nekonkrétní a pozitiva, plynoucí z jeho striktní aplikace jsou pro jednotlivé členské země navíc oslabena existencí výjimek a přechodných období.
Pro ochranu a vývoj jakosti povrchových vod v ČR ve střednědobém horizontu představuje klíčový moment přijetí přechodného období pro implementaci směrnice 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod. Jmenovitě jde o posun termínu splnění některých požadavků směrnice, konkrétně pro výstavbu čistíren městských odpadních vod a kanalizačních systémů v sídlech velikostní kategorie 2 000 – 10 000 EO a na intenzifikaci (odstraňování dusíku a fosforu) čistíren městských odpadních vod u sídel s velikostí nad 10 000 EO v tzv. citlivých oblastech do roku 2010.
Přestože u tohoto přechodného období jsou zřejmé ekonomické důvody, vycházející z rozložení investic do výstavby ČOV do delšího časového horizontu, jeho dopad na vývoj kvality vody v ČR je jednoznačně negativní. Z prostorových trendů vývoje (viz kap. 3.3) je zřejmé, že k negativnímu vývoji kvality vody v tocích dnes dochází právě v těch oblastech, kde je uplatňováno toto přechodné období na čištění komunálních odpadních vod – v oblastech drobných vodních toků, které jsou pod vlivem zátěže z malých a středních sídel, lokálního průmyslu a zemědělství.
GIS analýza (viz. Obr.10, Tab. 2) porovnala prostorové rozložení povodí s kritickým vývojem v ukazateli BSK_5 (model B a F), odrážející zátěž z komunálního znečištění a rozložením sídel velikostních kategorií, spadajících do přechodného období. Z výsledků vyplývá, že z obcí s počtem obyvatel mezi 2-10 tis. obyvateli, kterých se odklad aplikace legislativy EU v oblasti čištění komunálních odpadních vod týká, leží přes 73 % v oblastech s kritickým vývojem kvality vody v ukazateli BSK_5 a žije v nich bezmála 75% obyvatel této velikostní kategorie sídel. U obcí s velikostí do 2 tis. obyvatel, u kterých je vybavenost kanalizací a ČOV nejnižší, tento poměr stále přesahuje 70 %.
Odklad aplikace environmentálních cílů WFD formou přechodného období na čištění komunálních odpadních vod z drobných a středních zdrojů se tak na vývoji kvality vody projeví nejvíce negativně zejména v těch oblastech, které jsou z hlediska potřeby ochrany před znečištěním prioritní.

Tab. 2 Podíl obyvatel v sídlech ležících v oblastech s kritickým vývoje kvality vody v ukazateli BSK_5
Tab. 2 Shares of inhabitants in communities in regions with critical water quality trend in BOD-5 parameter

	sídla s 2-10 tis. obyv.		sídla pod 2 tis. obyv.	
	počet sídel	počet obyvatel	počet sídel	počet obyvatel
všechna sídla v dané kategorii	275	1154994	3665	1528595
sídla v povodích s kritickým vývojem kvality vody v ukazateli BSK_5	202	861507	2641	1082645
podíl	73.5%	74.6%	72.1%	70.8%



Obr. 10 Rozložení obcí v povodích s kritickým vývojem kvality vody v ukazateli BSK_5
Fig. 10 Spatial distribution of communities in basins with critical water quality trend in BOD-5 parameter

Charakter změn v kontextu aplikace evropské environmentální legislativy a evropského shrnuje SWOT analýza, hodnotící základní rysy dynamiky časového a prostorového vývoje jakosti povrchových vod v povodí Labe a jejich význam s ohledem na cíle a závazky, vyplývající z evropského integračního procesu a aplikace environmentální legislativy EU. Cílem analýzy je identifikace *silných stránek*, představujících pozitivní aspekty vývoje, a naopak *slabých stránek*. Tyto dva aspekty hodnotí proběhlý vývoj a současný stav procesu. Potenciál směrem do budoucna je potom shrnut v kategorii *příležitosti*, promítnutí negativních aspektů změn a možných rizik vývoje v oblasti *ohrožení*. Z analýzy jsou patrné hlavní obrysy možných přístupů k následnému managementu a ochraně jakosti vody v povodí Labe.

Silné stránky

- Realizace koncepčních opatření na ochranu vod v 90. letech.
- Radikální snížení emisí znečištění u velkých průmyslových a komunálních zdrojů na hlavních tocích průběhu 90. let.
- Pokles objemu aplikovaných umělých hnojiv na zemědělské plochy v 90. letech.
- Pokles zátěže toků v oblasti středního a dolního Labe a Vltavy v 90. letech.
- Pokles podílu délky toků zařazených do nejhorších stupňů jakosti vody.

Slabé stránky

- Převažující celkový podíl povodí s trendem kontinuálního nárůstu úrovně zátěže v průběhu hodnoceného období.
- Koncentrace pozitivního vývoje pouze do prostorově omezené oblasti středního a dolního toku Labe a Vltavy, Bíliny a střední Berounky.
- Velmi pomalé pozitivní změny kvality vody v okrajových částech povodí.
- Neklesající zátěž z difúzních a plošných zdrojů znečištění.

Příležitosti

- Možnost snížení zátěže z difúzních zdrojů, zejména drobných sídel a malých průmyslových zdrojů.
- Prostor pro intenzifikaci stávajících ČOV u komunálních a průmyslových zdrojů na drobných a středních tocích.
- Prostor pro implementaci dlouhodobých systémových ochranných programů v zemědělské krajině.
- Využití zkušeností z oblastí, které prošly podobnými změnami.

Ohrožení

- Pokles celkového objemu investic do oblasti ochrany vod před znečištěním.
- Nárůst zátěže v důsledku ekonomického oživeni bez předchozích systémových opatření na ochranu vod před znečištěním.
- Omezené možnosti pozitivního řízení emisí z oblasti plošných zdrojů znečištění.
- Odklad aplikace legislativních norem EU v oblasti čištění odpadních vod z drobných a středních komunálních zdrojů.

5 DISKUSE

Zkušenosti z analogického vývoje ve velkých evropských povodích, zejména v povodí Rýna (Behrendt, 1996, De Wit, 1999, Thyssen, 2001, Langhammer, 2002b, aj.), ukazují, že komplexní změny jakosti povrchových vod v celku povodí představují dlouhodobý proces. Odstranění prioritních zdrojů znečištění, které v české části povodí Labe proběhlo v poslední dekádě minulého století je přitom pouze počátečním krokem, za kterým musí následovat řada systémových, méně viditelných, ale z dlouhodobého hlediska nevyhnutelných opatření v celé ploše povodí (Jurča, 1997, Mohaupt et al., 1998, Rosendorf et al., 1998, Janský, 2002, Langhammer, 2002a).

Poznání časové a prostorové dynamiky vývoje celého systému, které přináší provedená analýza, umožňuje přesněji definovat strukturu priorit v řízení ochrany vod před znečištěním a nalézt odpovídající nástroje pro řešení jednotlivých problémů.

Zkušenosti z analogického vývoje v evropském prostoru, zejména v povodí Rýna, ukazují, že proces změn kvality vody je dlouhodobý a že opatření, realizovaná v povodí Labe, jakkoli byla mimořádná svoji intenzitou a rychlostí, představují pouze první krok k dlouhodobému zlepšení kvality vodní složky prostředí povodí.

Za sanací klíčových bodových zdrojů znečištění musí následovat řada systémových, méně efektních, ale z dlouhodobého hlediska nevyhnutelných opatření v celé ploše povodí.

V tomto procesu budou vedle přímých opatření, zaměřených na zprovoznění a intenzifikaci ČOV u malých a středních zdrojů emisí, hrát významnou úlohu zejména nepřímé nástroje, vycházející z legislativy a programů EU. Na základě zkušeností z analogického vývoje v evropských povodích by se budoucí opatření měla opírat o tři hlavní pilíře:

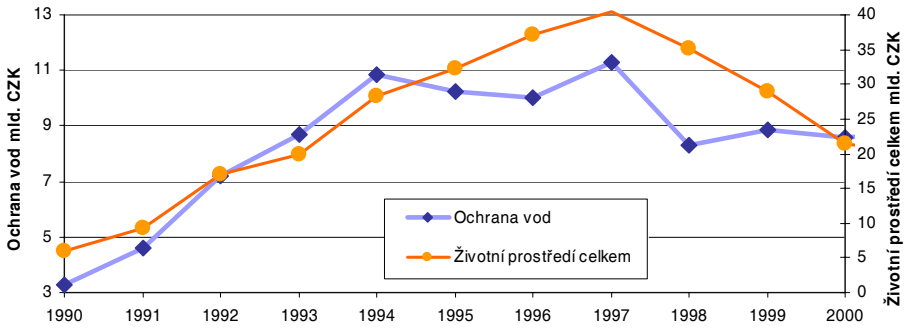
- legislativní nástroje
- ekonomické nástroje
- vzdělávací programy

V oblasti *legislativních nástrojů* je díky harmonizaci národní legislativy se systémem environmentálních norem a cílů EU položen kvalitní základ. Pro účinnost těchto nástrojů je však nezbytná rychlejší a důslednější aplikace jednotlivých legislativních nástrojů a jejich účinnější vymahatelnost.

Pro efektivnější zainteresování podnikatelských subjektů a investorů do ochrany vod je nezbytné nastavení *ekonomických nástrojů* tak, aby důsledná péče o ochranu vod představovala i z ekonomického hlediska konkurenční výhodu a ne jednostrannou zátěž. Zde představuje významný prvek možnost přístupu k evropským fondům, přičemž role státu by měla vedle přímé finanční spoluúčasti spočívat mimo jiné právě v usnadnění a podpoře přístupu jednotlivých subjektů k vnějším zdrojům financování.

Rizikový faktor zde představuje setrvalý pokles objemu investic do oblasti ochrany vod, ke kterému v ČR dochází od poloviny 90. let a který se týká jak prostředků ze státního rozpočtu, tak investic ze soukromého sektoru a zahraničí. Má-li ČR zabezpečit nejen plnění stávajících cílů v ochraně vod,

plynoucích ze závazků v rámci EU a mezinárodních programů, ale i strategicky podporovat ochranu vodní složky životního prostředí, je nezbytné investice do oblasti ochrany vod systematicky podporovat. Jde jednak o stimulaci růstu celkového objemu investic, tak o strukturální změny ve složení zdrojů financování, zejména o zvýšení podílu prostředků ze zahraničních zdrojů, které v současné době mají na celkovém objemu veškerých investic do ochrany životního prostředí minimální podíl.



Obrázek 11 Investice na ochranu vod před znečištěním. Data MŽP, 2004

Nezbytným prvkem, podmiňujícím dlouhodobě udržitelný rozvoj při zachování přijatelné kvality životního prostředí jsou *vzdělávací programy*. Jejich cílem by mělo být obecné přijímání a sdílení spoluzodpovědnosti zainteresovaných jednotlivců a organizací za stav jimi ovlivňovaných složek životního prostředí. V oblasti ochrany vod před znečištěním jde o zvýšení úrovně znalostí o stavu a možnostech ochrany jakosti vody, především však o cílené šíření konkrétních poznatků, doporučení a zásad hospodaření s ohledem na charakter provozu. Přestože jde o cíl dlouhodobý s prakticky obtížně měřitelnými výsledky, zkušenosti z EU ukazují, že není možné tuto složku podcenit, protože právě dobrovolné přijímání spoluzodpovědnosti za stav životního prostředí na úrovni jednotlivce či podnikatelského subjektu je podmínkou harmonického a dlouhodobě udržitelného rozvoje vodní složky prostředí.

6 ZÁVĚR

Zkušenosti z analogického vývoje ve velkých evropských povodích, zejména v povodí Rýna ukazují, že komplexní změny jakosti povrchových vod v celku povodí představují dlouhodobý proces. Sanace prioritních zdrojů znečištění, ke které v české části povodí Labe proběhlo v poslední dekádě minulého století, přinesla mimořádně rychlý pokles zátěže povrchových vod největších toků českého povodí Labe – středního a dolního Labe a Vltavy a dalších silně zatížených toků – Bíliny, Berounky. Většina hydrografické sítě, zejména drobných a středních toků, však i v současné době trpí nadměrným znečištěním ve většině základních sledovaných ukazatelů a prostorové i časové trendy dynamiky vývoje neukazují na možnost rychlého zlepšení.
Analýza prostorové a časové dynamiky změn jakosti vody přinesla následující zjištění:

- Převažující část povodí Labe ve většině hodnocených ukazatelů zaznamenává v průběhu posledních 30 let kontinuální nárůst úrovně znečištění.
- Velká část pozitivních změn v oblasti jakosti povrchových vod je soustředěna do oblasti velkých toků jako důsledek systémových opatření u dominantních zdrojů znečištění.
- Pozitivní vývoj, který byl nastartován v první polovině 90. let a který vedl k razantnímu snížení úrovně zátěže našich největších toků se výrazně zpomalil. Systémová investiční opatření do čištění odpadních vod se v prvním období logicky soustředila na největší průmyslové a komunální zdroje znečištění. Tento trend však nebyl následován u zdrojů regionálního a lokálního významu v celé ploše povodí Labe. V řadě oblastí naopak od druhé poloviny 90.let pozorujeme opětovný nárůst zátěže.
- V řadě oblastí za dočasným poklesem úrovně zátěže na počátku 90. let stojí prostý útlum průmyslových a zemědělských aktivit bez systémových opatření na ochranu vod před znečištěním.

Současné ekonomické oživení v těchto regionech tak je provázeno nárůstem zátěže toků znečištěním.

- V organickém znečištění z komunálních zdrojů představuje závažný problém dlouhodobá absence ČOV u malých a středních sídel. Současný odklad aplikace požadavků legislativy EU na čištění odpadních vod z těchto zdrojů oddaluje možnosti efektivního zlepšení jakosti vody v povodí Labe jako celku.
- Výrazným problémem zůstává zátěž z difúzních a plošných zdrojů znečištění, kdy ani po razantním poklesu aplikace strojených hnojiv nedochází k poklesu úrovně vyvoleného znečištění recipientů.
- Odklad aplikace environmentálních cílů WFD v oblasti čištění odpadních vod u malých a středních sídel přinese zhoršení stavu kvality vody v oblastech, které byly analýzou identifikovány jako kritické z hlediska současného stavu a vývoje kvality vody.

Poznatky o kvalitativních, kvantitativních, časových a prostorových aspektech vývoje kvality vody jsou významné pro management a řízení kvality vody v povodí Labe. Ukazují nezbytnost pokračování investic do oblasti ochrany povrchových vod před znečištěním a zejména na nutnost cíleného a prostorově selektivního přístupu, který může přispět k účinnějšímu zvyšování jakosti vody v tocích i k vyšší efektivitě vynakládaných investic.

7 PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za podpory Výzkumného záměru MSM 0021620831 „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“.

8 LITERATURA

Behrendt, H. (1996): Inventories of point and diffuse sources and estimated nutrient loads - a comparison for different river basins in Central Europe. Water Science and Technology 33(4-5), 99-107.

ČHMÚ (2004): Databáze jakosti povrchových vod v povodí Labe v období 1970-2003.

De Wit, M. (1999): Nutrient Fluxes in the Rhine and Elbe basins. Utrecht, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen Universiteit.

EEA (2002a): Phosphorus concentrations in Rivers. http://themes.eea.eu.int/.

EEA (2002b): Total oxygen in river stations by river size. http://themes.eea.eu.int/.

Janský, B. (1990): Bilance specifického látkového odnosu v českém povodí Labe. Závěrečná zpráva samostatné etapy státního úkolu Bilance specifického látkového odnosu v českém povodí Labe (II-5-7/8-4). Praha: PřF UK.

Janský, B. (2002): Changing Water Quality in the Czech Part of the Elbe Catchment Area in the 1990s. Geografie – Sborník ČGS. 107 (2), 74-93.

Jurča, V., Damaška, J., Damašková, H. & Jurča, V. (1997): Látkový transport z plošných zdrojů v České republice. Praha: VÚMOP.

Langhammer J. (2000): Trends of water quality of the Elbe River. Acta Universitatis Carolinae - Geographica 35.1 127-138.

Langhammer J. (2002a): Evaluation of the non-point sources of pollution of surface water. Acta Universitatis Carolinae - Geographica 2000.2. 67-82.

Langhammer, J. (2002b). Strukturální změny kvality povrchových vod v povodí Labe. Proměny krajiny a udržitelný rozvoj, eds. Balej, M. et Kunc, K., UJEP, Ústí nad Labem. p. 41-56.

Langhammer, J. (2004): Water quality changes in the Elbe River Basin. Geografie - Sborník ČGS 109(2), 93-104.

Langhammer, J. (2005): Geostatistická klasifikace změn kvality vody v povodí Labe. Geografie - Sborník ČGS 2005(1), 7-21.

MŽP ČR (2004): Indikátory životního prostředí. http://indikatory.env.cz/

Rieder, M. a kol.(2000): Jakost vody v tocích 1998-99 – ročenka. Praha,

Rosendorf P. et al. (1998): Omezování plošného znečištění povrchových a podzemních vod v ČR, etapová zpráva za rok 1998. Praha: VÚV TGM.

Thyssen, N. (2000): Rivers in the European Union: Water Quality, Status and Trends. River Restoration in Europe Ed. Cals, M.J.R.; Nijland, H.J. Wageningen: 63-71.

Van Dijk, P. (2001): Soil erosion and associated sediment supply to rivers. Amsterdam: University of Amsterdam.
VÚV (2000): Databáze Státní vodohospodářské bilance.

Autor

RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D.
Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,
Katedra fyzické geografie a geoekologie
Albertov 6, Praha 2, 128 43
langhamr@natur.cuni.cz
http://www.natur.cuni.cz/~langhamr

PRIESKUM A HODNOTENIE MORFOLÓGIE VODNÝCH TOKOV AKO SÚČASŤ INTEGROVANÉHO MANAŽMENTU POVODIA

Milan Lehotský, Anna Grešková

Rieky predstavujú dynamické geosystémy, ktoré menia svoju morfológiu, hydrauliku a charakter sedimentácie následkom prirodzených alebo človekom zmenených podmienok povodia. Ich odozva zahŕňa zmeny geometrie koryta, pôdorysnej vzorky, štruktúry geomorfologických jendotiek, zvýšenú degradáciu alebo agradáciu, rozširovanie alebo zužovanie koryta ako aj zmeny kvality a charakteru sedimentov. Príspevok prezentuje metodológiu prieskumu, hodnotenia a náčrt tzv. „geomorfologického projektu rieky“ .

Kľúčové slová:morfológia riek, prieskum, hodnotenie, manažment

Survey and assessment of river morphology as part of integrated river basin management. Rivers are dynamic geosystems that can readily alter aspects of morphology, hydraulics, and sedimentology in response to altered river basin natural and man induced conditions. River response include changes of river channel geometry, their planform, geomorphic units pattern, progressing degradation or aggradation, channel widening or narrowing, and changes in the character of sediments. The paper presents the methodology of river morphology survey, assessment and the draft of so called “River Geomorphic Project”.

Key words: river morphology, survey, assessment, management

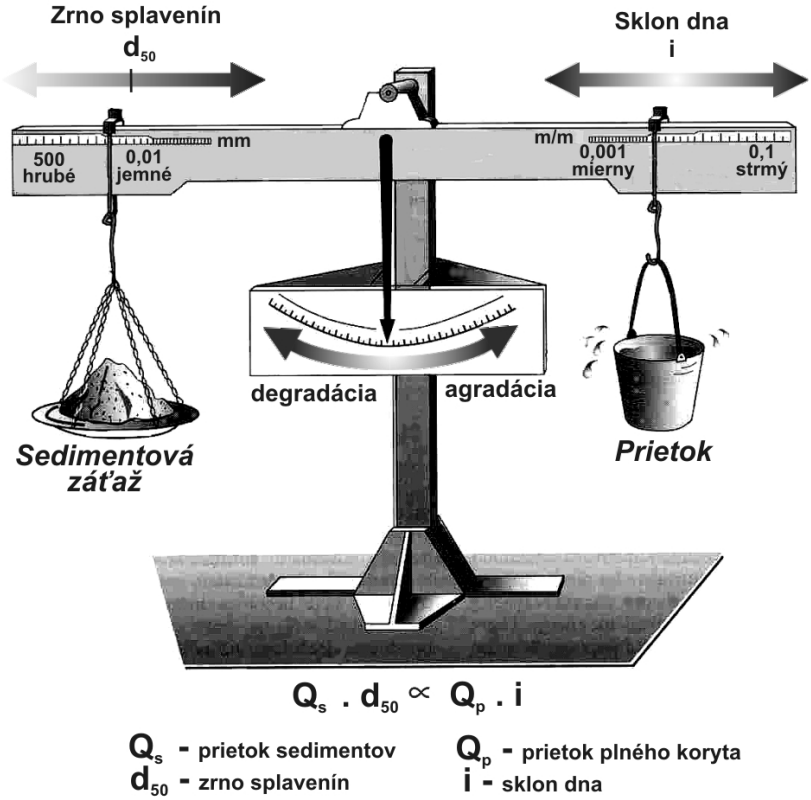
Úvod

Poznávanie a hodnotenie vodných tokov v intenciách integrovaného manažmentu povodia za účelom zachovávania a zvyšovania ich prírodnej diverzity, pochopenia spávania sa počas záplav, riešenia problémov renaturácie, revitalizácie (obnovy) sú trendom vo všetkých vyspelých krajinách. Tento trend sa zrkadlí aj v programoch v rámci Európskej únie, kde sa komplex aktivít zameraných na zlepšenie stavu všetkých povrchových tokov a nív v povodí sústreďuje v „Rámcovej smernici o vodách“ (RSV). Mimo EÚ sú to manuály a práce predstavujúce konkrétne procedúry hodnotenia, resp. monitoringu, opierajúce sa najmä o morfologické klasifikačných schémy vodných tokov Rosgen-a (1994) a Montgomery a Baffington-a (1997), resp, ich modifikácie. Takéto práce predstavuje napríklad hodnotenie vodných tokov Vermontu (Kline 2003), Britskej Kolumbie (Channel Assessment Procedure Guidebook 1996, Toews a Chalwin eds. 2000), „Habitat Assessment and Physicochemical Parameters“ (1999) a ochranu brehov (Cremer ed. 2003) v štáte Washington, manuál hodnotenia povodí a vodných tokov štátu Oregon (Kuzis 1999), maunály rehabilitácie a manažmentu vodných tokov (Koehn 2001, Bennett et al. 2000) a príbrežnej zóny (Lovett a Prince eds. 1999) v Austrálii a iné. Prieskum morfológie tokov je súčasťou metodiky prieskumu riečnych habitátov (RHS-verzia 2003) vo Veľkej Británii. Metodika ekomorfologického prieskumu s dôležitým obohatením o jej modifikácie pre veľké vodné toky bola vyvinutá v Nemecku (Fleischhacker a Kern 2002). V Juhoafrickej republike bola spracovaná metodika stanovenia tzv. geomorfologického indexu vodných tokov (Rowntree a Zirvogel 1999). Morfologickému produktu činnosti a pôsobenia vodných tokov sa v minulosti u nás venovala len malá pozornosť. Boli to hlavne práce a projekty realizované na VÚVH riešiace problematiku plavenín a splavenín vybraných tokov Slovenska a revitalizácie Moravy. V súčasnosti sa situácia mení. Výskumu morfológie vodných tokov - korytovo-nivnému geosystému chápanému ako *„prirodzené mierne jednostranne sklonené pozdĺžne a priečne diferencované dynamické ploché dno doliny s v ňom vloženým korytom s brehmi a dnom formovaným trvalým alebo občasným prúdením vody, ktorá sa periodicky vylieva mimo objekt a zaplavuje a formuje mikroreliéf dna doliny“* sa venuje pozornosť na Geografickom ústave SAV (viaceré práce M. Lehotského a A. Greškovej). Súčasne sa v prácach Jakubisa (2002, 2004, 2005) začali rozvíjať aj myšlienky práce Macuru (1987) dotýkajúce sa problematiky regionálnych rovníc, režimových kriviek a ustálenosti koryta. Na SHMÚ sa začalo monitorovanie morfológie vodných tokov v rámci RSV EÚ. Cieľom príspevku je poukázať na nový, u nás málo rozvinutý, no vo svete spoločensky žiadaný trend

výskumu morfológie vodných tokov, fluviálnych geosystémov a geomorfologickej bázy riečnej krajiny a prezentovať hrubé črty ich prieskumu, poznávania a hodnotenia.

Teoreticko-metodologické východiská

Poznávanie vodných tokov a okolitej krajiny vývojovo nimi podmienenej je predmetom záujmu viacerých vedných disciplín a jednou z nich je aj fluviálna geomorfológia. Táto prešla vo svete za posledných dvadsaťpäť rokov rýchlou transformáciou čo sa týka teoreticko-metodologického aparátu i

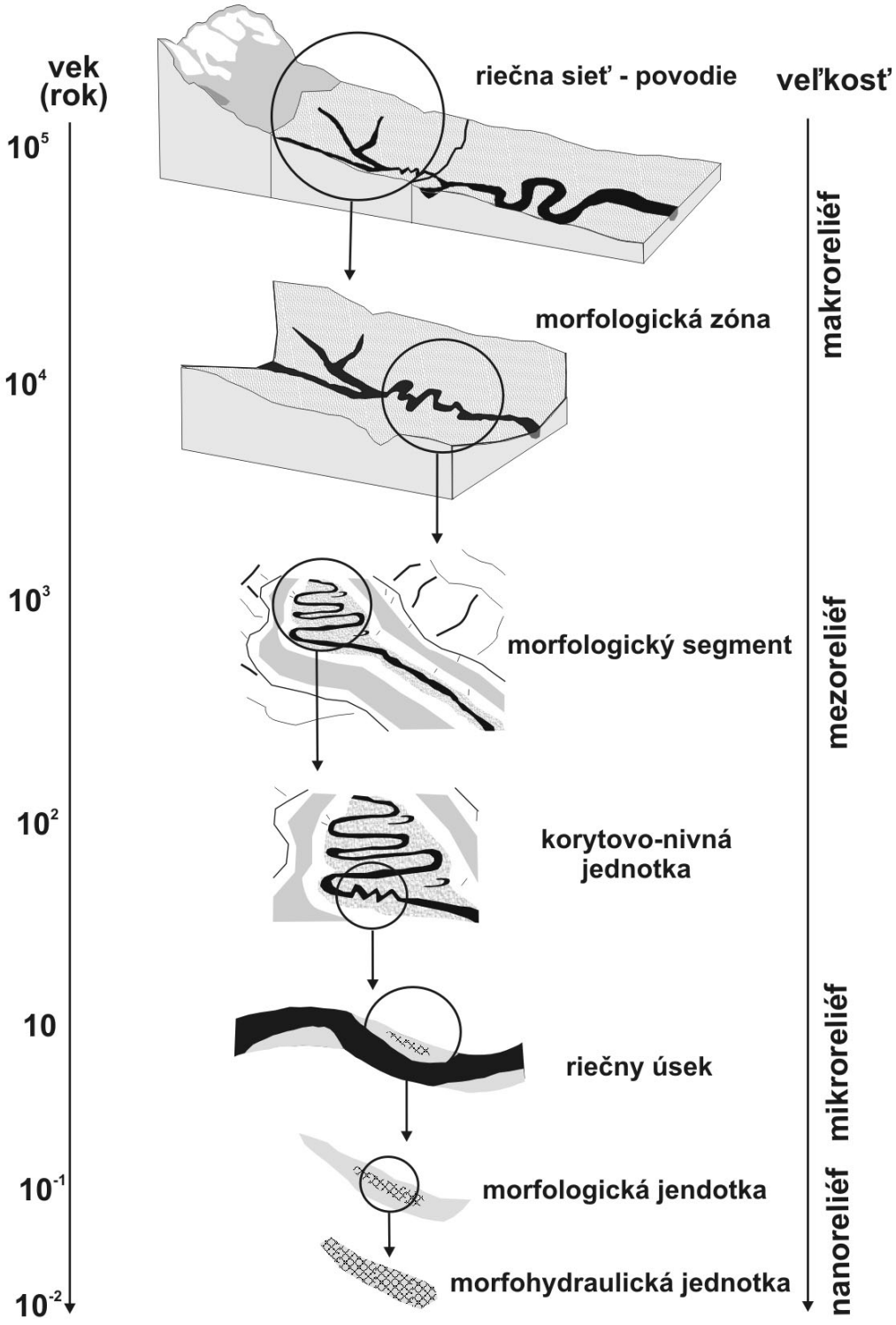


Obr. 1. Faktory podmieňujúce rovnovážny stav koryta (modifikované podľa Lane 1955)

Fig. 1. Factors affecting channel equilibrium

aplikačnej polohy. Výrazný metodologický posun sa prejavil v podobe holistického chápania riečnych geosystémov, v presune ťažiska ich výskumu do veľmi podrobných mierok, zintenzívnenia štúdia vzťahov medzi fyzikálnymi procesmi a formami reliéfu sprevádzaného odklonom od deskripcie foriem k vysvetľovaniu mechanizmov ich vývoja a dynamiky a napokon v polohe ich hodnotenia a monitorovania. Za poslednú dekádu, hlavne vďaka holistickému chápaniu geomorfologickej reality a mimoriadnemu množstvu exaktných experimentálnych meraní v teréne a laboratóriách, ako aj dôkladných analýz takto získaných dát z rôznych kútov sveta (hlavne z USA, Kanady, Austrálie, Juhoafrickej republiky a Veľkej Británie) značne vzrástla aj aplikačná sila fluviálnej geomorfológie. Jej posilňovanie je zároveň umocňované aj tvorbou databáz v prostredí GIS-u a vývojom softwérov na ich elektronické spracovanie. Problematika výskumu fluviálnych geosystémov a tým aj nárast významu fluviálnej geomorfológie je takto v súčasnosti, v období globálnych klimatických zmien zvlášť vysoko aktuálny. Na moderný aplikačný environmentálne ladený charakter fluviálnej geomorfológie propagujúci myšlienky, že morfologický výskum riečnej krajiny predstavuje základnú stavebnú a lokalizačnú bázu poznávania, hodnotenia a manažmentu vodných tokov poukazujú mnohé vedecké práce, ako aj práce aplikačného charakteru. Z nich spomenieme aspoň Gurnell, Petts (1995), Thorne et al. (1997), Thorne (1998), Brierley et al. (2002), Brierley, Fryirs (2005).
Morfológia rieky je odrazom dynamickej rovnováhy medzi objemom vody a sedimentov v prostredí povodia regulovanej eróznymi, transportnými a akumulačnými procesmi (Obr.1). Výsledkom je

formovanie morfológie koryta, brehov, dna a nivy, ale súčasne aj formovanie priečneho profilu, sklonu pozdĺžneho profilu, kľukatenie, vetvenie a pôdorysná vzorka a hierarchická štruktúra (Obr. 2).

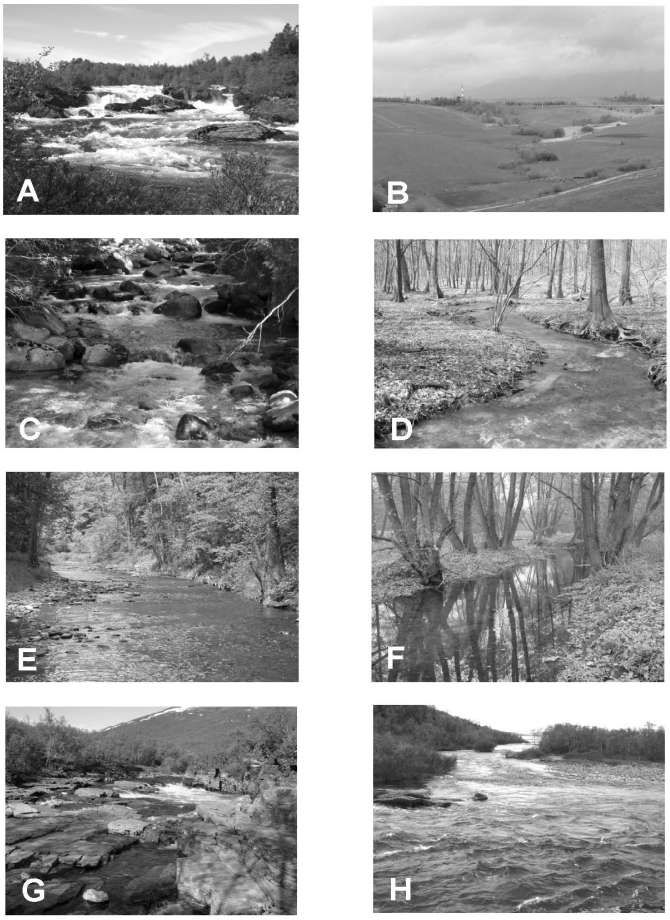


Obr. 2. Model hierarchickej klasifikácie morfológie riek

Fig. 2. River morphology hierarchical classification model

Získavanie informácií o morfológii korytovo-nivného geosystému a jeho terénny prieskum

Fluviálno-morfologický výskum je možné uskutočňovať v rôznych priestorových mierkach a časových dimenziách a môže byť zameraný na riešenie širokého spektra problémov základného výskumu ako aj problémov súvisiacich s aplikáciou poznatkov geomorfológa v praxi. K tomu je v prvom rade potrebné mať dostatočné teoretické poznatky, zvládnutú fluviálno-geomorfologickú terminológiu a v podobe konceptuálneho modelu sformulovaný vedecký problém. Potom nasledujú



Obr. 3. Typy riečnych úsekov (A – kaskádový, B – koluviálny, C – stupeň/priehlbina, D – plytčina/priehlbina, E – planárny, F – vráskovo/dunový, G – skalného dna, H – sútokový).

Fig. 3. Types of river reaches (A – cascade, B – colluvial, C – step/pool, D – riffle/pool, E – plane bed, F – ripple/dune, G – bed rock, H – confluence).

sofistikovane zozbierané informácie. Hlavnými zdrojmi informácie pre povodie a väčšie toky sú rôzne druhy máp, letecké snímky doplnené údajmi z terénu a iných zdrojov (kroniky, dotazník a pod.). Analýzou topografických, geologických, pôdnych máp, hydrologicko-klimatických údajov, podkladov o využívaní povodia a krajinnej pokrývke, analýzou leteckých, resp. satelitných snímok získavame charakteristiku podmienok produkcie sedimentov, hydrologického režimu toku, konfliktov vyplývajúcich zo štruktúr krajinnej pokrývky a využitia zeme. Určujú sa základné geomorfologické vzťahy medzi korytovo-nivným systémom a ostatnými systémami doliny, t. j. príčinné vzťahy medzi regionálnym charakterom fluviálnych procesov a ich lokálny dopadom. Súčasne sa identifikuje pôdorysný typ vodného toku, typ doliny, stupeň kľukatosti a základné problémy nestability fluviálneho systému ako je napríklad degradácia a agradácie koryta, erózia brehov, stavebné zásahy a pod.. Uvedené analýzy sa väčšinou vykonávajú kamerálne. Túto úroveň poznania je vhodné doplniť aj o základné výsledky získané predbežnou rekognoskáciou povodia. Pre malé a stredné toky (o šírke do 30 m) a pre úseky veľkých tokov je dominantným zdrojom pre získavanie informácie terén, pričom

podľa všeobecne platných skúseností je efektivita ich získanie tým úspešnejšia, čím jasnejšie je definovaný zámer, cieľ celého výskumu ako aj plán práce v teréne. Tieto aspekty získavania informácie musia byť ujasnené pred začatím prác a zohľadnené pri zostavovaní terénneho protokolu – tabuliek zostavených tak, aby umožňovali zaznamenať prítomnosť fenoménu, jeho vlastnosti, resp. hodnotu. Súčasne je potrebné uvedomiť si všetky logistické detaily pohybu v teréne ako sú terénna výstroj (rybárske čižmy, odev odolný proti nepriaznivému počasiu a roztrhaniu), nástrojové a prístrojové vybavenie (sklonomer, diaľkomer, zápisník, GPS), prepravu a pod.. Čo sa týka stratégie terénnych prác existuje mnoho variantov, avšak vo všeobecnosti platí, že ak skúmame neznáme územie jeho výskum začíname tzv. predbežnou rekognoskáciou. Pri prieskume využívame vopred vybraté miesta s dobrým výhľadom, mosty a lokality s ľahkým prístupom k vodnému toku. V relatívne známom území prieskum predstavuje obnovenie, overenie, resp. zdetailizovanie poznatkov o fluviálnych systémoch. Po tejto, malo-mierkovej úrovni terénnych prác nasledujú práce vo veľkých mierkach. Na tejto úrovni výskumu spracovávame buď vybraté profily, resp. kratšie riečne úseky o dĺžke rovnajúcej sa približne 5 až 10 násobku šírky vodného toku, resp. také dlhé aby vyhovovali postihnutiu jeho špecifických parametrov. Kľúčovým krokom terénneho výskumu je identifikovanie geomorfologických jednotiek - foriem reliéfu koryta a nivy ako stavebných kameňov riečnych systémov reprezentujúcich špecifické prejavy väzby medzi formami a procesmi. Veľkosť jednotiek odpovedá veľkosti toku. Na veľkých tokoch nachádzame spravidla veľké morfologické formy a ich menšiu diverzitu na jednotku dĺžky, malé vodné toky naopak sú charakteristické menšími morfologickými formami a ich väčšou diverzitou na jednotku dĺžky. Získanie poznatkov o týchto parametrov je veľmi dôležité, pretože predstavujú bázu, na základe ktorej sa geosystém analyzuje a klasifikuje v polohe príčinných vzťahov medzi fluviálnymi a sedimentačnými procesmi. Ich poznanie poskytuje významný kľúč k detailnejšiemu odhaleniu pôvodu nestability koryta a indikovaniu senzitivity koryta na destabilizáciu a vývoj nivy, ako aj k identifikovaniu typov riečnych úsekov (Obr. 3). Okrem týchto parametrov sa pri opise koryta a nivy sústreďujeme aj na charakteristiku sedimentov v zmysle určenia ich typu, stratigrafie a hĺbky. Všímame si charakter eróznych procesov, geotechnických vlastností brehov, ich porúch, charakter vegetácie, bilanciu podbrehových sedimentov a pod.. Treba upozorniť, že pravý a ľavý breh sa skúmajú a popisujú osobitne. Neodmysliteľnou súčasťou terénneho prieskumu je popis hydraulických vlastností koryta vodného toku a sedimentačných vlastností jeho dna. Okruh zahrňuje informácie o štandartných parametroch hydraulickej geometrie vodného toku, typu – morfohydraulických jednotiek. Takto získané komplexné a dôkladné poznanie vlastností nivy a koryta a ich dynamiky predstavuje kardinálnu bázu pre pochopenie „života“ vodného toku v zmysle vývoja jeho pôdorysu a mechaniky zahlbovania a presúvania brehovej línie. Tieto informácie súčasne slúžia ako podklad pre výber a aplikovanie rôznych modelových prístupov, klasifikačných a hodnotiacich schém, monitorovacích stratégií, ako aj pre rozhodovací proces pri hľadaní vhodných stratégií manažmentu korytovo-nivných geosystémov a riečnej krajiny.

Hodnotenie morfológie vodných tokov - súčasný aplikačný prúd fluviálnej geomorfológie

Základom pre úspešné prispievanie fluviálnej geomorfológie do plánovacej praxe je v prvom rade poznanie štruktúry vodného toku ako aj v ňom prebiehajúcich procesov v rôznych časových horizontoch. Nemenej je však dôležité aj posúdenie stavu, t. j. hodnotenie štruktúry a procesov. Tieto myšlienky, ako vyplýva aj z práce Petts (1995), môžeme zhrnúť v podobe výzvy fluviálnej geomorfológie do budúcnosti a táto spočíva, podobne ako je to vo vyspelých krajinách, v troch oblastiach, a to:

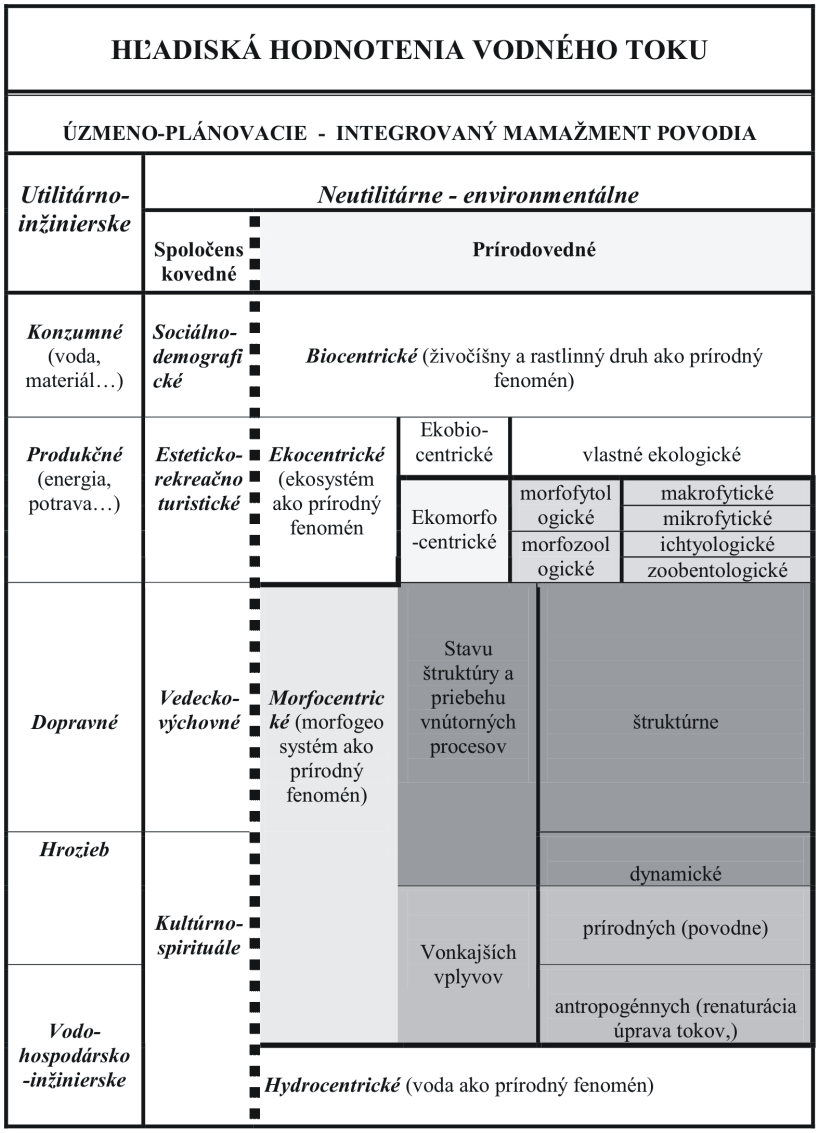
- v hodnotení zdravotného stavu riek v spolupráci s ekológmi a hydrobiológmi,
- vo výskume povodňovej hrozby a jej odozvy,
- v oblasti manažmentu riek a ich povodí.

Pohľad na komplexnosť a rôznosť hodnotenia vodných tokov a pozíciu morfocentrického a ekomorfocentrického prístupu v priestore hodnotenia vodných tokov poskytuje Tab. 1 (Lehotský, 2004a). Na skutočnosť, že hodnotenie morfológie v rámci manažmentu povodia predstavuje aplikačný krok výskumu morfológie riek, v prvom rade poukazujú novšie

kľúčové knižné fluviálno-geomorfologické (Gurnell a Petts 1995, Thorne et al. 1997, Thorne1998,

Tab. 1. Hľadiská hodnotenia vodných tokov

Tab. 1. Views of river assessment



Sear et al.2003, Brierley 2005) a ekologicky (Maddock 1999, Gordon et al. 2004) ladené publikácie. Procedurálne je hodnotenie morfologických vlastností vodných tokov vždy postavené na porovnávaní stavu vyčleneného (prirodzene alebo umele) úseku toku voči tzv. referenčnému, človekom málo ovplyvnenému alebo zrekonštruovanému úseku odrážajúceho vývojovú trajektóriu geosystému (Obr. 4).

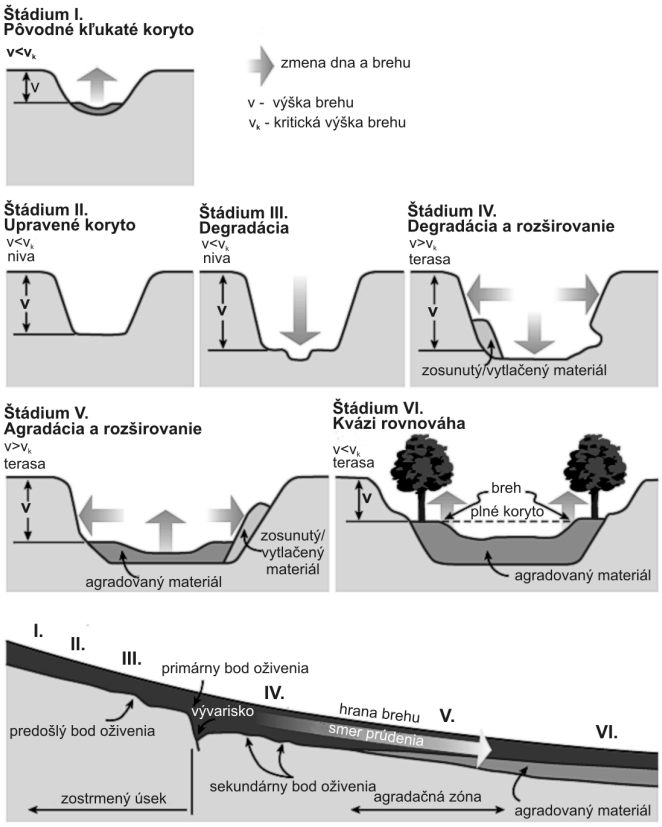
Vyčleňovanie hodnotiaceho úseku sa uskutočňuje:

a) účelovo - vodný tok sa jednoducho rozčlení na úseky o takej jednotnej dĺžke, ktorá vyhovuje účelu a detailnosti hodnotenia,

b) zámerne - ak sa jedná o riešenie len lokálneho problému,

c) určením korytovo-nivnej jednotky vyčlenenej na základe vlastností uvedených pri hierarchickej klasifikácii morfológie riek (River Morphology Hierarchical Classification - RMHC) (Lehotský2004b) a poznaním jej invariantu ako referenčnej vzorky.

Invariant sa identifikuje na základe detailného poznania mechanizmu fungovania korytovo-nivnej jednotky (charakter pôdorysnej vzorky, polohy toku na nive, možnosti laterálnej a vertikálnej erózie a migrácie, typ riečneho úseku ako taxónu, charakter vývoja morfologických jednotiek a pod.), pochopenia jej fungovania v segmente určované jeho sklonom, veľkosťou prietoku a základných typov údolia, charakterom zóny (Lehotský a Novotný, 2004) a napokon



Obr. 4. Model vývoja koryta (modifikované podľa Hupp, Simon 1991)

Fig. 4. Channel evolution model

vlastnosťami a správaním sa povodia. Dobrý stav hodnotiaci úsek vykazuje vtedy, keď jeho morfologické podmienky sú blízke podmienkam referenčným. Okrem vyššie vysloveného existuje niekoľko ďalších závažných predpokladov, ktoré je pri hodnotení morfologických vlastností vodných tokov nutné akceptovať (Lehotský, 2004b):

1. Faktom je, že „dobrý morfologický stav" vodného toku na umele alebo prirodzene vyčlenenom hodnotenom úseku nie je odrazom jeho maximálnej priestorovej diverzity, ako je to napríklad postulované v krajinnej ekológii. Je to preto, že niektoré typy úsekov vodných tokov sú homogénnejšie už prirodzene a iné, naopak sú už vo svojej podstate diverznejšie.

2. Z modelu hierarchickej klasifikácie vyplýva, že u vodných tokov, čo sa týka ich morfologických vlastností, nachádzame určitý súbor podobných taxónov, nachádzame typy taxónov, typy hodnotených úsekov. Sú to entity so špecifickými vlastnosťami a skladbou morfologických elementov, pričom každý typ možno charakterizovať a teda aj hodnotiť prostredníctvom špecifického súboru atribútov, ktoré nie sú zhodné pre iné typy riečnych úsekov, t. j. hodnotenie je možné vykonávať iba porovnaním hodnôt atribútov referenčného úsekom určitého typu s hodnotami atribútov iného úseku, ale taktiež iba toho istého typu. Poznajúc ich, je možné taktiež rozhodovať o relevancii toho ktorého atribútu. V opačnom prípade, nie je možné úseky porovnávať, hodnotiť a monitorovať. Z toho potom vyplýva, že porovnávať a následne hodnotiť je možné len príbuzné typy riečnych úsekov.

3. Pri hodnotení je povinné rešpektovať princípy vertikálnej, laterálnej a pozdĺžnej spojitosti. Povedané iným slovami, nie je možné skúmať a hodnotiť koryto bez nivy a naopak, nerešpektovať

stav morfológie na úseku pod hodnoteným úsekom a nad ním, nerešpektovať polohu úseku v rámci vyšších taxónov a pod..

4. Ak akceptujeme predpoklad 3. a skutočnosť, že hodnotenie je zamerané na zistenie zmeny stavu tých morfologických vlastností vodného toku, ktoré človek svojimi zásahmi do krajiny ovplyvnil, ale aj tých, ktoré sú výsledkom iných prírodných fenoménov (klíma, tektonika) a ich efekty sú zistiteľné ako dôsledky prirodzeného vývoja rieky, či už počas náhlych udalostí alebo v čase priemerného režimu v časovom horizonte 100-200 rokov, logicky nám potom vyplýva, že taxón spĺňajúci podmienky vhodnosti ako objekt hodnotenia je korytovo-nivná jednotka z RMHC (Lehotský 2004a). Podobne definovaný objekt hodnotenia, avšak s iným názvom (River Style), chápaný aj ako taxón hierarchickej štruktúry vodného toku nachádzame aj u autorov Brierley et al. (2002) a Fryirs (2003). U iných autorov sa tieto riečne jednotky ako objekty hodnotenia nazývajú jednoducho ako riečne úseky. Začlenenie a pochopenie vývoja korytovo-nivnej jednotky v rovine vyšších taxónov (segmentu, zóny a povodia s riečnou sieťou) umožňuje už dostatočne postihnúť evolučnú trajektóriu. Na druhej strane poznanie nižších taxónov, z ktorých pozostáva umožňuje poznávanie a hodnotenie symptómov zmien a určovanie morfologicky „zdravotného" stavu riek.

5. Je nevyhnutné chápať súčasný vývoj rieky ako pokračovanie jej vývoja v časovom kontinuu, pričom tento evolučný aspekt poskytuje možnosti explanácie hlavne príčin zmeny štruktúr a procesov a menej symptómov detekcie týchto zmien.

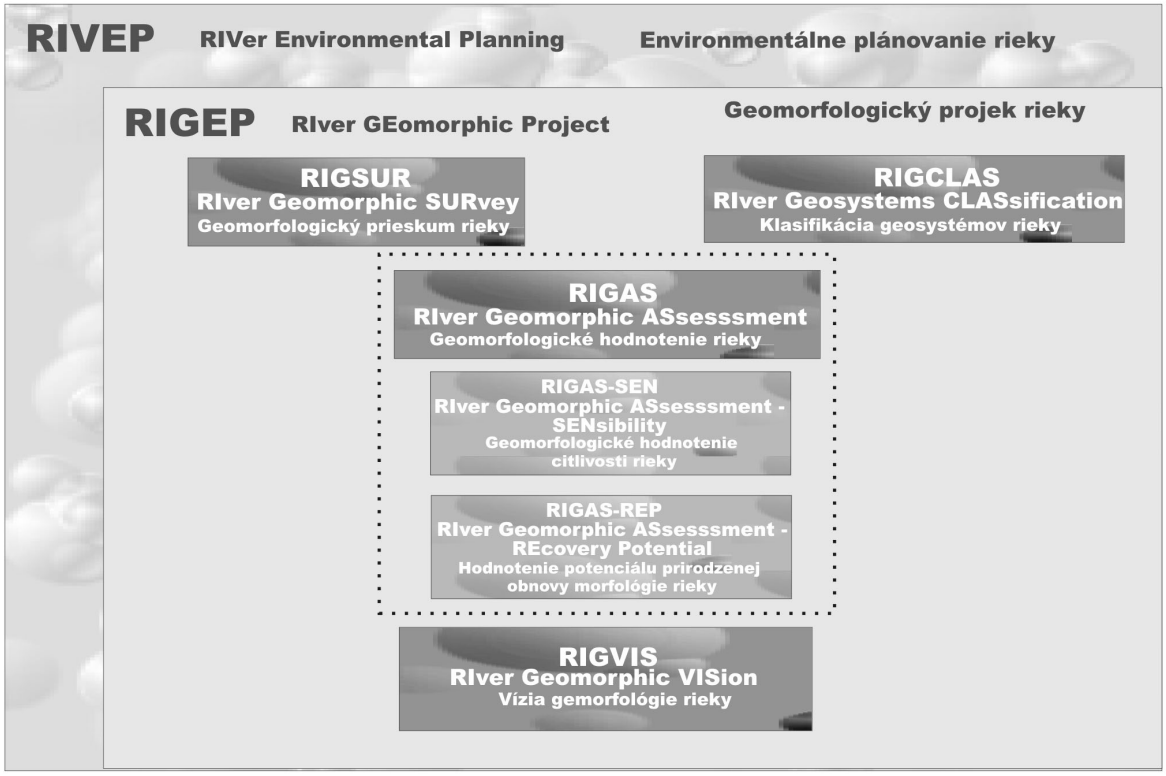
6. Potrebné je rozlišovať morfocentrické hodnotenie a monitorovanie morfologických vlastností vodných tokov. Morfocentrické hodnotenie postihuje charakter zmien v zmysle agradácie a degradácie, reverzibility a ireverzibility procesu formovania morfológie toku. Na základe jeho výsledkov je potom možné realizovať ekomorfocentrické hodnotenie. Monitorovanie predstavuje iba prieskum vykonávaný v pravidelnom časovom kroku na väčšinou umele, metricky a negeneticky vyčlenených úsekoch. Morfocentrické hodnotenie by malo byť súčasťou monitorovania a to v jeho prípravnej fáze, t.j. pri výbere a definovaní referenčných podmienok, určení monitorovacieho úseku ako aj pri interpretácii získaných výsledkov.

7. Kľúčovým bodom hodnotenia je identifikácia prahov a určovanie prahových hodnôt vlastností korytovo-nivných geosystémov. Ich prekročením sa mení charakter a typ morfológie vodného toku. Napríklad typ riečneho úseku sa mení v časovej dimenzii 50-100 rokov. Detekovať ich je možné iba priamo v teréne. Prahy zvyčajne predstavujú body oživenia ako lokálne prirodzené alebo umelé erózne bázy. Prahové hodnoty sa zasa detekujú hľadaním „neočakávaných" eróznych a akumulačných príznakov, avulzií, hľadaním zmien charakteru a kompozície morfologických jednotiek, náznakov zmeny pôdorysnej vzorky koryta a pod.. Funkciu prahov mnohokrát plnia inžinierske zásahy ako sú mosty, prehrádzky, stupne.

8. Je potrebné mať na zreteli, že hodnotenie sa môže realizovať za rôznym účelom. Tomu potom odpovedá aj detailnosť výskumu vodného toku a mierka vypracovanie geomorfologickej mapy. Ak sa jedná o toky do 30 m šírky, tak je potrebné spracovať mapu v mierke okolo 1 : 500. Vyžaduje si to však adekvátne technické (GPS, diaľkomer, prostredie GIS-u, kompas, sklonomer, zememeračská lata) a materiálne (rybárske čižmy) vybavenie, veľmi konkrétne, krokovo sformulovaný postup prác v teréne. Legenda mapy využíva špecifickú terminológiu fluviálnej geomorfológie a okrem mierky sa zvlášť neodlišuje od iných geomorfologických máp. Povedané inými slovami, fluviálny geomorfológ je povinný skúmať realitu podrobnejším „okom" na aké sme boli doteraz u nás, a to či už v geomorfológii, fyzickej geografii alebo krajinnej ekológii zvyknutí, pretože tomu odpovedá prirodzená diferenciácia jeho objektu.

Geomorfologický projekt rieky

Aplikačný charakter fluviálnej geomorfológie si vyžaduje vyjasniť taktiež koncepčné pozadie, ktorým sa definuje a vytvára priestor pre realizáciu prenosu poznatkov z tejto disciplíny do integrovaného manažmentu povodí. Procedúru zabezpečujúcu napĺňanie zámerov prieskumu, hodnotenia a aplikácie poznatkov výskumu morfologických vlastností vodných tokov pri manažmente a enviromentálnom plánovaní rieky, riečnej krajiny v rámci integrovaného manažmentu povodia **(RIVEP - RIVer Environmental Planning)** nazývame **geomorfologický projekt rieky (RIver GEomorphic Project - RIGEP)** (Obr.5).



Obr. 5. Projekt environmentálneho plánovania morfológie vodných tokov

Fig. 5. Environmental river geomorphic project

Projekt sa skladá z nasledovných krokov:
(1) z prieskumu morfologických vlastností, charakteru a správania sa vodného toku v relácii povodia (RIGSUR - RIver **G**eomorphic **SUR**vey),
(2) z klasifikovanie súčasných morfologických štruktúr, ich štýlov a evolúcie (**RIGCLAS – RI**ver **G**eosystems **CLAS**sification) **aplikujúc model hierarchickej klasifikácie morfológie riek – RMHC a evolučný model vývoja koryta** (Lehotský 2004a, Lehotský a Grešková, 2003a, 2004a, 2004b, 2004d),
(3) z hodnotenia morfologických vlastností rieky (RIGAS – RIver **G**eomorphic **AS**sesment), ktoré je možné realizovať buď v rovine ***morfocentrickej,*** s dôrazom na hodnotenia citlivosti fluviálnych geosystémov na prírodné a antropogénne impakty a hodnotenie zmien nimi vyvolanými (**RIGAS-SEN - RI**ver **G**eomorphic **AS**sesment -**SEN**sibility), určovanie potenciálu prirodzenej obnovy korytovo-nivných geosystémov a hodnotenia trajektórie ich vývoja (**RIGAS -REP -** RIver Geomorphic ASsesment - REcovery Potential**),** alebo v rovine ***ekomorfocentrickej*** s dôrazom na analýzu a interpretácie funkcie najnižších taxónov hierarchie ako habitatov pre živočíšne (morfozoologické) alebo rastlinné (morfofytologické) spoločenstvá. Výber základných vlastností-idikátorov stavu korytovo-nivnej jednotky ako hodnotiaceho úseku ilustrujeme v tabuľke č. 2. Výsledkom hodnotenia je ordinálna hodnotiaca škála (Grešková 2004, Lehotský a Grešková, 2003b).
(4) z implementácie získaných poznatkov v manažérskych a rehabilitačných programoch propagovanej v podobe geomorfologickej projekcie rieky (RIGVIS – RIver **G**eomorphic **VIS**ion).
Aplikácia načrtnutého prístupu ako aj hodnotenia postaveného na princípoch poznania mechanizmov fungovania jednotlivých taxónov morfológie stavia takto orientovaný výskum vodného toku viac do idiografickej ako do nomotetickej polohy. Tok sa chápe skôr ako individuum a nie ako typ. Nehľadajú sa všeobecné zákonitosti fungovania vodného toku, ale naopak postihujú sa jeho individuálne črty a prostredníctvom ich odhalenia sa napĺňajú zámery manažmentu.

Tab. 2. Parametre hodnotenia korytovo-nivnej jednotky

Tab. 2. Parameters of channel-floodplain assessment

indikátory / časti KNJ	MORFOLOGICKÉ	HYDRAULICKÉ	KRAJINNEJ POKRÝVKY
DNO	pôdorysná vzorka koryta	variabilita hĺbky pre voľne tečúce úseky rieky	
	miera kľukatosti		
	typ koryta (podľa vetvenia)	variabilita hĺbky pre vzduté úseky rieky	
	skrátenie koryta	odbery vody	
	formy dna koryta		
	zvyšky kmeňov stromov a konárov		
	migračné bariéry		
	narušenie dna koryta		
	obmedzenie pôsobenia dnových procesov/ stabilizácia dna koryta		
BREHY/ PRIBREŽNÁ ZÓNA	modifikácia šírky koryta	zmena šírky vodnej hladiny	pôvodnosť vegetácie
	stabilizácia brehov/obmedzenie laterálneho pohybu	rozsah vzdutia	pokryvnosť
	charakter laterálnej erózie	dynamika priemernej vodnej hladiny	zatienenie koryta
	pôvodnosť brehu		štruktúra vegetačného pásu
NIVA	pôvodnosť nivy	frekvencia zaplavenia	typ krajinnej pokrývky
	výskyt prítokov, opustených korýt	potenciálne zaplavené územie	vlastnosti pririečneho koridoru (šírka, skladba)

Záver

V príspevku sme sa snažili vo veľmi hutnej podobe prezentovať základné východiská prieskumu a hodnotenia morfológie vodných tokov. Je sympatické, že hoci zásadné práce v tejto oblasti vznikli len v polovici 90-tych rokov minulého storočia, teda len nedávno, tento pohľad na vodné toky sa udomácnil v mnohých vyspelých krajinách a fluviálna geomorfológia úspešne vstupuje do spolupráce s inými vednými disciplínami a podieľa sa na riešení lokálnych i globálnych problémov vodných tokov a riečnej krajiny. Dúfame, že tento trend neobíde ani slovenskú vedeckú a vodohospodársku obec.

Literatúra

Bennett, J., Sanders, N., Moulton, D., Philips, N., Lukacs, G., Walker, K., Redfern, F. (2002): Guedelines for Protecting Australian Waterways. Land and Water Australia. Canberra.

Brierley, G., Fryirs, K. 2005. Geomorphology and River Management. Applications of River Styles

Framework. Blackwell Publishing. Oxford, UK.
Brierley, G., Fryirs, K., Outhet, D., Massey, C. (2002): Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales, Australia. Applied Geography, 22, 91-122.
Cremer, M. (ed). (2003): Integrated Streambank Protection Guidelines. WDFW, kapitoly 1-6. Seattle.
Fleischhacker, T., Kern, K. (2002): Ecomorphological survey of large rivers. Manual, German federal Institute of Hydrology. German Institute of Hydrology. Karlsruhe. 41 s.
Fryirs, K. (2003): Guiding principles for assessing geomorphic river condition: application of a framework in the Bega catchment, South Coast, New South Wales, Australia. Catena, 30, s. 1- 36.
Gordon, N. D., McMahon, T. A., Finlayson, B. L., Gippel, CH. J., Nathan, R. J. (2004). Stream Hyrology. An Introduction for Ecologists. John Wiley&Sons, Ltd., Chichester.
Grešková, A. (2004): Hydromorfologický prieskum a hodnotenie vodných tokov. In Herber V. (ed.), Fyzickogeografický zborník 2, Kultúrní krajina, 16.-17.2.2004, Brno, Masarykova univerzita v Brně, 191-195.
Grešková A., Lehotský M. (2004): Priestorové štruktúry riečnej krajiny. In Měkotová J., Štěrba O.: Říční krajina, Palackého univerzita, Olomouc, 44-51.
Gurnell, A., Petts, G. (eds.). (1995): Changing River Channels. John Wiley and Sons. Chichester. 440 s.
Habitat assessment and physicochemical parameters. (1999): In: Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable river. US Environmental Protection Agency, Washington.
Channel Assessment procedure Guidebook. (1996): Forest Practices Code of British Columbia Act, Operational Planning Regulation. Ministry of Forestry.
Jakubis, M. (2002): Analýza vzájomných závislostí geometrických charakteristík prirodzene ustálených korýt bystrín na neovulkanitoch. Acta Facultatis Forestalis. XLIV, 281- 295.
Jakubis, M. (2004): K zákonitostiam morfogenézy bystrinného koryta. Acta Facultatis Forestalis. XLVI, 305-314.
Jakubis, M. (2005): Analýza vývoja koryta bystriny metódou regionálnych rovníc. Acta Facultatis Forestalis. XLVII. (v tlači)
Kline, M., Jaquith, S., Springston, G., becker, L. (2003): Vermont Stream Geomorphic assessment. Vermont Agency of natural Resources, Phase 1, 2, 3.
Koehn, J. D., Brierley, G. J., Cant, B. L., Lucas, A.M. (2001): River Restoration Framework. Land and Water Australia, Canberra.
Kuzis, K. (1999): Oregon Watershed Assessment Manual. Watershed Professional Network. Salem, Oregon.
Lehotský, M. (2004a): River Morphology hierarchical Classification (RMHC). Acta Univeristatis Carolinae, Geographica, v tlači
Lehotský, M. (2004b): Hodnotenie morfológie vodných tokov. Geomorphologia Slovaca, IV, 2. 36-47.
Lehotský, M., Grešková, A. (2003a): Geomorphology, fluvial geosystems and riverine landscape (methodological aspects). Geomorphologia Slovaca, 2,. p. 46 – 59.
Lehotský, M., Grešková, A.. (2003b): Hydromorfologický prieskum a hodnotenie vodných tokov Slovenska v súlade s požiadavkami Smernice 2000/60/EÚ. Návrh manuálu. SHMÚ, Bratislava.
Lehotský, M., Grešková, A. (2004a): Riverine landscape and geomorphology: ecological implication and river management strategy. Ekológia (Bratislava) v tlači.
Lehotský, M., Grešková A. (2004b): Hydromorphology, riverine landscape an river management strategy. Proceedings of The XXIInd Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water mamagement, ČHMÚ, Brno, CD ROM.
Lehotský, M., Grešková, A.. (2004c): Riečna krajina – integrovaný výskum a environmentálne plánovanie. Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae, Geographica, Bratislava (v tlači).
Lehotský, M., Grešková, A.. (2004d): Korytovo-nivné geosystémy a riečna krajina prieskum a hodnotenie. Geografie, Sborník české geografické společnosti, Praha, 109, 4, 277-288.
Lehotský, M., Novotný, J. (2004): Morfologické zóny vodných tokov Slovenska. Geomorphologia Slovaca, 4, 2, 48-53.
Lovett, S., Prince, P. (1999): Riparian Land Management Technical Guidelines. Vol. 1., 2.. Land and Water Resource Research and Development Corporation. Canberra.
Macura, V. (1987): Príspevok k určeniu a využitiu parametrov stabilného režimu korýt tokov. Vodní hospodářství. A 6/87. 152-154.
Maddock, I. (1999): The importance of physical habitat assessment for evaluating river health. Freshwater Biology, 41, 373-391.
Montgomery, D., Buffington, J. (1997): Channel-reach Morphology in Mountain Drainage Basins. Geological Society of America Bulletin, 109, 5, s. 596-611.
River habitat survey in britain and ireland (RHS). (2003): Field Survey Guidance Manual, 2003 Version. Environmental Agency of Great Britan, Environmental Agency of England and Wales, Scottish Environment Protection Agency, and Environment and Heritage Service of Northern Ireland.

Rosgen, D. L. (1994): A classification of natural rivers. Catena 22, 169-199.
Rowentree, K., Ziervogel, G. (1999): Development of an Index of stream geomorphology for the Assessment of River Health. NAEBP Report Series No 7. Institute for Water Qaulity Studies, Department of Water Affairs and Forestry, Pretoria.
Sear, D. A., Newson, M. D., Thorne, C. R. (2003): Guidebook of Applied Fluvial Geomorphology. Defra, London.
Thorne, C. R., Hey, R. D., Newson, M. D. eds. (1997): Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management. Wiley, Chicheste. pp 375.
Thorne, C. R.. (1998): Stream Reconnaissance Handbook. John Wiley&Sons, Chichester.
Toews, D. A. A., Chalwin, S. eds. (2000): Watershed Assessment in the Southern Interior of British Columbia: Workshop Proceedings, March 9 – 10. Ministry of Forest Research Program, Victoria.

Autori

RNDr. Milan Lehotský, CSc., geogleho@savba.sk
RNDr. Anna Grešková, CSc., geoggres@savba.sk

Príspevok bol vypracovaný v rámci vedeckého projektu č. 2/3084/25 financovaného vedeckou grantovou agentúrou VEGA.

ALTERNATÍVNE RIEŠENIE PROTIPOVODŇOVEJ OCHRANY DOLNEJ MORAVY

Miroslav Lukáč, Katarína Holubová, Katarína Mravcová

Vodohospodárske aktivity v slovenskej časti povodia rieky Morava sa v období po páde „železnej opony" výrazne zintenzívnili. Prispel k tomu jednak výskyt významných povodní (hlavne v lete 1997) a jednak spoločné trilaterálne (česko-slovensko-rakúske) aktivity v oblasti revitalizácie vodných tokov. Následky povodní síce neboli tak katastrofálne ako v Českej republike, poukázali však na slabé miesta a na nutnosť aplikácie komplexného prístupu k problematike menežmentu protipovodňovej ochrany, súčasťou ktorého sú aj moderné softvérové simulačné nástroje slúžiace na podporu rozhodovacích procesov. Skúsenosti z revitalizačných projektov tiež zvýraznili potrebu vypracovania spoločnej bilaterálnej (slovensko-rakúskej) stratégie pri realizovaní revitalizačných opatrení. Numerické simulačné modely aj tu zohrávajú dôležitú úlohu, či už vo fáze navrhovania konkrétnych opatrení, ako aj pri hodnotení ich účinkov. Na VÚVH sa rieši projekt „Ochrana revitalizáciou: Stratégia a manažment riečneho systému dolnej Moravy (2003 - 2005)", financovaný Agentúrou pre podporu vedy a techniky. Jedným z cieľov projektu je prehodnotenie protipovodňovej ochrany územia dolnej Moravy na základe analýzy dynamiky prúdenia veľkých vôd a tiež hodnotenie vplyvu navrhovaných alternatívnych opatrení protipovodňovej ochrany na biotu toku. Modelovo bola posúdená súčasná úroveň protipovodňovej ochrany na spoločnom slovensko-rakúskom úseku Dolnej Moravy. Ako alternatívny návrh bola analyzovaná účinnosť troch poldrov, v lokalitách Moravský sv. Ján, Gajary a Záhorská Ves. Kompletné výsledky riešenia projektu budú prezentované koncom roku 2005 v záverečnej správe a na workshope.

Kľúčové slová: rieka Morava, povodňová ochrana, numerické modelovanie, poldre

Alternative solution of flood control at the lower Morava river. *Water management activities in the Slovak part of the Morava river basin have increased significantly after the „iron courtain" collapse. This was the result of large floods occurrence (mainly in summer 1997), as well as common trilateral (czech, slovak, austrian) activities in the field of river restoration. Flood consequences were not so catastrophic as in the Czech Republic, however they pointed at the weak points in the system and the need of complex approach application in the flood management. Modern software simulation tools can be used for the decision support in the flood management. Experiences from river restoration projects emphasized a need for the preparation of common bilateral (slovak-austrian) strategy in the restoration measures realization. The role of numerical simulation models is also important in this field, either in the stage of restoration measures proposal, or in the evaluation of their effects. The project „Conservation by restoration: Strategy and management of the lower Morava river system (2003-2005)" is solved at the Water Research Institute. Project is financed by the Agency for the Science and Technics Support. Evaluation of the lower Morava flood control, based at the analysis of flood flow dynamics and evaluation of proposed alternative flood control measures impact at the river biota, represent two of main project objectives. The current state of flood control at the common slovak-austrian reach of the lower Morava river has been studied, using a numerical model. Polders in three localities (Moravsky Jan, Gajary and Zahorska Ves) represent alternative solution of flood control. Numerical model has also been applied for the assessment of the polders efficiency. The complete results of project will be presented in the final report and in the workshop in the end of 2005.*

Key words: Morava river, flood control, numerical modelling, polders

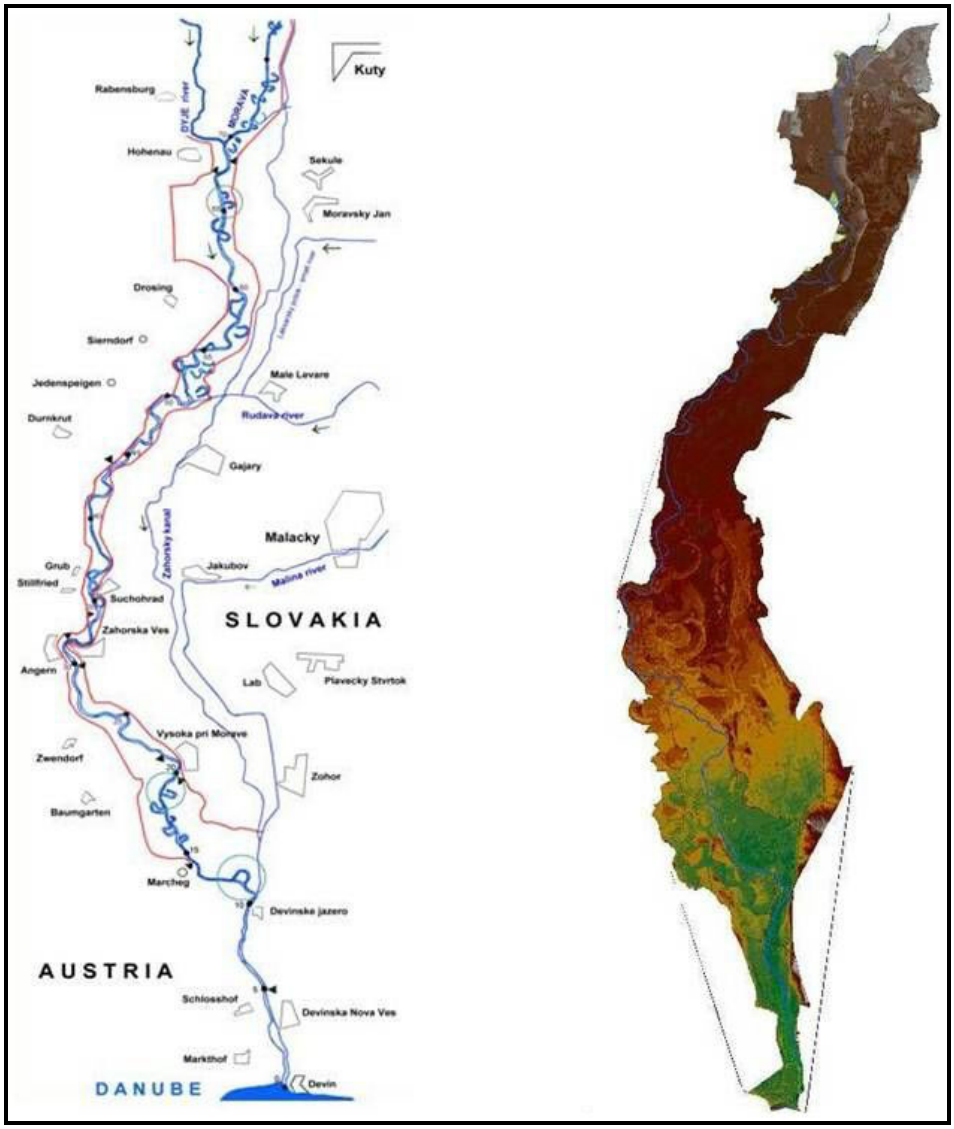
---

ÚVOD

Na VÚVH sa rieši projekt „Ochrana revitalizáciou: Stratégia a manažment riečneho systému dolnej Moravy (2003 - 2005)", financovaný Agentúrou pre podporu vedy a techniky (APVT). Súčasťou projektu je aj úloha „Prehodnotenie protipovodňovej ochrany vo vzťahu k hladinovému režimu povrchových i podzemných vôd", ktorej hlavným cieľom je prehodnotenie protipovodňovej ochrany územia dolnej Moravy na základe analýzy dynamiky prúdenia veľkých vôd a hodnotenia hydrologických zmien povodňového režimu v súčasnom i pôvodnom záplavovom území, vrátane definovania umelých

inundačných priestorov (poldrov) pre zníženie kulminácie povodní a overenia ich účinnosti. Súčasťou úlohy ja aj hodnotenie vplyvu navrhovaných alternatívnych opatrení protipovodňovej ochrany na biotu toku.

Riešenie projektu, na ktorom spolupracuje VÚVH, SVP, Stavebná fakulta STU, ÚZ SAV, CHKO Záhorie a DAPHNÉ sa sústreďuje na slovensko-rakúsky úsek rieky Morava (v dĺžke takmer 70 km), medzihrádzový priestor a tiež pôvodné záplavové územie, ktoré sa v súčasnosti nachádza za ochrannými hrádzami. V hornej časti je táto oblasť ohraničená sútokom Moravy a Dyje a v dolnej časti ústím Moravy do Dunaja (obr.1).



Obr.1: Situácia modelovej oblasti a digitálny model terénu

Fig.1: Layout of the model area and the digital terrain model

Pri analýze záplavového územia, tvorbe topografie modelov a interpretácii výsledkov modelovania sa využil digitálny model terénu (DMT), ktorý bol vyhodnotený z aktuálneho leteckého snímkovania (2004) v mimovegetačnom období. Výšková presnosť DMT je 25 cm. DMT zahŕňa aj časť rakúskeho územia.

Rozsah DMT je znázornený na obrázku 1. Pri riešení dynamiky prúdenia veľkých vôd bol aplikovaný softvér MIKE 11, vyvinutý v Dánsku na DHI Water & Environment. Jedná sa o jednorozmerný numerický model, určený na simulácie ustáleného aj neustáleného prúdenia povrchových vôd. Zostavené boli nasledovné hydrodynamické modely vo vyššie uvedenej modelovej oblasti:

- základný model simulujúci prúdenie vody v koryte a inundáciách Moravy pri súčasnom stave,
- model simulujúci rozsah možnej záplavy v priestore za hrádzami pri prietrži ochranných hrádzí,
- model simulujúci pôvodné zaplavované územie, pred realizáciou úpravných prác,
- model simulujúci alternatívne návrhy riešenia protipovodňovej ochrany s využitím poldrov.

KALIBRÁCIA A VERIFIKÁCIA ZÁKLADNÉHO NUMERICKÉHO MODELU

Modelová oblasť zahŕňa prakticky celý spoločný slovensko-rakúsky hraničný úsek rieky Morava od jej sútoku s Dyje po ústie do Dunaja a časť Dunaja od vodočtu Devín po riečny kilometer 1884,000 v Rakúsku. Topografia základného modelu bola zostavená z priečnych profilov, ktoré zahŕňajú vlastné koryto Moravy a jej inundácie medzi hrádzami. Databáza hydromorfologických údajov pozostáva z 94 priečnych profilov, ktoré boli zamerané v roku 1996. Súčasťou modelu sú aj vetvy schematizujúce aktívne (prepojené s hlavným korytom) ramená Moravy, ktoré sa nachádzajú pod Vysokou pri Morave (vtok v rkm 19,480), resp. nad ústím Maliny (vtok v rkm 12,360). Priečne profily ramien zamerali pracovníci VÚVH.

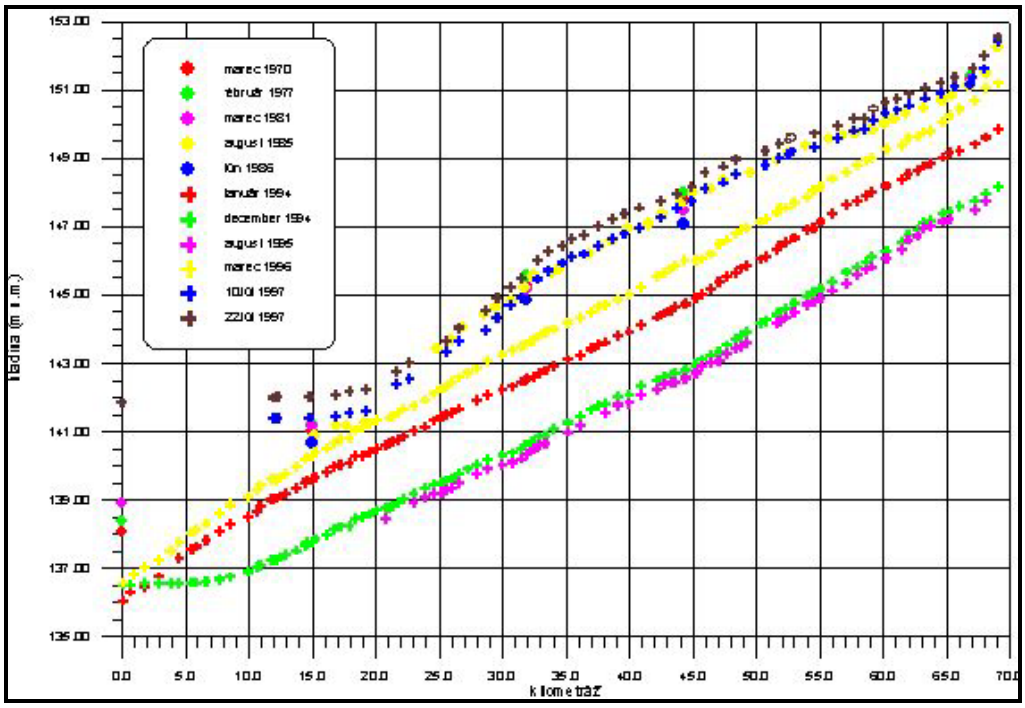
Okrajové podmienky základného modelu sú nasledovné:

- prietok na hornom okraji vetvy schematizujúcej Moravu (rkm 68,802),
- prietok na hornom okraji vetvy schematizujúcej Dunaj (rkm 1884,000),
- merná krivka v stanici Dunaj – Devín (rkm 1879,769) – dolný okraj modelu.

V procese kalibrácie modelu sa porovnávajú simulované výstupy (hladina vody, prietok) s ich meranými, prípadne odvodenými hodnotami. Cieľom kalibrácie je dosiahnuť požadovanú zhodu, resp. minimalizovať rozdiely. Proces kalibrácie modelu je iteratívny, pričom užívateľ mení niektoré parametre modelu, zvyčajne hodnoty koeficientu drsnosti v prípade hydrodynamických modelov. Po úspešnej kalibrácii možno prikročiť k verifikácii modelu, čo znamená, že model s kalibrovanými parametrami sa aplikuje na iné časové obdobie pri nezmenených parametroch, pričom by rozdiely medzi simulovanými a meranými hodnotami opäť nemali prekročiť definované hranice.

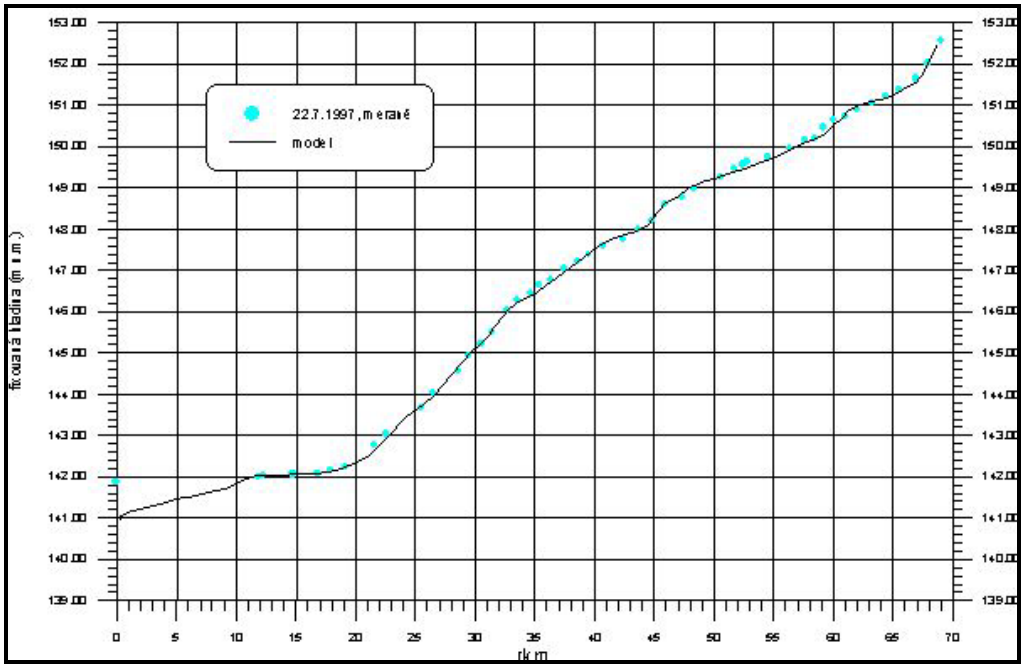
Hladiny zaznamenané počas rôznych prietokových situácií slúžia na overenie správnosti výpočtov, na kalibráciu a verifikáciu modelu. Pre tento účel boli k dispozícii hydrogramy vodných stavov v staniciach SHMÚ (Moravský sv. Ján, Záhorská Ves, Vysoká pri Morave, Devínska Nová Ves, Devín) a tiež pozdĺžne profily fixovaných hladín, ktoré umožňujú kontrolu výpočtov v celom rozsahu modelovej oblasti. Fixovania vykonali pracovníci VÚVH počas riešenia predchádzajúcich projektov na Morave (1996-2002), staršie merania boli k dispozícii na SVP. Fixované hladiny pokryli široký rozsah prietokových situácií (približne 30-900 $m^3.s^{-1}$), od minimálnych prietokov až po povodňové. Fixované hladiny uvádzame na obrázku 2.

Na kalibráciu základného modelu pre povodňové situácie sme vybrali povodňovú vlnu z júla 1997, pre ktorú boli k dispozícii merané pozdĺžne profily hladiny. Maximálny priemerný denný prietok počas tejto vlny dosiahol takmer 900 $m^3.s^{-1}$ v stanici Moravský sv. Ján, čo zodpovedá prietoku s dobou opakovania približne 6 rokov. Povodeň mala katastrofálne následky v Čechách, pričom prietok na slovenskom úseku Moravy bol transformovaný v dôsledku prietrží hrádzí a manipulácie na vodných dielach na území Českej republiky. Výsledné koeficienty drsnosti (podľa Manninga) kalibrovaného základného modelu sa pohybujú v intervale 0,023-0,036 pre koryto, resp. 0,043-0,083 pre inundácie. Aplikovaný model umožňuje aj variáciu koeficientu drsnosti v priečnom profile v závislosti od hĺbky vody. Porovnanie modelom simulovanej hladiny s meranou uvádzame na obrázku 3. Rozdiely nepresahujú 10 cm, s výnimkou sútoku Dunaja a Moravy.



Obr.2: Fixované hladiny Moravy pri rôznych hydrologických podmienkach

Fig.2: Measured water level of the Morava river under different hydrological conditions



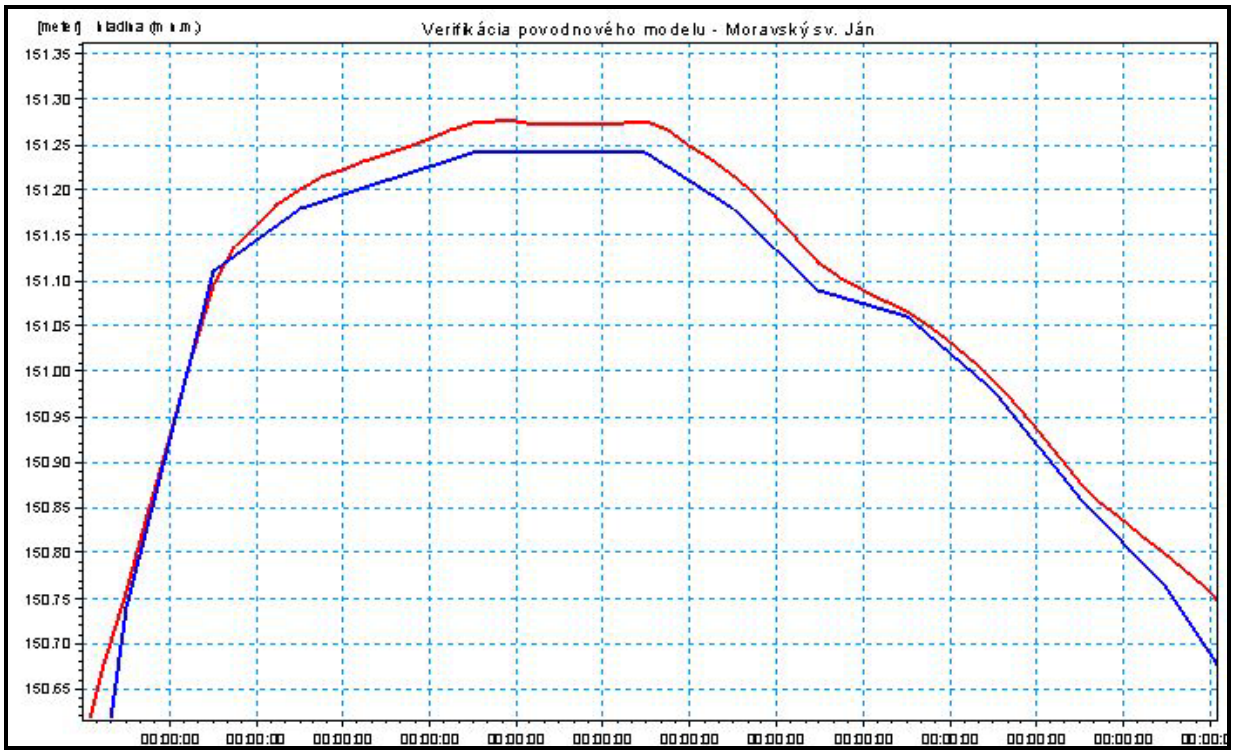
Obr.3: Kalibrácia základného hydrodynamického modelu

Fig.3: Calibration of the basic hydrodynamic model

Na verifikáciu základného modelu sme vybrali dve obdobia zvýšených prietokov na Morave, kedy voda prúdila cez inundácie v medzihrádzovom priestore:

- marec 1999, kedy bol maximálny priemerný denný prietok 643 $m^3.s^{-1}$ dňa 7.3. a
- január a február 2002 s maximom 477 $m^3.s^{-1}$ dňa 30.1.

Porovnanie simulovaných hladín s meranými v stanici Moravský sv. Ján pre verifikačný výpočet (marec 1999) uvádzame na obrázku 4. Rozdiely opäť nepresiahli 10 cm, takže možno konštatovať úspešnú verifikáciu základného modelu. Po úspešnej kalibrácii a verifikácii bol základný model pripravený na aplikáciu.

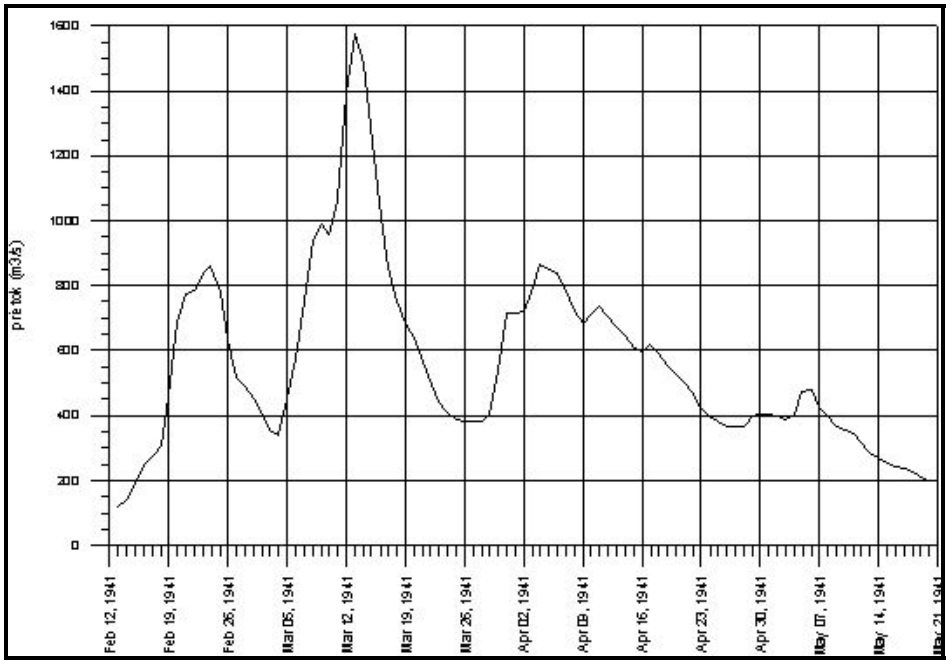


Obr.4: Verifikácia základného hydrodynamického modelu

Fig.4: Validation of the basic hydrodynamic model

POSÚDENIE SÚČASNÉHO STAVU PROTIPOVODŇOVEJ OCHRANY

Základným modelom bola posúdená súčasná úroveň protipovodňovej ochrany na spoločnom slovensko-rakúskom úseku Dolnej Moravy. Model bol aplikovaný na určenie kapacity ľavostrannej slovenskej ochrannej hrádze Moravy. Simulovaná bola hydrologická situácia z jari 1941, kedy maximálny priemerný denný prietok dosiahol 1573 $m^3.s^{-1}$ v stanici Moravský sv. Ján. Hydrogram tejto povodne, ktorej kulminačný prietok zodpovedá približne prietoku s dobou opakovania 100 rokov, uvádzame na obrázku 5. Použitý bol ako horná okrajová podmienka modelu. Simulované hladiny sme porovnali s maximálnymi kótami priečnych profilov v modeli, ktoré zodpovedajú kótam hrádzí. Sledovali sme, pri akom prietoku je kóta koruny ľavostrannej hrádze dosiahnutá. Tento prietok zodpovedá maximálnej kapacite ochranných hrádzí pre súčasný stav, pričom nebolo uvažované bezpečnostné prevýšenie. Výsledky sme zhrnuli v tabuľke 1. Údaj „>Q100“ znamená, že kapacita hrádze v danej lokalite je viac ako Q_{100}.



Obr.5: Hydrogram povodňovej vlny z roku 1941

Fig.5: Hydrograph of the 1941 flood

Tab.1: Kapacita ľavostrannej ochrannej hrádze Moravy

Tab.1: Flow capacity of the Morava river left-sided flood dyke

Lokalita (rkm)	**Kapacita ($m^3.s^{-1}$)**	**Lokalita (rkm)**	**Kapacita ($m^3.s^{-1}$)**	**Lokalita (rkm)**	**Kapacita ($m^3.s^{-1}$)**	**Lokalita (rkm)**	**Kapacita ($m^3.s^{-1}$)**
0,270	> Q100	24,199	> Q100	39,783	1350	56,324	1500
0,376	> Q100	25,576	> Q100	40,438	1300	56,935	1500
1,336	> Q100	26,625	> Q100	40,862	1500	57,767	1120
1,955	> Q100	27,860	> Q100	41,734	1400	58,270	1300
3,043	> Q100	28,891	> Q100	42,528	1500	59,213	> Q100
3,649	> Q100	30,278	1500	43,570	> Q100	59,940	> Q100
4,456	> Q100	31,295	1500	44,144	> Q100	60,875	> Q100
5,481	1500	31,491	1500	44,483	> Q100	61,202	1480
6,135	> Q100	31,581	> Q100	45,185	> Q100	62,325	> Q100
7,158	> Q100	31,673	> Q100	45,900	> Q100	63,171	> Q100
8,280	> Q100	31,880	> Q100	46,359	> Q100	63,991	1400
9,264	> Q100	32,010	> Q100	47,086	> Q100	64,802	> Q100
10,830	> Q100	32,502	1400	47,793	> Q100	65,762	> Q100
12,706	> Q100	32,520	1350	48,270	1500	66,683	> Q100
13,865	> Q100	33,452	1500	49,313	1500	67,088	> Q100
15,030	> Q100	34,087	1500	49,998	1300	67,150	> Q100
16,699	> Q100	35,084	1250	50,652	1230	67,480	> Q100
17,699	> Q100	35,989	1400	51,551	1230	67,996	> Q100
18,763	> Q100	36,221	1050	52,617	1200	68,802	> Q100
20,750	1400	36,988	1200	53,228	1330		
20,964	1450	37,994	1320	54,324	1180		
22,574	> Q100	38,994	1300	55,156	1500		

ANALÝZA ÚČINNOSTI ALTERNATÍVNEHO RIEŠENIA PROTIPOVODŇOVEJ OCHRANY

Ako alternatívny návrh bola analyzovaná účinnosť troch poldrov, v lokalitách Moravský sv. Ján, Gajary a Záhorská Ves. Lokality poldrov boli vybrané po konzultácii s pracovníkmi SVP, na základe topografických podmienok a využitia územia, tak aby boli zaplavením čo najmenej ohrozené objekty infraštruktúry (dôležité cestné komunikácie, potrubné vedenia,...), cenná poľnohospodársky využívaná pôda, priemyselné objekty (objekty SPP, Nafta Gbely a pod.) a ekologicky cenné lokality. Prihliadalo sa tiež na to, aby boli minimalizované investičné náklady na výstavbu poldrov. Hranice poldrov preto väčšinou tvoria už existujúce líniové stavby (ľavostranná ochranná hrádza Moravy, cesty, železnica) a využívajú sa prirodzené terénne depresie. Približné objemy poldrov v uvažovaných lokalitách sú nasledovné (vyhodnotené z DMT):

- polder Moravský sv. Ján: 4 mil. m^3,
- polder Gajary: 8 mil. m^3,
- polder Záhorská Ves: 17 mil. m^3.

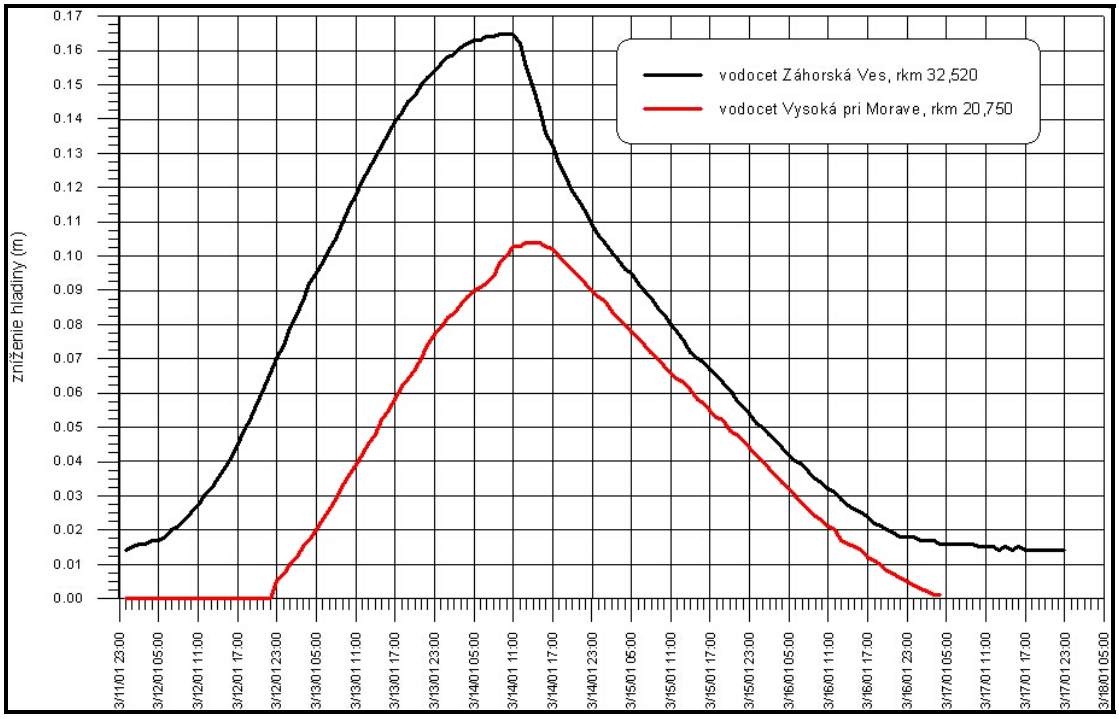
Ako nápustný objekt poldrov sme uvažovali nehradené priepady v ľavostrannej ochrannej hrádzi Moravy so spevnenou prepadovou hranou vybudovanou na určitú kótu tak, aby došlo k samovoľnému plneniu poldra pri prekročení definovanej hladiny v Morave. Pre polder Záhorská Ves sme uvažovali plnenie cez prepadový objekt pod Suchohradom a prívodný kanál, vedený v trase potoka Hlinec. Hydrodynamickým modelom sme testovali rôzne alternatívy parametrov nápustných objektov (nadmorská výška a šírka prepadovej hrany). Kóta prepadovej hrany by mala byť zvolená tak, aby došlo k aktivácii poldra v správnom čase. Celkový objem navrhovaných poldrov (cca 29 mil. m^3) je malý v porovnaní s objemom povodňových vĺn z minulosti (1,9 mld. m^3 v lete roku 1997). Pri predčasnom naplnení poldrov by sa mohlo stať, že kulminačná hladina by nemohla byť efektívne ovplyvnená. Výsledné parametre poldrov a ich nápustných objektov sú uvedené v tabuľke 2.

Tab.2: Parametre poldrov a ich nápustných objektov

Tab.2: Parameters of polders and their inflow structures

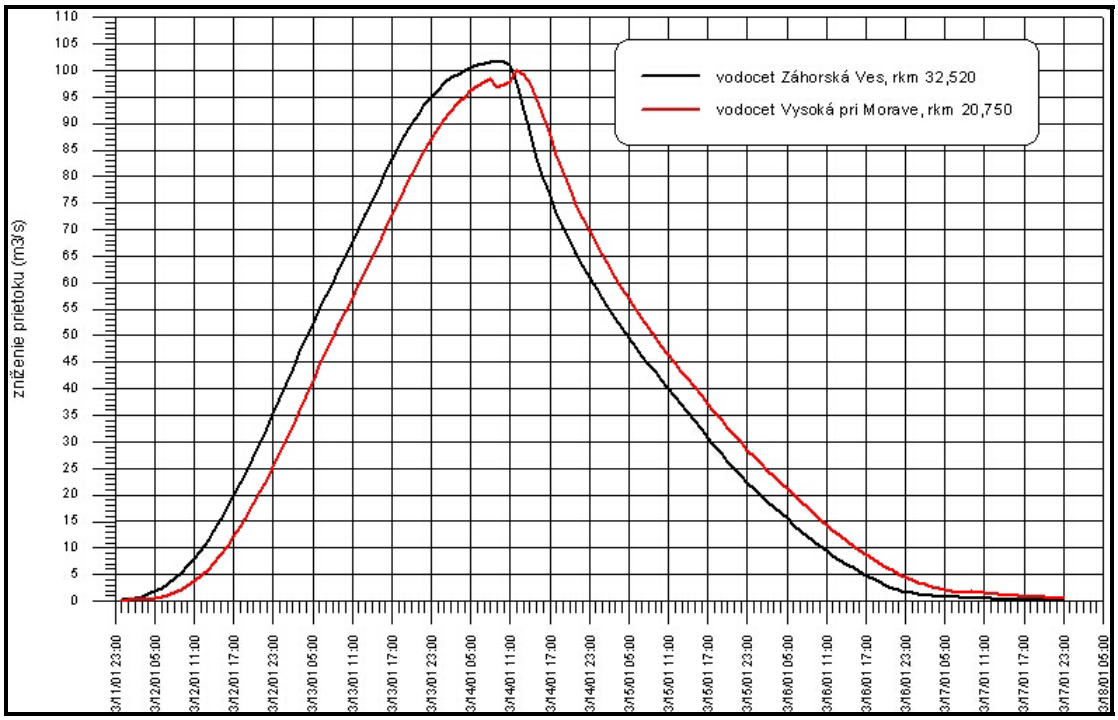
Polder	Kóta prepadovej hrany (m n.m.)	Šírka prepadovej hrany (m)	Maximálna hladina v poldri (m n.m.)	Aktivácia od prietoku ($m^3.s^{-1}$)
Moravský sv. Ján	152.20	50	151.30	1270
Gajary	149.60	50	148.50	1050
Záhorská Ves	147.20	50	144.00	1100

Nezaoberali sme sa návrhom objektov na vyprázdňovanie poldrov a tiež geotechnickými problémami, ktoré sa môžu vyskytnúť pri realizácii posudzovanej alternatívy (opevnenie vzdušnej strany hrádze, ktorá bude počas aktivácie poldrov čiastočne zaplavená, protipriesakové opatrenia, opatrenia na zabezpečenie stability hrádzí,...). Našim cieľom bolo posúdiť vplyv poldrov na hladinový režim počas povodní. Pri testovacej simulácii sme použili povodňovú vlnu z roku 1941 (viď obr.5) ako hornú okrajovú podmienku modelu. Porovnávali sme simulovanú hladinu pre súčasný stav a pre alternatívu s poldrami. Výsledok porovnania hladín uvádzame na obrázku 6, kde je znázornené zníženie hladiny Moravy vplyvom poldrov. Z obrázku vyplýva, že maximálne zníženie hladiny predstavuje približne 17 cm v profile vodočtu Záhorská Ves, resp. 10 cm v profile vodočtu Vysoká pri Morave. V úseku riečnych kilometrov 0-55 je zníženie hladiny väčšie ako 10 cm. Na základe výsledkov simulácie bolo možné určiť aj transformáciu prietoku vplyvom poldrov. Výsledok uvádzame na obrázku 7. Vyplýva z neho, že zníženie kulminačného prietoku predstavuje približne 100 $m^3.s^{-1}$ v oboch vyššie spomínaných profiloch vodočtov.



Obr.6: Zníženie hladiny Moravy vplyvom poldrov

Fig.6: Decrease of the Morava river water level, due to the effect of polders

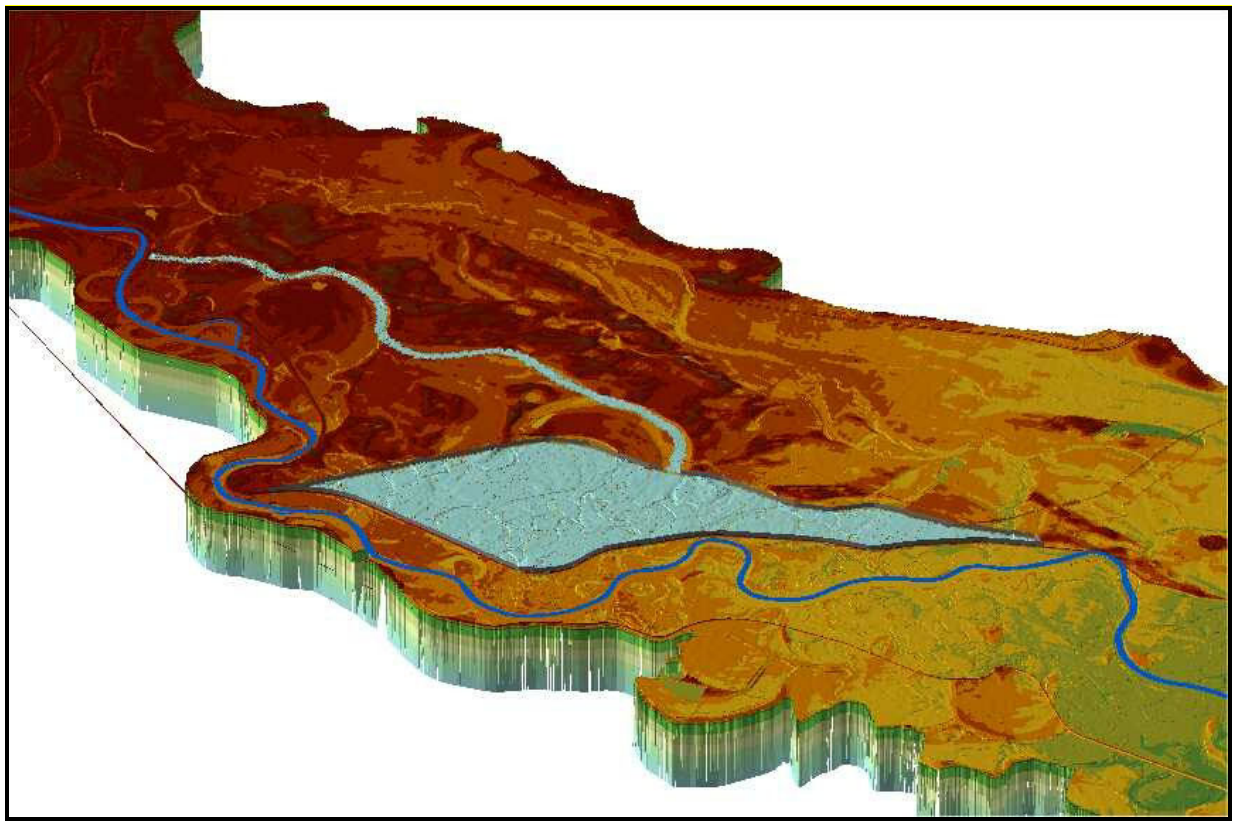


Obr.7: Transformácia prietoku Moravy vplyvom poldrov

Fig.6: Flood routing of the Morava river discharge, due to the effect of polders

Na obrázku 8 je vizualizácia zaplaveného územia poldra Záhorská Ves a jeho prívodného kanála na podklade DMT. Hydrodynamické simulácie umožnili určiť dobu, za ktorú dôjde k naplneniu poldrov na maximálnu hladinu. Doba plnenia závisí od tvaru hydrogramu povodňovej vlny. Pri simulovanej povodňovej vlne z roku 1941 boli doby plnenia nasledovné:

- polder Moravský sv. Ján: 77 hod,
- polder Gajary: 58 hod,
- polder Záhorská Ves: 50 hod.



Obr.8: Vizualizácia oblasti navrhovaného poldra Záhorská Ves a jeho prívodného kanála

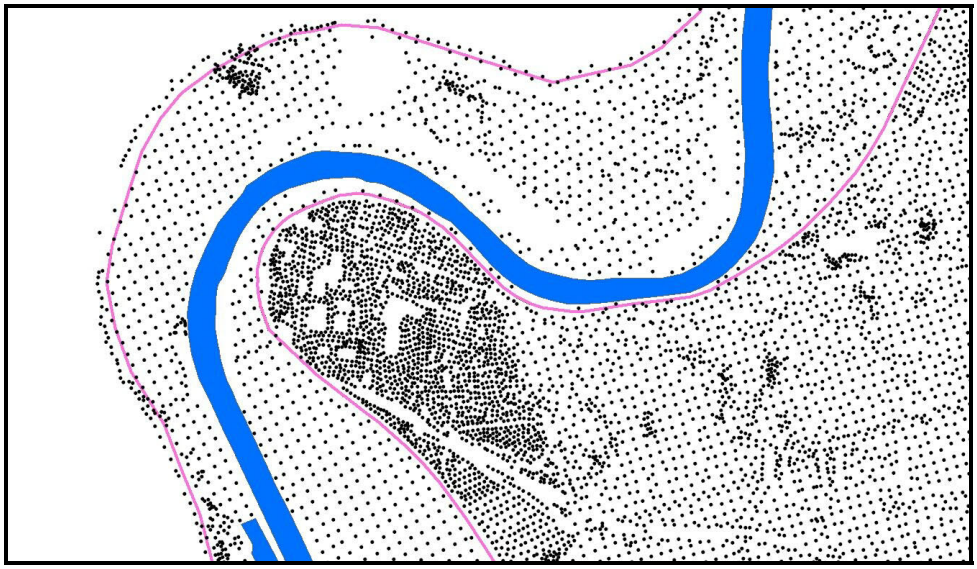
Fig.8: Visualization of the area of the proposed polder in Zahorska Ves and its inflow canal

TVORBA MÁP ROZSAHU ZÁPLAVY PRI RÔZNYCH SITUÁCIÁCH

Z archívnych materiálov SVP sme mali k dispozícii historické mapy, z ktorých bol zrejmý rozsah pôvodne zaplavovaného územia v období pred realizáciou úpravných prác na Morave. Rozsah DMT približne zodpovedá rozsahu pôvodne zaplavovaného územia. Digitálny model terénu bol odvodený fotogrametrickým mapovaním z leteckého snímkovania (firma GEODIS Slovakia, s.r.o.) v mierke 1:8000, ktoré bolo realizované v marci 2004. Polohová aj výšková presnosť DMT je 0,25 m. Topografia bola schematizovaná v sieti so vzdialenosťou uzlových bodov 5-50 m, podľa typu terénu. Detailnú ukážku DMT v okolí Záhorskej Vsi uvádzame na obrázku 9.

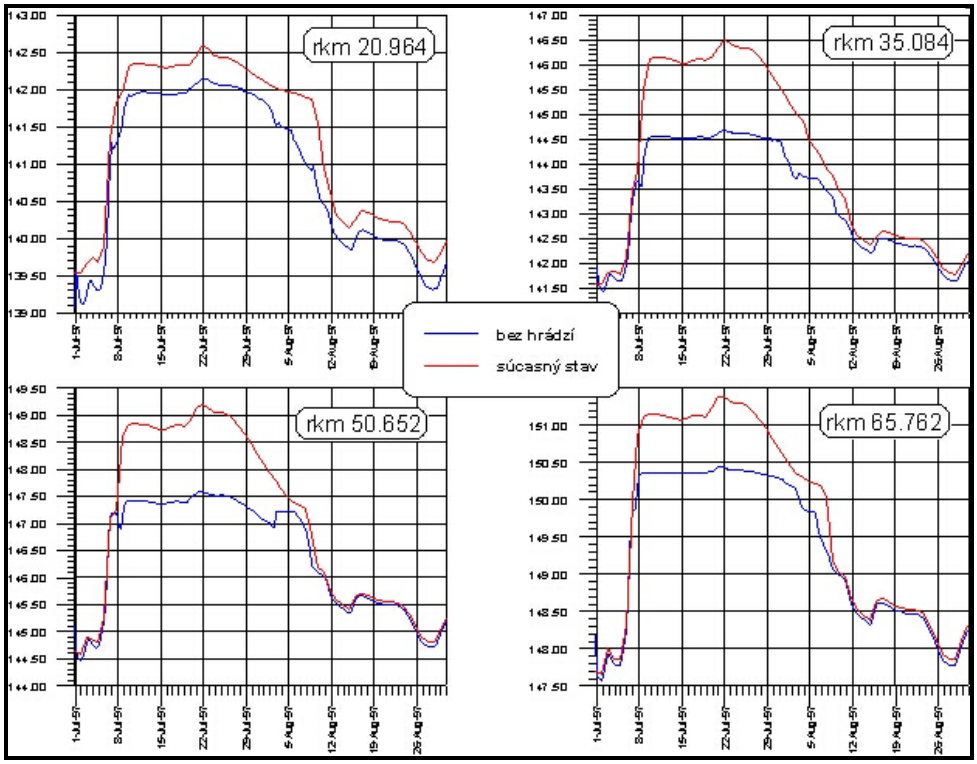
Zaujímalo nás, aká by bola situácia pri povodniach za predpokladu, že by neboli vybudované ochranné hrádze pozdĺž koryta Moravy. Doplnkové priečne profily územia za ochrannými hrádzami boli odvodené z DMT pomocou nástrojov ArcView. Základný hydrodynamický model bol rozšírený o vetvy schematizujúce prúdenie v území za hrádzami. Hladiny vypočítané 1D modelom boli následne

premietnuté do DMT pomocou nástroja MIKE View Flood Mapping, ktorý umožňuje tvorbu máp rozsahu záplavy z výsledkov hydrodynamického modelu.



Obr.9: Detail rozmiestnenia bodov digitálneho modelu terénu v okolí Záhorskej Vsi

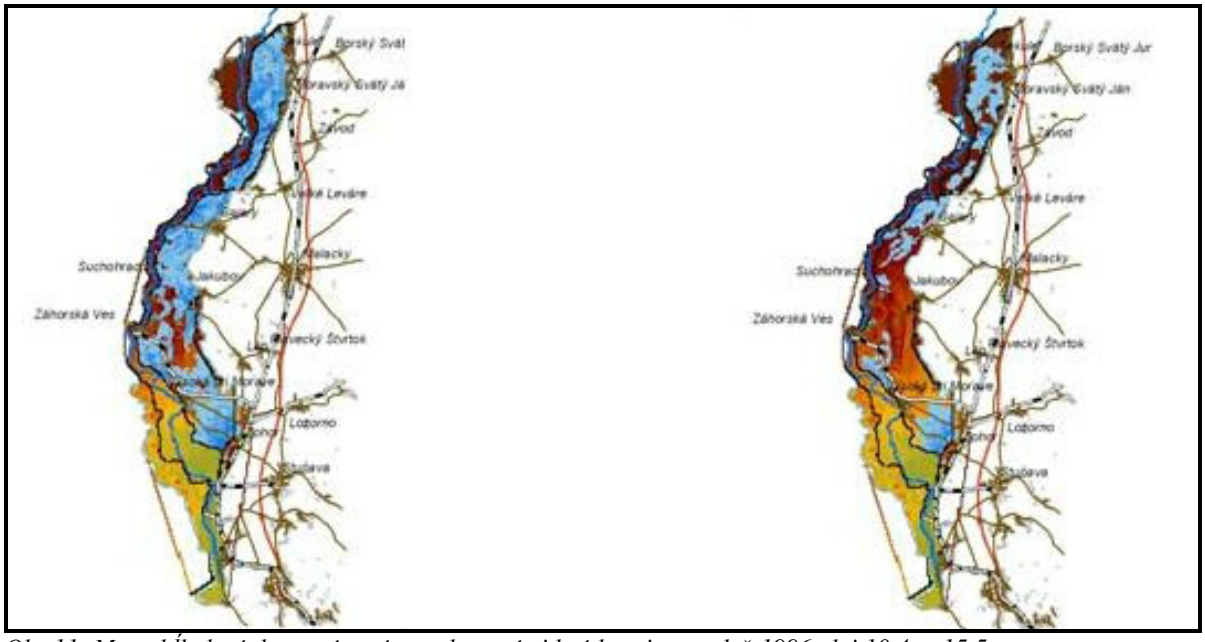
Fig.9: Detail of the digital terrain model network in the surrounding of the Zahorska Ves village



Obr.10: Porovnanie hladinového režimu pre pôvodne zaplavované územie bez hrádzí so súčasným stavom

Fig.10: Comparison of the original flooded area (without dykes) water level regime with the present state

Rozšíreným modelom sme simulovali vybrané hydrologické situácie – povodňové vlny z rokov 1996 a 1997. Na obrázku 10 je porovnanie simulovanej hladiny za súčasného stavu a pre pôvodne zaplavované územie (bez hrádzí) pre povodeň 1997 vo vybraných priečnych profiloch. Vzhľadom na to, že šírka zaplaveného územia je podstatne väčšia ako za súčasného stavu, hladina je nižšia. Rozdiely pri kulminácii sa pohybujú v intervale 0,5-1,9 m v zobrazených profiloch. Z výsledkov rozšíreného modelu možno okrem hladinového režimu odvodiť deľbu prietoku a rýchlosti prúdenia vody v modelovej oblasti. Modul Flood Mapping umožňuje dynamické zobrazenie rozsahu záplavy, hladiny a hĺbky vody v zaplavenom území na topografickom podklade (DMT, skenované a georeferencované mapy, ortofotomapy, ...). Na ilustráciu grafických možností tohto simulačného nástroja uvádzame na obrázku 11 mapy hĺbok vody v celom modelovanom území za súčasnými ochrannými hrádzami pre povodňovú vlnu z roku 1996. Kulminačný stav dňa 10.4. je v ľavej časti obrázku, stav 15.5. po prechode povodňovej vlny v pravej časti. Detailnejší pohľad na kulminačný stav (10.4.1996) je znázornený na obrázku 12.

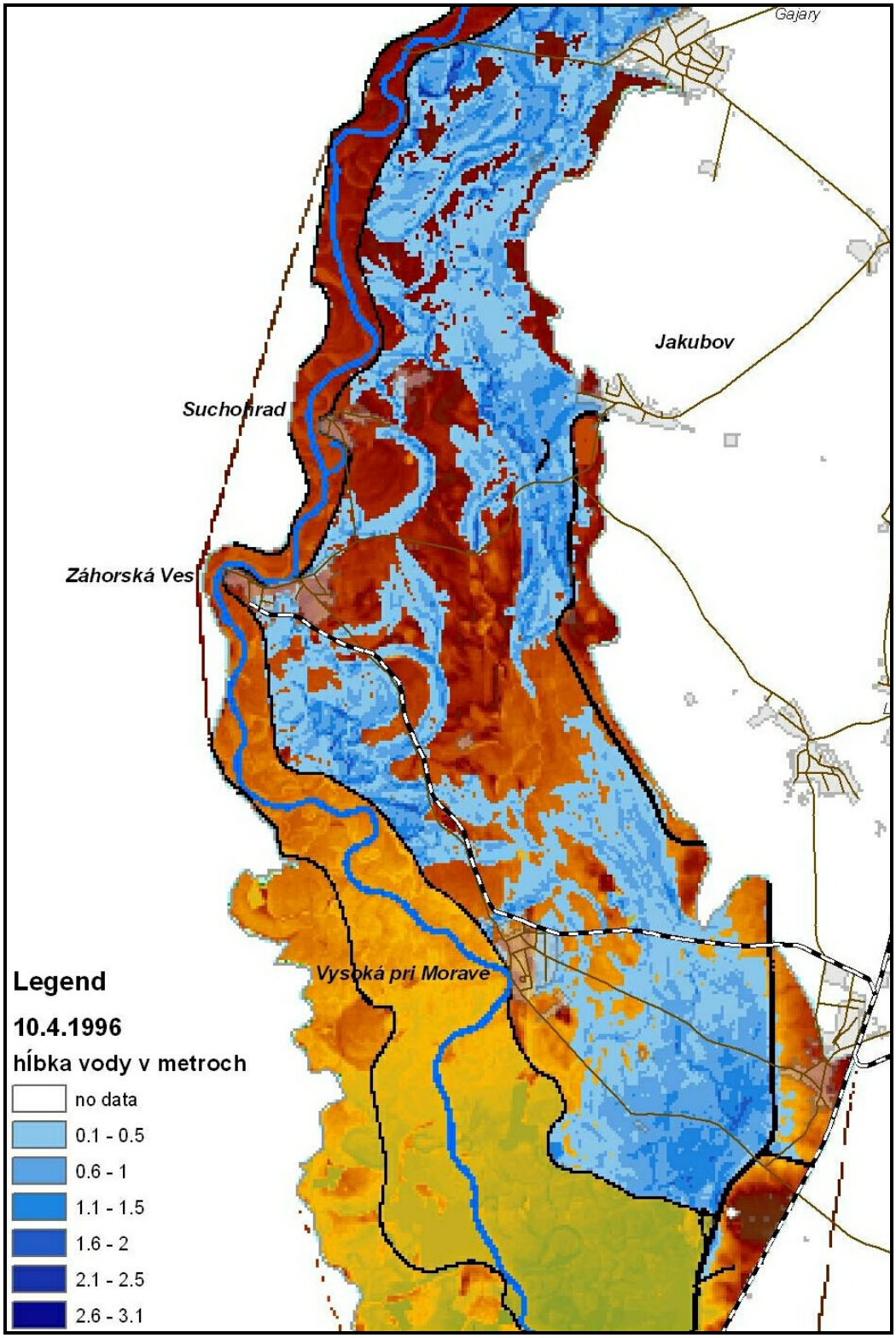


Obr.11: Mapy hĺbok záplavy v území za ochrannými hrádzami, povodeň 1996, dni 10.4. a 15.5.

Fig.11: Water depth maps in the flooded area behind the dykes, flood 1996, 10th April and 15th May

Mapy hĺbok záplavy sme zostrojili aj pre potreby riešiteľov biotickej časti projektu. Jednalo sa o mapy hĺbky záplavy v slovenskom medzihrádzovom priestore Moravy v období 1996-1998, v časových intervaloch keď voda prúdila v inundácii. Z máp bola odvodená doba trvania záplavy v jednotlivých segmentoch (polygónoch) inundácie, pre ktoré boli k dispozícii výsledky monitoringu biotopov. Analógiou bol potom prognózovaný možný vývoj biotopov v revitalizovaných a občasne zaplavovaných (poldre) oblastiach.

Poslednou, ale významom asi najdôležitejšou oblasťou využitia nástroja Flood Mapping v rámci riešenia projektu bola tvorba záplavových máp pre scenáre možných prietrží ochranných hrádzí. Uvažovali sme niekoľko lokalít a rôzne parametre prietrží (šírka prietrže, časový vývoj, hydrologická situácia) a sledovali sme dynamiku šírenia sa záplavy v území za ochrannými hrádzami. V čase uzávierky príspevkov ešte neboli konečné výsledky k dispozícii, ich prínos pre ochranu obyvateľstva pred následkami záplav je však nesporný.



Obr.12: Detail záplavovej mapy pre kulmináciu povodne z roku 1996, 10.4., územie za ochrannou hrádzou

Fig.12: Detail of the flooding map, peak of the 1996 flood, 10th April, area behind the dyke

ZÁVER

V rámci projektu „Ochrana revitalizáciou: Stratégia a manažment riečneho systému dolnej Moravy“, ktorý sa rieši na VÚVH a bude ukončený v roku 2005, boli vo veľkom rozsahu aplikované hydrodynamické numerické modely, simulujúce hydraulické podmienky pri prúdení povrchových vôd na spoločnom, takmer 70 km dlhom slovensko-rakúskom úseku dolnej Moravy. Cieľom ich aplikácie bolo zhodnotiť súčasný stav povodňovej ochrany, posúdiť účinnosť uvažovaných alternatívnych protipovodňových opatrení, pokúsiť sa o rekonštrukciu hydraulických podmienok v pôvodne zaplavovanom území a poskytnúť podklady pre rozhodovací proces v krízových situáciách (extrémne povodne, prietrže ochranných hrádzí). Výsledky projektu preukázali vhodnosť použitých metodických postupov a softvérových prostriedkov na riešenie daného typu úloh.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu vedy a techniky prostredníctvom finančnej podpory č. APVT-27-018102.

Autori

Ing. Miroslav Lukáč, Výskumný ústav vodného hospodárstva, nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava, lukac@vuvh.sk

Ing. Katarína Holubová, PhD., Výskumný ústav vodného hospodárstva, nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava, holubova@vuvh.sk

Mgr. Katarína Mravcová, Výskumný ústav vodného hospodárstva, nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava, badurova@vuvh.sk

OPERATIVNÍ ŘÍZENÍ ODTOKU VODY Z POVODÍ ZA POVODŇOVÝCH SITUACÍ

Miloš Starý, Petr Doležal, Helena Králová

V příspěvku jsou uvedeny dílčí výsledky aplikace řídícího algoritmu, založeného na adaptivním principu řízení odtoku vody z povodí, za průchodu povodně. Řídící algoritmus je založen na kombinaci nelineární optimalizace (určení řídícího průtoku) a fuzzy-regulace (určení dílčích řízených odtoků vody z jednotlivých nádrží soustavy). Výpočet byl proveden pro Dyjsko-svrateckou soustavu nádrží pro nádrže Brno, Dalešice, Mohelno, Vranov a Znojmo. Testovanou povodňovou situací je povodeň ze srpna 2002. Minimalizovaným kriteriem optimalizace je součet čtverců odchylek ve vybraných profilech (pod všemi nádržemi a celkový kulminační přítok vody do soustavy Novomlýnských nádrží) nad zadanými hodnotami průtoků. Úloha je zprogramována v prostředí MATLAB.

Klíčová slova: operativní řízení, fuzzy-regulátor, optimalizace

Operativní řízení odtoku vody z povodí za povodňových situací. *The contribution deals with partial results of controlling algorithm application, based on adaptive principle of river basin runoff control during the flood passage. The controlling algorithm is based on combination of non-linear optimization (determination of controlling flow) and fuzzy – regulation (determination of partial controlled water runoff from single reservoirs of the system). The calculation was made for the Dyje – Svratka reservoirs system for Brno, Dalešice, Mohleno, Vranov and Zojmo reservopirs. The tested situation was flood in August 2002. Minimized optimization criterion is square deviation sum in selected profiles (under every reservoir and total culmination inflow into the Nové Mlýny reservoirs system) above given flow values. The task is programmed in MATLAB environment.*

Key words: operative control,fuzzy-regulator, optimization

ÚVOD

Provoz vodních nádrží se v současnosti řídí manipulačními řády, které zpravidla vzcházejí z předem daných návrhových povodňových vln. V reálném provozu se však průběhy povodní mohou značně lišit a mohou být i nepříznivější, než se předpokládá v manipulačním řádu. Řízení proto závisí hlavně na znalostech a zkušenostech dispečera, jeho intuici, spolehlivosti a předstihu předpovědi, spolupráci předpovědní služby s dispečinkem a dalších faktorech, které je třeba průběžně a souhrnně vyhodnocovat a podle toho rozhodovat. Tyto problémy se mohou vyskytovat jak u jednotlivých nádrží, tak u nádrží spolupracujících v rámci vodohospodářské soustavy. Operativním řízením odtoku z jedné nebo několika nadrží pomocí řídících algoritmů je možno zvýšit kvalitu řízení a dosáhnout podstatného snížení extrémních odtoků vody z povodí.

Kromě klasických optimalizačních přístupů ke konstrukci řídícího algoritmu se nabízí možnost využít některou z metod umělé inteligence (UI), které se v teorii řízení dynamických systémů dostávají do popředí pozornosti, např. fuzzy-regulátory. Vždy je však zásadním problémem stanovení průběhu řídicích veličin v návaznosti na měnícím se stavu řízeného systému a případných dalších vstupních veličinách. To platí zejména u povodí s nádržemi, které představují dynamické systémy pracující s výrazným zpožděním. Řídicí průtoky u jednotlivých nádrží je třeba v procesu řízení postupně měnit v závislosti na časově a prostorově se měnících srážkách nad povodím, průtocích vody v říční síti a plnění jednotlivých nádrží.

METODA

Nazývejme, pro zjednodušení výkladu v dalším textu, všechny vstupní veličiny, včetně průběhů srážek minulých, předpovídaných průběhů srážek budoucích a případných dalších informací nutných pro stanovení řídicích průtoků, prostorem vstupů řešení. U složitých vícerozměrných systémů, které představuje povodí s více nádržemi a značným počtem srážkoměrných stanic, je prostor reálných vstupů řešení značně rozsáhlý a často pro subjektivní zásahy do řešení nepřehledný. Proto se nabízí

možnost určovat řídicí veličiny (resp. přímo polohy uzávěrů - akční veličiny) klasickými optimalizačními algoritmy (při zvoleném kriteriu optimalizace, kterým mohou být např. hodnoty kulminačních průtoků ve vybraných profilech říční sítě, které následně minimalizujeme). Přitom řešené budoucí období, ve kterém analyzujeme stav systému, by nemělo být delší než délka předpovědi srážek ve srážkoměrných stanicích. Numerické experimenty prokázaly, že pokud tato relace neplatí, dojde k výraznému poklesu přesnosti řešení. Obdobný postup, ve kterém výsledkem optimalizace jsou přímo polohy regulačních uzávěrů na jednotlivých nádržích, je implementován od roku 1996 v programu HYDROG (Starý, 1991-2005).

Pro využití fuzzy-regulátoru, který byl z metod UI vybrán, byl zvolen postup, kdy relace mezi diskrétními body prostoru vstupů řešení a odpovídajícími řídicími veličinami (odtoky z nádrží) se neřeší předem (řídící plocha). Naopak, v každém rozhodovacím časovém bodě, ve kterém vznikne požadavek na změnu řídicí veličiny, se na základě aktuálního stavu systému a odhadu budoucích přítoků (předpovědi srážek) vypočítají hodnoty řídicích průtoků pomocí optimalizačního algoritmu. Zde je možno využít simulační model s optimalizovanou volbou parametrů, kterými jsou hledané řídící průtoky (transformátor). Součástí tohoto algoritmu je fuzzy-regulátor, který v závislosti na hodnotě řídícího průtoku v každém časovém kroku návazně určuje hodnoty veličiny řízené (řízeného odtoku) a všech dílčích odtoků vody z nádrže. Průběh akčního zásahu a řízených veličin se pak mění téměř spojitě (Starý, 2001).

Uvažujme pro jednoduchost, že budeme řídit tok vody říční sítí v dolní části rozsáhlého povodí s nádržemi. Neuvažujme srážky spadlé na mezipovodí a vliv změny podzemního odtoku. Řízený systém se pak skládá pouze z úseků toků a nádrží. Předpokládejme dále, že budoucí průběh přítoků do systému (okrajová podmínka řešení) v časovém úseku τ lze předpovědět srážkoodtokovým modelem, implementovaným na horní části povodí, tj. na zónu tvorby povodňových průtoků.

Aby bylo možno zkonstruovat řídící algoritmus, je nejprve třeba zvolit model, který umožní simulovat srážkoodtokový proces v uvažovaném schematizovaném mezipovodí. Pro konstrukci modelu byl použit postup aplikovaný již v programu HYDROG. Schematizace je provedena rozdělením na množinu úseků toků a nádrží. Z důvodu nezbytné rychlosti výpočtu je úloha proudění vody úseky toků a celou říční sítí řešena jako jednorozměrná. Na soutocích koryt toků je zachována pouze spojitost průtoků. Pro popis přenosových vlastností je použita kinematická vlnová aproximace (Stephenson, Meadows, 1986). Proudění vody úseky koryt toků je pak popsáno rovnicemi kontinuity např.podle Manninga.

Nádrže jsou v takto zjednodušeném systému jedinými nástroji, kterými je možno měnit průběh toku vody systémem. Jejich přenosové vlastnosti, které při daném plnění nádrže v čase t a přítoku vody do nádrže, jednoznačně určují okamžitou hodnotu odtoku vody z nádrže.

Pro numerické řešení rovnic popisujících tok vody říční sítí je použita jednokroková explicitní diferenční metoda. Pro numerické řešení rovnice popisující průtok vody nádrží je použita metoda Runge-Kutta 4. řádu (Starý, 1990). V říční síti se při spuštění operativního řízení předpokládá ustálené proudění.

Simulovat chování systému představuje řešit evoluční problém. Počátečními podmínkami řešení je průtok vody v říční síti a plnění nádrží v čase $t=0$. Okrajovou podmínkou je časový průběh přítoku vody do vstupních profilů systému.

Vlastní řešení problému je diskrétní simulací spojitého procesu. Procento otevření výpustí nádrže je v každém časovém kroku výpočtu Δt stanoveno pomocí fuzzy regulátoru. Časový průběh celkového a dílčích odtoků vody se tak mění podle aktuální hodnoty parametru - požadovaného řídícího odtoku vody z nádrže.

Je zřejmé, že odtok z nádrže v budoucím období τ závisí při daném časovém průběhu přítoku na počátečním naplnění nádrže, na hydraulických vlastnostech přelivu, na hydraulických vlastnostech spodních výpustí a na jejich otevření. Při uvedených podmínkách a při známé předpovědi přítoku vody do systému pak řízený odtok závisí pouze na poloze regulačních uzávěrů. Jejich polohy mohou být v budoucím období buď konstantní nebo se mohou v čase měnit. Příslušným nastavením uvedených poloh regulačních uzávěrů je tak možno každé nádrži a tím i celému systému (nádrže + říční síť) přiřadit požadované dynamické (přenosové) vlastnosti.

Systém považujme podle klasické teorie regulace za řízený systém regulačního obvodu se systémem řízení on-line. Přítok vody do systému považujme za poruchovou veličinu, požadovaný odtok z nádrží za veličiny řídicí, skutečné řízené odtoky z nádrží za veličiny řízené. Regulační uzávěry

na nádržích (přelivy, spodní výpusti apod.) považujme za akční prvky a jejich nastavitelné polohy pak za veličiny akční. Požadavek na jejich konkrétní nastavení je pak akčním zásahem. Cílem manipulací je co největší snížení kulminačních odtoků z nádrže, resp. snížení kulminačních odtoků v oddáleném profilu v toku pod nádrží. To vede k maximálnímu zploštění povodňové vlny. Kriteriem je součet čtverců odchylek kulminačních průtoků nad zadanými hodnotami průtoků ve vybraných řídících profilech říční sítě, které je minimalizováno.

Vlastní konstrukci řídícího algoritmu lze rozdělit na dvě dílčí úlohy. ***První úlohou*** je volba takového typu regulátoru, který bude schopen při zadaném požadovaném průběhu řídicí veličiny a spojitě se měnícím stavu nádrží v diskrétních časových krocích postupně určovat hodnoty změny veličiny akční (změna nastavení uzávěrů) při dostatečné stabilitě regulačního pochodu. Pro tento účel byla ověřena možnost užití fuzzy-regulace. Navržený fuzzy regulátor je typu PI (proporcionálně integrální). Popisující rovnice regulátoru je nahrazena pravidly obsaženými v bázi pravidel ve tvaru:

$$\textbf{if } e=\langle\text{hodnota}\rangle \textbf{ and } \Delta e=\langle\text{hodnota}\rangle \textbf{ then } \Delta u=\langle\text{hodnota}\rangle, \qquad (1)$$

kde značí: e - regulační odchylku mezi řídicím a řízeným odtokem, Δe- změnu regulační odchylky, Δu - změnu akčního zásahu (např. změna otevření spodních výpustí). Nově určené změny akčního zásahu jsou tedy dány součtem akčního zásahu v předchozím časovém kroku a změny Δu. V regulátoru je použit fuzzy inferenční systém Mamdani. Defuzzifikace je prováděna metodou středu plochy.

Druhou úlohou je nutnost určení požadované hodnoty řídicí veličiny $w(t)$ pro každou nádrž. Problém se pro budoucí (předpovídané) období τ řeší pomocí simulačního modelu s optimalizovanou volbou parametru. Parametry jsou hledané hodnoty řídicích odtoků u každé nádrže, které jsou pro jednoduchost považovány v řešeném budoucím období τ za konstantní. Pro nalezení optimální hodnoty parametrů byla zvolena jednoduchá mřížková (grid) metoda z oblasti nelineárního programování. Jako kriterium optimalizace byla použita hodnota kulminačního odtoku z nádrže, resp. ve vybraném profilu na toku pod nádrží, která byla minimalizována.

Proces operativního řízení provozu systému za průchodu povodně vychází z požadavku na adaptaci dynamických vlastností systému v závislosti na měnícím se stavu systému a postupně se měnících předpovědích přítoků vody do systému. Je možno jej chápat jako sekvenci rozhodovacích časových bodů, vzájemně posunutých o časový krok $\Delta\tau$, v nichž se opakovaně upřesňuje předpověď budoucího přítoku do systému na období τ. Měřením (výpočtem při simulaci řízení) se vždy stanoví okamžité naplnění nádrží, z předchozího výpočtu se převezme příslušný průběh průtoků v říční síti a následně se optimalizací určí hodnoty řídících průtoků pro jednotlivé nádrže platné pro následující časový krok $\Delta\tau$.

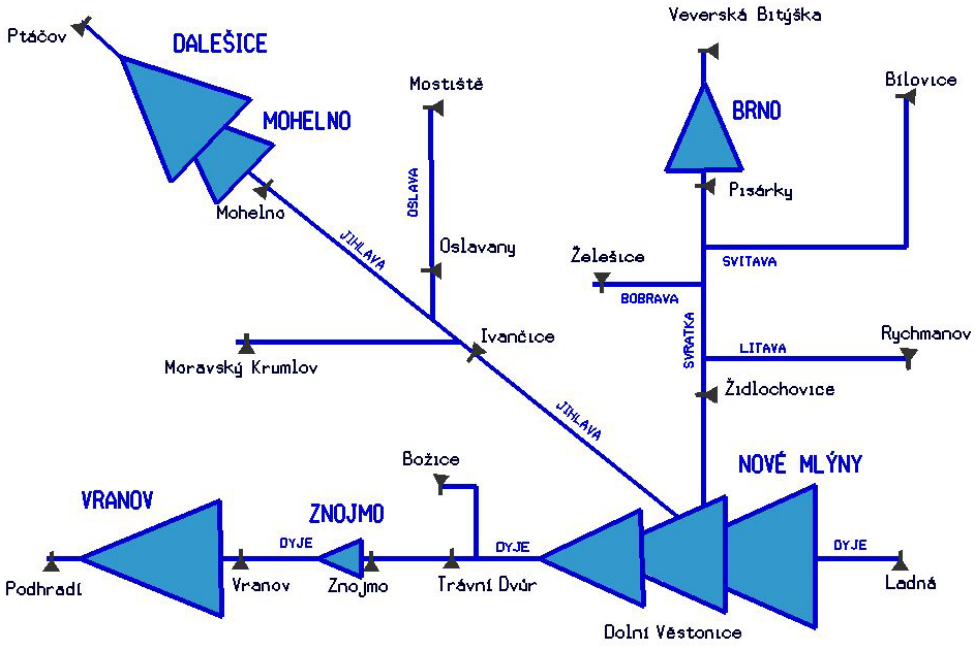
Popsaný řídící algoritmus byly zprogramován v prostředí MATLAB s využitím Fuzzy Logic Toolboxu pod názvem RIZS1. Program umožňuje simulovat operativní řízení odtoku v historickém období (předpovězené přítoky jsou nahrazeny skutečně naměřenými průběhy přítoků vody do systému). Tato verze umožňuje analyzovat vliv délky předpovědí přítoku vody do nádrže na dosažené efekty řízení apod. Vzhledem k tomu, že předpovědi přítoku vody do nádrže v reálném provozu nejsou přesné, je zřejmé určité nadhodnocení dosažených efektů

APLIKACE

Program RIZS1 je v současnosti testován při simulacích operativního řízení průtoků vody v dolní části povodí řeky Dyje. Na obr.1 je uvedena schematizace řešené soustavy. Systém je rozdělen na 44 úseků toků Svratka, Svitava, Litava, Jihlava, Oslava, Rokytná, Dyje a Jevišovka. Systém obsahuje celkem devět přítoků. Je řízen odtok z nádrží Vranov, Znojmo, Dalešice, Mohelno a Brno. Řídícími profily jsou profily těsně pod těmito nádržemi a fiktivní profil, ve kterém jsou sečteny okamžité přítoky do nádrží Nové Mlýny. Řešení je provedeno pro délku předpovědí přítoků vody do systému τ = 72 h. Pro testování byl zvolen časový interval mezi rozhodovacími časovými body $\Delta\tau$ = 12 h (opakovaný výpočet řídících veličin - adaptace).

Ukázka dosažených výsledků simulace operativního řízení za povodňové situace ze srpna roku 2002 je uvedena na obr.2 až obr.4. Na obr.2 jsou zobrazeny celkové přítoky do nádrží Nové Mlýny. Červená čára udává naměřené skutečně dosažené hodnoty, kdy řízení bylo provedeno Povodím Moravy s.p., modrá čára zobrazuje výsledky, kterých bylo možno dosáhnout aplikací popsaného řídícího algoritmu.

Na obr.3 jsou pro přehlednost zobrazeny výsledky aplikace operativního řízení na nádrž Vranov. Jedná se o odtoky spodními výpustmi (sytě červená čára), odtok přes přeliv (šedá čára) a polohy hladiny v průběhu řízení odtoku (černá čára). Na obr. 4 je pak zobrazen celkový odtok z nádrže Vranov (slabě červená čára) a polohy hladiny v nádrži Vranov (černá čára).



Obr.1 Schéma systému

Fig.1 Scheme of the system

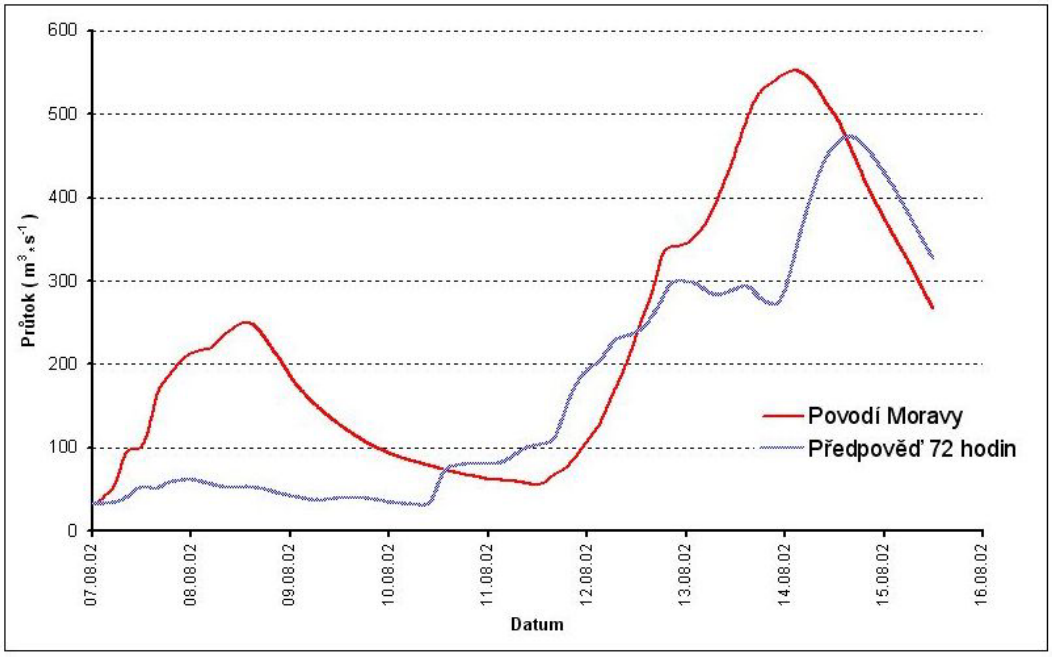
ZÁVĚR

Testovaná úloha prokázala pozitivní vliv operativního řízení na snížení kulminačních přítoků do nádrží Nové Mlýny. Z obr.3 je patrná snaha o předpouštění nádrží. Třídenní předpověď přítoků je však krátká, dochází k předčasnému naplnění retenčních prostorů ovladatelných a k následné transformaci zbývajících částí povodňových vln na přítocích do nádrží pomocí retenčních prostorů neovladatelných. Je zřejmé, že prodloužení předpovědí přítoků vody do systému na pět dnů (např. dva dny ALADIN a tři dny Reading) přispěje k výraznému snížení celkových kulminačních přítoků do nádrží Nové Mlýny.

Zvolený časový interval mezi rozhodovacími časovými body $\Delta\tau = 12$ h (opakovaný výpočet řídících veličin) považujeme za dlouhý. Závisí na možnostech vydávání opakovaných upřesněných hodnot předpovězených přítoků do systému. Výsledky aplikace řídícího algoritmu na méně složitá povodí prokázaly, že zkrácení tohoto intervalu má jednoznačně pozitivní vliv na dosažené efekty. Je proto možno očekávat, že zkrácení intervalu povede k lepšímu vyhlazení řízeného odtoku vody z nádrží, než je patrné z obr.3 a 4. Při použití reálných předpovědí přítoku vody do systému pak považujeme zkrácení tohoto intervalu za nezbytné.

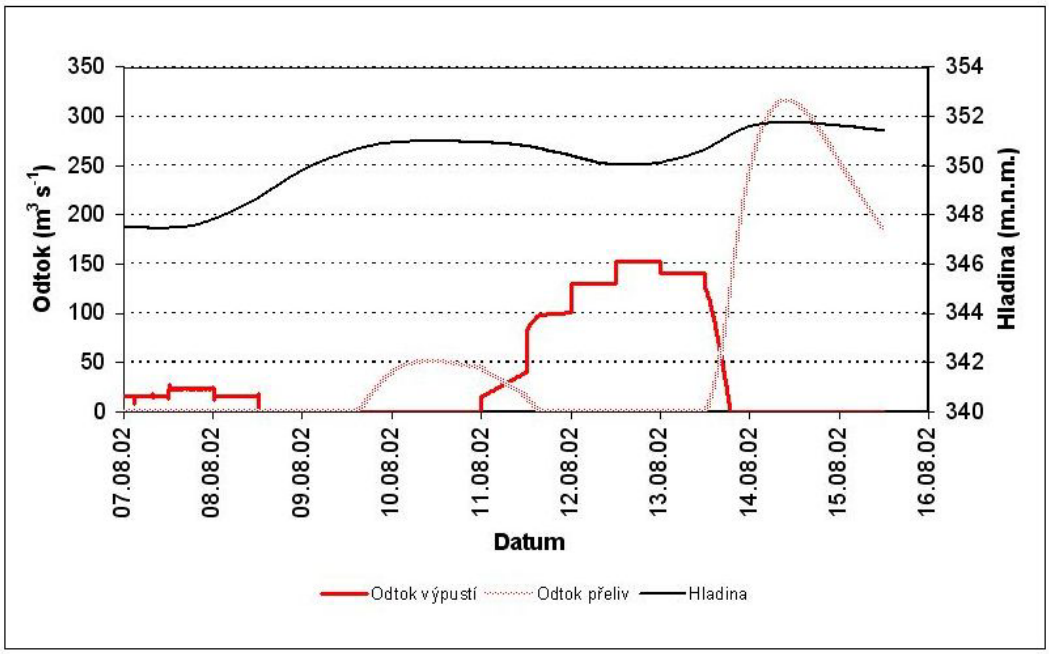
Dosažené výsledky jsou pouze prvním přiblížením v řešení dané problematiky. V současnosti je testován vliv prodloužení délky předpovědí na pět dnů. Prostředí MATLAB je z hlediska užití velice komfortní. Umožňuje do řídících algoritmů snadno implementovat metody umělé inteligence

(fuzzy-regulátory, neuro-regulátory). Sestavené programy jsou však pro vlastní užití pro operativní řízení v reálném čase pomalé. Využít je lze při řízení takto složitých systémů pouze na stupni spřaženosti s řízeným procesem off-line. Nebo je nutno mít k dispozici velmi výkonnou výpočetní techniku, výrazně přesahující možnosti běžného PC. Jiným řešením je, po ověření algoritmů, jejich přepis do jiného vývojového prostředí, resp. programovacího jazyka (např. Fortran, C++).



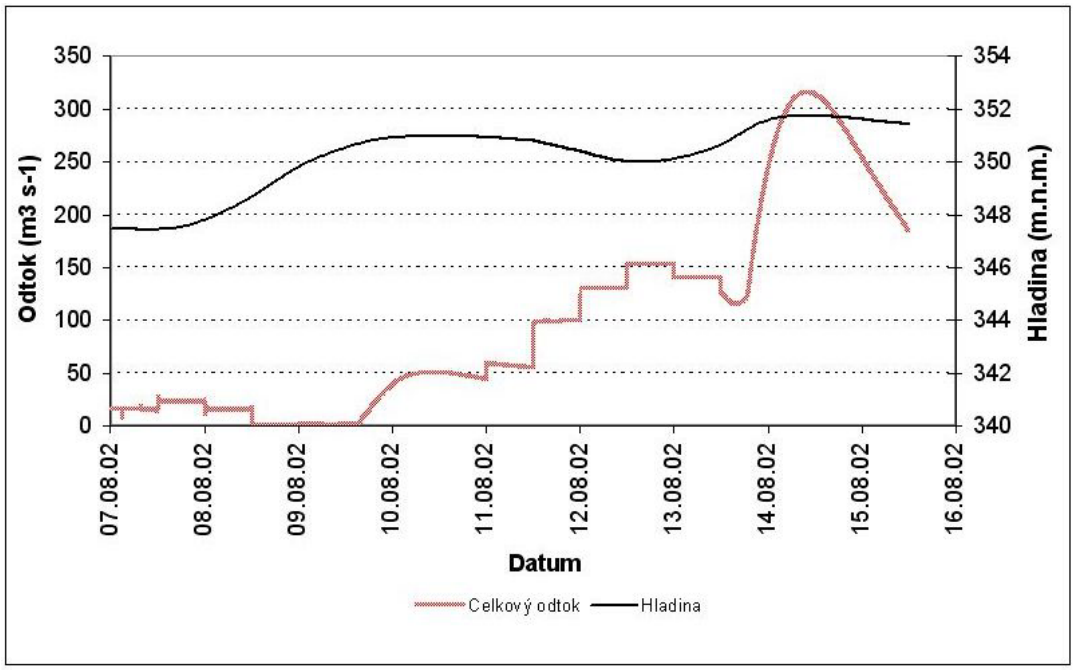
Obr.2 Řízený celkový přítok do nádrží Nové Mlýny

Fig.2 Total controlled inflow into the Nové Mlýny reservoirs



Obr.3 Průběhy dílčích řízených odtoků vody a polohy hladiny (nádrž Vranov)

Fig.3 Courses of the partial controlled outflows and water level position (Vranov reservoir)



Obr.4 Průběhy celkového řízeného odtoku vody a polohy hladiny (nádrž Vranov)

Fig.4 Courses of the total controlled outflow and water level position (Vranov reservoir)

Příspěvek byl zpracován v rámci řešení projektu GAČR: 103/04/0352.
Částečně byly využity výsledky získané za finančního přispění MŠMT, projekt 1M6840770001, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

Literatura

MATLAB, The Language of Technical Computing, The MathWorks, 1984-2005.

Starý, M.: HYDROG. Software pro simulaci a operativní řízení odtoku vody z povodí. Brno, 1991 - 2005.

Starý, M.: Operativní řízení odtoku vody z nádrže za průchodu povodně, MATLAB 2001, Praha, 2001, 6s.

Stephenson, D.- Meadows, M.E., 1986, Kinematic Hydrology and Modeling. Elsevier, Amsterdam – Oxford –New York – Tokyo, 287 p.

Autoři

Miloš Starý, Petr Doležal, Helena Králová, Žižkova 17, 602 00 Brno, stary.m@fce.vutbr.cz

KONFERENCIE MLADÝCH ODBORNÍKOV

Prvá konferencia mladých hydrológov spojená so súťažou o najlepšie práce sa konala v rámci Hydrologických dní na Zemplínskej Šírave v roku 1985. Nad touto konferenciou prevzali gesciu Slovenský výbor pre hydrológiu a Český výbor pre hydrológiu a tak je tomu dodnes.

Neskôr sa s podobným podujatím prihlásila Slovenská meteorologická spoločnosť, ktorá poskytuje priestor pre mladých meteorológov a klimatológov.

Súťažiť napokon začali aj mladí vodohospodári, a to pod gesciou Združenia zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve na Slovensku.

Pretože ide do určitej miery o príbuzné vedné odbory, snažíme sa, aby sa mladí ľudia stretali na tom istom mieste, v tom istom čase.

Všetky tri Konferencie mladých majú vypracované podobné štatúty, na všetkých troch konferenciách sa zúčastňujú mladí odborníci zo Slovenska a Čiech, na všetkých troch konferenciách sa vyhlasujú a odmeňujú autori troch najlepších prác.

V poslednom čase, a treba povedať, že len vďaka mimoriadnemu záujmu súťažiacich, poriadame tieto stretnutia každoročne. To znamená, že konferencií mladých máme dnes za sebou oveľa viac ako konferencií Hydrologických dní.

Takže, zrekapitulujme si tento ročník:

- na 17. konferenciu mladých hydrológov máme prihlásených 9 príspevkov,
- na 4. konferenciu mladých vodohospodárov máme prihlásených 10 príspevkov,
- na 8. konferenciu mladých meteorológov a klimatológov máme prihlásených 6 príspevkov.

Už len spomeniem, že finančné odmeny víťazom dávajú: Slovenský výbor pre hydrológiu, Slovenská meteorologická spoločnosť a Združenie zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve na Slovensku. Toho roku všetci si všetci účastníci konferencií mladých môžu vybrať ešte jednu odmenu, a to exkurziu na VD Gabčíkovo, ktorú im venuje Slovenská vodohospodárska spoločnosť.

Všetkým súťažiacim za organizátorov prajem úspešne a užitočne strávený čas v Bratislave, nové priateľstvá a nové vedomosti.

Oľga Majerčáková

KONFERENCIE MLADÝCH ODBORNÍKOV

1. Hydrológovia

2. Vodohospodári

3. Meteorológovia a klimatológovia

KONFERENCIE MLADÝCH ODBORNÍKOV

Hydrológovia

Adamec M.
Vyžití GIS v hydrologickém modelování 751

Havrila J.
Metóda určenia vlhkosti zníženej dostupnosti pôdnej vody pre rastliny,
pri ktorej dochádza k znižovaniu rýchlosti transpirácie 757

Kopp J.
Hydrologická analýza povodí s využitím GIS 765

Máca P.
Krátkodobá predikce odtoku na vybraných malých horských povodích 774

Mitková V.
Transformácia povodňových vĺn Dunaja na úseku Kienstock-Štúrovo 784

Pavlásek J.
Analýza poklesu hladiny podzemní vody na svahu 796

Ředinová J.
Analýza maximálních průtoků v horském povodí „Modrava 2“ 801

Stehlová K.
Hodnotenie prognózovanej aktuálnej a potencionálnej evapotranspirácie
s ohľadom na očakávanú klimatickú zmenu 807

Tyl R.
Hydrologické aspekty v rizikové analýze 820

Bača P.
Elektrická vodivosť ako indikátor povrchového odtoku a erózneho procesu B-1

VYŽITÍ GIS V HYDROLOGICKÉM MODELOVÁNÍ

Martin Adamec

Využití geografických informačních systémů pro přípravu vstupních parametrů (tvorba a analýza digitálního modelu terénu, příprava srážkových vstupů ze stanic a z radaru), kalibraci (analýza vegetačního krytu, půdních charakteristik…) a vizualizaci výstupů (mapy záplavových oblastí) distribuovaných a semidistribuovaných srážkoodtokových modelů.

Klíčová slova: srážkoodtokové modelování, geografický informační systém

Using of GIS in hydrological modelling. *Using of Geographical Information Systems for determinating parameters for inputs (like an analysis of Digital Elevation Model, preparing input datasets from precipitation gages and radar) and calibration (analysis of land cover, soil characteristics) of rainfall-runoff models and for output visualisation (inundation area maps).*

Key words: rainfall-runoff models, Geographical Information Systems

---

ÚVOD

Rozvoj matematického modelování hydrologických procesů naráží na problém získávání velkého množství údajů o velkém počtu dílčích povodí a odtokových linií, které jsou nezbytně třeba pro co nejlepší reprezentaci reálného stavu studovaného povodí. Většina těchto údajů je odvozena z některého, či z kombinace více prvků krajinné sféry. A právě v této oblasti může být užitečný systém „…zaměřený na sběr, ukládání, správu, analýzu, syntézu a prezentaci prostorových dat…“[3], neboli přesně takový systém, do kterého hydrologové zadají data a on jim dodá právě ty údaje, které potřebují – geografický informační systém (GIS).

V tomto článku bych se pokusil o nástin možností této spolupráce mezi GIS a hydrologickými modely na příkladu srážkoodtokového modelu HEC-HMS (semidistribuovaného modelu) a jeho extenze HEC-GeoHMS.

ÚDAJE O POVODÍ

Hydrografické údaje

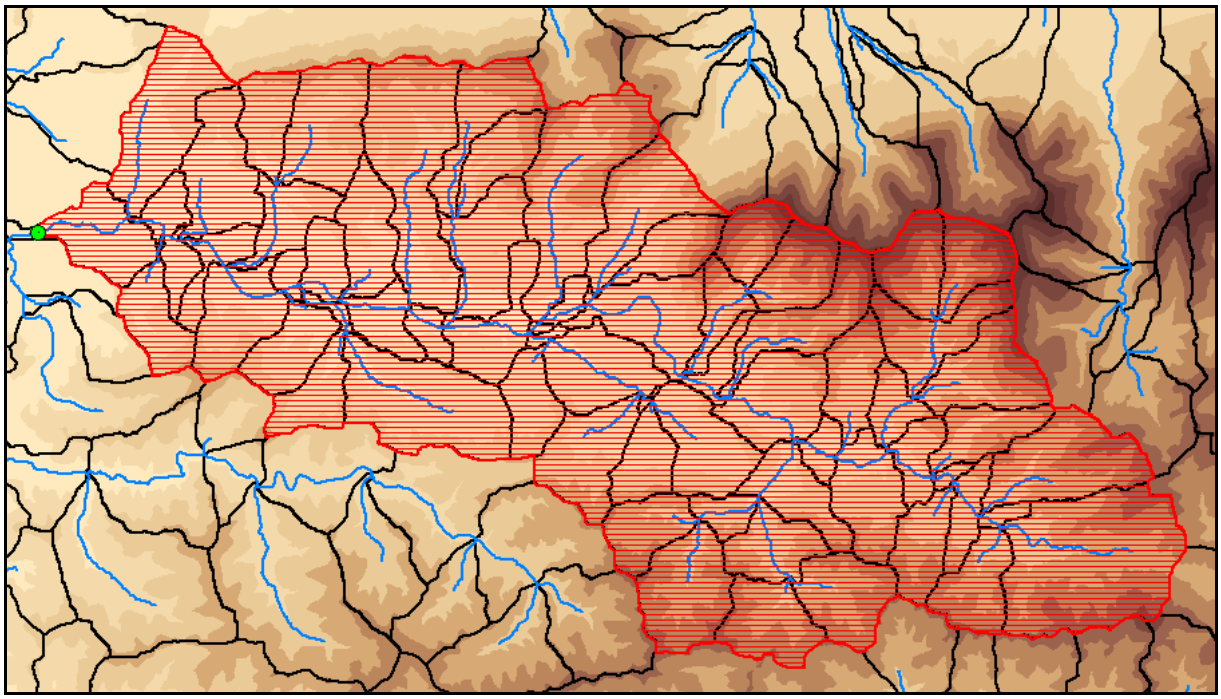
Schematizace povodí

První oblastí, ve které může být GIS nápomocný je zpracování povodí – tzn. definování povodí pro zvolený závěrový profil, jeho rozdělení do dílčích povodí a dílčích odtokových linií v podrobnosti jaká uživatele zajímá a následné převedení do schematizované podoby pro HEC-HMS buď jako lumped, semi-distributed nebo distributed model.

Celý tento proces se skládá z posloupnosti těchto kroků:

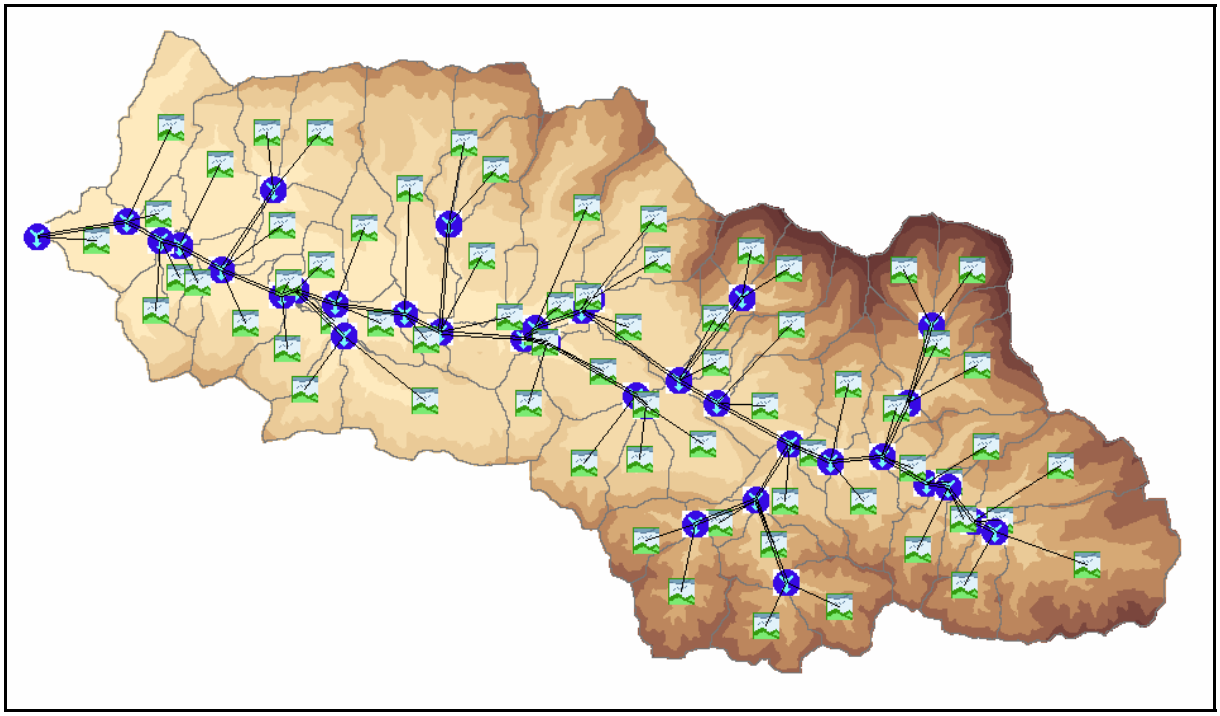
a) Tvorba digitálního modelu terénu (DEM).
b) Odstranění bezodtokých sníženin.
c) Definice odtokových linií z DEM.
d) Volba velikosti dílčího povodí.
e) Segmentace vodních toků.
f) Přiřazení dílčích povodí jednotlivým segmentům toku.
g) Oříznutí zpracovávaných dat dle povodí pro vybraný závěrový profil.
h) Schematizace povodí - nahrazení dílčích povodí centroidem a vodních toků jednoduchými liniemi, jejich jedinečné pojmenování a vybudování topologie.

Potřebná data: Reprezentace nadmořských výšek v povodí (vrstevnice, výškové body).



Obrázek 1 Zpracování povodí v HEC-GeoHMS. Kroky a) – f). Rožnovská Bečva po profil Valašské Meziříčí.

Fig. 1 Determinating of subbasins in HEC-GeoHMS. Points a) to f), Rožnovská Bečva basin to the Valašske Meziříčí outlet.



Obrázek 2 Zpracování povodí v HEC-GeoHMS. Kroky g) a h). Rožnovská Bečva po profil Valašské Meziříčí.

Fig. 2 Determinating of subbasins in HEC-GeoHMS. Points g) and h), Rožnovská Bečva basin to the Valašské Meziříčí outlet.

Výpočet parametrů dílčích povodí a toků

Další možností je výpočet parametrů z DEM a jejich přiřazení jednotlivým centroidům dílčích povodí a liniím reprezentujícím vodní toky.
Z DEM lze zjistit např. tyto parametry pro každé dílčí povodí:

- plocha
- obvod
- průměrná nadmořská výška
- průměrný sklon
- největší možná délka odtokové linie

a pro každý segment toku:

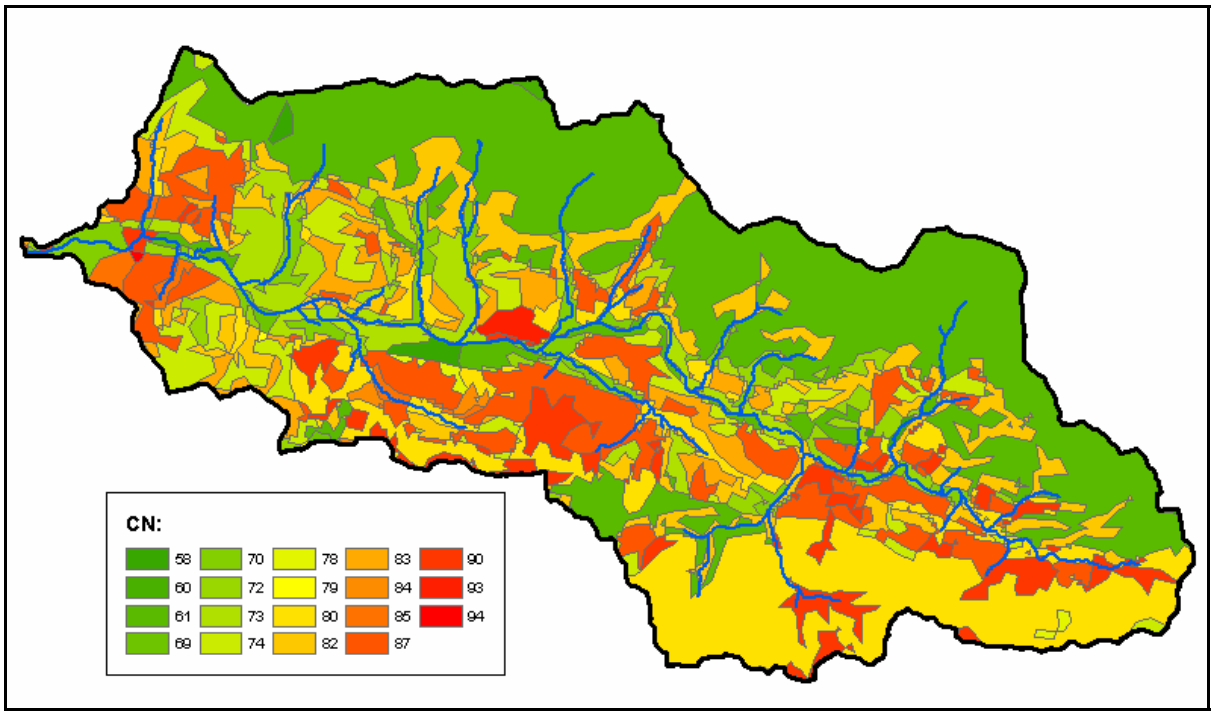
- délka
- sklon

Potřebná data: DEM

Údaje pro kalibraci modelu

Parametry půdního pokryvu a hydrologických vlastností půd

Tyto parametry se zadávají do modelu například pomocí CN křivek, jejichž hodnoty se odvozují na základě kombinace dat land-cover a propustnosti půdy představovanou hydrologických skupinou půd. Na základě jejich vzájemné lokalizace a daného vztahu dochází k výpočtu průměrné hodnoty CN pro každé dílčí povodí.
Potřebná data: údaje o land-cover (letecké snímky, NATURA 2000), údaje o propustnosti půdy.



Obrázek 3 Grid CN. Rožnovská Bečva po profil Valašské Meziříčí.

Fig. 3 CN (Curve Number) grid. Rožnovská Bečva basin to the Valašské Meziříčí outlet.

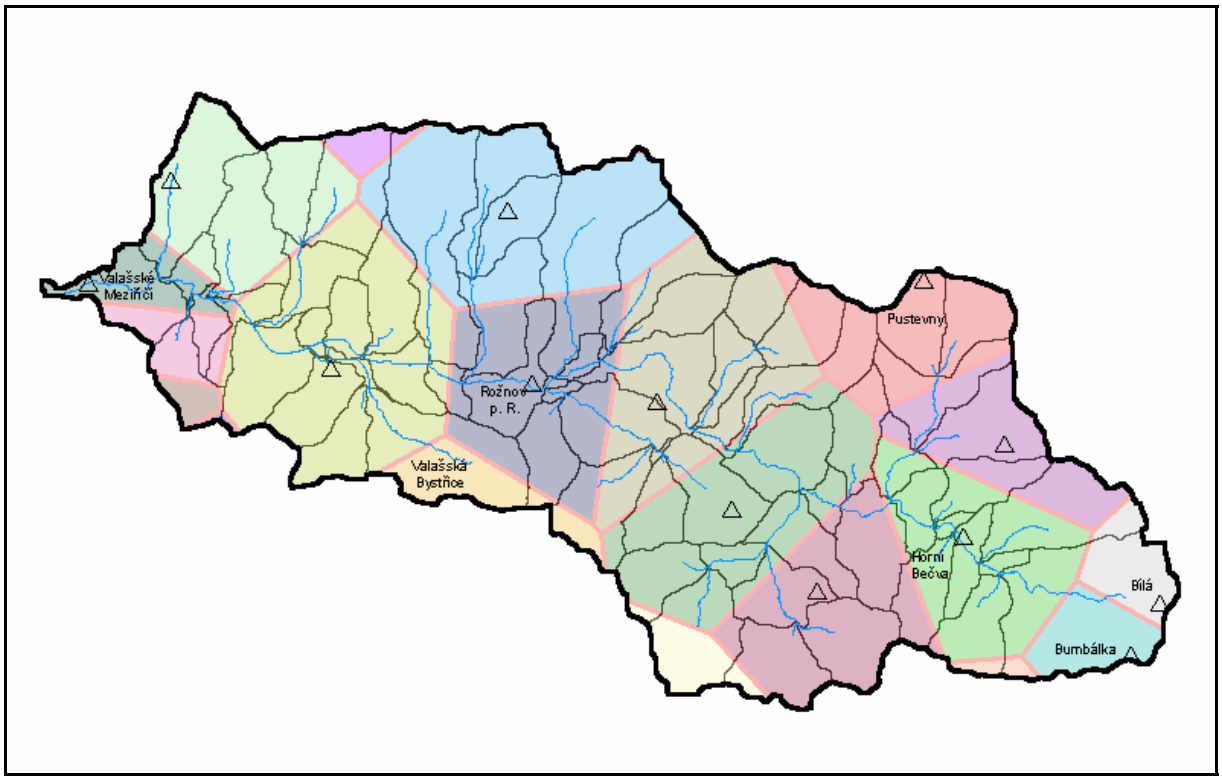
Další parametry

- Procento nepropustných ploch. Při zjišťování podílu nepropustných ploch v dílčím povodí dochází k prostorové operaci – výběru všech nepropustných ploch spadajících k danému dílčímu povodí, zjištění jejich celkové velikosti a vztažení k ploše dílčího povodí.
  Potřebná data: nepropustné plochy vybrané z dat land-cover.
- Počáteční ztráta. Výpočet počáteční ztráty odtoku v mm závisí na průměrné hodnotě CN v dílčím povodí.
  Potřebná data: zpracovaný grid CN
- Doba koncentrace. Doba, za kterou částice vody doteče z nejvzdálenějšího místa povodí do závěrového profilu
  Potřebná data: DEM.
- Doba dotoku. Čas od vypadnutí příčinné srážky na povodí do okamžiku výskytu kulminace v závěrovém profilu – možnost výpočtu více metodami
  Potřebná data: DEM.
- Koeficient retence. Doba zdržení vody v povodí.
  Potřebná data: DEM.

METEOROLOGICKÉ ÚDAJE

Srážkoměrné stanice

Při zpracování údajů ze srážkoměrných stanic dochází k přiřazení každého dílčího povodí k jednotlivým stanicím dle příslušnosti největší části plochy povodí k Thiessenovu polygonu pro danou srážkoměrnou stanici. Výpočet Thiessenových polygonů je možno usnadnit extenzí „Create Thiessen Polygons“ [1] pro ArcView 3.x, která je k dispozici na stránkách uživatelské podpory fy ESRI.



Obrázek 4 Thiessenovy polygony pro jednotlivé srážkoměrné stanice. Rožnovská Bečva po profil Valašské Meziříčí.

Fig. 4 Thiessen polygons determinated to precipitation gauge stations. Rožnovská Bečva basin to the Valašské Meziříčí outlet.

Radarové odhady

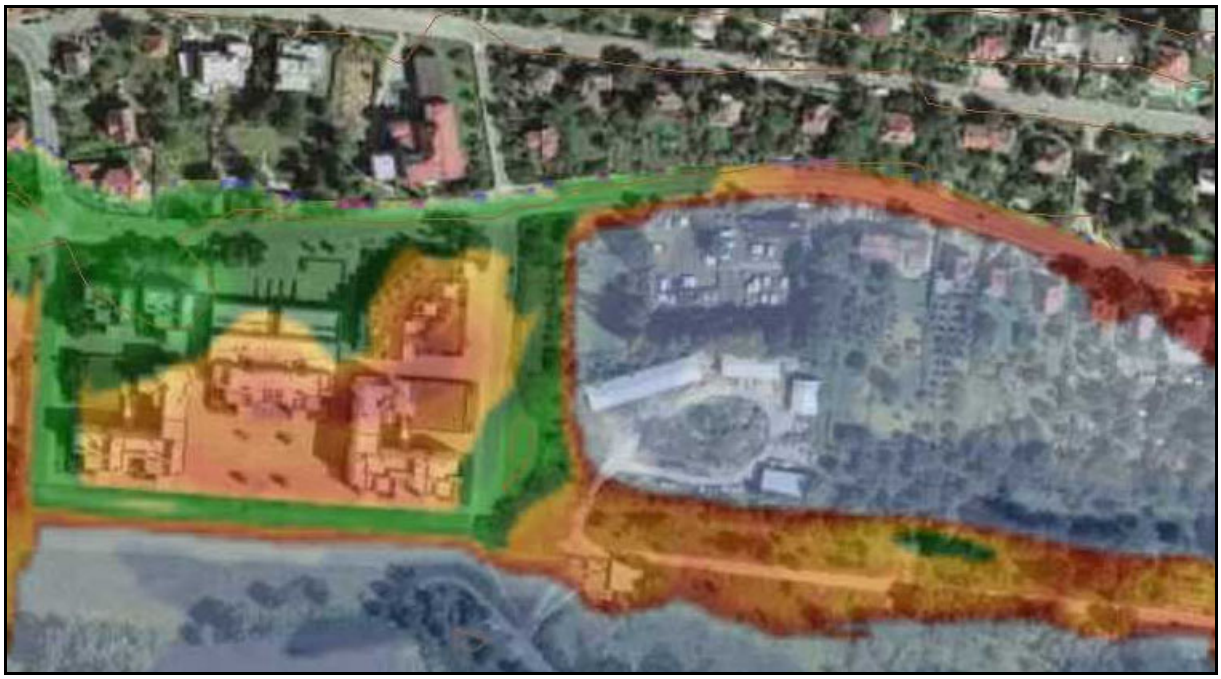
Při zpracování kombinovaných radarových odhadů srážek dochází k výpočtu průměrné srážky spadlé na dané dílčí povodí z gridových radarových odhadů (z gridu o velikosti buňky1x1 km nebo 9x9 km), nebo k výpočtu a přiřazení této hodnoty Tiessenovu polgonu příslušné srážkoměrné stanice.

VIZUALIZACE VÝSLEDKŮ

Geografické informační systémy také umožňují vizualizovat výsledky hydrologického modelování. Tato operace předpokládá zpracování výsledků srážkoodtokového modelování v aplikacích pro 2D modelování proudění vody v korytech a v okolí vodních toků. Získané výšky vodního sloupce nad terénem (převážně pro povodňové průtoky) je možné zobrazit dvěma způsoby:

Mapy inundačních oblastí

Zmíněné výšky vodního sloupce nad terénem jsou statistickými metodami rozklasifikovány do intervalů s požadovanou šířkou a následně vyjádřeny metodou barevné batymetrie a doplněny izobátami, s možností nastavení různé míry průhlednosti tak, aby byl viditelný zvolený podklad, kterým mohou být topografické mapy, plány měst nebo ortofotomapy.
Výslednou mapu je možné zveřejnit na internetu pomocí služeb mapových serverů.



Obrázek 5 Příklad vizualizace - mapa hloubek záplavy s 50% průhledností a s ortofotomapou na pozadí, publikovaná na mapovém serveru. Převzato z Atlasu životního prostředí v Praze.

Fig. 5 Vizualization of transparent inundation map with ortofotomap on beckground. Publicated with map server services.. Adapt from Atlas životního prostředí v Praze (Atlas of environmet in Prague).

3D vizualizace

Další možností, jak si udělat představu o výšce a rozsahu záplavy a o aktuálnosti ohrožení dalších míst je 3D vizualizace terénu pokrytého ortofotomapou či jiným mapovým podkladem. V případě dostatečně přesného 3D modelu obydlených oblastí je možné vidět v jaké oblasti a do jaké výšky budou budovy zaplaveny a rychle rozhodnout o nutnosti evakuace.

ZÁVĚR

Jak si již čtenář, který dočetl až sem, jistě udělal představu, spolupráce GIS a hydrologických modelů může jednak ušetřit hodně času při stavbě modelu a jednak podstatně zpřesnit získávané parametry.
Snad všichni výrobci softwarových produktů určených pro modelování hydrologických procesů pochopili možnosti a dnes již téměř nezbytnost této spolupráce a dodávají prostředek, který umožňuje potřebné údaje v prostředí GIS získat a importovat do vlastního prostředí (např. modely MIKE či HEC využívají software fy ESRI). Někteří šli tak daleko, že svůj produkt postavili přímo v prostředí některého programového prostředku vhodného pro budování GISu (např. TOPMODEL nebo CASC2D v GRASSu).

Literatura:

1. Ammon, G. *Create Thiessen Polygons*. Extension for ArcView 3.x. Last Modified on Oct. 26 2000. [Dostupné na http://arcscripts.esri.com/details.asp?dbid=10107, cit. 22. 6. 2005.]

2. Magistrát hl. m. Prahy. *Atlas životního prostředí v Praze*. 2003. [Dostupné na http://www.premis.cz/atlaszp/].

3. Rapant P. *Úvod do geografických informačních systémů*. VŠB – TU Ostrava, Skripta PGS, Ostrava, 2002.

4. Šercl, P. *Odvozování fyzicko-geografických charakteristik povodí v GIS*. Interní materiál CHMÚ, verze 2.0, Praha, 2004

5. US Army Corps of engineers. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS.* User´s manual, version 2.1. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 2001. [Dostupné na www.hec.usace.army.mil, cit. 17.6.2005.]

6. US Army Corps of engineers. *Geospatial Hydrologic Modeling Extension HEC-GeoHMS.* User´s manual, version 1.1. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 2003. [Dostupné na www.hec.usace.army.mil, cit. 17.6.2005.]

Autor

Martin Adamec, Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF, OU Ostrava. Chittussiho 10, 712 00 Slezská Ostrava, e-mail: martin.adamec@osu.cz

METÓDA URČENIA VLHKOSTI ZNÍŽENEJ DOSTUPNOSTI PÔDNEJ VODY PRE RASTLINY, PRI KTOREJ DOCHÁDZA K ZNIŽOVANIU RÝCHLOSTI TRANSPIRÁCIE

Ing. Havrila Ján

Príspevok obsahuje návrh metódy určenia hydrolimitu „vlhkosť zníženej dostupnosti pôdnej vody pre rastliny" (VZD). Je to kritická vlhkosť pôdy, pri ktorej sa začína znižovať rýchlosť transpirácie rastliny, v dôsledku znižovania sa vlhkosti pôdy. Dôležitý „hydrolimit" ktorým sa takáto vlhkosť pôdy označuje je spravidla nazývaný ako „bod zníženej dostupnosti", po anglicky „point of limited soil water availability", by mal ohraničovať dolnú hranicu intervalu vlhkostí pôdy, ktorá je „ľahko dostupná" pre rastliny. Tu opísaná metóda určenia tejto vlhkosti je založená na interpretácii závislosti medzi intenzitou pomernej transpirácie a priemernou vlhkosťou pôdy. Charakteristiky režimu vody v pôde (chody obsahov vody a vlhkostného potenciálu pôdy) ako aj sezónne chody a úhrny transpirácie (evapotranspirácie) boli vypočítané pomocou matematického modelu HYDRUS-ET pre lokalitu Most pri Bratislave, (Experimentálna základňa Meliorácie š.p.).

Kľúčové slová: vlhkosť zníženej dostupnosti pôdnej vody pre rastliny, režim vody v pôde, hydrofyzikálne charakteristiky, obsah vody v pôde, hydraulická vodivosť, transpirácia, matematické modelovanie, kritická vlhkosť pôdy

Assessment method of moisture of limited soil water availability to plants, when intensity of transpiration starts to decrease. *This contribution describes the method of assessment soil moisture limited availability when intensity of transpiration starts to decrease due to decrease of soil moisture. Important „hydrolimit" by which is this soil moisture marked is called as „point of limited soil water availability". This point limist bottom boundary interval of soil moisture which is „easy available" for plants. Here described method of assessment of this soil moisture is established on interpretation between relative transpiration rate and average soil moisture. Characteristics of soil water regime (courses of soil water content and soil water potential) and also seasonal courses and total tranpiration (evapotranspiration) were computed by mathemathical model HYDRUS-ET at the locality Most pri Bratislave, (Experimental base of Melioration s. c.).*

Key words: soil moisture limited availability, soil water regime, hydrophysical characteristics, soil water content, hydraulic conductivity, transpiration, mathematical modelling, critical soil moisture

---

ÚVOD

Koncepcia dostupnosti vody z pôdy pre rastliny začala vznikať vtedy, keď bolo potrebné zavlažovať porasty v podmienkach ohraničeného množstva disponibilnej vody. Už najstaršie historicky známe civilizácie používali závlahové systémy, aby rastliny mohli vytvoriť úrodu, pretože tieto lokality boli v oblastiach s relatívne malým úhrnom zrážok počas vegetačného obdobia. Kvantitatívny charakter táto koncepcia získala až v 20. storočí, keď obmedzené zásoby vody vyžadovali racionálne hospodárenie s vodou. Prvá koncepcia Veihmeyera a Hendricksona (1927) bola založená na rovnakej dostupnosti pôdnej vody pre rastliny v širokom intervale vlhkostí od tzv. vlhkosti trvalého vädnutia (permanent wilting point) až po vlhkosť poľnej vodnej kapacity (field capacity). Vlhkosť poľnej vodnej kapacity (PVK) nie je fyzikálne jasne definovaná. Používajú sa definície ako napr. „PVK charakterizuje množstvo vody v pôde, ktoré v nej zostane po odtečení gravitačnej vody z pôdneho profilu…" (Hydrológia…, 2002). O niečo lepšie je to s pojmom bod trvalého vädnutia (permanent wilting point). Táto je definovaná ako vlhkosť pôdy, pri ktorej rastlina trvalo a nezvratne vädne. Zodpovedá vlhkostnému potenciálu vody v pôde −1.5 MPa. Táto definícia je založená na pojme „koeficient vädnutia" (wilting coefficient) Briggsa a Shantza a bola publikovaná Veihmeyerom a Hendricksonom (1927). Táto definícia je založená na rozsiahlom empirickom materiáli. V nádobách boli pestované rastliny pri dostatočnom obsahu vody a živín, v určitom štádiu rastliny prestali byť zavlažované. Po objavení sa príznakov vädnutia bola zisťovaná priemerná vlhkosť pôdy v nádobe. Táto vlhkosť bola nazvaná vlhkosťou trvalého vädnutia. Reprodukovateľnosť tohoto postupu bola dobrá a hodnoty vlhkosti pôdy boli v rámci chýb merania, ich vlhkostný potenciál zodpovedal hodnote −1.5 MPa. Pri

nedodržaní tohoto postupu budú vlhkosti pôdy zodpovedajúce trvalému vädnutiu rastlín iné. Pri pomalej adaptácii boli pozorované zelené nevädnúce rastliny aj pri hodnote vlhkostného potenciálu pôdy –3.9 MPa (Jordan, Ritchie, 1971).

Súčasné poznatky o procese tvorby biomasy hovoria o tom, že rastlina začína znižovať intenzitu transpirácie skôr, ako je dosiahnutý bod trvalého vädnutia (tým sa myslí vlhkosť, alebo vlhkostný potenciál pôdy). Vlhkosť pôdy, alebo jej vlhkostný potenciál, pri ktorom sa rýchlosť transpirácie, alebo (ako sa to často vyjadruje) dostupnosť vody pre rastliny, znižuje býva označená ako „bod zníženej dostupnosti vody v pôde pre rastliny“, (point of limited availability). Exaktná definícia tohoto pojmu neexistuje, sú k dispozícii približné charakteristiky tohoto pojmu, ktoré sú potrebné pre praktické účely. Ide o to, že pri dosiahnutí tejto priemernej vlhkosti pôdy je potrebné začať pôdu zavlažovať. Tu sú dve z dostupných definícií:

Bod zníženej dostupnosti *(θ_{zd}, w_{zd})* vody pre rastliny charakterizuje takú vlhkosť pôdy, pri ktorej sa podstatne znižuje pohyblivosť pôdnej vody, a ktorá sa už začína nepriaznivo prejavovať na raste rastlín, [Velebný a kol., 2000]. Zodpovedajúca hodnota sacieho tlaku sa pohybuje v dosť širokom intervale vlhkostných potenciálov pôdy (pF = 3.0 - 3.3). Prakticky sa uvažuje, že

$$\theta_{zd} = \theta_v + 0{,}6(\theta_{pk} - \theta_v) \qquad (1)$$

kde θ_v je vlhkosť trvalého vädnutia (objemová), θ_{pk} je vlhkosť zodpovedajúca poľnej vodnej kapacite.

Alebo: Bod zníženej dostupnosti, je hydrolimit, vlhkosť (množstvo vody) alebo vlhkostný potenciál vody v pôde, pri ktorej sa výrazne znižuje dostupnosť vody v pôde pre rastlinu, je spravidla viazaná na metódu určenia, nie je exaktne definovaná. Najčastejšie sa vyjadruje ako časť hydrolimitu (60%) poľnej vodnej kapacity (Hydrológia.., 2000).

Z toho, čo bolo povedané je zrejmé, že horeuvedené definície charakterizujú tzv. „bod zníženej dostupnosti“ len ako vlastnosť pôdy. Intenzita odberu vody koreňovými systémami sa približne rovná intenzite transpirácii rastliny (porastu), a teda ak rastlina transpiruje intenzitou, ktorá môže byť označená ako intenzita potenciálnej transpirácie, nie je ešte limitovaná nedostatkom vody v pôde, a teda nie je dosiahnutý hydrolimit „bod zníženej dostupnosti“. Z globálnejšieho hľadiska, však intenzita transpirácie je ovplyvnená vlastnosťami celého systému PRAT.

Cieľom tejto práce je navrhnúť metódu určenia charakteristiky „vlhkosti“ alebo „potenciálu vody v pôde“, pri ktorých dochádza k zníženiu produkcie biomasy, teda určiť racionálnu definíciu toho, čo sa označuje ako „vlhkosťpôdy, pri ktorej sa znižuje príjem vody rastlinou“.

POUŽITÁ METÓDA A MATERIÁL

Matematický model

Charakteristiky režimu vody v pôde ako aj sezónne chody a úhrny transpirácie (evapotranspirácie) boli vypočítané pomocou matematického modelu HYDRUS-ET. Model HYDRUS-ET reprezentuje softwarový program pre simuláciu pohybu vody, tepla a roztokov v jednodimenzionálnom prostredí s premenlivou nasýtenosťou pôdneho profilu v čase. Model je vyvinutý v U.S. Salinity Laboratory, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service Riverside, California, [Šimůnek et al., 1997]. Pozostáva z podprogramov, ktoré sa spolupodieľajú na pohybe vody, tepla a rozpustených látok v pôde. Procedúry pre výpočet evaporácie, transpirácie a intercepcie zo zrážok sú prebraté z počítačového programu Global, [Majerčák, Novák, 1994]. Modely týchto typov sú užitočným nástrojom pre extrapoláciu informácií z limitovaného počtu poľných experimentov pri rôznych pôdnych, porastových a klimatických podmienkach, ako aj pri rôznom spôsobe obrábania pôdy a úpravách vo vodnom hospodárstve. HYDRUS-ET rieši numericky Richardsovu rovnicu pre premenlivo – nasýtené prúdenie vody v pôde a konvektívno-disperznú rovnicu pre prenos tepla a roztokov v pôde. Deterministické riešenie týchto klasických rovníc sa môže použiť na predpovedanie pohybu vody a roztokov v nenasýtenom pórovitom prostredí a pre analýzu poľných experimentov. Richardsova rovnica vychádza z predpokladov, že plynná fáza nehrá dôležitú úlohu v procese prúdenia tekutín, a že prúdenie vody v pôde vzhľadom na termálny gradient môže byť zanedbané. Richardsova rovnica (2) má tvar :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[k\left(\frac{\partial h}{\partial z}\right) + \cos\alpha \right] - S \qquad (2)$$

kde h je vlhkostný potenciál pôdy [cm], θ je objemová vlhkosť pôdy [$cm^3.cm^{-3}$], t je čas [s], z je hĺbka pôdneho profilu [cm], (kladná smerom nahor), α je uhol medzi smerom prúdenia vody v pôde a vertikálnou osou [°], S je intenzita odberu vody koreňmi rastlín [$cm^3.cm^{-3}.s^{-1}$] a k je nenasýtená hydraulická vodivosť [$cm.s^{-1}$].

V rovnici prúdenia je zahrnutý aj odber vody koreňmi rastlín. Oblasť prúdenia vody v pôde môže byť zložená aj z viacerých vrstiev pôdy. Pri časti prúdenia vody v nenasýtenom pórovitom prostredí model ráta s počiatočným rozdelením vlhkosti a vlhkostného potenciálu v pôde, taktiež s okrajovými podmienkami tokov v pôde, atmosférickými podmienkami, ako aj s okrajovou podmienkou voľnej drenáže. Numerické riešenie je založené na Galerkinovej úprave metódy konečných prvkov. Detailné inštrukcie o použití tohto modelu sú v [Šimůnek et al., 1997].

Lokalita

Lokalita Most pri Bratislave sa nachádza 5.5 km severne od Bratislavy (Obr.1) a je lokalizovaná na 48° 8´ severnej zemepisnej šírky a 17° 16´ západnej zemepisnej dĺžky. Lokalita je situovaná na severozápadnom okraji Žitného ostrova. Podľa systému FAO je pôda klasifikovaná ako černozem. Podľa zrnitostného rozboru je pôda klasifikovaná ako hlinitopiesočnatá. Pod hĺbkou 160 cm sa vyskytuje hrubá vrstva štrku Dunajského pôvodu. Hladina podzemnej vody je v hĺbke 6-8 m, čo znamená, že nezasahuje do pôdneho profilu koreňovej zóny rastlín kapilárnym vzlínaním. Pôdny profil je relatívne homogénny. Na území sa pestujú kultúrne poľnohospodárke plodiny ako kukurica, jačmeň, pšenica a typické z tejto skupiny.

Odbery do Kopeckého valčekov o objeme 100 cm^3 boli vykonávané s trojnásobným opakovaním pre pôdu s porastom kukurice. Vzorky boli odobraté z 33 vertikál v 10, 20, 30, 50, 70 a 100 cm hĺbke pôdneho profilu. Následne nato boli vyhodnocované v laboratóriu. Meteorologické údaje sú z najbližšej meteorologickej stanice v blízkosti Mostu pri Bratislave. Priemerné zrážky počas rokov 1971-2000 a roku 2003 rokov za VO sú 368.9 mm. Priemerné zrážky počas 31 rokov v období transpirácie porastu kukurice sú 254.4 mm. Obdobie transpirácie trvá od začiatku rastu rastliny až po dobu fyziologického zrenia rastliny. V našom prípade je to od 5. mája po 7. – 16. septembra. Deň fyziologického zrenia je určený v závislosti na klimatických podmienkach (dĺžka trvania slnečného svitu, teplota vzduchu, zrážky, tlak vodných pár) záujmového územia. Priemená teplota vzduchu za 31 rokov počas VO je 15.3 °C. Priemená teplota vzduchu počas obdobia transpirácie za pozorované obdobie je 18.3 °C, čo znamená, že táto lokalita je vhodná na pestovanie kukurice.



Obr. 1. Umiestnenie experimentálnej poľnej základne Meliorácie š.p. pri obci Most pri Bratislave.

Fig. 1. Site of Experimental field base of Melioration s. c. close to Most pri Bratislave.

Vstupné údaje

Ako vstupné údaje do modelu H – ET sú potrebné :
Meteorologické údaje : priemerná denná teplota vzduchu, denné zrážkové úhrny, dĺžka trvania slnečného svitu, tlak vodných pár, rýchlosť vetra (v 2 m výške).
Charakteristiky vegetačného pokryvu : výška porastu, index listovej pokryvnosti (LAI), hĺbka zakorenenia, koeficient drsnosti porastu, albedo.

Pôdne charakteristiky : priemerné hodnoty vlhkosti v konkrétnych hĺbkach hlinitopiesočnatého pôdneho profilu porasteného kukuricou. Vlhkostný pofil meraný 17.3. 2003 je počiatočným vstupom do modelu. Vlhkostná retenčná čiara (VRČ) je zadaná vysušovacou vetvou retenčnej čiary a je určená zo vzoriek pôdy odobratých zo dňa 17.3.2003 z vrchnej 1 m vrstvy pôdneho profilu pod porastom kukurice.

Nenasýtená hydraulická vodivosť pôdy sú vypočítané podľa vzťahov Genuchtena – Mualema.
Model bol validizovaný a porovnaný s rokom 2003, v ktorom boli uskutočnené poľné merania a odbery vzoriek pôdy. Odbery boli realizované v dvojtýždňových intervaloch do mesiaca jún a s mesačným opakovaním v mesiacoch júl až október počas vegetačného obdobia (VO) od 17.3. až do 20.10.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledkom matematického modelovania dynamiky vody v pôde modelom Hydrus – ET, tak, ako boli opísané v predchádzajúcej časti - sú denné hodnoty tzv. „charakteristík režimu vody v pôde“, čiže priemerné denné hodnoty vlhkosti pôdy a vlhkostného potenciálu pôdy, pre vybrané hĺbky pod povrchom pôdy. Z nich je možné získať čiary rozdelenia vlhkostí (vlhkostné profily) a vlhkostných potenciálov pôdy pod jej povrchom počas modelovaného dňa. Z týchto hodnôt je možné vypočítať tiež obsah vody v ľubovolnej vrstve pôdy ako aj sezónne chody týchto veličín. Na obr.(2), ako ilustratívny príklad sú uvedené sezónne chody objemovej vlhkosti pôdy θ v hĺbke 50 cm pod povrchom pôdy, pod porastom kukurice, pre vybrané vegetačné obdobia. Kvôli prehľadnosti sú vzdialenosti medzi bodmi na osi času 5 dní. Kvôli jednoduchšej orientácii, sú na obrázku aj hodnoty hydrolimitov pôdy (vlhkosť bodu vädnutia, BV, vlhkosť zníženej dostupnosti vody pre rastliny, BZD a vlhkosť pôdy, zodpovedajúca poľnej vodnej kapacite, PVK. Chody vlhkostí pôdy na obrázku ilustrujú predovšetkým veľkú variabilitu chodov vlhkostí. V mokrom roku 1995 bola dokonca vlhkosť pôdy uprostred vegetačného obdobia vyššia ako vlhkosť PVK, čo je zriekavý jav.

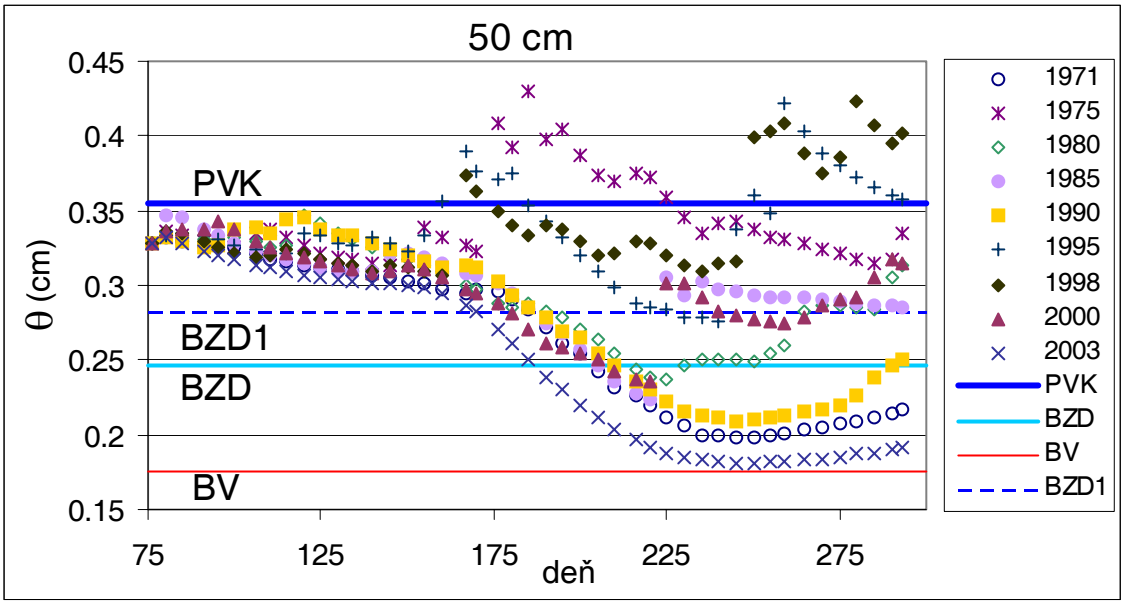
Pomernú transpiráciu, ako index zabezpečenosti porastov vodou publikoval už pred rokmi Budagovskij a Grigorieva (1991) ako pomer intenzity (alebo úhrnu) transpirácie E_T a potenciálnej transpirácie E_{TP} :

$$\eta_p = E_T / E_{TP} \qquad (6)$$

Tento pomer charakterizuje zabezpečenosť porastu vodou a výraz

$$\eta_d = 1 - \eta_p \qquad (7)$$

môže byť označený ako index sucha daného porastu.



Obr. 2. Sezónne chody objemovej vlhkosti pôdy Θ [-] v hĺbke 50 cm pod porastom kukurice vypočítané modelom HYDRUS – ET. Chody vlhkostí sú uvedené pre desať sezón s časovým intervalom 5-dní v jednotlivých sezónach. V obrázku sú naznačené základné hydrolimity BV, BZD, VZD = BZD1 = θ_{k1}, PVK, (Most pri Bratislave).

Fig. 2. Seasonal courses of water content Θ [-] in 50 cm depth belowsoil surface with maize computed by model HYDRUS – ET. Courses ofsoil water content are presented for ten season with 5 days time interval in every season. In figure are marked basic hydrolimits BV – wilting point, BZD – point of limited availability, VZD = BZD1= θ_{k1} – Water content of limited availability, (critical soil moisture), PVK – field capacity.

Význam horeuvedených kritérií je predovšetkým v tom, že známy a akceptovaný súboru poznatkov empirického charakteru, hovorí, že produkcia biomasy (úroda) je priamo úmerná úhrnu transpirácie porastu za vegetačné obdobie (Hanks, Hill, 1980, Vidovič, Novák, 1987). Táto závislosť platí pre konkrétnu lokalitu s danými agronomickými a agrotechnickými vlastnosťami a samozrejme, pre konkrétnu plodinu. Preto, intenzita transpirácie a jej úhrn za vegetačné obdobie je dôležitou charakteristikou procesu produkcie biomasy.

Ďalším krokom musí byť vyjadrenie intenzity transpirácie v závislosti na vlhkosti koreňovej oblasti pôdy (alebo na obsahu vody v pôde, prípadne na hodnote vlhkostného potenciálu pôdy). Ide tu o určenie intervalu horeuvedených veličín, v ktorých sa transpirácia v závislosti na nich znižuje, lebo táto oblasť vlhkosti pôdy je kritická z hľadiska jej vplyvu na produkciu biomasy.
Z praktického hľadiska je zrejmé, že pre takéto úvahy sa najviac hodí veličina objemovej vlhkosti pôdy, z ktorej sa ľahko určí aj obsah vody v pôde. Závislosť medzi evapotranspiráciou (ale aj transpiráciou) a vlhkosťou pôdy $E_T = f(\theta)$, sa často používa pri výpočte transpirácie z hodnôt potenciálnej transpirácie a bola získaná meraním (Denmead, Show, 1962, Feddes et al., 1978, Novák, 1990) a vypočítaná pomocou modelov (Novák, Matejka, Hurtalová, 1995). Táto závislosť je charakterizovaná tromi oblasťami vlhkosti pôdy: oblasť medzi vlhkosťou vodou nasýtenej pôdy a tzv. „kritickou vlhkosťou pôdy“ $\langle \theta_s, \theta_{k1})$, kedy obsah vody v definovanej vrstve pôdy (spravidla metrovej) nelimituje transpiráciu. Potom je to oblasť medzi $(\theta_{k1}, \theta_{k2})$, kde sa s klesajúcou vlhkosťou pôdy rýchlo znižuje aj rýchlosť transpirácie, aby pri priemernej vlhkosti koreňovej vrstvy pôdy θ_{k2} dosiahla hodnotu blízku nule.

Množinu bodov, ktorá charakterizuje závislosť medzi relatívnou transpiráciou a vlhkosťou vrchnej, metrovej vrstvy pôdy $E_T / E_{TP} = f(\theta)$, vypočítanú pomocou modelu HYDRUS – ET, pre 31vegetačných období s porastom kukurice je znázornených na obr.(3). Hodnoty reprezentujú priemerné denné hodnoty zobrazených veličín. Faktom je, že pri výpočte tejto závislosti matematickým modelovaním, bola transpirácia vypočítaná z hodnôt potenciálnej transpirácie s využitím závislosti $E_T / E_{TP} = f(\theta)$, ktorej parametre boli vypočítané s využitím vlastností pôdy. To znamená, že výpočtom sme získali len informácie o tom, ako sa a posteriori získaná závislosť $E_T / E_{TP} = f(\theta)$ ovplyvnila inými vlastnosťami prostredia, ktoré neboli do úvah zahrnuté. Táto závislosť, tvorená súborom bodov, umožňuje určiť pomernú transpiráciu v závislosti na priemernej vlhkosti koreňovej oblasti pôdy.
Horeuvedená závislosť umožňuje interpretáciu hydrolimitu nazvanej „bod zníženej dostupnosti vody pre porast", alebo „vlhkosť zníženej dostupnosti" (water content of limited availability of soil water for plants). Je to vlhkosť pôdy, zodpovedajúci jej kritickej vlhkosti, kedy transpirácia začína klesať pod hodnotu potenciálnej transpirácie. Takto je hodnota vlhkosti BZD fyzikálne a fyziologicky jasne definovaná. Môže byt vyjadrená rovnicami (Novák, 1990):

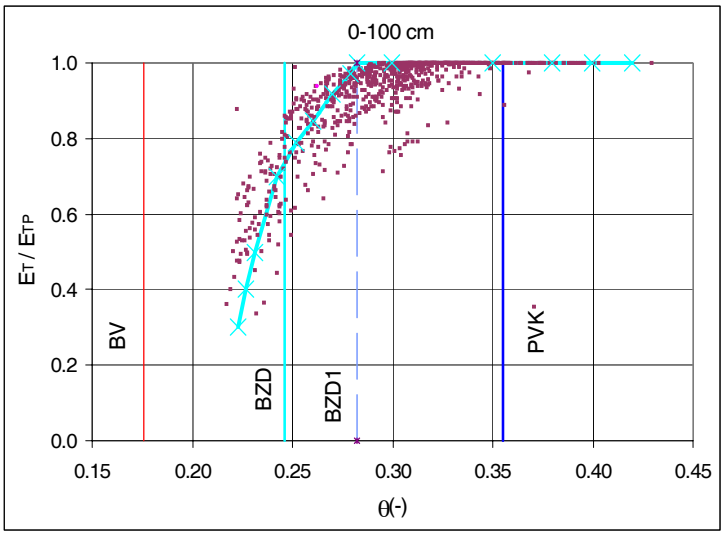
$$\theta_{k1} = \frac{1}{\alpha} + \theta_{k2} \qquad (8)$$

$$\theta_{k2} = 0.67 \,.\, \theta_v \qquad (9)$$

$$\alpha = 2.75 + 12.8 \,[\, \exp(-0.5\,(E - 1))] \qquad (10)$$

kde θ_{k1} , θ_{k2} sú tzv. kritické vlhkosti pôdy, ktoré ohraničujú z oboch strán intervalu vlhkosti pôdy oblasť klesajúcej rýchlosti transpirácie, θ_v je vlhkosť trvalého vädnutia rastlín (Kutílek, Nielsen, 1992). Súčiniteľ α je funkčne závislý na intenzite transpirácie (alebo evapotranspirácie) E. Z toho ale tiež vyplýva, že tá hodnota vlhkosti pôdy, označovaná ako „vlhkosť bodu zníženej dostupnosti vody pre rastliny", alebo skrátka bod zníženej dostupnosti nie je len vlastnosťou pôdy, ale aj vlastnosťou zvyšku systému pôda – rastlina – atmosféra. Ovplyvňujú ju predovšetkým vlastnosti atmosféry, ktoré podmieňujú proces transpirácie. Ako vyplýva z analýz citlivosti vplyvu systému pôda – rastlina – atmosféra (PRAT) na proces výparu reprezentovaný rovnicou Penmana – Monteitha (Monteith, 1956) vykonanej Novákom, et al. (1997), z ktorej vyplýva, že najvýraznejší vplyv z meteorologických vlastností atmosféry má radiačná bilancia, nasledovaná teplotou vzduchu. Teplota vzduchu je však štatisticky významne korelovaná s radiačnou bilanciou.

Z horeuvedeného teda vyplýva, že hydrolimit VZD, definovaný tu navrhnutým spôsobom, nie je len vlastnosťou pôdy, ale celého komplexu charakteristík pôda – rastlina – atmosféra.
Navrhnutá metóda určenia „vlhkosti zníženej dostupnosti vody v pôde pre rastliny" (VZD) môže byť ilustrovaná na obr. (3), z čoho vyplýva, že jej hodnota je $\theta_d = \theta_{k1} = 0.28$, hodnota $\theta_{zd} = 0.246$ bola určená štandardným, ale približným postupom podľa rovnice (1). Platí to samozrejme pre pôdmienky a pôdu z lokality Most pri Bratislave. Nejde ani tak o rozdiely v hodnotách BZD a VZD, ale o to, že tu opísaná metóda určenia VZD je jednoduchá (rov.8 – 10) a jednoznačne fyzikálne interpretovateľná.



Obr.3. Závislosť medzi relatívnou transpiráciou a vlhkosťou vrchnej, metrovej vrstvy pôdy $E_T / E_{TP} = f(\theta)$, vypočítanú pomocou modelu HYDRUS – ET, pre 31 vegetačných období s porastom kukurice v rokoch 1971-2000 a v roku 2003. V obrázku sú naznačené základné hydrolimity BV, BZD, VZD = BZD1 = θ_{k1}, PVK, (Most pri Bratislave).

Fig.3. Relative transpiration in relation tof soil moisture content of the upper 1 m soil layer $E_T / E_{TP} = f(\theta)$, computed by model HYDRUS – ET, during 31 vegetation seasons with maize crop in years 1971-2000 and in year 2003. In figure are marked basic hydrolimits BV – wilting point, BZD – point of limited availability, VZD = BZD1= θ_{k1} – critical soil moisture, PVK – field capacity.

ZÁVER

Bola navrhnutá metóda určenia významného hydrolimitu – vlhkosti zníženej dostupnosti vody v pôde pre rastliny (VZD) θ_d, ktorá charakterizuje priemernú vlhkosť vrchnej (koreňovej) metrovej vrstvy pôdy, pri ktorej dochádza k zníženiu intenzity transpirácie a tým aj k zníženiu produkcie biomasy.

VZD je možné vypočítať pomocou rovníc (8 –10), do ktorej vchádzajú známe, alebo ľahko merateľmé charakteristiky pôdy, ako je vlhkosť trvalého vädnutia (θ_v) a priemerná denná intenzita transpirácie (alebo evapotranspirácie).

Na rozdiel od bežne používaného hydrolimitu „bod zníženej dostupnosti vody v pôde pre rastlinu“ (BZD), vyjadreným rovnicou (1), je VZD fyzikálne jednoznačne interpretovatelná.

Takto určenú hodnotu VZD -θ_d je možné použiť ako indikátor potreby závlahy, aby bola zabezpečená potenciána úroda.

Literatúra

Antal, J., 1994 : Ekologické opatrenia v meliorániách. Rozborová úloha. VŠP, Agronomická fakulta, Nitra, 65 s.

Benetin, J., Šoltész, A., Štekauerová, V., 1985. Bilančný matematický model na podrobnú analýzu časovej variability zložiek vodného režimu pôd. Vodohosp. čas., 33, s. 585–609.

Benetin, J., Šoltész, A., 1988 : Hydrologické charakteristiky vodného režimu pôd a ich výpočet. In : Agromelio. Výskumné centrum pôdnej úrodnosti Bratislava, Nitra str. 12-19.

Denmead, O. T., Shaw, R. T., 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological condition. Agron. J., 54, 385-390.

Feddes, R. A., Kowalik, P., Zaradny, H., 1978. Simulation of field water use and crop yield. Wageningen, Pudoc.

Fulajtár, E., 1985 : Hodnotenie a klasifikácia vodného režimu pôd. Klasifikácia a hodnotenie pôdnych režimov. Zb. prednášok z 2. Vedeckého seminára.,Bratislava, s. 54-68.

Hydrológia, terminologický výkladový slovník. MŽP SR, Bratislava, 2002, s.12.

Jordan, W. R., Ritchie, J. T., 1971. Influence of soil water stress on evaporation, root absorption and internal water status of cotton. Plant Physiol. 48, 783-788.

Kutílek, M., 1978 : Vodohospodárska pedologie, Praha, SNTL-ALFA.

Kutílek, M., Nielsen, D. R., 1994. Soil hydrology. Cremlingen - Destedt, Germany, Catena Verlag.

Majerčák, J., Novák, V., 1994. Global, one-dimensional variable saturated flow model, including root water uptake, evapotranspiration structure, corn yield, interception of precipitations and winter regime calculations. Research report, 75 pp., Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia.

Novák, V., 1990. Opredelenie kritičeskich vlažnostej počvy dlja summarnovo isparenia. Počvovedenie, č.2, 137-141.

Novák, V., 1995. Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania. VEDA, Bratislava.

Novák, V., Matejka, F., Hurtalová, T., 1995. Modelovanie zložiek evapotranspirácie poľných plodín a verifikácia výsledkov. J. of Hydrol. Hydromech. VČ 45, str. 38-45.

Novák, V., Majerčák, J., 1992. Simulation of the soil – water dynamics in the root zone during the vegetation period : II. The course of state variables of soil water below the maize canopy. J. Hydrol. Hydromech., 40, 380 – 397.

Novák, V., Gallová C., 1998. Mathematical modelling of annual soil water content changes and sensitivity of the model to soil hydraulic characteristics. J. Hydrol. Hydromech., 6, 432-446.

Penman, H. L., 1956. Evaporation: An introductory survey. Neth. J. Agric. Sci, 4, 9-29.

Šimůnek, J., K. Huang., M. Šejna, Th. M. van Genuchten, J. Majerčák, V. Novák, and J. Šútor. 1997. The HYDRUS -ET software package for simulating the one - dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably - Saturated media. Version 1.1. Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava.

Šútor, J.,1999. Water storage monitoring in the aeration zone of soil and its interpretation. Pollution and water resources. Columbia university seminar proceedings. Volume XXX, s.152-159.

Šútor, J., Štekauerová, V., 2000 : Hydrofyzikálne charakteristiky pôd Žitného ostrova. Ústav hydrológie SAV, Bratislava.

Vidovič, J., Novák, V., 1987 : Závislosť úrody kukurice na evapotranspirácii porastu. Rostlinní výroba, 33, č.6, . 663-670.

Veihmeyer.F.J., Hendrickson, A.J. 1927. Soil moisture conditions in relation to plant growth. Plant Physiol., 2,71 –78.

Velebný, V., Novák, V., a kol., 2000 : Vodný režim pôdy. STU, Bratislava.

Autor

Ján Havrila, PhD. student, Institute of Hydrology SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava 38, Slovak Republic
mailto:havrila@uh.savba.sk
Kontakt na pracovisko: tel.: +421 2 44259 279

HYDROGRAFICKÁ ANALÝZA POVODÍ S VYUŽITÍM GIS

Jan Kopp

Hydrografická analýza povodí tvoří důležitou součást analytického hodnocení povodí. Součástí hydrografické analýzy jsou analýzy geometrických, morfometrických a topologických vlastností povodí a hydrografické sítě. V příspěvku je uveden přehled možností využití nástrojů GIS při hydrografické analýze. Použití konkrétních metod je ukázáno na příkladu analýzy povodí Lučního potoka.

Klíčová slova: hydrografická analýza, GIS, analýza povodí

Hydrographic analysis of drainage basin with GIS application. *The hydrographic analysis is important part of the drainage basins analytical evaluations. The hydrographic analysis consists of geometry, morphometry and topology of the drainage area and river network. In the article are describe some methods of hydrographic analysis with GIS application. The use of concrete methods was made by the example of the drainage area analysis of the Luční potok stream.*

Key words: hydrographic analysis, GIS, drainage area analysis

---

VÝZNAM HYDROGRAFICKÉ ANALÝZY POVODÍ

Hydrografická analýza povodí zahrnuje soubor metod vymezujících geometrické, morfometrické a topologické vlastnosti povodí a říční sítě (Wilhelm 1993, Knighton 1998). Při hydrografické analýze jsou matematickými metodami hodnoceny topografické charakteristiky (1) povodí jako základní územní hydrologické jednotky a (2) hydrografické sítě jako souboru funkčně propojených odtokových linií.

Hydrografické ukazatele patří k základním fyzickogeografickým charakteristikám povodí. V hydrologické praxi mají hydrografické charakteristiky důležité postavení, protože se používají jako proměnné regresních vztahů pro nepřímé odvození charakteristik odtokového procesu (např. Kašpárek, Jedličková, Halenková 1980, Kopp 2003), jako fyzickogeografické parametry pro hydrologickou regionalizaci (např. Grešková 1998, Solín 1998, Solín aj. 2000) nebo jako vstupní parametry hydrologického modelování (např. Trizna a Kyzek 2002, Kolejka aj. 2003). Antropogenní přeměna povodí může být hodnocena prostřednictvím hydrografických změn (např. Langhammer a Vajskreb 2004). Hydrografická analýza má ovšem využití i mimo hydrologii, zejména ve fluviální geomorfologii, při výzkumu vodní eroze nebo jako součást morfostrukturní analýzy území (např. Crave a Davy 1997, Jedlička a Mentlík 2002, Voženílek a Demek 2000, Bíl 2003, Housarová a Mentlík 2004). Existuje celá řada hydrografických charakteristik vyjádřených různě definovanými způsoby (tab. 1).

Z hydrografických charakteristik mají nejtěsnější vazbu k odtoku parametry vyjadřující sklonitostní poměry povodí a vodního toku. Vztah mezi 100-letým specifickým odtokem (q_{100}) a fyzickogeografickými podmínkami povodí na území ČR podrobně analyzovali Kašpárek, Jedličková, Halenková (1980). Hodnotili 82 povodí v Čechách s plochou povodí do 500 km^2 ve vztahu k těmto charakteristikám: plocha povodí, nadmořská výška závěrového profilu, absolutní spád, délka toku, náhradní sklon povodí, koeficient tvaru povodí, lesnatost, průměrná roční srážka, průměrný specifický odtok. Výsledky ukázaly, že významný je vztah mezi q_{100} a náhradním sklonem povodí a dále specifickým odtokem. Náhradní sklon povodí (J) je definován: $J = H \cdot \sqrt{P} \cdot 100$ (%), kde H je absolutní spád mezi závěrovým profilem a výškou počátku údolnice a P je plocha povodí. Největší váhu sklonu povodí přisuzují také výsledky dalších výzkumů (Kříž 2000, Grešková 2001).Vzhledem k významnosti tohoto faktoru je ovšem vhodné zaměřit pozornost na výstižnější vyjádření morfometrie povodí pomocí přesnějších ukazatelů jako je střední sklon povodí nebo hypsografický integrál (Bíl 2003).

Tab. 1 Přehled hydrografických charakteristik

Tab. 1 View of hydrographic characteristics

Hydrografické vlastnosti	**Hydrografická charakteristika**	**Příklady vyjádření**
geometrické	rozměry povodí	plocha povodí délka toku délka povodí šířka povodí
	tvar povodí	koeficient tvaru povodí koeficient vývoje rozvodnice
	křivolakost toku	koeficient meandrovitosti koeficient křivolakosti
	typologie říční sítě	koeficient nesouměrnosti povodí hustota říční sítě
topologické	uspořádání říční sítě	magnitudo topologický typ říční sítě
morfometrické	podélný profil toku	spád toku střední podélný sklon
	hypsometrie povodí	střední volumetrická výška hypsometrický integrál
	sklonitost	náhradní sklon povodí střední sklon povodí
	orientace svahů	směr odtoku expozice svahů
dynamické	změny hydrografické sítě	změny délky toku změny křivolakosti změny podélného sklonu

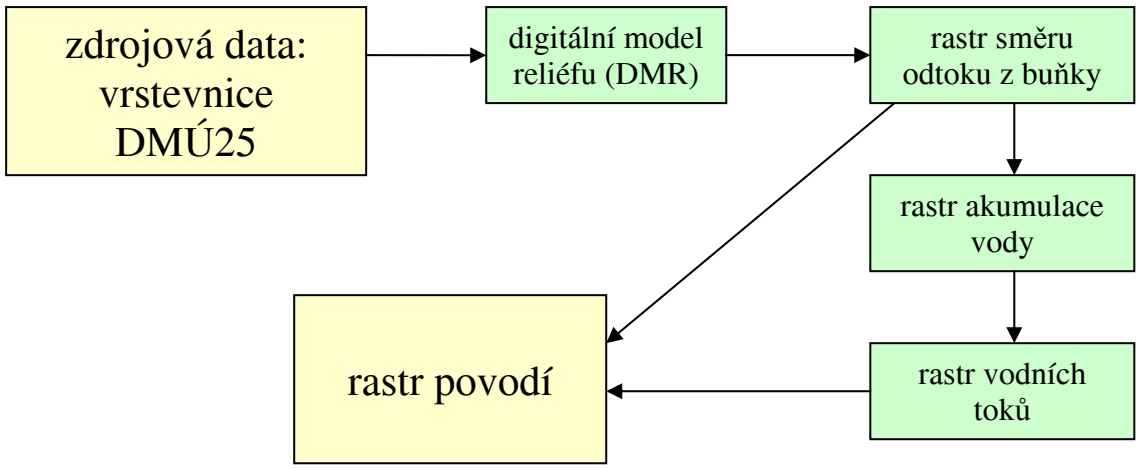
VYUŽITÍ GIS PŘI HYDROGRAFICKÉ ANALÝZE

Geografické informační systémy (GIS) nabízejí efektivní zjišťování většiny hydrografických charakteristik. Postupy, které jsou bez použití GIS časově náročné nebo nepřesné, lze provádět rychle a s přesností odpovídající podrobnosti vstupních dat (Novotná 1999). Zvýšená kvalita zjištěných hydrografických parametrů (např. Kappler 1999, Bíl 2003), pak pozitivně ovlivňuje kvalitu výsledných aplikací, například hydrologického modelování.

Jako vstupní data pro hydrografickou analýzu území je zapotřebí především vrstevnicový podklad umožňující vytvořit digitální model reliéfu (DMR), dále digitalizovaná hydrografická síť a orografická rozvodnice. Prakticky lze vycházet pouze z DMR, přičemž jeho analýzou lze vymezit teoretickou polohu hydrografické sítě a příslušné rozvodnice. Tento postup je vhodný zejména v případě, že hodnotíme povodí se silně antropogenně přeměněnou hydrografickou sítí a chceme rekonstruovat původní přírodní hydrografické podmínky.

Jako velmi efektivní se jeví využití GIS při morfometrické analýze povodí. Nástroje GIS většinou umožňují provádět tvorbu DMR a jeho základní rastrové hodnotící výstupy (hypsometrie, sklony a orientace svahů) přímo pomocí standardních funkcí programů. Analýzou generovaných rastrů lze získat informace například o sklonitosti v povodí pro potřeby hodnocení potenciální eroze, o podmínkách tvorby odtoku či tání sněhu nebo informace pro morfostrukturní analýzu povodí.
Rozšířené možnosti přináší použití modulu hydrologické analýzy (HA), který na základě DMR modeluje povrchový odtok za předpokladu, že je směr odtoku ovlivňován pouze reliéfem. Podrobný popis použití modulu HA uvádí práce Jedličky a Mentlíka (2002). Na obrázku 1 je uvedeno základní schéma algoritmu pro případ, kdy je cílem vymezit na základě DMR jednotlivá povodí. Hydrografické

informace ovšem poskytují i dílčí rastry generované modulem. Rastr směru odtoku lze využít k analýze převládajícího směru odtoku například v souvislosti s erozními procesy v povodí. Analýza rastru akumulace vody vypovídá o koncentraci odtoku v povodí a může sloužit jako podklad pro návrh opatření na podporu retence vody. Generovaný rastr vodních toků částečně umožňuje posoudit antropogenní změny v hydrografické síti. Uvedená využití modulu HA jsou příkladem aplikačních možností hydrografické analýzy v GIS s návazností na modelování hydrologických procesů.



Obr. 1 Schéma postupu vymezení povodí s využitím modulu hydrologické analýzy
Zdroj: upraveno podle Jedličky a Mentlíka (2002)

Fig. 1 Chart of drainige area delimitation with module of hydrologic analysis application

VYBRANÉ HYDROGRAFICKÉ ANALÝZY POVODÍ LUČNÍHO POTOKA

Vybrané hydrografické analýzy v GIS byly použity v rámci komplexního ekohydrologického hodnocení povodí Lučního potoka (Kopp 2004). Luční potok (č. h. p. 1-10-02-103) ústí do Radbuzy zleva na jejím 9,0 ř. km v místě vzdutí vodní nádrže České údolí. Vzhledem k antropogenně podmíněným změnám hydrografické sítě se setkáváme s různým vymezením vlastního povodí Lučního potoka. Zásadní komplikace ve vymezení povodí vyplývají z existence kanálu převádějícího vodu z Vejprnického potoka do Lučního potoka, tedy z povodí Mže do povodí Radbuzy.

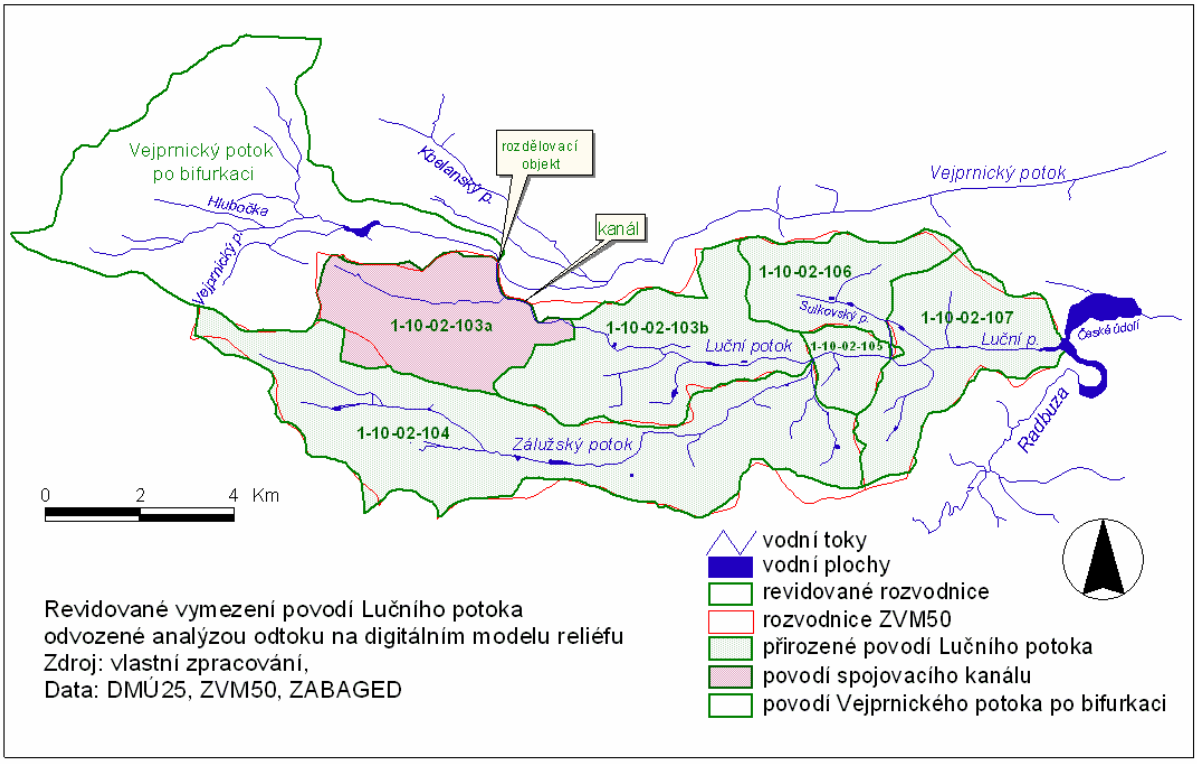
Revize vymezení povodí byla provedena pomocí analýzy DMR v prostředí ArcView GIS 3.1 s rozšířením Spatial Analyst a 3D Analyst. Vlastní vymezení proběhlo jako aplikační využití modulu hydrologické analýzy (HA). Tento modul byl implementován v programovacím jazyce Avenue K. Jedličkou z Fakulty aplikovaných věd ZČU pro potřeby geomorfologických výzkumů (Jedlička a Mentlík 2002). Aplikace modulu HA na povodí Luční potoka byla provedena nejen za účelem vymezení povodí, ale také pro potřeby odvození přirozené říční sítě a dalších charakteristik fluviálního systému.

Za zdroj výškopisných dat byl zvolen vrstevnicový obsah digitální mapy 1 : 25 000 (DMÚ25). Jeho výhodou oproti relativně podrobnějším podkladům z digitální topografické mapy 1:10 000 ZABAGED je především absence nespojitých vrstevnicových linií a vzájemná snadná slučitelnost jednotlivých listů mapy, pokrývajících dané území. Předpokládaná nevýhoda DMÚ25, tedy vzdálenost vrstevnic 5 m (oproti 2 m pro ZABAGED) je pouze relativní. Vrstevnice v mapě 1:10 000 jsou totiž odvozené, nikoliv konstruované na základě přesnějších výškopisných měření. Přesto byl i vrstevnicový obraz ze ZABAGEDU použit ke konečné korekci vymezení povodí.

Z vrstevnic ve vektorové reprezentaci byl vytvořen digitální model reliéfu v podobě TIN (Triangulated Irregular Network), avšak pouze s ohledem na vrstevnice. Linie vodních toků nebyly použity jako orografické linie, protože by to odporovalo cílům analýzy: vymezení přirozené sítě vodních toků a jejich povodí. TIN byl následně převeden na rastr o velikosti buňky 2 x 2 m. Tato podrobnost se ukázala v každém případě jako dostatečná, vzhledem k vstupním datům až příliš podrobná. Pro některé další analýzy reliéfu povodí byl proto používán také rastr 10 x 10 m.

Po převedení TIN do rastrové podoby byl modulem HA odvozen rastr směru odtoku z buňky a dále rastr akumulace vody (podrobněji Jedlička a Mentlík 2002). Rastr akumulace vody vyjadřuje pro každou buňku hodnotu, která odpovídá počtu jejích zdrojových buněk z hlediska povrchového odtoku. Rastr vodních toků byl vytvořen na základě výběru 1 % všech buněk s nejvyšší hodnotou z rastru akumulace vody (1 % horní kvantil). Stanovení 1 % jako prahové hodnoty bylo provedeno empiricky. Pro výsledný rastr vodních toků byl zkonstruován rastr povodí. Ten vznikl přiřazováním buněk z rastru směru odtoku k jednotlivým buňkám vodních toků. Výsledným produktem je tedy rastr povodí odpovídající svojí přesností zdrojovým datům a zvolené velikosti rastru.Výhodou uvedeného postupu je, že se jedná o vymezení, které není ovlivněno antropogenními změnami v povodí, pokud nejsou zahrnuty do vstupních vrstevnicových dat. V případě DMÚ25 vyjadřují vrstevnice pouze rozsahem významné antropogenní tvary v povodí.

Výsledný rastr povodí posloužil jako základ vymezení orografických rozvodnic, především v území, které je postiženo antropogenními změnami říční sítě. Konečné stanovení rozvodních linií bylo provedeno korekcí rozvodnic odvozených modulem HA podle vrstevnic mapy 1:10 000 (ZABAGED). Ve sporných případech došlo i k posouzení situace v terénu, například při vedení části rozvodnice umělého kanálu, protože jeho existenci samozřejmě model neindikoval. Výsledné vedení rozvodnic podává zpřesněný obraz o rozvodnicích povodí Lučního potoka, včetně jeho subpovodí. Celá analýza byla zároveň prováděna pro celé sousední povodí Vejprnického potoka. Porovnání polohy vymezených rozvodnic s rozvodnicemi digitální Základní vodohospodářské mapy (ZVM50) umožňuje obrázek 2. Zjištěné plochy povodí v konfrontaci s údaji Základní vodohospodářské mapy a Hydrologických poměrů (HMÚ 1965) uvádí tabulka 2.



Obr. 2 Revidované vymezení povodí Lučního potoka

Fig. 2 Revised delimitation of the Luční potok drainage area

Tab. 2 Revize rozlohy povodí s využitím GIS

Tab. 2 Audit of drainage area with GIS application

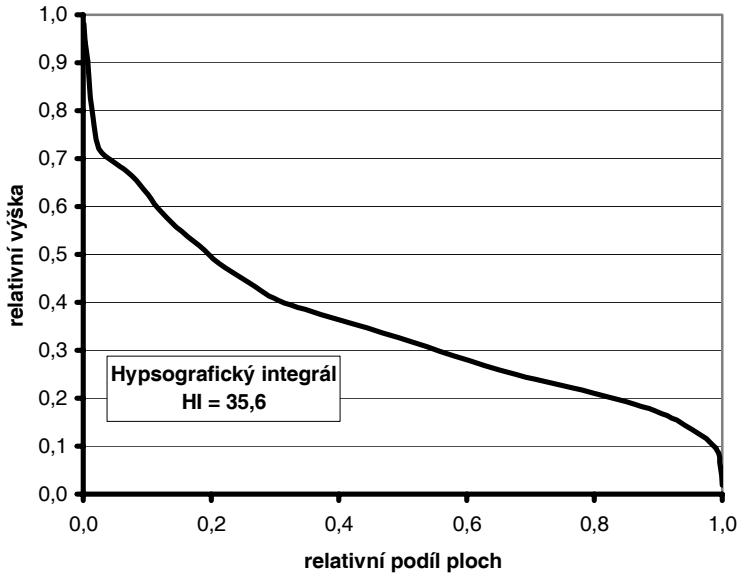
Povodí	Zjištěná rozloha (km^2)	Oficiální rozloha (km^2)
Luční potok - přírodní podmínky	58,779	61,819[x]
Luční potok - včetně povodí kanálu	68,990	69,835

Zdroj: výsledky vlastního vymezení, ZVM50, [x]HMÚ (1965)

Hypsometrie povodí

Povodí Lučního potoka charakterizuje velmi malá výšková členitost. Nejvyšším bodem povodí je vrchol Železného vrchu (443 m n. m.) na západní hranici povodí. Většina dalších vrcholů v povodí nedosahuje ani 400 m. Vzhledem k erozní bázi ve výšce 312 m má tedy povodí celkově velmi nízkou energii reliéfu.

S využitím digitálního modelu reliéfu byla zkonstruována hypsografická křivka pro povodí Lučního potoka podle přírodních poměrů. Na základě průběhu hypsografické křivky v relativních souřadnicích byl vypočítán hypsografický integrál. Jeho velikost by měla korespondovat s geomorfologickým stářím území. Vzhledem k zjištěné hodnotě hypsografického integrálu 35,6 (resp. 0,356) lze reliéf povodí klasifikovat na hranici stádia zralosti a stáří, která je charakterizována hodnotou 36,5 (Strahler in Bíl 2003). Toto zjištění odpovídá geomorfologickému vývoji modelového povodí (Kopp 2004).



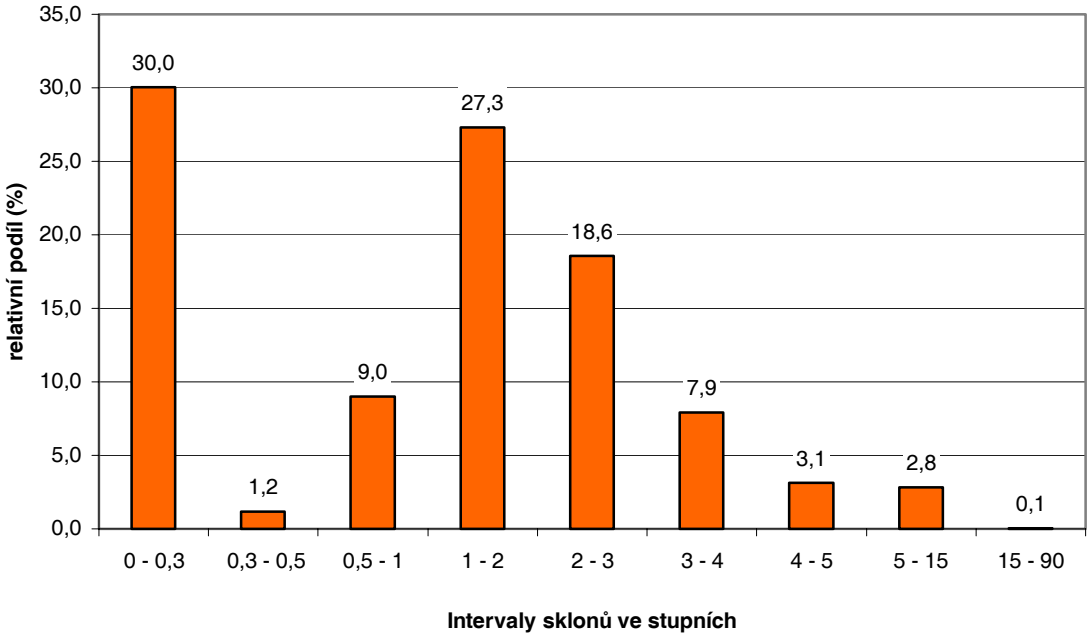
Obr. 3 Hypsometrický integrál povodí Lučního potoka

Fig. 3 Hypsomeric integral of the Luční potok drainage area

Analýza sklonitosti povodí

S využitím standardních funkcí programu ArcView GIS 3.1 byla odvozena mapa sklonů svahů v povodí Lučního potoka (Kopp 2004). Klasifikace sklonů vychází ze zásad geomorfologického mapování (Demek 1972, Voženílek 2001). Stupnice pro klasifikaci tříd sklonů byla upravena vzhledem k četnosti výskytu některých hodnot (podrobnější pro plochý reliéf, méně podrobné pro sklonitý reliéf). Statistické rozložení sklonů svahů v povodí Lučního potoka ukazuje obr. 3. Průměrný sklon reliéfu povodí (zjištěný váženým průměrem podle počtu buňek gridu) je 1,7°.

Téměř třetinové zastoupení na ploše povodí má plochý reliéf, charakterizovaný jako rovina (0-0,5°). V této kategorii najdeme nejen potoční nivy a nivu Radbuzy u ústí potoka, ale též některé úseky plochého rozvodí. Nejvýznamnější rozšíření má rovina v prostoru mělkého rozvodí mezi Vejprnickým a Lučním potokem v místě, kde jsou povodí spojena umělou „bifurkací".



Obr. 4 Relativní zastoupení sklonů reliéfu v povodí Lučního potoka
Zdroj: vlastní zpracování na základě DMR

Fig. 4 Relative representation of relief slopes of the Luční potok drainage area

Mírné sklony svahů v intervalu 0,5 - 2° mají v povodí podíl mírně převyšující třetinu celkové rozlohy. Jejich výskyt navazuje na rozšíření rovin jak na rozvodí nebo na okraji nivy tak v mělké sníženině ve střední části povodí Lučního potoka. Riziko fluviální eroze se zvyšuje v dalších kategoriích svahů. Téměř 30 % zastoupení mají svahy v kategorii 2 - 5°. Tato sklonitost svahů se vyskytuje nejčastěji ve střední části svahů mělkých údolí. Ohrožení fluviální erozí u orné půdy souvisí s charakteristikami půd, délkou nepřerušeného svahu a způsobem využití. Tzv. kritický sklon svahu na středně odolných půdách se pohybuje od 3 do 5° (podle různých autorů in Holý 1978). Potenciální kritické ohrožení na orné půdě v povodí Lučního potoka je charakteristické pro kategorii svahů o sklonu 5 - 15°. Tyto svahy jsou sice zastoupeny jen na necelých 3 % povodí, ovšem ne vždy jsou zalesněny nebo zatravněny. Svahy se sklonem vyšším než 15° se v povodí vyskytují jen ojediněle. Vznikají na antropogenních akumulačních tvarech, jako jsou montánní haldy. Digitální model reliéfu z DMÚ25 nezahrnuje antropogenní změny reliéfu provedené v souvislosti s výstavbou dálnice. Zde můžeme také najít svahy s velkou sklonitostí. Uvedené antropogenní tvary jsou nejvíce ohroženy erozními procesy, zvláště v případech tvarů nových, nepokrytých vegetací.

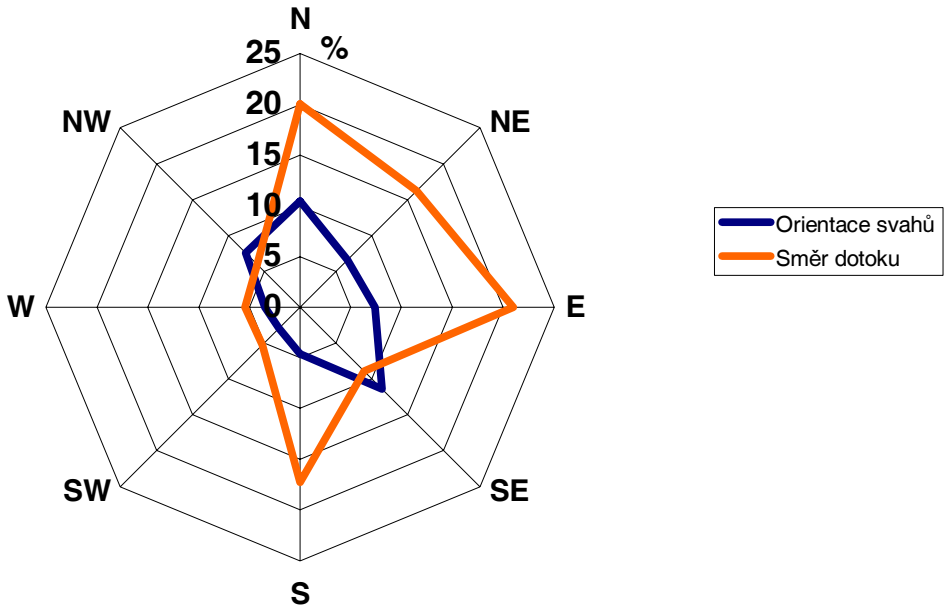
Analýza orientace svahů a směru odtoku

Další analýza reliéfu byla zaměřena na posouzení orientace svahů vůči světovým stranám. Orientace svahů spolu s jejich sklonem určuje potenciální přímý odtok vody, resp. směr a potenciální rychlost odtoku. Expozice svahu určená sklonem a orientací, ovlivňuje proces tání sněhové pokrývky, výskyt potenciální vegetace atd. Vzhledem k převažujícím mírným sklonům svahů v povodí Lučního potoka jsou výsledky analýzy orientace svahů nejpodstatnější pro určení směru odtoku. Výsledky získané standardní funkcí v programu ArcView GIS 3.1 jsem porovnával s hodnocením směru odtoku zjištěném s využitím modulu hydrologické analýzy (Jedlička a Mentlík 2002, Voženílek 2001). Odlišnost výsledků získaných oběma postupy vyplývá především z rozdílu v určení orientace svahu (resp. směru odtoku) v případech, kdy vykazují sousední gridové buňky stejné hodnoty. V modulu

hydrologické analýzy je směr odtoku určen podle hodnot v širším okolí buňky (Voženílek 2001). U roviny naopak orientace není určována.Vzhledem k výraznému zastoupení rovin v povodí, z toho vyplývají i značné rozdíly ve výsledcích obou analýz (obr. 5).

V povodí celkově převládá orientace svahů v sektoru severním až jihovýchodním (azimut 337,5 - 0 - 157,5°). Největší četnost má směr jihovýchodní (112,6 -157,5°). Ve směru odtoku se nejvýrazněji uplatňuje směr na východ (azimut 67,6 – 112,5°), následován směry severním a jižním. Uvedené zjištění koresponduje s celkovým uspořádáním říční sítě. Hlavní směr toků je orientován na východ, včetně odtoku v plochém reliéfu. Svahy mělkých údolí pak určují subsekventní směr odtoku na sever a na jih. Západní orientace svahů se v povodí uplatňuje jen minimálně.

Provedená základní morfometrická analýza určuje potenciální vliv reliéfu na vznik přímého odtoku, případně s tím spojené procesy fluviální eroze. Výsledky ve formě gridu lze použít jako jeden ze vstupních podkladů pro případné podrobnější analýzy v detailním měřítku. Práce s gridem o velikosti buňky 10 – 2 m, je pro celé povodí (70 km^2) operačně náročná a nemusí být ani potřebná v celém rozsahu. Pro detailní analýzy je ovšem třeba dalších informací v digitální podobě: charakteristiky půd, využití země, způsob hospodaření apod. Touto cestou lze například s převodem na čísla odtokových (CN) křivek vymezit plochy v povodí s nízkou retencí (Pechanec 2003) nebo modelovat erozní procesy (Janeček aj. 2002).



Obr. 5 Relativní zastoupení orientace svahů a směrů odtoku v povodí Lučního potoka
Zdroj: vlastní zpracování na základě DMR

Fig. 5 Relative representation of slopes orientation and drain determinations of the Luční potok drainage area

Rekonstrukce přírodní hydrografické sítě

Protože nelze původní stav hydrografické sítě doložit zobrazením na mapách, byla na základě digitálního modelu reliéfu provedena rekonstrukce původního přírodního stavu říční sítě před středověkými úpravami. Využití modulu hydrologické analýzy (HA) umožňuje odvodit předpokládané polohy koryta z rastru vodních toků. Protože byl rastr vodních toků odvozen z rastru akumulace odtoku, vyjadřuje pravděpodobné polohy koryt v přírodní krajině za předpokladu, že je odtok ovlivňován pouze reliéfem. Postup tedy zanedbává heterogenity v lesním pokryvu přírodní krajiny povodí. Modelujeme vlastně povrchový odtok a přepokládáme, že podzemní odtok dotuje rastrové buňky vodou stejným způsobem jako povrchový odtok. Další okruh nepřesností při použití uvedeného postupu souvisí s podrobností vstupních dat pro DMR. Použitá výškopisná data z DMÚ25 jsou použitelná pro odvození odtoku ve výchozím měřítku 1 : 25000. Podrobnější určení polohy koryt není

možné očekávat. Výškopisná data by měla zobrazovat reliéf bez antropogenních tvarů. Při použití modulu HA se ukázalo, že je výsledek značně závislý na volbě velikosti rastru. Pro výslednou analýzu byla proto zvolena velikost rastrové buňky co nejpodrobnější (2 x 2 m).

Rastr akumulace odtoku se ukázal jako dobré vodítko pro rekonstrukci říční sítě v místech předpokládaného antropogenních změn. Detailní umístění koryta nedokáže modul HA na základě vstupních dat určit. Problematické je především vymezení polohy koryta v plochém území. Například v nivách ukazuje rastr akumulace odtoku více paralelních koryt vedle sebe, což je způsobeno konstrukcí modulu HA. Z uvedených důvodů byla říční síť upravena na základě znalosti říční sítě z pozdějšího období (např. podle map stabilního katastru). V problematických částech povodí byla provedena také kontrolní analýza modulem HA na podkladě dat ZABAGED (1:10000), ovšem výsledky nepřinesly podstatně nové informace. V nivách bylo koryto vedeno podle současné polohy. Vzhledem k přirozené dynamice změn polohy koryta v nivě nemá přesnější rekonstrukce smysl.

ZÁVĚR

Použití GIS umožňuje provádět efektivní hydrografickou analýzu povodí. Výsledné hydrografické parametry lze považovat za kvalitní fyzickogeografické ukazatele, které je možné použít v dalším hydrologickém výzkumu ve vazbě na modelování odtokového procesu. Tím se otevřely další směry detailního výzkumu směřující k zobecnění poznatků o vztahu hydrografických a odtokových poměrů povodí na našem území. Ověřené vztahy potom mohou sloužit v hydrologické praxi. Dnešní možnosti použití GIS přitom posouvají kvalitu praktických aplikací na vyšší úroveň.

Literatura

Bíl, M. 2003. Hypsometrická analýza v prostředí GIS. In Sborník 20. výroční fyzickogeografické konference. Brno : PřF MU Brno, s. 87-90.

Crave, A., Davy, P. 1997. Scaling relationships of channel networks at large scales: Examples from two large-magnitude watersheds in Brittany, France. Tectonphysics 269, s. 91-111.

Demek, J. (ed.) aj. 1972. Manual of detailed geomorfological mapping. Praha : Academia, 343 s.

Grešková, A. 1998. Regionalizácia charakteristík malej vodnosti v hydrológii a hydrogeografii. Geografický časopis, 50, 2/1998, s. 157-174.

Grešková, A. 2001. Úloha fyzickogeografických faktorov při vzniku povodní v malých povodiach. In: Geografie XII, Sborník prací pedagogické fakulty Masarykovy univerzity. Sv. 161, řada přírodních věd, č. 21. Brno : MU Brno, s. 297 - 301.

HMÚ 1965. Hydrologické poměry ČSSR. 1. vyd. díl 1. Praha : HMÚ. 414 s.

Housarová, M., Mentlík, P. 2004. Srovnání vybraných morfometrických charakteristik některých glaciálně podmíněných forem reliéfu oblasti Šumavy a Bavorského lesa. Miscellanea Geographica 10. Plzeň : ZČU v Plzni. s. 129-144.

Janeček, M. aj. 2002. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha : ISV nakladatelství, 199 s. ISBN 80-85866-86-2.

Jedlička, K., Mentlík, P. 2002. Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických charakteristik povodí s využitím GIS. In Geoinformatika : sborník z XX. sjezdu ČGS, Ústí nad Labem : UJEP, 2002, s.46-58.

Kappler, O. 1999. Gestaltsmasse für die Bewertung von Landschaftsräumen. In Mannheimer Geographische Arbeiten 49, s. 17-35.

Knighton, D. 1998. Fluvial Forms and Processses. A New Perspective. London : Arnold, 383 s. ISBN 0-34-66313-8.

Kolejka, J. aj. 2003 Digitální model krajiny – pojem konstrukce a použití. In Sborník 20. výroční fyzickogeografické konference. Brno : PřF MU Brno, s. 91-99.

Kopp, J. 2003. Povodňové riziko v povodí malých vodních toků na území Plzeňského kraje. In: Herber, V. (ed.) Fyzickogeografický sborník, 1, Brno : PřF MU Brno, s. 135-141.

Kopp, J. 2004. Ekohydrologické hodnocení povodí v příměstské krajině - případová studie povodí Lučního potoka : disertační práce. Praha: Univerzita Karlova v Praze. 266 s.

Kříž, H. 2000. Vliv geografických podmínek na extrémní hydrologické jevy v povodích. In Hydrologické dny : 5. národní konference pod záštitou UNESCO. I. Díl, Praha : ČHMÚ, s. 95-101.

Langhammer, J. a Vajskebr, V. 2004. Historické změny říční sítě v povodí Otavy. In Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní [CD ROM]. Praha : PřF UK Praha, s. 150-169.

Novotná, M. 1999. Geografické informační systémy v regionální geografii. In Teoreticko-metodologické problémy geografie, príbuzných disciplín a ich aplikácie. Bratislava : Univerzita Komenského. s. 229-233.

Pechanec, V. 2003. Identifikace a prostorová lokalizace ploch s nízkou retencí. Geoinfo speciál 2003, s. 70-72.

Solín, L. 1998. Hydrologické regionálne členenia územia: súčasný stav a problémy. Geografický časopis, 50, 2/1998, s. 139-156.

Solín, L. aj. 2000. Small basins of Slovakia and their physical characteristics. Publikácia Slovenského výboru pre hydrológiu 6. 1. vyd. Bratislava : Geografický ústav SAV. 36 s. ISBN 80-68365-2-8.

Trizna, M., Kyzek, F. 2002. Modelovanie špecifických zrážkovo-odtokových situácií vo vybranom povodí. In Proměny krajiny a udržitelný rozvoj : sborník z XX. sjezdu ČGS, Ústí nad Labem : UJEP, s. 56-72.

Voženílek, V. aj. 2001. Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 185 s.

Voženílek, V., Demek, J. 2000. Modelling of soil erosion hazards as a response of land use changes. Geografie - sborník ČGS, 105, č. 2, s. 166-176.

Wilhelm, F. 1993. Hydrogeographie. Braunschweig : Westermann, 227 s. ISBN 3-14-160279-4.

Autor

Jan Kopp, katedra geografie, Západočeská univerzita v Plzni, Veleslavínova 42, 30619 Plzeň, kopp@kge.zcu.cz

KRÁTKODOBÁ PREDIKCE ODTOKU NA VYBRANÝCH MALÝCH HORSKÝCH POVODÍCH

Petr Máca

Pro potřeby krátkodobé predikce odtoku byl aplikován lineární black-box model na 4 vybraných malých povodích. Byly testovány 2 varianty black-box modelu. První předpovídá odtokový proces pouze na základě předchozích hodnot srážek, druhá varianta modelu předpovídá odtok na základě předchozích hodnot srážek a odtoků. Na nejmenších povodích s rozlohou 10 ha a 17 ha byly studovány možnosti 1-hodinové predikce. Na ostatních analyzovaných povodích byly analyzovány možnosti 1-denní predikce. Plochy zbývajících povodí byly 11,371 km^2 a 12,46 km^2. Vybrané varianty lineárního modelu byly kalibrovány a validovány na dostupných datových souborech. Kriterium shody byl koeficient determinace. Výsledky ukazují na velmi dobrou predikční schopnost použitého modelu pro 1-hodinové predikce odtoku na analyzovaných velmi malých povodích. Na povodích s 1-denní predikcí odtoku bylo dosaženo přijatelných hodnot koeficientu determinace.

Klíčové slova: lineární model, black-box model, déšť, odtok, predikce

Linear black-box model has been applied for the purposes of short term runoff prediction in the 4 small watersheds. Two different variants of black-box model have been tested. First predicts runoff on the basis of previous rainfall rates, second predicts runoff process on the basis of previous rainfall and runoff rates. 1-hour ahead prediction has been studied in the smallest watersheds with areas 10 ha and 17 ha. Possibilities of 1-dailly ahead prediction have been analyzed on the rest studied watersheds. Their areas were 11,371 km^2 a 12,46 km^2. Chosen variants of linear model has been calibrated and validated on the available data files. The Nash-Sutcliffe coefficient has been chosen as evaluation criterion. Results show very good prediction capability of the model for 1-hour ahead prediction in the very small basins. There have been reached acceptable values of Nash-Sutcliffe coefficients in the basins with 1-dailly ahead prediction.

Key words: linear model, black-box model, rainfall, runoff, prediction

---

ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Horská povodí v podmínkách České republiky jsou oblasti, které se vyznačují velkou heterogenitou. Jsou to území nejméně ovlivněná lidskou činností. Procesy vytvářející odtok z těchto povodí náleží jsou uvedeny v (Beven, 2002). Často je dominantním procesem Dunneův odtok, který je doplněn odtokem prostřednictvím preferenčních cest.

V poslední době jsou pro potřebu studia srážko - odtokového procesu využívány metody matematického modelování jednotlivých komponent hydrologického cyklu. Aplikací matematických modelů je popsáno hydrologické chování povodí, které je využito k analýzám srážko - odtokového procesu (Beven, 2002).

Dle složitosti popisu srážko – odtokového procesu jsou deterministické hydrologické modely děleny na black box, grey box a white box modely. Největší požadavky na rozsah vstupních dat a detailní popis srážko – odtokového procesu jsou kladeny modely white box, na druhé straně black box modely jsou založeny na analýze vzájemného vztahu mezi vstupními (srážky) a výstupními (odtoky) veličinami (Zeman, 1990).

Cílem předloženého příspěvku jsou krátkodobé predikce odtoku z velmi malých horských povodí. K tomuto účelu je použit jednoduchý lineární black-box model. Na dvou velmi malých horských povodích Modrava 1 a Modrava 2 byly testovány dvě varianty lineárního black-box modelu. První je založena predikci odtoku pouze na základě předchozích srážek. Druhá využívá předchozích odtoků. Na zbylých dvou povodích je odtokový proces předpovídán pouze na základě předchozích srážek a odtoků.

METODIKA

Popis lineárního black-box modelu

Podstatou použitého hydrologického black-box modelu je lineární model, který je vyjádřen rovnicí (1). Průměrný průtok $D(t)$ zaznamenaný za časový interval t je vyjádřen jako lineární kombinace srážkových úhrnů $P(t-1),\ldots,P(t-r)$ změřených před časovým úsekem t v *(t-r)* intervalech, odtoků $D(t-1),\ldots,D(t-r)$ zaznamenaných v *(t-k)* intervalech před předpovídaným úsekem a příslušných parametrů $\beta_1,\ldots,\beta_{k+r}$.

$$D(t)=\beta_1 D(t-1)+\cdots+\beta_k D(t-k)+\beta_{k+1}P(t-1)+\cdots+\beta_{k+r}P(t-r) \qquad (1)$$

Parametry $\beta_1,\ldots,\beta_{k+r}$ vyjadřují transformační funkci povodí. Jejich hodnoty jsou odhadnuty metodou nejmenších čtverců. Parametry k a r označují počet příslušných veličin použitých pro predikci odtoku. Pro jejich odhad jsou využity kalibrační soubory srážko-odtokových dat. Následně jsou odvozené modely verifikovány na validačním souboru dat. Tento soubor není součástí dat použitých při kalibraci. Hlavním evaluačním kritériem shody mezi měřenými a simulovanými daty je koeficient determinace.

Pro 1-hodinovou predikci odtoku pouze na základě předchozích srážkových dat byla použita varianta, u které je hodnota parametru $k=0$.

Uvedený postup byl použit v (Yu a kol, 1994).

Popis povodí

V této studii byly využity datové soubory ze čtyř horských povodích situovaných na Šumavě a v Krušných horách . Vybrané charakteristiky povodí jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tab. 1 Charakteristiky povodí

Tab. 1 Watershed's characteristics

	Plocha (km^2)	**Nadmořská výška** (m n m)	**Lesnatost (kultura)**
Modrava 1	0.010	1210 – 1275	mrtvý les
Modrava 2	0.017	1180 – 1330	paseka
Křímov	10.7	500 – 804	40 %
Kamenička	12.46	575 – 800	90 %

První dvě nejmenší jsou experimentální povodí, které jsou spravovány Katedrou vodního hospodářství Fakulty lesnické a environmentální ČZU Praha. Jedná se o povodí Modrava 1 a Modrava 2. Tato povodí jsou situována v horních partiích NP Šumava (Kuna a kol, 1998). Studován byl soubor vybraných srážko-odtokových událostí. Data jsou zaznamenána v hodinovém časovém kroku.

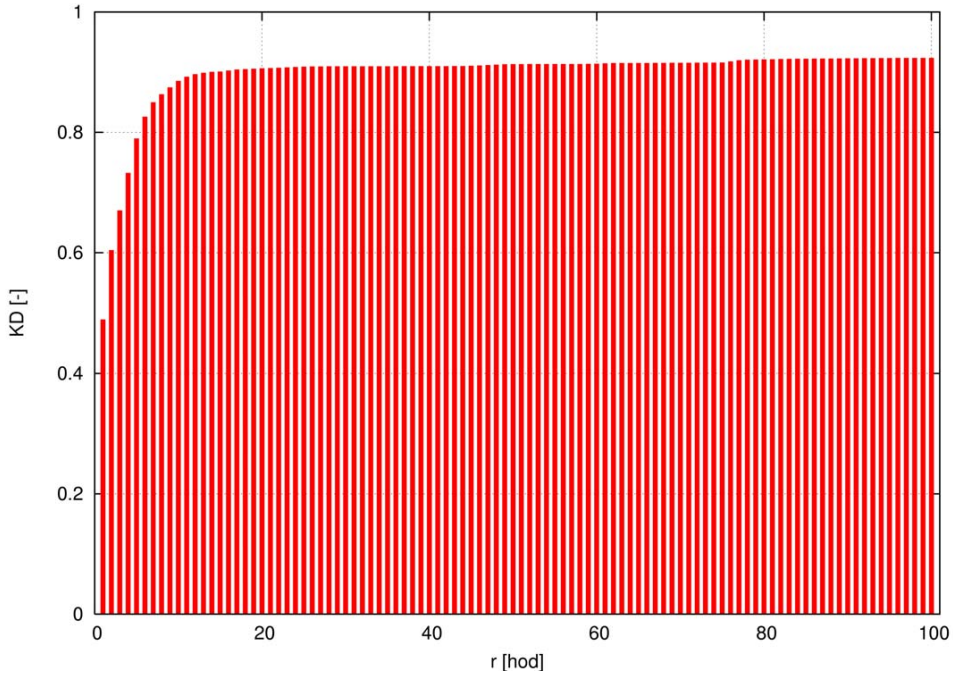
Vybrané srážko-odtokové události byly rozděleny do dvou typů souborů: soubor sestupných částí hydrogramů a soubor celých hydrogramů vybraných povodňových událostí.

Povodí Kamenička a Křímov jsou ve správě společnosti Povodí Ohře a.s. Jsou součástí vodohospodářské soustavy umístěné na řece Chomutovka v Krušných horách. V uzávěrových profilech obou povodí se nacházejí stejnojmenná vodní díla. Bylo studováno 12 let měření srážek a odtoků.

VÝSLEDKY

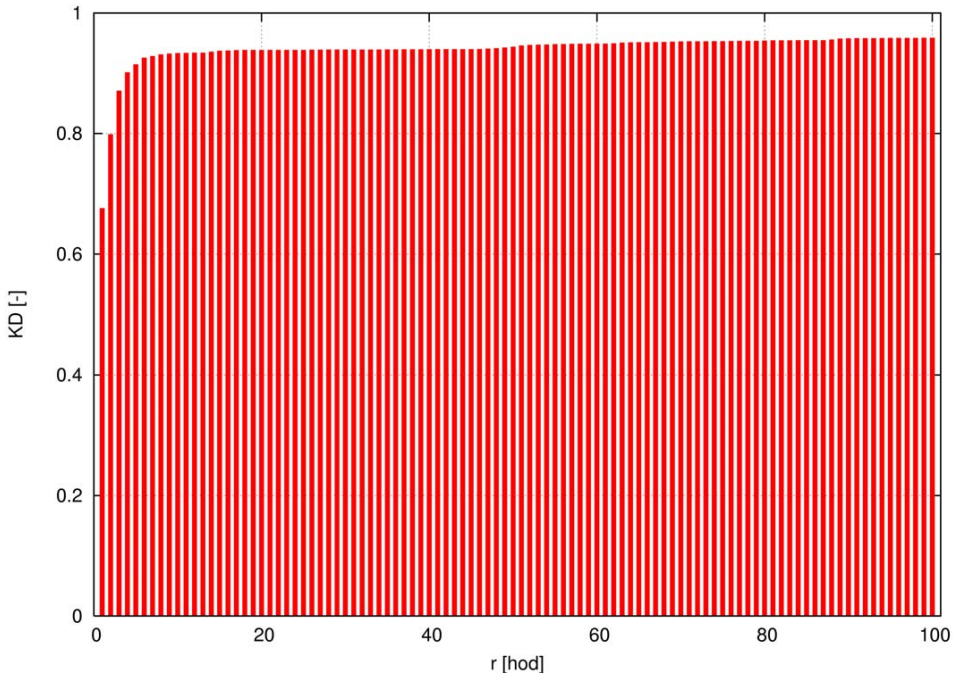
Kalibrační soubor sestupných větví hydrogramů

Kalibrační soubor sestupných větví povodí Modrava 1 byl tvořen 12 událostmi, 1 událost byla validována. U povodí Modrava 2 bylo při kalibraci využito 13 povodňových epizod a 1 validována. Nejprve byla testována třída modelů s parametry $(k=0)$ a $r=1,\ldots,100$. Hodnoty koeficietnů determinace KD ukazují obrázky 1 a 2.



Obr. 1 Koeficienty determinace souboru sestupných vln hydrogramů – povodí Modrava 1

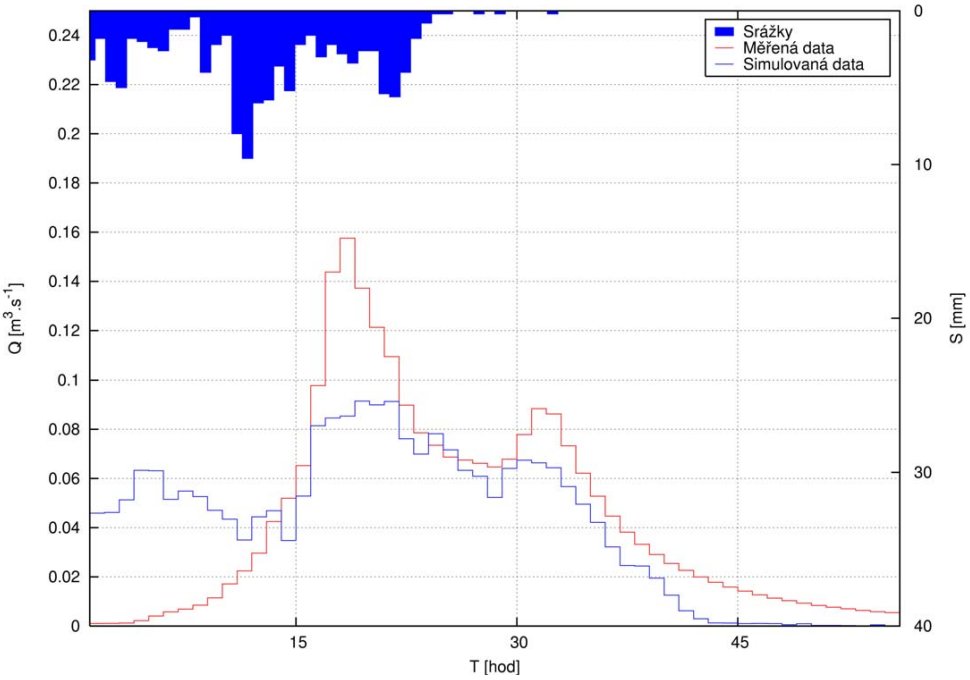
Fig. 1 Nash-Sutcliffe coefficients of the set of falling limbs of hydrographs – Modrava 1 watershed



Obr. 2 Koeficienty determinace souboru sestupných vln hydrogramů – povodí Modrava 2

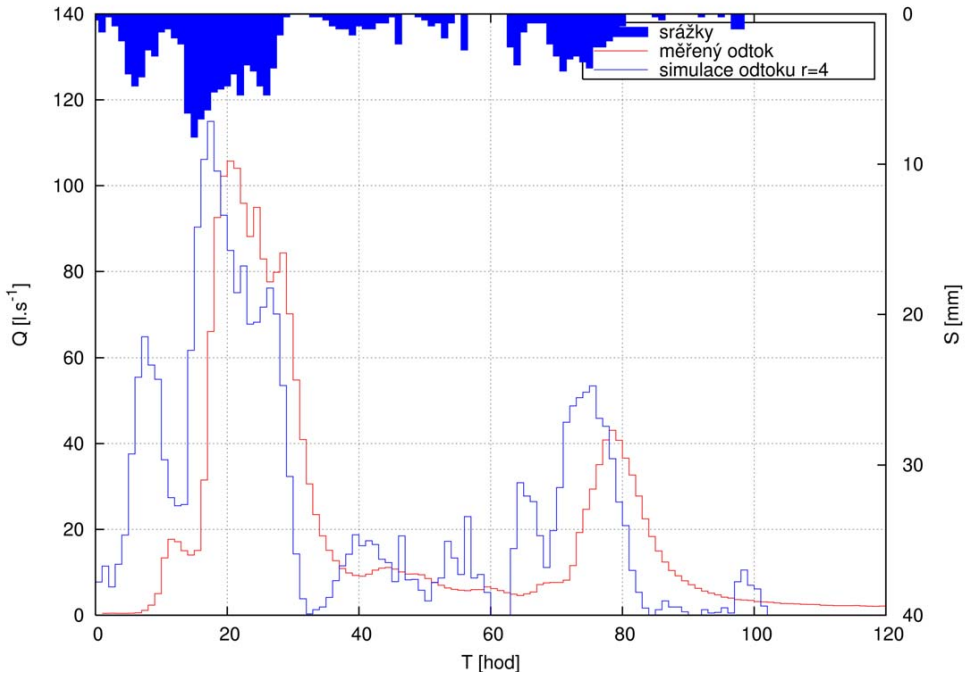
Fig. 2 Nash-Sutcliffe coefficients of the set of falling limbs of hydrographs – Modrava 2 watershed

Výsledky validací vybraných povodňových událostí ukazují obrázky 3 a 4. Pro predikci na povodí Modrava 1 byl použit model založený na 10 předchozích hodinových srážkových úhrnech, pro povodí Modrava 2 bylo použito 4 předchozích hodinových srážkových úhrnů.



Obr. 3 Validace povodňové vlny z 28.10. 1998 – povodí Modrava 1

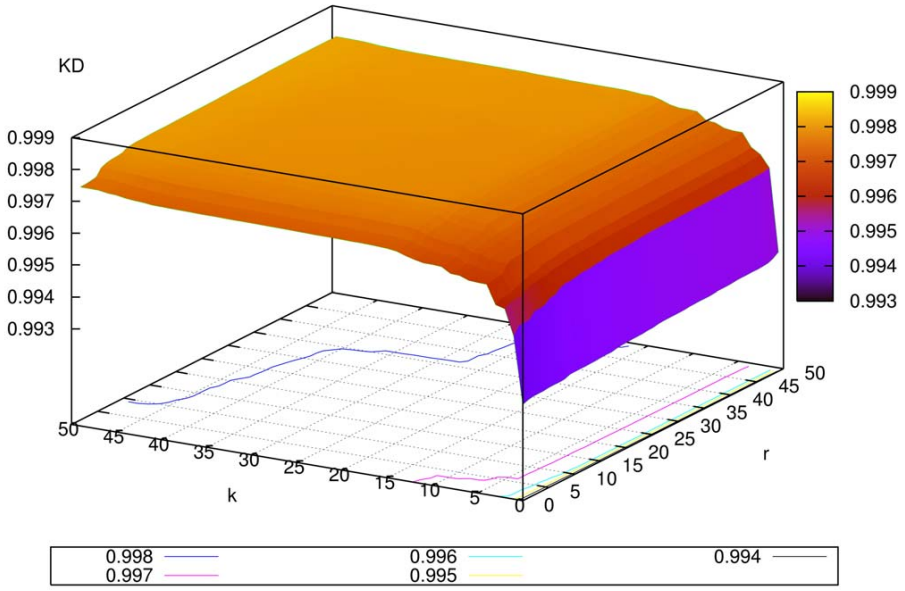
Fig. 3 Validation of flood hydrograph from 28th October 1998 – Modrava 1 watershed



Obr. 4 Validace povodňové vlny z 14.9. 1998 – povodí Modrava 2

Fig. 4 Validation of flood hydrograph from 14th September 1998 – Modrava 2 watershed

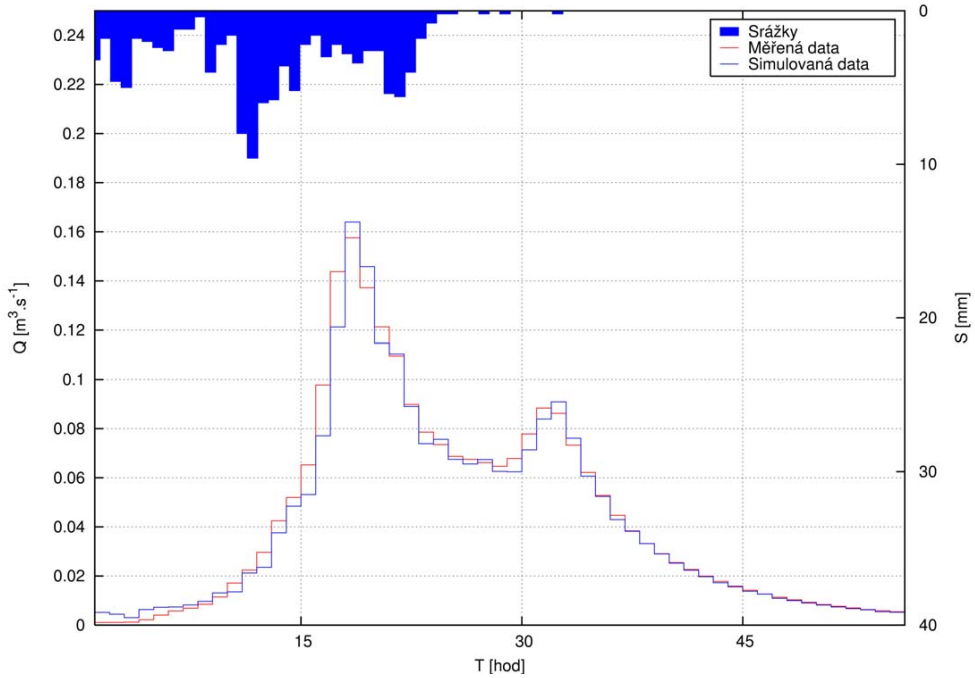
Vzhledem k dosažené malé shodě měřených a vypočtených odtoků byly aplikovány modely, které vycházejí vedle předchozích srážek také z předchozích odtoků. Výpočet byl proveden pouze na povodí Modrava 1. Vypočtené hodnoty koeficientů determinace kalibračního souboru dat jsou uvedeny na obrázku 5. Byla testována třída modelů s parametry $k = 1,\ldots,50$ a $r = 1,\ldots,50$.



Obr. 5 Koeficienty determinace kalibrace povodňové vlny 28.10. 1998 – povodí Modrava 1

Fig. 5 Nash-Sutcliffe coefficients calibration of flood hydrograph from 28th September 1998 – Modrava 1

Pro validaci byl použit model s hodnotami parametrů $k = 5$ a $r = 5$. Výsledný hydrogram odtoku validované události ukazuje obrázek 6.



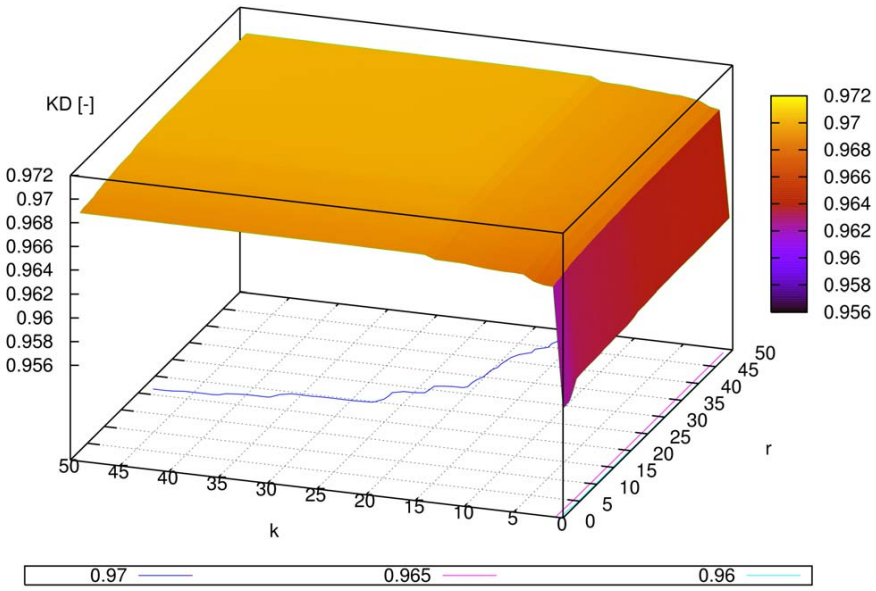
Obr. 6 Validace povodňové vlny 28.10. 1998 – povodí Modrava 1

Fig. 6 Validation flood hydrograph from 28th October 1998 – Modrava 1

Kalibrační soubor sestupných větví hydrogramů byl testován pouze na povodí Modrava 1.

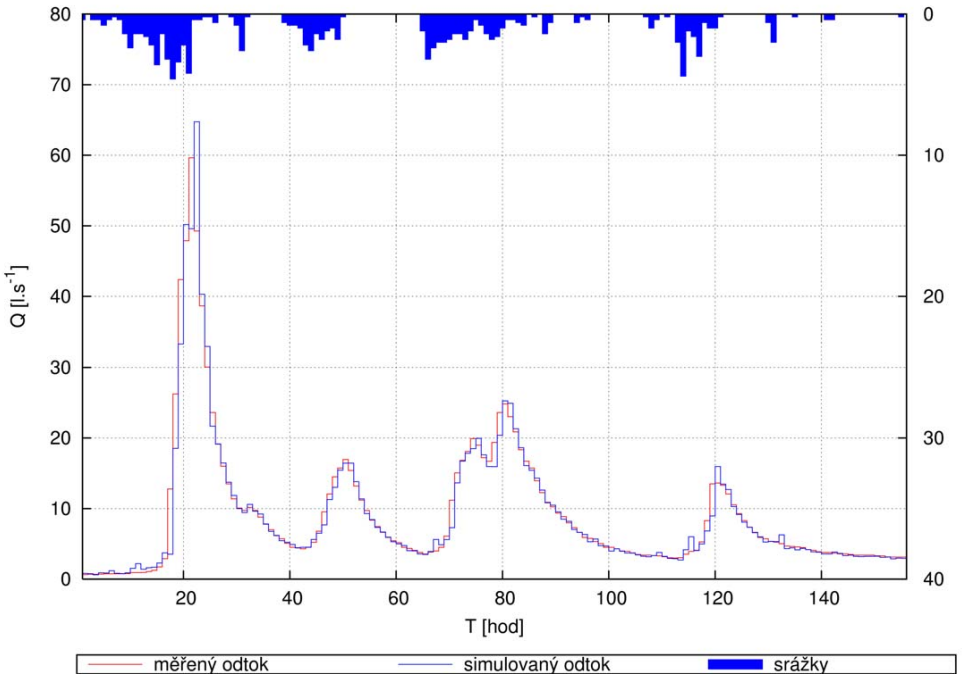
Kalibrační soubor celých hydrogramů

Kalibrační soubor celých hydrogramů byl testován na datových souborech povodí Modrava 2. Kalibrační soubor byl tvořen souborem 13 vln a 1 povodňová událost byla validována. Byly testovány třídy modelů s parametry $k = 1,\ldots,50$ a $r = 1,\ldots,50$. Koeficienty determinace kalibračního souboru dat ukazuje obrázek 7, validační soubor je znázorněn na obrázku 8. Validován byl model s parametry $k = 5$ a $r = 5$.



Obr 7 Koeficienty determinace kalibrace povodňové vlny 7.9. 2001 – povodí Modrava 2

Fig. 7 Nash-Sutcliffe coefficients calibration of flood hydrograph from 7th September 2001 – Modrava 2

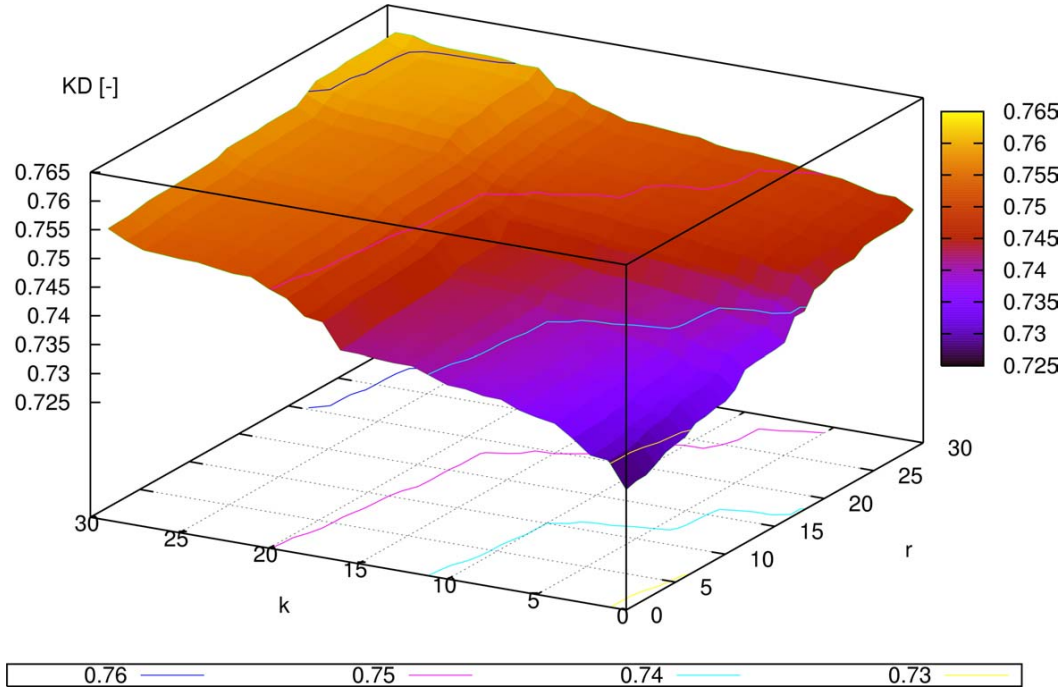


Obr. 8 Validace povodňové vlny 7.9. 2001 – povodí Modrava 2

Fig. 8 Validation flood hydrograph from 7th September 2001 – Modrava 2

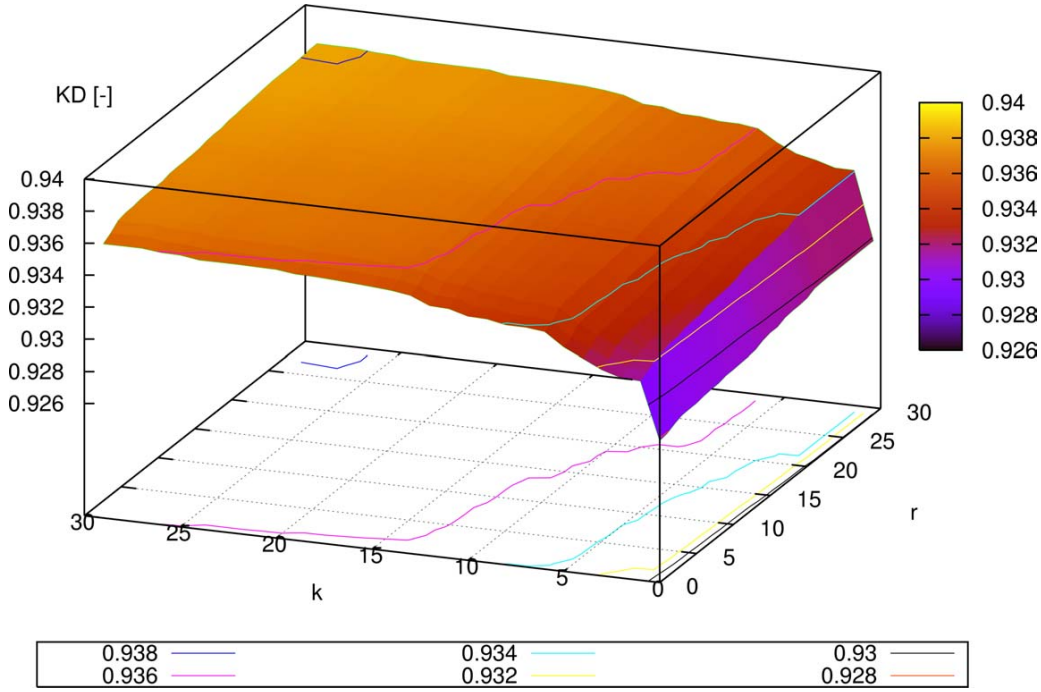
1-denní predikce

Pro 1-denní predikci odtokového procesu byly použity datové soubory 6-ti let měření. Datové soubory jsou tvořeny denními srážkovými úhrny a průměrným denním průtokem. Kalibrační soubor tvoří záznamy 5-ti let, validační soubor je tvořen záznamy 1 roku. Při kalibraci byla testována třída modelů s parametry $k = 1,\ldots,30$ a $r = 1,\ldots,30$. Výsledné hodnoty koeficientů determinace kalibračních souborů pro povodí Kamenička jsou na obrázku 9, pro povodí Křímov jsou na obrázku 10.



Obr. 9 Koeficienty determinace kalibrace povodí Kamenička (kalibrační soubor data 1996-2000)

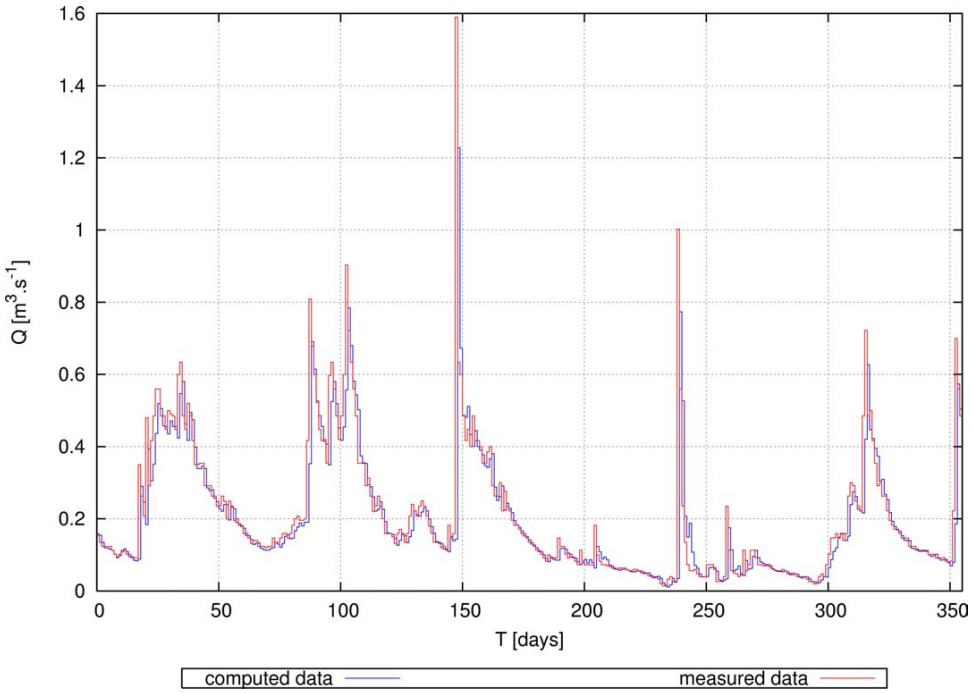
Fig. 9 Nash-Sutcliffe coefficients of calibration sets of models for Kamenička basin (calibration dataset 1996-2000)



Obr. 10 Koeficienty determinace kalibrace povodí Křímov (kalibrační soubor data 1996-2000)

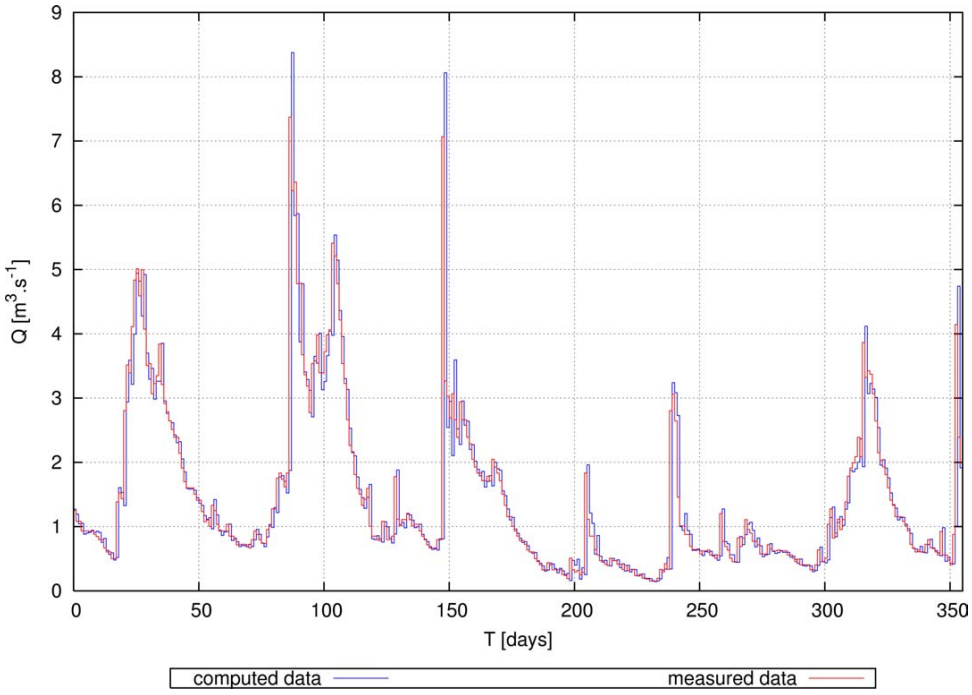
Fig 10 Nash-Sutcliffe coefficients of calibration sets of models for Křímov basin (calibration dataset 1996-2000)

Pro validaci na povodí Kamenička byl použit rok 1995 a model s parametry $k = 5$ a $r = 5$, pro povodí Křímov byl pro validaci použit rok 1995 a model s parametry $k = 5$ a $r = 5$. Výsledné simulace jsou na obrázku 11 pro povodí Kamenička a na obrázku 12 na povodí Křímov.



Obr. 11 Validace odtoku rok 1995 – povodí Kamenička

Fig. 11 Validation of runoff process year1995 – Kamenička basin



Obr. 12 Validace odtoku rok 1995 – povodí Křímov

Fig. 12 Validation of runoff process year1995 – Křímov basin

Varianty předpovědi průtoku pouze na základě předchozích srážek na těchto povodích jsou uvedeny v (Máca, 2003).

DISKUSE

1-hodinová predikce odtoku

V rámci 1-hodinové predikce odtokové procesu při vybraných povodňových událostech byly vyhodnoceny dva typy kalibračních souborů. Z vyhodnocovaných variant kalibračních souborů bylo při kalibraci nejvyšších hodnot KD dosaženo u souboru sestupných větví hydrogramů.

U varianty predikce odtoku na základě předchozích srážek byl nejvyšší nárůst koeficientů determinace dosažen u kalibračního souboru sestupných větví hydrogramů na intervalu $r \in \langle 1,10 \rangle$ pro povodí Modrava 1, $r \in \langle 1,6 \rangle$ u povodí Modrava 2. Výsledky validací (obrázky 3 a 4) ukazují na nízkou schopnost predikce odtokového procesu touto variantou black-box modelu.

Při vzájemném porovnání hodnot koeficientů determinace kalibračních souborů, pro modely předpovídající odtok na základě předchozích srážek a odtoků, vyšších hodnot bylo dosaženo na souboru sestupných větví hydrogramů. Tyto testované třídy modelů poskytly nejlepší validační výsledky (obrázky 8 a 6).

1-denní predikce odtoku

Pro 1-denní predikci odtoků byly testovány třídy modelů předpovídající odtoky na základě předchozích odtoků a srážek.

Nejvyšších hodnot koeficientů determinace bylo dosažena na kalibračním souboru pro povodí Křímov. Výsledky validačních simulací ukazují na přijatelnou shodu měřených a simulovaných hodnot odtoků (obrázky 11 a 12).

Hodnoty koeficientů determinace byly vysoké pro všechny testované modely, proto nejpřijatelnějšími modely s danými parametry *r* a *k*, které jsou přijatelné z hlediska náročnosti na vstupní data.

V uvedené studii byl hlavním kriteriem shody koeficient determinace, pro detailnější výběr vhodné varianty black-box modelu by posloužilo použití dalších srovnávacích kritérií.

ZÁVĚR

Předložený příspěvek se zabývá možnostmi krátkodobé predikce odtokového procesu na malých horských povodích. Na dvou experimentálních povodích ze Šumavy byla studována 1-hodinová predikce odtoku při srážko-odtokových událostech. 1-denní predikce odtoku byla analyzována na dvou povodích Krušných hor.

Pro potřeby 1-hodinové predikce byly testovány dvě varianty lineárního black-box modelu. Nejlepší simulační výsledky byly získány pro kalibrační soubor vybraných povodňových událostí a variantu modelu, která pro předpověď odtoku využívá předchozích srážek a předchozí odtoky.

Pro potřeby predikce 1-denních průměrných průtoků na povodí Křímov a Kamenička byly použity black-box modely, které vycházejí z obecného lineárního modelu. Průtoky jsou predikovány na základě předchozích odtoků z povodí a na základě předešlých srážkových průtoků. Byly vyhodnoceny datové soubory o celkové délce 12 let. 10 le t záznamů bylo použito pro identifikace hydrologických modelů 2 roky měření byly použity pro potřeby validace a verifikace hydrologických modelů. Výsledné simulace ukazují na dobrou shodu mezi měřenými a modelovanými hodnotami průměrných 1-denních průtoků.

Možnosti dalšího využití a aplikace uvedeného postupu jsou výrazně vyšší u povodí z Krušných hor.

Literatura

Beven K. J.(2001): Rainfall – runoff modelling. John Wiley and Sons, s 360.

Kuna P., Kuřík P.(1998): Hydrometeorologické pozorování na Šumavě.. Zprávy lesnického výzkumu, 43, č. ¾, s 37-39.

Máca P. (2003): Analýza srážko-odtokového procesu povodí VD Křímov a VD Kamenička. Sborník Konference COYOUS, s 104-110.

Yu P.S., Liu C. L., Lee T.Y.(1994): Application of transfer function model to storadge=runoff processes. In Hipel K.W. Time series Analysis in Hydrology and Environmental Engineering, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, s 87 – 97.

Zeman, E.(1994): Hydroinformatika a hydrologické modely. Habilitační práce ČVUT Praha, s. 91.

Autor

Petr Máca, Katedra vodního hospodářství FLE ČZU Praha, Kamýcká 1176, Praha 6 – Suchdol, 165 21, maca@fle.czu.cz,

TRANSFORMÁCIA POVODŇOVÝCH VĺN DUNAJA NA ÚSEKU KIENSTOCK – ŠTÚROVO

Veronika Mitková

Klasickým problémom pri neustálenom pohybe vody v koryte toku je popis prechodu povodňovej vlny cez koryto. Opis tohto pohybu sa nazýva režim povodne a je opísaný ako procedúra, ktorá je používaná pre zistenie času a veľkosti veličiny v určitom bode vodnej cesty. Transformácia povodňovej vlny vychádza zo zákonitostí, ktorými sa riadi pohyb vody v otvorených korytách a umožňuje takú zmenu, akú dovoľujú:

1. *účinky rôznych vodohospodárskych zákrokov (napriamenie, prehĺbenie, ochranné hrádze), ktoré majú za následok zvýšenie kulminačného prietoku a rýchlosti postupu povodňovej vlny;*
2. *sploštenie povodňovej vlny pri postupnom zaplnení koryta.*

Na simuláciu transformácie povodňových vĺn korytom toku Dunaja na úseku Kienstock – Štúrovo bol použitý riečny model NLN-Danube. Model bol kalibrovaný pre súčasné odtokové pomery na Dunaji počas povodne v auguste 2002 v úseku Kienstock - Štúrovo. Model NLN-Danube bol v prvej časti použitý na simuláciu transformácií významných povodňových vĺn na Dunaji z posledného obdobia: júl 1991, december1992, október 1996 júl 1997, marec 1998, marec 2002). Výsledky simulácií modelom NLN-Danube sú prezentované v príspevku.

Kľúčové slová: povodňová vlna, riečny model NLN-Danube, simulácia povodní, transformácia povodňovej vlny

***Transformation of the flood waves of the Danube River in Kienstock – Štúrovo reach**. River regime conditions of the Danube River are always being changed. These changes result from the natural processes (erosion, sedimentation, vegetation cover) or anthropogenic activities (modification of the riverbank, construction of hydro-power stations). This has significant impact upon the water regime of the river. Channel training resulted in shortening of the flood wave travel times and changes of water levels in Danube river at Bratislava.*

In this article there the calibration and simulation of the waves of non - linear river model NLN-Danube is presented. The calibration for present river condition in Kienstock – Štúrovo reach of Danube River for August flood 2002 was done. The model simulations for some flood events - July1991, December 1992, October 1996, July 1997, March 1998, March 2002 was done and, simulations by model NLN – Danube of transformation of the waves of river bank for interest reach were done too. The results of the simulation are presented in this article.

Key words: River model, cascade of the non-linear reservoirs, simulation of the move of the flood wave, Danube River

---

Opis nelineárneho riečneho modelu NLN-Danube

Na simuláciu transformácie povodňových vĺn korytom toku Dunaja na úseku Kienstock – Štúrovo bol použitý riečny model NLN-Danube.

Model NLN-Danube (Pekár a kol., 2001) vychádza z modelu NONLIN A. Svobodu (1970, 1993, 1993b, 2000), ktorý bol v minulosti úspešne použitý na simuláciu transformácie prietokových vĺn v rade štúdií na našich aj svetových tokoch. Model NLN-Danube je nelineárny hydrologický riečny koncepčný model, založený na postupnej transformácii vstupov – prietokových vĺn – sústavou rovnakých nelineárnych nádrží v sérii za sebou. Model každej zložky simulovaného riečneho systému (riečny úsek) je zložený z kaskády *N* rovnakých nelineárnych nádrží. Vstup do modelu predstavuje vstup do prvej nádrže v sérii. Výstup z poslednej nádrže predstavuje výstup z modelu. Presný opis rovníc a význam kalibračných parametrov modelu NLN-Danube je uvedený v (Pekárová a kol. 2004), kde bol napríklad model porovnávaný s modelom KLN-MULTI (Szolgay, 2003), ktorý obsahuje dve funkcie explicitne zohľadňujúce premenlivosť postupovej doby charakteristických bodov prietokových vĺn, a tým aj implicitne hydraulické parametre prúdenia a ich prípadnú zmenu v dôsledku zmeny koryta. Ako vstupné dáta boli použité hodnoty hodinových prietokov pre jednotlivé stanice (Kienstock, Devín, Medveďov, Iža, Štúrovo) a hodinové prietoky pre významné prítoky Dunaja v záujmovom úseku toku (Traisen, Kamp, Morava, Váh, Ipeľ, Hron). Základné vstupné dáta boli poskytnuté zo Slovenského hydrometeorologického ústavu a Hydrographischer Dienstin Rakúsko.

Súčasná softvérová realizácia modelu modeluje koryto Dunaja medzi Passau a Nagymarosom. V tomto príspevku bola použitá časť celkového modelu na 296,4 kilometrovom úseku medzi Kienstockom a Štúrovom. Model NLN- Danube bol naprogramovaný v aplikácii MS EXCEL 9, ktorá je súčasťou Microsoft Office 97. Práca s modelom sa realizuje pomocou makier, ktoré sú zapísané v programovacom jazyku Microsoft Visual Basic 5.0. Táto aplikácia bola vybraná z niekoľkých hľadísk:

- dostupnosť u užívateľa;
- jednoduché zadávanie vstupných údajov;
- dostatočne krátka doba výpočtu;
- okamžité grafické výpočty z modelu, okamžitá reakcia na zmeny parametrov v modeli.

Samotný model je rozdelený do niekoľkých pracovných listov:
Hlavná stránka – je vstupným pracovným listom.
Parametre modelu – pracovný list do ktorého sa zadávajú hodnoty parametrov modelu.
Vstupné údaje – pracovný list do ktorého sa zadávajú vstupné údaje modelu (model pracuje s hodinovým krokom).
Riešenie – pracovný list, kde sa zobrazujú výstupné hodnoty simulácie modelu.
Grafy – pracovný list s grafickými výstupmi modelu.

Model NLN-Danube predstavuje jednoduchý nástroj na riešenie transformácie povodňovej vlny v riečnom úseku. Po jeho kalibrácii je možné ho používať na celý rad vodohospodárskych problémov. V našom prípade bol model využitý na riešenie otázok spojených s výstavbou vodných diel na rakúskom úseku Dunaja a pre analýzu zmien postupových dôb veľkých vĺn na slovenskom úseku Dunaja s historickými vstupnými údajmi (Mitková a kol, 2005).

Kalibrácia modelu NLN-Danube na úseku Kienstock – Štúrovo pre súčasné odtokové pomery Dunaja

Pre priamu kalibráciu modelu NLN-Danube v súčasných podmienkach transformácie povodňovej vlny v koryte toku bola použitá povodňová situácia z augusta 2002 v úseku Kienstock - Štúrovo. Táto augustová povodeň zatienila marcovú povodeň 2002, ktorá presiahla v Bratislave 8000 m^3s^{-1}. V auguste 2002 sa na Dunaji vyskytli dve krátko po sebe nasledujúce povodňové situácie, pričom druhá vlna bola z hydrologického hľadiska významnejšia ako prvá.
Meteorologické podmienky vzniku povodne boli nasledovné:
Na začiatku augusta bola stredná Európa pod vplyvom rozsiahlej oblasti tlakovej níže. Nad vnútrozemím sa vo vlhkom a relatívne teplom vzduchu vytvorili vhodné podmienky pre tvorbu kopovitých oblakov a búrok, ktoré sa vyskytovali u nás i v Alpskej oblasti. V predpovediach pre povodie Dunaja boli očakávané výdatné zrážky najmä v nedeľu 11.8. 2002 na severných návetriach Álp. V priebehu tohto dňa spadlo na väčšine územia povodia Dunaja a v južných Čechách 30 až 50 a miestami aj 100 mm zrážok. Výdatné zrážky pokračovali v celej alpskej oblasti, v Čechách, z časti na Slovensku, Maďarsku a Slovinsku. Dňa 13.8. sa stred tlakovej níže presúval nad Ukrajinu a zároveň sa z Francúzska rozširoval nad Alpy výbežok tlakovej výše. Trvalé zrážky sa z povodia Dunaja presúvali na severovýchod. Prvá povodňová situácia bola spôsobená zrážkami v nemeckom a rakúskom povodí, najvýdatnejšie zrážky boli v dňoch 6.-7. augusta. Druhú povodňovú situáciu spôsobili zrážky 9.-12.8., ktoré spadli na vodou nasýtené povodie. Vo vodomernej stanici Devín povodňová vlna kulminovala 16.8. okolo 2:00 s kulminačným prietokom 10370 m^3s^{-1} a vodným stavom 948 cm (Mikuličková, Lešková, 2002; Lešková, 2002).

Na určenie zhody medzi simulovanými prietokmi modelom NLN-Danube a meranými prietokmi boli porovnávané predovšetkým nasledovné štatistické kritéria vychádzajúce z meraných a simulovaných prietokov v danej stanici:

Koeficient korelácie:

$$R = \frac{\sum_{t=1}^{N}\left(\left(Q_{Bm}(t)-\overline{Q}_{Bm}\right)\left(Q_{Bs}(t)-\overline{Q}_{Bs}\right)\right)}{\sqrt{\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{Bm}(t)-\overline{Q}_{Bm}\right)^2\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{Bs}(t)-\overline{Q}_{Bs}\right)^2}} \quad (13)$$

kde:

Q_{Bs} - prietok v Bratislave simulovaný;

Q_{Bm} - prietok v Bratislave meraný;

$\overline{Q}_{Bm}$ - priemerný prietok počas vlny v Bratislave meraný;

$\overline{Q}_{Bs}$ - priemerný prietok počas vlny v Bratislave simulovaný.

Priemerná chyba odhadu:

$$ME = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{Bm}(t)-Q_{Bs}(t)\right)\cdot \quad (14)$$

Priemerná absolútna chyba odhadu:

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\left|Q_{Bm}(t)-Q_{Bs}(t)\right| \quad (15)$$

Priemerná absolútna percentuálna chyba odhadu:

$$MAPE = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\left|\frac{Q_{Bm}(t)-Q_{Bs}(t)}{Q_{Bm}(t)}\right|100\%. \quad (16)$$

Štandardná chyba odhadu:

$$SER = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{Bm}(t)-Q_{Bs}(t)\right)^2} \quad (17)$$

Maximálna absolútna chyba odhadu:

$$Max = \max\left|Q_{Bm}(t)-Q_{Bs}(t)\right| \quad (18)$$

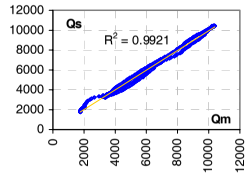
Výsledky kalibrácie modelu NLN-Danube na danej povodňovej situácii z augusta 2002 v úseku Kienstock - Štúrovo metódou pokus-omyl sú vyhodnotené na Obr. 1. a) – d). Priemerná absolútna percentuálna odchýlka odhadu (MAPE) meraných a modelovaných hodnôt bola pre celý úsek v rozsahu prípustnom pre odchylky merania prietokov. Jej hodnota bola cca. 5,45 %. Vzhľadom k tomu, že v stanici Štúrovo sa prietoky nevyčísľujú na obr. 1 d) boli pre približnú kalibráciu transformácie povodňovej vlny modelu NLN- Danube v tejto stanici použité odvodené prietoky z vodných stavov. Hodnota keoficienta korelácie R [-] bola pri kalibrácií pre celý úsek v priemere 0,991 čo môžeme pokladať za dobrú zhodu simulovaných a meraných prietokov. Hodnoty ďalších štatistických charakteristík sú uvedené v tabuľkách pri výstupoch z modelu.

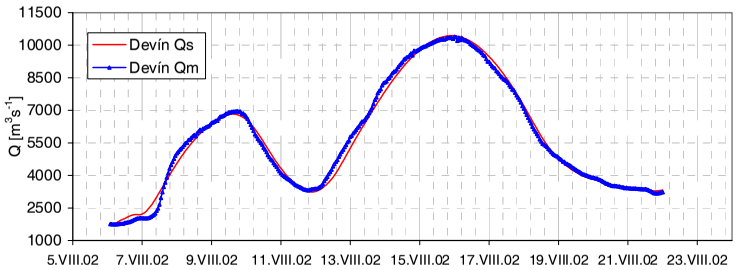
Na obr. 2 je vykreslený simulovaný priebeh transformácie kalibračnej vlny z augusta 2002 korytom toku v úseku Kienstock - Štúrovo.

Model NLN-Danube **reach: Kienstock - Devín** **Flood 2002 August -kalibrácia**

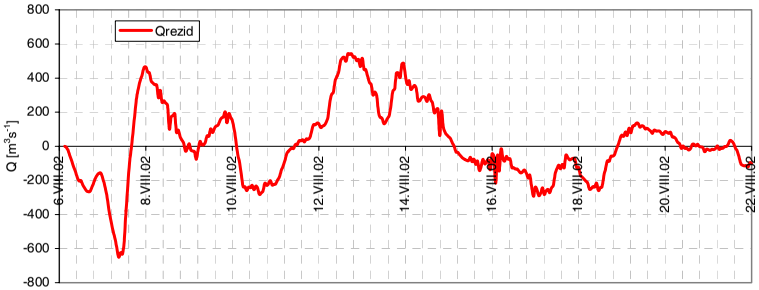
Základné štatistické kritéria simulovaných a meraných prietokov a chyby simulácie

Bratislava	sim	meas	model errors	
mean [m^3/s]	5761	5779	R	0.996
min [m^3/s]	1759	1751	ME	18.1
max [m^3/s]	10440	10390	MAE	173.9
volume [mil. m^3]	190629	191228	MAPE	3.8
number of measurement	383	383	SER	226.1
			max	651.4





Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Devín



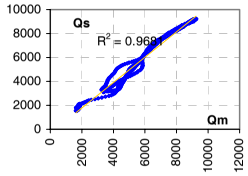
Odchýkly meraných a simulovaných prietokov v stanici Devín

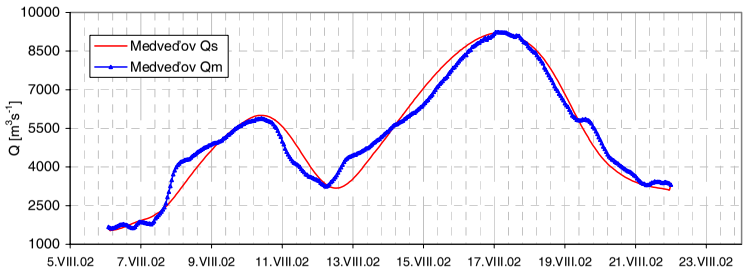
1 a)

Model NLN-Danube **reach: Devín - Medveďov** **Flood 2002 August -kalibrácia**

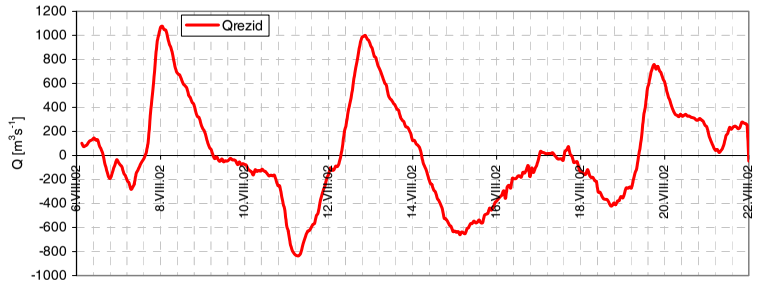
Základné štatistické kritéria simulovaných a meraných prietokov a chyby simulácie

Bratislava	sim	meas	model errors	
mean [m^3/s]	5254	5276	R	0.984
min [m^3/s]	1538	1617	ME	22.8
max [m^3/s]	9216	9240	MAE	325.8
volume [mil. m^3]	173853	174606	MAPE	7.1
number of measurement	383	383	SER	418.1
			max	1077.4





Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Medveďov



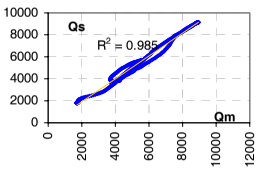
Odchýkly meraných a simulovaných prietokov v stanici Medveďov

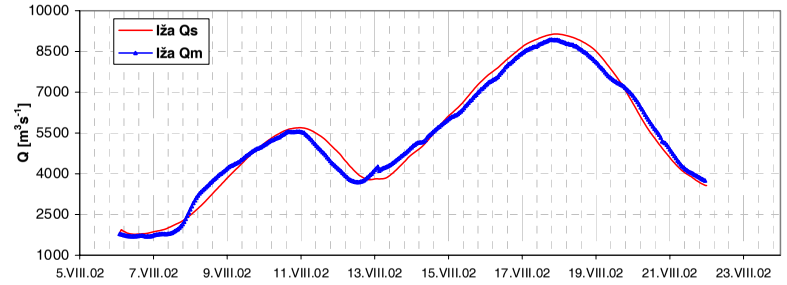
1 b)

Model NLN-Danube **reach: Medveďov - Ižа** **Flood 2002 August -kalibrácia**

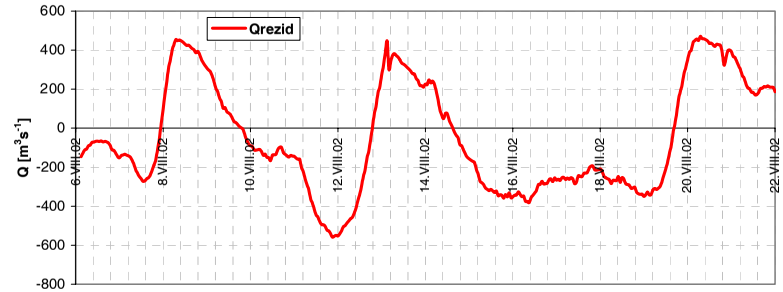
Základné štatistické kritéria simulovaných a meraných prietokov a chyby simulácie

Bratislava	sim	meas	model errors	
mean [m^3/s]	5383	5334	R	0.992
min [m^3/s]	1770	1695	ME	-49.2
max [m^3/s]	9144	8940	MAE	254.4
volume [mil. m^3]	178138	176514	MAPE	5.4
number of measurement	383	383	SER	284.9
			max	558.8





Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Iža



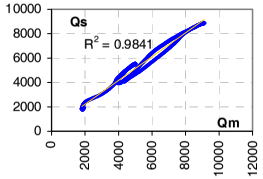
Odchýkly meraných a simulovaných prietokov v stanici Iža

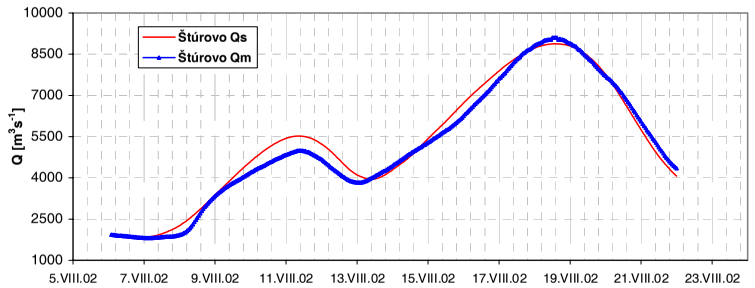
1 c)

Model NLN-Danube **reach: Iža - Štúrovo** **Flood 2002 August -kalibrácia**

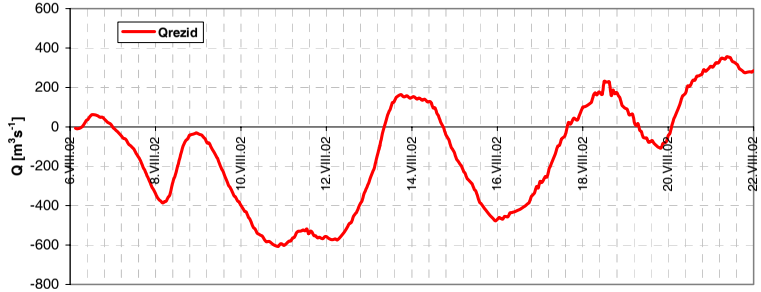
Základné štatistické kritéria simulovaných a meraných prietokov a chyby simulácie

Bratislava	sim	meas	model errors	
mean [m^3/s]	5339	5201	R	0.992
min [m^3/s]	1800	1818	ME	-138.6
max [m^3/s]	8876	9103	MAE	249.0
volume [mil. m^3]	176685	172110	MAPE	5.5
number of measurement	383	383	SER	307.6
			max	607.0





Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Štúrovo

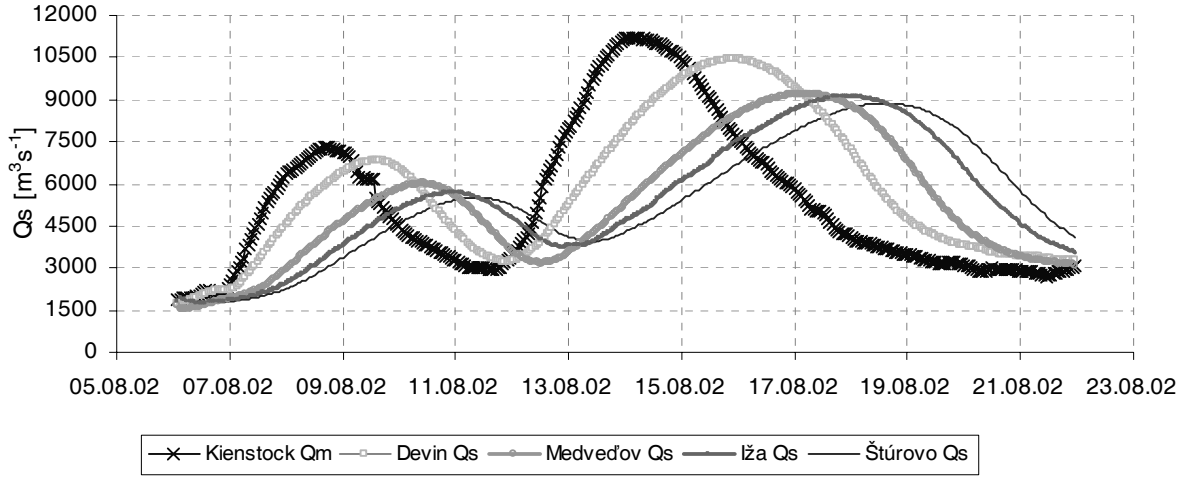


Odchýkly meraných a simulovaných prietokov v stanici Štúrovo

1 d)

Obr. 1 a) – d) Výsledky kalibrácie nelineárneho riečneho modelu NLN-Danube v jednotlivých sekciách záujmového úseku Dunaja.

Fig. 1 a) – d) Results of the calibration of the river non-linear model NLN-Danube in detail sections of the interest reach of the Danube River.



Obr. 2 Simulácia transformácie kalibračnej vlny korytom toku Dunaj počas augustovej povodne 2002 modelom NLN-Danube.

Fig. 2 Simulation of the propagation of the wave in river bank Of the Danube River during August 2002 flood.

Simulácia prietokových vĺn za posledných 15 rokov na slovenskom úseku Dunaja modelom NLN-Danube

Výstavbou vodných diel a úpravami koryta toku sa prietokové pomery Dunaja v minulom storočí zmenili. Napríklad v úseku Kienstock – Bratislava boli uvedené do prevádzky štyri vodné diela: Melk (1979–1982), Altenwörth (1973–1976), Greifenstein (1982–1985) a Freudenau (1992–1997). Dôsledkom takýchto zásahov môže byť aj zrýchlenie postupu povodňových vĺn riečnymi úsekmi Dunaja a súčasné zníženie transformačného účinku koryta a inundačných území, by mohlo viesť k zvýšeniu hladín odpovedajúcim rovnakým povodňovým prietokom voči minulosti v Bratislave (Mišík, Capeková, 2001; Opatovská, 2002).

Vzhľadom na tieto predpoklady bol model NLN-Danube naprogramovaný a použitý na simuláciu významných povodňových vĺn Dunaja z posledného obdobia, to zn. po uvedení takmer všetkých (neskôr aj Freudenau) vodných diel do prevádzky (júl 1991, december 1992, október 1996, júl 1997, marec 1998, marec 2002).

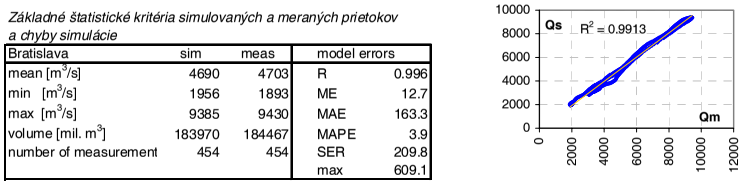
Ako bolo už spomenuté model pracuje s hodinovými vstupnými dátami. Potrebné vstupné dáta nám boli poskytnuté zo Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave a Hydrographischer Dienstin Österreich (Rakúsko).

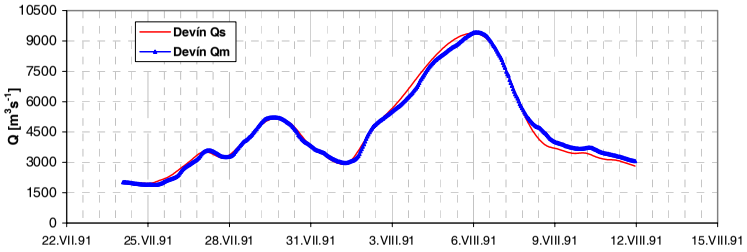
Priebehy simulácií niektorých vybraných povodňových udalostí od roku 1990 (júl 1991, júl 1997, marec 2002) modelom NLN-Danube sú vykreslené na Obr. 3 a)-d), 4. a)-d), 5 a)-d). Na týchto obrázkoch sú aj vypočítané hodnoty štatistických kritérií simulovaných a meraných prietokov, ako aj chyby simulácií. Význam a vzťahy pre výpočet jednotlivých chýb meraní sú popísané v časti o kalibrácii modelu. Priemerné odchýlky meraných a simulovaných prietokov pre jednotlivé vlny v daných vodomerných staniciach sú uvedené v tabuľke 1. V tabuľke 2 sú vypísané hodnoty koeficientov korelácie R [-] pre jednotlivé vodomerné stanice počas vybraných povodňových udalostí. Z daných výsledkov simulácií a výsledkov štatistických charakteristík môžeme povedať, že model NLN-Danube dostatočne presne simuluje transformáciu povodňových vĺn v úseku Kienstock – Štúrovo v súčasných odtokových podmienkach a preto je možné použiť ho na simuláciu prechodu vĺn v záujmovom úseku toku. Na Obr. 6 a) –c) sú vykreslené transformácie vĺn korytom toku.

Model NLN-Danube **reach: Kienstock - Devín** **Flood 1991July**

Základné štatistické kritéria simulovaných a meraných prietokov a chyby simulácie

Bratislava	sim	meas	model errors	
mean [m^3/s]	4690	4703	R	0.996
min [m^3/s]	1956	1893	ME	12.7
max [m^3/s]	9385	9430	MAE	163.3
volume [mil. m^3]	183970	184467	MAPE	3.9
number of measurement	454	454	SER	209.8
			max	609.1



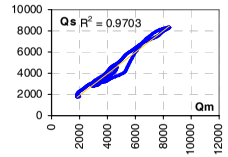


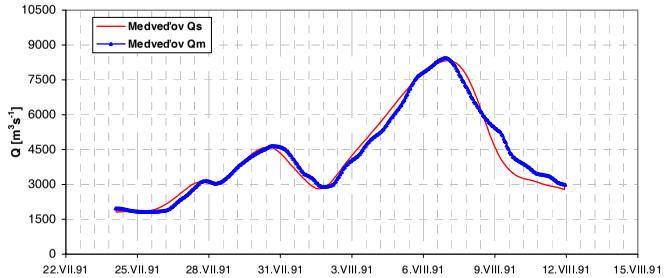
a) *Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Devín*

Model NLN-Danube **reach: Devín - Medveďov** **Flood 1991July**

Základné štatistické kritéria simulovaných a meraných prietokov a chyby simulácie

Bratislava	sim	meas	model errors	
mean [m^3/s]	4292	4335	R	0.985
min [m^3/s]	1812	1823	ME	42.9
max [m^3/s]	8325	8444	MAE	248.0
volume [mil. m^3]	168356	170036	MAPE	6.2
number of measurement	454	454	SER	334.2
			max	1132.0



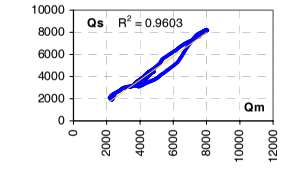


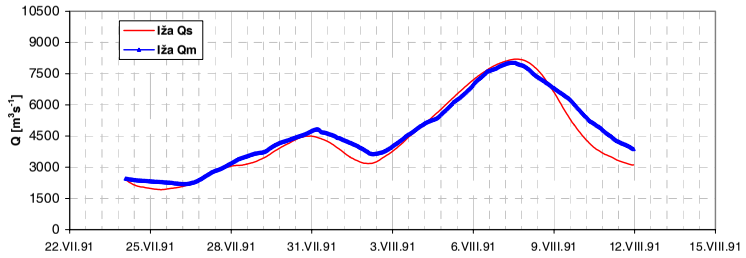
b) *Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Medveďov*

Model NLN-Danube **reach:Medveďov - Iža** **Flood 1991July**

Základné štatistické kritéria simulovaných a meraných prietokov a chyby simulácie

Bratislava	sim	meas	model errors	
mean [m^3/s]	4428	4685	R	0.980
min [m^3/s]	1923	2195	ME	258.2
max [m^3/s]	8201	8026	MAE	355.9
volume [mil. m^3]	173679	183786	MAPE	8.2
number of measurement	454	454	SER	467.0
			max	1161.4



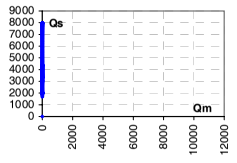


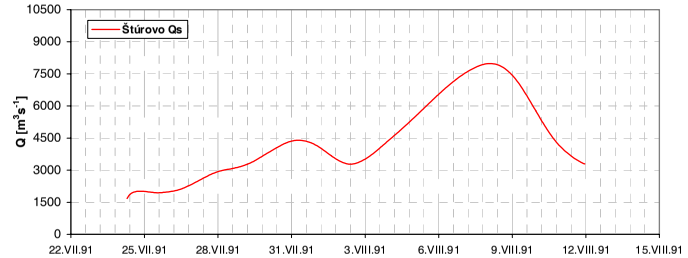
c) *Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Iža*

Model NLN-Danube **reach: Iža - Štúrovo** **Flood 1991 July**

Základné štatistické kritéria simulovaných a meraných prietokov a chyby simulácie

Bratislava	sim	meas	model errors	
mean [m^3/s]	4415	0	R	#DIV/0!
min [m^3/s]	0	0	ME	-4425.1
max [m^3/s]	7985	0	MAE	4425.1
volume [mil. m^3]	171665	0	MAPE	#DIV/0!
number of measurement	450	450	SER	4788.4
			max	7984.8

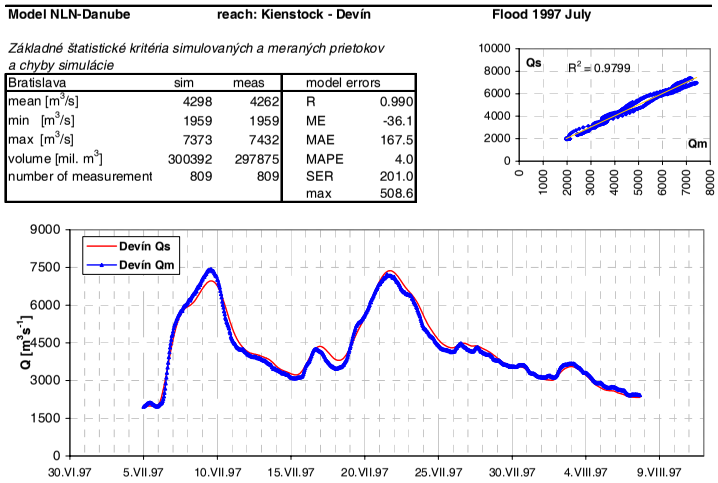




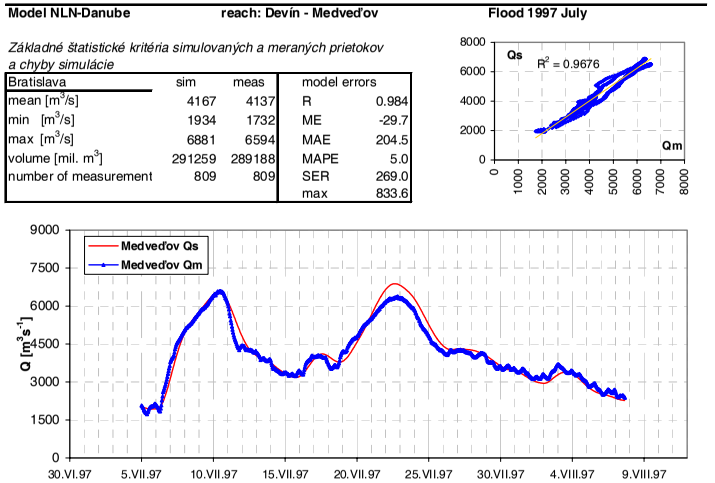
d) *Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Štúrovo*

Obr 3 Simulácia povodňovej udalosti na Dunaji v júly 1991 modelom NLN-Danubev pre úsek Kienstock – Štúrovo.

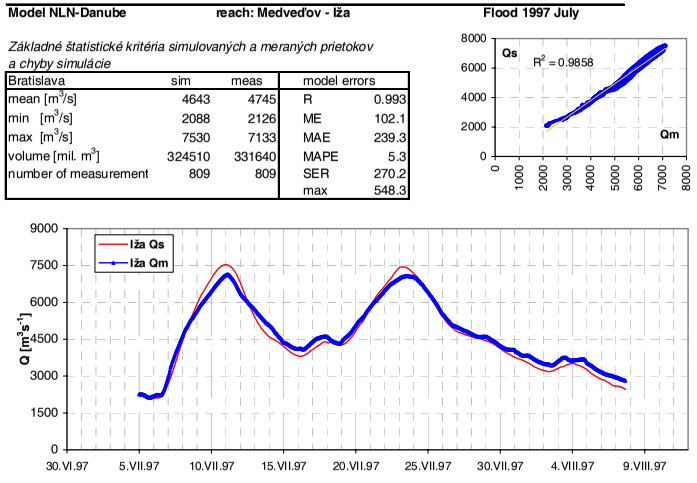
Fig. 3 Simulation of the flood wave in July 1991 on Danube River by model NLN-Danube for Kienstock – Štúrovo reach.



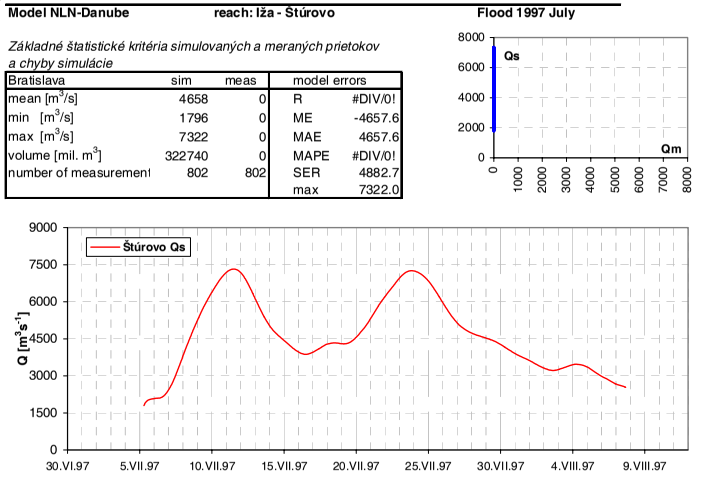
a) *Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Devín*



b) *Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Medveďov*



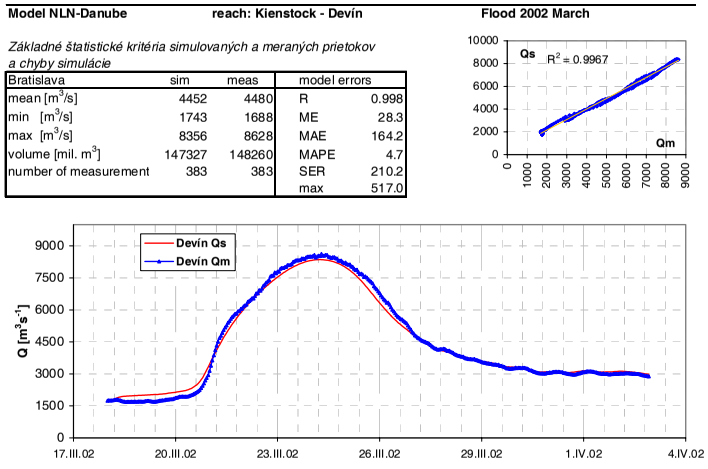
c) *Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Iža*



d) *Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Štúrovo*

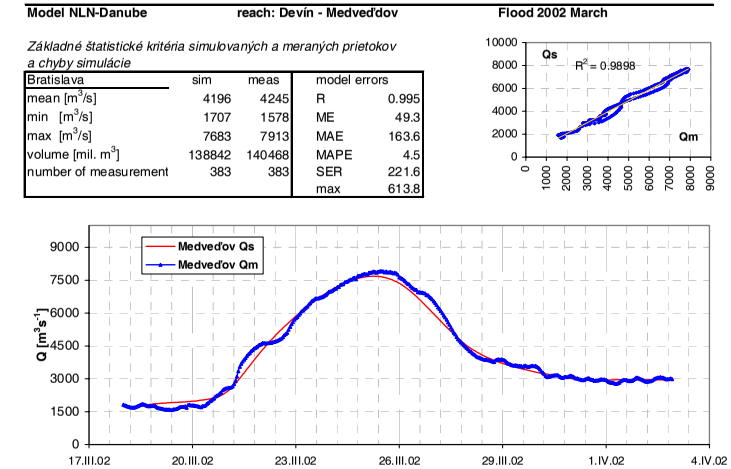
Obr. 4 Simulácia povodňovej udalosti na Dunaji v júly 1997 modelom NLN-Danubev pre úsek Kienstock – Štúrovo

Fig. 4 Simulation of the flood wave in July 1997 on Danube River by model NLN-Danube for Kienstock – Štúrovo reach.



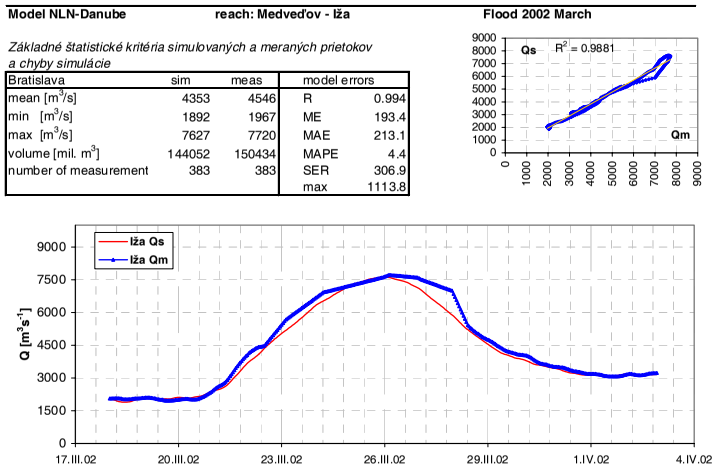
Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Devín

a)



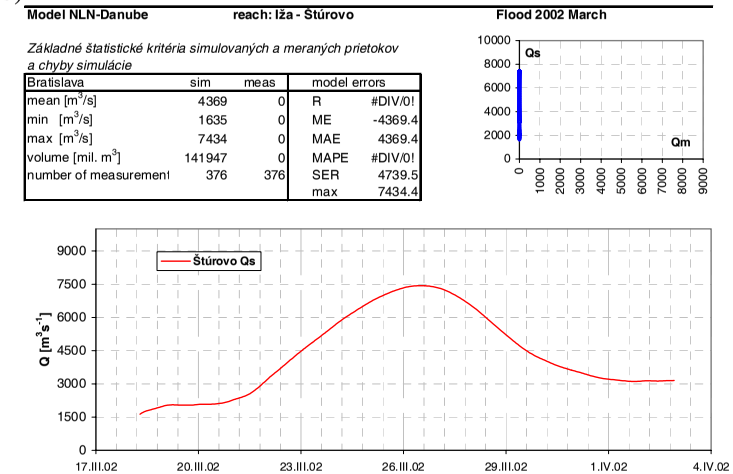
Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Medveďov

b)



Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Iža

c)



Priebeh meraných Qm a simulovaných Qs prietokov v stanici Štúrovo

d)

Obr. 5 Simulácia povodňovej udalosti na Dunaji marci 2002 modelom NLN-Danubev pre úsek Kienstock – Štúrovo.

Fig. 5 Simulation of the flood wave in March 2002 on Danube River by model NLN-Danube for Kienstock – Štúrovo reach.

Tab. 1 Priemerné odchýlky meraných a simulovaných prietokov pre jednotlivé vlny v daných vodomerných staniciach na slovenskom úseku Dunaja

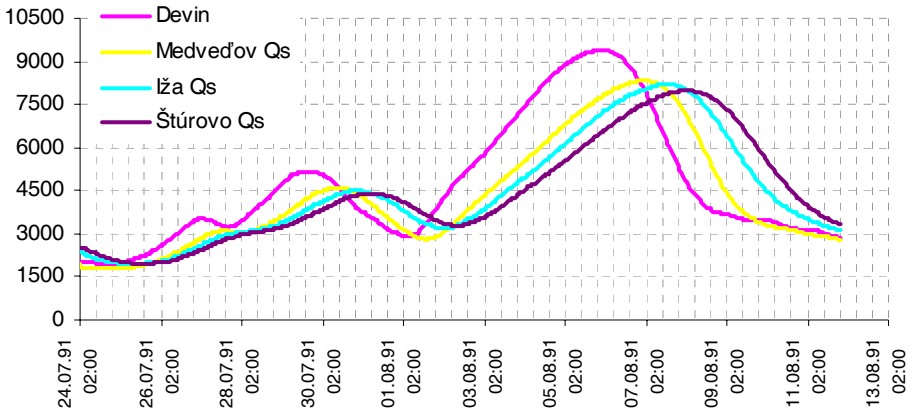
Tab. 1 Mean deviations of the simulated end measured discharges for flood waves in stations on Slovak section of Danube River

Priemerná odchýlka	1991Júl	1992 Nov.	1996 Okt.	1997 Júl	1998 Mar.	2002 Mar.
Devín	12,2	31,3	11,4	-36,2	-4,9	28,5
Medveďov	43,0	80,4	25,7	-29,7	-3,6	49,1
Iža	256,5	214,4	175,5	100,8	20,6	193,2
Štúrovo	-	-	-	-	-	-

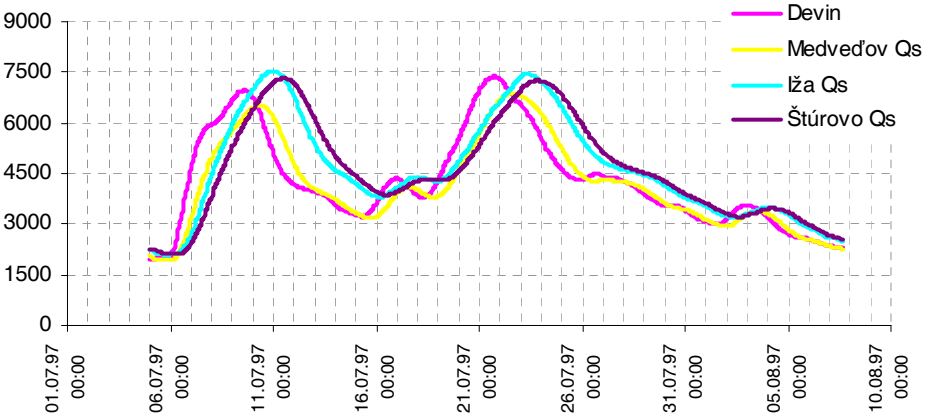
Tab. 2 Koeficienty korelácie medzi meraných a simulovaných prietokov pre jednotlivé vlny v daných vodomerných staniciach na slovenskom úseku Dunaja

Tab. 2 Coefficients of correlation between simulated and measured discharges for flood waves in stations on Slovak section of Danube River

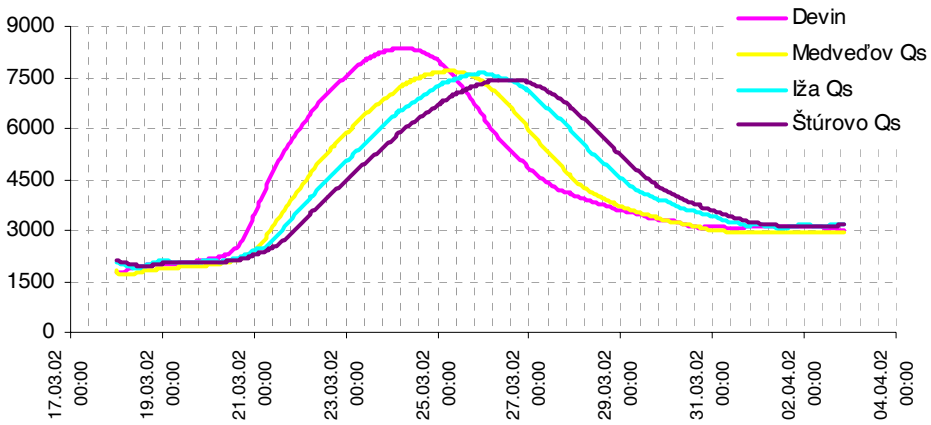
R [-]	1991Júl	1992 Nov.	1996 Okt.	1997 Júl	1998 Mar.	2002 Mar.
Devín	0,996	0,989	0,995	0,990	0,991	0,998
Medveďov	0,985	0,969	0,983	0,984	0,984	0,995
Iža	0,980	0,983	0,989	0,993	0,991	0,994
Štúrovo	-	-	-	-	-	-



6 a)



6 b)



6 c)

Obr. 6 Simulácia transformácie kalibračnej vlny korytom toku Dunaja modelom NLN-Danube: a) jún 1991, b) jún 1997, c) marec 2002.

Fig. 6 Simulation of the propagation of the wave in river bank of the Danube River: a) July flood 1991, b) July flood 1997, c) March flood 2002.

Zhodnotenie simulácií povodňových udalostí modelom NLN-Danube pre súčasné odtokové pomery na Dunaji

Model NLN-Danube bol nakalibrovaný na súčasné odtokové pomery Dunaja pre úsek Kienstock – Štúrovo. Ako vstupné dáta boli použité hodnoty hodinových prietokov pre jednotlivé stanice. Základné vstupné dáta nám boli poskytnuté zo Slovenského hydrometeorologického ústavu a Hydrographischer Dienstin Österreich (Rakúsko). Stanica Kienstock bola zvolená ako počiatočná stanica vzhľadom na dostupnosť údajov, dostatočný predstich predpovede prietok vlny a v tejto stanici sú už zahrnute aj významné prítoky z horného úseku Dunaja. Kalibrácia modelu pre súčasné odtokové pomery na danom úseku toku bola prevedená na povodňovej udalodsti z augusta 2002. Výsledky kalibrácie modelu NLN-Danube sú uvedené v prvej 4asti príspevku. Priemerná absolútna percentuálna odchýlka odhadu bola pre celý úsek v rozsahu prípustnom pre odchylky merania prietokov. Na určenie zhody medzi simulovanými prietokmi modelom NLN-Danube a meranými prietokmi boli porovnávané predovšetkým štatistické kritéria vychádzajúce z meraných a simulovaných prietokov v danej stanici, ich vzťahy sú opísané tiež v príspevku. Hodnota keoficienta korelácie R [-] bola pri kalibrácií pre celý úsek v priemere 0,991 čo môžeme pokladať za dobrú zhodu simulovaných a meraných prietokov.

Následne, po kalibrácii, bol model NLN-Danube použitý na simúláciu vyznamných povodňových udalostí, ktoré sa na Dunaji vyskytli od roku 1990. Výsledky simulácií vybraných povodňových udalostí (júl 1991, december 1992, október 1996, júl 1997, marec 1998, marec 2002) pre zvolený úsek Kienstock – Štúrovo sú prezentované v príspevku. Priemerné odchýlky meraných a simulovaných prietokov pre jednotlivé vlny v daných vodomerných staniciach sú uvedené v tabuľke 1. V tabuľke 2 sú vypísané hodnoty koeficientov korelácie R [-] pre jednotlivé vodomerné stanice počas vybraných povodňových udalostí. Z daných výsledkov simulácií a výsledkov štatistických charakteristík môžeme povedať, že model NLN-Danube dostatočne presne simuluje transformáciu povodňových vĺn v úseku Kienstock – Štúrovo v súčasných odtokových podmienkach a preto je možné použiť ho na simuláciu prechodu vĺn v záujmovom úseku toku.

Poďakovanie: *Spracovanie štúdie bolo podporené projektmi MVTS 9350 a VEGA 5056.*

Literatúra

Lešková, D., (2002): Povodňová situácia na Dunaji v auguste 2002. Vodohospodársky spravodajca XLV, 10/2002, 8–10 s.

Mikuličková, M., Lešková, D., (2002): Povodeň na Dunaji v marci 2002. Vodohospodársky spravodajca XLV, 7-8/2002, 8–11 s.

Mišík, M., Capeková, Z., (2001): Vzájomný vzťah režimu veľkých vôd a ľudskej činnosti na bratislavskom úseku Dunaja. Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia. IV. Vedecká konferencia, Michalovce, Zemplínska Šírava, 98–101.

Mitková, V., Kubeš, R., Szolgay, J., Pekárová, P., (2004): Simulácia transformácie historických povodňových vĺn Dunaja z roku 1899 a 1954 v úseku Kienstock – Bratislava za súčasných odtokových podmienok.. Acta Hydrologica,Ústav Hydrológie SAV, Bratislava, Ročník 5, No 1.

Mitkova, V., Pekarova, P., Miklanek, P. Pekár, J. (2005): Analysis of flood propagation changes in the Kienstock–Bratislava reach of the Danube River. Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques, 50(4) August 2005 (v tlači).

Opatovská, G., (2002): Vplyv zanášania na zmeny hladín Dunaja v Bratislave. Vodohospodársky spravodajca, č. 4., 11–12.

Pekár, J., Miklánek, P., Pekárová, P., (2001): Riečny model nelineárnej kaskády NLN-Danube pre Dunaj v úseku Ybbs – Nagymaros v prostredí MS EXCEL. AHS, roč. 2, č. 2, 130–137 s.

Svoboda, A., (1970): Niektoré praktické aspekty použitia matematických modelov v hydrológii. Vodohosp. Čas. XVIII, 3. 225–238.

Svoboda, A., (1993): Component No. J15.2.02 „Non-linear Cascade Hydrological Model NONLIN“. HOMS Reference Centre, WMO, Geneva.

Svoboda, A., Kunsch, I., Hajtášová, K., (1993): Water structure Gabčíkovo and the Danube flood regime. Sústava vodných diel Gabčíkovo-Nagymaros zámery a skutočnosť. Zborník z medz. konferencie. Slovenský zväz stavebných inžinierov, Bratislava. 71–76.

Svoboda, A., Pekárová, P., Miklánek, P., (2000): Flood Hydrology of Danube between Devín and Nagymaros. SAS – SVH – NC IHP UNESCO, Bratislava, 98 s.

Szolgay J., (2003): Multilinear discrete cascade model for river flow routing and real time forecasting in river reaches with variable speed. Proceedings of the ESF LESC Exploratory Workshop held At Bologna, Italy. 14 s.

Autor

Veronika Mitková , Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava, mitkova@uh.savba.sk

ANALÝZA POKLESU HLADINY PODZEMNÍ VODY NA SVAHU

Jirka Pavlásek

Pro stanovení výšky a průběhu infiltrace na mělkých svažitých půdách je důležité znát hloubku hladiny podzemní vody. Její hloubku v jednotlivých částech svahu jsme schopni určit, pokud známe její tvar. Tvar hladiny podzemní vody na svahu lze stanovit z Boussinesqových rovnic. Při analýze výsledků poklesu hladiny podzemní vody na zadešťovacím modelu byla stanovena metoda pro výpočet změn tvaru hladiny po ukončení srážkové události.

Klíčové slova: hladina podzemní vody

For estimation of infiltration on shallow steep soils is important to know the groundwater table height. We can estimate this height in individual part of slope if we know the shape of water table. Shape of groundwater table on slope we can derive from Boussinesq's equations. By the analysis results of water table drawdown on rainfall simulator were estimated method for computation of groundwater table change after end of rainfall event.

Key words: groundwater table

ÚVOD

Základní rovnice pro řešení drenážní soustavy na svahu odvodil Boussinesq v roce 1877 a 1904. V prvním případě uvažoval, že proudnice jsou rovnoběžné s nepropustným podložím a proto i potenciál je konstantní v rovině kolmé na nepropustnou vrstvu. V druhém případě uvažoval, že v mírnějších svazích lze předpokládat horizontální proudění vzhledem k malému sklonu nepropustného podloží. Tento předpoklad byl potvrzen Townerem (1975), když porovnával výsledky s analogickým modelem.

Lesaffre (1987) odvodil rovnice pro ustálené proudění pro obě Boussinesqovy aproximace a po úpravě získal shodné řešení pro oba případy ve tvaru:

$$\frac{d}{du}\cdot\left(h\cdot\frac{dh}{du}-2\cdot\sigma\cdot h\right)+1=0 \qquad (1)$$

kde: h výška hladiny podzemní vody (m)

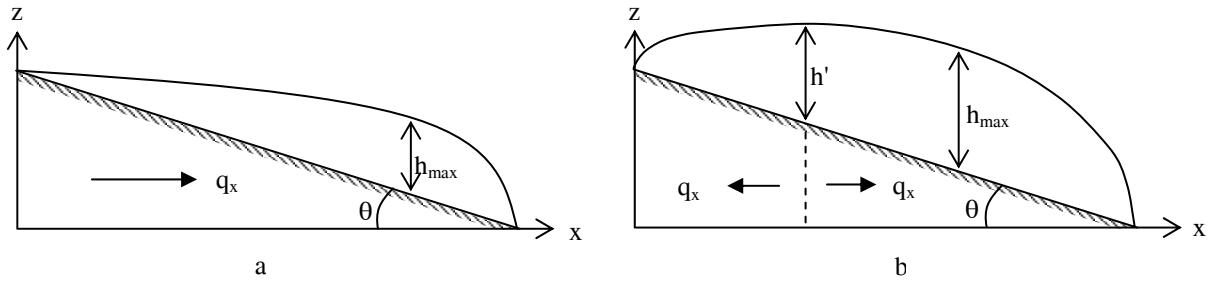
$$u=\sqrt{P/k}\cdot x \qquad (2)$$

$$\sigma=\frac{s\cdot(1-P/k)}{2\cdot\sqrt{P/k}} \quad \text{pro Boussinesqovu první aproximaci} \qquad (3a)$$

$$\sigma=\frac{s}{2\cdot\sqrt{P/k}} \quad \text{pro Boussinesqovu druhou aproximaci} \qquad (3b)$$

kde: s svah = tan (θ)
P přítok na hladinu podzemní vody ($m.s^{-1}$)
k nasycená hydraulická vodivost ($m.s^{-1}$)
x vzdálenost na ose x (m)

Henderson a Wooding (1964) a Wooding a Chapman (1966) poznamenávají, že při řešení proudění mezi drény se tvar hladiny podzemní vody mění při podle směru proudění. Při řešení rovnice 1 nastává tato změna při hodnotě $\sigma = 1$. Při hodnotách $\sigma < 1$ je proudění rozděleno mezi oba drény, při hodnotách $\sigma > 1$ proudí voda pouze ke spodnímu drénu – obr.1.



Obr.1. Proudění podzemní vody mezi dvěma drény pro Boussinesqovu první aproximaci:
a - $\sigma > 1$ voda proudí pouze ke spodnímu drénu
b - $\sigma < 1$ voda proudí k hornímu i spodnímu drénu

Fig.1. Groundwater flow between two drains for Boussinesq's first approximation:
a - $\sigma > 1$ water flow only towards lower drain
b - $\sigma < 1$ water flow towards upper and lower drain

METODIKA

Teorie Proudění na svahu

Pokud chceme řešit proudění podzemní vody na svahu předpokládáme, že vzdálenost horního a dolního konce hladiny není konstantní, ale se snižujícím se maximem se pohybuje se svahu směrem k dolnímu okraji svahu. Po ukončení srážkové události postupně ustává infiltrace a tím i přítok na hladinu podzemní vody. S poklesem hladiny se zkracuje vzdálenost mezi horním a dolním koncem hladiny podzemní vody.

Předpokladem řešení je, že hladina podzemní vody si zachovává svůj tvar, který je ovlivněn pouze sklonem svahu. Tento tvar je odvozen za předpokladu, že na hladinu podzemní vody nepřitéká žádná voda a tudíž na jejím horním konci voda neproudí. Pro splnění této podmínky musí mít v tomto místě hladina nulový sklon. Při analýze tvaru hladiny pomocí rovnice 1 zjistíme, že takovýto tvar má hladina pro hodnotu $\sigma = 1$.

Integrací rovnice 1 (tvar pro druhou Boussinesqovu aproximaci) a následnou úpravou pro hodnotu $\sigma = 1$ získáme implicitní řešení výšky hladiny podzemní vody ve tvaru:

$$x = \frac{h_D - \frac{s}{2}}{\frac{h}{x} - \frac{s}{2}} \cdot \exp\left[\frac{s}{2} \cdot \frac{h_D - \frac{h}{x}}{\left(\frac{h}{x} - \frac{s}{2}\right)\left(h_D - \frac{s}{2}\right)} \right] \cdot L \qquad (4)$$

kde:
- x vzdálenost ve směru osy x (m)
- h výška hladiny podzemní vody (m)
- h_D výška hladiny podzemní vody na dolním konci svahu(m)
- s sklon nepropustného podloží
- L vzdálenost mezi horním a dolním koncem hladiny podzemní vody (m)

Po analýze počátečního stavu (konec přítoku na hladinu) se uvažuje stálý tvar hladiny podzemní vody odvozený pro daný svah pomocí rovnice 4. Vzdálenost mezi horním a dolním koncem hladiny se mění rychlostí nasycené hydraulické vodivosti půdního materiálu dle vztahu:

$$L(t) = L - t.k \qquad (5)$$

kde: $L(t)$ vzdálenost mezi horním a dolním koncem hladin podzemní vody (m)
L počáteční vzdálenost mezi horním a dolním koncem hladin podzemní vody (m)
t čas od konce přítoku vody na hladinu podzemní vody (s)
k nasycená hydraulická vodivost ($m.s^{-1}$)

Laboratorní experiment

Pro studii proudění podzemní vody na svahu byly použity data z fyzikálního modelu s parametry, které uvádí Klerk (1992). Dešťový simulátor použitý pro laboratorní simulaci je umístěn v hydraulické laboratoři Zemědělské univerzity ve Wageningenu v Holandsku a byl postaven Technickým a fyzikálním servisem zemědělské university.

Zkoumaný půdní materiál je umístěn v kontejneru o rozměrech 5,8 x 2,5 x 0,55 m. Tento kontejner lze naklánět v rozmezí 0 – 22 % pomocí hydraulického mechanizmu. Nad kontejnerem ve výšce 2,44 m jsou umístěny čtyři žlaby, každý se třemi tryskami pro zadešťování. Intenzita zadešťování je určována frekvencí se kterou se trysky pohybují nad otvory žlabů. Tato frekvence je elektronicky regulovaná programovatelnou kontrolní jednotkou.

Při experimentu byl půdní materiál na svahu 10 % o průměrné hydraulické vodivosti 0,0276 $m.min^{-1}$ zadešťován do doby, kdy se stabilizovala hladina podzemní vody na určité úrovni a vzniklo ustálené proudění. Po dosažení ustáleného proudění probíhalo zadešťování ještě po dobu 12 hod. Přibližně po této době se vypnul dešťový simulátor a pokles hladiny byl automaticky snímán tenzometry rozmístěnými po třech v pěti řadách.

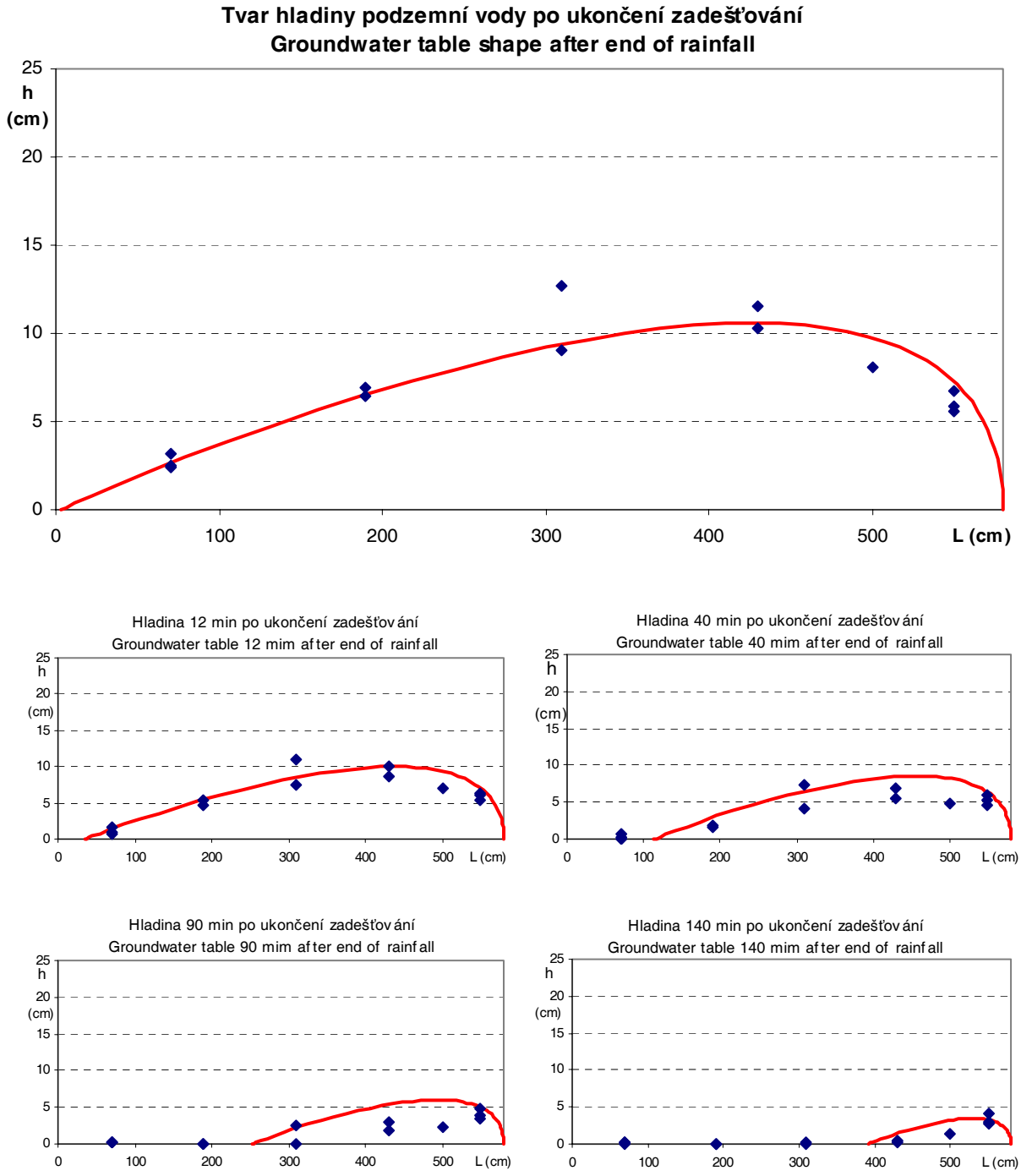
Při vyhodnocování dat z experimentu byly vyloučeny data nefunkčních nebo chybně měřících tenzometrů a výška hladiny byly kalibrovány pro každý tenzometr zvlášť.

Porovnání výsledků

Výpočet tvaru hladiny byl proveden v programu Microsoft® Excel 2000 a hodnoty poměru h/x v rovnici 4 byly voleny z intervalu $(0;s_o)$ s krokem 1/50. Při výpočtu byl půdní materiál uvažován jako homogenní a isotropní. Výška hladiny na dolním konci svahu (h_D) se zvolila rovna nule.

Platnost odvozeného postupu byla ověřována na svahu o sklonech 5 %, 10 % a 18 %. Jako počátek pro výpočet byl zvolen okamžik, kdy se hladina na horním okraji kontejneru začala posouvat směrem k dolnímu konci.

VÝSLEDKY A DISKUZE



Obr.2. Pokles hladiny podzemní vody po ukončení zadešťování
(sklon svahu s = 10 %, nasycená hydraulická vodivost k = 0,0276 m.min^{-1})
body – výška hladiny snímaná tenzometry
plná čára – tvar hladiny podzemní vody vypočtený pomocí rovnic 4 a 5

Fig.2. Groundwater table drawdown after end of rainfall
(slope of hillside s = 10 %, saturated hydraulic conductivity k = 0,0276 m.min-1)
points – groundwater table level read by tesometers
solid line – groundwater table shape computed with equations 4 and 5

I když byly data z tenzometrů kalibrovány pro každý přístroj zvlášť, byly rozdíly v naměřených hodnotách pro stejnou vzdálenost od horního okraje až 30 %. Tyto chyby mohly být způsobeny jednak nepřesností přístrojů, která se pro dané přístroje pohybuje kolem 10 %, ale také nehomogenitou materiálu, kterým byl kontejner naplněn.

Výsledky získané pomocí rovnic 4 a 5 pro sklon nepropustného podloží 10 % jsou znázorněny na obr. 2. Současně s vykreslením hladiny podzemní vody jsou zde vykresleny i hodnoty naměřené tenzometry při laboratorním experimentu. Výsledky se sklonů 5 % a 18 % jsou obdobné. Chování hladiny podzemní vody potvrzují teoretický předpoklad řešení uvedený v metodice. Tento předpoklad je nutné ověřit i u materiálů s nižší hodnotou nasycené hydraulické vodivosti.

Modelování poklesu hladiny bylo provedeno pouze s použitím hodnot sklonu svahu, nasycené hydraulické vodivosti a počáteční vzdálenosti horního a dolního konce hladiny podzemní vody. Ve výpočtu nebyla použita hodnota efektivní pórovitosti. Pro výpočet odtoku podzemní vody je však nutné tuto hodnotu použít.

ZÁVĚR

Na základě druhé Boussinesqovy aproximace byl odvozen vztah pro modelování poklesu hladiny podzemní vody na svahu po přítoku vody na hladinu podzemní vody. Základem tohoto řešení je, že hladina podzemní vody si zachovává svůj tvar, který je určen pouze sklonem svahu. Pokud není žádný přítok na hladinu, pohybuje se horní konec hladiny směrem se svahu rychlostí koeficientu nasycené hydraulické vodivosti a úměrně tomuto koeficientu se snižuje i maximální výška hladiny nad nepropustným podložím.

Při porovnání výsledků z laboratorního experimentu a hodnot vypočtených pomocí rovnic 4 a 5 můžeme konstatovat, že vypočtené hodnoty vystihují chování hladiny podzemní vody a to i přesto, že k výpočtu nebyla použita efektivní pórovitost.

Literatura

Henderson, F. M., Wooding, R. A. (1964): Overland flow and groundwater flow from a steady rainfall of finite duration. Journal of Geophysical Research, 69 (8), 1531-1540.

Klerk, F. R. (1992): The Programmable Rainfall Simulator. Wageningen Agricultural University.

Lesaffre, B. (1987): Analytical formulae for traverse drainage of sloping lands with constant rainfall. Irrigation and Drainage System, 1 (1), 105-121.

Towner, G. D. (1975): Drainage of groundwater resting on a sloping bed with uniform rainfall. Water Resources Research, 11 (1), 144-147.

Wooding, R. A., Chapman, T. G. (1966): Groundwater flow over a sloping impermeable layer, 1. Applications of the Dupuit-Forchheimer assumption. Journal of Geophysical Research, 71 (12), 2895-2902.

Autor

Jirka Pavlásek, Katedra vodního hospodářství, Fakulta lesnická a environmentální ČZU Praha, Kamýcká 1176, 165 21 Praha 6 – Suchdol, pavlasek@fle.czu.cz

ANALÝZA MAXIMÁLNÍCH PRŮTOKŮ V HORSKÉM POVODÍ „MODRAVA 2“

Jana Ředinová

Článek analyzuje maximální průtoky na experimentálním povodí Katedry vodního hospodářství, Fakulty lesnické a environmentální, České zemědělské univerzity v Praze. Zabývá se kalibrací a validací konceptuálního lineárního modelu, který je založen na konceptu jednotkového hydrogramu. Model se skládá ze čtyř sub-modelů, které analyzují jednotlivé části srážko-odtokového procesu a transformační funkci zkoumaného povodí. Kalibrací je hledána a popsána hydrologická reakce malého povodí. Analyzovány byly události naměřené v letech 1998 – 2000, měsících květnu až říjnu. Validace nakalibrovaných parametrů byla provedena pro dvě vybrané srážko-odtokové události.

Klíčová slova: jednotkový hydrogram, základní odtok, efektivní srážka, kalibrace, verifikace, lineární model

Analysis of maximal discharges in Mountain Watershed “Modrava 2”. *Presented article analyze maximal discharges in experimental watershed of Department of Water Resources, Faculty of Forestry and Environmental Sciences, Czech University of Agriculture, Prague. The article describes calibration and validation of conceptual linear model, which is based on unit hydrograph. This model is composed of four sub-models which analyze separately important processes of rainfall-runoff process and a transformation function of investigated watershed. Model is calibrated in order to find hydrological response of the small watershed. Model calibration has been made on the basis of the rainfall runoff data set from years 1998 – 2002, months May - October, snow model was not applied. Validation of calibrated parameters was made on two independent events.*

Key words: unit hydrograph, base flow, net precipitation, calibration, validation, linear model

---

ÚVOD

Cílem příspěvku je analyzovat maximální průtoky a nalézt funkci popisující hydrologickou reakci zkoumaného povodí, a to prostřednictvím modelu založeného na jednotkovém hydrogramu. Výslednou funkci, která transformuje efektivní srážku na hydrogram odtoku, je možno využít pro předpovědi průtoků na malém šumavském povodí Modrava 2.

K predikci průtoků byl použit jednoduchý konceptuální lineární model: Epizodní model jednotkového hydrogramu. Výpočty byly prováděny prostřednictvím matematického nástroje Scilab.

METODIKA

Použitý model je tvořen několika dílčími sub-modely, je použitelný pro jednotlivé epizody a má hodinový krok. Průtok je předpovídán na základě efektivních hodnot dešťových srážek, které jsou měřenými vstupy.

Sub-model separace základního odtoku

První sub-model rozdělí naměřený odtok na odtok přímý a odtok základní. Vybrána byla metoda přímkové separace, která je často uplatňována pro svou jednoduchost.

Pro účely kalibrace byl základní odtok stanoven přímkovou spojnicí počátečního a koncového průtoku události. V případě epizod vybraných pro validaci byl základní odtok stanoven podle velikosti počátečního průtoku přímkou rovnoběžnou s osou x.

Sub-model stanovení efektivní srážky

Pro potřeby modelu jednotkového hydrogramu je nutné stanovit efektivní srážku. Popisovaný sub-model rozdělí příčinnou srážku na srážku efektivní a ztráty. Byla použita separační křivka podle Kostjakova ve tvaru:

$$Z(t) = \frac{\alpha}{1-\beta} * t^{(1-\beta)}, \qquad (1)$$

kde $Z(t)$ …objem ztrát v čase t (mm),
α, β … empirické parametry (-).

Empirický parametr β byl optimalizován a podroben analýze citlivosti. Míra shody se hodnotila koeficientem determinace. Po nalezení optimálního parametru β byl dopočten druhý empirický parametr α. Přitom bylo dbáno na to, aby se objem efektivní srážky (V_{Pef}) rovnal objemu přímého odtoku.

Sub-model transformace efektivní srážky

Efektivní srážka byla transformována v odtok prostřednictvím jednotkového hydrogramu **U,** který byl odvozen metodou maticové inverze (Kovář 1990) pro vlny z kalibračního souboru podle rovnice:

$$\mathbf{U} = (\mathbf{P}^T \cdot \mathbf{P})^{-1} \cdot \mathbf{P}^T \cdot \mathbf{Q}, \qquad (2)$$

kde $\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m+n-1,1} & \cdots & p_{m+n-1,n} \end{bmatrix}$ … matice pořadnic efektivních srážek,

$\mathbf{Q} = (q_1, \ldots, q_n)^T$ … vektor pořadnic hydrogramů přímého odtoku jednotlivých událostí,
$\mathbf{U} = (u_1, \ldots, u_n)^T$ … vektor pořadnic jednotkového hydrogramu,
m … počet pořadnic efektivního deště a
n … počet pořadnic jednotkového hydrografu.

Pro simulace byl z dílčích jednotkových hydrogramů jednotlivých kalibračních vln vypočten průměrný jednotkový hydrogram, který vyjadřuje výslednou transformační funkci efektivního deště na hydrogram odtoku zkoumaného povodí:

$$U_{prum}(j) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} U_{dil(i)}(j), \qquad (3)$$

kde $\mathbf{U_{dil(i)}}$ … vektor dílčího JH i-té vlny a j-té pořadnice JH,
$\mathbf{U_{prum}}$ … vektor průměrného JH,
n … počet pořadnic JH a
N … počet vln .

Regresní Sub-model pro efektivní srážku

Tento sub-model nalezne optimální vícerozměrnou lineární závislost dvou hledaných charakteristik, kterými jsou celkový úhrn efektivní srážky V_{Pef} (rovnice 4) a časový průběh efektivní srážky (rovnice 5), na dalších charakteristikách povodí (jako je předchozí úhrn srážek, úhrn srážky, která způsobila událost a počáteční průtok). Časový průběh efektivní srážky je dán průběhem křivky ztrát, tedy hodnotami jejích parametrů α a β , byl kalibrován parametr β.

Kalibrovalo se několik variant vícerozměrných závislostí. Výsledné závislosti, které byly využity pro stanovení celkového úhrnu efektivní srážky a jejího časového průběhu při validaci, ukazují rovnice 4 a 5.

A)Pro stanovení úhrnu efektivní srážky:

$$V_{Pef} = I_1 P_{celk} + I_2 q_0 + I_3 P_{pred,5(1)} + I_4 P_{pred,5(2)} + I_5 P_{pred,5(3)} + I_6 P_{pred,5(4)} + C \qquad (4)$$

a

B)Pro stanovení časového průběhu efektivní srážky:

$$\beta = k_1 P_{celk} + k_2 q_0 + k_3 P_{pred,5(1)} + k_4 P_{pred,5(2)} + k_5 P_{pred,5(3)} + k_6 P_{pred,5(4)} + C, \quad (5)$$

kde V_{Pef} … úhrn efektivní srážky,
β … časový průběh efektivní srážky,
P_{celk} … úhrn deště za celou srážko-odtokovou událost,
q_0 … počáteční průtok srážko- odtokové události,
$(P_{pred,5(1),\ ...\ ,} P_{pred,5(4)})$ …předchozí pětidenní srážkové úhrny,
$(k_1, ... , k_6)$ … vektor parametrů **K**,
$(l_1, ... , l_6)$ … vektor parametrů **L** a
C … konstanta.

Kalibrace modelu

Kalibrace se uskutečnila na kalibračním souboru vln (tabulka 1). Byla použita jednorozměrná optimalizace. Nalezená optimální sada parametrů sloužila pro validaci modelu na zkoumaném povodí.

Validace modelu

Ověření nakalibrovaného souboru optimálních parametrů bylo provedeno na validačních srážko-odtokových událostech (tabulka 2). Výstupem z validace jsou simulované hydrogramy průtoku **Qc**.

Qc = Pef . Uprum, (6)

kde **Qc** … vektor pořadnic simulovaného hydrogramu průtoku,
Pef … matice efektivní srážky a
Uprum … vektor pořadnic průměrného JH.

Míra shody simulovaných hydrogramů s naměřenými byla vyhodnocena pomocí vybraných objektivních funkcí:
Koeficient determinace (KD) ukazuje velikost čtvercové odchylky měřených a simulovaných průtoků.
Chyba v době výskytu kulminačního průtoku (ETp) určuje o kolik hodin se kulminace simulované vlny zpozdila nebo předběhla vůči naměřené.
Chyba v predikovaném množství kulminačního průtoku (EQp) vyjadřuje procentickou chybu predikovaného množství kulminačního průtoku ve srovnání s naměřenými daty.
Chyba celkového objemu průtoku (EV) ukazuje o kolik procent se liší celkový objem simulovaného hydrogramu od celkového objemu hydrogramu měřeného.

Popis povodí a výběr srážko-odtokových událostí

Epizodní model byl studován na datech z Modravy 2, což je pracovní název pro povodí Ptačího potoka na SV svahu Malé Mokrůvky na Šumavě. Povodí leží v nadmořské výšce 1180 – 1330 m. n. m, rozloha je 17 ha. V době měření se na něm nacházela paseka.

Seznam kalibračních vln a jejich charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 1, seznam validačních vln s charakteristikami je v tabulce 2. Jednotlivé sloupce v tabulkách představují:

Pcelk…celkový objem srážky, q0…počáteční průtok události,
Vcelk…celkový objem průtoku, Qkulm.…kulminační průtok.

Tab. 1: Kalibrační soubor srážko-odtokových událostí.

Tab. 1: The calibration rainfall runoff data set.

vlna	Pcelk (mm)	Vcelk (mm)	q0 (mm)	Qkulm.(mm)
mo000623	31,00	0,995	0,0260	0,0399
mo000728	31,80	2,264	0,0171	0,2336
mo010618	10,80	2,731	0,0560	0,1150
mo010810	17,60	1,435	0,0194	0,0842
mo010901	27,60	1,274	0,0107	0,0597
mo011107	73,60	21,378	0,0151	1,4597
mo020703	37,00	3,387	0,0337	0,3203
mo980824	26,40	0,270	0,0034	0,0136
mo980906	8,00	0,329	0,0053	0,0144
mo980912	18,00	1,023	0,0044	0,0471
mo981025	19,60	1,905	0,0264	0,1388
mo981027	128,60	49,950	0,0270	3,2485
mo981101	26,40	8,149	0,0687	0,6423

Tab. 2: Validační soubor srážko-odtokových událostí.

Tab. 2: The validation rainfall runoff data set.

vlna	Pcelk (mm)	Vcelk (mm)	q0 (mm)	Qkulm.(mm)
mo021005	36,20	7,649	0,0293	0,4571
mo980914	125,60	36,033	0,0103	2,2391

Data pro povodí Modravy 2 byla měřena v dvouminutovém a čtyřminutovém kroku a pak agregována do kroku hodinového. K dispozici byla měření z let 1998 – 2002. Měření probíhala během letních měsíců.

VÝSLEDKY

Výsledkem analýzy je simulace dvou validačních vln, jejich grafy jsou na obrázku 1 a 2.

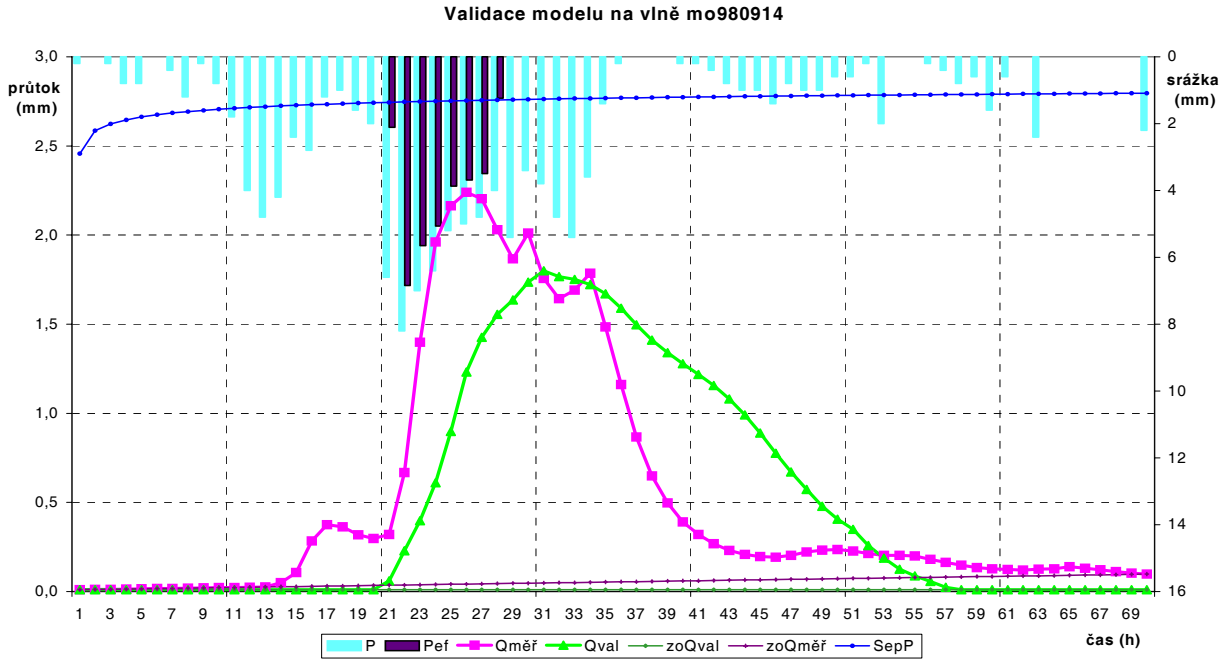
Míra shody simulovaných a měřených dat byla hodnocena pomocí čtyř ukazatelů, jejichž výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3:

Koeficient determinace určuje, že vlnu mo980914 se podařilo nasimulovat z 55,1% a vlnu mo021005 z 70,5%. Kladné hodnoty ETp znamenají zpoždění simulované kulminace. Záporné hodnoty (EQp) naznačují, že kulminační průtok simulovaného hydrogramu je v obou případech nižší než u měřeného hydrogramu. U vlny mo980914 je celkový objem simulované vlny o 2,35% menší a u vlny mo021005 je objem simulovaného hydrogramu o 0,41% vetší.

Tab. 3: Srovnání měřených a simulovaných průtoků.

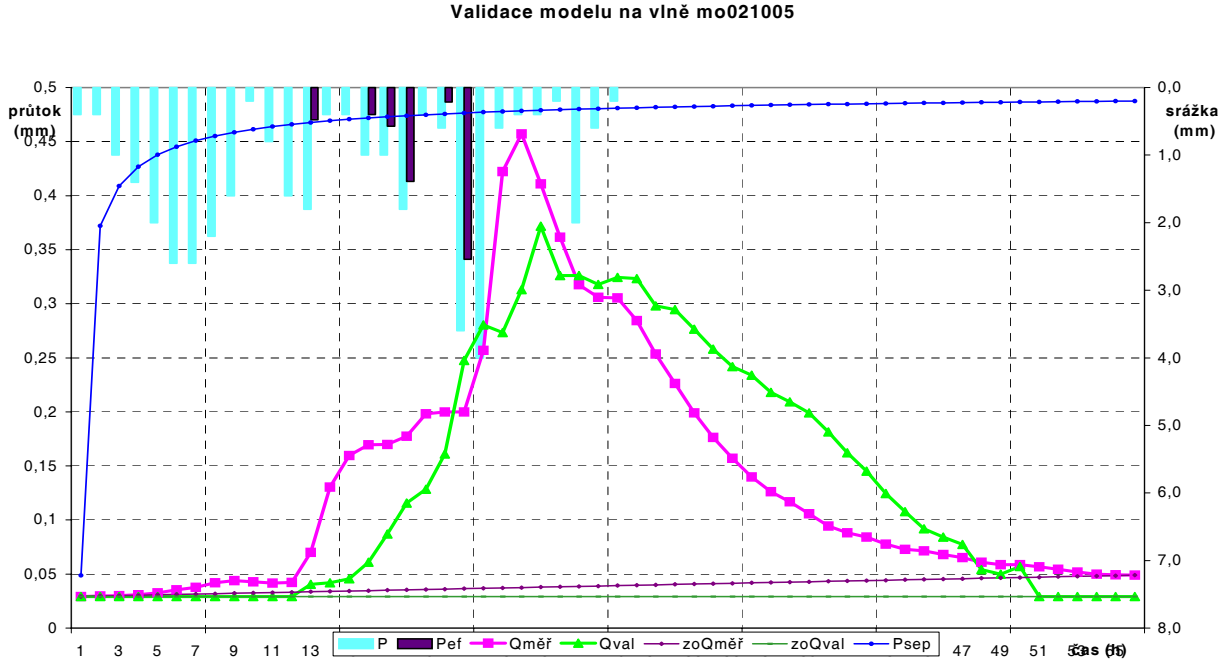
Tab. 3: The comparison of measured and simulated discharges

vlna	KD (-)	ETp (h)	EQp (%)	EV (%)
mo021005	0,704906	1	-18,6625	0,407967
mo980914	0,550911	5	-19,6553	-2,3556



Obr. 1: Validace vlny mo980914.

Fig. 1: Validation of event mo980914.



Obr. 2: Validace vlny mo021006.

Fig. 2: Validation of event mo021006.

Legenda:

P	srážka
Pef	efektivní srážka
Psep	separační křivka srážky
Qměř	měřený průtok
Qval	průtok validace vlny
zo Qměř	- základní odtok Qměř
zo Qval	- základní odtok Qval

DISKUZE

Epizodním modelem jednotkového hydrogramu byly kalibrovány a následně validovány srážko-odtokové události vybrané z povodí Modravy 2. Použitý model pracuje s efektivními hodnotami měřených vstupů – efektivní srážkou a přímým odtokem. Efektivní srážky byly transformovány na výsledný hydrogram přímého odtoku. Koeficientem determinace byla zjištěna míra shody simulovaného hydrogramu s hydrogramem měřeným.

Koeficient determinace validace vlny mo021005 má hodnotu 0,7 (její P_{celk} = 36,2 mm), u druhé, větší vlny, mo980914 je KD jen 0,55 (P_{celk} = 125,6 mm). V kalibračním souboru byla pouze jedna další vlna s P_{celk} > 100 mm (128,6 mm u vlny mo981027). Příčinou nízkého KD u vlny mo980914 může být právě malý počet vln s P_{celk} > 100 mm v kalibračním souboru.

Další objektivní funkcí, kterou byly validace hodnoceny, bylo množství kulminačního průtoku (EQp). U obou validovaných vln je kulminační průtok přibližně o 20% nižší, než bylo naměřeno, model jej podhodnocuje. Simulovaný průtok je u vlny mo021005 zpožděn (ETp) o 1 hodinu a u vlny mo980914 o 5 hodin. Chyba celkového objemu průtoku (EV) se liší maximálně o 2,35%, což je přijatelné.

Nižší hodnoty KD jsou zapříčiněny nepřesnostmi v měřených datech a nedostatečným počtem kalibrovaných vln. Pro příští kalibrace epizodního modelu jednotkového hydrogramu by bylo vhodné pracovat s větším souborem dat obohaceným především o velké srážko-odtokové události. Také toho důvodu na Katedře vodního hospodářství ČZU v Praze pokračuje kontinuální měření. Další příčinou jsou zjednodušující předpoklady modelu jednotkového hydrogramu. Velikost základního odtoku je pouhým odhadem skutečnosti, jeho objem je velmi obtížné stanovit. Dominantní vliv na množství odtoku mají srážky, proto je pro model jednotkového hydrogramu určující jejich správná separace. Sub-model stanovení efektivní srážky byl proto podroben kalibraci. Míra shody mezi simulovanými a měřenými efektivními srážkami byla opět vyhodnocena koeficientem determinace. Úhrny modelované efektivní srážky v jednotlivých hodinách se přibližují ke skutečnému průběhu procesu.

Model byl nakalibrován na předpověď srážko-odtokových událostí. Pro vlny s celkovým úhrnem deště P_{celk} < 50 mm je možno použít nakalibrované parametry, jak jsou popsány v tomto článku. Pro simulace vln s P_{celk} > 100 mm by bylo vhodné model znovu nakalibrovat s větší počtem srážko-odtokových událostí s vyšším úhrnem srážky, tak aby poskytoval vyšší hodnoty objektivních funkcí.

Literatura

BEVEN K. J. 2001: Rainfall – runoff modelling. John Wiley and Sons, s 360.

BLAŽKOVÁ Š. 1993: Srážkoodtokové modelování založené na principu jednotkového hydrogramu. VÚV Praha, 114 s.

EPA 1998: Estimation of Infiltration Rate in Vadose Zone: Compilation of Simple Mathematical Models. Environmental Protection Agency, National Rise Management Research Laboratory, Ada OK 74820, 14 s

KOVÁŘ P. 1990: Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích. VŠZ Praha, 136 s.

VIESSMAN W. 1996: Introduction to Hydrology. HarperCollins College Publisher, New York, USA.

Autor

Jana Ředinová, Katedra vodního hospodářství, Fakulta lesnická a environmentální, ČZU v Praze, Kamýcká ul., Praha 6 – Suchdol, 160 00, redinova@fle.czu.cz.

HODNOTENIE PROGNÓZOVANEJ AKTUÁLNEJ A POTENCIÁLNEJ EVAPOTRANSPIRÁCIE S OHĽADOM NA OČAKÁVANÚ KLIMATICKÚ ZMENU

Katarína Stehlová

Dôsledok nepriaznivého vplyvu očakávanej klimatickej zmeny na rôzne oblasti spoločensko-ekonomického života na našej planéte je reálnou hrozbou blízkeho i budúceho obdobia. Informácie o priestorovom a časovom rozložení zložiek rovnice vodnej bilancie majú veľký význam pri riešení celého radu teoretických i praktických otázok v mnohých odvetviach spoločenského života a pri tvorbe a ochrane životného a prírodného prostedia. Jedným z dôležitých prvkom, ktorý bude výrazne ovplyvňovaný prognózovaným nárastom teplôt a úbytkom zrážok, je evapotranspirácia. V práci bol riešený účinok očakávaných klimatických zmien na zmenu množstva aktuálnej a potenciálnej evapotranspirácie na nížinnom území. Záujmová lokalita je situovaná na Žitnom ostrove, konkrétne v katastri obce Bodíky. Prevažujúcim ekosystémom na danej lokalite je topoľový porast. Keďže nie sú k dispozícii priame dlhodobé merania evapotranspirácie na záujmovom území, tento člen hydrologickej bilancie bol vypočítaný použitím modelu GLOBAL. Výpočet prebiehal v dennom kroku pre 30-ročné referenčné obdobie (1955-84) a pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075. Do výpočtu boli použité viaceré rady vstupných údajov, z ktorých klimatické prvky (teplota vzduchu, zrážky, slnečný svit, rýchlosť vetra a tlak vodných pár) boli upravené podľa scenárov klimaticej zmeny z výstupov modelov všeobecnej cirkulácie CCCM2000 (Kanadské stredisko pre klimatické modelovanie a analýzu vo Victorii, Britská Kolumbia, Kanada) a GISS98 (Goddardov ústav pre vesmírne štúdie pri NASA v USA).

Kľúčové slová: evapotranspirácia, GLOBAL, klimatické zmeny

Assessment of the actual and potential evapotranspiration estimates with regard to prognosis of the climate change. *The result of negative climate change impact on various areas of socio-economical live all over the world is a real threat in the present day and the future. The information about spatial and temporal distribution of the water balance members has a great significance for solution of theoretical and practical questions in many social fields and for creation and protection of natural environment. The evapotranspiration as one of the important components of the water balance is excessively influenced by prognosticated temperature increase and precipitation decrease. In this work was evaluated the modelled climate change impact on estimates of the daily actual and potential evapotranspiration totals at a lowland location. The locality of interest is lying at southwest of Slovakia on Rye island (Zitny ostrov), in the area of Bodiky. The poplar constitutes the main vegetation of this locality. The continuous long-time data sets of the evapotranspiration measurements are lacking. Therefore was this water balance member calculated by mathematical model GLOBAL. Calculation was realised with daily time step for 30-years period (reference period is 1955 to 1984) and for time horizons 2010, 2030 and 2075. There were used several input data sets there, of which the climate parameters (air temperature, precipitation totals, sunshine duration, wind velocity and water vapour) were adjusted by climate change scenarios CCCM2000 (Canadian Centre for climate modelling and analysis, Victoria, British Columbia, Canada) and GISS98 (Goddard institute for space studies, New York, USA).*

Key words: evapotranspiration, GLOBAL, climate change

ÚVOD

Informácie o priestorovom a časovom rozložení zložiek rovnice vodnej bilancie majú veľký význam pri riešení celého radu teoretických i praktických otázok v mnohých odvetviach spoločenského života a pri tvorbe a ochrane životného a prírodného prostedia. Pojmom bilancia vody sa označuje algebraický súčet prítokov a odtokv vody v definovanom priestore za zvolený časový interval. Vodný (hydrologický) cyklus sa začína zrážkami alebo závlahou, ktoré dopadajú na povrch Zeme. V závislosti na vlastnostiach mikroreliéfu, na sklone povrchu a na vlastnostiach porastu časť dopadajúcej vody odtečie, časť vsiakne do pôdy a časť sa vyparí. Vyparovanie je jednou z najdôležitejších zložiek bilancie vody nielen preto, že patrí k najväčším členom rovnice bilancie vody, ale predovšetkým preto, lebo je súčasťou procesu produkcie biomasy. Napriek veľkému významu procesu vyparovania z pôdy pokrytej porastom naše poznatky o tomto porcese sú neuspokojivé. Je obtiažne získať informácie o

evapotranspirácii a jej štruktúre z oblastí s rozdielnymi vlastnosťami vyparujúcich povrchov. Jedným z dôležitých faktorov ovplyvňujúcich proces evapotranspirácie sú klimatické podmienky. S očakávanými klimatickými zmenami sa teda budú meniť aj trendy evapotranspirácie a časové chody ostatných prvkov vodnej bilancie. Touto problematikou sa zaoberá celý rad štúdií. Významnou literatúrou v tejto oblasti je Národný klimatický program. Hodnotením členov hydrologickej bilancie sa venovali napr. autori Tomlain (1997), Petrovič (2000), Takáč (2001) a i.

Mnohí riešitelia zaoberajúci sa problematikou klimatických zmien využívajú údaje najmä z modelov všeobecnej cirkulácie (GCMs) CCCM (Kanadské stredisko pre klimatické modelovanie a analýzu vo Victorii, Britská Kolumbia, Kanada) a GISS (z Goddardovho ústavu pre vesmírne štúdie pri NASA v USA). Podrobnejší popis spomínaných modelov a ich výstupov je uvedený v prácach Lapin et al. (2000, 2001, 2002 a 2003).

Predkladaný článok nadväzuje na štúdiu Stehová (2004), kde boli hodnotené vybrané prvky vodnej bilancie v časovom horizonte 2010, 2030 a 2075 na lokalite Bodíky. Cieľom tejto práce bol výpočet prognózovanej aktuálnej a potenciálnej evapotranspirácie pre vybranú lokalitu pomocou modelu GLOBAL pre časový horizont 2010, 2030 a 2075 a následne porovnanie získaných časových priebehov týchto členov s referenčným obdobím 1955-84. Klimatická zmena bola riešená pomocou zmeny meteorologických charakteristík upravených klimatickými scenármi CCCM2000 a GISS98 (Lapin, 2001).

Model GLOBAL

Na výpočet evapotranspirácie bol použitý model GLOBAL (Majerčák, Novák 1994), ktorý simuluje vertikálny tok vody v pôdnom profile s osobitným zreteľom na koreňovú zónu. Základom modelu je jednorozmerný tvar Richardsovej nelineárnej parciálnej diferenciálnej rovnice pre transport vody v pórovitom prostredí.

$$\frac{\partial h_w}{\partial t} = \frac{1}{c(h_w)} \frac{\partial}{\partial z}\left[k(h_w)\left(\frac{\partial h_w}{\partial z} + 1 \right)\right] - \frac{S(z,t)}{c(h_w)} \qquad (1)$$

kde h_w je vlhkostný potenciál pôdy, z je vertikálna súradnica, $k(h_w)$ - nenasýtená hydraulická vodivosť pôdy, $S(z,t)$ - intenzita odberu vody koreňmi rastlín z jednotkového objemu pôdy za jednotku času $(m^3/m^3).d^{-1}$, $c(h_w) = \partial\theta/\partial h_w$ a θ- objemová vlhkosť pôdy (m^3/m^3).

Intercepcia sa v modeli počíta zjednodušenou verziou metódy publikovanej Benetinom a kol. (1985), ktorá využíva aproximáciu podľa Ruttera et al. (1975). Intenzita odberu vody koreňmi závisí od ontogenézy modelovaného porastu. Je funkciou času a hĺbky odberu pôdnej vody koreňmi pod povrchom terénu. Princíp použitej metódy výpočtu intenzity odberu vody koreňmi bol publikovaný Feddesom et al. (1978). Metóda na základe ktorej pracuje model GLOBAL bola publikovaná Novákom (1987). Na výpočet evapotranspirácie bola použitá metóda navrhnutá Novákom (1989). Metóda je založená na princípoch publikovaných Penmanom (1948). a je modifikovaná tak, aby umožňovala výpočet evapotranspirácie z ľubovolného vyparujúceho povrchu.
Výpočet prebieha v nasledujúcom slede:

1. oblasť je rozdelená do sekcií podľa vyparujúceho povrchu,
2. pre každý povrch je vypočítaná radiácia,
3. odhadne sa evapotranspirácia pre každý typ vyparujúceho povrchu,
4. celková evaportanspirácia oblasti sa odhadne sumarizáciou evapotranspirácie všetkých vyparujúcich povrchov.

Vyparujúci povrch je charakterizovaný albedom (α), koeficientom drsnosti (z_o), nulovou honotou úrovne porastu (d) a indexom listovej pokryvnosti (LAI).
Potenciálna evapotranspirácia je vypočítaná generalizovanou Penmanovou metódou:

$$E_0 = \frac{\varphi.(R-G) + \rho_a.c_p.(1/r_a).d'}{c_p + L.\varphi} \quad (2)$$

kde

E_0 – intenzita potenciálnej evapotranspirácie za 24 hodín [W.m^{-2}],
R – priemerná denné intenzita radiačnej bilancie [W.m^{-2}],
G – tok tepla do pôdy [W.m^{-2}], pri výpočte denných úhrnov výparu G=0
L – skupenské teplo vyparovania (L=2,46.10^6 J.kg^{-1} pri teplote T = 20°C),
d´ –sýtostný doplnok,
φ – celkový potenciál vody v pôdnom prostredí [J.kg^{-1}],
ρ_a – hustota vzduchu, je funkciou teploty vzduchu [kg.m^{-3}],
c_p – špecifická teplotná kapacita vzduchu pri konštantnom tlaku [kg.kg^{-1}],
r_a – aerodynamický odpor pre prúdenie vodnej pary z povrchu listu do atmosféry [s.m^{-1}],
$1/r_a$ – koeficient turbulentnej difúzie [m.s^{-1}].

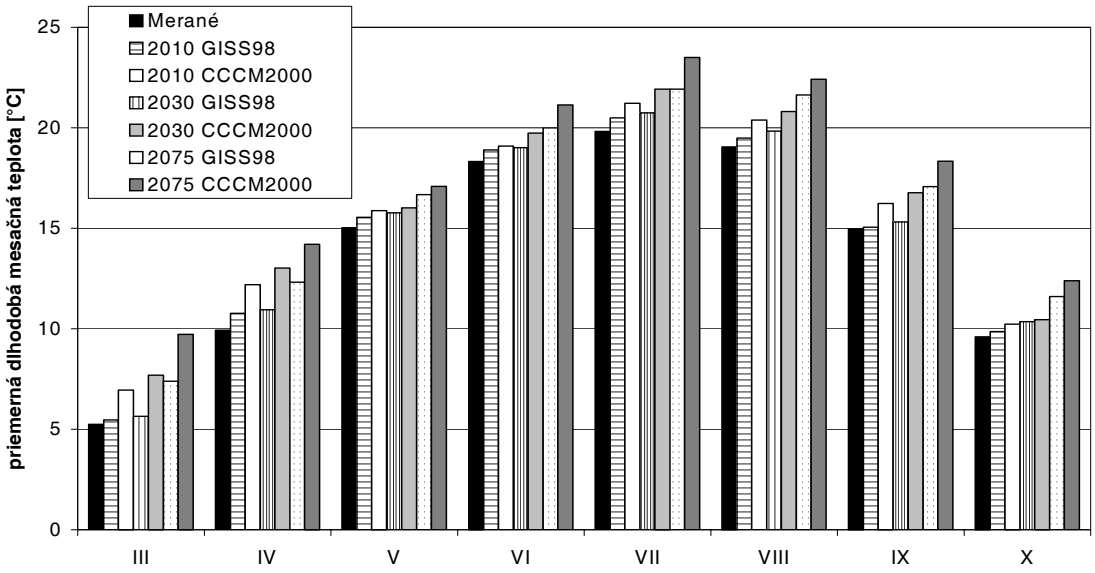
METODICKÝ POSTUP

Na štúdiu bola vybraná záujmová lokalita Bodíky, ktorá leží na Žitom ostrove., v°inundačnej oblasti Dunaja. Daná lokalita bola vybratá z toho dôvodu, že boli na nej organizované merania počiatočných a okrajových podmienok potrebných ako vstupy do modelovania pre výpočet členov hydrologickej bilancie zóny aerácie pôdy. V uvedenej oblasti sa nachádza prevažne topoľový porast (Novák et al., 1998). Pôda je hlinitá až hlinitopiesočnatá a v hĺbke 120 cm prechádza do pieskov, ktoré na úrovni asi 150 cm pod povrchom terénu vystrieda štrkovité podložie. Hydrofyzikálne charakteristiky pre uvedenú lokalitu boli zistené na vzorkách o objeme 100 cm^3, odobratých priamo na mieste monitorovania. Pre uvedenú lokalitu boli zovšeobecnené v monografii (Šútor, Štekauerová, 2000). Monitoring vlhkosti pôdy bol vykonávaný neutrónovou sondou, v intervaloch po 10 cm od povrchu pôdy až po hladinu podzemnej vody, počas roku 1999 (Štekauerová, Nagy, 2001). V ďalšej literatúre (Štekauerová a kol., 2001) boli kvantifikované zložky vodnej bilancie v zóne aerácie tejto záujmovej oblasti pomocou modelu GLOBAL.

Po predchádzajúcej analýze vstupných údajov (Stehlová, Mikulec, 2003, 2004), boli do modelovania použité vstupné dáta vo variante, ktorý dával najreprezentatívnejšiu informáciu o vlhkosti po hĺbke pôdneho profilu vzhľadom na uskutočnený monitoring, kde bol uvažovaný homogénny profil a dolnú okrajovú podmienku tvoril vlhkostný potenciál v hĺbke 150 cm pod povrchom terénu. Počiatočnou podmienkou do matematického modelovania bol počiatočný priebeh vlhkosti po hĺbke pôdneho profilu. Hornú okrajovú podmienku tvorili klimatické a fenologické charakteristiky.

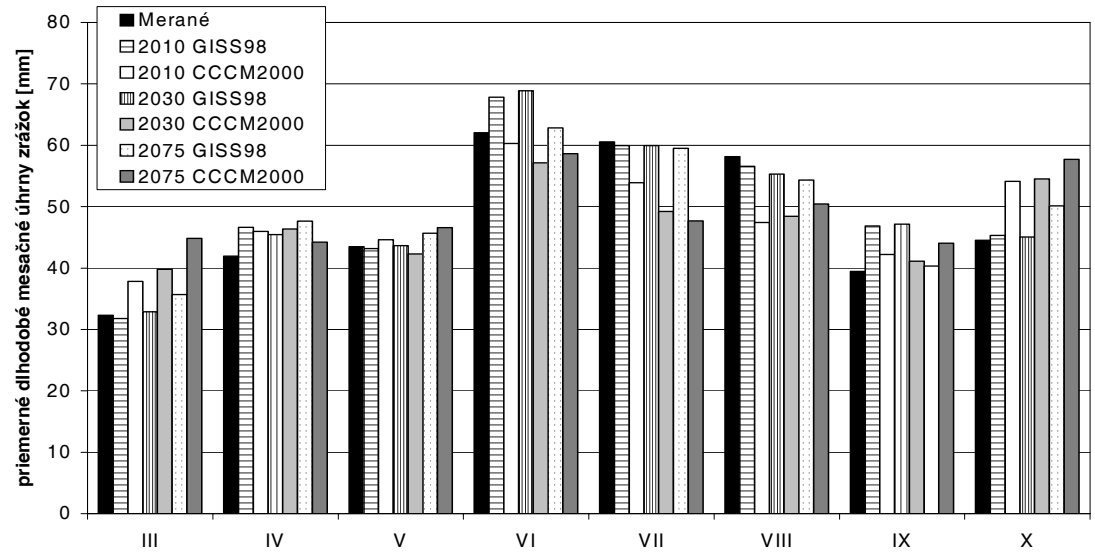
Na úpravu klimatických charakteristík boli použité scenáre klimatickej zmeny pre Slovensko vypracované na základe výstupov prepojených modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry CCCM2000 a GISS98 (Lapin a kol., 2001). Ide o scenáre zmien mesačných priemerov teploty vzduchu [°C], scenáre (kvocienty) zmien mesačných úhrnov zrážok, scenáre (kvocienty) zmien mesačných súm globálneho žiarenia, scenáre (kvocienty) zmien mesačných priemerov mernej vlhkosti vzduchu (možné použiť aj pre tlak vodnej pary) a scenáre (kvocienty) zmien mesačných priemerov rýchlosti vetra. Pretože referenčným obdobím boli zvolené roky 1955 až 1984 vyššie uvedené scenáre klimatických zmien, boli upravené pomocou korekčných odchýlok a kvocientov (vypracovaných prof. Lapinom z FMFI UK, Bratislava).

Novo vytvorené scenáre klimatických zmien v horizonte 2010, 2030 a 2075 pre referenčné obdobie 1955-84 boli použité na vytvorenie časových radov denných hodnôt vybraných meteorologických charakteristík, ktoré slúžili ako jeden zo vstupov na výpočet členov hydrologickej bilancie v časovom horizonte 2010, 2030 a 2075 pomocou simulácie v modely GLOBAL. Ukážky rozdielov dlhodobých priemerov alebo úhrnov 30-ročných radov jednotlivých meteorologických charakteristík za mesiace vegetačného obdobia sú uvedené na Obr. 1 až 5.



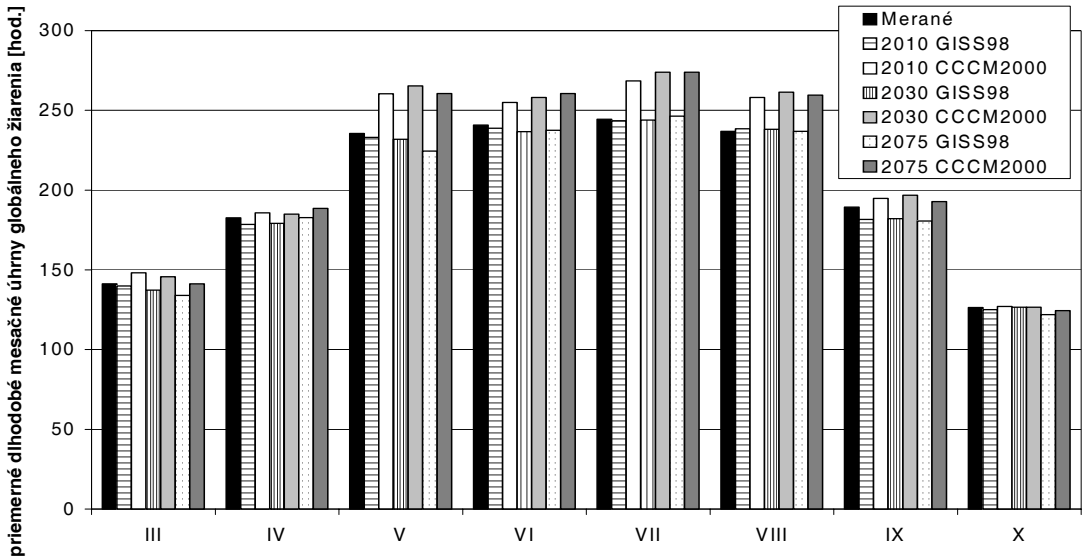
Obr. 1 Porovnanie priemerov teploty vzduchu v mesiacoch vegetačného obdobia (marec až október) zo stanice Gabčíkovo v období 1955-84 a upravených hodnôt podľa scenárov GISS98 a CCCM2000 v období 1996-2025, 2016-2045 a 2061-90

Fig. 1 Comparison of average air temperature in months of vegetation period (March to October) for gauge station Gabcikovo in period 1955-84 and adjusted values by scenarios GISS98 and CCCM2000 in 30-years horizons 2010, 2030 and 2075



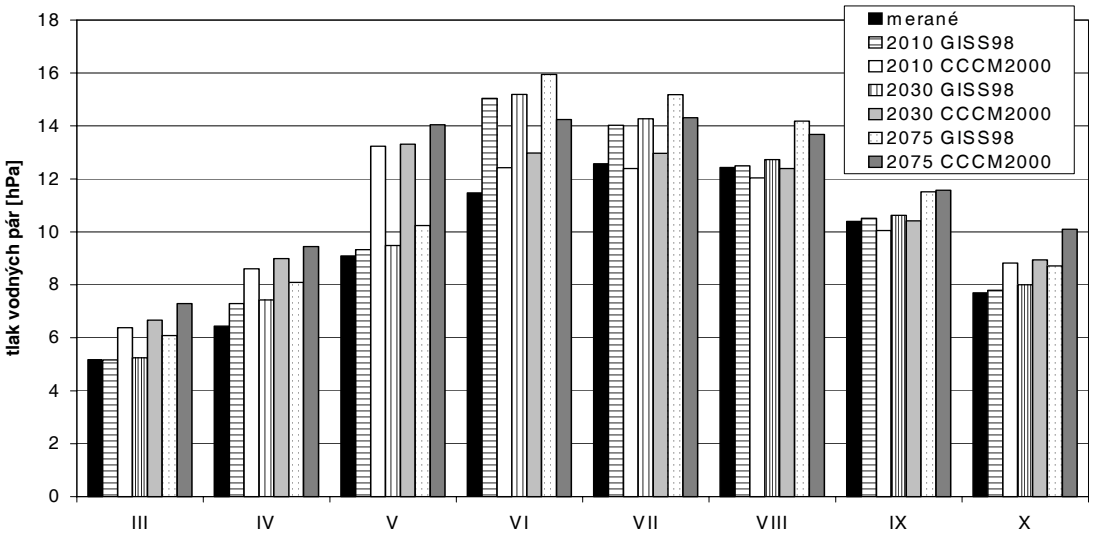
Obr. 2 Porovnanie mesačných zrážkových úhrnov v mesiacoch vegetačného obdobia (marec až október) zo stanice Gabčíkovo v období 1955-84 a upravených hodnôt podľa scenárov GISS98 a CCCM2000 v období 1996-2025, 2016-2045 a 2061-2090

Fig. 2 Comparison of average precipitation totals in months of vegetation period (March to October) for gauge station Gabcikovo in period 1955-84 and adjusted values by scenarios GISS98 and CCCM2000 in 30-years horizons 2010, 2030 and 2075



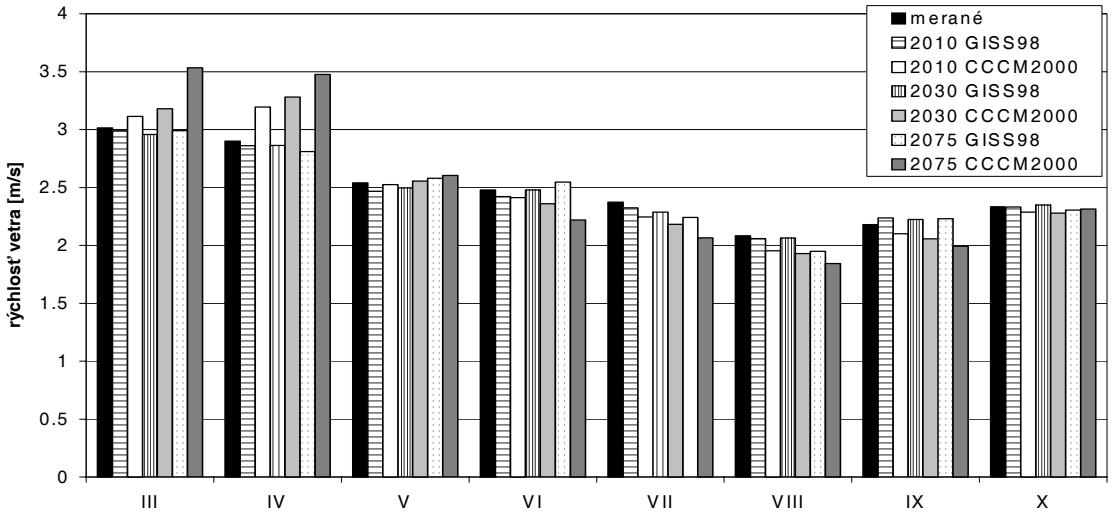
Obr. 3 Porovnanie globálneho žiarenia v mesiacoch vegetačného obdobia (marec až október) zo stanice Gabčíkovo v období 1955-84 a upravených hodnôt podľa scenárov GISS98 a CCCM2000 v období 1996-2025, 2016-2045 a 2061-2090

Fig. 3 Comparison of sunshine duration in months of vegetation period (March to October) for gauge station Gabcikovo in period 1955-84 and adjusted values by scenarios GISS98 and CCCM2000 in 30-years horizons 2010, 2030 and 2075



Obr. 4 Porovnanie tlaku vodných pár v mesiacoch vegetačného obdobia (marec až október) zo stanice Gabčíkovo v období 1955-84 a upravených hodnôt podľa scenárov GISS98 a CCCM2000 v období 1996-2025, 2016-2045 a 2061-2090

Fig. 4 Comparison of water vapour in months of vegetation period (March to October) for gauge station Gabcikovo in period 1955-84 and adjusted values by scenarios GISS98 and CCCM2000 in 30-years horizons 2010, 2030 and 2075



Obr. 5 Porovnanie priemernej rýchlosti vetra v mesiacoch vegetačného obdobia (marec až október) zo stanice Gabčíkovo v období 1955-84 a upravených hodnôt podľa scenárov GISS98 a CCCM2000 v období 1996-2025, 2016-2045 a 2061-2090

Fig. 5 Comparison of wind velocity in months of vegetation period (March to October) for gauge station Gabcikovo in period 1955-84 and adjusted values by scenarios GISS98 and CCCM2000 in 30-years horizons 2010, 2030 and 2075

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Potenciálna a aktuálna evapotranspirácia bola vypočítaná pre časový horizont 2010, 2030 a 2075 a pre referenčné obdobie 1955-84.

Výsledky sú spracované v grafickej a tabelárnej forme. Nakoľko neboli k dispozícii celoročné denné hodnoty niektorých zo vstupných charakteristík do modelu GLOBAL, vyhodnotené sú len mesiace vegetačného obdobia (apríl až október) a vegetačné obdobie (VO) ako celok.

V tabuľkách 1 a 2 sú uvedené vypočítané mesačné úhrny evapotranspirácie a tiež úhrn za celé vegetačné obdobie (IV-X). V poslednom stĺpci je uvedený percentuálny nárast alebo pokles oproti hodnote z referenčného obdobia 1955-84.

Na Obr. 6 je zobrazený prognózovaný časový chod aktuálnej evapotranspirácie pre časový horizont 2010, 2030 a 2075 (čo vlastne reprezentuje tridsaťročný rad mesačných hodnôt za obdobie 1996 až 2025, 2016-2045 a 2061-2090), vyhodnotený pre mesiace vegetačného obdobia (IV-X). Ako je možné vidieť z obrázku 6, časový chod danej veličiny vypočítanej s použitím vstupných radov upravených meteorologických charakteristík podľa scenárov CCCM2000 a GISS98 v modely GLOBAL dobre vystihuje časový priebeh vypočítaný s použitím meteorologických charakteristík referenčného obdobia 1955-84.

Úhrn aktuálnej evapotranspirácia za vegetačné obdobie podľa CCCM2000 predpokladá v horizonte 2010 úbytok o 0,39 % oproti Eta referenčného obdobia (Tab. 1). Nárast hodnôt je prognózovaný v časovom horizonte 2075, a to o 1,52 %. Hodnoty úhrnov Eta vypočítaných pomocou vstupných upravených meteorologických charakteristík podľa scenárov GISS98 predpokladajú nárast vo všetkých troch horizontoch. Najväčší rozdiel, 2,69 %, je v horizonte 2075.

Tab. 1 Priemerné mesačné úhrny aktuálnej evapotranspirácie a úhrny za vegetačné obdobie (IV-X) vypočítané pre referenčné obdobie 1955-84 a časový horizont 2010, 2030 a 2075 (scenáre CCCM2000 a GISS98) v lokalite Bodíky

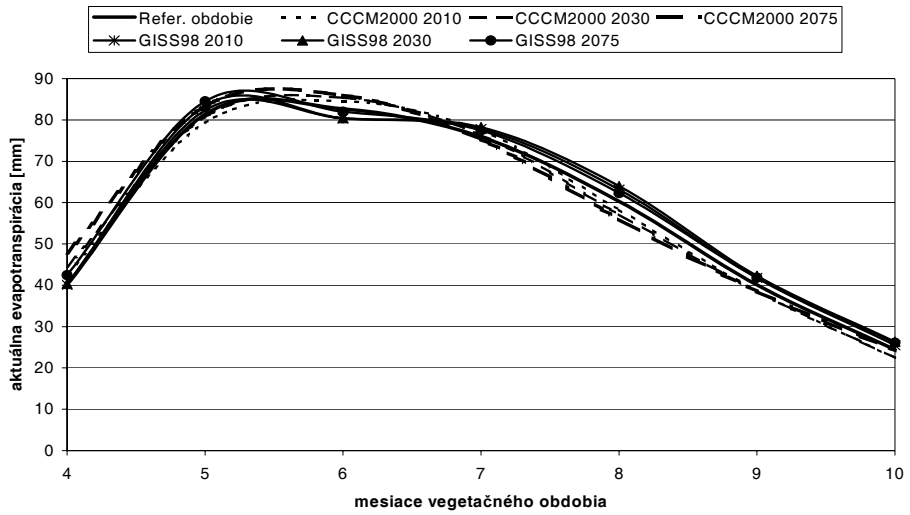
Tab. 1 Average monthly totals of actual evapotranspiration a total for vegetation period (IV-X) calculated for reference period 1955-84 and time horizons 2010, 2030 and 2075 (scenario CCCM2000 and GISS98) at locality Bodíky

Mesiac	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**VO**	
Aktuálna evapotranspirácia ETa [mm]								[mm]	[%]
Refer.obdobie (1955-84)	40.19	81.37	82.69	75.88	60.28	40.11	24.43	404.96	**100.00**
CCCM2000 2010	42.79	79.34	84.50	77.40	58.26	38.64	22.45	403.38	**99.61**
CCCM2000 2030	44.50	80.72	85.36	76.28	57.16	38.49	22.45	404.95	**100.00**
CCCM2000 2075	47.82	83.32	85.99	75.31	56.00	38.51	24.16	411.12	**101.52**
GISS98 2010	40.10	82.35	80.38	77.79	63.16	41.76	25.49	411.03	**101.50**
GISS98 2030	40.33	83.45	80.46	78.26	64.00	42.29	26.35	415.14	**102.51**
GISS98 2075	42.45	84.53	81.99	77.49	62.29	41.84	26.12	416.71	**102.90**

Tab. 2 Priemerné mesačné úhrny potenciálnej evapotranspirácie a úhrny za vegetačné obdobie (IV-X) vypočítané pre referenčné obdobie 1955-84 a časový horizont 2010, 2030 a 2075 (scenáre CCCM2000 a GISS98) v lokalite Bodíky

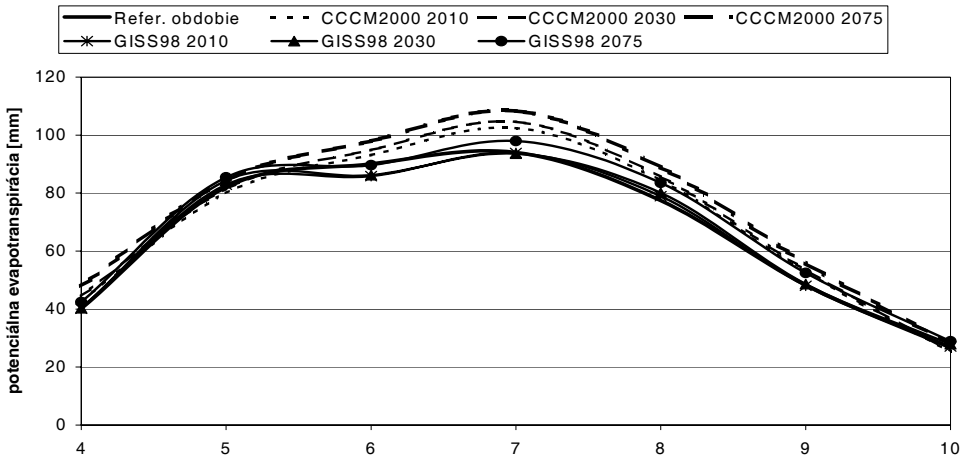
Tab. 2 Average monthly totals of potential evapotranspiration a total for vegetation period (IV-X) calculated for reference period 1955-84 and time horizons 2010, 2030 and 2075 (scenario CCCM2000 and GISS98) at locality Bodíky

Mesiac	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**VO**	
Potenciálna evapotranspirácia ETo [mm]								[mm]	[%]
Refer.obdobie (1955-84)	40.19	82.06	90.08	94.00	77.48	48.33	26.67	458.80	**100.00**
CCCM2000 2010	42.80	80.05	93.10	102.42	84.36	52.74	25.23	480.70	**104.77**
CCCM2000 2030	44.52	81.46	94.89	104.62	85.61	53.60	25.46	490.17	**106.84**
CCCM2000 2075	47.87	84.57	97.99	108.38	88.93	55.77	27.87	511.36	**111.46**
GISS98 2010	40.10	82.94	85.87	93.87	78.97	48.07	27.11	456.93	**99.59**
GISS98 2030	40.33	84.34	86.22	93.61	80.14	48.60	27.91	461.15	**100.51**
GISS98 2075	42.45	85.45	89.65	97.96	83.54	52.46	28.96	480.48	**104.72**



Obr. 6 Časový priebeh aktuálnej evapotranspirácie vo vegetačnom období v porovnaní s referenčným obdobím

Fig. 6 Time progress of actual evapotranspiration in vegetation period in comparison with reference period



Obr. 7 Časový priebeh potenciálnej evapotranspirácie vo vegetačnom období v porovnaní s referenčným obdobím

Fig. 7 Time progress of potential evapotranspiration in vegetation period in comparison with reference period

Obr. 7 zobrazuje časový chod predpokladanej potenciálnej evapotranspirácie Et_0 na lokalite Bodíky. Rozdiely hodnôt analyzovanej charakteristiky získanej použitím vstupných meteorologických charakteristík upravených scenármi GISS a CCCM a výpočítanej v modeli GLOBAL sú v porovnaní s hodnotami Et_0 RO rozdielne, najmä v strede vegetačného obdobia (VI-VIII). Hodnoty Et_0 CCCM2000 sú vyššie v porovnaní s Et_0 RO a Et_0 GISS98. Najväčší nárast je predpokladaný pri prognózovanom časovom priebehu Et_0 CCCM2000 v horizonte 2075 a to v mesiaci júl približne o 15 mm oproti Et_0 RO.

Predpokladaný úhrn potenciálnej evapotranspirácie za VO narastie v časovom horizonte 2075 o 11,46% podľa CCCM2000 a o 4,72 % podľa GISS98 (Tab. 2). V horizonte 2010 je prognózovaný úbytok úhrnu Et_0 podľa GISS o 0,41 % v porovnaní s Et_0 RO.

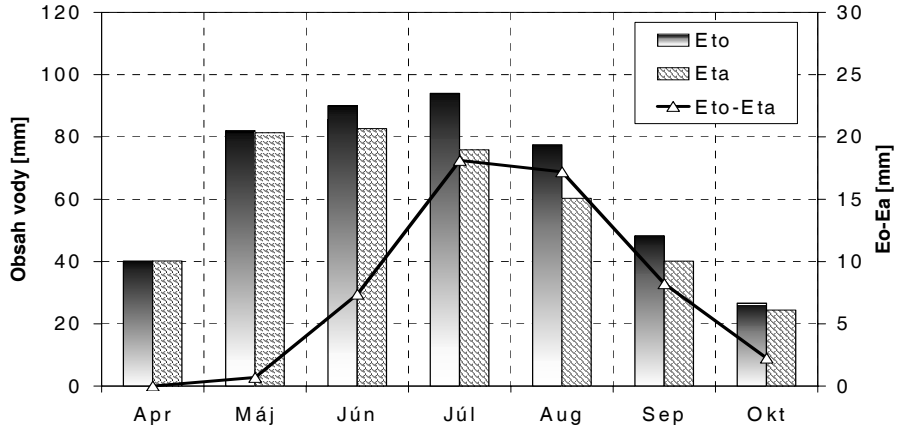
Rozdiel a pomer medzi potenciálnou a aktuálnou evapotranspiráciou je vypočítaný v Tab.3. Porovnanie časových chodou týchto prvkov je na Obr. 8 až 14.

Porovanie potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie v jednotlivých časových horizontoch a pre referenčné obdobie 1955-84 je uvedené v tabuľke 3 a v grafickej forme (obr. 8 až 14). Najväčšie rozdiely medzi potenciálnou a aktuálnou evapotranspiráciou sú v letných mesiacoch a to hlavne v júli a auguste. Et_0 prevyšuje Eta z dôvodu vysokých teplôt a nedostatočného množstva zrážkových úhrnov v tomto období. Rozdiel Et_0-Eta, vypočítaný z modelových výstupov s použitím scenárov CCCM2000 predpokladá vyššie hodnoty v porovnaní s referenčným obdobím. V horizonte 2010 je to asi 26 mm (obr. 9), v horizonte 2030 je to okolo 28 mm (obr. 10) a v horizonte 2075 ide o hodnotu približne 33 mm (obr. 11). Rozdiel Et_0-Eta, vypočítaný z modelových výstupov s použitím scenárov GISS98 predpokladá nižšiu hodnotu oproti hodnotám vypočítaných pre referenčne obdobie. V horizonte 2010 a 2030 je maximálna hodnota približne 16 mm (obr. 12 a 13) a 21 mm v horizonte 2075 (obr. 14). Na začiatku a na konci vegetačného obdobia sa hodnohy Eto a Eta vyrovnávajú.

Tab. 3 Porovnanie potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie

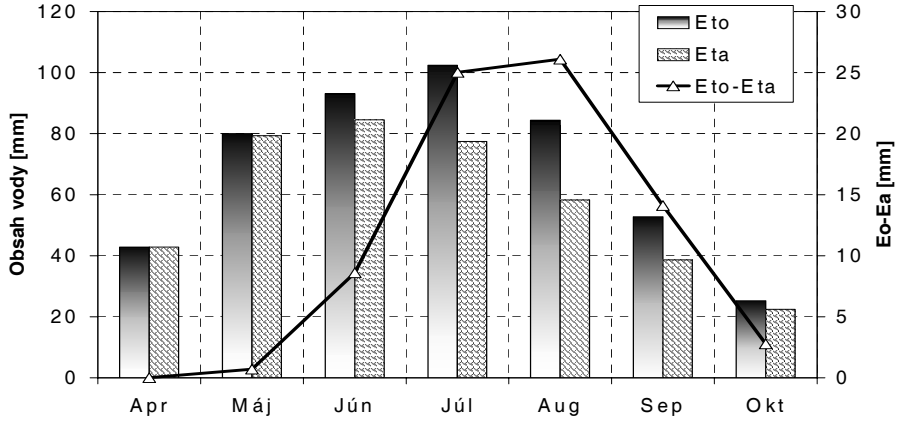
Tab. 3 Comparison of potential and actual evapotranspiration

Referenčné obdobie 1955-84							
	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Október
Eto [mm]	40.19	82.06	90.08	94.00	77.48	48.33	26.67
Eta [mm]	40.19	81.37	82.69	75.88	60.28	40.11	24.43
Eto-Eta [mm]	0.00	0.69	7.38	18.12	17.20	8.22	2.24
Eto/Eta	1.00	1.01	1.09	1.24	1.29	1.20	1.09
CCCM2000 2010							
	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Október
Eto [mm]	42.80	80.05	93.10	102.42	84.36	52.74	25.23
Eta [mm]	42.79	79.34	84.50	77.40	58.26	38.64	22.45
Eto-Eta [mm]	0.01	0.71	8.60	25.02	26.10	14.11	2.78
Eto/Eta	1.00	1.01	1.10	1.32	1.45	1.37	1.12
CCCM2000 2030							
	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Október
Eto [mm]	44.52	81.46	94.89	104.62	85.61	53.60	25.46
Eta [mm]	44.50	80.72	85.36	76.28	57.16	38.49	22.45
Eto-Eta [mm]	0.02	0.75	9.54	28.34	28.45	15.11	3.01
Eto/Eta	1.00	1.01	1.11	1.37	1.50	1.39	1.13
CCCM2000 2075							
	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Október
Eto [mm]	47.87	84.57	97.99	108.38	88.93	55.77	27.87
Eta [mm]	47.82	83.32	85.99	75.31	56.00	38.51	24.16
Eto-Eta [mm]	0.05	1.24	12.00	33.07	32.93	17.25	3.71
Eto/Eta	1.00	1.01	1.14	1.44	1.59	1.45	1.15
GISS98 2010							
	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Október
Eto [mm]	40.10	82.94	85.87	93.87	78.97	48.07	27.11
Eta [mm]	40.10	82.35	80.38	77.79	63.16	41.76	25.49
Eto-Eta [mm]	0.00	0.59	5.49	16.08	15.81	6.31	1.62
Eto/Eta	1.00	1.01	1.07	1.21	1.25	1.15	1.06
GISS98 2030							
	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Október
Eto [mm]	40.33	84.34	86.22	93.61	80.14	48.60	27.91
Eta [mm]	40.33	83.45	80.46	78.26	64.00	42.29	26.35
Eto-Eta [mm]	0.00	0.89	5.76	15.34	16.14	6.31	1.56
Eto/Eta	1.00	1.01	1.07	1.20	1.25	1.15	1.06
GISS98 2075							
	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Október
Eto [mm]	42.45	85.45	89.65	97.96	83.54	52.46	28.96
Eta [mm]	42.45	84.53	81.99	77.49	62.29	41.84	26.12
Eto-Eta [mm]	0.01	0.92	7.65	20.47	21.26	10.62	2.85
Eto/Eta	1.00	1.01	1.09	1.26	1.34	1.25	1.11



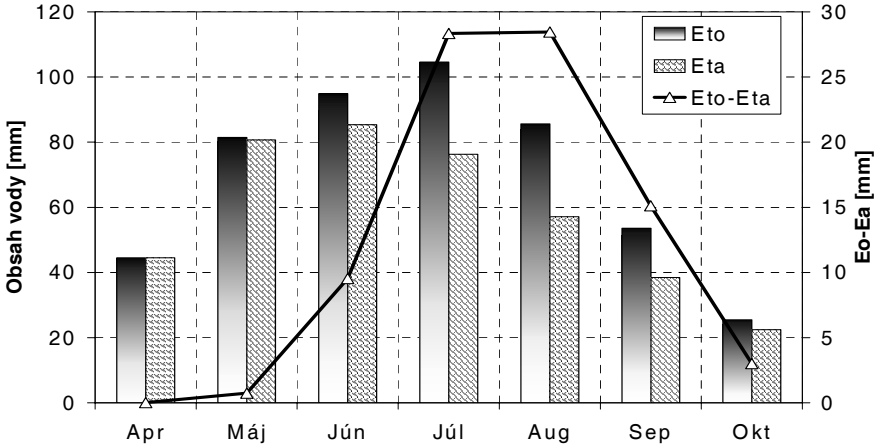
Obr. 8 Porovnanie potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie vypočítanej v modely GLOBAL pre referenčné obdobie 1955-84

Fig. 8 Comparison of potential and actual evapotranspiration calculated in model GLOBAL for reference period 1955-84



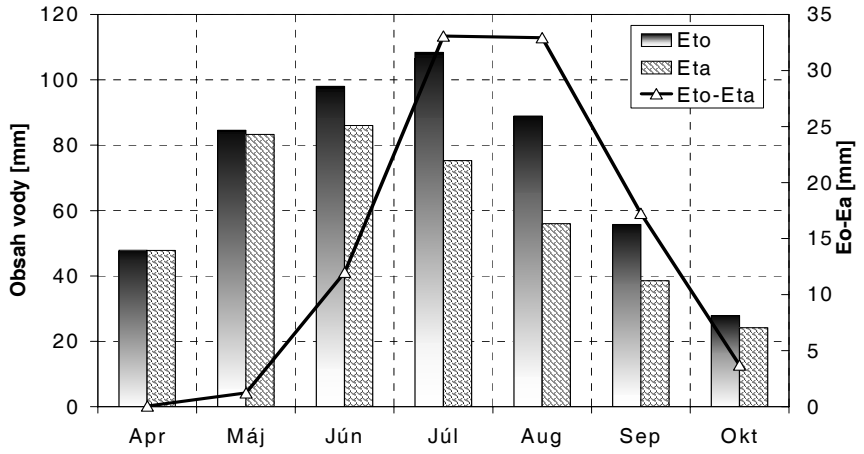
Obr. 9 Porovnanie potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie vypočítanej v modely GLOBAL s použitím meteorologických charakteristík upravených podľa scenárov CCCM2000 pre časový horizont 2010

Fig. 9 Comparison of potential and actual evapotranspiration calculated in model GLOBAL by using meteorological characteristics adjusted by scenarios CCCM2000 for time horizon 2010



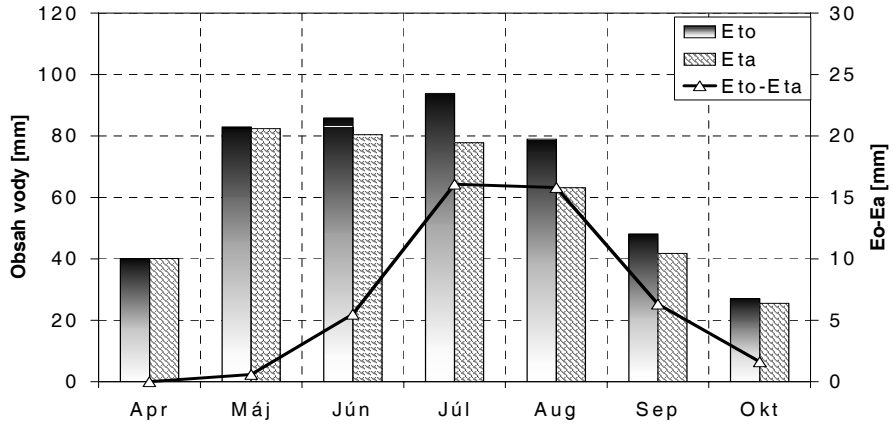
Obr. 10 Porovnanie potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie vypočítanej v modely GLOBAL s použitím meteorologických charakteristík upravených podľa scenárov CCCM2000 pre časový horizont 2030

Fig. 10 Comparison of potential and actual evapotranspiration calculated in model GLOBAL by using meteorological characteristics adjusted by scenarios CCCM2000 for time horizon 2030



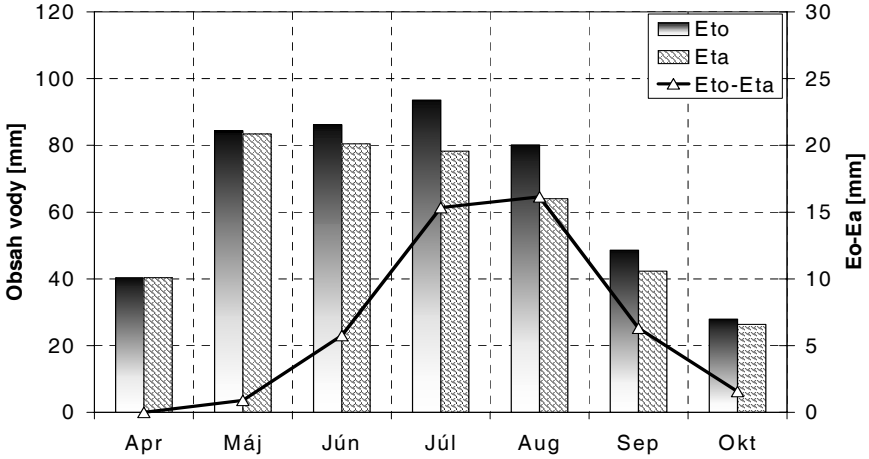
Obr. 11 Porovnanie potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie vypočítanej v modely GLOBAL s použitím meteorologických charakteristík upravených podľa scenárov CCCM2000 pre časový horizont 2075

Fig. 11 Comparison of potential and actual evapotranspiration calculated in model GLOBAL by using meteorological characteristics adjusted by scenarios CCCM2000 for time horizon



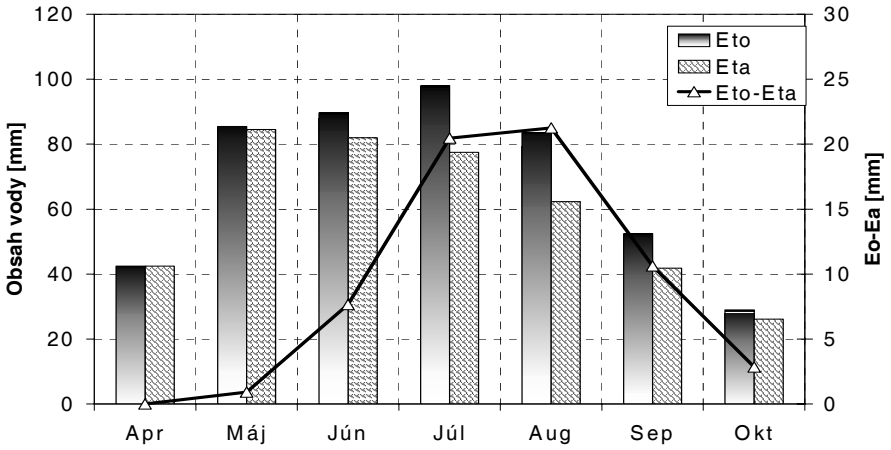
Obr. 12 Porovnanie potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie vypočítanej v modely GLOBAL s použitím meteorologických charakteristík upravených podľa scenárov GISS98 pre časový horizont 2010

Fig. 12 Comparison of potential and actual evapotranspiration calculated in model GLOBAL by using meteorological characteristics adjusted by scenarios GISS98 for time horizon 2010



Obr. 13 Porovnanie potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie vypočítanej v modely GLOBAL s použitím meteorologických charakteristík upravených podľa scenárov GISS98 pre časový horizont 2030

Fig. 13 Comparison of potential and actual evapotranspiration calculated in model GLOBAL by using meteorological characteristics adjusted by scenarios GISS98 for time horizon 2030



Obr. 14 Porovnanie potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie vypočítanej v modely GLOBAL s použitím meteorologických charakteristík upravených podľa scenárov GISS98 pre časový horizont 2075

Fig. 14 Comparison of potential and actual evapotranspiration calculated in model GLOBAL by using meteorological characteristics adjusted by scenarios GISS98 for time horizon 2075

ZÁVER

V práci bol hodnotený dopad klimatickej zmeny na aktuálnu a potenciálnu evapotranspirácu na lokalite Bodíky za vegetačné obdobie (IV-X). Časové chody prvkov boli vypočítané pre časový horizont 2010, 2030 a 2075 a pre referenčné obdobie 1955-84, s ktorým boli porovnávané. Na modelovanie bol použitý matematický model GLOBAL. Ako vstupy do výpočtu boli použité meteorologické charakteristiky upravené podľa scenárov GISS98 a CCCM2000. Okrem týchto charakteristík, hornú okrajovú podmienku tvorili fenologické charakteristiky topoľového porastu. Dolná okrajová podmienka bola zadefinovaná vlhkostným potenciálom v hĺbke 150 cm pod povrchom terénu. Počiatočnú podmienku tvoril vlhkostný profil na začiatku vegetačného obdobia v roku 1999.

Z výsledkov simulácie v modely GLOBAL možno usúdiť, že vybrané prvky bilančnej rovnice s°použitím spomínaných vstupných súborov nebudú významne ovplyvnené možnou klimatickou zmenou. Hydrologické prvky vypočítané s použivými upravenými vstupnými meteorologickými charakteristikami podľa scenára GISS98 predpokladajú postupný väčší nárast hodnôt až do horizontu 2075 v porovnaní s hydrologickými veličinami s použitím scenárov CCCM2000.

Poďakovanie

Príspevok bol podporený grantovým projektom VEGA č. 5018 a projektom APVT-51-019804. Autor zvlášť ďakuje doc. RNDr. Milanovi Lapinovi, CSc. (Katedra meteorológie a klimatológie, Univerzita Komenského, Bratislava) za výraznú pomoc pri vypracovávaní klimatických scenárov a za konzultácie.

Literatúra

Benetin, J., Šoltész, A., Štekauerová, V. (1985): Bilančný matematický model na podrobnú analýzu časovej variability zložiek vodného režimu pôd. Vodohospodársky časopis, 33(6), Bratislava, 585–609.

Feddes, R. A., Kowalik, P., Zaradny, H. (1978): Simulation of field water use and crop yield. PUDOC, Wageningen, The Netherlands, 184.

Lapin, M., Melo, M., Damborská, I., Gera, M, Faško, P. (2000): Nové scenáre klimatickej zmeny pre Slovensko na báze výstupov prepojených modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry. In.: Národný klimatický program SR, 8, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava 2000, 5-34.

Lapin, M., Melo, M., Damborská I. (2001): Scenáre súborov viacerých vzájomne fyzikálne konzistentných klimatických prvkov. In.: NKP SR, 11, SHMÚ a MŽP SR, Bratislava, 5-30.

Lapin, M., Melo, M., Damborská, I., Gera, M, Gaál, L., Faško, P., Šťastný, P. (2002): Príprava scenárov klimatických zmien. Záverečná správa časti úlohy 03 z etapy 02.05 „Výskum zrážkovo-odtokových vzťahov“. Projekt VTP 27-34 „Výskum antropogénnych faktorov na vodné systémy“. Katedra meteorológie a klimatológie FMFI UK a SHMÚ pre Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislava.

Lapin, M., Hlavčová, K., Petrovič, P. (2003): Vplyv klimatickej zmeny na hydrologické procesy. Uverejnené na CD z konferencie v Smoleniciach z mája 2003.

Majerčák, J., Novák, V. (1994): GLOBAL, one-dimensional variable saturated flow model, including root water uptake, evapotranspiration structure, corn yield, interception of precipitation's and winter regime calculation. Research Report, Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, 75.

Novák, V. (1987): Estimation of soil – water extraction patterns by roots. Agric. Water Management, 12, 271–278.

Novák, V. (1989): Výpočet denných úhrnov evapotranspirácie modifikovanou penmanovskou metódou. Vodohospodársky časopis, ročník 37/1, Bratislava, 113–129.

Novák, V., Šútor, J., Majerčák, J., Šimunek, J., Genuchten, M., Th., van (1998): Modelling of Water and Solute Movement in the Unsaturated Zone of the Žitný Ostrov Region, South Slovakia. IH SAS, Bratislava, Slovakia, 73.

Penman, H. L. (1948): Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. Ser. A, 193, 120–145.

Petrovič, P. (2000): Dôsledky klimatickej zmeny na hydrologický režim v povodí Nitry. Národný klimatický program SR, 11, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, 58-73.

Rutter, A. J., Morton, A. .J., Robin, P. C. (1975): A predictive model of rainfal interception in forest II. J. Appl. Eco., 367–380.

Stehlová, K. (2004): Analýza prognózovaných prvkov vodnej bilancie s ohľadom na očakávanú klimatickú zmenu pre lokalitu Bodíky. Acta Hydrologica Slovaca, 2/2004, 231–242.

Stehlová, K., Mikulec, M. (2003): Využitie matematického modelovania pri riešení vplyvu klimatickej zmeny na zásobu vody v pôde v lokalite Bodíky v časových horizontoch 2010, 2030 a 2075. XI. Posterový deň s medzinárodnou účasťou. Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda–rastlina–atmosféra. ÚH SAV, GFÚ SAV, Bratislava, 338-353.

Stehlová, K., Mikulec, M. (2004): Zhodnotenie prognózy modelovanej zásoby vody v zóne aerácie pôdy v horiznote 2010 na lokalite Bodíky. Acta Hydrologica Slovaca, 1/2004, 157–164.

Štekauerová, V., Majerčák, J., Šútor, J. (2001): Kvantifikácia zložiek vodnej bilancie v nenasýtenej oblasti pôdy. Acta Hydrologica Slovaca, 2/2, 183–190.

Štekauerová, V., Nagy, V. (2001): Vplyv klimatických podmienok na zabezpečenosť porastu vodou v lokalitách Báč a Bodíky. Acta Hydrologica Slovaca, 2/1, 58–63.

Šútor, J., Štekauerová, V. (2000): Hydrofyzikálne charakteristiky pod Žitného ostrova. Ústav hydrológie SAV, Bratislava, 7-163.

Takáč, J. (2001): Dôsledky zmeny klímy na bilanciu vody v poľnohospodárskej krajine. Národný klimatický program SR, 11, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, 16-26.

Tomlain, J. (1997): Modelový výpočet dôsledkov očakávanej zmeny klímy na obsah vody v pôde na Slovensku. Národný klimatický program SR, 7, MŽP SR a SHMÚ, Bratislava, 68-83.

Autor

Katarína Stehlová, ÚH SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava, stehlova@uh.savba.sk

HYDROLOGICKÉ ASPEKTY V RIZIKOVÉ ANALÝZE

Radovan Tyl

Cílem této studie je začlenění libovolného profilu na vodním toku do kategorie z pohledu rizikové analýzy při využití základních hydrologických charakteristik. To současně vede k vytvoření metodiky, která bude sloužit jako doplněk pro kvantitativní hodnocení rizik vodohospodářských soustav (grantový projekt č. 103/02/0606 „Riziková analýza vodohospodářských soustav" na FSv ČVUT v Praze v letech 2002 až 2004). Hydrologické aspekty rizikové analýzy byly zkoumány na souboru limnigrafických stanic (celkem 429 stanic z celé České republiky). Ze základních hydrologických charakteristik byla vybrána dlouhodobá průměrná roční srážka P_a jako jeden parametr, a dále byly spočítány poměry průtoků Q_{100}/Q_a a Q_a/Q_{364} jako další dva parametry. Byly sestaveny jejich čáry překročení pro nalezení hranic intervalů. Intervalům byly přiřazeny kategorie 1 až 5, výsledné zařazení stanice do rizikové skupiny bylo určeno podle kombinace kategorií jednotlivých parametrů - skupiny A až E. Studie zahrnuje i zohlednění extrémních povodní v letech 1997 a 2002 ve 115 limnigrafických stanicích, pro které byly základní hydrologické charakteristiky vydány v publikaci Hydrologické charakteristiky vybraných vodoměrných stanic České republiky (ČHMÚ, Praha 1996, aktualizováno po povodních v roce 1997 a 2002).

Klíčová slova: nebezpečí, riziková analýza, základní hydrologické charakteristiky, kategorizace

***Hydrologic aspects in risk analysis**. The aim of this study is the incorporating of any profile on the stream into a category risk analysis-wise while using the basic hydrological characteristics. This at the same time leads to the creation of a method, which will serve as a supplement to the quantitative evaluation of risks of the water industry systems (grant project No. 103/02/0606 "Risk analysis of water industry systems" on the FSv ČVUT in Prague during 2002 to 2004). The hydrological aspects of the risk analysis were studied on a set of limnigraphic stations (altogether 429 gauge stations from the whole of the Czech Republic). Out of the basic hydrological characteristics, the long-term average annual precipitation P_a was selected as one parameter, and then the ratios of discharges Q_{100}/Q_a and Q_a/Q_{364} were computed as another two parameters. Their cumulative frequency curves were compiled to find the boundaries of the intervals. The intervals were assigned categories 1 to 5, the resulting grouping of the station into a risk group was determined according to the combination of the categories of the individual parameters – groups A to E. The study includes also the extreme floods in the years 1997 and 2002 on 115 limnigraphic stations, for which the basic hydrological characteristics were put out in the publication Hydrological characteristics of selected watergauging stations of the Czech Republic (CHMI, Prague 1996, updated after floods in 1997 and 2002).*

Key words: hazard, risk analysis, basic hydrologic parameters, categorisation

---

ÚVOD

S rizikem se člověk setkává od nepaměti. Jsou rizika, která podstupuje dobrovolně, aby si zvýšil hladinu adrenalinu v krvi, a jsou rizika, která ovlivnit nemůže, události, které se dějí nezávisle na něm. Přívalové srážky, dlouhodobé deště, povodně, období sucha – to jsou jevy, které člověk svým jednáním neovlivní. Neovlivní ani, kdy se tak stane a kde. Může ale zmírnit riziko důsledků tím, že buduje přehrady a ochranné hráze, protipovodňové stěny, sestavuje povodňové plány.

Riziková analýza vodohospodářských soustav [5] řeší provozní rizika vodních děl, pravděpodobnosti vzniku provozních poruch, zhodnocení důsledků jednotlivých typů poruch (ekonomických, sociálních, environmentálních) a stanovení nákladů na zmírnění rizika. Náklady na zmírnění rizika by neměly přesahovat škody vzniklé poruchami.

Známe kategorie vodních děl v závislosti na míře bezpečnosti, potenciálních způsobených škodách a ztrátách na životech, známe jistě termín „stoletá voda", který také vyjadřuje riziko (pravděpodobnost), opakování povodně. V dalším textu se pokusíme stanovit rizikové kategorie vodoměrných stanic a metodiku, jejíž výsledky by byly aplikovatelné pro libovolný profil říční sítě a jež by mohla být začleněna do celkové metodiky Rizikové analýzy vodohospodářských soustav [5].

VÝBĚR STANIC A PARAMETRŮ

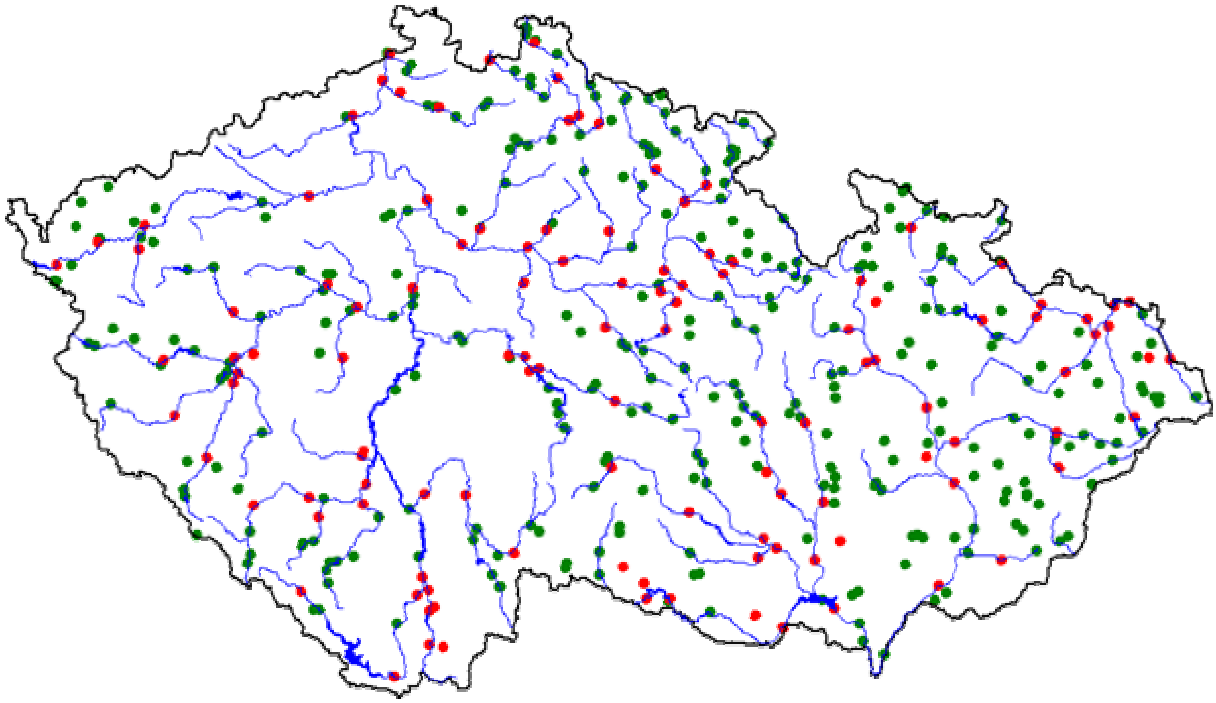
Základní hydrologické charakteristiky poskytuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) pro libovolný profil v síti vodních toků. Jsou to:

- plocha povodí A [km^2]
- dlouhodobá průměrná roční výška srážek P_a [mm]
- dlouhodobý průměrný průtok Q_a [$m^3.s^{-1}$]
- M - denní průtoky Q_{Md} [$m^3.s^{-1}$, $l.s^{-1}$]
- N - leté maximální průtoky Q_N [$m^3.s^{-1}$]

První otázkou bylo: Lze vodoměrné stanice podle výše uvedených charakteristik rozdělit do kategorií podle rizika? Liší se od sebe stanice v nějaké charakteristice? Určitě ano, ale musí to být hodnota či hodnoty vzájemně srovnatelné. Nelze porovnávat např. stoletý průtok v Děčíně a v Sušici. Bylo proto potřeba nejprve stanovit parametry, podle kterých by bylo možné stanice vzájemně porovnat, navíc aby měly určitou vypovídací hodnotu z pohledu rizika.

Základní vyhodnocení bylo provedeno na souboru 115 stanic vybraných do publikace [1]. Kniha obsahuje nejdůležitější, nejvýznamnější vodoměrné profily pozorování povrchových vod. Po porovnání různých vypočtených parametrů byly stanoveny tři, ve kterých se projevila největší variabilita mezi stanicemi - Q_{100}/Q_a, Q_a/Q_{364} a dlouhodobá průměrná roční srážka P_a.

Ve druhém kroku byly z databáze ČHMÚ zjištěny vybrané charakteristiky (Q_a, Q_{100}, Q_{364} a P_a) pro všechny dostupné stanice. Celkem tak byla k dispozici data ze 429 vodoměrných stanic (Obr. 1).



Obr. 1 Červenou barvou jsou vyznačeny stanice z publikace[1], zelenou barvou stanice doplněné z databáze ČHMÚ.

Fig. 1 Red dots – gauges from publication [1], green dots – gauges added from database ČHMÚ.

Poměr Q_{100}/Q_a

Tento parametr je bezrozměrný. Vyjadřuje, kolikrát stoletý kulminační průtok v dané stanici převyšuje dlouhodobý průměr Q_a. Tyto poměry byly spočítány pro všechny N-leté průtoky (Q_1 – Q_{100}),

největších rozdílů mezi stanicemi bylo dosaženo právě pro průtok Q_{100}. Čím víc se Q_a blíží Q_{100}, tím vychází poměr menší a naopak, čím větší číslo vychází, tím je stoletá voda v profilu nebezpečnější.

Poměr Q_a/Q_{364}

Výraznější rozdíly mezi stanicemi jsou patrné až pro nejmenší kvantily Q_{Md}, tedy pro 355denní a 364denní průtok. Pokud se průtok Q_{364} (průtok, který je v profilu v průměru překročen 364 dní v roce) bude blížit hodnotě Q_a, znamená to, že je v toku vyrovnaný režim. Naopak jestliže poměr bude vycházet velký, vypovídá to o rozkolísanosti vodnosti během roku, profil je náchylnější k nedostatku vody v suchých obdobích. To je samozřejmě nevhodná situace například pro malou vodní elektrárnu. Takže čím větší číslo, tím více je profil nevyrovnaný.

Srážka P_a

Jako další parametr byla použita dlouhodobá průměrná roční výška srážek P_a za období 1961 – 1990.

KATEGORIZACE PARAMETRŮ

Pro stanovení intervalů kategorií jednotlivých parametrů byly použity teoretické čáry překročení. Teoretická pravděpodobnost překročení byla spočítána podle Weibulla [2]:

$$P_m = \frac{m}{n+1} \; [-]$$

nebo

$$P_m = \frac{m}{n+1} * 100 \, [\%]$$

P_m – empirická pravděpodobnost překročení
m – pořadové číslo členu řady seřazené sestupně
n – celkový počet členů

V našem případě n = 429. Čáry překročení byly sestrojeny pro každý ze tří parametrů (Obr. 2) a byly odečteny, resp. interpolací vypočítány hodnoty pravděpodobnosti překročení pro 20, 40, 60 a 80 %. To jsou hranice intervalů, které jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 1).

Tab. 1 Hranice intervalů parametrů Q_{100}/Q_a, Q_a/Q_{364} a P_a pro pravděpodobnost překročení 20, 40, 60 a 80 %.

Tab. 1 Limits of intervals of parameters Q_{100}/Q_a, Q_a/Q_{364} and P_a for exceeded probabilities 20, 40, 60 a 80 %.

parametr	**pravděpodobnost překročení**			
	80 %	**60 %**	**40 %**	**20 %**
Q_{100}/Q_a	36	51	77	115
Q_a/Q_{364}	6,5	9,3	13,3	23,7
P_a [mm]	561	612,7	667	761

Pro každý parametr byly vykresleny také mapy, kde stanovené intervaly jsou barevně rozlišeny. V mapě je vždy pět barevných odstínů (Obr. 2). Tyto mapy byly vytvořeny prostou interpolací bodových hodnot ve stanicích na grid a slouží spíše pro ilustraci, prioritní jsou vypočítané hodnoty.

Každý parametr má pět intervalů označených celými čísly 1 až 5 (1 nejlepší, 5 nejhorší). Tedy například hodnoty Q_{100}/Q_a do hodnoty 36 patří do skupiny 1, hodnoty v intervalu 36 až 51 patří do skupiny 2 atd. (Tab. 2).

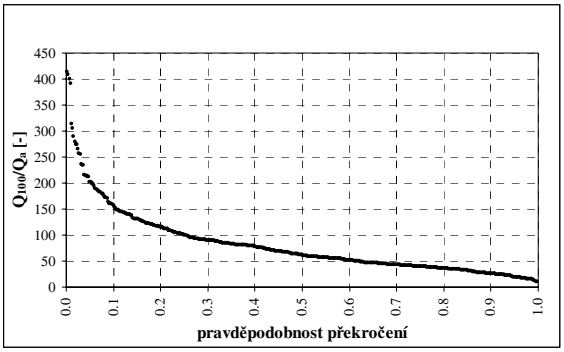
Tab. 2 Rozmezí intervalů parametrů Q_{100}/Q_a, Q_a/Q_{364} a P_a a přiřazené kategorie.

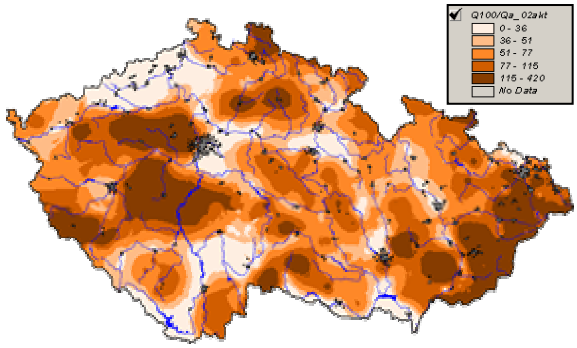
Tab. 2 Range of intervals of parameters Q_{100}/Q_a, Q_a/Q_{364} and P_a and assigned categories.

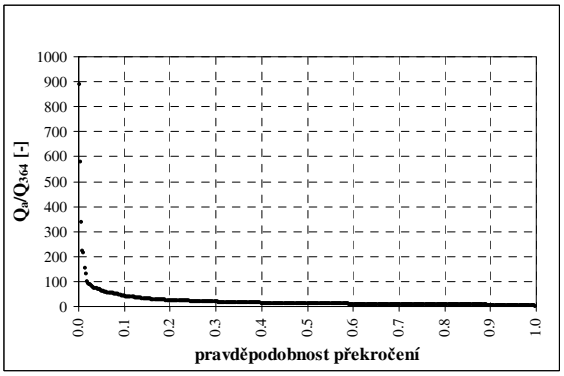
parametr	**interval**	**kategorie**
Q_{100}/Q_a	< 36	1
	36 – 51	2
	51 – 77	3
	77 – 115	4
	> 115	5
Q_a/Q_{364}	< 6,5	1
	6,5 – 9,3	2
	9,3 – 13,3	3
	13,3 – 23,7	4
	> 23,7	5
P_a [mm]	< 561	1
	561 – 612,7	2
	612,7 – 667	3
	667 – 761	4
	> 761	5

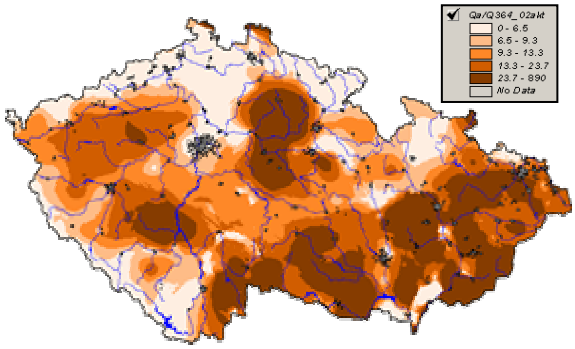
Je zajímavé, že u parametru Q_a/Q_{364} je 98 % hodnot menších než 100, pouze sedm hodnot z 429 jich je větších. Dobře je to vidět právě na čáře překročení (obr. 2 uprostřed). Vytvořený grid je z toho důvodu značně zkreslený.

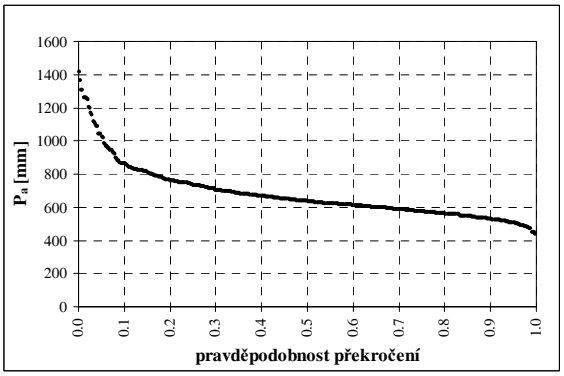
Nejprve byla tedy stanovena kategorie stanice pro každý parametr zvlášť v hodnotách 1 až 5. Po sečtení kategorií dostaneme pro každou stanici číslo výsledné kategorie v rozmezí od 3 (1+1+1) do 15 (5+5+5). Například pro stanici Klášterec nad Ohří na Divoké Orlici vychází kategorie parametru Q_{100}/Q_a číslo 3, parametru Q_a/Q_{364} číslo 2 a pro P_a číslo 5, po sečtení vyjde číslo výsledné kategorie 10.

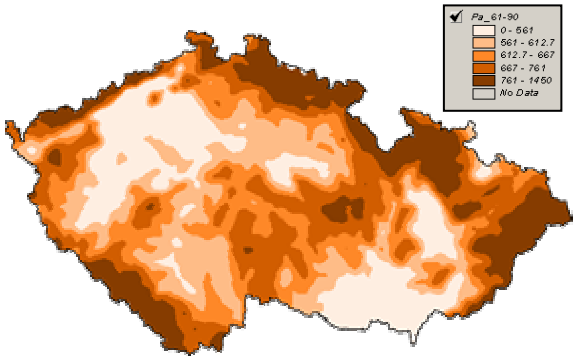












Obr. 2 Čáry překročení parametrů Q_{100}/Q_a, Q_d/Q_{364} a P_a a mapy s barevně odlišenými kategoriemi.

Fig. 2 Cumulative frequency curves of parameters Q_{100}/Q_a, Q_d/Q_{364} and P_a and maps of categories.

KATEGORIE STANICE

Výsledné kategorie stanic byly stanoveny následně v závislosti na tom, kolik vyšlo číslo sečtené z kategorií získaných pro jednotlivé tři parametry:

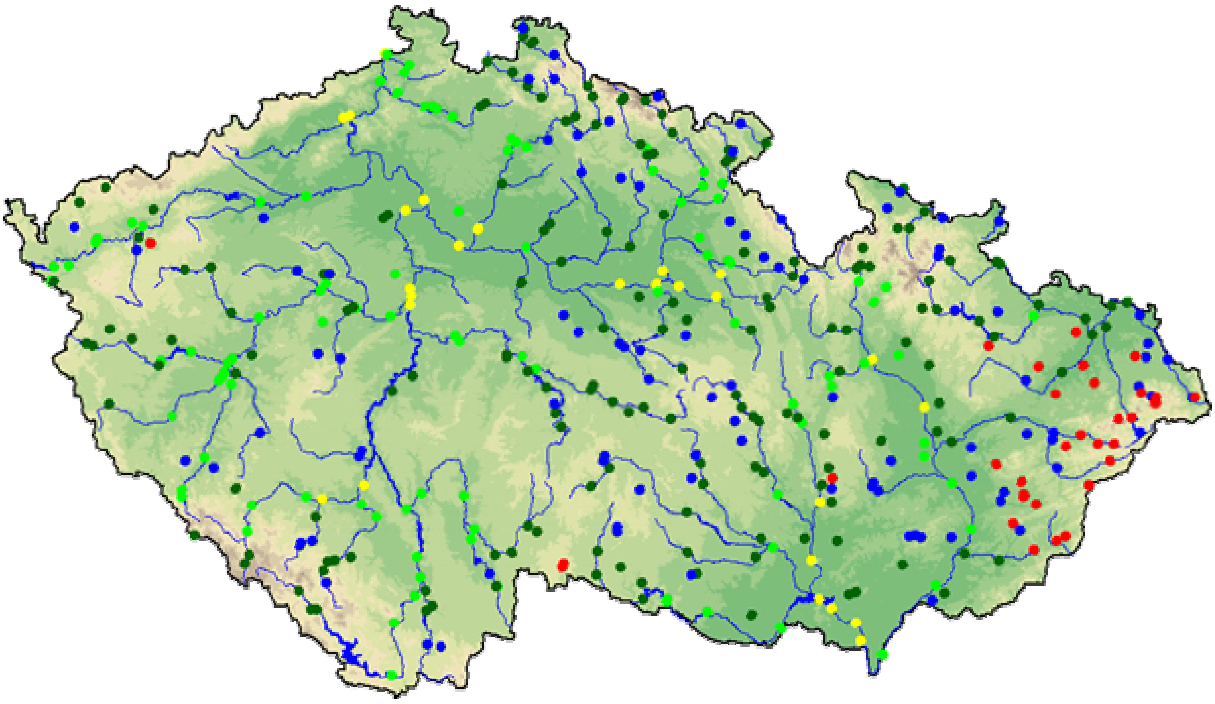
hodnota	**kategorie**	**riziko**
***3** a 4*	***A***	*zanedbatelné*
5, 6, 7	***B***	*nízké*
8, 9, 10	***C***	*mírné*
11, 12, 13	***D***	*střední*
*14 a **15***	***E***	*velké*

Z toho zjistíme, že stanice výše uvedeného příkladu v Klášterci spadá do kategorie C (podle čísla 10).

Na obrázku 3 jsou vykresleny všechny stanice do mapy a podle barvy rozděleny do kategorií. Nejvíce rizikové stanice jsou vyznačeny červenou barvou. Je jich celkem 34, z toho 6 jich má výslednou hodnotu 15!

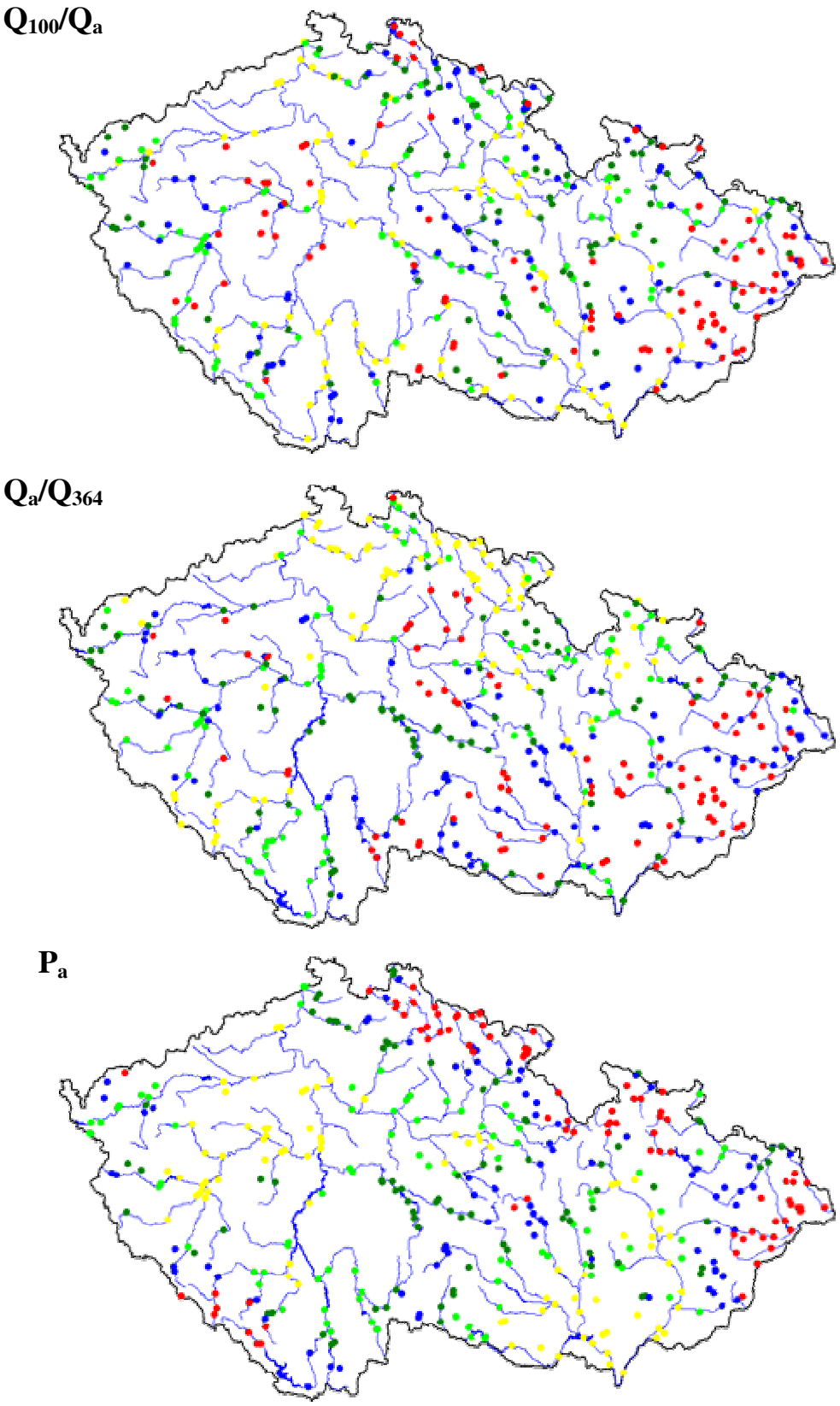
Převážná část nejrizikovějších stanic (červená, kategorie E) se nachází na severovýchodní Moravě, v pohoří Moravskoslezských Beskyd a v okolí Vsetína (povodí Odry, Ostravice a Bečvy). Stanice zobrazené modrou barvou (kategorie D) leží ve vyšších, většinou pramenných oblastech (Krkonoše, Českomoravská Vrchovina). Naopak kategorie A a B reprezentují nížinné oblasti středního a dolního Labe, dolní Vltavy a Dyje.

Na dalším obrázku (obr. 4) jsou vykresleny barevně kategorie pro jednotlivé parametry.



Obr. 3 Výsledné kategorie vodoměrných stanic. A – žlutá, B – světle zelená, C – tmavě zelená, D – modrá, E – červená.

Fig. 3 Final categories of watergauging stations. A – yellow, B – light green, C – dark green, D – blue, E – red.



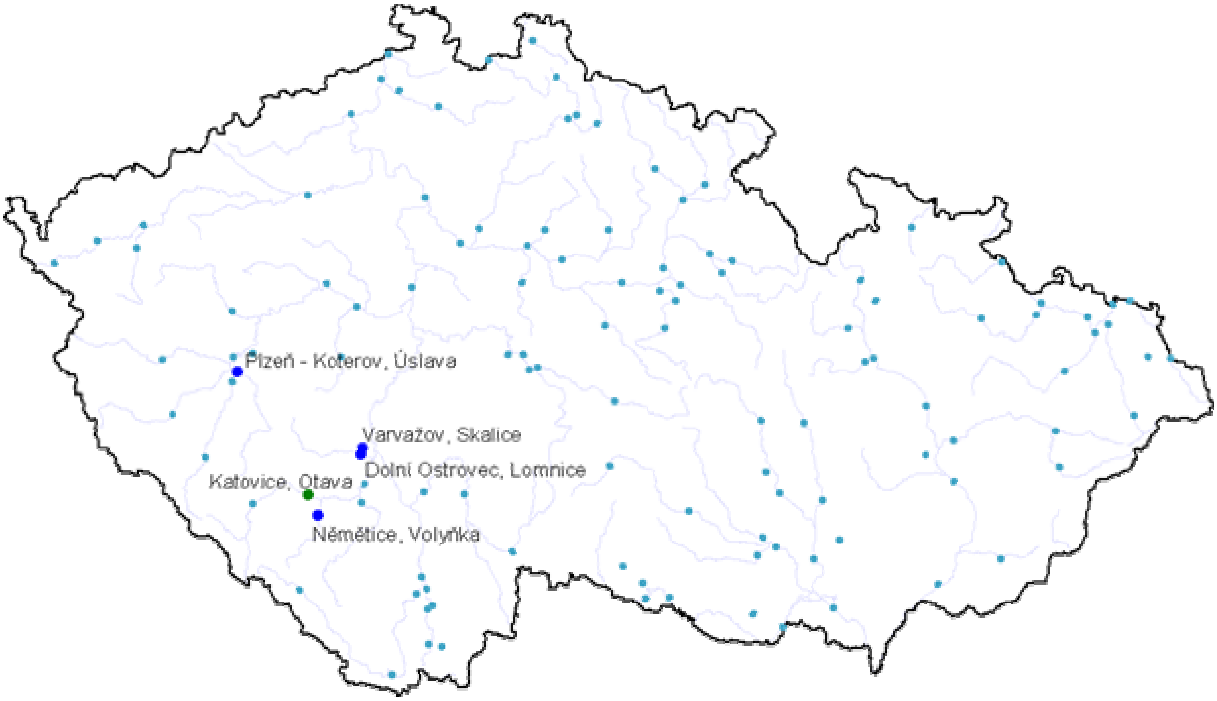
Obr. 4 Kategorie podle jednotlivých parametrů. A – žlutá, B – světle zelená, C – tmavě zelená, D – modrá, E – červená.

Fig. 4 Categories according to individual parameters. A – yellow, B – light green, C – dark green, D – blue, E – red.

POVODNĚ 1997 A 2002

Jak už bylo uvedeno, v roce 1996 vydal Český hydrometeorologický ústav publikaci *Hydrologické charakteristiky vybraných vodoměrných stanic České republiky* [1], kde jsou pro 115 stanic uvedeny základní hydrologické charakteristiky a některé další údaje. Avšak hned v červenci 1997 a pak v srpnu 2002 se Českou republikou přehnaly dvě katastrofální povodně. To se také odrazilo v přepracování N-letých (včetně stoletých) průtoků ve většině stanic v uvedené publikaci. Nebylo proto těžké zjistit, zda se u některé ze stanic neprojevily změny v Q_{100} také ve změně kategorie stanice.

A výsledek? Změny se projevily pouze po povodni v roce 2002 u pěti stanic, a to v povodí Otavy (čtyři stanice) a na Úslavě (jedna stanice). U jedné stanice (Katovice na Otavě) došlo ke změně kategorie z B do C (zelená barva), u čtyř dalších ke změně z C do D (modrá barva). Nejlépe patrné je to na Obr. 5.



Obr. 5 Vodoměrné stanice, u kterých se po povodni v srpnu 2002 změnila kategorie. Barva odpovídá současnému stavu.

Fig. 5 Watergauging stations which changed the category after the flood in august 2002 (actual situation).

ZÁVĚR

Ze základních hydrologických charakteristik poskytovaných ČHMÚ byla zjištěna kritéria, podle kterých lze jednotlivé profily říční sítě zařadit do rizikové kategorie. Všude tam, kde známe charakteristiky Q_a, Q_{100}, Q_{364} a P_a (nemusí to být právě ve stanici) můžeme použít parametry Q_{100}/Q_a, Q_a/Q_{364} a P_a pro stanovení kategorie 1 až 5 pro každý parametr. Intervaly kategorií jednotlivých parametrů byly spočteny na souboru 429 vodoměrných stanic z celé republiky. Následnou kombinací kategorií je možné zařadit profil do celkové kategorie A až E.
Tato metodika má přispět k rizikové analýze vodohospodářských soustav z hlediska hydrologického režimu. Předpokládá se další vývoj v této oblasti.

Literatura

Hydrologické charakteristiky vybraných vodoměrných stanic České republiky, ČHMÚ, Praha, 1996 (aktualizováno po povodních v červenci 1997 a srpnu 2002)

Kemel, M. (1996): Klimatologie, meteorologie, hydrologie, ČVUT, Praha

Kos, Z., Satrapa, L., Přenosilová, E., Fošumpaur, P. (2003): Specifikace a sestavení rizikových modelů pro pilotní oblasti rizikové analýzy. Rizikové modely na základě metody předběžné rizikové analýzy PrRA a metody studie nebezpečí a provozuschopnosti HAZOP, VaV, Zpráva za rok 2003, ČVUT

Říha, J. (2003): Dílčí problémy rizikové analýzy přehrad, dílčí zpráva, projekt GAČR č. 103/02/0606, Brno

Satrapa, L. (2004): Riziková analýza vodohospodářských soustav, závěrečná zpráva, projekt GAČR č. 103/02/0606, ČVUT, Praha (http://www.prehrady.cz/index3.htm)

Autor

Ing. Radovan Tyl, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, Praha 4 – Komořany, tyl@chmi.cz

KONFERENCIE MLADÝCH ODBORNÍKOV

Vodohospodári

Danáčová M.
Transformácia povodňovej vlny na vybranom úseku toku Moravy 830

Hašková L.
Nové trendy návrhu rybích priechodov na vodných dielach 846

Ič T.
Problematika ochranných pásiem vodárenskej nádrže Málinec 851

Jaroš L.
Vliv délky časového kroku výpočtu na přesnost řízení odtoku vody
z nádrže za povodňové situace s využitím fuzzy regulace 858

Krascsenits Z., Bartal M.
Využitie imunoalalytických metód v stopovej organickej analýze vôd 867

Lipták A., Patakyová A.
Úprava odtokových pomerov v povodí Kabátovského potoka
- výstavba poldrov Drábsko a Lúčky 882

Merešová J.
Gamaspektrometrické stanovenie ^{228}Ra vo vodách 888

Minčáková F.
Monitorovanie rádiologických ukazovateľov v studničkách v rekreačnej zóne Bratislavy 892

Nováková P., Procházková P.
Bilanční hodnocení vybraných ukazatelů jakosti vody na významných přítocích do nádrže 896

Supek M., Fekete B.
Zhodnotenie vplyvu zdrže Čunovo na prietokový režim
v Mošonskom ramene Dunaja od roku 1993 po súčasnosť 902

TRANSFORMÁCIA POVODŇOVEJ VLNY NA VYBRANOM ÚSEKU TOKU MORAVY

Michaela Danáčová

Na transformáciu povodňových vĺn v koryte toku na vybranom úseku toku Morava medzi Moravským Svätým Jánom a Záhorskou Vsou sa použil multilineárny model založený na časovej distribúcii modelových vstupov v kaskáde lineárnych nádrží. Lineárne submodely sú založené na rozšírení klasickej schémy modelu Kalinin-Miljukov. Riečny úsek sa modeloval kaskádou n rovnakých lineárnych nádrží s časovou konštantou k. Parameter časovej konštanty k je možno meniť vzhľadom na empiricky odvodené vzťahy medzi rýchlosťou vrcholov povodňovej vlny a prietokom. Model transformácie prietokových vĺn nebol priamo kalibrovaný. Kalibrované boli závislosti medzi postupovou dobou (rýchlosťou) vrcholov hydrogramov prietokových vĺn a vstupným prietokom do riečneho úseku pre obidva stavy koryta. Multilineárny model bol verifikovaný na významných povodňových vlnách na základe lineárnych závislostí postupovej doby od prietoku. Overenie bolo ako na historickej tak aj súčasnej prietokovej vlne. Prvotné porovnania rozdielnosti transformácie vybranej významnej povodňovej vlny preukázali známy fakt, že pri rozvinutej inundácii sa postup vĺn spomaľuje a kulminácia znižuje. Výsledky ukazujú, že bez porušenia jednoduchosti lineárneho modelu inklúzia dodatočnej empirickej informácie a premenlivosti rýchlosti vlny dovoľuje lepšiu predpoveď vývoja procesu povodne a kvantifikáciu vplyvov revitalizácie.

Kľúčové slová: prietoková vlna, kulminačný prietok, postupová doba, merná krivka prietokov

The discrete cascade of linear reservoirs is used to build a multilinear model based on the time distribution scheme of model inputs on the Morava River between Moravský Svätý Ján and Záhorská Ves. The linear sub-models are based on the discrete state space representation of the Kalinin-Miljukov model. The travel time parameter of the model is allowed to change according to empirically derived relationships between the flood wave speed and inflow to the reach. The performance of the multilinear model was verified on significant flood wave. Travel time discharge relationships were derived not only for the present state of the river but based on historical flood data from the period before extensive river training works took place. The routing of a large flood was performed with routing models referring to both states of the river and the efficiency of the eliminated flood planes on attenuation of the flood peaks was demonstrated. The results show, that without sacrificing the simplicity of the linear model, the inclusion of additional empirical information on the variability of the wave speed enables better prediction of the flood propagation process and the quantification of the effects of river training on the transformation of floods.

Key words: discharge wave, peak flow, travel time, stage discharge curve

---

Úvod

Úpravou koryta toku sa prietokové pomery dolného toku Moravy v minulom storočí značne zmenili. Dôsledkom týchto zásahov je aj zrýchlenie postupu povodňových vĺn riečnymi úsekmi a súčasné zníženie transformačného účinku koryta a inundačných území. Revitalizáciou koryta by sa dala časť jeho transformačnej schopnosti navrátiť do stavu blízkeho pôvodnému. V rámci riešenia projektu APVT - ***Ochrana revitalizáciou: Stratégia a management riečneho systému dolnej Moravy*** **sa** vykonáva modelové hodnotenie účinnosti pôvodného záplavového územia na zníženie kulminačných prietokov. Táto práca nadväzuje na riešenie uvedeného vedecko-výskumného projektu.

Celkovým cieľom riešenia bolo preukázať účinnosť pôvodného záplavového územia dolnej Moravy z hľadiska zníženia kulminačných prietokov pre vybrané významné povodňové vlny. V dôsledku toho boli analyzované súčasné a historické hydrologické podklady a porovnané zmeny vzťahu medzi postupovou dobou a prietokom. Pomocou lineárneho hydrologického modelu transformácie vĺn korytom toku sa skúmala schopnosť koryta transformovať vybrané prietokové vlny. Následne sa porovnali zmeny v transformácii súčasných prietokových vĺn v historickom a v súčasnom stave koryta.

Popis modelu transformácie povodňových vĺn

Popri nelineárnych hydrologických modeloch sa v transformácii prietokových vĺn stále uplatňujú aj lineárne modely. Používanie lineárnych modelov v riečnych úsekoch s premenlivou postupovou dobou prietokov je však problematické vzhľadom k tomu, že tieto modely implicitne predpokladajú konštantnú postupovú dobu. Ako východisko sa javí používanie niekoľkých lineárnych modelov odpovedajúcich rôznym odtokovým situáciám. V štúdiách Szolgay (1985, 1990 a 2003) sa navrhli rôzne parametrizácie takejto schémy. Tento princíp sa aplikujeme aj v tejto práci.

Riečny úsek sa modeloval kaskádou n rovnakých lineárnych nádrží s časovou konštantou k. Každá nádrž má okrem prítoku z hornej nádrže ešte samostatný vstup I_i. Vstupy do modelu sa považujú za konštantné počas vzorkovacieho intervalu *(a, a+1)* o dĺžke T. Vychádzajúc z rovnice kontinuity a statickej relácie lineárnej nádrže sa v Szolgay (2003) odvodili stavové rovnice modelu v tvare:

$$\underline{S}(a+1) = \underline{F}(a+1,a)\underline{S}(a) + \underline{G}(a+1,a)\underline{I}(a+1,a) \tag{1}$$

$$\underline{Q}(a+1) = \underline{H}(a+1)\underline{S}(a+1) \tag{2}$$

kde $\underline{S}(a)$, $\underline{S}(a+1)$ je vektor objemov jednotlivých nádrží v čase a a $a+1$,
$\underline{Q}(a+1)$ je výstup zo systému.

Pre prvky systémových matíc $\underline{F}$, $\underline{G}$, platí:

$$F(i,j) = \frac{T^{i-j} e^{-T/k}}{(i-j)!\,k^{(i-j)}} \tag{3}$$

$$G(i,j) = k - \sum_{f=0}^{i-j} \frac{T^{f} e^{-T/k}}{f!\,k^{f-1}} \tag{4}$$

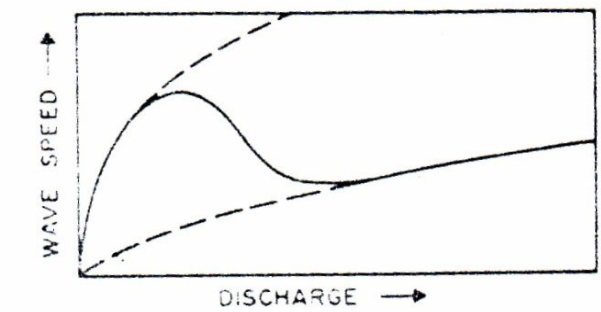
pre i väčšie alebo rovné ako j , inak sú rovné nule.
Matica $\underline{H}$ výstupnej relácie stavového modelu je v danom prípade vektor

$$\underline{H} = [0,0,0,\ldots\ 1/k] \tag{5}$$

Z rovníc modelu (1) a (2) priamo vyplýva, že stav modelu v každom časovom okamžiku obsahuje v sebe celú minulú históriu systému a spolu so vstupom postačuje na určenie stavu v ďalšom časovom kroku. V prípade použitia dvoch modelov s rovnakým rádom n a rozdielnou časovou konštantou k medzi dvoma modelovými časmi je možné jednoducho zostaviť multilineárny model. Požiadavka rovnakého rádu po sebe idúcich modelov nie je vzhľadom na malú citlivosť modelu na voľbu rádu obmedzujúca (Szolgay, 1985). Zmenu časovej konštanty je možné viazať na charakteristické zmeny prúdenia, ako vybreženie do inundácií, na zmenu postupovej doby s prietokom a pod. V prípade, že bude viazaná na vstup do modelu, je celkový model pozostávajúci zo série lineárnych modelov nelineárny.

V modeli, ktorý sa použil v tejto práci, sa viazala zmena parametra k priamo na zmenu postupovej doby charakteristických bodov hydrogramu. Price (1973) (1975) a Wong s Laurensonom (1984 a, b) sa pokúsili teoreticky odôvodniť pozorované zmeny postupovej doby s prietokom. Navrhli rôzne vzťahy, no k uspokojivému vysvetleniu neprišli. Preto navrhli postupovať v každom individuálnom prípade podľa empirických vzťahov zistených na základe analýzy vzťahu postupovej rýchlosti povodňových vĺn a priemerného prietoku v skúmanom úseku. Snažili sa získané body preložiť krivkou, ktorá najlepšie vystihuje správanie c = f(Q). Na základe rozsiahlych štúdií zistili, že postupová rýchlosť podľa nich na tokoch s inundáciami najprv stúpa s rastúcim prietokom, potom

nasleduje prechodná oblasť jej poklesu a následne po zapojení celého inundačného priestoru do odtoku je možný jej opätovný vzrast. Pre tento opísaný priebeh vytvorili všeobecnú grafickú závislosť (Obr. 1).



Obr. 1 Závislosť medzi rýchlosťou a prietokom (Wong a Laurenson (1984))

Experimentálne údaje z našich tokov v minulosti viackrát potvrdili vyššie uvedený priebeh. To sa využilo aj napr. v Szolgay (1985, 1990, 2003) na skonštruovanie viacerých závislosti postupovej rýchlosti charakteristických bodov hydrogramu od prietoku a uvedený princíp bol použitý aj v tejto práci.

Na určenie zhody medzi simulovanými a meranými prietokmi bol použitý Nashov koeficient ako štatistické kritérium vychádzajúce z meraných a simulovaných prietokov:

Nashov koeficient:

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{mer(t)} - \overline{Q}_{mer}\right)^2 - \sum_{i=1}^{N}\left(Q_{mer(t)} - Q_{sim(t)}\right)^2}{\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{mer(t)} - \overline{Q}_{mer}\right)^2} \qquad (6)$$

kde:
- $\overline{Q}_{mer}$ - aritmetický priemer meraných prietokov ($m^3.s^{-1}$)
- $Q_{sim(t)}$ - simulovaný prietok ($m^3.s^{-1}$)
- $Q_{mer(t)}$ - meraný prietok ($m^3.s^{-1}$)

Spracovanie podkladových údajov

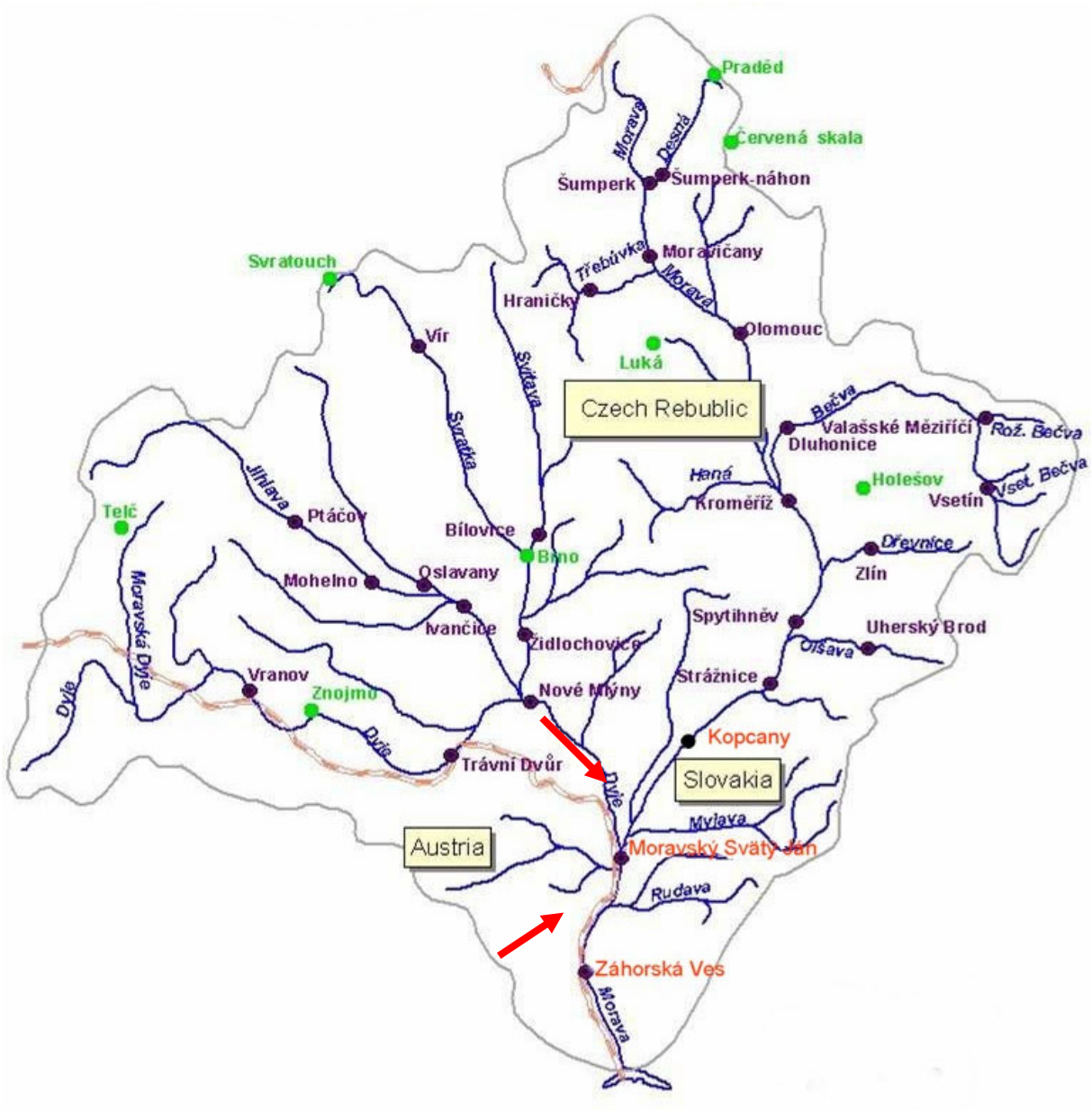
.

Predmetom prvej časti riešenia bola príprava podkladových údajov a kalibrácia modelu transformácie kulminačných prietokov územia dolnej Moravy pomocou hydrologického modelu v historických a súčasných podmienkach.

V riešení bolo potrebné zrekonštruovať historické priebehy povodní, odvodiť závislosti medzi postupovou dobou a prietokom ako pre súčasný, tak aj pre historický stav koryta. Cieľom je preukázať a kvantifikovať, že historické koryto predlžovalo postup povodňových vĺn resp. že úprava koryta urýchľuje prechod povodní.

Údaje boli získané z archívov SHMÚ, VITUKI Budapešť a Katedry vodného hospodárstva Technickej univerzity vo Viedni. Boli získané všetky dostupné hodinové prietoky a vodné stavy na všetkých vodomerných staniciach na toku Morava, denné a dvanásťhodinové vodné stavy z obdobia 1901 - 1916, súčasné merné krivky prietokov a historické merné krivky z obdobia 1886 až 1920, údaje o hydrometrovaniach na slovenskom úseku Moravy z obdobia okolo roku 1900, hydrologické podklady pre projektovanie úpravy koryta z prelomu predminulého storočia vrátane pozdĺžnych profilov viacerých hladín a záplavových čiar.

Po prvotnej analýze zmien inundačného územia a hydrologických dát, ktoré mali rôzne časové sledy, bol pre riešenie úlohy vybraný úsek na toku, ktorý mal v minulosti vyvinuté inundačné územie. Ide o úsek medzi vodomernými stanicami Moravský Svätý Ján (5040) – Záhorská Ves (5085) (10-ročný nepretržitý časový rad hodinových údajov). Dĺžka toku medzi stanicami je 34,76 km. Ide o úsek nížinného charakteru, kde sklon toku je 0,2‰. Mapa povodia Moravy s vyznačeným úsekom toku je na Obr.2. Iné úseky museli byť vylúčené z tejto práce v dôsledku krátkeho resp. prerušovaného časového radu hydrologických údajov ako aj pre nedostatok údajov (podkladov) z historického obdobia.



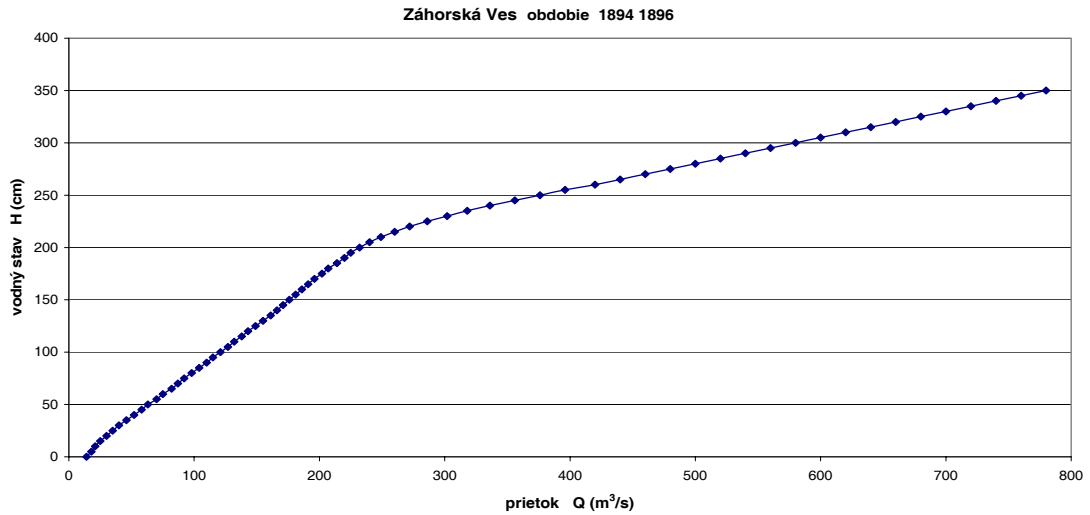
Obr. 2 Mapa povodia Moravy s vyznačeným úsekom toku

V príprave údajov boli vykonané nasledovné práce:

- spracovanie dostupných hodinových a denných vodných stavov a prietokov vo vybranom úseku Moravský Svätý Ján - Záhorská Ves,
- spracovanie historických archívnych materiálov z obdobia 1880 – 1920 z archívov maďarskej hydrologickej služby a okresného archívu v Myjave: vodné stavy, historické merania prietokov a merné krivky prietokov,
- spracovanie archívnych materiálov o vývoji inundačného územia,
- analýza konzistentnosti súčasných údajov a vierohodnosti merných kriviek prietokov,
- analýza konzistentnosti historických údajov a merných kriviek prietokov,
- odhad nemeraných prítokov z medzipovodia k spracovaným povodňovým vlnám pomocou údajov z rakúskej hydrologickej služby a jednoduchého modelu hydrologickej bilancie medzipovodia,
- odvodenie vzťahov medzi postupovou dobou a prietokov pre súčasné a historické obdobie spred úpravy koryta.

Ďalej boli dodatočne v týchto obdobiach získané hodinové prietoky dôležitého prítoku rieky Rudava. Z Rakúska boli získané údaje z významného prítoku Zaya. Chýbajúce údaje o ďalších prítokoch boli odhadnuté hydrologickou analógiou zo špecifického odtoku meraných prítokov a plochy jednotlivých čiastkových povodí, ktoré boli získané z GIS SVP, z literatúry a mapových podkladov. Hydrologická analógia bola preverená a viackrát korigovaná pomocou pozdĺžnej hydrologickej bilancie v úseku a následne aj modelovaním transformácie povodňových vĺn. Zároveň boli preverené súčasné merné krivky, ktoré sme nemuseli meniť.

Historické údaje o veľkých povodniach, historické merné krivky a údaje o denných a dvanásťhodinových vodných stavoch boli taktiež viacnásobne navzájom preverované. Štúdium historických textov ukázalo, že nie všetky údaje o povodiach pochádzajú z meraní, niektoré boli odhadnuté hydraulickým výpočtom. Pozdĺžna hydrologická bilancia a modelovanie transformácie prietokových vĺn tiež poukazovali na možnosť, že historická merná krivka v Záhorskej Vsi nadhodnocuje veľmi vysoké prietoky. Táto hypotéza bola potvrdené aj analýzou záplavových čiar a pozdĺžnych profilov významných historických povodí, ktoré poukázali na výrazný zlom sklonu hladiny v okolí bývalého vodomerného profilu v dôsledku hydraulického pôsobenia viacerých ostrovov v inundačnom území (viď príloha – Obr. 17, 18). Preto bola merná krivka mierne upravená. A to pri vyšších vodných stavoch resp. prietokoch bola znížená, aby už pri vizuálnej kontrole bol konzistentný priebeh prietokov tam, kde bol značný rozdiel medzi priebehom vstupných a výstupných prietokov v danom úseku. Na nasledovnom obrázku (Obr. 3) je uvedená zrekonštruovaná merná krivka pre historický stav.



Obr. 3 Zrekonštruovaná merná krivka pre historický stav koryta

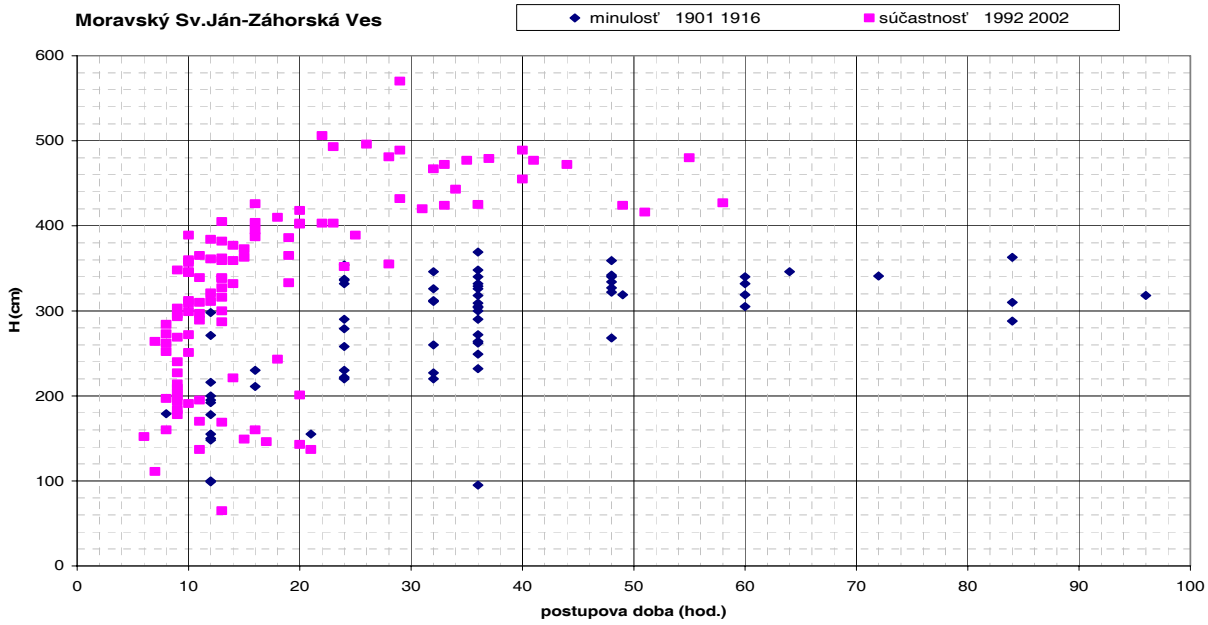
Postup spracovania postupových dôb povodní

V prvom kroku boli vykreslené priebehy vodných stavov v hodinovom, dennom a poldennom kroku vo vybranom úseku. Pre tento úsek bola vytvorená tabuľka, kde sa zaznamenávali jednotlivé prietokové vlny a postupové doby charakteristických bodov hydrogramov. Dôraz sa kládol na vrcholy vĺn, kde sa zaznamenal dátum, čas, vodný stav na vstupe a výstupe, postupová doba, prietok na vstupe, výstupe, aj kulminačný. Následne boli vykreslené vzťahy medzi postupovou dobou a vodným stavom t=f(H) vo vybranom úseku.

Tento vzťah bol pre súčasné údaje pre kontrolu porovnaný so v súčasnosti používaným na SHMÚ. Porovnanie bolo vykonané pre úsek Moravský Svätý Ján (5040) – Záhorská Ves (5085). Dosiahla som podobný vzťah (závislosť), len s rozdielom, že tu som sa zaoberala aj vlnami s kulminačnými vodnými stavmi nižšími ako 300 cm. V mojom prípade v nižších polohách prišlo k výraznejšiemu rozptylu postupovej doby v jednotlivých výškach vodného stavu.

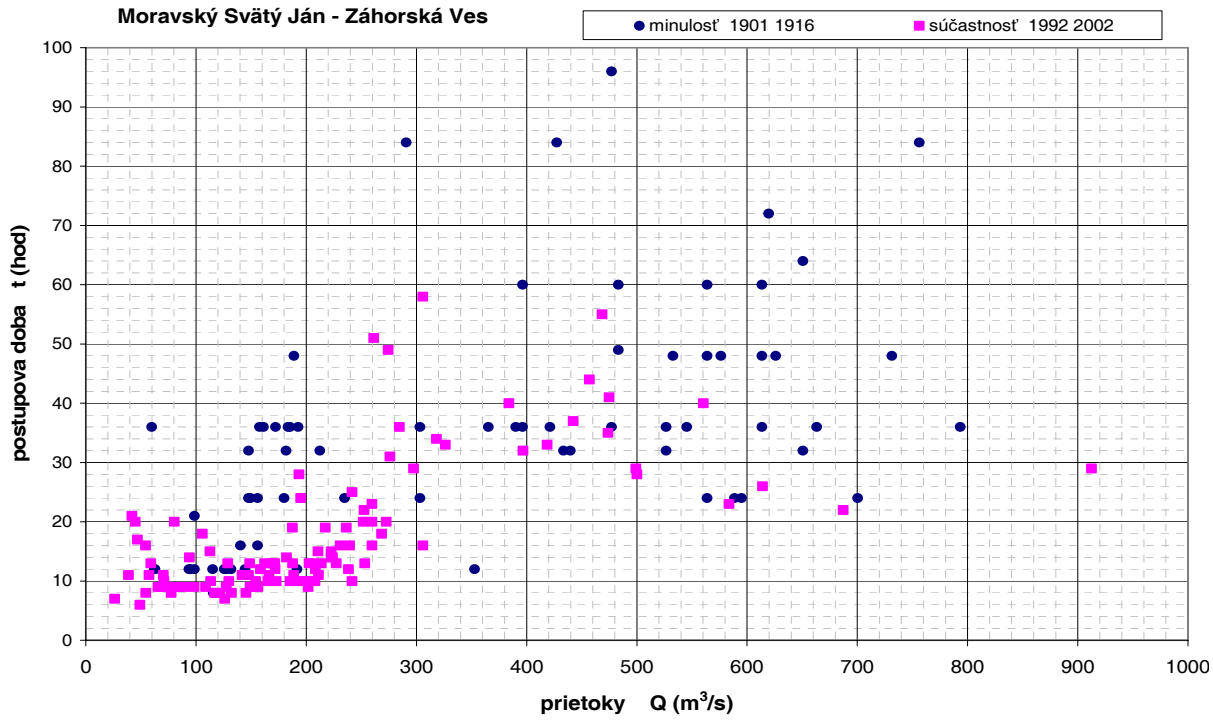
Následne bol vytvorený vzťah medzi rýchlosťou a kulminačným prietokom $c=f(Q_{kul})$ pre vybrané prietokové vlny. Pre historické údaje sa pri zostrojovaní vzťahov muselo obmedziť na obdobia, keď bol používaný dvanásťhodinový časový krok pri meraní vodného stavu, lebo s denným krokom sa v pozorovaní nedalo dosiahnuť potrebné rozlíšenie vzhľadom k postupovým dobám v úseku pri nižších vodných stavoch.

Na nasledovnom obrázku (Obr. 4) sú porovnané postupové doby vrcholov prietokových vĺn zo súčasného a historického stavu koryta v závislosti od vodného stavu, na ďalšom od prietoku. Jasne vidieť, že inundačné územie spomaľovalo postup prietokových vĺn.



Obr. 4 Závislosť postupovej doby vrcholov prietokových vĺn od vodného stavu pre obidva stavy koryta.

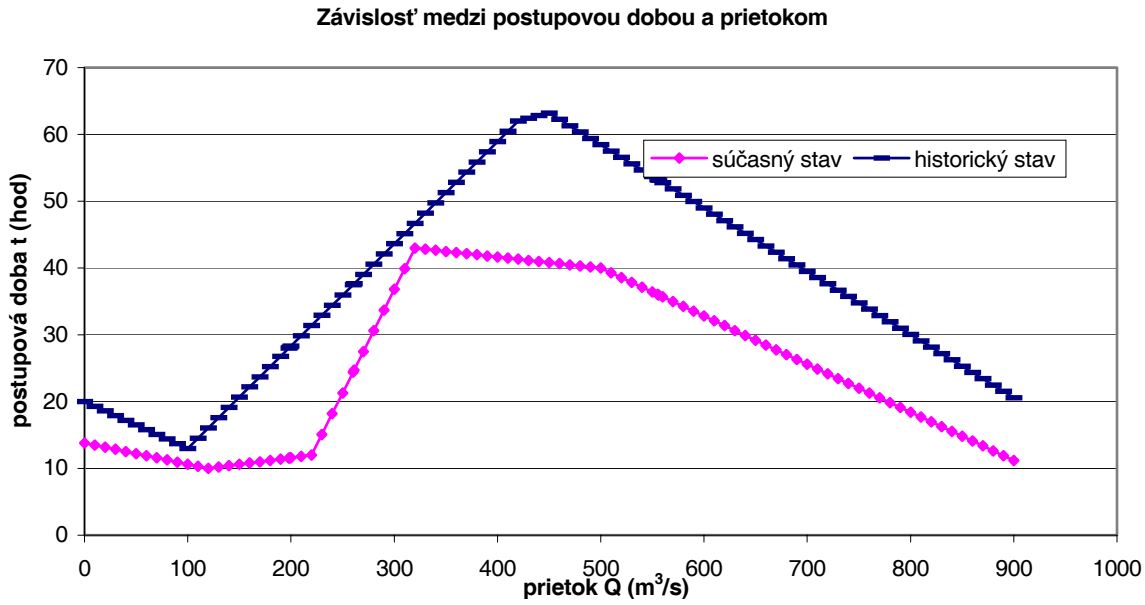
Ďalším dôležitým krokom bolo vykreslenie závislosti postupovej doby od prietoku (Obr. 5) vrcholov vĺn pre súčasné aj historické stavy.



Obr. 5 Závislosť postupovej doby vrcholov prietokových vĺn od prietoku pre obidva stavy koryta

Následne boli vytvorené dva jednoduché modely pre uvedené závislosti. V tejto fáze riešenia sú použité na kalibráciu hydrologického modelu transformácie prietokových vĺn pre súčasný a minulý stav koryta toku, na modelovanie a porovnanie transformácie vybranej prietokovej vlny a kvantifikáciu zmeny transformácie medzi súčasnými a minulými podmienkami koryta. Lineárne závislosti pre rôzne rozsahy prietokov pre obidva stavy koryta uvádzam na Obr. 6.

Treba však poznamenať, že uvedené závislosti sú v celku v súlade so zistením vo svetovej literatúre (Wong a Laurenson 1984). Aj z týchto dvoch modelov je vidieť rozdielne reakcie koryta v minulosti a súčasnosti. Jednotlivé lomy týchto modelov sa vykonali na základe štúdie závislosti postupovej doby vrcholov vĺn od prietoku. Dôležitosť a korektnosť voľby týchto lomov som korigovala aj vzhľadom na vzťah celkovej rýchlosti vrcholov vĺn a prietoku. Model súčasného stavu je zostavený z piatich lineárnych priamok, kde spomínané lomy nastali pri prietoku 120 $m^3.s^{-1}$, 220 $m^3.s^{-1}$, 320 $m^3.s^{-1}$ a 500 $m^3.s^{-1}$. Takto postupným lomeným priebehom som dosiahla najpresnejšiu transformáciu prietokových vĺn. V prvej fáze (7) išlo o mierny pokles postupovej doby v nižších prietokoch, so zvyšujúcim sa prietokom narastal aj čas postupovej doby (8). Dôležitý bod bol približne vo veľkosti vybrežovacieho prietoku cca 220 $m^3.s^{-1}$, kde došlo k prudkému nárastu postupovej doby. Pri veľkosti prietoku 320 $m^3.s^{-1}$ nastala prechodová oblasť (10) sa so zvyšujúcim prietok pozvoľna narastala rýchlosť (11) (znížila sa postupová doba). Krivky historického modelu (12,13,14,15) majú o niečo jednoduchší priebeh. Krivka (12) mala v nízkych prietokoch rastúci trend rýchlosti a krivka (13) mala prudký konštantný nárast postupovej doby až po prietok v hodnote 420 $m^3.s^{-1}$, kde nastala prechodová oblasť po hodnotu 450 $m^3.s^{-1}$. Tu nastal zlom a prišlo ku zrýchleniu priebehu vrcholov prietokových vĺn (14,15), (Obr. 6 a Tab.1).



Obr. 6 Lineárne závislosti postupovej doby vrcholov prietokových vĺn od prietoku pre obidva stavy koryta.

Tab.č.1

stav koryta	rozsah (m^3/s)	rovnica y =t (hod), x = Q($m^3.s^{-1}$)	číslo rovnice
súčasný stav	(0 - 120>	y=-0,0317x+13,8	7
	(120 - 220>	y= 0,2x+7,6	8
	(220 - 320>	y= 0,31-56,2	9
	(320 - 500>	y=-0,0167x+48,331	10
	(500 - 750)	y=-0,072x+76	11
historický stav	(0 - 100>	y=-0,0687x+20	12
	(100 - 420>	y= 0,1531x-2,3155	13
	(420 - 450>	y=0,04x+45,2	14
	(450 - 900>	y=-0,0947x+105,8	15

Modelovanie transformácie vybraných povodňových vĺn pre súčasný a minulý stav koryta

Pre hodnotenie zmeny prechodu povodní bol zostavený matematický model ich transformácie. Modelovanie pozostávalo z nasledujúcich krokov:

- zostavenie multilineárneho modelu transformácie povodňových vĺn, (voľba počtu nádrží „*n*“)
- parametrizácia modelov pomocou závislostí medzi postupovou dobou a prietokom pre súčasný a minulý stav koryta,
- verifikácia modelov pre starý a nový stav koryta na vybranej prietokovej vlne,
- preukázanie zmeny vybranej súčasnej prietokovej vlny dvoma modelmi a hodnotenie zmeny transformácie povodní v dôsledku úpravy koryta.

Voľba počtu nádrží vychádzala zo spomenutého projektu APVT, podľa ktorého sa v tejto práci zvolilo 6 nádrží. Model transformácie prietokových vĺn nebol priamo kalibrovaný. Kalibrované boli závislosti medzi postupovou dobou (rýchlosťou) vrcholov hydrogramov prietokových vĺn a vstupným prietokom do riečneho úseku pre obidva stavy koryta.

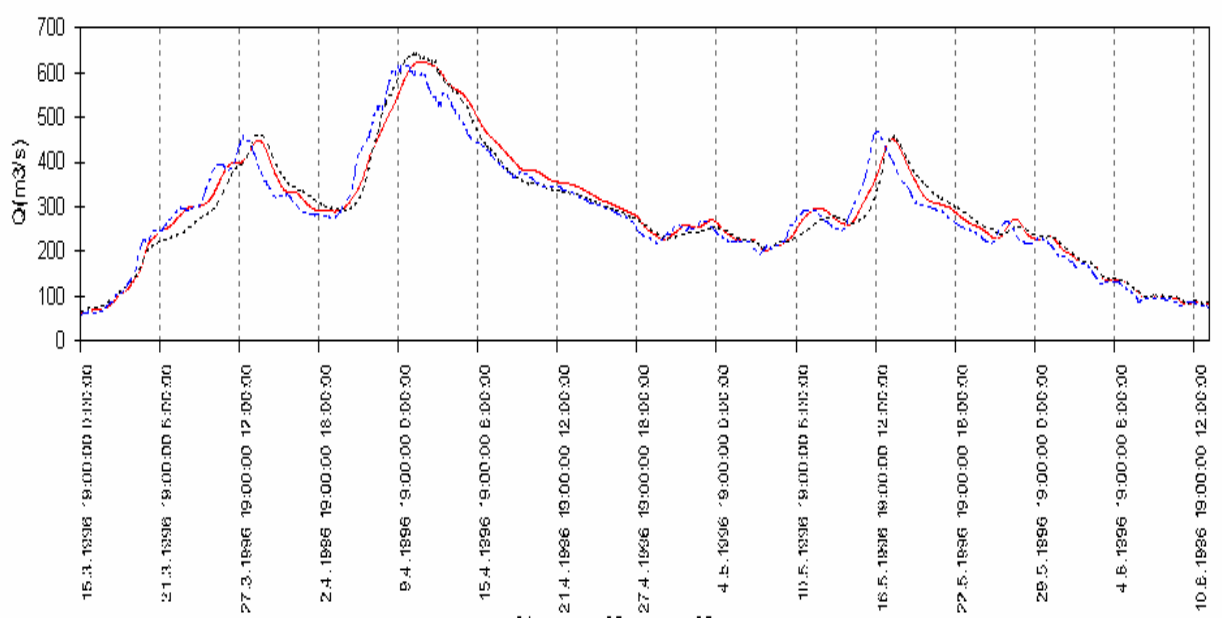
Verifikácia odvodených vzťahov

Pri verifikácii oboch modelov (historický a súčasný stav) sa dosiahli dobré výsledky. Ako príklad na dosiahnuteľnú presnosť transformácie povodňových vĺn uvedeným postupom uvádzam výsledky verifikácie obidvoch modelov (Obr. 7-12) v úseku Moravský Svätý Ján – Záhorská Ves pri transformácii prietokových vĺn z rôznych období a rôznych priebehov za použitia lineárnych vzťahov medzi postupovou dobou a prietokom. Je potrebné poznamenať, že vzhľadom k nezanedbateľnému bočnému prítoku môže byť výstupný prietok vyšší, ako vstupný. Na určenie zhody medzi simulovanými a meranými prietokmi bol použitý Nashov koeficient. V nasledujúcej Tab.č.2 som tento koeficient (ako štatistické kritérium) porovnala medzi mnou získaným vzťahom (verifikácia modelom) a pre optimálne nájdenou konštantou *k* pre jednotlivé prietokové vlny ako pre súčasný tak aj historický stav koryta. Ide o porovnanie iba troch náhodne vybraných prietokových vĺn zo súčasného i historického obdobia.

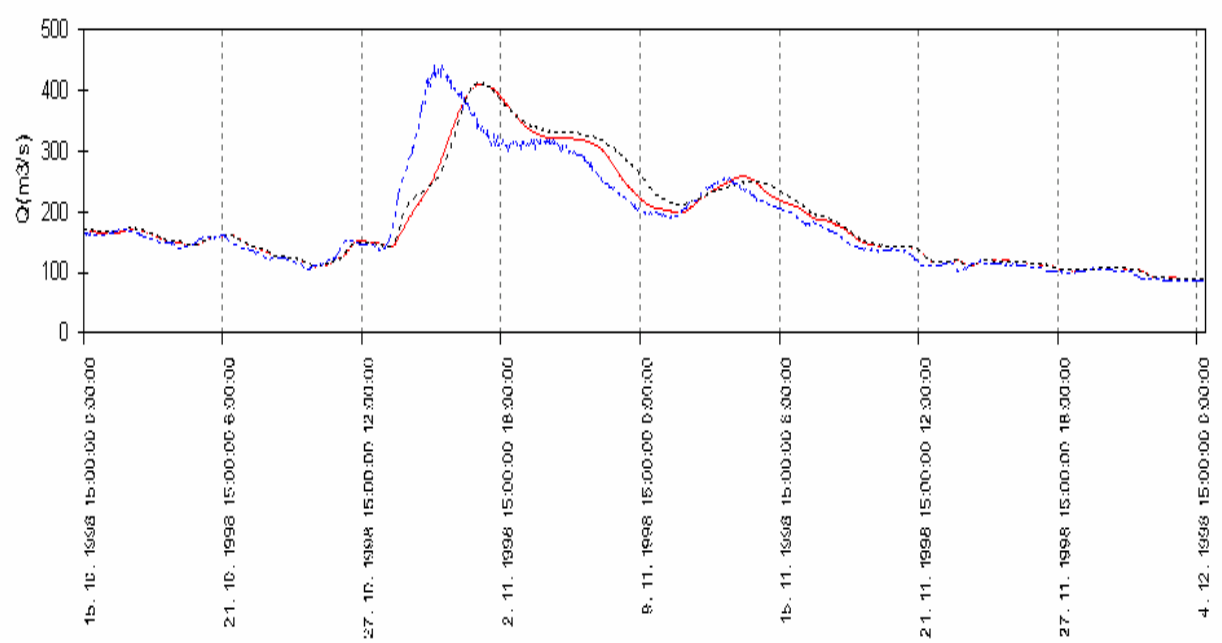
Tab.č.2 Porovnanie získaných koeficientov Nasha

obdobie	**Nashov koeficient**	
	konštantné *k* optimalizované pre každú vlnu genetickým algoritmom	modely z rovníc 7 - 15
15.03.1996 – 10.06.1996	0,99432	0,99694
15.10.1998 – 04.12.1998	0,99654	0,99714
29.06.1997 – 29.08.1997	0,99395	0,99756
16.10.1901 – 18,02.1901	0,99345	0,99547
04.02.1903 – 06.04.1903	0,98821	0,98942
07.07.1903 – 21.08.1903	0,99402	0,99419

Obr. 7 Verifikácia modelu pre súčasný stav koryta - obdobie 15.03.1996 – 10.06.1996



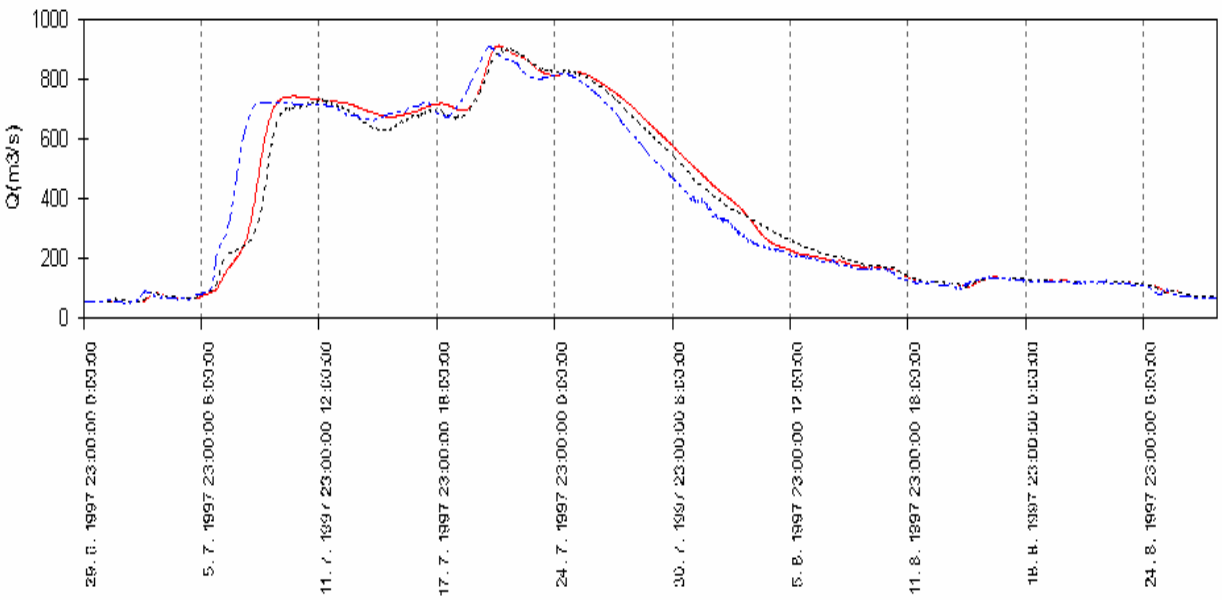
Obr. 8 Verifikácia modelu pre súčasný stav koryta - obdobie 15.10.1998 – 4.12.1998



LEGENDA:

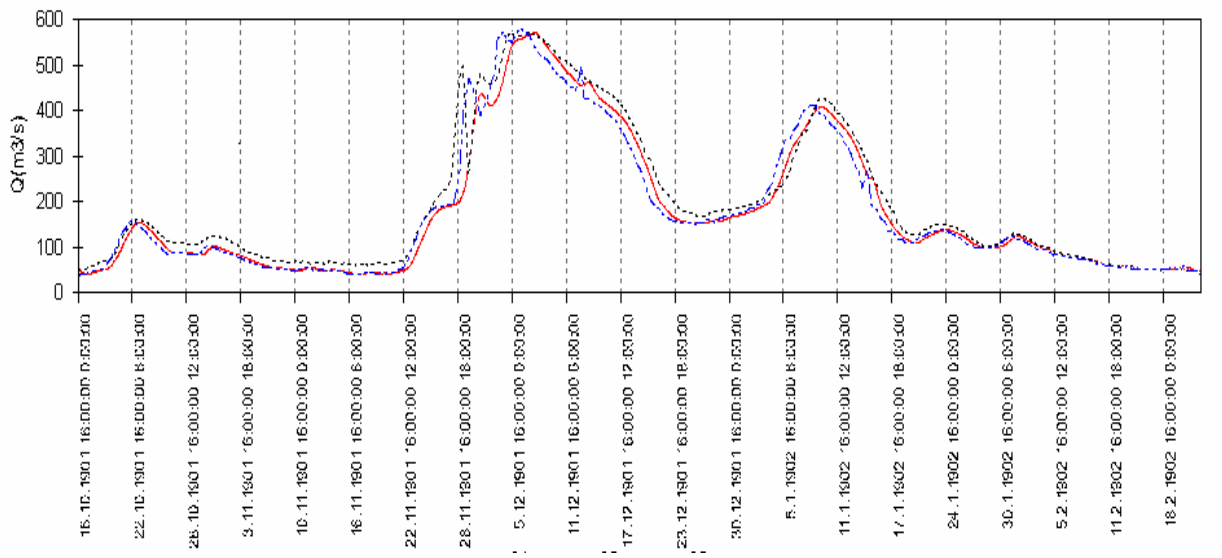
vstupný meraný prietok
výstupný meraný prietok
modelovaný výstupný prietok

Obr. 9 Verifikácia modelu pre súčasný stav koryta - obdobie 29.6.1997 – 29.8.1997



Vidieť, že model súčasného stavu koryta dobre vystihuje nástup, veľkosť a dobu kulminácie v celom rozsahu prietokov napriek jednoduchosti použitých vzťahov, čomu nasvedčujú hodnoty Nashovho koeficientu.

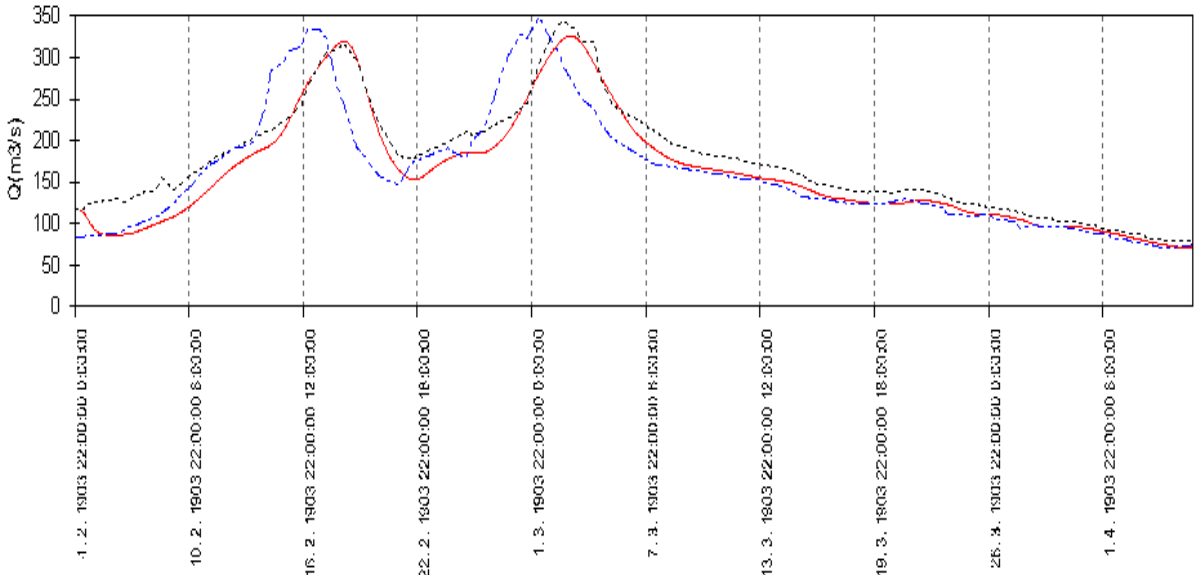
Obr. 10 Verifikácia modelu pre historický stav koryta – za obdobie16.10.1901 - 18.2.1902



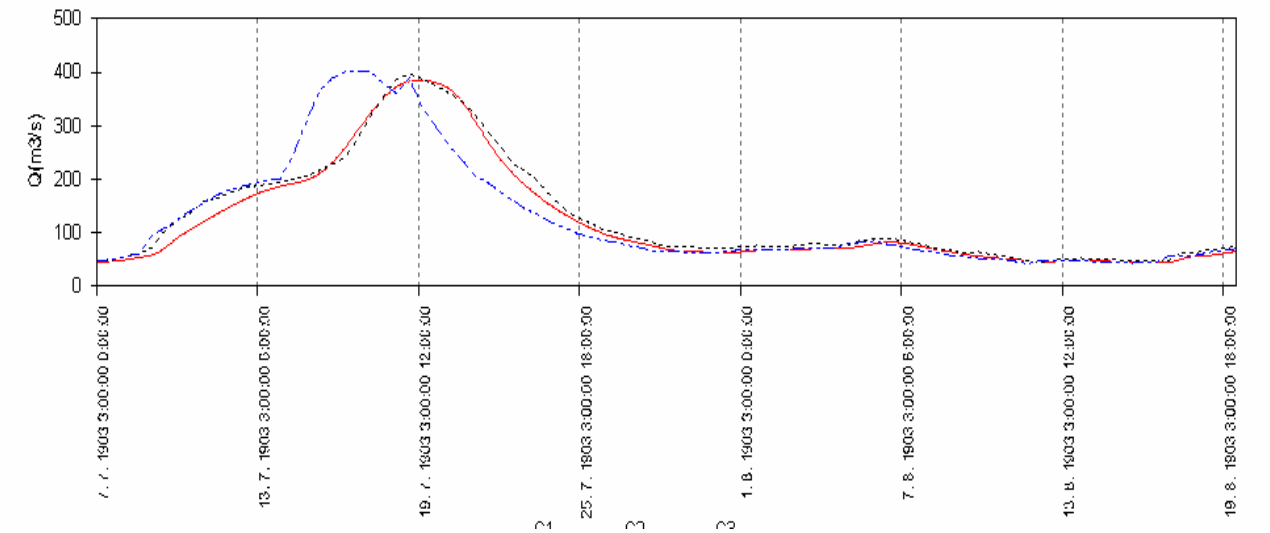
LEGENDA:

vstupný meraný prietok
výstupný meraný prietok
modelovaný výstupný prietok

Obr. 11 Verifikácia modelu pre historický stav koryta – za obdobie 4.2.1903 - 6.4.1903



Obr. 12 Verifikácia modelu pre historický stav koryta – za obdobie 7.7.1903 - 21.8.1903



LEGENDA:

vstupný meraný prietok
výstupný meraný prietok
modelovaný výstupný prietok

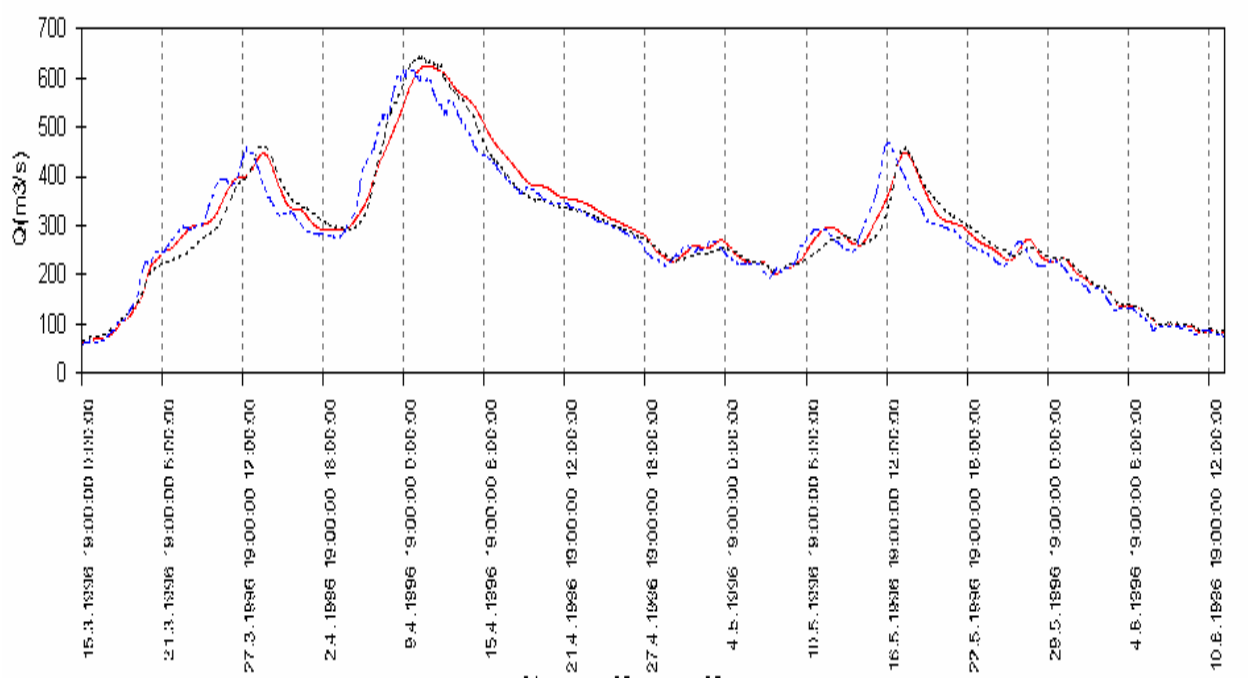
Model historického stavu koryta dobre vystihuje nástup a dobu kulminácie v celom rozsahu prietokov, čo bolo hlavnou úlohou. Veľkosť prietokov je o niečo nižšia z dôvodu zanedbania bočného prítoku (príčinou bola nedostupnosť údajov), kde boli aj hodnoty Nashovho koeficientu nižšie.

Je zrejmé, že použitím iných empirických vzťahov medzi postupovou dobou a prietokom by sa dostali rozdielne výsledky. Voľba typu vzťahu je subjektívna, čo je slabou stránkou prístupu. Na druhej strane odvodené funkcie zohľadňujú charakter správania sa prototypu a tým aj implicitne jeho hydraulické parametre ako pre súčasný, tak aj pre historický stav koryta.

Porovnanie zmien transformácie vybranej prietokovej vlny v oboch stavoch koryta

Posledným bodom tejto práce bolo porovnať transformáciu vybranej povodňovej vlny na základe odvodených transformačných modelov. Ako príklad kvantifikácie vplyvu inundácie na rozdielnosť transformácie prietokových vĺn pomocou odvodených modelov uvádzam porovnanie transformácie vlny z obdobia marec - jún 1996 pre obidva stavy koryta. Na Obr.13 je výstup z modelu pre súčasný stav koryta, na Obr.14 fiktívna transformácia tej istej vlny v historickom koryte. Treba poznamenať, že vzhľadom k nezanedbateľnému bočnému prítoku môže byť výstupný prietok vyšší v historickom stave, ako vstupný a časť nepresnosti simulácie súčasného stavu je spôsobená aj nepriamym odhadom bočného prítoku.

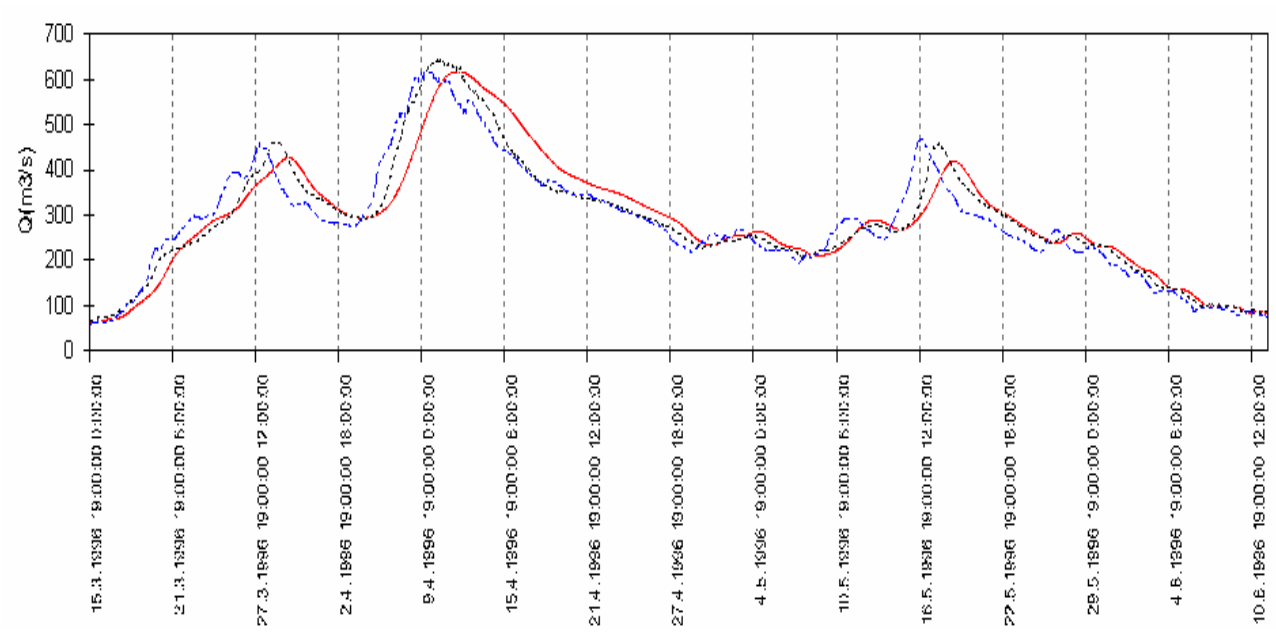
Obr. 13 Transformácia vybranej modelovanej povodňovej vlny – súčasný stav koryta obdobie 15.3.1996 – 10.6.1996



LEGENDA:

vstupný meraný prietok
výstupný meraný prietok
modelovaný výstupný prietok

Obr. 14 Transformácia vybranej modelovanej povodňovej vlny – historický stav koryta z obdobia 15.3.1996 – 10.6.1996



Z Obr.13 a 14 možno zreteľne vidieť rozdielnosť transformácie vybranej vlny pri obidvoch stavoch korýt. Na Obr. 13 je dobré simulovanie súčasného stavu. Dobre vystihuje veľkosť a dobu kulminácie v celom rozsahu prietokov. V historickom stave koryta má modelovaný výstupný prietok nižšiu veľkosť a oneskorenú dobu kulminácie v dôsledku otvorenejšieho inundačného územie. Zníženie kulminácie nastalo o 25 $m^3.s^{-1}$ v najvyššom bode modelovaného obdobia pri meranom výstupnom prietoku 659 $m^3.s^{-1}$. Spomalenie postupovej doby bolo cca 18 hodín na konkrétnej vybranej povodňovej vlne.

Záver

Cieľom tejto práce nebolo, a ani nemohlo byť, hľadanie optimálnych závislosti medzi postupovou dobou a prietokom a presné kvantifikácie účinnosti vybraného inundačného územia, ale vývoj a overenie metodiky, a preukázanie priechodnosti navrhovaného riešenia, čo sa v plnom rozsahu podarilo.

Optimálne závislosti pre celkové záverečné riešenie sa budú hľadať v ďalšej práci (spolu s teoretickou analýzou), napr. ako závislosť postupovej doby na hydraulických parametroch koryta. To sa zatiaľ nepodarilo uspokojivo vyriešiť, napr. aj Wong a Laurenson (1984) pristúpili k podobným empirickým závislostiam.

Doterajšie výsledky však ukázali schodnosť navrhnutého riešenia. Podarilo sa preukázať priechodnosť celej technologickej linky potrebnej pre dosiahnutie plánovaných cieľov riešenia projektu. Odvodené závislosti zovšeobecňujú hydraulické vlastnosti riečneho koryta a v prípade dostatočného súboru dát na ich odvodenie (a taký sme počas riešenia spracovali) sa dajú považovať za univerzálne pre daný tok.

V riešení sa podarilo preukázať, že koncepcia viacerých lineárnych modelov je použiteľná pre transformáciu povodňových vĺn aj na dolnej Morave. Parametrizácia modelu pomocou lineárnych závislostí medzi postupovou dobou a prietokom sa ukázala ako spoľahlivá metóda, čo potvrdila verifikácia modelu ako pre súčasný, tak aj pre historický stav koryta. Prvotné porovnania rozdielnosti transformácie vybraných prietokových vĺn zo súčasného obdobia preukázali známy fakt, že pri rozvinutej inundácii sa postup vĺn spomaľuje a kulminácia znižuje. Vyvinutý matematický model odtoku umožňuje kvantifikovať rozdielnosť transformácie v celom rozsahu povodňového režimu a pre všetky typy povodňových vĺn, čo bude využité v ďalšom riešení pri hodnotení celkového vplyvu inundácie na povodňový režim a hodnotení reálne dosiahnuteľnej miery zníženia kulminácie povodní pomocou umelých inundačných priestorov.

Po následnom spracovaní dostatočného počtu modelových situácií sa bude dať štatisticky vyhodnotiť zmena povodňového režimu v dôsledku úpravy toku.

Literatúra

Price, R.K.: 1975, Flood routing in natural rivers. In: Flood studies report. NERC, Londýn, 76s.

Szolgay, J.: 1982, Príspevok k diskretizácii spojitých lineárnych modelov transformácie povodňovej vlny. Vodohosp. čas., 30, , č.2, s.141-159.

Szolgay, J., (1985): Zohľadnenie vplyvu bočného prítoku a premenlivej postupovej doby v modeli KLN na regulovanom toku. In: Zborník Hydrologické a hydraulické procesy v krajine. Bratislava, UHH SAV, s 245–252.

Szolgay, J.-Minárik, B., (1990): Überlegungen zur Abflussvorhersage mittels einer mit Bayes'schen Fehlergliedmodell gekoppelten multilinearen Speicherkaskade auf Flussstrecken mit seitlichen zuflüssen. XV. Konferencia podunajských štátov o hydrologických prepovediach. Varna, BVMHP,1990, s.76–84.

Szolgay J. (2003): Multilinear discrete cascade model for river flow routing and real time forecasting in river reaches with variable speed. Proceedings of the ESF LESC Exploratory Workshop held At Bologna, Italy. 14 s.

Wong, T.H.F.- Laurenson, E.M.: 1984, A model of flood wave speed-discharge characteristics of rivers. WRR, Vol. 20, č.12, s. 1883-1890.

Wong, T.H.F.- Laurenson, E.M.: Wave speed-discharge relation in natural channels. WRR, Vol. 19, č.3, s 701-706.

Spracované historické podklady:

Historické archívne materiály z obdobia 1880 – 1932 (archív maďarskej hydrologickej služby a okresný archív v Myjave): vodné stavy, historické merania prietokov a merné krivky prietokov.

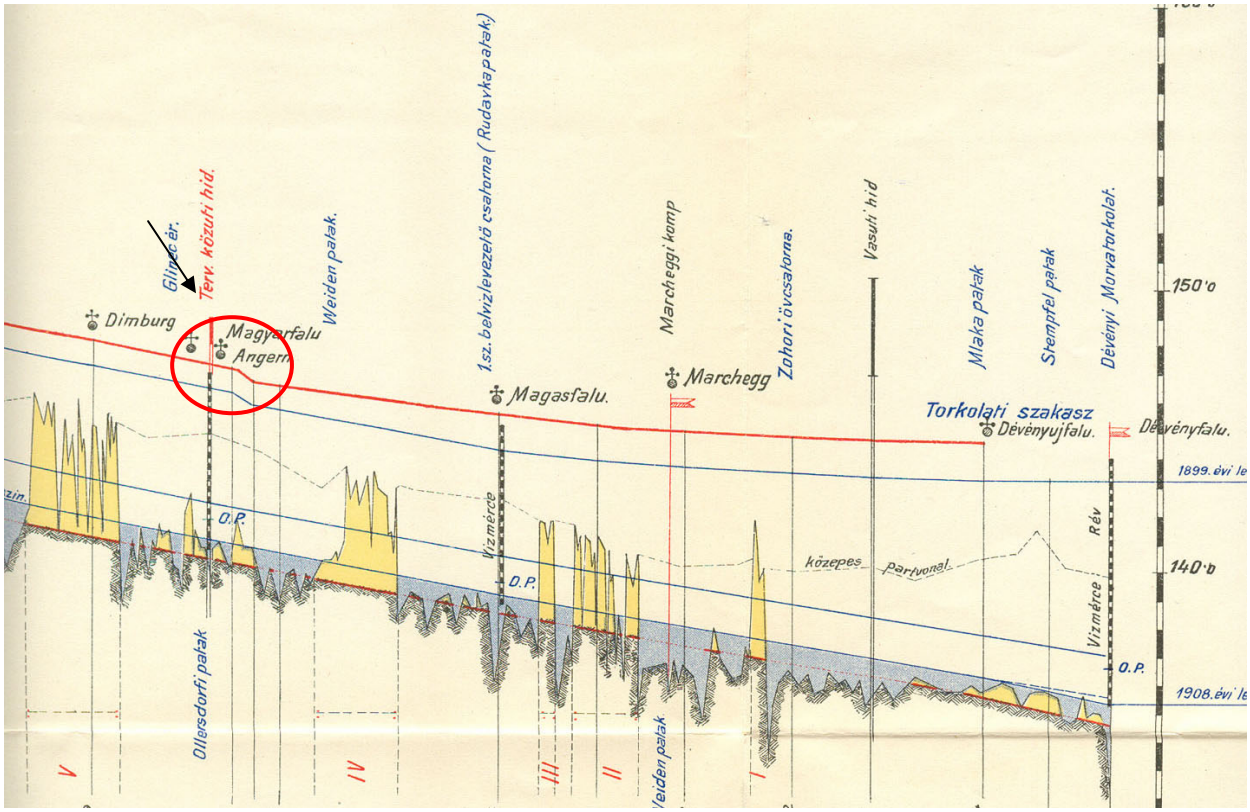
- prehľad najvyšších vodných stavov za významných povodní rieky Morava 1893 – 1932,
- výskyt veľkých vôd zoradených podľa vodočetnej výšky v Moravskom Svätom Jáne z obdobia 1893 – 1932,
- merná krivka prietokov v Moravskom Sv. Jáne 1889 – 1900,
- merná krivka prietokov v Záhorskej Vsi z obdobia 1894-1896,
- záznamy z hydrometrovaniach v stanici Moravský Sv. Ján z obdobia 1901 – 1916,
- záznamy z hydrometrovaniach v stanici Záhorská Ves z obdobia 1901 – 1916,
- záplavové územie medzi vodomernými stanicami Moravský Svätý Ján a Záhorská Ves,
- vývoj inundačného územia z obdobia.

Autor

Ing. Michaela Danáčová, Suf STU, Katedra vodného hospodárstva krajiny, Radlinského 11, Bratislava

Príloha

Obr. 17 Úsek pozdĺžneho profilu významných historických povodní – Záhorská Ves



Obr. 18 Mapa inundačného územia v okolí vodomernej stanice Záhorská Ves



NOVÉ TRENDY NÁVRHU RYBÍCH PRIECHODOV NA VODNÝCH DIELACH

Lea Hašková

Príspevok uvádza základné údaje a rozdelenia rybích priechodov, ktorých súčasťou sú aj biokoridory. Jedným z hlavných kritérií návrhu je prítomná rybia fauna, ako aj charakter pôvodného toku. V článku sa tiež uvádzajú základné návrhové parametre týchto zariadení. Na záver sú zhodnotené samotné biokoridory – ich výhody a nevýhody.

Kľúčové slová: biokoridor, návrhové parametre, migrácia

New design trends of fish passages on the water structures. *This article presents basic data and dividing of fish passages, to which belongs also biocorridors. The most important of the others criteria is existing fish fauna, as well as character of the natural stream. In the paper are the basic design parameters of these structures, too. In conclusion are summarized just biocorridors – their advantages and disadvantages.*

Key words: biocorridor, design parameters, migration

---

1. RYBIE PRIECHODY

Pojem rybie priechody zahŕňa všetky konštrukcie umožňujúce zdolať rybím organizmom značný výškový rozdiel hladín, vytvorený vodným dielom, t.j. obojsmernú migráciu [3]. U nás boli v minulosti budované najmä rybovody – betónové žľaby s komôrkami, či prepážkami. Súčasný trend je však spojiť interakcie technického riešenia, požiadaviek ekológov, ichtyológov, či miestnych rybárskych združení. Preto sa do popredia dostávajú prírode blízke riešenia, ktoré majú snahu kopírovať charakter prírodného toku a zahŕňajú aj možnosti a schopnosti prítomnej rybej fauny.

1.1 Umiestnenie, prevádzka a údržba rybích priechodov na vodných dielach

Rybie priechody sú neoddeliteľnou časťou vzdúvacích stupňov, pričom zaberajú len malú časť prietočného profilu. Ich vtok by mal byť vzdialený minimálne 5 m od vtoku do vodnej elektrárne, resp. hrablíc. Pritom je vhodné napojiť vtok na prirodzený dnový substrát pôvodného toku. Nevyhnutné sú tiež opatrenia zabraňujúce zanášaniu plávajúcimi nečistotami. Výtok z priechodu je vhodný na úrovni hate alebo odtoku z turbín, pod maximálnym uhlom 45^{o} [1]. Najlepšia poloha rybieho priechodu je pri tom brehu, kde sa nachádza vodná elektráreň, pri derivačnej schéme je tiež možné umiestnenie na hati, ako spojenie pôvodného koryta s hornou zdržou. Rybie priechody celkovo predpokladajú harmonické napojenie na okolitú krajinu, a to najmä využitím prírodných stavebných materiálov a výsadbou zelene. Odporúča sa denné osvetlenie priechodov – otvorené koryto, tienené len brehovou vegetáciou.

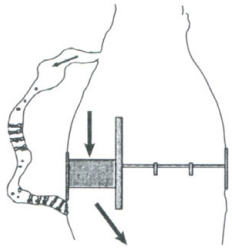
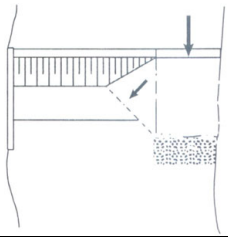
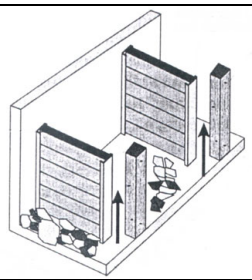
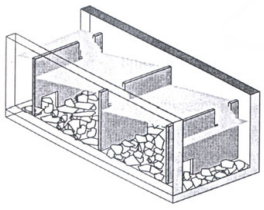
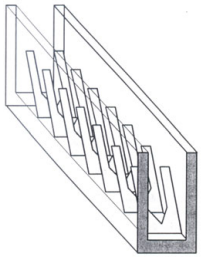
Prevádzková doba je podmienená prítomnou vodnou faunou. Zástupcovia kaprovitých druhov migrujú najmä na jar a v lete, lososovité druhy zas predovšetkým v zimnej polovici roka, kým u dnových bezstavovcov sa predpokladá celá vegetačná perióda. Z toho teda vyplýva potreba ich celoročnej prevádzky. Prípustná je obmedzená funkčnosť len počas extrémne nízkych, či vysokých stavov, kedy tiež klesá migračná aktivita rýb.

Na zabezpečenie údržby sa vyžaduje ich bezproblémová prístupnosť a bezpečná pochôdznosť. Prírode blízke typy majú výhodu samoregenerácie. Okrem toho oblasť priechodu by mala byť chránená zákazom lovu a obmedzením voľnočasových aktivít, ako sú kúpanie a člnkovanie. Preskúšanie funkčnosti takéhoto objektu sa odporúča vždy po prechode veľkej vody.

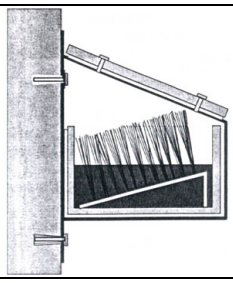
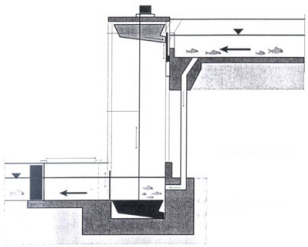
1.2 Rozdelenie rybích priechodov

Tab. 1 Prehľad konštrukcií rybích priechodov [1]

Tab. 1 Summary of the fish passages structures [1]

Konštrukcia	Schéma	Charakteristika	Min. rozmery a prietoky
Prírode blízke			
Dnové prahy a sklzy (priechodné pre celú vodnú faunu, obojsmerne)		Prahy a sklzy-v celej šírke toku, veľmi drsné, uprednostňované sú nezhutnené a členité	b = šírka toku, i < 1:15, h > 0,2 m, q > 100 $l.s^{-1}.m^{-1}$
Obtoková bystrina – biokoridor (priechodný pre celú vodnú faunu, obojsmerne, životný priestor pre reofilné druhy)		Obchvat vodného diela s prírodne vytvoreným tokom v derivácii	b > 1,2 m, i < 1:20, h > 0,2 m, q = 100 $l.s^{-1}.m^{-1}$
Rampy pre ryby (priechodné pre celú vodnú faunu, obojsmerne)		Drsné rampy v miernom sklone, integrované do opevnenia hate, teleso rampy-z kamenného násypu	b > 2 m, i = 1:20 a viac, h > 0,3-0,4 m, q = 100 $l.s^{-1}.m^{-1}$
Technické			
Štrbinový priechod (vhodný pre všetky druhy rýb, po realizácii dnového substrátu aj pre bezstavovce)		Betónový žľab s priečkami z betónu (dreva), s 1 (2) zvislými štrbinovými otvormi na boku žľabu	l_n > 1,9 m, b > 1,2 m, h > 0,5 m, s > 0,17 m, Q = 140 $l.s^{-1}$ a viac
Miskovitý priechod (vhodný pre všetky druhy rýb, ale pri min. prietoku nedostatočné prúdenie)		Betónový žľab s priečkami z dreva (betónu), so striedajúcimi sa otvormi na hornej hrane	l_n > 1,4 m, b > 1 m, h > 0,6 m, Otvory: b_o/h_o > 0,25/0,25 m, Q = 80-500 $l.s^{-1}$ a viac
Denilov priechod (vhodný pre malé a slabovýkonné ryby, neprekonateľný pre bentické organizmy)		Drevený (betónový) žľab, s drevenými lamelami tvaru U, sklonenými proti prúdu pod uhlom 45°	b = 0,6-0,9 m, h > 0,5 m, i < 1:5, Q > 250 $l.s^{-1}$, $l_ž$ = 6-8 m

b - šírka, i - sklon, h - výška, q - špecifický prietok, l_n - dĺžka nádržky, s – šírka štrbiny, Q – prietok, $l_ž$ - dĺžka žľabu

Konštrukcia	Schéma	Charakteristika	Min. rozmery a prietoky
	Iné		
Priechod pre úhory (vhodné len pre plody úhora)		Malý žľab (príp. rúra) so štetinami, krovinatými a štrkovými úsekmi	b = 30-50 cm, i = 1:5-1:10 a viac, h = 15-25 cm
Plavebná komora pre ryby (vhodné pre salmonidy, aj pre slabovýkonné druhy, menej vhodné pre dnovoorientované druhy a malé ryby)		Komora s uzávermi na strane hornej aj dolnej vody	Variabilné - šírka a hĺbka komory sú analogické s miskovitým priechodom, potreba vody závisí od veľkosti komory a cyklu preplavovania
Rybí výťah (vhodné pre salmonidy, aj pre slabovýkonné druhy, menej vhodné pre dnovoorientované druhy a malé ryby, nevhodné pre makrozoobentos a zostup rýb)		Transportné koryto so zdvíhadlom, ryby sa prepravujú z dolnej do hornej vody mechanickým pohybom	Variabilné - objem transportného koryta cca 2-4 m^3, potreba neustáleho prietoku

1.3 Rybia fauna a jej požiadavky

Výstavba vodných diel vytvára na tokoch vznik bariér, ktoré sú pre vodné živočíchy neprekonateľnou prekážkou. Ryby migrujú po i proti prúdu nielen kvôli nereseniu, ale aj kvôli potrave, či lepším stanoviskám. Pritom je mylná predstava, že takýto ťah absolvuje každoročne len losos [2]. Dôsledok rozdelenia rýb vodným dielom je zabránenie migrácie, pokles prirodzenej reprodukcie, možnosť genetickej erózie izolovanej rybej populácie, zmenšenie úlovkov v takto postihnutom úseku [4].

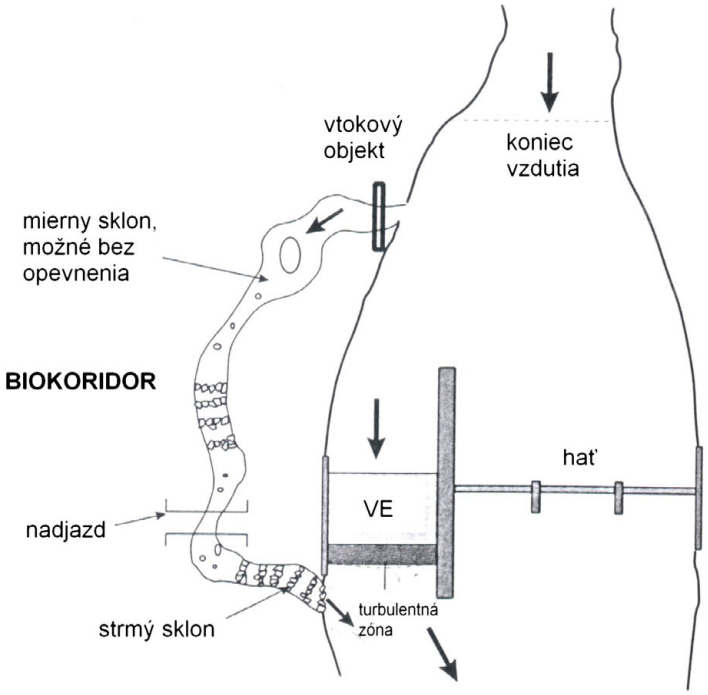
V zásade sa rozlišujú tieto druhy rýb [1]:
- v rýchlo tečúcej vode – pstruh potočný, čerebľa obyčajná, hlaváč obyčajný,
- v pomaly tečúcej vode – pleskáč vysoký, kapor, červenica obyčajná.

Pri návrhu rybieho priechodu treba v prvom rade poznať výskyt a druhové zloženie rýb, pretože na tomto základe možno potom o jednotlivých druhoch zistiť, akou maximálnou rýchlosťou plávajú, za aký čas sa unavia, akú potrebujú minimálnu hĺbku a takisto sklon dna a šírka pôvodného toku, v akom sa prirodzene vyskytujú.

Všeobecne možno hovoriť o týchto požiadavkách na rybie priechody:
- maximálna rýchlosť prúdenia: $v_{max} = 1{,}6 – 2$ m.s^{-1},
- maximálny prípustný rozdiel hladín: $\Delta h = 0{,}2$ m,
- maximálny prípustný sklon – pre technické konštrukcie: i = 1:5 – 1:10,
  – pre prírode blízke konštrukcie: i ≤ 1:15,
- upokojujúca nádržka po prekonaní 2 m výškového rozdielu hladín.

2. BIOKORIDORY

Biokoridor, z vodohospodárskeho hľadiska, sa definuje ako náhradná trasa s charakterom prírodného toku, ktorá tvorí dlhšie obtokové koryto s imitáciou prírodného povrchu – balvanité koryto s plynulým dnom, presypané štrkopieskom, so šikmými brehmi, pomaly prúdiacou kaskádovitou hladinou vytvorenou prepážkami s veľkým prepadovým otvorom, s dostatočnými oddychovými úsekmi s pokojnou, nezvírenou a nespenenou vodou [2].



Obr.1 Biokoridor ako súčasť vodného diela

Fig.1 Biocorridor as a part of the water scheme

2.1 Návrhové veličiny biokoridorov

Hlavným cieľom pri návrhu biokoridora je to, že sa má správať ako prirodzený tok, čiže sa má meniť priečny profil i sklon od miesta k miestu, žiaduce sú nánosy a výmole, ako aj tvorba brodov, či plytčín. Preto ako predloha pre jeho usporiadanie slúži sklonitá bystrina.

Odporúčajú sa nasledujúce minimálne rozmery a parametre koryta biokoridora [1]:

- šírka dna: $b > 0,8$ m
- prevládajúca hĺbka vody: $h > 0,2$ m
- stredná rýchlosť prúdenia: $v_m = 0,4 – 0,6$ m.s^{-1}
- pozdĺžny sklon dna sklon: $i = 1$ % – max. 5 %
- maximálna rýchlosť prúdenia: $v_{max} = 1,6 – 2$ m.s^{-1}
- špecifický prietok: $q > 0,1$ m^2.s^{-1}

(h, v_m, i – závisia od veľkosti a charakteru pôvodného toku)

2.1.1 Výhody biokoridorov

Biokoridor kopíruje prirodzené usporiadanie toku, z čoho plynú nasledujúce pozitíva [1]:

- priechodnosť aj pre malé ryby a bezstavovce,
- zabezpečenie celoročnej funkčnosti pri minimálnych nákladoch na údržbu,
- vytvorenie nového životného priestoru a sekundárnych biotopov pre vodnú faunu,
- vhodné na dostavbu existujúcich vzdúvacích stupňov, pretože ich obchádzajú paralelne s pôvodným tokom,
- dobré napojenie na existujúce biotopy a splynutie s okolitou krajinou.

2.1.2 Nevýhody biokoridorov

Z usporiadania, vedenia trasy a výstavby biokoridora vyplývajú aj relatívne negatíva [1]:

- veľký záber územia,
- pomerne veľká dĺžka,
- citlivosť na kolísanie vodných stavov hornej vody, čo si vyžaduje výstavbu vtokových objektov,
- napojenie na dolnú vodu častokrát možné len technickým rybím priechodom,
- nutné hlboké krajinné zárezy – podľa situácie,
- výstavba regulačných uzáverov a prevádzkových lávok, ktorá približne zdvojnásobí náklady na výstavbu biokoridora.

3. ZHODNOTENIE RYBÍCH PRIECHODOV

Spriechodnenie akejkoľvek bariéry na toku je veľkým prínosom nielen pre rybné hospodárstvo, ale aj pre ochranu životného prostredia a trvalo udržateľný rozvoj využívania vodných tokov [2]. Preto sa pri dimenzovaní rybích priechodov musí dbať na požiadavky prítomnej rybej fauny, aby tieto konštrukcie boli aj reálne využívané. Z uvedeného vyplýva potreba hydraulického výskumu rybích priechodov, ako aj ichtyologického prieskumu dotknutých tokov.

Literatúra

Kol. (1996): Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle, Merkblätter zur Wasserwirtschaft 232/1996, Wirtschafts- und Verlagsgeselschaft Gas und Wasser mbH, Bonn. [1]

Druga, V.: Pripomienky k pripravovanej vyhláške MŽP SR. [2]

http://mve.energetika.cz/ vodnidilo/rybi-prechody.htm [3]

http://www.sazp.sk/slovak/periodika/chus/43/page8.html [4]

Autor

Lea Hašková, Ing., STU, Stavebná fakulta, Katedra hydrotechniky, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, haskova@svf.stuba.sk

PROBLEMATIKA OCHRANNÝCH PÁSIEM VODÁRENSKEJ NÁDRŽE MÁLINEC

Tomáš Ič

Budovanie vodárenských nádrží je okrem realizácie samotnej vodnej nádrže a jednotlivých objektov vodnej stavby spojené aj s potrebou prijatia opatrení potrebných pre zabezpečenie čo najvyššej ochrany kvality vody v samotnej nádrži. Vodárenská nádrž Málinec bola vybudovaná v roku 1993 a jej účelom je zabezpečenie povrchovej vody pre pitné účely pre obyvateľstvo obcí v okrese Poltár. Odber a dodávku povrchovej vody do domácností zabezpečuje Stredoslovenská vodárenská spoločnosť a.s. Banská Bystrica.

Pre ochranu územia v okolí VN Málinec boli rozhodnutím Okresného úradu životného prostredia v Banskej Bystrici č. 1056/2/330/403.1/92-Š3 a rozhodnutím Ministerstva životného prostredia SR č. 265/752/93-OOV) vymedzené ochranné pásma (vtedy pásma hygienickej ochrany) v nadväznosti na vtedy platnú úpravu Ministerstva zdravotníctva a Ministerstva lesného a vodného hospodárstva č. 17/1979 o základných hygienických zásadách pre zriaďovanie, vymedzenie a využívanie ochranných pásiem vodných zdrojov určených pre hromadné zásobovanie pitnou vodou a úžitkovou vodou a pre zriaďovanie ochranných pásiem. V uvedených rozhodnutiach bol v členení podľa ochranných pásiem a podľa jednotlivých druhov činností stanovený spôsob hospodárenia v predmetnom území. Vo všeobecnosti možno konštatovať, že schválením horeuvedených rozhodnutí orgánmi štátnej správy došlo k obmedzeniu niektorých druhov činností, čo sa okrem iných skutočností prejavilo aj na migrácii obyvateľstva z danej oblasti do iných lokalít, resp. do okrajových častí ochranného územia alebo mimo neho.

Z hľadiska vodného hospodárstva bolo v čase budovania VN Málinec najdôležitejším faktorom vybudovanie žúmp k existujúcim rodinným domom a usadlostiam, čím sa malo zabezpečiť znečisťovanie odpadových vôd v jednotlivých sídelných častiach ochranných pásiem vodárenskej nádrže, prevažne v roztrúsených usadlostiach.

Obmedzenia v rámci jednotlivých druhov činností sa dotkli tak obyvateľstva, ako aj priemyselnej a poľnohospodárskej výroby, a to predovšetkým z hľadiska použitia nebezpečných látok ohrozujúcich kvalitu povrchovej a podzemnej vody v predmetnej lokalite ako sú motorové oleje, pesticídy, aplikácia postrekov a iné činnosti.

Najväčšia časť obyvateľstva je v súčasnosti sústredená v obci Látky v III. ochrannom pásme a v obci Málinec v II. ochrannom pásme. Dlhodobou snahou obce Látky je vybudovanie čistiarne odpadových vôd a kanalizácie, ktorých realizácia však viazne na nedostatku finančných prostriedkov. Atraktívna oblasť okolia obce Látky, ktorá je ideálna pre pestovanie letných a zimných športov a rekreácie, láka čoraz viac turistov zo Slovenska, ako aj zo zahraničia, čo má za následok snahu potenciálnych investorov o budovanie nových rekreačných objektov, penziónov a veľkokapacitných ubytovacích zariadení. Stavebná činnosť je rozhodnutiami o vymedzení ochranných pásiem obmedzená, táto skutočnosť však nie je rešpektovaná niektorými stavebníkmi, pričom v takých prípadoch sa jedná o nepovolenú stavebnú činnosť.

Prioritou Slovenského vodohospodárskeho podniku, š.p. OZ Banská Bystrica ako správcu a prevádzkovateľa VN Málinec je zabezpečiť ochranu kvality vody vo vodárenskej nádrži pre pitné účely so zosúladením požiadaviek stavebníkov a ostatných užívateľov ochranných pásiem, a to vytvorením podmienok pre plnohodnotné využívanie územia nad nádržou. V súvislosti s problematikou využívania vodárenskej nádrže vypracoval správca nádrže „Štúdiu ekologicky únosnej zástavby v ochranných pásmach VN Málinec“. Základným princípom uvedenej štúdie je stanovenie limitov ekologicky únosnej zástavby a ostatných činností realizovaných v lokalite ochranných pásiem vodárenskej nádrže a stanovenie k tomu zodpovedajúcich opatrení pre zabezpečenie ochrany kvality vody tak v samotnej nádrži, ako aj v celom jej povodí. Tento materiál by mal slúžiť ako podklad pre územnoplánovaciu dokumentáciu obcí Látky a Málinec a po jeho odsúhlasení orgánom štátnej vodnej správy by mal predstavovať záväzný podklad aj pre rozhodovaciu činnosť orgánov štátnej správy pri povoľovaní stavieb v predmetnej lokalite.

Súčasne správca a prevádzkovateľ VN Málinec pracuje na realizácii návrhu zmeny rozhodnutia o vymedzení ochranných pásiem a spôsobe hospodárenia v nich, do ktorého zapracuje závery uvedenej štúdie. Schválením nového rozhodnutia by malo dôjsť k efektívnejšiemu a pružnejšiemu riešeniu povoľovania stavieb a ostatných činností v ochranných pásmach s prioritou zachovania dostatočnej ochrany kvality povrchových a podzemných vôd v predmetnej lokalite. Tento postup bude následne aplikovaný pri riešení obdobných problémov aj na ostatných vodárenských nádržiach v správe SVP, š.p. OZ Banská Bystrica.

Kľúčové slová: vodárenská nádrž Málinec, ochranné pásma vodárenskej nádrže, ochrana kvality vody, žumpa, čistiareň odpadových vôd, odpadové vody, ekologicky únosná zástavba, územnoplánovacia dokumentácia, orgán štátnej správy

Problems in protection area of storage reservoir Málinec. *Building of water-supply reservoirs in addition to realization reservoirs and other objects of the water structure is connected also with recieving of necessity precautions to security high water quality protection in reservoir. Water-supply reservoir Málinec was built in 1993 and it´s destined also for potable purposes for population in villages of Poltár county. Water consumption and supplying to houses prevides Stredoslovenská vodárenská spoločnosť, a.s. Banská Bystrica.*

To water quality protection in water-supply reservoir Málinec and in it´s basin was marked boundaries of protection area by Decission of County enviroment office in Banská Bystrica num. 1056/2/330/403.1/92-Š3 and by Decission of Ministry of Enviroment of Slavak republic num. 265/752/93-OOV, with connecting to instruction of Ministry of Health and Ministry of Water management num. 17/1979 about basic hygienic rules to establishing, marking and utilization protection area of water resources destined for mass supplying by potable water. In this Decissions and rules was determined way of management in the locality of protection area. In generally it´s possible to note that passing of the rules and Decissions came to restriction of some activities. It revealed in migration of the people from area near water reservoir Málinec to more far, especially periphery parts of protection area or outside.

From standpoint of water management after the water reservoir Málinec was built the most important factor has been building casspits to existing houses and objects. This measure could reach make safe waste water in separately settlements of water-supply reservoir protection area, especially in alone parts.

Restrictions connected with activities in this location had influence not only to population, but also to industry and agriculture, especially from standpoint of using dangerous wastes, which threaten quality of surface and groundwater in location as motor oils, pestucides, cropspraying, insecticide application and other danger activities.

The most population is actually living in Látky village in III. Protection area and in Málinec village in II. protection area. A long-term effort of Látky village is building of sewage plant and sewerage system. Realizotion of this objects is stagnating, because the lack of money. The attractive locality of Látky village is ideal to do summer and winter sports and of course to recreation. This locality urges tourists from Slovakia and also from abroad. This cause aspirations potential investors to build a new recreation objects, pensions and hotels. But construction activity has been by Decissions of protection area boundaring restricted and this reality hasn´t been respected by some building investors and it means illegal building activity.

The priority of Slovenský vodohospodársky podnik, š.p. OZ Banská Bystrica as manager of water reservoir is to secure protection of water quality in reservoir for potable purposes and also allow requirements of builders, investors and the other protection area users. This could be reached by creation of possibilities to full using area over reservoir. In relating to problems of using water-supply reservoir OZ Banská Bystrica has developed „The Study of ecological acceptable building development in protection area of water-supply reservoir Málinec". The basic principle of the Study is to determine limits of ecological acceptable buildig development, determine limits of another activities, which are made in protection area territory and also determining of necessary precautions to security water quality in reservoir and it´s basin. This Study could help as source to make a territorial plan of Látky and Málinec villages. After it´s ratification by enviroment beraus it could mean an obligatory document also to decission activity of all state organs to allowing of building object in the territory.

Simultaneously OZ Banská Bystrica has been working on motion of change of Decission about protection area boundaries and activities in the territory. In the motion will be incorporated conclusions of the Study. Ratification of new decission could bring more effective solving problems connected with allowing of buildings and another activities in the area with priority to secure protection of water quality. This way will be applicated by OZ Banská Bystrica to solving the same problems also in other water-supply reservoirs destined for potable purposes.

Key words: water-supply reservoir Málinec, protection area of storage reservoir, water quality protection, casspit, sewage plant, waste water, ecological acceptable building development, territorial plan, state organs

---

Základné charakteristiky vodárenskej nádrže Málinec a jej ochranných pásiem

Vodárenská nádrž Málinec

Vodárenská nádrž Málinec je vybudovaná na vodnom toku Ipeľ v r. km 193,8 nad obcou Málinec v okrese Poltár v Banskobystrickom kraji. Vodná stavba bola dobudovaná v investorstve Vodohospodárskej výstavby, š.p. Bratislava v roku 1993 a v súčasnosti je v správe Slovenského vodohospodárskeho podniku, š.p. odštepný závod Banská Bystrica.

Účelom vodárenskej nádrže je zabezpečenie pitnej vody pre Stredoslovenskú vodárenskú spoločnosť a.s. a transformácia povodňovej vlny. Voda z vodnej nádrže sa využíva aj na výrobu elektrickej energie v MVE.

Povodie vodárenskej nádrže Málinec sa nachádza na južných svahoch Slovenského Rudohoria a administratívne spadá do dvoch okresov. Severná časť povodia je situovaná v katastrálnom území obce Látky v okrese Detva, južná časť spolu so samotnou vodárenskou nádržou spadá do katastra obce Málinec v okrese Poltár.

Celé povodie je odvodňované tromi väčšími povrchovými vodnými tokmi – Ipeľ, Chocholná a Smolná.

Ochranné pásma vodárenskej nádrže

Na ochranu kvality povrchových a podzemných vôd sú nad VN Málinec vyhlásené tri ochranné pásma (OP): I. ochranné pásmo s rozlohou 3,1412 km^2,
II. ochranné pásmo s rozlohou 33,50 km^2,
III. ochranné pásmo s rozlohou 46,4 km^2.

Ochranné pásma boli vymedzené príslušnými rozhodnutiami ešte pred uvedením vodnej stavby do prevádzky (rozhodnutie Okresného úradu životného prostredia v Banskej Bystrici č. 1056/2/330/403.1/92-Š3 a rozhodnutie Ministerstva životného prostredia SR č. 265/752/93-OOV). Uvedenými rozhodnutiami bol súčasne určený spôsob hospodárenia v ochranných pásmach.

Územie spadajúce do ochranných pásiem VN Málinec predstavuje malú retenčnú schopnosť. Dôvodom tohto stavu je málo priepustné podložie s prevahou ílov a ilimerizovaných pôd, ako aj nadmerné odlesňovanie svahov predmetného územia. Uvedené skutočnosti spôsobujú rýchly povrchový odtok vôd a intenzívnu vodnú eróziu.

Zásadné problémy v ochranných pásmach VN Málinec

Územie ochranných pásiem VN Málinec je z hľadiska využitia možné rozdeliť na:

1. prírodnú krajinu - prezentovanú zalesneným územím predstavujúcim súvislé lesy,
2. urbanizovanú krajinu - obec Látky spolu s pôvodnými osadami Mláky, Polianky, Paseky, Prašivá, Bykovo...
   - obec Málinec tvorená časťami Ipeľský Potok, Vlčovo a Dobrý Potok.

Po výstavbe VN Málinec počet obyvateľov v jednotlivých osadách začal pozvoľne klesať. V súčasnosti je osídlenie sústredené do obce Látky v III. ochrannom pásme. Osady zmenili svoj charakter prevažne na rekreačné víkendové využitie. Táto skutočnosť bola spôsobená tak vyššie uvedenými rozhodnutiami orgánov štátnej správy o vymedzení ochranných pásiem a spôsobe hospodárenia, ako aj stavebnou uzáverou v rokoch 1974 - 1995. V rozhodnutiach o vymedzení OP boli stanovené podmienky hospodárenia v ochranných pásmach so zákazom výstavby nových objektov, čo malo za následok stagnáciu týchto osád. Povolená bola len prestavba jestvujúcich objektov bez zmeny účelu ich využitia.

Až do súčasného obdobia nie je v obci Látky, ako aj ostatných sídelných útvaroch vybudovaná zodpovedajúca kanalizácia a čistiareň odpadových vôd. Odpadové vody sú zachytávané v septikoch a žumpách. Likvidácia týchto odpadových vôd mimo ochranných pásiem v súlade s platnými rozhodnutiami nie je preukázaná takmer u žiadneho vlastníka rodinného domu alebo rekreačného objektu, pričom sa mnohokrát jedná o vývoz odpadových vôd do chráneného územia.

Jednotlivé činnosti a ich vplyv na kvalitu povrchových a podzemných vôd

Slovenská republika v rámci životného prostredia, tak ako aj v ostatných oblastiach, pri snahe o začleňovanie sa do európskych štruktúr prijíma a upravuje legislatívne predpisy, ktoré spĺňajú podmienky vyspelých západných krajín a kritériá Európskej Únie.

Územnú ochranu vôd v rámci osobitnej ochrany prírody a krajiny ustanovuje zákon NR SR č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny. Vstupom SR do európskych štruktúr bol prijatý systém ochrany prírody aj prostredníctvom vybudovania sústavy chránených území známych pod názvom

NATURA 2000. Tento program by mal vytvoriť nové podmienky ochrany vzácnych území a jeho cieľom je zachovanie a vytvorenie prírodného dedičstva významného tak pre Slovenskú republiku ako členský štát, ako aj pre EÚ ako celok. Táto sústava chránených území by mala zabezpečiť ochranu najvzácnejších a najviac ohrozených druhov voľne rastúcich rastlín, voľne žijúcich živočíchov a prírodných biotopov vyskytujúcich sa na území štátov Európskej únie. Ochranné pásma vodárenskej nádrže Málinec spadajú do chránenej vodohospodárskej oblasti horného toku Ipľa, Rimavice a Slatiny a program NATURA 2000 sa priamo dotýka aj ochranných pásiem VN Málinec, pričom v OP a v k. ú. obce Látky sa nachádza prírodná rezervácia Habáňovo, ktorá podlieha piatemu stupňu ochrany.

Už pred uvedením vodárenských nádrží do prevádzky boli orgánmi štátnej správy vyhlásené ochranné pásma (vtedy pásma hygienickej ochrany). V tejto súvislosti často dochádza k stretu záujmov v rámci jednotlivých činností, a to predovšetkým v chránených územiach.

Vplyvy jednotlivých druhov činností na kvalitu povrchových a podzemných vôd v ochranných pásmach vodárenskej nádrže Málinec:

Oblasť osídlenia

Najväčšia časť obyvateľstva sa sústreďuje v obciach Látky a Málinec. V osadách, prislúchajúcich do katastrálneho územia oboch obcí, sa počet obyvateľov z roka na rok zmenšuje. K tejto migrácii obyvateľstva prispievajú najmä obmedzenia vzťahujúce sa na II. ochranné pásmo VN Málinec, ako aj nedostatok pracovných príležitostí v tejto lokalite. V rozhodnutiach o vymedzení OP a spôsobe hospodárenia v nich sa zakotvili opatrenia, na základe ktorých sa z titulu ochrany kvality vody ďalšia výstavba nových objektov zakazuje a prestavba existujúcich stavieb obmedzuje. Povolené sú len také stavebné činnosti, pri ktorých nedôjde k zhoršeniu kvality povrchových a podzemných vôd v predmetnej lokalite.

Obec Látky až do súčasného obdobia nedisponuje zodpovedajúcou kanalizáciou, ani čistiarňou odpadových vôd, ktoré sú zachytávané do septikov a žúmp. Likvidácia týchto odpadových vôd mimo územie ochranných pásiem nie je preukázaná takmer u žiadneho vlastníka rodinného domu a mnohokrát sa jedná o vývoz do chráneného územia.

Obec sa usiluje riešiť aj problém divokých skládok odpadov, ktoré však nie je schopná z dôvodu nedostatku finančných prostriedkov likvidovať na vlastné náklady.

Separátny problém predstavujú trvalo osídlené usadlosti dvoch vlastníkov hospodárskych objektov v II. ochrannom pásme nádrže. Jedná sa o obyvateľov obce Ipeľ, ktorí pred výstavbou VN Málinec nepristúpili s Vodohospodárskou výstavbou š.p. Bratislava na dohodu o vybudovaní zariadení na likvidáciu odpadových vôd. Z toho titulu sú odpadové vody na oboch usadlostiach odvádzané priamo do okolitého terénu bez ochranných opatrení na zachytávanie extrementov a fekálií.

Oblasť rekreácie

Z hľadiska využívania predmetného územia na rekreačné účely sa ako najväčším problémom ukazuje likvidácia odpadových vôd. Po uvedení vodnej nádrže Málinec do prevádzky zostala väčšina objektov v jednotlivých osadách opustená a tieto sú obývané len ako rekreačné víkendové objekty.

SVP, š.p. OZ Banská Bystrica sa v súčasnom období čoraz viac stretáva s požiadavkami na výstavbu nových rekreačných objektov a prestavbu pôvodných objektov, zväčša hospodárskych budov na penzióny, rekreačné objekty a iné stavby s vyššou kapacitou, a to z dôvodov hospodárskych, zdravotných a kultúrnych ako spoločensky naliehavých odvetví.

V lokalite obce Látky sa nachádza aj niekoľko lyžiarskych stredísk, ktoré je potrebné funkčne integrovať a dobudovať vybavenosťou štandardu potrebného pre ich chod. V týchto strediskách je vybudovaných niekoľko veľkokapacitných zariadení slúžiacich pre rekreačné využitie.

Oblasť poľnohospodárstva

Aj v tejto oblasti prevládajú činnosti, ktoré priamo súvisia s kvalitou povrchových a podzemných vôd vo vodárenskej nádrži Málinec. Jedná sa predovšetkým o spásanie dobytka pri prameniskách vodných tokov, pričom pastvy nie sú oplotené a zvieratám je umožnený prístup priamo k vodným tokom.

Ďalší problém predstavuje skladovanie maštaľného hnoja, ktoré nie je v súlade s požiadavkami na ochranu kvality vody, pričom často dochádza k jeho aplikácii na poľnohospodársku pôdu. OZ Banská Bystrica ako správca ochranných pásiem VN Málinec pri vykonávaní pravidelných kontrol OP nachádza nové zdroje maštaľného hnoja, zvyšky ktorého stekajú do povrchových a podzemných vôd.

V ochranných pásmach VN Málinec sa realizuje aj uskladňovanie agrochemikálií s potenciálnou možnosťou splachu týchto látok do vodných tokov, prípadne priamo do vodárenskej nádrže.

Z hľadiska sústredenej poľnohospodárskej výroby pôsobí v predmetnej lokalite v súčasnosti Roľnícke družstvo Látky, poľnohospodárske družstvá Poltár a Málinec a Agro Rátka ktoré takisto predstavujú istú mieru ohrozenia kvality vody. Okrem ustajňovania hospodárskych zvierat a skladov maštaľného hnoja sa v objektoch uvedených družstiev skladujú aj chemikálie a umelé hnojivá. Súčasťou týchto poľnohospodárskych stredísk sú močovkové nádrže, sklady na benzín, naftu a iné ropné produkty, kyselinu sírovú, ako aj strojové parky. Ohrozenie kvality povrchových a podzemných vôd vzniká pri porušení funkčnosti a vodotesnosti žúmp a pri ich preplnení, pri aplikácii hnojív, ako aj pri pasení dobytka, kedy pri zrážkovej činnosti môže dôjsť k splachovaniu produktov z jednotlivých zariadení na kumuláciu odpadových vôd a prevádzkovej činnosti poľnohospodárskych družstiev do povrchového a podzemného odtoku.

Oblasť lesného hospodárstva

V oblasti lesného hospodárstva hlavný problém predstavuje ťažba drevnej hmoty a jej preprava zo svahov na prístupové komunikácie, pričom často dochádza k vstupu mechanizmov do prítokov VN Málinec a vytváraniu brodov bez premostení. Takýto spôsob odvážania drevnej hmoty zvyšuje riziko kontaminácie vody ropnými látkami.

Ropné látky na pohon mechanizmov by mali byť nahradené biologickými olejmi, prípadne mechanizáciu odvážajúcu drevo z blízkosti vodných tokov by mali nahradiť lanové systémy, čo je však v našich podmienkach ekonomicky nerealizovateľné.

Ďalším problémom z hľadiska lesného hospodárstva v minulosti predstavovala nekontrolovaná ťažba dreva a nadmerné odlesňovanie svahov, čo malo za následok zvýšenie erózie územia.

Oblasť dopravy

Z hľadiska dopravy je potrebné poukázať predovšetkým na cesty a komunikácie, z ktorých mnohé nie sú vybavené odlučovačmi ropných látok. To isté platí aj pre veľkokapacitné parkoviská v blízkosti rekreačných zariadení.

Isté riziko predstavuje aj komunikácia III. triedy z obce Látky do obce Málinec, ktorá v dĺžke 3,1 km tvorí hranicu medzi I. a II. ochranným pásmom a štátna cesta II/526 Hriňová – Kokava nad Rimavicou v severozápadnej časti III. ochranného pásma, ako zberná komunikácia ciest III. triedy.

Oblasť vodného hospodárstva

V lokalite ochranných pásiem VN Málinec rozptýlenosť zástavby nevytvára dostatočné podmienky pre hromadné zásobovanie vodou z verejných vodovodov. Vo väčšine osád je zásobovanie pitnou vodou riešené zo studní majiteľov chát, prípadne z miestnych prameňov.

Verejný vodovod je vybudovaný v obci Látky a v obci Šoltýska. Všetky veľkokapacitné rekreačné zariadenia využívajú pre pitné účely zdroje podzemnej vody. V osade Ipeľský potok sa používa dokonca závadná pitná voda.

Za účelom zneškodňovania odpadových vôd majú veľkokapacitné rekreačné zariadenia vybudované biologické septiky a vlastné ČOV, ktoré sú však vo väčšine prípadov nefunkčné. Vzniká tak riziko prenikania nepredčistených vôd do pôdnych štruktúr, kde spodnými vodami gravitujú do vodných tokov a samotnej vodárenskej nádrže.

V rámci obce Látky je vybudovaná kanalizačná sieť, ktorá je však t. č. nefunkčná. Všetky trvale osídlené objekty obce majú vybudované vlastné žumpy alebo suché hygienické zariadenia na

likvidáciu odpadových vôd, čo však nepredstavuje vhodný spôsob vzhľadom na súčasné požiadavky pre zneškodňovanie OV.

Prioritným cieľom obce Látky v súčasnom období je dobudovať kanalizačnú sieť s vybudovaním novej čistiarne odpadových vôd.

Zhodnotenie kvality vody vo vodárenskej nádrži a prítokoch VN Málinec

Sledovanie kvality vody vo vodárenskej nádrži Málinec a jej prítokoch vykonáva SVP, š.p. odštepný závod Banská Bystrica od vybudovania samotnej nádrže. Odbery vzoriek a ich následné vyhodnocovanie sa realizuje s početnosťou 24 x ročne, čo predstavuje odber vody 2 x za mesiac.

Sledovanie kvality vody pre odbery na pitné účely sa vykonáva so zohľadnením Smernice rady 75/440/EHS z roku 1975 o požiadavkách na kvalitu PV určenú na odber pitnej vody, ako aj podľa Smernice rady 7579/869/EHS z roku 1979, ktorá sa týka metód merania a frekvencie odberu vzoriek a analýz povrchovej vody určenej na odber pitnej vody. Cieľom hodnotenia kvality vody podľa uvedených dokumentov je zjednotenie odberov vzoriek a analýz povrchovej vody, čím sa vytvoria rovnaké podmienky sledovania v jednotlivých štátoch a zabezpečí sa zníženie znečistenia vôd.

Odber vzoriek povrchovej vody vykonáva OZ Banská Bystrica prostredníctvom Odboru ochrany kvality vôd. Odbery a vyhodnocovanie vzoriek sa zameriava na prítomnosť fekálnych koliformných, psychrofilných, ako aj iných druhov baktérií, výskyt dusičnanov a dusitanov, amoniaku, pH vody a iných biologických a mikrobiologických ukazovateľov.

Z meraní kvality povrchových vôd vyplýva, že najhoršie ukazovatele dosiahla kvalita vody v rokoch 1997 – 1998 na vodných tokoch Chocholná a Smolná ako prítokoch rieky Ipeľ nad vodárenskou nádržou, a to z hľadiska výskytu psychrofilných a koliformných baktérií bola nameraná trieda IV.

Na základe dlhodobých meraní a sledovaní kvality vody v predmetnej lokalite je zrejmé, že najviac koliformných baktérií ako indikátora znečistenia vody teplokrvnými živočíchmi (aj človekom) v povrchových vodných tokoch vtekajúcich do VN Málinec, sa vyskytuje v mesiacoch jún – september, kedy v povodí vrcholí sezóna pasenia hospodárskych zvierat, rastlinnej výroby a letnej rekreácie.

Odbery vzoriek a určovanie kvality vody v jednotlivých profiloch povodia napomáha prevádzkovateľovi – OZ Banská Bystrica aj pri vykonávaní pravidelných kontrol, kedy sa zameriava práve na lokality so zvýšenými koncentráciami znečistenia povrchovej vody.

Súčasné požiadavky v rámci jednotlivých činností v OP VN Málinec

V súvislosti s vydaním rozhodnutí orgánmi štátnej vodnej správy o vymedzení ochranných pásiem a spôsobe hospodárenia v nich došlo po vybudovaní VN Málinec k zmene štruktúry osídlenia posudzovanej oblasti. Väčšina obyvateľstva sa v súčasnosti sústreďuje v obci Látky, ostatné sídelné útvary vo forme osád sú trvalým osídlením zaťažené len minimálne, pričom sú v súčasnom období využívané predovšetkým na rekreačné účely.

V období posledných rokov správca VN Málinec zaznamenal zvýšený záujem o prestavbu jestvujúcich, ako aj o výstavbu nových objektov v III. ochrannom pásme VN Málinec. Súčasná ponuka ubytovacích kapacít v predmetnom území nepostačuje pokryť nároky na neustále sa zvyšujúce požiadavky turistov, a to z hľadiska kvantity, ako aj kvality poskytovaných služieb.

Neustále vzrastajúci počet žiadateľov o stavebné povolenie vytvára tlak na príslušné stavebné úrady, ako aj prevádzkovateľa VN Málinec. Stavebná činnosť je podľa rozhodnutí o vymedzení OP obmedzená, čo nie je rešpektované niektorými stavebníkmi. V takých prípadoch je na posúdení orgánov štátnej správy ďalšia existencia takýchto nepovolených stavieb, ktoré tieto objekty zväčša dodatočne legalizujú.

Naďalej zostáva otvorený problém dvoch vlastníkov hospodárskych objektov v obci Ipeľ v II. ochrannom pásme nádrže, z usadlostí ktorých sú odpadové vody odvádzané priamo do okolitého terénu bez ochranných opatrení.

V súčasnosti vypracovaný územný plán obce Málinec (II. ochranné pásmo) plne rešpektuje opatrenia uvedené v horeuvedených rozhodnutiach o vymedzení ochranných pásiem, pričom v rámci

katastrálneho územia obce Málinec sa predpokladá do roku 2015 využitie jestvujúcich objektov, a to len na rekreačnú činnosť.

V rámci obcí Ipeľský Potok, Málinec a Látky bola rozhodnutím ONV v Lučenci v roku 1974 vyhlásená stavebná uzávera s tým, že bola povolená výstavba len za podmienok splnenia hygienických opatrení daných okresným hygienikom Lučenec. Stavebná uzávera bola v roku 1995 zrušená s odvolaním sa na platné rozhodnutia o vymedzení ochranných pásiem a spôsobe hospodárenia v nich, v ktorých je stanovené, za akých podmienok je možné stavebnú činnosť v OP vykonávať.

V roku 1981 začali práce na vyhotovení Územného plánu obce Látky, ktorý bol dokončený v roku 1987 s tým, že nerešpektoval III. ochranné pásmo VN Málinec. V súčasnom období nie je v rámci obce Látky vypracovaný žiadny dokument, ktorý by rešpektoval opatrenia v ochranných pásmach vodárenskej nádrže.

Aktuálne Obecný úrad v Látkach pracuje na dopracovaní projektovej dokumentácie pre vybudovanie kanalizácie a ČOV vzhľadom na v súčasnosti kladené kvantitatívne požiadavky na zneškodňovanie odpadových vôd v predmetnej lokalite.

Návrh na riešenie problematiky ochranných pásiem VN Málinec

Na základe zvyšujúceho sa počtu žiadostí o prestavbu jestvujúcich, resp. výstavbu nových objektov, prevažne rekreačných chát a penziónov, SVP, š.p. OZ Banská Bystrica vypracoval „Štúdiu ekologicky únosnej zástavby v ochranných pásmach vodárenskej nádrže Málinec“, ktorá by mala predstavovať podklad pre územno-plánovaciu dokumentáciu obcí Látky a Málinec, pričom po odsúhlasení štúdie orgánom štátnej vodnej správy by táto mala predstavovať záväzný podklad pre rozhodovaciu činnosť a povoľovanie stavieb orgánov štátnej správy v ochranných pásmach nádrže.

Súčasne OZ Banská Bystrica ako správca a prevádzkovateľ VN Málinec vypracuje návrh na zmenu rozhodnutia o vymedzení ochranných pásiem a spôsobe hospodárenia v nich, do ktorého zapracuje aj závery uvedenej štúdie, v ktorej správca nádrže stanovuje limity zástavby, ktoré boli zo strany orgánov štátnej správy akceptované.

Záverom je potrebné uviesť, že prioritou prevádzkovateľa VN Málinec je zabezpečeniu ochrany kvality vody pre pitné účely, avšak aj zosúladenie požiadaviek potenciálnych stavebníkov a ostatných užívateľov ochranných pásiem, avšak s prioritou nezhoršiť, prípadne zlepšiť kvalitu povrchových a podzemných vôd v predmetnej lokalite a zároveň umožniť plnohodnotné využívanie územia v okolí vodárenskej nádrže Málinec aj na rekreačné účely, čo významnou mierou napomáha aj k hospodárskej udržateľnosti tejto turisticky atraktívnej oblasti.

Literatúra

SVP, š.p. odštepný závod Banská Bystrica, odbor vodohospodárskeho a technického rozvoja (2004): Štúdia ekologicky únosnej zástavby v ochranných pásmach vodárenskej nádrže Málinec,.

Bakaljarová M. (2005): Manipulačný poriadok pre vodnú stavbu Vodárenská nádrž Málinec, SVP, š.p. OZ Banská Bystrica.

Autor

Ing. Tomáš Ič, SVP, š.p. OZ Banská Bystrica, Partizánska 69, 974 01 Banská Bystrica, tomas.ic@svp.sk

VLIV DÉLKY ČASOVÉHO KROKU VÝPOČTU NA PŘESNOST ŘÍZENÉHO ODTOKU VODY Z NÁDRŽE ZA POVODŇOVÉ SITUACE S VYUŽITÍM FUZZY REGULACE

Lubomír Jaroš

Článek se zabývá řízením odtoku vody z nádrže za povodňových situací a analýzou získaných řešení při simulaci odtoku vody z nádrže s využitím fuzzy regulátoru jako řídícího subjektu. Byl sestaven matematický a numerický model nádrže, který byl programován v prostředí Matlab 6.5. Pro řešení základní rovnice nádrže byla zvolena numerická metoda Runge-Kutta 4. řádu. Dále byly provedeny dvě varianty řízení odtoku vody z nádrže, a to s konstantním řídícím odtokem 50,0 m^3s^{-1} a s proměnným řídícím odtokem vody z nádrže. Pro každou z těchto dvou variant byly zvoleny různé délky časového kroku výpočtu a výsledky byly analyzovány. Byl tím ověřen předpoklad citlivosti numerické metody na zvolenou délku časového kroku řešení.

Klíčová slova: řízený odtok, fuzzy regulátor, Matlab, povodňová situace, Runge-Kutta 4. řádu, nádrž

Accuracy of a Solution on Length of Time Step for Control Discharge of Water from Reservoir during a Flood Passage Using a Fuzzy Regulation: *The main content of this contribution is controlling of water discharge from the reservoir during flood passage and solution analysis from simulation of water discharge from reservoir using the fuzzy regulator as control subject. The mathematic and the numerical model were built up. This model was written in the Matlab 6.5. The Runge-Kutta method of the 4^{th} order was chosen for solution. Two simulations were solved: with constant value of water discharge (50,0 m^3s^{-1}) and with variable water discharge from the reservoir. The various length of time steps were chosen for these simulations and results were discussed. The sensitivity of the numerical method to length of time step was demonstrated.*

Key words: control, operational, fuzzy regulator, Matlab, flood, Runge-Kutta 4^{th} order, reservoir

---

ÚVOD

Stejně jako v řadě evropských zemí, které byly v průběhu devadesátých let postiženy rozsáhlými povodněmi, vyvolaly katastrofální povodně v roce 1997 a 2002 pozitivní obrat ve vnímání významu povodňové ochrany v České republice. Tento posun byl navíc umocněn značným rozsahem finančních prostředků, které bylo nutno vynaložit, především z veřejných rozpočtů, k odstranění škod způsobených povodněmi. Účinné řízení odtoku vody nádrží výrazně přispívá k ochraně území pod nádrží před povodňovými průtoky. Ochrana před povodněmi není nikdy absolutní. Lze však částečně snížit povodňové kulminační průtoky a příznivěji ovlivnit časový průběh povodní. Proto je snaha přistoupit k takovým opatřením, kterými bychom byly schopni snížit negativní účinky povodní na co nejnižší únosnou mez. Tato opatření můžeme rozdělit do dvou hlavních celků:

1. Strukturální opatření.

Mezi strukturální opatření můžeme zařadit takovou činnost, jejíž výsledný efekt vede ke snížení hydrogramu povodně, jako například snížení rychlosti odtoku vody z povodí (změna typu pokryvu, realizace zasakovacích pásů, svodných příkopů a jejich napojení na suché nádrže), výstavba poldrů, řízená inundace atd. Tyto opatření jsou převážně velmi finančně nákladné.

2. Nestrukturální opatření.

Jedná se o varovné protipovodňové systémy a efektivní operativní řízení odtoku vody z nádrží. Jedná se především o operativní řízení odtoku vody z povodí jednou a více nádržemi. Cílem je snaha o snížení kulminačních průtoků hydrogramu povodňové vlny na přijatelnou úroveň. Realizace těchto opatření jsou podstatně méně finančně náročné, neboť se jedná o zdokonalení chování již existující systémů.

Příspěvek se zabývá stanovením řízeného odtoku vody z nádrže pomocí fuzzy regulace pro předepsaný průběh řídící veličiny za povodňové situace a stanovením intervalů odchylek pro zvolenou délku časového kroku výpočtu. Jedná se o řízení in-line, bez přímé účasti člověka na řízení.

METODA

Matematický model toku vody nádrží

Základním podkladem pro řešení i provozování nádrží jsou údaje o přítoku vody do nádrže Q(t) a odtoku vody z nádrže O(t), které jsou funkcí času. Obě funkce jsou natolik složité, (zejména Q(t)), že je problematické je analyticky popsat. Pro jejich interpretaci volíme tabelární nebo grafické zpracování, kde mohou nabývat diskrétních nebo spojitých hodnot závislých na čase. Okamžitý vztah mezi Q(t), O(t) a V(t) popisuje základní rovnice nádrže

$$Q(t) - O(V(t)) = \frac{dV}{dt}. \qquad (1)$$

Numerický model toku vody nádrží

Pro numerický model byla zvolena metoda Runge-Kutta 4. řádu, která poměrně vysokou přesností, při hledání funkce $y(x)$ na intervalu $\langle a,b \rangle$, která je řešením obyčejné diferenciální rovnice prvního řádu

$$y' = f(x, y) \qquad (2)$$

s počáteční podmínkou $y(a) = c$. Hodnota proměnné x udává zpravidla buďto časový okamžik anebo prostorovou souřadnici a diferenciální rovnice vyjadřuje fyzikální zákon, podle kterého se studovaný proces řídí (Dalík, 1997).

V našem případě budeme touto numerickou metodou řešit základní rovnici nádrže, kde hledané řešení bude představovat průběh funkce $H(V(t))$. Základní rovnici nádrže můžeme přepsat tedy do tvaru

$$V'(t) = \frac{dV(t)}{dt} = Q(t) - O(H(V(t)), u), \qquad (3)$$

kde u je otevření spodních výpustí a je na časovém úseku dt konstantní. Rovnici (3) můžeme psát obecně ve tvaru

$$\frac{dV(t)}{dt} = f(t, H(V(t))), \qquad (4)$$

kde $f(t, H(V(t)))$ je konečně diferencovatelná. Označme v dalším textu $V(t)$ symbolem V_0 (objem vody v nádrži na začátku zvoleného časového intervalu) a $V(t + \Delta t)$ symbolem V_1 (objem vody v nádrži na konci zvoleného časového intervalu). Dále je uvedeno řešení základní rovnice nádrže metodou Runge-Kutta 4. řádu pro diferenciální rovnici 1. řádu (Starý, 1990)

$$V_1 - V_0 = \frac{K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4}{6}, \qquad (5)$$

kde

$$\begin{aligned} K_1 &= \Delta t \cdot f(t, H(V(t))) \\ K_2 &= \Delta t \cdot f\left(t + \frac{\Delta t}{2}, H\left(V(t) + \frac{K_1}{2}\right)\right) \\ K_3 &= \Delta t \cdot f\left(t + \frac{\Delta t}{2}, H\left(V(t) + \frac{K_2}{2}\right)\right) \\ K_4 &= \Delta t \cdot f(t + \Delta t, H(V(t) + K_3)) \end{aligned} \qquad (6)$$

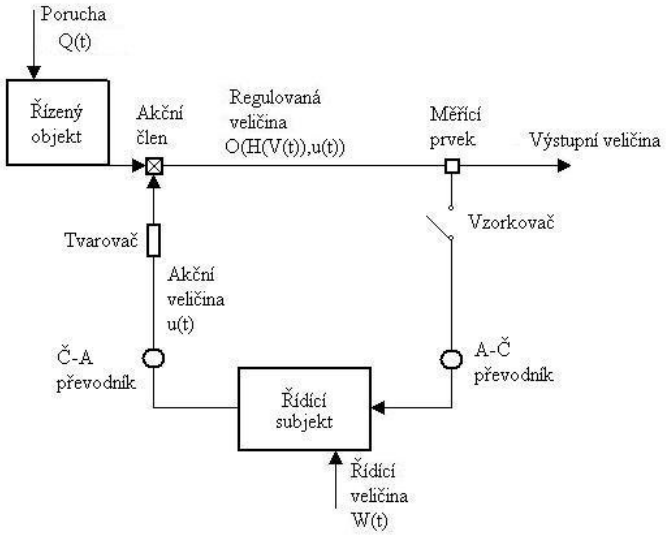
Užití metody Runge-Kutta 4. řádu pro aproximaci je zatíženo chybou $\theta(\Delta t^5)$. Proto má široké užití.

Regulační obvod

Schéma regulačního obvodu použitého pro řízení odtoku vody z nádrže je znázorněno na obr. 1. Úkolem regulátoru je udržovat hodnotu řízené veličiny $O(t)$ na předepsané hodnotě řídící veličiny $W(t)$. Jejich rozdíl vytváří regulační odchylku (Nacházel, Starý, Zezulák, 2004)

$$e(t) = W(t) - O(t), \qquad (7)$$

Z níž se určuje v regulátoru hodnota akčního zásahu $u(t)$ v čase t.



Obr. 1 Schéma regulačního obvodu.

Fig. 1 The control system figure.

Dynamické chování celého regulačního obvodu, kterým regulátor reaguje na změnu regulační odchylky, nazýváme regulačním pochodem. Obecně ho lze tedy vyjádřit příslušnými diferenciálními rovnicemi popisujícími vztah regulované veličiny a řídící veličiny nebo regulované veličiny a poruchy. Tyto vlastnosti závisejí na dynamických vlastnostech jednotlivých členů regulačního obvodu. Stabilita je jednou ze základních podmínek regulačního obvodu. Regulační obvod je stabilní, když při vzniku regulační odchylky dosáhne regulovaná (řízená) veličina v relativně krátkém čase hodnoty předepsané veličinou řídící. Regulační obvod musí být ve všech případech stabilní. Pro posouzení této stability byla odvozena řada kritérií, např. Hurwitzovo, Routh-Schuzovo, Nyquistovo a další.

Podmínka stability regulačního obvodu je podmínkou nutnou, ne však postačující. Podstatné je chování obvodu v přechodovém ději, který se obvykle oceňuje podle průběhu regulované veličiny při jednotkové skokové změně veličiny vstupní, např. poruchové. Je to jeden z nejméně příznivých jevů, které musí obvod zvládnout. Kvalitu regulačního jevu proto oceňujeme podle přechodové charakteristiky a oceňujeme ji dobou odezvy, za kterou je dosaženo předepsané odchylky (v procentech ustálené veličiny, např. 5%, 2%, 1%) a charakterem přechodového děje, jenž může být buď aperiodický, nebo kmitavý. Požadavky na kvalitu regulačního pochodu mohou být různé a protichůdné. Pak je nutné volit určitý kompromis.

Do regulovaného procesu je třeba zasahovat tak, aby se regulační odchylka neustále udržovala na své minimální, popř. nulové, hodnotě. Proto jsou důležité vztahy mezi akční veličinou a aktuální hodnotou odchylky. Podle nich se zpravidla rozlišují tři základní typy regulátorů (Kubík, Kotek, Strejc, Štěcha, 1982), (Nacházel, Starý, Zezulák, 2004):

- proporcionální regulátor (P), derivační regulátor (D), integrační regulátor (I).

Další typy pak získáme jejich kombinací:

- proporcionálně-derivační (PD), proporcionálně-integrační (PI), proporcionálně-integračně-derivační (PID).

V aplikaci byl použit proporcionálně-integrační regulátor (PI), který se zpravidla popisuje rovnicí

$$\Delta u_k = K_P \Delta e_k + K_I e_k , \qquad (8)$$

kde K_P je proporcionální konstanta, K_I je integrační konstanta a k představuje chronologickou posloupnost sledovaného období, kde $k = 1,2,..,n$.

Výsledný akční zásah v diskrétním kroku k lze zapsat ve tvaru

$$u_k = u_{k-1} + \Delta u_k . \qquad (9)$$

Popisující rovnice (8) proporcionálně-integrační regulátor (PI) byla nahrazena pravidly obsaženými v bázi pravidel ve tvaru

$$IF \quad e = \langle hodnota \rangle \quad AND \quad \Delta e = \langle hodnota \rangle \quad THEN \quad \Delta u = \langle hodnota \rangle \qquad (10)$$

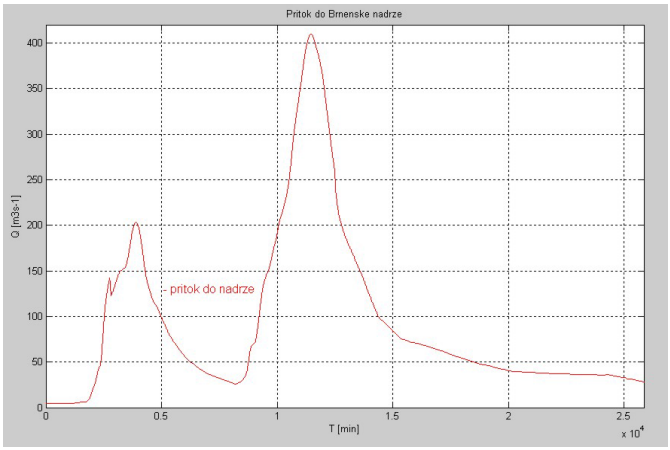
kde značí: e - regulační odchylku mezi řídicím a řízeným odtokem, Δe- změnu regulační odchylky, Δu - změnu akčního zásahu (např. změna otevření spodních výpustí). Nově určené změny akčního zásahu jsou tedy dány součtem akčního zásahu v předchozím časovém kroku a změny Δu. Je použit fuzzy inferenční systém Mamdani. Defuzzifikace je prováděna metodou středu plochy.

APLIKACE

Numerický model

Řešení využívá teorie fuzzy regulace pro řízení provozu nádrže za průchodu povodně. Na samostatné nádrži byl ve vývojovém prostředí Matlab 6.5 naprogramován numerický model průchodu povodňové vlny nádrží. Model využívá fuzzy regulátor. Ten je schopen (při zadaném spojitém časovém průběhu veličiny řídící a spojitě se měnícím stavu nádrže) po zadaných časových krocích postupně určovat hodnoty změny veličiny akční, kterou představuje změnu nastavení spodních výpustí.

Modelovaná nádrž je fiktivní, podklady pro sestavení čáry zatopených ploch a čáry zatopených objemů byly převzaty z Brněnské nádrže (některé základní údaje Brněnské nádrže byly pozměněny, jedná se především o nahrazení hrazených přelivů pevnými přelivy, spodní výpusť se uvažuje pouze jedna a nebere se v potaz odtok vody přes elektrárnu). Vstupní veličinou je přítok vody do nádrže, který byl zadán hydrogramem. Hydrogram (viz obr. 2) je charakteristický dvěmi povodňovými vlnami.



Obr. 2 Hydrogram přítoku vody do namodelované nádrže.

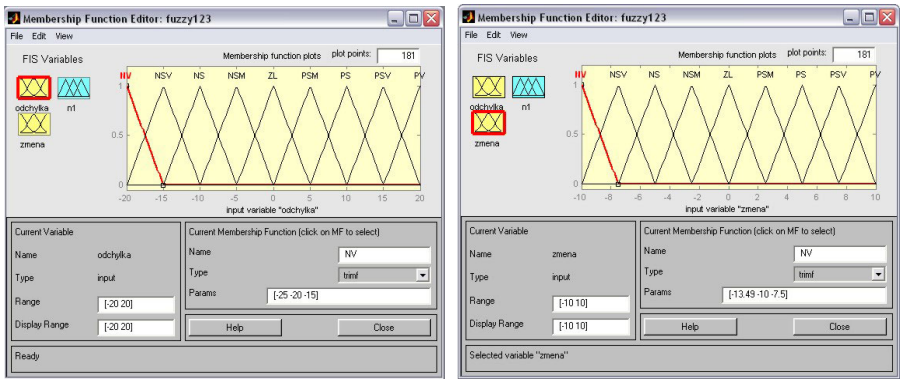
Fig. 2 Inflow hydrograph into the reservoir.

Délka časového kroku byla v počátečním stadiu výpočtu zvolena na hodnotu 1 minuta, a to především s ohledem na délku výpočtu. Později byly výsledky řešení obohaceny o získané výstupní hodnoty pro délky časových kroků 0,25; 0,5; 3,0; 5,0 a 10,0 minut.

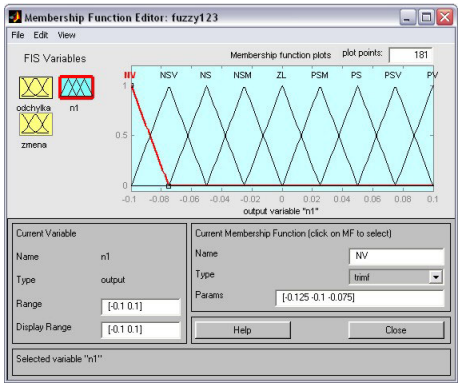
Na výstupu regulátoru (po provedení procesu fuzzifikace – inferenční mechanizmus – defuzzifikace) obdržíme pouze změnu akčního zásahu. Celkový akční zásah pak určíme jako $u_k = u_{k-1} + \Delta u_k$. Tento

vztah je realizován mimo fuzzy model, a to pomocí sumátoru, takže se v pravidlech neprojeví. Pro každou veličinu, ať už vstupní nebo výstupní, bylo zvoleno devět funkcí příslušnosti (viz obr. 3), ve kterých značí příslušný symbol odpovídající vágní ohodnocení: NV-záporná velká, NSV-záporná středně velká, NS-záporná střední, NSM-záporná středně malá, ZL-nulová, PSM-kladná středně malá, PS-kladná střední, PSV-kladná středně velká, PV-kladná velká. Z funkcí příslušnosti je sestavena matice, která se nazývá báze pravidel fuzzy regulátoru (viz tab. 1). První vodorovný řádek odpovídá vágnímu ohodnocení regulační odchylky, první sloupec odpovídá vágnímu ohodnocení změny regulační odchylky. Odpovídající kombinace příslušného řádku a sloupce odpovídá přiřazenému vágnímu ohodnocení změny otevření spodní výpusti.

a) b)



c)



Obr. 3 Funkce příslušnosti vstupních hodnot (viz. a) a b)) a výstupní hodnoty (viz. c)) fuzzy regulátoru.

Fig. 3 Membership functions of input quantities (viz. a) a b)) and output quantity(viz. c)) of the fuzzy regulator.

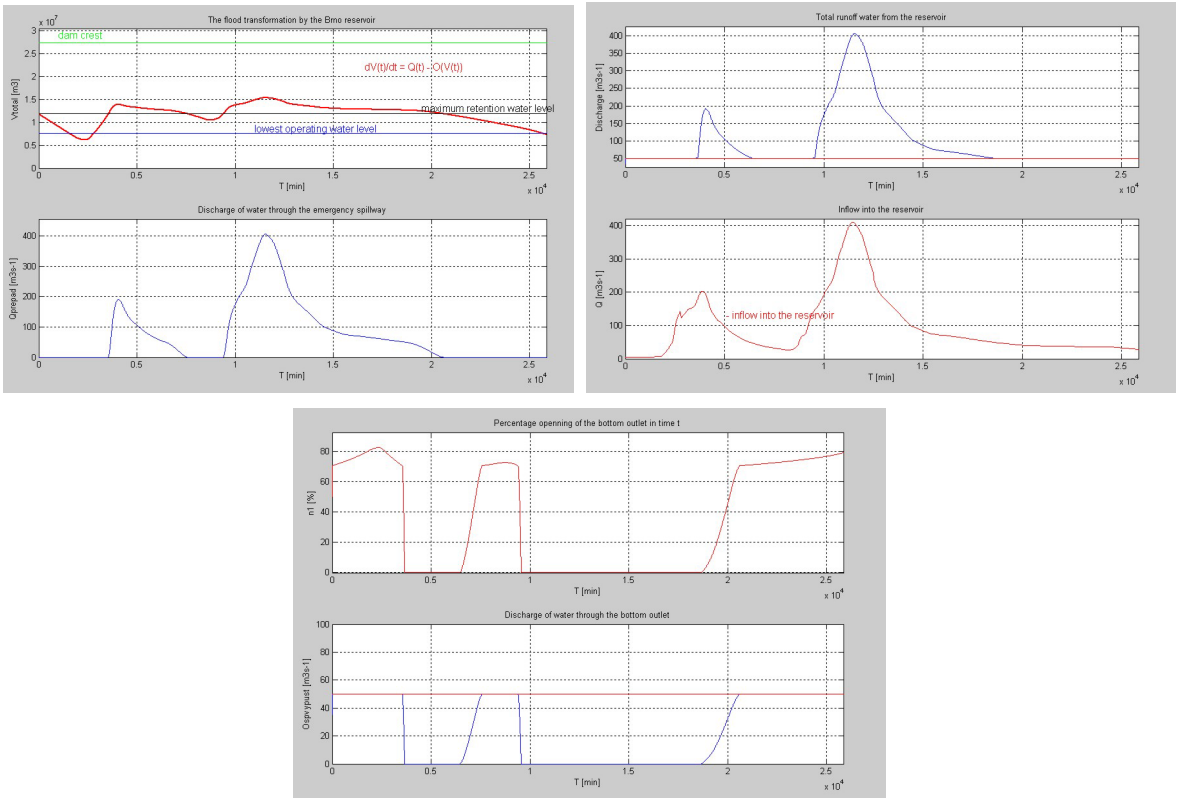
Tab. 1 Tabulka báze pravidel.

Tab. 1 The base rules table.

e\Δe	NV	NSV	NS	NSM	ZL	PSM	PS	PSV	PV
NV	PV	PV	PV	PV	PV	PSV	PS	PSM	ZL
NSV	PV	PV	PV	PV	PSV	PS	PSM	ZL	NSM
NS	PV	PV	PV	PSV	PS	PSM	ZL	NSM	NS
NSM	PV	PV	PSV	PS	PSM	ZL	NSM	NS	NSV
ZL	PV	PSV	PS	PSM	ZL	NSM	NS	NSV	NV
PSM	PSV	PS	PSM	ZL	NSM	NS	NSV	NV	NV
PS	PS	PSM	ZL	NSM	NS	NSV	NV	NV	NV
PSV	PSM	ZL	NSM	NS	NSV	NV	NV	NV	NV
PV	ZL	NSM	NS	NSV	NV	NV	NV	NV	NV

Realizované simulace řízení odtoku vody z nádrže

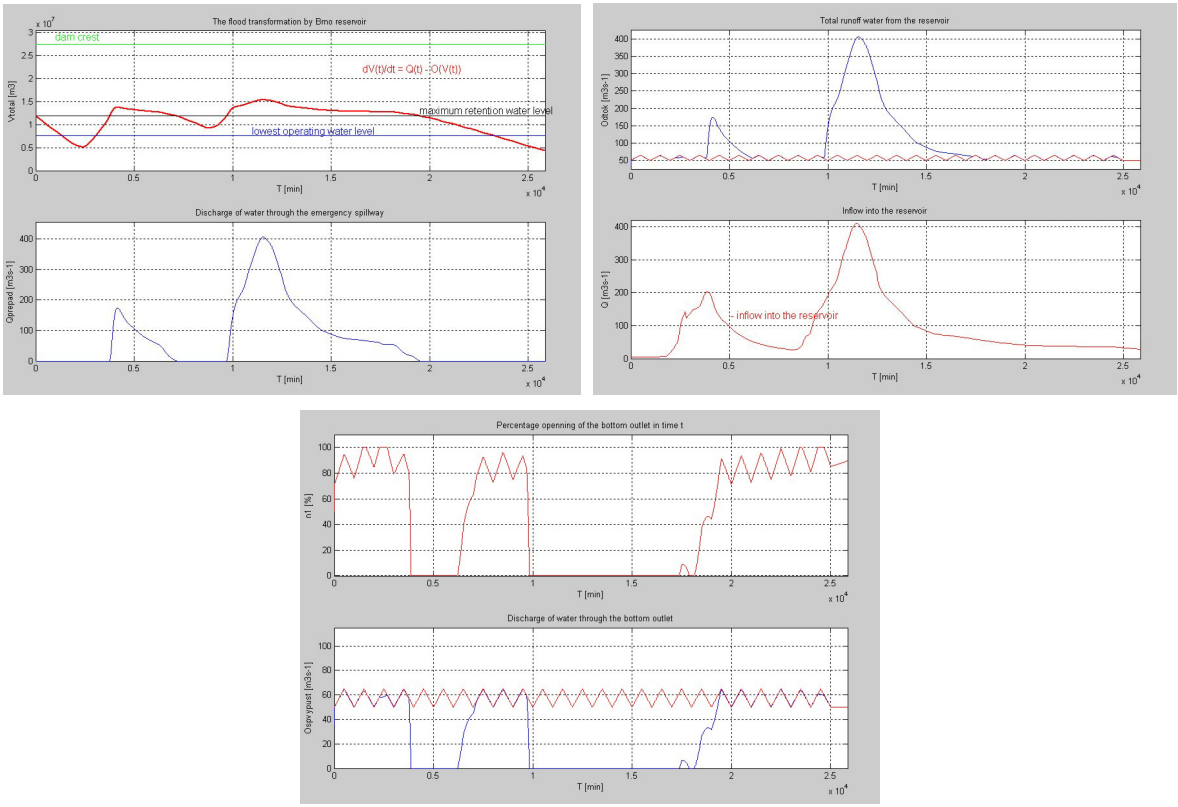
Na numerickém modelu byly doposud provedeny dvě simulace odtoku vody z namodelované nádrže. Byly zvoleny dva průběhy řízení odtoku vody z nádrže, a to v první variantě konstantní řízený odtok 50,0 m^3s^{-1} a v druhé variantě řízený odtok vody proměnný v čase t. Pro obě varianty byly provedeny výpočty s délkou časových kroků 0,25; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 a 10,0 minut. Výsledky jsou graficky znázorněné na obr. 4 pro první variantu řešení s $\Delta t = 0{,}5$ minut a na obr. 5 pro druhou variantu řešení také s $\Delta t = 0{,}5$ minut.



Obr. 4 Grafické znázornění výsledků pro řízený odtok 50,0 m^3s^{-1}.

Fig. 4 Graphical outputs for controlling discharge 50,0 m^3s^{-1}.

Na obrázcích 4 a 5 je vždy jako první graficky znázorněna závislost stavu objemu v namodelované nádrži na čase t. Pod tímto grafem se nachází hydrogram přítoku vody do nádrže, který je zadán 432 záznamy okamžitých hodinových průtoků ze srpna 2002. Na dalším grafu je znázorněn celkový řízený odtok vody z nádrže, na kterém si můžeme povšimnout, že tam kde je to možné se nám fuzzy regulátor snaží dodržet námi požadovaný řízený odtok z nádrže, ať už jde o první nebo druhou variantu řešení. Jen v případech, kdy hladiny vody v nádrži dostoupí kóty bezpečnostního přelivu a začne přes přeliv přepadat určité množství vody, začne fuzzy regulátor uzavírat spodní výpustě. V případě, kdy přepadové množství přepadající přes přeliv je rovno nebo větší požadovanému odtoku z nádrže, nezbude fuzzy regulátoru nic jiného, než uzavřít spodní výpustě a nechat tyto povodňové průtoky přejít přes bezpečnostní přeliv. V momentě, kdy přepadové množství přepadající přes přeliv poklesne pod požadované odtokové množství, začne fuzzy regulátor opět pozvolna otevírat spodní výpustě a reagovat tak na spojitě se měnící stav hladiny vody v nádrži. Na posledních třech grafech je postupně znázorněn průběh manipulace fuzzy regulátoru se spodními výpustmi, výtokové množství spodní výpustí z nádrže a přepadové množství přepadající přes přeliv.

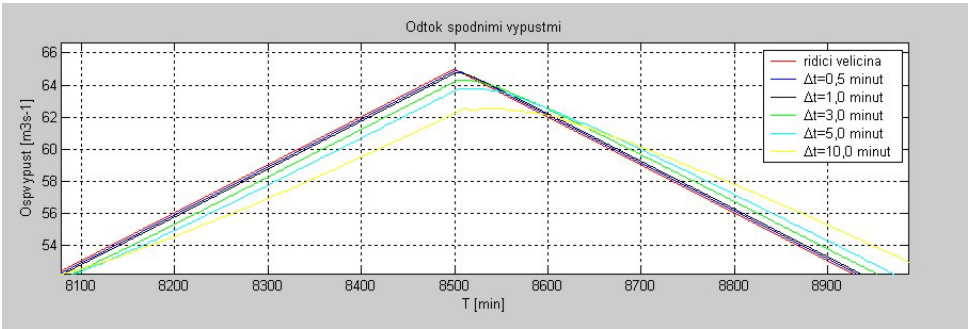


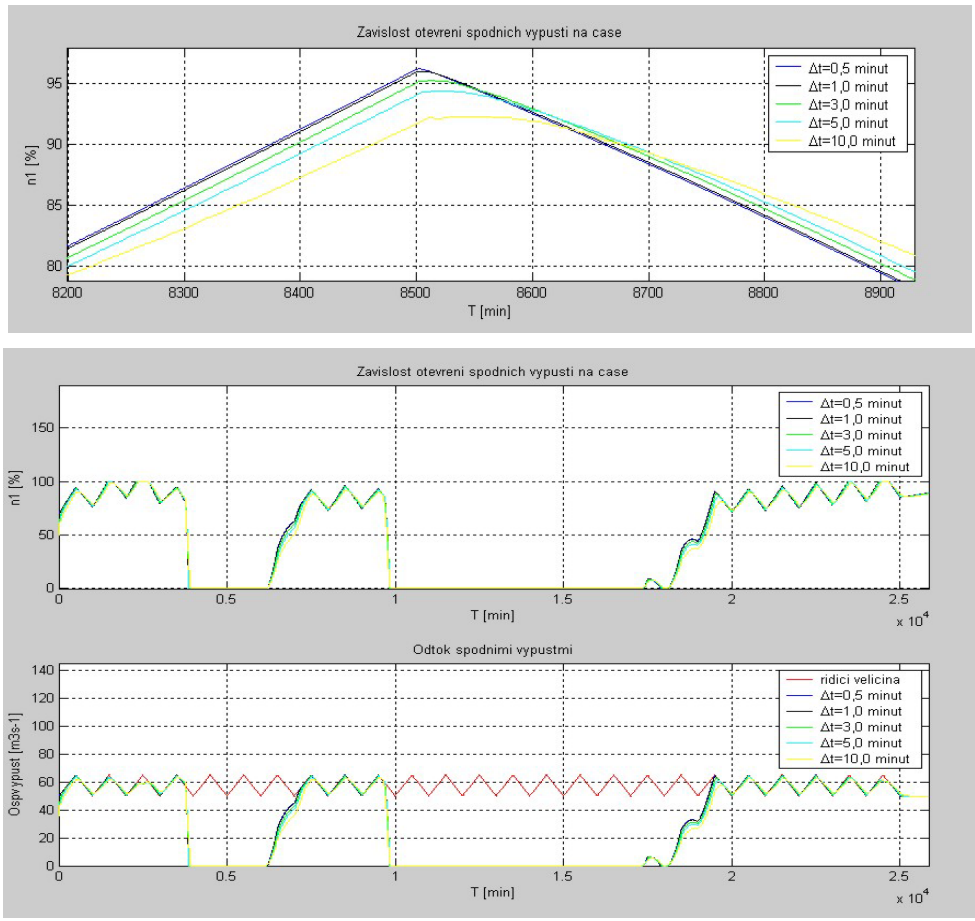
Obr. 5 Grafické znázornění výsledků pro řízený odtok měnící se v čase t

Fig. 5 Graphical outputs for controlling discharge variable in time t.

Vliv zvolené délky časového kroku výpočtu na přesnost řešení

Již v kapitole věnované popisu numerického modelu toku vody nádrží byla nastíněna problematika přesnosti výpočtu řešení zvolenou numerickou metodou na délce časového kroku výpočtu Δt. Na obr. 6. je na prvním obrázku znázorněna grafická závislost skutečného odtoku vody spodními výpustmi na čase t, při zvolené délce časového kroku výpočtu. Červená čára představuje předepsanou funkci odtok vody z nádrže. Ostatní čáry představují skutečný odtok v závislosti na délce časového kroku výpočtu Δt. Na následujícím obrázku je zobrazena grafická závislost procentuelního otevření spodní výpustě i na čase t, při zvolené délce časového kroku výpočtu. Celkový průběh jednotlivých výsledků řešení odtoku vody spodní výpustí a procentuelního otevření spodní výpustě na čase t je znázorněno na posledním obrázku. Z výsledků je patrné, že čím menší délka časového kroku výpočtu Δt, tím přesnější výsledky řešení. Je však potřeba podotknout, že však značně narůstá potřeba strojového času na samotný výpočet. Pro porovnání bylo řešení provedeno na dvou počítačových sestavách a byly do tab. 2 zaznamenávány hodnoty volených délek výpočtových kroků Δt a potřeba strojového času. Grafické znázornění je na obr. 7.





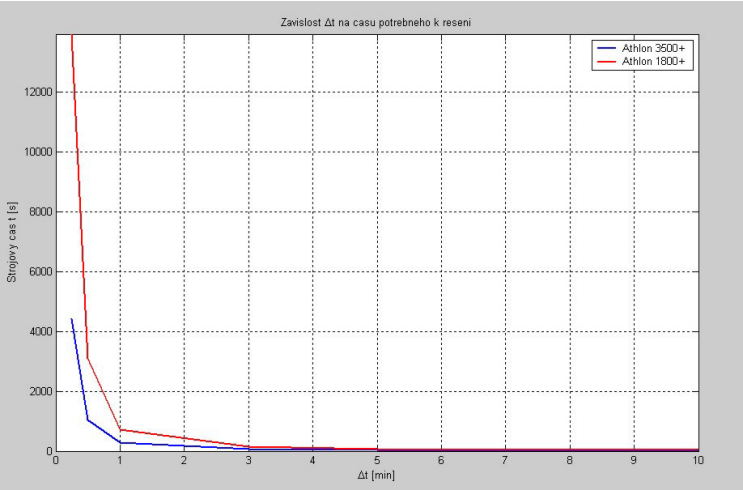
Obr. 6 Přesnost řešení na zvolené délce časového kroku Δt.

Fig. 6 Accuracy of the solution on the length of time step Δt.

Tab. 2 Potřeba strojového času.

Tab. 2 Computing time requirement.

Typ počítačové sestavy	Délka časového kroku Δt [min]	Strojový čas T [s]	Intervaly odchylek [m^3s^{-1}]
Procesor Athlon 1800+, 512 MB RAM	0.25	13941.3	<-0.06;0.02>
	0.5	3112.5	<-0.15;0.05>
	1.0	711.863	<-0.25;0.08>
	3.0	136.627	<-0.92;0.29>
	5.0	63.181	<-1.36;0.4>
	10.0	28.751	<-2.89;1.26>
Procesor Athlon 64 3500+, 1024 MB RAM	0.25	4425.8	<-0.06;0.02>
	0.5	1035.9	<-0.15;0.05>
	1.0	279.047	<-0.25;0.08>
	3.0	60.406	<-0.92;0.29>
	5.0	30.875	<-1.36;0.4>
	10.0	14.266	<-2.89;1.26>



Obr. 7 Graf potřeby strojového času na Δt.

Fig. 7 Graph of the computing time requirement depending on Δt.

ZÁVĚR

Činnost fuzzy regulátoru byla ověřena na dvou simulacích řízení odtoku vody z nádrže za povodňové situace. První simulace byla provedena pro konstantní řídící odtok vody z nádrže 50,0 m^3s^{-1} a druhá simulace pro proměnný řídící odtok vody z nádrže. Obě tyto varianty byly řešeny s délkami časových kroků 0,25; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; a 10,0 minut a jejich grafické výstupy byly porovnány s předepsaným řídícím odtokem vody z nádrže a stanoveny intervaly odchylek řešení od předepsaného řídícího odtoku vody z nádrže. Výsledky jsou patrné z tab. 2. Simulace byly provedeny na dvou počítačových stanicích různého hardwarového vybavení pro stanovení časové náročnosti výpočtu. Ze získaných výsledků vyplývá jeho velká časová náročnost u délek časových kroků menších než jedna minuta. Jejich potřeba strojového času zde rychle vzrůstá.
V současné době je snaha fuzzy regulátor nahradit natrénovanou umělou neuronovou sítí, kde očekáváme menší časovou náročnost na výpočet, ale větší intervaly odchylek, což představuje větší nepřesnost řešení.

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT, projekt 1M6840770001, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

Při řešení byly částečně využity teoretické výsledky dosažené v projektu GA ČR 103/04/0352 „Teorie operačního řízení vodohospodářských soustav za povodňových situací.“

Literatura

Dalík J.: Numerické metody. VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, Brno 1997, 145 s., ISBN 80-214-0646-1

Kubík S., Kotek Z., Strejc V., Štěcha J.: Teorie automatického řízení. SNTL/ALFA, Praha/Bratislava, 1982

Nacházel K., Starý M., Zezulák J.: Využití metod umělé inteligence ve vodním hospodářství. Praha: Academia, 2004, 319 s., ISBN 80-200-0229-4

Starý M.: Nádrže a vodohospodářské soustavy. Brno: VUT FAST, 1990, 165 s., ISBN 80-214-0191-5

Autoři:

Ing. Lubomír Jaroš, Žižkova 17, 602 00 Brno, jaros.l@fce.vutbr.cz

VYUŽITIE IMUNOANALYTICKÝCH METÓD V STOPOVEJ ORGANICKEJ ANALÝZE VÔD

Skúsenosti s ELISA metódou a jej porovnanie s konvenčnou HPLC metódou

Zoltán Krascsenits, Mikuláš Bartal

V práci bola testovaná kompetitívna ELISA (Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay) metóda na skupinové stanovenie triazínových herbicídov (atrazínu, prometrynu), alachlóru, isoproturónu a mikrocystínov vo vodách. Použili sa mikrotitračné dostičky s naviazanými protilátkami. Boli testované krížové reaktivity rôznych pesticídov a sinicových toxínov. Pritom sa vyhodnocovala tzv. hodnota IC_{50} (%) na základe odozvových kriviek látok. Boli zistené nasledovné hodnoty: ATRAZIN 0,25 $\mu g.l^{-1}$, ISOPROTURON 0,15 $\mu g.l^{-1}$,ALACHLOR 0,49 $\mu g.l^{-1}$, MCYST-LR 0,31 $\mu g.l^{-1}$, MCYST-RR 0,32 $\mu g.l^{-1}$, MCYST-YR 0,38 $\mu g.l^{-1}$. V ďalšej časti práce bol testovaný vplyv matrice vzorky. Výsledky potvrdili že obsah acetonitrilu významne neruší stanovenie ak je prítomný v množstve 0 – 10 % (v/v), resp. metanol v množstve 0 – 5 % (v/v). Kalibračné čiary sa vyhodnocovali v semilogaritmickom formáte, ktorým boli zistené regresné koeficienty v rozsahu r^2= 0,9985 až 1,0^2. Štatistickým vyhodnotením kalibračných kriviek boli určené hodnoty detekčných limitov pre jednotlivé látky. Tie dosahovali hodnoty rádovo desatiny až stotiny mikrogramov v litry vody bez predchádzajúceho zakoncentrovania analytov. ELISA metóda bola porovnávaná s konvenčnou HPLC metódou pomocou Youdenovho diagramu.

Kľúčové slová: ELISA, HPLC, pesticíd, mikrocystín, toxín, imunochémia, validácia metód

During the past years immunoassay became more and more important also as a method for environmental analysis, especially for the determination of pesticides and toxins. Comparison of conventional method (HPLC) with alternative ELISA method for the analysis of polar pesticides (atrazine, isoproturon, alachlor) and microcystins was done. The plate kit uses polyclonal antibodies, which bind both pesticides, microcystins and pesticide (microcystin)-enzyme conjugate. First the cross reactivity of the antibodies was evaluated. At the end also new, immunochemical method ELISA was compared with standard HPLC method. The value of correlation coefficient was 0,9318 which means, that also results obtained by immunochemical method are reliable.

Key wors: ELISA, HPLC, immunosensor, pesticide, algal toxin, method validation

---

ÚVOD

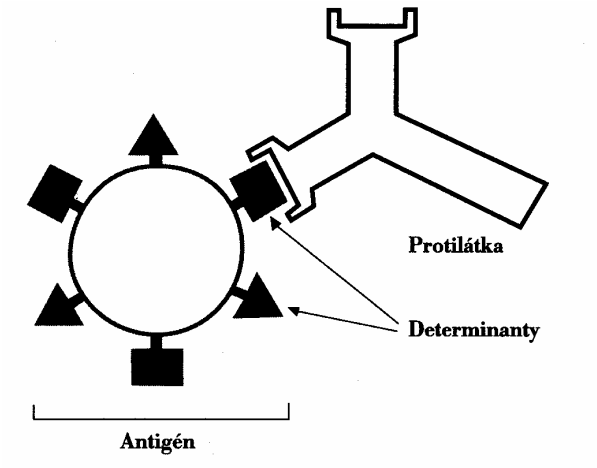
V súčasnosti rastie úsilie o monitoring zlúčenín nepriaznivo ovplyvňujúcich stav ekosystémov. Významnou skupinou týchto látok sú pesticídy, pri ktorých sa pozornosť zameriava na skúmanie ich vplyvu a transportu v životnom prostredí. Okrem vplyvov pesticídnych látok na zložky životného prostredia je zaznemenaná aj zvyšujúca sa eutrofizácia vôd. Príčinou eutrofizácie je hromadenie sa živín (dusík a fosfor) z poľnohospodárskej činnosti a nedokonale vyčistených komunálnych odpadových vôd. Použitie klasických analytických metód je časovo a z hľadiska technického vybavenia laboratórií veľmi náročné, čo má vplyv na obmedzenie počtu analyzovaných vzoriek. Zavedenie imunochemických metód na stanovenie rôznych organických látok umožnilo predchádzať niektorým z uvedených nedostatkov konvenčných metód. Vývoj imunochemických metód v environmentálnej analýze je relatívne nové. Prvé aplikácie boli komerčne dostupné pre stanovenie pesticídov v Európe v 90. rokoch 20. storočia, avšak využitie inunostanovení v predchádzajúcom období rapídne narástlo, vďaka vysokej špecifickosti a ďalším výhodám týchto stanovení v porovnaní s konvenčnými analytickými metódami. Tento trend je možné tiež pozorovať napr. v prijatí imunostanovenia US EPA ako skríningovej metódy na stanovenie celkového obsahu triazínov a iných organických kontaminantov. Imunostanovenia boli tiež zaradené medzi nové formy stanovenia ako sú multi-reziduálne metódy alebo flow-injection imunostanovenia. [1]

IMUNOCHÉMIA A IMUNOCHEMICKÉ METÓDY

Imunochemické metódy sú založené na interakciách antigén-protilátka, ktoré sa vyznačujú vysokou afinitou a špecifickosťou. Tieto vlastnosti umožňujú citlivé a selektívne stanovenie vybraných polutantov. Protilátky sú kľúčovými zložkami všetkých imunochemických metód. Sú charakterizované štruktúrou, ktorá umožní vytvorenie vysoko špecifickej interakcie s antigénmi. Priebeh reakcie antigénu s protilátkou sa meria na základe úbytku jedného z dvojice reaktantov alebo na základe tvorby reakčného produktu – antigén-protilátkového komplexu (imunokomplex). Pri vyhodnocovaní sa detekuje vznikajúci imunokomplex. [2, 3]

Antigény

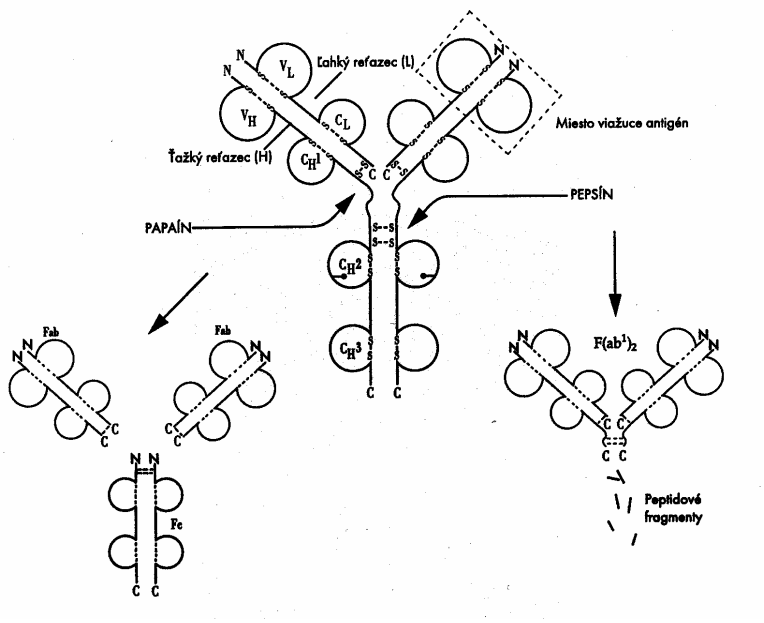
Ako **antigény** sa označujú makromolekulové látky prirodzeného alebo umelého (syntetického) pôvodu, ktoré imunitný systém rozpoznáva ako cudzie. Po vpravení do vhodného organizmu stimulujú tvorbu protilátok, čiže navodia *imunitnú odpoveď*. Takýto antigén označujeme ako kompletný antigén alebo **imunogén**. Veľmi malé molekuly samé osebe nie sú schopné indukovať imunitnú odpoveď, avšak nadviazaním sa na inú väčšiu molekulu, túto schopnosť získajú. Takáto látka sa označuje ako **haptén** a molekula, na ktorú sa nadväzuje sa označuje ako *nosič*. [4]. Antigén reaguje so svojou špecifickou protilátkou na spôsob „kľúč a zámka“, keď je jeho epitop ponorený do priehlbiny vytváranej variabilnými doménami ľahkých a ťažkých reťazcov protilátok (viď. obr. 1.).



Obr. 1 Schéma väzby antigénových determinantov s väzbovými miestami protilátky
Fig. 1 Scheme of the bindig of antigene with specific sites of antibody

Protilátky

Z chemického hľadiska protilátky patria medzi glykoproteíny čo bolo dokázané r. 1930 M. Heidelbergom. Hlavnou biologickou funkciou imunoglobulínov je protilátková aktivita, čo znamená, že molekula obsahuje *väzbové miesto*, ktoré sa môže špecifickým spôsobom nadviazať na determinantné skupiny antigénu, ktorý indukoval ich tvorbu. Základná molekula imunoglobulínu sa skladá zo štyroch polypeptidových reťazcov. Menší reťazec sa označuje ako ľahký (L - light), väčší reťazec sa označuje ako ťažký (H - heavy). L-reťazec sa viaže na ťažký reťazec prostredníctvom disulfidových väzieb a tvoria tvar písmena Y (viď. obr. 2.), podobné väzby spájajú aj oba ťažké reťazce. Na základe existencie rôznych ťažkých režazcov sa imunoglobulíny (Ig) delia do 5 základných tried - IgG, IgM, IgA, IgD, IgE. Ľahké reťazce sú dva, pričom ťažký reťazec sa kombinuje buď s jedným alebo druhým ľahkým režťazcom. [5]



Obr. 2 Schéma protilátky (odhalenie jej štruktúry pomocou papaínu a pepsínu)
Fig. 2 Scheme of the antibody (structure identification after enzymatic digestion with papaine and pepsine)

Z mechanizmu tvorby protilátok vyplýva, že každý antigénový determinant aktivuje len jeden klon buniek a ten potom syntetizuje len jeden druh imunoglobulínových molekúl. Keďže protilátky určitej špecifickosti sú výsledkom produkcie jedného klonu B-lymfocytov, imunitná odpoveď je **polyklonová**. [2] Myelómy sú nádorovo zvrhnuté B-lymfocyty, ktoré produkujú rovnaký typ protilátok, obyčajne ťažko zistiteľnej špecifickosti. Myelóm možno teda považovať za abnormálne veľký klon buniek a produkované protilátky sú **monoklonové**.

Termínom enzýmová imunoanalýza (EIA) sa označuje skupina imunoanalytických metód, ktoré v detekčnej alebo kvantifikačnej fáze používajú enzýmovú reakciu. Enzým je pritom kovalentne viazaný na niektorý z imunoreaktantov (antigén, haptén, protilátka, druhá protilátka) alebo v špeciálnom usporiadaní, napr. v homogénnej EIA sa pridáva priamo do reakčnej zmesi po vytvorení imunokomplexu. Citlivosť metód enzymových imunoanalýz limituje tvorba imunokomplexu, t.j. rovnovážna konštanta *K* reakcie antigénu s protilátkou. [6]

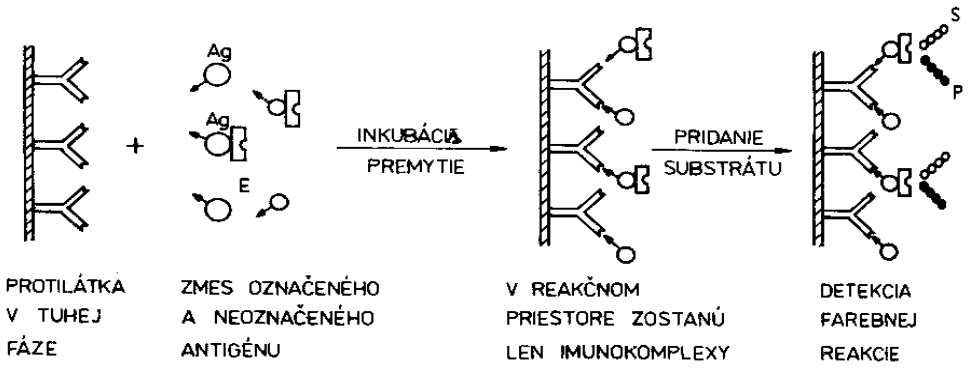
$$\mathbf{K = k_1 / k_2 = [Ab\text{-}Ag] / [Ab] . [Ag]}$$

K je rovnovážna asociačná konštanta, charakterizujúca silu väzby medzi antigénom a protilátkou. Asociačné konštanty komplexu antigén - protilátka majú pri optimálnych podmienkach hodnoty približne 10^{12} mol/l.

ELISA

Je to metóda heterogénnych enzýmových imunoanalýz, pričom jeden z reaktantov je na konci reakcie oddelený od imunokomplexu. Na oddelenie sa najčastejšie používajú tuhé povrchy – stena skúmavky alebo stena mikrotitračnej jamky. Najpoužívanejšou technikou v oblasti analýz životného prostredia je kompetitívna ELISA s imobilizovanými protilátkami: na tuhú fázu sa naviaže protilátka špecifická pre antigén, ktorý sa má stanoviť. Potom sa pridá známe množstvo enzýmom označeného antigénu a buď známe (štandardné) množstvo, alebo neznáme (analyzované) množstvo neoznačeného antigénu. Počas inkubácie súťaží označený antigén so štandardným alebo skúmaným (vzorka) neoznačeným antigénom. Po skončení inkubácie sa reakčný priestor (napr. jamka v mikrotitračnej doštičke) premyje tlmivým roztokom, čím sa odstránia voľné reaktanty. Zostanú len označené a neoznačené antigény

nadviazané na imobilizované protilátky. Potom sa pridá roztok substrátu, ktorý enzým prítomný v imunokomplexoch rozloží za vzniku farebného produktu. Intenzita zafarbenia roztoku s produktom enzýmovej reakcie sa meria spektrofotometricky. [2, 7]



Obr. 3 Schéma kompetitívnej ELISA pre antigén
Fig. 3 Scheme of the competitive ELISA reaction

V posledných piatich rokoch nastal intenzívny vývoj automatizovaných biosenzorov. Tieto prístroje fungujú na princípe kompetitívnej ELISA, namiesto enzýmov pri detekcii sú používané fluorescenčné farbivá. Pre monitorovanie chlórtriazínov vo vode bol vyvinutý imunosenzor, ktorý bol spojený s FIA systémom. Tento systém, označovaný ako RIANA (River ANAlyzer) s optickým imunosenzorom a bol použitý pre monitoring chlórtiazínov v povrchových vodách. [8,9,10]. Ďalším novovyvinutým biosenzorom je AWACSS - Automated Water Analyser Computer Supported System. Základom systému je prietoková injekčná analýza FIA spojená s nepriamou ELISA na stenách prietokovej cely. Tento senzor dosahuje nízke detekčné limity, môže súčasne stanovovať viac druhov kontaminantov vo vodách, môže pracovať priamo na mieste monitoringu a umožňuje diaľkové ovládanie internet. [11,12]

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Cieľové analyty

Pesticídy

Z veľkého počtu pesticídov boli vybrané tie, pre ktoré boli dostupné ELISA súpravy a sú relevantné pre Slovenskú republiku, čiže sú registrované v SR a sú intenzívne používané v poľnohospodártve [13]. Tieto pesticídy boli zo skupiny tiazínových, fenylmočovinových a acetanilidových herbicídov. Hlavnými predstaviteľmi skupiny triazínových herbicídov sú atrazín, simazín a prometrýn. Ich cfyzikálno-chemické vlastnosti uvádza tabuľka 1.

Tab. 1 Triazínové pesticídy
Tab. 1 Triazine herbicides

Názov látky	Mol. Hmotnosť	Rozpustnosť vo vode (pH 7, 20 °C) $mg.l^{-1}$	Kow (log P) (25 °C)	Prípravok v SR
Atrazín	215,7	33	2,5	ATRANEX 50SC ZEAZIN S 40 GESAPRIM 90WG
Simazín	201,7	6,2	2,1	SIMAZIN 50SC GESAGARD 80WP
Prometrýn	241,1	33	3,1	PROMETREX 50SC

Zo skupiny fenylmočovinových herbicídov boli vybrané *diurón, isoproturón* lebo majú značné toxické účinky pre vodné organizmi, preto Európskou komisiou pre životné prostredie boli zaradené medzi prioritné polutanty (na Slovensku nie je registovaný žiadny prípravok s touto účinnou látkou) a *chlortolurón* ako najviac používaný močovinový herbicíd.
Zo skupiny chlóracetamidových herbicídov boli vybrané dva štruktúrne príbuzné látky - *metolachlór* a *acetochlór* nakoľko v posledných rokoch ich použitie má rastúcu tendenciu, sú pomerne pohyblivé v pôde a produkujú toxické degradačné produkty.

Tab. 2 Fenylmočovinové pesticídy
Tab. 2 Phenylureae herbicides

Názov látky	Mol. Hmotnosť	Rozpustnosť vo vode (pH 7, 20 °C) mg.l^{-1}	Kow (log P) (25 °C)	Prípravok v SR
Izoproturón	206,3	65 mg/l	2,5	TOLKAN FLO PROTURIN 500SC
Diurón	233,1	36,4 mg/l	2,8	-
Chlortoluón	212,7	74 mg/l	2,5	SYNCURAN 80DP LENTIPUR 500FW

Tab. 3 Chlóracetanilid pesticídy
Tab. 3 Anilidic herbicides

Názov látky	Mol. Hmotnosť	Rozpustnosť vo vode (pH 7, 20 °C) mg.l^{-1}	Kow (log P) (25 °C)	Prípravok
Alachlór	269,8	242mg/l	3,09	SALTO 50EC LASSO MTX
Metolachlór	283,8	488 mg/l	2,9	
Acetochlór	269,8	223 mg/l	3,03	ACENIT A 880EC GUARDIAN EC

Mikrocystíny

Cyanobaktérie a ich hlavné metabolity - cyanotoxíny , boli pozorované vo vodných telesách zahŕňajúcich aj vodné nádrže v celej Európe. Cyanotoxíny sú zahrnuté medzi prioritné nebezpečné látky v Rámcovej smernici o vodách (Water Framework Directive), ktoré môžu spôsobovať smrť zvierat a tiež vyvolať zdravotné ťažkosti alebo smrť u ľudí. Na Slovensku sa najčastejšie vyskytujú sinice z rodu Mycrocystis, ktoré produkujú hepatotoxíny – mikrocystíny (MCYST). Ich toxický účinok spočíva v inhibíci proteinových fosfatáz PP-1c a PP-2Ac, ktoré sú dôležitými enzýmami pri potlačení vzniku nádorov. Toxíny spôsobujú poškodenie štruktúry a funkcie pečene ako cieľového orgánu. Z tohoto dôvodu je potrebné ich kontinuálne monitorovanie v pitných vodách a tiež vo vodách pre rekreačné účely.

Chemikálie a materiál

Použili sa rozpúšťadlá čistoty pre organickú stopovú analýzu. Acetonitril, metanol, acetón, hexán, dichlórmetán a síran sodný, bezvodý, p.a. boli z Nemecka. Redestilovaná voda Milli-Q z USA bola pripravená ultrafiltráciou. Štandardy pesticídov (atrazín, alachlor, isproturon, ametryn, prometryn, propazin, simazin a terbutylazin) s čistotou najmenej 96 - 99 % boli zakúpené ako čisté látky z Nemecka a štandardy mikrocystínov MCYST-LR, MCYST-RR, MCYST-YR z Kanady. Z tuhých štandardov boli pripravené zásobné roztoky s koncentráciou 1000 µg.ml^{-1} v acetonitrile alebo v acetóne (simazín). Zriedením týchto roztokov sa pripravili pomocné a pracovné roztoky pesticídov s koncentráciou 25 µg.ml^{-1} v acetonitrile. Na prípravu mobilnej fázy pre HPLC experimentov bol použitý octan amónny najvyššej čistoty z Nemecka a kyselina trifluórooctová. Na izoláciu mikrocystínov z vody boli použité SPE kolónky STRATA SDB-L styréndivinylbenzén 100

μm, 500 mg zo Slovenska a pre pesticídy mikrokolónky plnené PLRP-S sorbentom. Na testovanie boli použité komerčné ELISA súpravy EnviroGard Plate Kit na stanovenie isoproturonu, alachlóru, triazinových pesticídov a mikrocystínov vo vodách z USA. Každá súprava obsahovala 96 jamkovú mikrotitračnú dostičku s naviazanými polyklónovými protilátkami, 1 vialku roztoku „negatívnej kontroly" (0,0 $\mu g.l^{-1}$), kalibračné roztoky, 1 vialku x-enzým konjugátu, 1 vialku substrátu, 1 vialku chromogénu a 1 vialku roztoku na ukončenie reakcie („stop solution").

Prístroje a zariadenia

HPLC

Kvapalinový chromatograf s diode-array UV detektorom

- UV- detektor diódového poľa
- chemostanica
- analytická kolóna 250 x 4,0 mm, 5μm (pesticídy)
- analytická kolóna 250 x 3 mm i.d., 5 μm (mikrocystíny)

Automatizovaná predkoncentračná SPE jednotka PROSPEKT

- SDU - solvent delivery unit
- SAMOS Win/SPE softwer

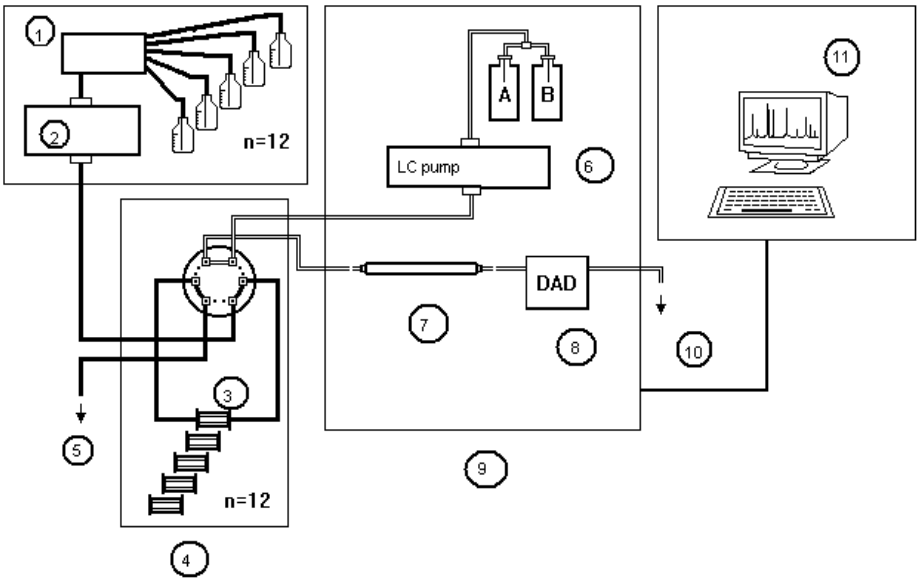
ELISA

Spektrofotometer pre mikrotitračné dostičky Plate Reader s počítačovým softvérom; automatická mikropipeta s nastaviteľným objemom.

Postupy

On-line SPE-HPLC/DAD-UV stanovenie pesticídov

Predkoncentrácia vzoriek bola uskutočnená pomocou automatizovaného systému PROSPEKT. Na zachytenie analytov boli použité SPE mikrokolónky s rozmerom 10 x 2,0 mm vnútorného priemeru. Kolónky boli pred analýzou kondicionované prečerpávaním 10 ml metanolu a 10 ml Milli Q vody pomocou SDU jednotky prietokovou rýchlosťou 5 $ml.min^{-1}$. Nasledovalo prečerpávanie 100 ml vzorky tiež rýchlosťou 5 ml/min. Zachytené analyty boli eluované priamo na analytickú kolónu gradientom mobilnej fázy. Mobilná fáza bola nasmerovaná na SPE kolónku pomocou automatického prepínania ventilov. Schému prístroja uvádza obrázok 8. Gradient mobilnej fázy bol nasledovný : lineárne z 10 % B na 50 % B za 30 minút a potom naspäť na 10 % B za 2 minúty s prietokom 1 $ml.min^{-1}$ (A - 1 $mmol.l^{-1}$ octan amónny s 2,5 % v/v acetonitrilu, B – acetonitril) Na detekciu bol použitý UV detektor diódového poľa, čo umožňuje kvantifikáciu v UV oblasti a identifikáciu látok pomocou UV-VIS spektier. Na kvantifikáciu pesticídov boli použité signály snímané pri vlnových dĺžkach 220 nm a 230 nm pre triazíny a 245 nm pre fenylmočoviny.



Obr. 4 Schéma zapojenia SAMOS SPE-HPLC/DAD-UV systému
1-SDU, 2-čerpadlo, 3-SPE kolónky, 4-PROSPEKT, 5,10-odpady, 6-HPLC pumpa, 7-analytická kolóna, 8-detektor, 9-HPLC HP 1090, 11-Chemostanica
Fig. 4 Scheme of the automatized SAMOS on-line SPE HPLC/DAD-UV system
1-SDU, 2-pump, 3-SPE column, 4-PROSPEKT, 5,10-waste, 6-HPLC pump, 7-analytical column, 8- detector, 9-HPLC HP 1090, 11-Chemstation

Off-line SPE -HPLC/UV analýza mikrocystínov

K extrakcii sa použilo 500 ml vzorky vody prefiltrovanej cez GF/C predfilter. Potom sa do vzorky pridal vodný roztok TFA a metanol. SPE kolónky boli kondicionované etylacetátom, metanolickým roztokom TFA, metanolom a utračistou vodou Milli-Q. Za tým nasledovala prekoncentrácia vzorky. Sorbent sa po prečerpaní vzorky vody s cieľom odstránenia balastných látok sa premýval postupne s 10 %, 20 %, 30 % vodnými roztokmi metanolu. Po vysušení v prúde vzduchu sorbované toxíny boli eluované s 0,1 % (v/v) metanolickým roztokom TFA. Extrakt sa zahustil odfúkaním so vzduchom a objem sa upravil metanolom na 150 μl. Chromatogram analýzy modelovej vzorky vody s koncentráciou mikrocystínov 1 μg.l-1 separované na analytickej kolóne Luna C-18, 250 x 3 mm i.d. so zrnitosťou 5 μm je uvedený na obrázku 5. Gradient mobilnej fázy bol nasledovný : lineárne z 20 % B na 70 % B za 30 minút a potom naspäť na 20 % B za 2 minúty s prietokom 0,6 $ml.min^{-1}$ (A – 5% v/v acetonitrilu a 0,05% v/v TFA vo vode, B – 0,05% v/v TFA v acetonitrile) Chromatografický proces separácie mikrocystínov bol monitorovaný UV detektorom pri vlnovej dĺžke 238 nm (na základe charakteristickej absorpcie UV žiarenia kyseliny ADDA pri 238 nm).

ELISA

Do vopred vyznačených jamiek bolo napipetované po 80 μl negatívnej kontroly, štandarných roztokov a vzoriek. Následne do každej jamky bolo pridaných 80 μl x-enzým konjugátu. Obsah jamiek bol premiešaný opatrným krúživým pohybom a jamky sa zakryli parafilmom. Takto pripravené jamky sa nechajli inkubovať po dobu 1 h pri laboratórnej teplote v tme. Po uplynutí inkubačnej doby jamky boli premyté 5 krát vodovodnou vodou. Potom do každej jamky sa pridalo 80 μl substrátu a 40 μl chromogénu, pričom sa vždy pridával najskôr substrát. Znova sa nechali inkubovať 30 minút pri laboratórnej teplote. Po uplynutí doby na ukončenie vyfarbovacej reakcie bolo pridaných 40 μl 2,5 $mol.l^{-1}$ kyseliny sírovej („stop solution“). Pôvodné modré zafarbenie roztokov v jamkách sa zmenilo na žlté. Na meranie intenzity prechádzajúceho svetla bol použitý spektrofotometer („Plate-reader“) pri 450 nm, a 650 nm ako referenčná vlnová dĺžka.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

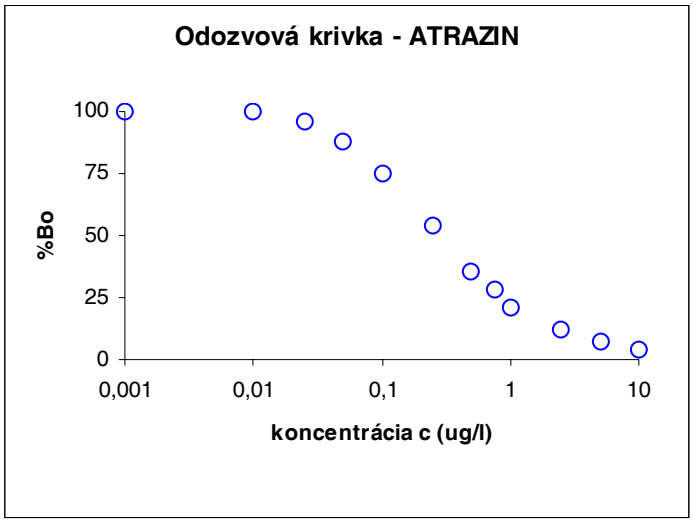
Charakterizácia ELISA súprav

Testovanie citlivosti

Pri hodnotení citlivosti ELISA súprav boli použité odozvové krivky jednotlivých analytov. Odozvové krivky boli merané pre laboratórne štandardné roztoky. Z nameraných hodnôt absorbancií sa vypočítala hodnota $\%B_0$ dosadením príslušných údajov do vzorca :

$$\%B_0 = (OD_{ŠT} / OD_{NC}) \cdot 100 \ \%$$

kde $OD_{ŠT}$ je absorbancia (optická hustota) jednotlivých štandardov, OD_{NC} je absorbancia negatívnej kontroly. Vynesením získaných hodnôt %Bo na y-ovú os a príslušných koncentrácií na x-ovú os v semilogaritmickej forme sa získali odozvové krivky pre cieľové analyty. Táto závislosť má sigmoidálny tvar s priamkovou časťou.



Obr. 5 Odozvová krivka pre atrazín v Milli-Q vode
Fig. 5 Response curve for atrazine in Milli-Q water

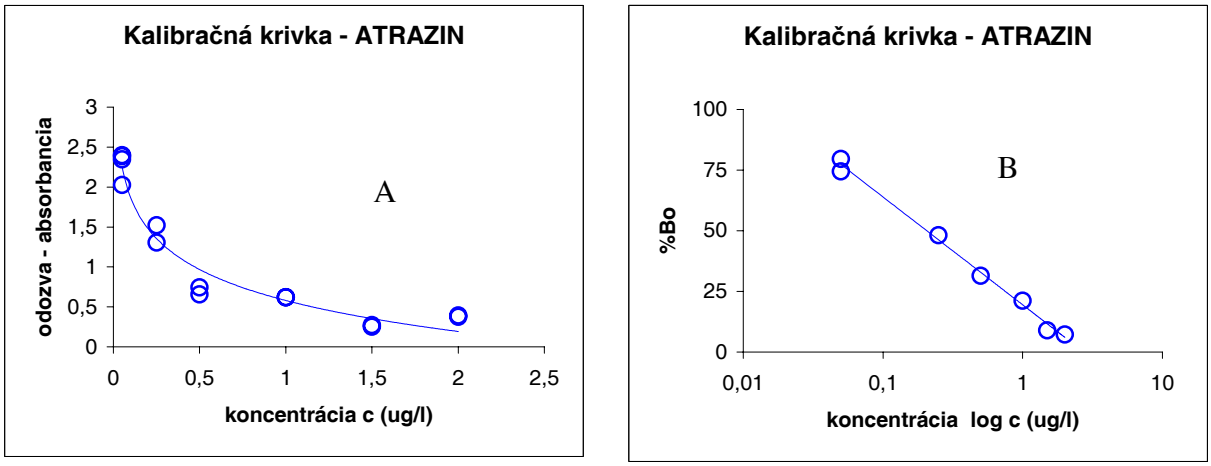
Zo získaných odozvových kriviek boli určené hranice lineárnej odozvy metódou derivácie.
Zistené koncentračné hranice pre lineárnu odozvu pre jednotlivé testované látky uvádza tabuľka 2.

Tab. 4 Koncentračné hranice linearity pre cieľové analyty
Tab. 4 Range of linear response for the target analytes

Analyt	Dolná hranica [µg.l^{-1}]	Horná hranica [µg.l^{-1}]
isoproturón	0,02	0,7
alachlór	0,06	2,5
atrazín	0,02	2,0
MCYST-LR	0,05	2,0
MCYST-RR	0,06	1,7
MCYST-YR	0,08	1,8

Roztoky použité v ďalších experimentoch boli z lineárneho rozsahu odozvovej krivky. Pred analýzou vzoriek vždy bola zostrojená kalibračná krivka. Závislosť absorbancie roztokov od koncentrácie analytu bola logaritmická, preto ďalším krokom bola linearizácia kalibračných kriviek, pričom bola

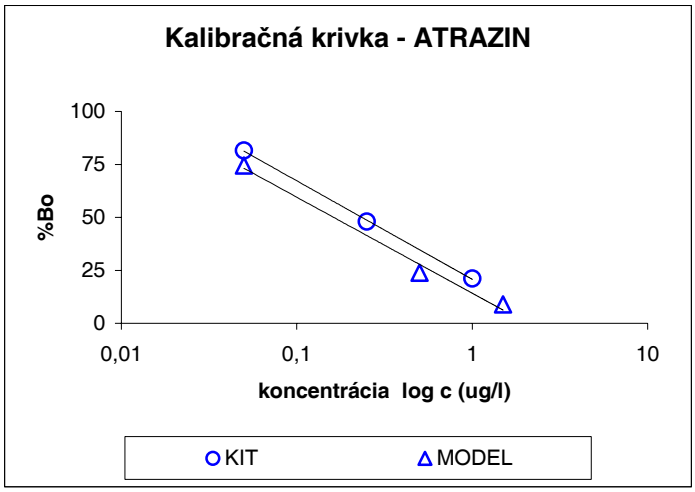
aplikovaná log-lin transformácia. V ďalších experimentoch na kvantifikáciu bola používaná % Bo = f (log c) kalibračná krivka, zostrojená v lineárnej odozvovej oblasti.



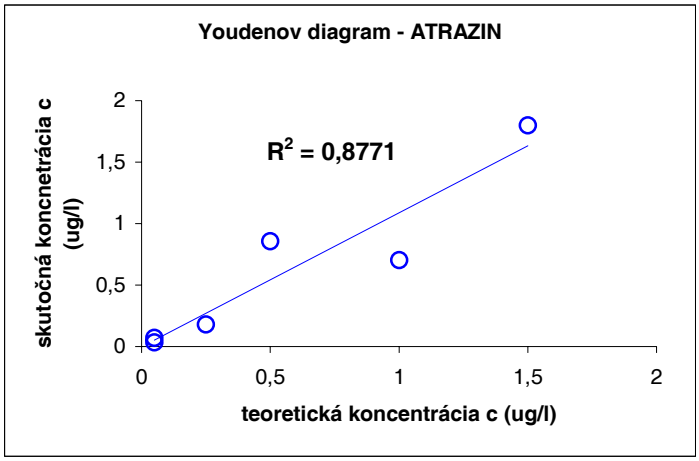
Obr. 6 Odozvová krivka pre atrazín v Milli-Q vode: A – OD = f (c); B - %B_0 = f (log c)
Fig. 6 Response curve for atrazine in Milli-Q water: A – OD = f (c); B - %B_0 = f (log c)

Vplyv matrice štandarných roztokov na presnosť výsledkov

Podkladom pre overenie tohto vplyvu bola skutočnosť, že standardné roztoky dodávané s ELISA súpravou sú pripravované v roztokoch pufrov s konzervačnými látkami. Pre hodnotenie tohto jednoduchého matricového efektu boli namerané kalibračné krivky pomocou súpravovými štandardnými roztokmi (ďalej označené ako KIT) a laboratórnymi štandardnými roztokmi (ďalej označené ako MODEL). Porovnaním týchto dvoch typov kalibračných kriviek vizálne zrejmé, že matrica kalibračných roztokov má vplyv na presnosť výsledkov pri analýze reálnych vzoriek. Najväčšia zhoda obidvoch kalibračných kriviek bola dosiahnutá v prípade súpravy pre stanovenie alachlóru a mikrocystínov, a naopak najnižšia zhoda v prípade súpravy na stanovenie isoproturónu. Pre presnejšie hodnotenie tohto matricového efektu bol použitý Youdenov diagram. Youdenovou metódou sa porovnávala teoretická koncentrácia analytu s vypočítanými koncentráciami, ktoré sa získali extrapoláciou z daných kalibračných kriviek. Hodnota korelačného koeficienta pre izoproturon bola R^2 = 0,5852. V prípade alachlóru korelačný koeficient mal hodnotu R^2 = 0,855. Podobný výsledok sme získali aj pre atrazín, kde R^2 = 0,8771 a 0,975 pre mikrocystín-LR. Preto je dôležité použiť matricové kalibračné roztoky.



Obr. 7 Kalibračné krivky pre atrazín – rôzne matrice
Fig. 7 Comparison of the calibration curves for atrazine



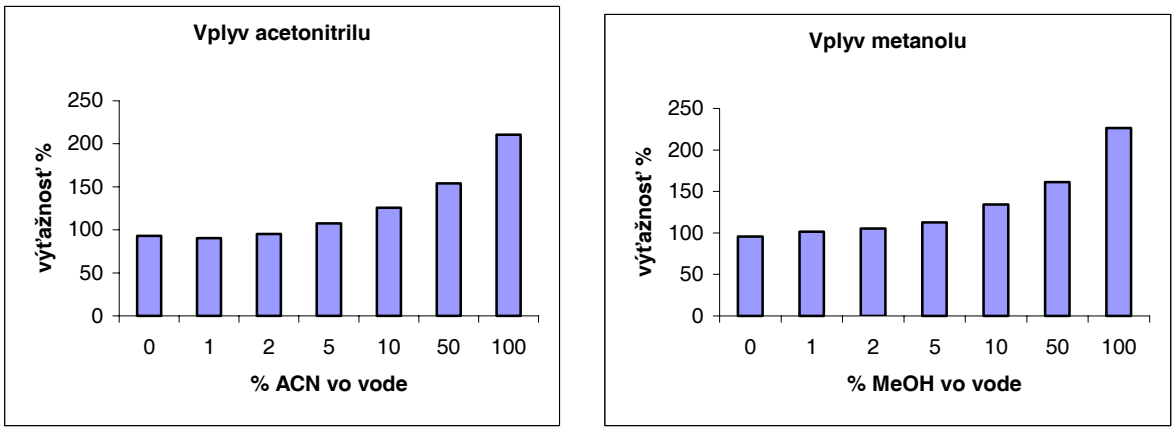
Obr. 8 Youdenov diagram pre atrazín – hodnotenie matricového efektu
Fig. 8 Youden chart for atrazine – evaluation of the matrix effect

Vplyv matrice vzoriek na presnosť výsledkov

Ako testované rozpúšťadlá boli vybrané také, ktoré sa najčastejšie používajú pri stanovení pesticídov a toxínov (sú používané na priamu extrakciu tuhých látok alebo ne rekonštitúciu odparkov pri zmene nepolárneho rozpúšťadla pre zabezpečenie kompatibilnosti so stacionárnymi fázami v HPLC). Hodnotili sme acetonitril a metanol. Pre hodnotenie matricového efektu spomínaných rozpúšťadiel boli testované všetky súpravy na jednej koncentračnej hľadine s hodnotou 0,5 $\mu g.l^{-1}$. Pracovný štandardný roztok bol pripravený v matrici Milli-Q voda s rôznym obsahom acetonitrilu alebo metanolu. Vodné roztoky obsahovali 0-1-2-5-10-50 % acetonitrilu resp. metanolu, pričom boli testované aj 100 %-né rozpúšťadlá. Merala sa absorbancia roztokov pri 450 nm. Z absorbancií boli vypočítané hodnoty % Bo, pomocou ktorých boli vypočítané skutočné koncentrácie analytov v daných roztokoch. Na jednoduchšie a exaktnejšie hodnotenie matricového efektu sme používali hodnoty výťažností, na ktorých výpočet bol použitý vzorec:

$$\eta = (C_{SKUT} / C_{TEOR}) * 100\ \%$$

kde η je výťažnosť v percentách, C_{SKUT} – koncentrácia vypočítaná pomocou kalibračnej krivky, C_{TEOR} – teoretická koncentrácia (0,5 $\mu g.l^{-1}$). Pre demonštráciu toho efektu sme vybrali výsledky získané testovaním roztokov atrazínu, nakoľko výsledky pre alachlór a isoproturon a mikrocystíny boli skoro identické.



Obr. 9 Vplyv acetonitrilu a metanolu na protilátky
Fig. 9 Effect of acetonitrile and methanol for the antibody

Výsledkom testu je, že relatívne nízke koncentrácie acetonitrilu resp. metanolu (do 5% obsahu) spôsobujú chybu od +3 % do +12 % výťažnosti, kým koncentrovanejšie roztoky rozpúšťadiel od +17 % do +130 %. Požiadavke, aby výťažnosť neprekračovala 120 % vyhovoval obsah acetonitrilu od 5 % do 10 % a metanolu do 5 % (metanol má silnejšie denaturačné vlastnosti ako acetonitril).

Testovanie krížovej reaktivity

Polyklonové protilátky majú affinitu aj voči iným hapténom, ktoré sa nepatrne líšia od pôvodného hapténu (štruktúrne blízke látky napr. triazíny, fenylmočoviny, acetanilidy alebo toxíny). Z týchto dôvodov je potrebné poznať a kvantifikovať túto bočnú reakciu, tzv. krížovú reaktivitu. Pre určenie koncentrácie krížového reaktantu, ktorá spôsobuje 50 %-nú inhibíciu, bola použitá tzv. Abrahamová metóda.. Pre hodnotenie krížovej reaktivity touto metódou, boli analyzované vodné (Milli-Q) roztoky cieľových analytov v širokom koncentračnom rozsahu. Z nameraných údajov boli zostrojené odozvové krivky pre každú látku. Pomocou regresnej analýzy priemkovej časti odozvovej krivky sa vypočítali koncentrácie zodpovedajúce IC_{50}.

Tab. 5 Hodnoty IC_{50} pre cieľové analyty
Tab. 5 Values of IC_{50} for the target analytes

Krížový reaktant	**Hodnota IC_{50} [µg.l^{-1}]**
ATRAZIN	0,25
ISOPROTURON	0,15
ALACHLOR	0,49
MCYST-LR	0,31

Tab. 6 Hodnoty IC_{50} pre krížové reaktanty
Tab. 6 Values of IC_{50} for the cross-reactants

Krížový reaktant	**Hodnota IC_{50} [µg.l^{-1}]**
PROMETRYN	0,29
SIMAZIN	1,3
DIURON	470
CHLORTOLURON	160
METOLACHLOR	34
ALACHLOR	37
MCYST-RR	0,32
MCYST-YR	0,38

Z výsledkov vyplýva, že najviac ovplyvňovanými krížovými reakciami sú anti-triazínové a anti-MCYST protilátky a najmenej ovplyvňovanými anti-isoproturónové protilátky. Veľmi blízke hodnoty krížovej reaktivity v prípade toxínových analógov nemusí znamenať nedostatok, skôr naopak výhodu. Zatiaľ žiadny legislatívny predpis zaoberajúca sa kvalitou vody z hľadiska obsahu mikrocystínov neurčuje limit pre jednotlivé analógy týchto toxínov, ale limitná hodnota je daná práve na sumárny obsah toxínov.

Stanovenie mikrocystínov a rezíduí pesticídov v reálych vzorkách

Analyzovali sme povrchové vody z povodia Dunaja a Nitry. Rôzne zdroje znečistenia privádzajú do tokov organické látky širokého spektra, čo sa týka štruktúry a chemických vlastností, ktoré môžu v rôznej miere vplývať na presnosť výsledkov získaných metódou ELISA. Pre kontrolovanie tohto javu vzorky boli súčasne analyzované aj metódou vysokoúčinnej kvapalinovej chromatografie (SPE-HPLC-DAD/UV). Pre stanovenie mikrocystínov sa odoberali vody z vybraných jazier, v ktorých bol počas letných mesiacov pozorovaný masový rozvoj siníc. Pred samotnou analýzou vzoriek

povrchových vôd pre jednoduchšie porovnaie použitých analytických metód boli analyzované modelové roztoky cieľových analytov. Ako matrica bola použitá voda Milli-Q. Na základe hodnôt R^2 ELISA metódu stanovenia vybraných pesticídov možno hodnotiť ako porovnávateľnú s konvenčnou analytickou technikou. Hodnoty R^2 sú blízke 1, v prípade atrazínu táto hodnota je 0,9887; pre isoproturon je 0,9832, pre alachlór je 0,914 a pre mikrocystíny je 0,9953. ELISA metóda produkuje najpresnejšie výsledky v koncentračnom rozsahu lineárnej odozvy.

Tab. 7 Výsledky analýz povrchových vôd
Tab. 7 Results of the analysis of surface water

Lokalita	ATRAZÍN [µg.l^{-1}]			ISOPROTURÓN [µg.l^{-1}]		ALACHLÓR [µg.l^{-1}]	
	ELISA	HPLC	GC	ELISA	HPLC	ELISA	HPLC
Nedožery	0,023	< 0,07	0,010	0,03	< 0,06	ND	< 0,08
ČOV Prievidza	0,084	< 0,07	0,062	0,03	< 0,06	0,087	< 0,08
Chalmová	0,078	< 0,07	0,068	0,03	< 0,06	0,107	< 0,08
Topoľčany	0,024	< 0,07	0,019	ND	< 0,06	0,055	< 0,08
Váh - Komárno	0,021	< 0,07	0,018	0,043	< 0,06	0,094	< 0,08
Hron -Kamenica	0,074	< 0,07	0,069	ND	< 0,06	ND	< 0,08
Dunaj - Sob	0,028	< 0,07	0,038	0,011	< 0,06	0,09	< 0,08
Malý Dunaj	0,021	< 0,07	0,018	ND	< 0,06	0,011	< 0,08
Ipeľ - Letkés	0,118	0,09	0,106	ND	< 0,06	ND	< 0,08

*Vysvetlivy : **NA** – neanalyzované (použitá iná technika), **ND** - nedetekovateľné*

V prípade niektorých vzoriek sa zitilo, že ELISA metóda dáva nadhodnotené výsledky, čo môže byť dôsledok krížových reakcií organických látok rôzneho charakteru resp. dôsledok denaturácie bielkovín týmito látkami. V silne zakalených vodách boli zistené výsledky podhodnotené, čo môže byť dôsledkom sorpcie analytov na povrch tuhých častíc (pred ELISA analýzou vzorky neboli filtrované – výhoda ELISA). Na potvrdenie pozitívnych nálezov atrazínu (ELISA) bola použitá tretia metóda – plynová chromatografia s hmotnostnou spektrometriou. Výsledky dokazujú vhodnosť ELISA metódy pre stanovenie vybraných pesticídov aj vo veľmi znečistených vodách, keď multireziduálna HPLC technika sa stáva málo dôveryhodnou. V takýchto prípadoch na konfirmáciu pozitívnych nálezov pesticídov z ELISA analýzy treba použiť inú inštrumentálnu metódu.

Tab. 8 Výsledky stanovenia mikrocystínov v jazerách
Tab. 8 Results of the analysis of microcystins in lakes

Lokalita	HPLC výsledky [µg.l^{-1}]				ELISA [µg.l^{-1}]
	MC-LR	MC-RR	MC-YR	suma MC	
Jazero Tomky	0,12	0,15	ND	0,27	0,32
Liptovská Mara	0,18	0,03	0,11	0,32	0,37
Železná studnička	0,32	0,45	0,09	0,86	0,85
Kuchajda	0,13	0,08	ND	0,21	0,17

Validácia ELISA metódy pre stanovenie atrazínu a mikrocystínov

Validácia ELISA metódy bola vykonaná súčasne s validáciou HPLC metódy pre stanovenie atrazínu a mikrocystínov v rôznych typoch vôd. Ako cieľový analyt validácie, zo študovaných pesticídov bol vybraný atrazín kvôli jeho intenzívnemu používaniu v poľnohospodárstve a mikrocystíny ako hlavné metabolity siníc. Základom porovnávania a validácie metód bola limitná koncentrácia pesticídov pre pitné vody 0,1 µg.l^{-1} a limitná koncentrácia toxínov pre pitné vody 1,0 µg.l^{-1}. [14, 15]

Tab. 9 Požiadavky pracovných charakteristík - atrazín
Tab. 9 Requirements for methods- atrazine

Pracové charakteristiky		Požiadavky
Limit detekcie	**LOD**	0,025 μg.l^{-1}
Zhodnosť	**PRE**	0,0125 μg.l^{-1}
Presnosť	**ACC**	70 – 130 %
Správnosť	**TRU**	± 0,025 μg.l^{-1}
Rozsah	**RAN**	0,03 – 0,15 μg.l^{-1}
Linearita	**LIN**	v celom rozsahu

Tab. 10 Požiadavky pracovných charakteristík - mikrocystíny
Tab. 10 Requirements for methods- microcystins

Pracové charakteristiky		Požiadavky
Limit detekcie	**LOD**	0,25 μg.l^{-1}
Zhodnosť	**PRE**	0,13 μg.l^{-1}
Presnosť	**ACC**	65 - 135 %
Správnosť	**TRU**	± 0,25 μg.l^{-1}
Rozsah	**RAN**	0,1 – 2,5 μg.l^{-1}
Linearita	**LIN**	v celom rozsahu

Validačný proces bol uskutočnený na syntetických a prírodných vzorkách. Ako prírodná vzorka bola použitá povrchová voda z Dunaja, a pitná voda odobratá v laboratóriu. Na prípravu syntetických vzoriek bola použitá Milli-Q voda. Ďalšie syntetické vzorky boli pripravené obohatením pitnej a povrchovej vody štandardným roztokom analytov. Limit detekcie bol určený ako trojnásobok smerodajnej odchýlky z desiatich meraní vzorky s najnižšou koncentráciou analytu. Presnosť a správnosť boli hodnotené pomocou výťažnosti z obohatenia. Na kvantifikáciu zhodnosti boli použité hodnoty štandardných odchýliek vypočítané vo vnútri série.

Tab. 11 Výsledky validácie pre pitnú vodu - atrazín
Tab. 11 Result of validation for drinking water - atrazine

metóda	LOD [μg.l^{-1}]	PRE [μg.l^{-1}]	ACC [%]	TRU [μg.l^{-1}]	RAN [μg.l^{-1}]	LIN
HPLC	0,009	0,002	95 - 102	0,004	0,01 – 0,5	RAN
ELISA	0,025	0,004	93 - 105	0,005	0,03 – 1,0	RAN

Tab. 12 Výsledky validácie pre povrchovú vodu - atrazín
Tab. 12 Result of validation for surface water - atrazine

metóda	LOD [μg.l^{-1}]	PRE [μg.l^{-1}]	ACC [%]	TRU [μg.l^{-1}]	RAN [μg.l^{-1}]	LIN
HPLC	0,012	0,009	87 - 112	0,005	0,01 – 0,5	RAN
ELISA	0,026	0,013	92 - 121	0,0015	0,03 – 1,0	RAN

Tab. 13 Výsledky validácie pre pitnú vodu – mikrocystíny- HPLC
Tab. 13 Result of validation for drinking water – microcystins- HPLC

HPLC metóda						
analyt	**LOD [μg.l^{-1}]**	**PRE [μg.l^{-1}]**	**ACC [%]**	**TRU [μg.l^{-1}]**	**RAN [μg.l^{-1}]**	**LIN**
MC-LR	0,05	0,04	78 - 98	0,01	0,34 – 2,5	RAN
MC-RR	0,09	0,13	88 - 133	0,21	0,80 – 2,5	RAN
MC-YR	0,11	0,03	70 - 94	0,04	0,70 – 2,5	RAN

Tab. 14 Výsledky validácie pitnú vodu – mikrocystíny- ELISA
Tab. 14 Result of validation for drinking water – microcystins- ELISA

	ELISA metóda					
analyt	**LOD [µg.l^{-1}]**	**PRE [µg.l^{-1}]**	**ACC [%]**	**TRU [µg.l^{-1}]**	**RAN [µg.l^{-1}]**	**LIN**
MC-LR	0,07	0,03	95 - 102	0,025	0,12 – 2,0	RAN
MC-RR	0,10	0,07	92 - 120	0,055	0,15 – 2,0	RAN
MC-YR	0,08	0,05	93 - 105	0,043	0,18 – 2,0	RAN

Metódy poskytujú správne a presné výsledky v pracovnom rozsahu a sú použiteľné na kvalitatívne a kvantitatívne stanovenie atrazínu a mikrocystínov v pitných a povrchových vodách.

ZÁVER

Pre kvantitatívne stanovenie rezíduí týchto cieľových analytov vo vodách boli použité mikrotitračné dostičky EnviroGard s ôsmymi radmi obsahujúcimi 12 jamiek s pevne naviazanými polyklónovými protilátkami. Analýzou štandardných roztokov v zistenej lineárnej oblasti bola zostojená kalibračná krivka. V ďalšej časti sme hodnotili matricový efekt a jeho vplyv na presnosť výsledkov. Významný matricový efekt môžu mať rôzne organické rozpúšťadlá polárneho charakteru. Z tohto dôvodu v ďalších experimentoch bol testovaný vplyv acetonitrilu a metanolu na odozvu ELISA metódy. Výsledom je, že acetonitril významne neruší stanovenie keď je prítomný vo vzorke v množstve 0 – 10% v/v, resp. metanol v množstve 0 – 5%. Významnou charakteristikou protilátok v imunoanalytických technikách sú ich krížové reaktivity, t.j. citlivosť pre rôzne organické látky, ktoré sú štrukturálne podobné cieľovým analytom. Významnú krížovú reaktivitu dosahoval iba prometryn, IC_{50} 0,29 µg.l^{-1}, kým atrazín 0,25 µg.l^{-1}, a pre všetky študované mikrocystíny boli zistené podobné hodnoty IC_{50}. Pre mikrocystínový test to znamená, že výsledky vyjadrujú sumárnu koncentráciu týchto látok, čo je výhodné z pohľadu legislatívy (limit určený pre sumu mikrocystínov). Pre možnosť porovnávania metódy ELISA s klasickou metódou, ktorou v tomto prípade je vysokoúčinná kvapalinová chromatografia (HPLC) boli analyzované vzorky povrchových vôd. Pre exaktnú prezentáciu študovanej ELISA metódy bola uskutočnená jej validácia súbežne s validáciou HPLC metódy. Imunochemické metódy boli vyvinuté ako rýchle, lacné a jednoduché metódy pre environmentálny monitoring, kde majú slúžiť hlavne ako skríningové metódy, na vylúčenie pozitívnych vzoriek, ktoré sa musia potvrdiť inou inštrumentálnou technikou – HPLC (GC). ELISA metóda je založená na špecifickosti biomolekúl. Vyvinuté protilátky sú špeciálne určené pre záujmové analyty.Väzba antigén-protilátka je veľmi silná a zaručuje selektivitu a citlivosť týchto metód.

Literatúra

1. Barceló, D., Hennion, M.-C. (1997): Trace determination of pesticides and their degradation products in water. Elsevier, Amsterdam.

2.Ferenčík, M. (1989): Imunochémia, Bratislava, Alfa.

3. Buc M., Ferenčík M., (1994): Imunogenetika, Bratislava, Alfa-plus,

4. Ferenčík M. (1993): Handbook of immunochemistry, London, Chapman and Hall,

5. Buc M. (1997): Klinická imunológia, Bratislava, Veda

6. Králová B., Fukal L., Rauch P., Ruml T. (2001): Bioanalytické metody,VŠCHT v Praze,

7. Knopp D. (1995): Application of immunological methods for the determination of environmental pollutants in human biomonitoring. A review. Analytica Chimica Acta, Vol. 311, 383 – 392

8. Mallat E., Gauglitz G., Barceló D. (1999): River analyzer for chlorotriazines with a direct optical immunosensor. Environ. Sci. Technol., Vol. 33, 965 – 971

9. Mallat, E., Barzen, C., Klotz, A., Brecht, A., Gauglitz, G., Barceló, D. (1999): River analyzer of chlorotriazines with a direct optical immunosensor. Environ. Sci. Technol., 33, 965-971.

10. Mallat, E., Barzen , C., Abuknesha, R., Gauglitz, G., Barceló, D. (2001): Immunosensors for pesticide determination in natural waters. Trends in analytical chemistry, Vol. 20, No. 3, 124 – 132.

11. Tschmelak J., Proll G., Slobodník J., Barceló D., Kozmenko H., Tóthová L., Krascsenits Z., Gauglitz G.: Automated Water Analyser Computer Supported System (AWACSS) - Part I: Project objectives, basic technology, immunoassay development, software design & networking. Biosensors & Bioelectronics, akceptované pre publikáciu 2004

12. Tschmelak J., Proll G., Slobodník J., Barceló D., Kozmenko H., Tóthová L., Krascsenits Z., Gauglitz G.: Part II. Intelligent, remote-controlled, cost-effective, on-line, water monitoring measurement system Biosensors & Bioelectronics, akceptované pre publikáciu 2004

13. Vestník Ministerstva pôdohospodárstva SR č. 14/2004 , Prehľad prípravkov na ochranu rastlín, mechanizačných prostriedkov na ochranu rastlín, ich výrobcov a držiteľov registrácie – 2004, www.zbierka.sk

14. Vyhláška MZ SR č.151/2004 Zb. ZÁK o požiadavkách napitnú vodu a kontrolu kvality pitnej vody, www.zbierka.sk

15. SNAS: Metodická smernica na akreditáciu, Validácia skúšobných metód MSA – L/06, Bratislava, Jún 2002

Autori

Zoltán Krascsenits
Výskumný ústav vodného hospodárstva, Národné referenčné laboratórium pre oblasť vôd na Slovensku, Nábr. L. Svoboduc 5, 812 49 Bratislava, tel.: 02/ 59 343 447, e-mail: krascsenits@vuvh.sk
Mikuláš Bartal
Výskumný ústav vodného hospodárstva, Národné referenčné laboratórium pre oblasť vôd na Slovensku, Nábr. L. Svoboduc 5, 812 49 Bratislava, tel.: 02/ 59 343 467, e-mail: baxtalmi@stonline.sk

ÚPRAVA ODTOKOVÝCH POMEROV V POVODÍ KABÁTOVSKÉHO POTOKA – VÝSTAVBA POLDROV DRÁBSKO A LÚČKY

Andrej Lipták, Alžbeta Patakyová

Príspevok hodnotí význam výstavby poldrov z hľadiska opakujúcich sa povodňových situácií v lokalite Brezno, ktoré boli spôsobené búrkovou činnosťou. Veľké povodne sa vyskytli v rokoch 1994, 1999 a 2002. Posledné spôsobili niekoľko miliónové škody. Prietokové kapacity Kabátovského potoka a jeho prítokov boli stálym nebezpečenstvom pre dotknutú mestskú časť Mazorníkovo. Povodne nastávajú po búrkových zrážkach v povodí, ktoré prichádzajú neočakávane a majú veľmi rýchly priebeh. V poslednom období je pozorovaný nárast intenzity aj frekvencie výskytu. Najefektívnejším spôsobom ochrany pred povodňami bolo vybudovanie suchých poldrov. Znížia kulminačné prietoky 100-ročnej povodne na Kabátovskom potoku v meste z 33,0 $m^3.s^{-1}$ na 20,0 $m^3.s^{-1}$. Výstavba obidvoch poldrov - Drábsko a Lúčky - bola realizovaná v rokoch 2003 až 2004. Finančné prostriedky boli poskytnuté z finančnej pomoci Švajčiarskej konfederácie. Z hľadiska ochrany územia malo vybudovanie poldrov pozitívny účinok na životné prostredie mesta.

Kľúčové slová: 1. protipovodňové opatrenie, 2. povodeň, 3. polder, 4. Drábsko, 5. Lúčky, 6. Brezno

Arrangement of discharge conditions in the basin of Kabátovsky creek – Drábsko and Lúčky polder construction. *The paper assesses importance of the polder construction from the point of view repeated flood situations caused by storms in Brezno locality. Huge floods were recorded in the years 1994, 1996 and 2002. The last ones caused damages about millions Slovak crowns. Insufficient discharge capacities of Kabátovský creek and its tributaries was permanent dangerous for suburb Mazorníkovo.Floods following storms in the basin area came unpredictable and have a quick progress. In the last period is observed an increase its intensity and frequency.The most effective way of flood protection has been designed construction of polders. Those decrease peak flow of Q_{100} discharge of Kabátovský creek in the urban area from 33, 0 $m^3.s^{-1}$ to 20, 0 $m^3.s^{-1}$.Construction of both polders – Drábsko and Lúčky – was realized in the years 2003 and 2004. Financial sources were provided from financial support of Switzerland.In term of area protection a polders construction has positive influence on city environment.*

Key words: 1. flood protection measure, 2. flood, 3. polder, 4. Drábsko, 5. Lúčky, 6. Brezno

---

DEFINÍCIA POLDROV

Polder je podľa Pracovnej verzie 3 - Smernica pre navrhovanie poldrov VÚVH (Čomaj, 2004) definovaný ako jednoúčelový vodohospodársky objekt, ktorý slúži na redukovanie povodňových prietokov na prijateľnú hodnotu pomocou krátkodobého zadržania časti objemu z vrcholu povodňovej vlny vo vyhradenom zátopovom území.
V zákone č. 666/2004 Z.z. sa v § 6 odst. 16 **Suchá nádrž** (ďalej len „**polder**“) definuje ako vymedzený priestor určený na zaplavenie vodou pre potreby transformácie povodňovej vlny.
Podľa nemeckej normy DIN 19 700 sú **poldre** objekty, ktoré slúžia na dočasné zadržanie povodňových prietokov v retenčných priestoroch s cieľom obmedziť možnosti vzniku škôd v úseku toku pod nimi, prípadne na vytvorenie oblastí bez ohrozenia povodňami. Sú to umelo vytvorené retenčné priestory, a tak ich možno zaradiť medzi prvky úprav tokov a aj krajiny. Na rozdiel od viacúčelových vodohospodárskych nádrží, ktoré zvyčajne majú aj protipovodňovú funkciu, sú poldre jednoúčelovými dielami. Ich základnou funkciou je vytvárať stály pohotovostný retenčný priestor. Pre ich prevádzku je charakteristické, že po každom naplnení nastáva rýchle vyprázdňovanie retenčného priestoru nádrže, samozrejme s ohľadom na povodňovú situáciu na území pod ňou.

CHARAKTERISTIKA DOTKNUTÉHO ÚZEMIA

Stavby sa nachádzajú v meste Brezno, miestna časť Mazorníkovo, okres Brezno, Banskobystrický kraj. Polder Lúčky sa nachádza na sútoku potoka Lúčky a potoka Chamarová, ktorý je prítokom Kabátovského potoka v čiastkovom povodí Hrona. Polder Drábsko sa nachádza na potoku Drábsko, ktorý je prítokom Kabátovského potoka v čiastkovom povodí Hrona, číslo hydrologického poradia: 4-23-01-078.
Poder Lúčky sa nachádza asi 130 m nad mestskou zástavbou v doline potoka Lúčky a Chamarová. Územie, ktorého sa výstavba poldra Lúčky dotýka, je poľnohospodárskou pôdou, evidovanou ako trvalý trávny porast. Popri potokoch sú brehové porasty, zväčša vŕby.
Stavba poldra Drábsko sa nachádza v blízkosti mestskej zástavby, 150 m nad sútokom Drábska s potokom Chamarová. Po ľavej strane je areál Mliekární, pod ním je areál stavebnej firmy. Zdrž sa vytvorí v doline potoka Drábsko.
Územie spadajúce pod výstavbu poldra Drábsko bolo evidované ako poľnohospodárska pôda, lúčny porast. Väčšia časť bola nevyužívaná, neobhospodarovaná, zamokrená, zarastená kríkovým a stromovým porastom. Menšia časť dotknutého územia boli lúky, na okraji zátopovej čiary sa nachádza orná pôda. Po výstavbe sa zachoval ráz krajiny, dočasne zabraté pozemky určené pre manipuláciu s mechanizmami a zemníky boli zrekultivované do pôvodného stavu..
Korytá obidvoch tokov boli málo vyvinuté. Potok Chamarová bol umelo napriamený, potok Lúčky bol prírodný, veľmi kľukatý. Pri každej väčšej povodni voda vybrežovala a zaplavovala priľahlé územie, ale len na malej šírke.
Uvedené toky sú upravované len miestne a v niektorých miestach nie na dostatočnú kapacitu pre prevedenie veľkých povodňových prietokov. V rozhodujúcej miere je prietoková kapacita koryta ovplyvňovaná premosťujúcimi objektami.
V intraviláne mesta z nachádzajúcich sa 15 objektov na požadovanú kapacitu vyhovujú len 4 mosty. Ostatné majú kapacitu len 30 až 60 %, a jeden z nich prevedie len 17% z návrhového prietoku. Spôsobujú tým zavzdutie vody pred mostom, zhoršené aj tým, že tieto malé otvory sa počas povodní upchávajú plávajúcimi predmetmi, čím sa ešte viac zmenší ich aj tak nedostatočná kapacita.

HLAVNÉ PARAMETRE

Ovládanie poldrov je neregulované. Nádrž poldrov sa plní len pri väčších povodniach. Frekvenciu výskytu povodne, ktorá aspoň z polovice zaplaví ich priestor možno odhadovať na 1x za 10 až 20 rokov. Pri 100 ročnej povodni sa nádržný priestor zaplaví a vyprázdni v priebehu 5-8 hodín.
Územie suchej nádrže môže byť normálne hospodársky využívané ako trvalý trávny porast, nie s väčším nebezpečím povodňových škôd, ako u bežných nivných lúk v blízkosti tokov.
Obsluha musí zabezpečovať funkčnú spoľahlivosť poldra, kontrolovať a udržiavať prietočnosť výpustného objektu čistením vtoku a hrablíc od nánosov.
Stavba sa realizovala na voľnom území, v blízkosti mesta. Plochy boli voľné, jedinú prekážku tvorilo elektrické vedenie, ktorého preložka bola vyvolanou investíciou.

Tab. 1 Parametre hlavných objektov pre polder Lúčky a polder Drábsko

Tab. 1 Parameters of the main structural objects for polder Lúčky and polder Drábsko

Parametre hlavných objektov	Polder Lúčky	Polder Drábsko
Max. prevádzková hladina	523,85 m n.m.	510,50 m n.m.
Max. retenčná hladina	524,51 m n.m.	511,20 m n.m.
Koruna priehradnej hrádze	524,75 m n.m.	511,40 m n.m.
Dno nádrže	517,50 m n.m.	505,50 m n.m.
Max. objem nádrže	69 000 m^3	46 000 m^3
Max. zatopená plocha	28 030 m^3	19 250 m^3
Max. kapacita bezpečnostného prietoku	23,90 m^3s^{-1}	23,90 m^3s^{-1}
Kapacita priepadu	Pri hladine 524,51 – 15 m^3s^{-1} Po úroveň koruny – 23,90 m^3s^{-1}	Pri hladine 511,20 – 16,40 m^3s^{-1} Po úroveň koruny – 23,90 m^3s^{-1}
Šírka koruny hrádze	3,50 m	3,50 m
sklony svahov	1:2	1:2
dĺžka hrádze	181,15 m	120,73 m

ZÁBERY POZEMKOV

Polder Drábsko
Zábery poľnohospodárskej pôdy:
Celkový trvalý záber: 7 093 m^2
Celkový dočasný záber: 7 115 m^2
Zábery nepoľnohospodárskej pôdy:
Celkový trvalý záber: 396 m^2
Celkový dočasný záber: 288 m^2

Polder Lúčky
Zábery poľnohospodárskej pôdy:
Celkový trvalý záber: 5 186 m^2
Celkový dočasný záber: 9 637 m^2
Zábery nepoľnohospodárskej pôdy:
Výstavba sa nedotýka nepoľnohospodárskej pôdy

EKONOMICKÉ ZDÔVODNENIE STAVBY

Účelom stavby je ochrana územia mesta pred povodňami. Túto ochranu môže zabezpečiť len celý komplex dvoch poldrov Drábsko – Lúčky a ďalšie úpravy na toku.
V takomto ponímaní bol hodnotený ekonomický účinok spomínaných investícií. Keď sa berú do úvahy spoločenské straty z povodňových škôd a zásahov pri nich, vychádza variant s poldrami lacnejší asi o 47% v priamych nákladoch, oproti variantu s úpravami a premostení na ten istý stupeň ochrany územia. Ešte výraznejší ekonomický efekt možno vyvodiť oproti variantu, kedy by sa v území nerobili ochranné opatrenia, len by sa platili príslušné poistenia a sanovali škody po povodniach.
Do mimoekonomických efektov investície nebolo započítané zníženie nepriaznivých vplyvov na životné prostredie mesta, spoločensko-morálny efekt spočívajúci v pocite istoty ochrany života a majetku pred povodňami. Prostredie chránené pred povodňami nadobúda na hodnote a stáva sa atraktívnym pre všestranný rozvoj a zveľadenie životného prostredia. Tieto aspekty sú zvýraznené aj blízkosťou k centrálnej časti mesta. Investícia do výstavby poldrov bola zo študovaných variantov na ochranu mesta pred povodňami, najefektívnejšou.

Územie poldrov je prístupné na krátkom úseku existujúcou mestskou a miestnou komunikáciou. V dotknutom území sa nenachádzali osobitne chránené prírodné spoločenstvá, ani stavebno – kultúrne pamiatky. Doterajší ráz prírodného prostredia sa zachoval, nenarušil ho svojou funkciou ani polder.

Tab. 2 Objekty stavieb pre polder Lúčky a polder Drábsko

Tab. 2 Structural objects for polder Lúčky and Drábsko

Polder Lúčky	Polder Drábsko
SO.01 Priehradná hrádza (objekt zemnej hrádze, bezpečnostný priepad na korune hrádze)	**SO.01 Priehradná hrádza** (objekt zemnej hrádze, bezpečnostný priepad na korune hrádze, zariadenie na pozorovanie a meranie pohybov hrádze, pravého zosuvného svahu a výtoku z drénov)
SO.02 Výpustný objekt a úprava koryta (betónový výpustný objekt, krátke úpravy koryta nad a pod hrádzou)	**SO.02 Ochranná hrádza** (ochranná hrádza popri Mliekárni, spevnená koruna pre poľnú cestu, v hrádzi sa nachádza výpust vnútorných vôd)
SO.03 Úpravy v nádrži (úpravy zemníka, úprava obvodu staveniska, náhradná výstavba zelene)	**SO.03 Výpustný objekt a úprava koryta** (betónový výpustný objekt, krátke úpravy koryta nad a pod hrádzou)
SO.06 Preložka elektrických vedení (vybudovanie nového vedenia 0,4 kV, likvidácia starého vedenia)	**SO.04 Úprava koryta na konci vzdutia** (preložka koryta a priepust popod poľnú cestu)
	SO.05 Úpravy v nádrži (sanácia zosuvného svahu v mieste zaviazania hrádze, úpravy zemníkov, úprava obvodu staveniska, náhradná výsadba zelene)
	SO.06 Preložka elektrických vedení (vybudovanie nového vedenia, novej prípojky k Mliekárni, likvidácia starého vedenia)

Tab. 3 Použité materiály pre polder Lúčky a polder Drábsko

Tab. 3 Applied materials for polder Lúčky and polder Drábsko

Typ zabudovaného materiálu s rozdelením po objektoch	**Polder Lúčky**		**Polder Drábsko**					**Spolu**
	SO.01	SO.02	SO.01	SO.02	SO.03	SO.04	SO.05	
Kamen. rozprestierka, nahádzka (m^3)	**413,0**	154,0	200,0	-	83,0	251,0	-	1 101,0
DK koše (m^3)	**95,0**	78,0	75,6	132,0	50,0	-	-	430,6
Štrk (m^3)	**25,0**	18,0	25,0	175,0	16,0	36,0	148,0	443,0
Železob. (m^3)	**43,0**	164,0	43,0	-	156,0	22,0	-	428,0
Násyp hrádzí (m^3) (hlinité zeminy)	10 500		9 000					19 500
Celkové náklady stavby (Sk)	**10 556 tis.**		**14 760 tis.**					**25 316 tis.**

POSTUP STAVEBNÝCH PRÁC:

Termín prípravy: 01/2003 – 11/2003
Termín realizácie: 11/2003 – 12/2004

Odovzdanie staveniska pre polder Lúčky sa konalo dňa 3.11.2003. Následne sa vykonal výrub drevín a skrývka ornice.

Práce na stavbe pokračovali v apríli 2004. Bol vybudovaný výpustný objekt svetlej šírky 1,0m a výšky 1,55m s použitím prostého betónu vodostavebného V4 B20 a betonárskej ocele. Na vtoku sú osadené šikmé hrablice, na výtoku je vývar spoločný aj pre sklz. Zrealizovala sa korytová úprava s použitím lomového kameňa s hmotnosťou do 200kg. Stredoslovenská energetika, a.s. Žilina vykonala v mesiaci 8/2004 preložku elektrického NN vedenia. Priehradná hrádza sa vybudovala s použitím zeminy z miestnych zdrojov. Jej maximálna výška je 7,8m, sklon svahov 1 : 2 a šírka koruny 3,5m. Návodný svah je opevnený štrkovou rozprestierkou a zahumusovaný. Na telese priehradnej hrádze bol zrealizovaný bezpečnostný prepad z betónového bloku, od ktorého bude v prípade naplnenia poldra odvádzaná voda do vývaru cez sklz. Sklz je z drôtokamenných matracov s rozmermi 1,0 x 2,0 x 0,3m uložených na geotextilnom filtri a z drôtokamenných košov 1,0 x 1,0 x 1,5m. Šírka sklzu je z 12m zúžená pri ústí do vývaru na 8m. Záverečné práce spočívali v dobudovaní prístupových ciest z lomového kameňa a terénnych úpravách. Dočasne zabraté poľnohospodárske pozemky boli rekultivované a 3.12.2004 odovzdané vlastníkom do užívania. Kapacita poldra je 69 000m^3. Preberacie konanie stavby sa konalo 13.12. 2004.

Odovzdanie staveniska pre polder Drábsko sa konalo dňa 3.11. 2003. Následne sa vykonal výrub drevín a zahájili práce na budovaní korytovej úpravy na konci vzdutia s použitím lomového kameňa s hmotnosťou do 200kg. Do konca roka 2003 sa vybudoval v mieste križovania úpravy toku a poľnej cesty priepust z rúr TZR DN 1000mm.
Práce na stavbe pokračovali v apríli 2004. Vykonala sa skrývka ornice a v mieste pravostranného zaviazania priehradnej hrádze boli zhotovené odvodňovacie drény z PVC rúr, štrkového obsypu a geotextílie. Bol vybudovaný výpustný objekt svetlej šírky 1,40m a výšky 1,55m s použitím prostého betónu vodostavebného V4 B20 a betonárskej ocele. Na vtoku sú osadené šikmé hrablice, na výtoku je vývar spoločný aj pre sklz. Korytová úprava pred a za výpustným objektom bola realizovaná s použitím lomového kameňa s hmotnosťou do 200kg. V rámci ochrannej hrádze sa v predstihu zrealizoval oporný múr z drôtokamenných košov s rozmermi 1,0 x 1,0 x 1,5m. Následne sa v jesenných mesiacoch 2004 vybudovala priehradná a ochranná hrádza s použitím zeminy z miestnych zdrojov. Maximálna výška priehradnej hrádze je 6,6m, sklon svahov je 1 : 2 a šírka koruny 3,5m. Návodný svah je opevnený štrkovou rozprestierkou a zahumusovaný. Ochranná hrádza má dĺžku 180m. Jeden úsek tvorí oporný múr z drôtokamenných matracov, ktorý je dosypaný zemným násypom so sklonom svahu 1:1,75. Druhý úsek tvorí zemná hrádza lichobežníkovho tvaru so šírkou koruny 3,0m. Stredoslovenská energetika, a.s. Žilina vykonala v septembri 2004 preložku elektrického VN vedenia. Na telese priehradnej hrádze bol zrealizovaný bezpečnostný prepad z betónového bloku, od ktorého bude v prípade naplnenia poldra odvádzaná voda do vývaru cez sklz. Sklz je z drôtokamenných matracov s rozmermi 1,0 x 2,0 x 0,3m uložených na geotextilnom filtri a z drôtokamenných košov 1,0 x 1,0 x 1,5m. Šírka sklzu je z 12m zúžená pri ústí do vývaru na 8m. Záverečné práce spočívali v dobudovaní prístupových ciest a rámp z lomového kameňa a terénnych úpravách. Dočasne zabraté poľnohospodárske pozemky boli zrekultivované a 3.12.2004 odovzdané vlastníkom do užívania. Kapacita poldra je 46 000m^3. Preberacie konanie stavby sa konalo 13.12. 2004.



Obr.1 Polder Drábsko a polder Lúčky

Fig. 1 Polder Drábsko and Lúčky

ZÁVER

Výstavba nezasiahla, okrem dočasne zabratých pozemkov, rušivo do prevádzky a obhospodarovania okolitého územia. Podstatná časť stavebnej činnosti: násyp hrádze, úpravy koryta, sa vykonal na samotnom stavenisku s miestnym materiálom, takže táto činnosť nezaťažila prístupové cesty.
Plocha nádrže sa môže využívať doterajším spôsobom. Ani činnosť prevádzkovateľa nádrže nebude mať vplyv na okolie.

Priestor nádrže nebude môcť byť využívaný na výstavbu nových objektov a zariadení ovplyvňujúcich funkciu poldra. Jeho územie bude mať zvýšené nebezpečenstvo výskytu záplav, oproti terajšiemu stavu. Z tohto dôvodu nebolo by vhodné meniť lúčny porast na ornú pôdu.

Na území poldra Drábsko je podstatná časť plochy nádrže nevyužívaná, zanedbaná pôda, porastená kríkmi, menšia časť je lúčna plocha. Obdobne, ako u predošlej nádrži jej prevádzkou nedôjde ku škodám majiteľom pôd, ale do zátopy sa nemôže umiestňovať zástavba.

Celkovo možno hodnotiť, že študovaným zámerom sa dosiahne veľmi významná ochrana životného prostredia mesta a prírodné prostredie v mieste výstavby poldrov neutrpí.

Literatúra:

Čomaj M. (2004): Smernica pre navrhovanie poldrov, Pracovná verzia 3, VÚVH Bratislava

Prof. Ing. J. Szolgay a kolektív (2004), Progresívne metódy riešenia problémov vodného hospodárstva, Učebné texty postgraduálneho kurzu, Vybrané problémy navrhovania poldrov v protipovodňovej ochrane, STU SvF Bratislava, Katedra hydrotechniky Bratislava

Zákon č. 666/2004 Z.z. o ochrane pred povodňami (2004)

LDC Zvolen (2003) Brezno, úprava odtokových pomerov Kabátovského potoka polder Lúčky, Projektová dokumentácia

LDC Zvolen (2003) Brezno, úprava odtokových pomerov Kabátovského potoka polder Drábsko, Projektová dokumentácia

LDC Zvolen (2003) Brezno, úprava odtokových pomerov Kabátovského potoka, Zámer na výstavbu pre posúdenie vplyvu stavby na životné prostredie

Autori: Ing. Andrej Lipták, Ing. Alžbeta Patakyová

Ing. Andrej Lipták, andrej.liptak@svp.sk, Ing. Alžbeta Patakyová, alzbeta.patakyova@svp.sk, Partizánska cesta 69, 974 98 Banská Bystrica

GAMASPEKTROMETRICKÉ STANOVENIE ^{228}Ra VO VODÁCH

Jana Merešová

Obsah rádionuklidu ^{228}Ra nebol na Slovensku v pitnej vode systematicky sledovaný, nakoľko bol dlhší čas považovaný za málo významný z hľadiska rádiotoxicity. Medzinárodná komisia pre rádiologickú ochranu (ICRP) prehodnotila v roku 1966 dávky obyvateľstvu z príjmu ingesciou a inhaláciou a z tohto hodnotenia vyplynula mimo iného tiež zvýšená rádiotoxicita spomínaného rádionuklidu. ^{228}Ra patrí do skupiny najtoxickejších rádionuklidov a jeho najvyššia prípustná hodnota (0,3 Bq.l^{-1}) vo vyhláške MZ SR č.12/2001 Z.z. v pitnej vode je o polovicu nižšia ako pri ^{226}Ra (0,6 Bq.l^{-1}).

Rádionuklid ^{228}Ra je členom tóriového premenového radu a prvým dcérskym produktom premeny ^{232}Th. Je to čistý beta žiarič. Možno ho stanovovať rôznymi metódami. Najčastejšie sa na jeho detekciu po ustálení rádioaktívnej rovnováhy (~ 60 hodín) využíva dcérsky rádionuklid ^{228}Ac, ktorý emituje elektróny a celý rad fotónov s rôznymi energiami. Takéto nepriame meranie aktivity ^{228}Ra je použité aj v gamaspektrometrickej metóde, ktorou sa zaoberá táto práca.

Veľkou výhodou gamaspektrometrickej analýzy je možnosť súčasnej identifikácie niekoľkých rádioizotopov emitujúcich gama žiarenie bez ich separácie zo vzorky. Je to jedna z najcitlivejších a najpresnejších metód stanovovania rádioaktivity. Vzhľadom na nízke koncentrácie rádia vo vodách je však potrebné zakoncentrovanie. Ja som zvolila zakoncentrovanie odparovaním s pridaním HNO_3, aby som zabránila zrážaniu solí z roztoku a zachytávaniu pevných látok na stenách nádoby.

Objemovú aktivitu ^{228}Ra som stanovila vo vybraných minerálnych a liečivých vodách, ktoré sú bežne dostupné v obchodnej sieti na Slovensku.

Kľúčové slová: ^{228}Ra, ^{228}Ac, rádioaktivita vody, pitná voda, gamaspektrometria

Determination of Radionuclide ^{228}Ra Using Gamaspectrometry. *The content of the radionuclide ^{228}Ra in drinking water was not systematically monitored believed not significant from the radiohygienic point of view. The International Commission on Radiological Protection (ICRP) reappraised in year 1966 the doses for population from ingestion and inhalation and according to this assessment the radiotoxicity of ^{228}Ra increased. The ^{228}Ra belongs to group of the most toxic radionuclides and its highest level (0,3 Bq.l^{-1}) in the regulation of Ministry of Health of Slovak Republic (MZ SR #12/2001) is half as less as for ^{226}Ra (0,6 Bq.l^{-1}).*

Radionuclide ^{228}Ra is the member of thorium decay chain and is the first daughter product of ^{232}Th. It is pure beta emitter. To determine ^{228}Ra are possible several different methods. Often is for its detection used the daughter product ^{228}Ac after stabilisation of equilibrium of radioactivity (~ 60 hours). ^{228}Ac emits several electrons and photons with different energies. That kind of determination is used also in the gamaspectrometric method described in this paper.

The big advantage of gamaspectrometric analysis is the ability to determine several gamma emitting radionuclides together without the separation. It is the one of the most sensitive and the most precise methods to measure radioactivity. Considering very low concentrations of radium in water is the pre-concentration of samples needed. I chose the pre-concentration via evaporation with addition of HNO_3 to prevent precipitation of solid matter.

The volume activity of ^{228}Ra was determined in bottled mineral and healing waters.

Key words: ^{228}Ra, ^{228}Ac, radioactivity of water, drinking water, gamaspectrometry

ÚVOD

V minulosti nebol na Slovensku obsah rádionuklidu ^{228}Ra v pitnej vode systematicky sledovaný, nakoľko bol dlhý čas považovaný za málo významný z hľadiska rádiotoxicity. Medzinárodná komisia pre rádiologickú ochranu (ICRP) prehodnotila v roku 1966 dávky obyvateľstvu z príjmu ingesciou a inhaláciou a z tohto hodnotenia vyplynula mimo iného tiež zvýšená rádiotoxicita izotopu ^{228}Ra (Vlček, 2003). Materiály ICRP boli prevzaté do bezpečnostných štandardov Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu (IAEA) a na Slovensku boli zohľadnené vo vyhláške Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky (MZ SR č.12/2001 Z.z.).

^{228}Ra patrí do skupiny najtoxickejších rádionuklidov a jeho najvyššia prípustná hodnota vo vyhláške MZ SR č.12/2001 v pitnej vode je o polovicu nižšia ako pre ^{226}Ra. Najvyššie prípustné hodnoty obsahu izotopov rádia v pitných vodách sú v tabuľke 1. V doporučení Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO) pre kvalitu pitnej vody z roku 2004 je pre rádionuklid ^{228}Ra uvedená doporučená referenčná úroveň 0,1 Bq.l^{-1} [Guidelines WHO, 2004].

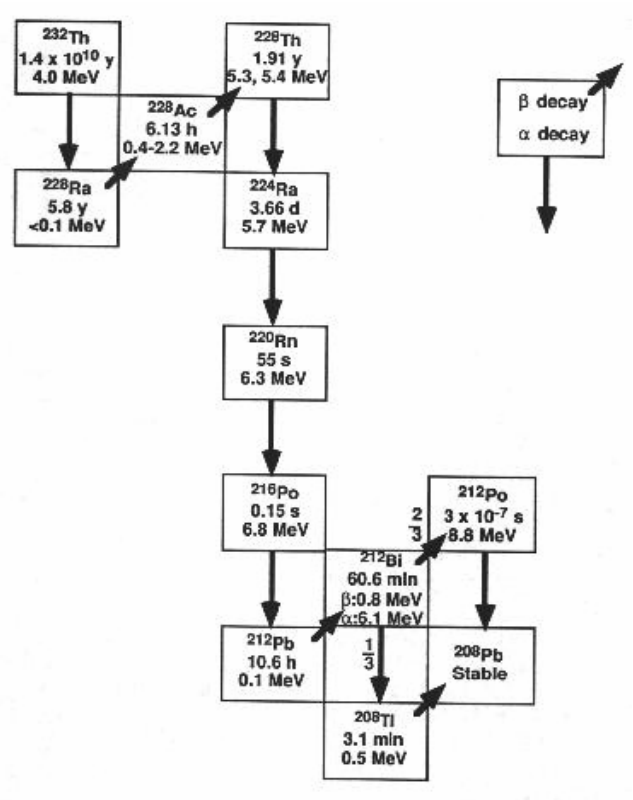
Tab. 1 Najvyššie prípustné hodnoty obsahu izotopov rádia v pitných vodách [MZ SR č.12/2001 Z.z.]

Tab. 1 The highest levels of activity of radium isotopes in drinking water [MZ SR č.12/2001 Z.z.]

Rádionuklid	Objemová aktivita v dojčenskej vode [Bq.l^{-1}]	Objemová aktivita v prírodnej minerálnej stolovej vode a ostatnej stolovej vode [Bq.l^{-1}]	Objemová aktivita v ostatnej balenej pitnej vode a vo vode dodávanej do verejných vodovodov [Bq.l^{-1}]
^{223}Ra	0,2	5,0	1,5
^{224}Ra	0,3	7,5	2,3
^{226}Ra	0,2	1,9	0,6
^{228}Ra	0,1	0,7	0,3

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

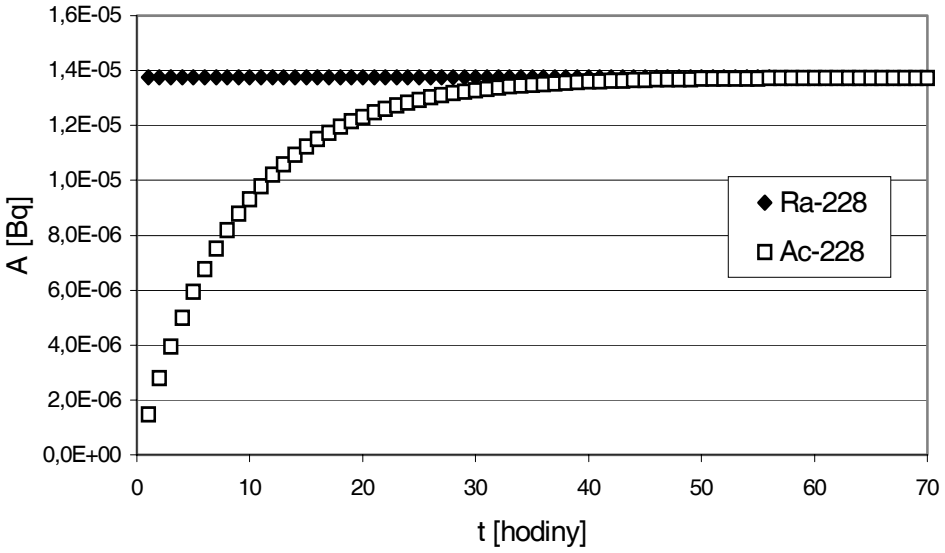
Veľkou výhodou gamaspektrometrickej analýzy je možnosť identifikovať súčasne niekoľko rádioizotopov emitujúcich gama žiarenie bez predchádzajúcej separácie zo vzorky. V súčasnosti je to jedna z najcitlivejších, najpresnejších a najpoužívanejších metód stanovovania rádioaktivity.



Obr. 1 Schéma tóriového premenového radu

Fig. 1 Thorium decay chain

Rádionuklid ^{228}Ra je členom tóriového premenového radu a prvým dcérskym produktom premeny ^{232}Th (Obr. 1). Samotné ^{228}Ra neemituje gama kvantum, ktoré by sa dalo použiť na stanovenie jeho aktivity pomocou gamaspektrometrie. Premieňa sa však beta premenou na ^{228}Ac, a keďže tento izotop emituje celý rad fotónov s rôznymi energiami, možno ho po ustálení rádioaktívnej rovnováhy využiť na nepriame meranie aktivity ^{228}Ra [Hanslík, 1992]. K ustáleniu rádioaktívnej rovnováhy v uzavretom systéme medzi materským ^{228}Ra a dcérskym ^{228}Ac dochádza približne za 60 hodín (Obr. 2). Problém však nastáva pri stanovení detekčnej účinnosti pre gama kvantá od ^{228}Ac, keďže v tomto prípade dochádza v detektore ku koincidenčným sumáciám emitovaných fotónov. Výpočet korekčných faktorov pre sumačný efekt je veľmi náročná úloha. Jednoduchším prístupom je použitie etalónu ^{232}Th respektíve ^{228}Ra na priame určenie potrebnej detekčnej účinnosti v píku úplnej absorpcie. Ja som stanovila detekčnú účinnosť pomocou štandardného roztoku $Th(NO_3)_4.5H_2O$ v Marinelliho nádobe.



Obr. 2 Ustaľovanie rádioaktívnej rovnováhy medzi ^{228}Ra a jeho dcérskym produktom premeny ^{228}Ac

Fig. 2 Reaching of radioactivity equlibrium between ^{228}Ra and its offspring ^{228}Ac

Vzhľadom na relatívne nízke koncentrácie rádionuklidov v prírodných matriciach, ktoré sú oblasťou záujmu, je nevyhnutné skoncentrovanie z veľkých objemov vzorky. Vzorky boli zakoncentrované z objemov 4,9 l až 6,0 l. skoncentrovanie som robila postupným odparovaním, pričom boli vzorky okyslené pridaním HNO_3, aby sa zabránilo zrážaniu solí z roztoku a zachytávaniu pevných látok na stenách nádoby.

Po skoncentrovaní na objem 450 ml sa vzorky preniesli do špeciálnych Marinelliho nádob a hermeticky sa uzatvorili. Po troch dňoch, kedy je už ustálená rádioaktívna rovnováha, sa vzorky zmerali na gamaspektrometri EG&G ORTEC GEM-30195, ktorý je uložený v tieniacom kryte. Doba merania bola približne 200 000 sekúnd. Rovnako bolo ohodnotené aj pozadie.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Najväčším problémom pri riešení tejto úlohy sa ukázal etalón rádioaktivity ^{228}Ra, ktorý nie je bežne dostupný. Napokon sa podarilo získať štandard $Th(NO_3)_4.5H_2O$, z ktorého bol pripravený zásobný roztok. Tento som použila na stanovenie detekčnej účinnosti v píku úplnej absorpcie. Na stanovenie ^{228}Ra som využila dve najintenzívnejšie gama čiary dcérskeho produktu premeny ^{228}Ac: 911,1 keV a 968,9 keV. Pri opísaných podmienkach prípravy a merania vzoriek bol dosiahnutý detekčný limit 0,013 $Bq.l^{-1}$ až 0,011 $Bq.l^{-1}$, v závislosti od objemu vzorky pred zakoncentrovaním.

Objemovú aktivitu ^{228}Ra som stanovila v šiestich vybraných minerálnych a liečivých vodách, ktoré sú bežne dostupné v obchodnej sieti na Slovensku. Stanovené výsledky sú v tabuľke 2. Objemová aktivita ^{228}Ra sa pohybovala od (0,16 ± 0,11) $Bq.l^{-1}$ pre minerálnu vodu Santovka do (0,82 ± 0,28) $Bq.l^{-1}$ v liečivej vode Vincentka. Najvyššia prípustná hodnota obsahu ^{228}Ra (Tab. 1) bola prekročená len v prípade liečivej vody Vincentka.

Neistota stanovenia objemovej aktivity ^{228}Ra sa pohybovala od 34 % až do 135 %. V prípadoch, keď neistota prekračuje 100 %, bude potrebné zvýšiť dobu merania alebo použiť väčší objem vzorky na skoncentrovanie.

Tab. 2 Objemové aktivity ^{228}Ra v balených minerálnych vodách

Tab. 2 Volume activities of ^{228}Ra in bottled mineral waters

Minerálka	Objemová aktivita ^{228}Ra [Bq.l^{-1}]	Neistota stanovenia [%]
Radenska – perlivá	0,38 ± 0,22	58
Radenska – tichá	0,19 ± 0,22	116
Čerínska	0,25 ± 0,22	88
Salvator	0,17 ± 0,23	135
Vincentka	0,82 ± 0,28	34
Santovka	0,16 ± 0,11	69

ZÁVER

Keďže v krátkom období možno očakávať zvýšený záujem o stanovenie objemovej aktivity ^{228}Ra v pitných vodách, ktorý je v súčasnosti v iných európskych štátoch, pokúsila som sa v práci zhodnotiť gamaspektrometrickú metódu na stanovenie tohto rádionuklidu. Ako reálne vzorky som si zvolila minerálne vody, u ktorých sa predpokladali rôzne objemové aktivity ^{228}Ra, vzhľadom na zvýšené hodnoty mineralizácie. Najvyššia prípustná hodnota obsahu ^{228}Ra pre prírodné minerálne stolové vody (0,7 Bq.l^{-1}) bola prekročená len v prípade liečivej vody Vincentka.

Výhodou gamaspektrometrického stanovenia je, že nevyžaduje náročnú predúpravu vzoriek, iba skoncentrovávanie odparením, a dosahuje potrebnú presnosť. Nevýhodou je jednak vysoká cena detekčného systému, ako aj dlhá meracia doba a potreba veľkých objemov vzoriek.

Tejto metóde je potrebné venovať sa aj naďalej a optimalizovať podmienky stanovenia s cieľom zefektívniť stanovenie objemovej aktivity ^{228}Ra vo vode. V blízkej budúcnosti plánujem vyskúšať odparenie vzoriek až dosucha bez použitia kyseliny, čo sa ukazuje ako jednoduchší spôsob úpravy. Ďalším cieľom je premerať väčšie množstvo vzoriek so štandardnými prídavkami, prípadne otestovať ďalšie separačné postupy, ktoré by mohli znížiť potrebný objem analyzovanej vzorky.

Literatúra

Vlček, J. (2003): Význam sledovania a požiadavky na stanovenie objemovej aktivity Ra-228 v pitnej vode, konferencia Radiologické metódy v hydrosféře 2003, Seč-Ústupky

Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č.12/2001 Z.z.

Guidelines for Drinking-water Quality, Third Edition, Volume 1 – Recommendations, World Health Organization, Geneva 2004, internet: http:/www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3/en/

Hanslík, E., Mansfeld, A., Filip, J., Šimonek, P. (1992): Možnosti gamaspektrometrické analýzy při identifikaci zdrojů znečistění radioaktivními látkami, konferencia Hydrochémia ´92, Bratislava

Autor

Jana Merešová, Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nábr. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava, e-mail: j.meresova@pobox.sk

MONITOROVANIE RÁDIOLOGICKÝCH UKAZOVATEĽOV V STUDNIČKÁCH V REKREAČNEJ ZÓNE BRATISLAVY

Františka Minčáková

Predmetom práce bol rádiologický rozbor podzemných vôd, ktoré reprezentujú vody v studničkách v rekreačnej zóne Bratislavy. Okolie Bratislavy je obľúbeným a často vyhľadávaným miestom oddychu mnohých Bratislavčanov pre svoju prístupnosť a atraktivitu prostredia. V horách Malých Karpát je veľké množstvo studničiek, ktoré sú zdrojom osvieženia pre turistov. Geologické podložie Malých Karpát má zvýšenú rádioaktivitu, ktorá sa následne prejavuje zvýšenými hodnotami rádiologických ukazovateľov vo vode. Vytipovali sme sedem často navštevovaných studničiek, ktoré sa vyskytujú pozdĺž riečky Vydrice, tiahnucej sa od Železnej studničky smerom na Biely kríž. Stanovovali sme v nich celkovú objemovú aktivitu alfa, beta a objemovú aktivitu ^{222}Rn.

Kľúčové slová: rádioaktivita, studničky v okolí Bratislavy, rádionuklidy, rybníky

Monitoring of radiology parameters of springs in recreation zone of Bratislava. *The aim of this study was to evaluate the radioactivity of underground water from springs in the recreation area Železná studnička in Bratislava. It is favourite locality of relaxation for many people. There are a lot of springs, which are used by people as source of water to drink.Geological subsoil of the mountains Malé Karpaty has increased radioactivity and it has an influence on the quality of the water. We had chosen seven often attended springs where we analysed the radiochemical indicators. We determined gross alpha, gross beta activity and activity of ^{222}Rn. The measured values of all parameters were lower than are the derived intervention levels in regulation of the Ministry of Health of the Slovak Republic. Only in two springs the activity of ^{222}Rn was exceeded.*

Key words: radioactivity, springs in recreation zone of Bratislava, radionuclides, lakes

---

ÚVOD

Okolie Bratislavy je obľúbeným a často vyhľadávaným miestom oddychu mnohých Bratislavčanov pre svoju prístupnosť a atraktivitu prostredia. V horách Malých Karpát je veľké množstvo studničiek, ktoré sú zdrojom osvieženia pre okoloidúcich turistov.

Geologické podložie Malých Karpát má zvýšenú rádioaktivitu, ktorá sa môže prejaviť zvýšenými hodnotami rádiologických ukazovateľov vo vode. Vytipovali sme sedem často navštevovaných studničiek, ktoré sa vyskytujú pozdĺž riečky Vydrice, tiahnucej sa od Železnej Studničky smerom na Biely Kríž. Miesta odberu sú znázornené na Obr.1.

STANOVENIE RÁDIOLOGICKÝCH UKAZOVATEĽOV ZNEČISTENIA VÔD

Pretože koncentrácie rádionuklidov vo vodách ležia väčšinou pod hranicou citlivosti chemických metód (s výnimkou prírodného uránu), musia sa k vlastnému stanoveniu použiť metódy rádiometrické, založené na detekcii a meraní účinku žiarenia.

Metódy stanovenia rádioaktívneho znečistenia vo vodách je možno rozdeliť na - stanovenie celkového obsahu rádionuklidov, charakterizovaného stanovením *celkovej objemovej aktivity alfa a beta* a stanovením jednotlivých rádionuklidov.

Celková objemová aktivita alfa – je skupinový ukazovateľ možného obsahu rádionuklidov s premenou alfa, stanovený podľa STN 75 7611. Vyjadruje sa súčtom objemových aktivít rádioizotopov uránu ^{234}U, ^{235}U a ^{238}U v ich prírodnej zmesi, ktorý dáva rovnakú odozvu ako meraná vzorka.

Celková objemová aktivita beta – je skupinový ukazovateľ možného obsahu rádionuklidov s premenou beta, stanovený podľa STN 75 7612. Vyjadruje sa súčinom objemovej aktivity izotopu ^{40}K prírodného draslíka a zastúpením jeho premeny beta s emisiou elektrónov (β^-), ktorý poskytuje rovnakú odozvu ako meraná vzorka.

Je potrebné si uvedomiť, že metódy stanovenia celkovej objemovej aktivity alfa a beta zahŕňajú rôzne rádionuklidy s rôznou presnosťou a niektoré rádionuklidy nezachytia vôbec. Z rádionuklidov alfa je to predovšetkým ^{222}Rn a z rádionuklidov beta ^{3}H. Z tohto dôvodu sa objemová aktivita radónu stanovuje zvlášť, inou špeciálnou metódou.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Vzorky vody na stanovenie celkovej objemovej aktivity alfa a beta sme odoberali do 2 l polyetylénových fliaš a nakoľko sme ich ihneď spracovávali, nebolo ich potrebné konzervovať. Vzorky na radón sme odobrali do sklených 250 ml fliaš so zábrusom a tiež sa ihneď spracovali.

Celkovú objemovú aktivitu alfa a beta sme stanovili meraním žiarenia alfa a beta, meranie sa uskutočnilo na nízkopozaďovom alfa – beta automate NRR 610. Stanovenie objemovej aktivity ^{222}Rn sme robili metódou kvapalinovej scintilačnej spektrometrie na prístroji TRICARB 2900TR .

VÝSLEDKY

V Tab.1 sú uvedené priemerné hodnoty z ôsmich odberov, ktoré sme vykonali v priebehu troch rokov. Merali sme aj približný prietok vody v studničkách, ktoré vo väčšine prípadov tvorila rúra, iba studnička Jarošov prameň mala kohútik.

Tab.1 Priemerné hodnoty ukazovateľov v studničkách

Tab.1 Average values of indicators in springs

Názov	prietok približný l.hod^{-1}	celková objemová aktivita alfa Bq.l^{-1}	celková objemová aktivita beta Bq.l^{-1}	objemová aktivita ^{222}Rn Bq.l^{-1}
Vydrica	204	0,220	0,137	15,1
Snežienka	56	0,087	0,088	12,7
Šmahy	129	0,081	0,082	4,8
Druhý Kameňolom	279	0,140	0,076	**99,8**
Mária Forraš	250	0,089	0,055	37,0
Zbojníčka	240	0,065	0,058	**275,5**
Jarošov prameň	kohútik	0,135	0,056	< 1,5

Namerané hodnoty *celkovej objemovej aktivity alfa* sa v studničkách pohybovali v rozmedzí od 0,065 Bq.l^{-1} do 0,220 Bq.l^{-1}. Porovnaním s hodnotou odvodenej zásahovej úrovne podľa vyhlášky MZ SR č. 12/2001 Z.z. pre pitnú vodu (hodnota < 0,2 Bq.l^{-1}) sa ukázalo, že len studnička Vydrica s objemovou aktivitou 0,220 Bq.l^{-1} prekračuje túto hodnotu. Zvýšená hodnota však bola v rámci neistoty merania celkovej objemovej aktivity alfa (0,2 ± 0,08 Bq.l^{-1}).

Hodnoty *celkovej objemovej aktivity beta* sa pohybovali v rozsahu od 0,055 Bq.l^{-1} do 0,137 Bq.l^{-1} a neprevyšovali povolenú odvodenú zásahovú úroveň pre pitnú vodu (< 0,5 Bq.l^{-1}).

Namerané hodnoty *objemovej aktivity radónu ^{222}Rn* boli v rozsahu od hodnoty 0,9 Bq.l^{-1} do 275,5 Bq.l^{-1}. Zaujímavá je najvyššia nameraná hodnota zo studničky Zbojníčka (275,5 Bq.l^{-1}), ktorá vysoko prekračuje hodnotu odvodenej zásahovej úrovne pre pitnú vodu 50 Bq.l^{-1}. Taktiež vzorka vody z Druhého kameňolomu je pomerne vysoká 99,8 Bq.l^{-1}.

Hodnoty celkovej objemovej aktivity alfa ani v jednom prípade nepoukazujú na prítomnosť U(nat) alebo ^{226}Ra vo vode, z ktorých ^{222}Rn vzniká. Z toho vyplýva, že ^{222}Rn sa absorboval vo vode pri prechode horninami. Hodnota ^{222}Rn v studničke Jarošov prameň je pod detekčným limitom a to z dôvodu, že voda sa zbiera v nádrži a odtiaľ sa vypúšťa kohútikom. ^{222}Rn ako plyn unikne.

Odobrali sme aj vzorky vody z rybníkov nachádzajúcich sa pozdĺž riečky Vydrice. Stanovovali sme v nich celkovú objemovú aktivitu alfa a beta. Výsledky sú zhrnuté v tab. 2.

Tab. 2 Rybníky v okolí Bratislavy

Tab.2 Lakes in vicinity of Bratislava

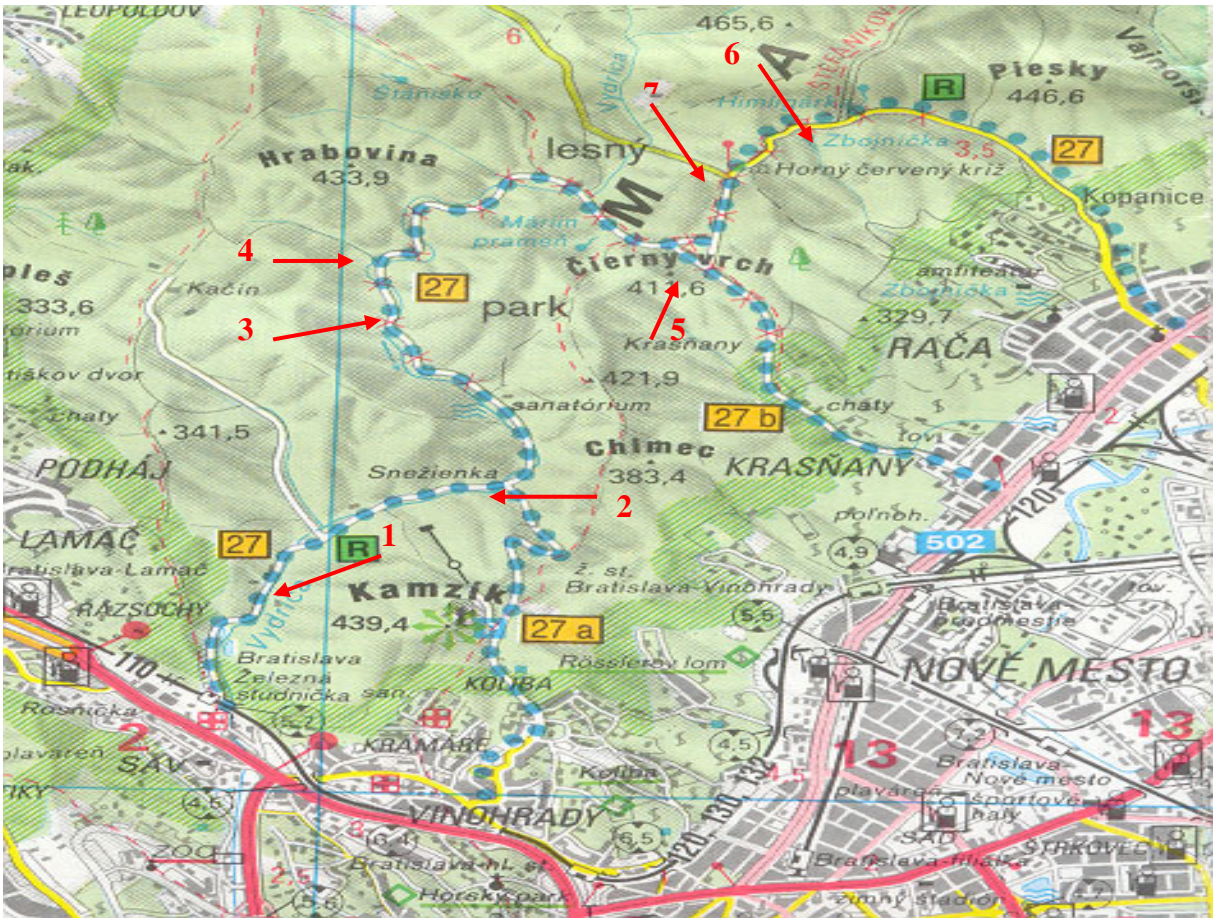
Názov	celková objemová aktivita alfa Bq.l^{-1}	celková objemová aktivita beta Bq.l^{-1}
Klepáč	0,155	0,204
Vydrica II	<0,06	0,216
Vydrica I	0,092	0,231
Potok pod Snežienkou	0,213	0,285
Druhý kameňolom	0,193	0,124

ZÁVER

V tejto práci sme sa zamerali na monitorovanie rádiologických ukazovateľov v podzemných a povrchových vodách.

Stanovovali sme celkovú objemovú aktivitu alfa, beta a objemovú aktivitu ^{222}Rn v studničkách a rybníkoch v rekreačnej zóne Bratislavy a výsledky možno zhrnúť nasledovne;

- vo všetkých sledovaných studničkách, okrem Zbojníčky a Druhého kameňolomu, je voda z rádiologického hľadiska nezávadná,
- v studničke Zbojníčka v dôsledku zvýšenej objemovej aktivity ^{222}Rn, nedoporučujeme vodu na pitie, hlavne pre deti;
- v rybníkoch Železnej studničky nie je zvýšená rádioaktivita.


1
2
3
4
5
6
7
Hrabovina
433,9
lesný
park
Kačín
Krasňany
421,9
sanatórium
Chimec
383,4
KRASŇANY
RAČA
329,7
Piesky
446,6
Kopanice
Horný červený kríž
Zbojnícka
Jarošov prameň
Snežienka
PODHÁJ
341,5
LAMAČ
Kamzík
439,4
RÁZSOCHY
KOLIBA
KRAMÁRE
VINOHRADY
NOVÉ MESTO
Železná studnička
Rössler- Orbán lom
Bratislava-Nové mesto
Bratislava-Vinohrady
Bratislava-Lamač
Bratislava-Petržalka
Bratislava-hl. st.
Horský park
ZOO
SAD
Štrkovec
Zimný štadión
Bratislava-Hlavica
Bratislava-Ružinov
Bratislava-Devínska Nová Ves
Bratislava-Staré Mesto
Bratislava-Rača
Bratislava-Vajnory
Bratislava-Dúbravka
Bratislava-Karlova Ves
Bratislava-Devín
Bratislava-Záhorská Bystrica
Bratislava-Jarovce
Bratislava-Rusovce
Bratislava-Čunovo
Bratislava-Podunajské Biskupice
Bratislava-Vrakuňa
Bratislava-Petržalka
Bratislava-Dúbravka
Bratislava-Karlova Ves
Bratislava-Devín
Bratislava-Záhorská Bystrica
Bratislava-Jarovce
Bratislava-Rusovce
Bratislava-Čunovo
Bratislava-Podunajské Biskupice
Bratislava-Vrakuňa
Bratislava-Ružinov
Bratislava-Staré Mesto
Bratislava-Rača
Bratislava-Vajnory

Literatúra

Minčáková, F., Vršková, M., Belanová, A., Merešová, J., (2004): Zhodnotenie obsahu rádionuklidov v pitných, balených minerálnych, liečivých a podzemných vodách Slovenska, Záverečná správa, VÚVH Bratislava.

Vyhláška MZ SR č.12/2001 Z.z. o požiadavkách na zabezpečenie radiačnej ochrany.

STN 75 7611 Kvalita vody (1988). Stanovenie rádionuklidov. Celková objemová aktivita alfa.

STN 75 7612 Kvalita vody (1988). Stanovenie rádionuklidov. Celková objemová aktivita beta.

Daniel, J., Lučivjanský, L., Sterz, M. (1996) : Geochemický atlas Slovenska. Prírodná rádioaktivita hornín, Bratislava.

TNV 75 7625 Jakost vod. Stanovení radonu 222 kapalinovou scintilační měřicí metódou.

Autor

Františka Minčáková, VÚVH, nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava; mincakova@szm.sk

BILANČNÍ HODNOCENÍ VYBRANÝCH UKAZATELŮ JAKOSTI VODY NA VÝZNAMNÝCH PŘÍTOCÍCH DO NÁDRŽE

Nováková Petra, Procházková Pavla

Jakost vody byla hodnocena na nejvýznamnějších přítocích do vodní nádrže Vranov nad Dyjí – číslo hydrologického pořadí 4-14-02-051. Nádrž se nachází na jižní Moravě severozápadně od Znojma a Vranova nad Dyjí. Hydrologické povodí nádrže je velmi rozsáhlé (celkem 2 211,8 km^2, z toho v ČR 1159,0 km^2) a zasahuje do čtyř okresů – Znojmo, Třebíč, Jihlava, Jindřichův Hradec a tří krajů - Jihomoravského, Jihočeského a Vysočina. Velká část povodí leží v Rakousku (cca 47 %). Nádrž nepatří mezi vodárenské nádrže (není vyjmenovaná ve vyhlášce Ministerstva životního prostředí č. 137/1999 Sb.), avšak je zde zřízen vodárenský odběr a pitnou vodou z tohoto zdroje je zásobováno přibližně 85000 obyvatel. V bezprostřední blízkosti nádrže je silně rozvinuta rekreace a často dochází ke střetům zájmů mezi vodohospodářským a rekreačním využíváním nádrže a jejího okolí.

Vývoj jakosti vody byl sledován na hlavním toku – Dyji a na největším přítoku – na Želetavce. Údaje o koncentracích vybraných ukazatelů charakterizujících jakost vody (CHSK – Cr, dusičnany, dusitany, amonné ionty, fosforečnany,celkový fosfor, mangan, železo, chloridy, pH a koliformní bakterie) a hodnoty průtoků ve sledovaných profilech byly získány od ČHMÚ. Díky údajům o průtocích bylo možné bilančně vyhodnotit jednotlivé ukazatele a získat přehled o skutečném množství daných látek, které se do nádrže těmito přítoky dostávají.

Klíčová slova: jakost vody, vodní nádrž, znečištění vody

Balance evaluation of chosen water quality indicators on important reservoir tributaries. *The water quality was evaluated on the most important tributaries of Vranov nad Dyji water reservoir– hydrology number 4-14-02-051. The reservoir located in South Moravia, northeast of cities Znojmo and Vranov nad Dyji. The hydrology catchment is very extensive (total area 2211,8 km^2,where 1159 km^2 belong to the Czech Republic) and stretch far into four districts – Znojmo, Třebíč, Jihlava, Jindřichův and three regions - Jihomoravského, Jihočeského and Vysočina. The big part of the catchment is situated in Austria (47 %). The basin does not belong to the sources of water supply (it is not on the list in the regulation of the Department of Environment no. 137/1999 Sb.). However, there is the water uptake established and the drinking water from this source supplies 85 000 habitants. There are a lot of recreation objects nearby the basin so there must be solved conflicts between water management and recreation function of the basin and vicinity from time to time.*

The monitoring of water quality was done in the main tributary – Dyje river and in the biggest tributary – Želetavka river. The data of concentration of chosen water quality indicators (COD – Cr, nitrate, nitrite, ammonium ions, phosphates, total phosphorus, manganese, iron, chlorides, pH and numbers of thermotolerant coliform bacteria) and value of flow were getting of the monitoring net of ČHMU (Czech Hydrometeorological Institute). The balance evaluation of individual indicators and the grasp about real number of matters flowing into the reservoir were analysed thanks to the flows data.

Key words: water quality, water reservoir, water pollution

ÚVOD

Ochrana zdrojů pitné vody se stává nejen v České republice, ale téměř v každé zemi všech kontinentů, jednou ze základních otázek udržitelného rozvoje. Kvalitní zdroje vody, které ještě odolávají znečištění nejrůznějšího původu, je nutno chránit nejen pro náš vlastní život, ale zejména pro generace následující. Pro zabezpečení zásobování populace pitnou vodou se využívají odjakživa přednostně podzemní zdroje, stále více je však nahrazují zdroje povrchové a za tímto účelem se zřizují vodárenské nádrže. Na území České republiky existuje řada vodárenských nádrží, povrchová voda je odebírána rovněž z vodních toků nebo i z víceúčelových nádrží. Často potom dochází ke střetům zájmů při využívání nádrže, při manipulaci s vodní hladinou i při způsobu hospodaření nejen v blízkém okolí, ale i v celém povodí nádrže.

Problematika jakosti vody byla řešena pro nádrž Vranov nad Dyjí – číslo hydrologického pořadí 4-14-02-051. Délka vzdutí nádrže je 29,8 km a zatopená plocha při maximální hladině je 7,625 km^2.

Pozemky v povodí (na území ČR) jsou využívány především jako zemědělská půda – 60,2 % a lesní porosty – 31 %, vodní plochy (včetně plochy vlastní nádrže) tvoří 2,5 %, zastavěné plochy 0,9 % a ostatní pozemky 5,4 % (Nováková, 2004). Vodní nádrž byla vybudována ve 30. letech minulého století, avšak vodárensky začala být využívána až od roku 1982. V této době byl zřízen vodárenský odběr a vystavěn skupinový vodovod Vranov – Moravské Budějovice – Dukovany. Odebíraná surová voda musí být upravována v úpravně vody ve Štítarech. Kapacita zdroje povrchové vody i úpravny vody je 240 $l.s^{-1}$, povolený odběr je v současné době pro množství Q = 200 $l.s^{-1}$ dle rozhodnutí vodoprávního úřadu ve Znojmě. Odběrný objekt je umístěn na 179,4. km toku Dyje při levém břehu v Jelení zátoce, 3,9 km od hráze (Novák, 2000).

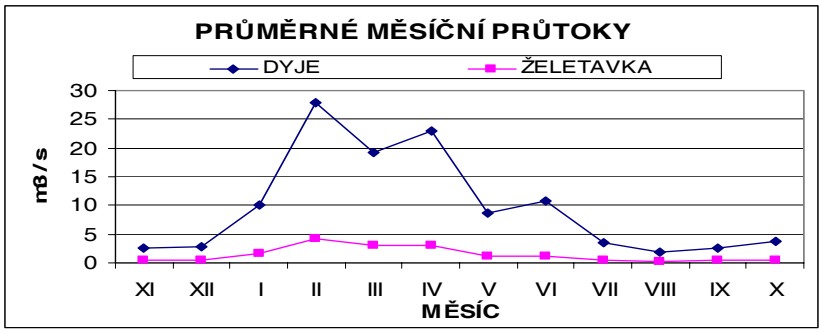
METODIKA

Cílem práce bylo vypočítat údaje o skutečném množství znečišťujících látek, které se dostávají do nádrže z přítoků. Bylo vybráno několik základních ukazatelů jakosti vody (CHSK – Cr, celkový fosfor, fosforečnany, dusičnany, dusitany, amonné ionty, mangan, železo, chloridy, pH a fekální koliformní bakterie).

Vzhledem k tomu, že se nejedná o vodárenskou nádrž, probíhá měření všech základních ukazatelů jakosti vody pouze na hlavním toku – Dyji, avšak na významném přítoku – Želetavce, jsou hodnoceny pouze některé ukazatele (z vybraných ukazatelů nejsou prováděny rozbory fosforečnanů, chloridů, manganu a železa). Na ostatních menších přítocích odběry prováděny nejsou. V daných profilech na Dyji a na Želetavce byly kromě koncentrací vybraných ukazatelů získány také údaje o průměrných měsíčních průtocích za hydrologický rok (listopad 2003 – říjen 2004). Údaje o koncentracích látek a průtocích na Dyji a Želetavce byly získány od ČHMÚ. Z hodnot koncentrací a průtoků byly spočítány hmotnosti jednotlivých látek za příslušné měsíce a dále suma za celý rok. Dále byl graficky vyjádřen vývoj koncentrací daných prvků za sledované období. Plocha povodí Dyje včetně území Rakouska je 1778 km^2 a plocha povodí Želetavky je 374 km^2. Z celkových sum jednotlivých látek za rok a z rozlohy povodí Dyje a Želetavky bylo vypočítáno množství každé látky na 1 km^2 povodí.

VÝSLEDKY

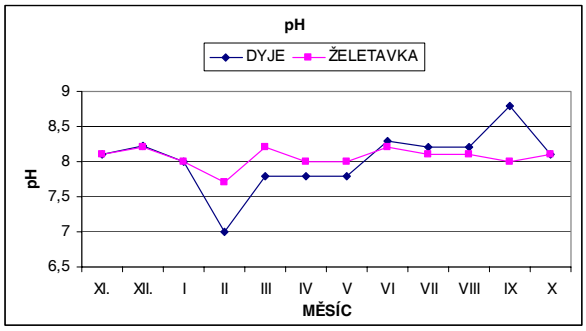
Hodnoty průměrných měsíčních průtoků jsou na hlavním toku přibližně sedmkrát vyšší než na Želetavce (Obr. 1). Průměrný průtok za sledovaný hydrologický rok je na Dyji 9,735 m^3/s a na Želetavce 1,421 m^3/s. Nejvyšší průtoky byly na obou tocích naměřeny v únoru a v dubnu 2004, nejnižší v srpnu 2004.

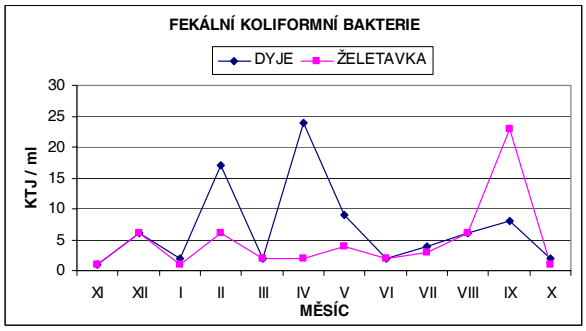


Obr. 1 Průměrné měsíční průtoky na Dyji a Želetavce (listopad 2003 – říjen 2004)

Fig. 1 Average month flow rate for Dyje and Želetavka river (November 2003 – October 2004)

U některých ze sledovaných látek byly velmi často naměřeny vyšší koncentrace na Želetavce než na hlavním toku (obr. 2,3,4,3,5). Jedná se především o celkový fosfor, dusitany, dusičnany a amonné ionty.

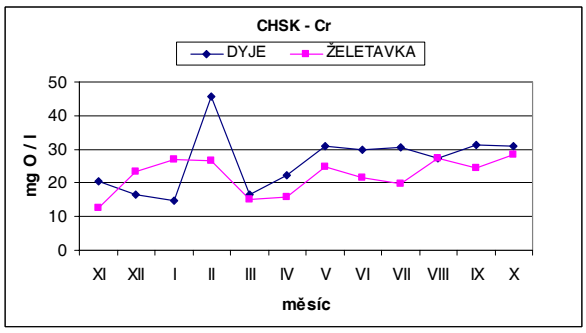


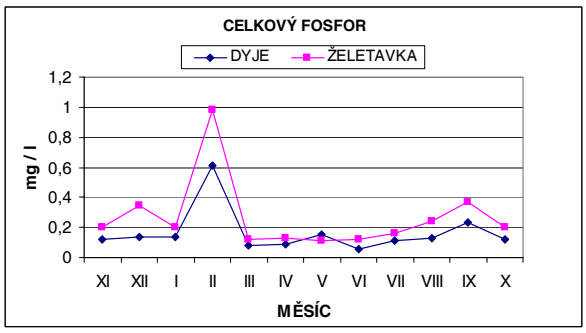


Obr. 2 pH a fekální koliformní bakterie na Dyji a Želetavce (listopad 2003 – říjen 2004)

Fig. 2 pH and thermotolerant coliform bacteria for Dyje and Želetavka river (November 2003 – October 2004)

Nejnižší hodnota pH byla naměřena na Dyji v únoru 2004, nejvyšší rovněž na Dyji v září 2004. Nejnižší pH na Želetavce bylo zjištěno také v únoru 2004, nejvyšší v listopadu 2003, březnu a červnu 2004.
Velmi vysoký počet fekálních koliformních bakterií byl zjištěn na Dyji v únoru a dubnu 2004 (až 24 KTJ / ml), na Želetavce v září 2004 (23 KTJ / ml) (Obr. 2).





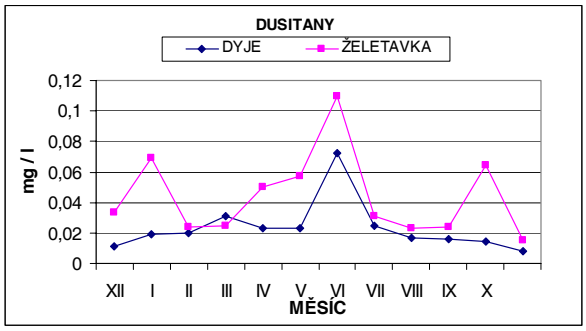
Obr. 3 koncentrace CHSK – Cr a celkového fosforu na Dyji a Želetavce (listopad 2003 – říjen 2004)

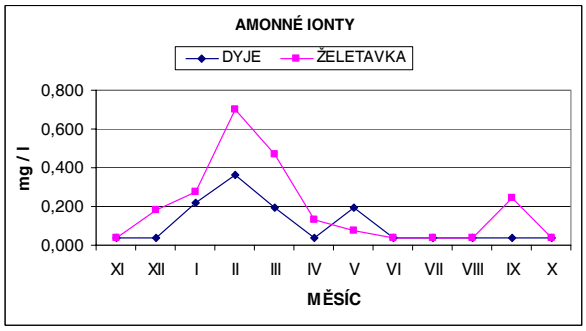
Fig 3 COD – Cr and total phosphorus concentration for Dyje and Želetavka river (November 2003 – October 2004)

Maximální hodnota CHSK – Cr (45,6 mg / l) byla naměřena na Dyji v únoru 2004. Na Želetavce nepřesáhla žádná hodnota 30 mg / l. Nejnižší hodnoty se na obou tocích pohybovaly od 12,5 mg / l do 15 mg / l.
Vývoj koncentrací celkového fosforu byl velmi podobný na obou sledovaných tocích. Nejvyšší hodnota byla zjištěna na Želetavce (0,98 mg / l) v únoru 2004, stejně tak na Dyji byla nejvyšší koncentrace v únoru 2004. Nejnižší hodnota (0,06 mg / l) byla naměřena na Dyji v červnu 2004, na Želetavce se nejnižší koncentrace pohybovaly kolem 0,12 mg / l (Obr. 3).

Nejvyšší koncentrace dusitanů (0,11 mg / l) byla zjištěna v červnu 2004 na Želetavce, v tomto měsíci byla maximální koncentrace naměřena i na Dyji (0,072 mg / l). Celkově nejnižší koncentrace kolem 0,01 mg / l se vyskytovaly na Dyji v zimních měsících.
U amonných iontů byly naměřeny nevyšší koncentrace na obou tocích v únoru 2004, na Želetavce 0,701 mg / l a na Dyji 0,364 mg / l. Nejnižší koncentrace kolem 0,04 mg / l se na obou tocích vyskytly několikrát (Obr. 4).

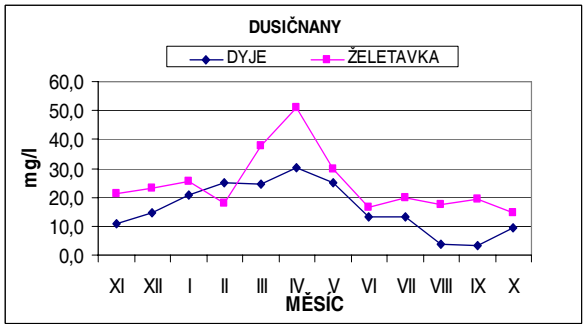
Stejně jako u dusitanů a amonných iontů, také u dusičnanů byly zjištěny nejvyšší koncentrace na Želetavce. Maximální hodnota (50,9 mg / l) byla naměřena v dubnu 2004. Ve stejném období byla naměřena nejvyšší hodnota i na Dyji (30,1 mg / l). Nejnižší hodnoty se pohybovaly na Dyji pod 10 mg / l, na Želetavce pod 20 mg / l. Koncentrace fosforečnanů byly měřeny pouze na hlavním toku, kde se nejvyšší hodnota vyskytla v únoru 2004 (Obr. 5).

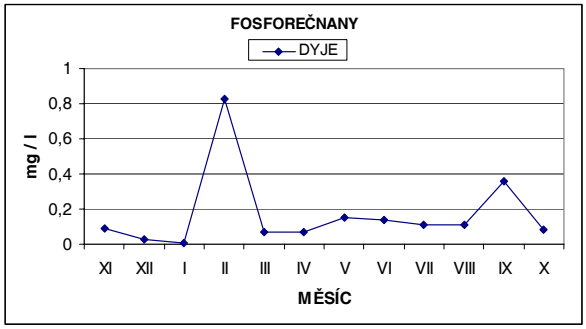




Obr. 4 Koncentrace dusitanů a amonných iontů na Dyji a Želetavce (listopad 2003 – říjen 2004)

Fig 4 Nitrite and amonium ions concentration for Dyje and Želetavka river (November 2003 – October 2004)





Obr. 5 Koncentrace dusičnanů Dyji a Želetavce a koncentrace fosforečnanů na Dyji (listopad 2003 – říjen 2004)

Fig. 5 Nitrate concentration for Dyje and Želetavka river and phosphate concentration in Dyje river(November 2003 – October 2004)

Výsledky měření celkového množství látek, které se dostávají do nádrže z obou přítoků za rok, vyjadřuje Tab. 1 a Obr. 5, 6, 7. Tab. 2 zobrazuje celkové množství látek, jejichž koncentrace jsou měřeny pouze na hlavním toku. U všech sledovaných ukazatelů kromě CHSK – Cr přináší hlavní tok třikrát až čtyřikrát větší množství látek do nádrže než Želetavka, z hodnot CHSK – Cr vyplývá, že celková spotřeba kyslíku na Dyji byla až osmkrát vyšší. Tato skutečnost souvisí s vyššími průtoky a větší rozlohou povodí řeky Dyje (průměrný roční průtok na Dyji je 6,9x vyšší a plocha povodí je 4,75x větší. Vzhledem k tomu, že se jedná o dva takto rozdílné toky, byla metodika zvolena tak, že průměrná množství jednotlivých látek byla vztažena k ploše 1 km^2 příslušného povodí (Tab. 3).

Tab.1 Suma látek za hydrologický rok (listopad 2003 – říjen 2004) na Dyji a Želetavce

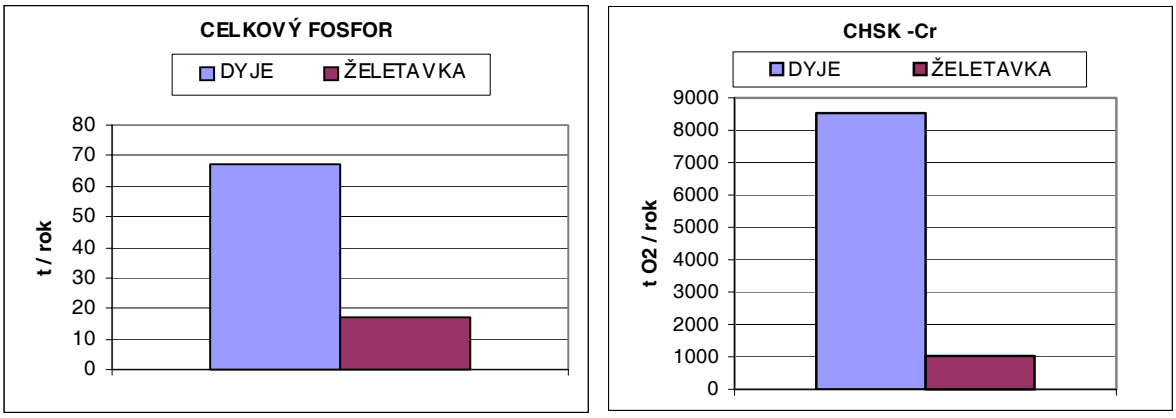
Tab. 1 Total substance for Dyje and Želetavka river per hydrological year (November 2003 – October 2004)

	CHSK-Cr	celk.fosfor	fekál.kolif.bakt.	dusičnany	dusitany	amonné ionty	pH
	(t O_2/ rok)	*(t / rok)*	*(ks / rok)*	*(t / rok)*	*(t / rok)*	*(t / rok)*	*prům./rok*
Dyje	8531,089	67,304	1088427542	6800,408	27,156	50,575	7,3
Želetavka	1030,277	16,995	472269139	1427,406	7,091	14,706	7,4

Tab.2 Suma látek za hydrologický rok (listopad 2003 – říjen 2004) na Dyji

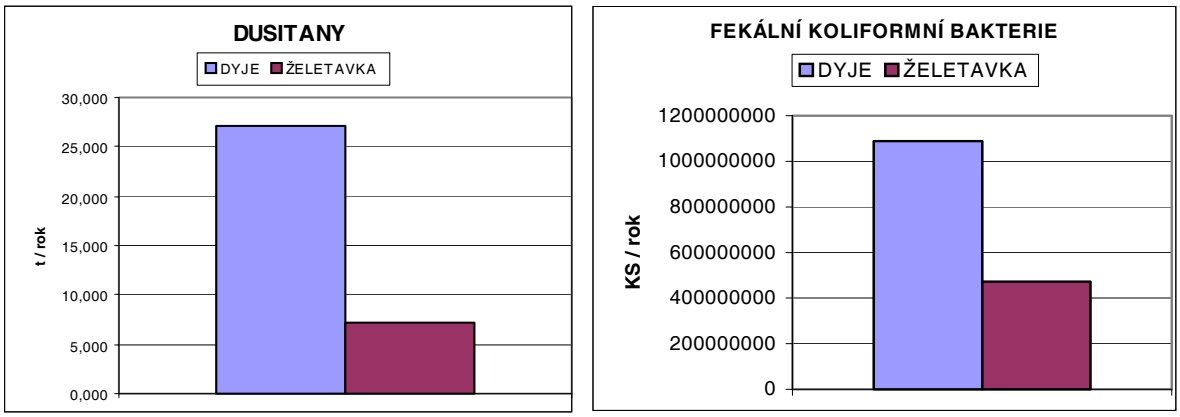
Tab. 2 Total substance for Dyje river per hydrological year (November 2003 – October 2004)

	Mangan	Železo	Chloridy	Fosforečnany
	(t / rok)	(t / rok)	(t / rok)	(t / rok)
Dyje	79,031	525,193	6900,669	79,031



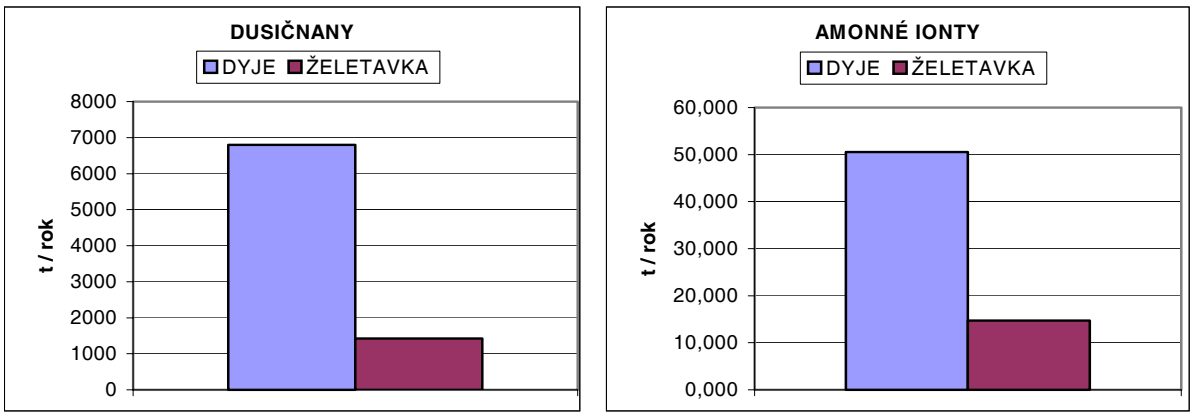
Obr. 5 Suma CHSK – Cr a celkového fosforu za rok na Dyji a Želetavce

Fig. 5 Total COD – Cr and phosphorus for Dyje and Želetavka river per year



Obr. 6 Suma dusitanů a fekálních koliformních bakterií za rok na Dyji a Želetavce

Fig. 6 Total nitrites and thermotolerant coliform bacteria for Dyje and Želetavka river per year



Obr. 7 Suma dusičnanů a amonných iontů za rok na Dyji a Želetavce

Fig. 7 Total nitrates and ammonium ions for Dyje and Želetavka river per year

Jak již bylo výše uvedeno, pro získání celkového přehledu o vlivu obou povodí na jakost vody v nádrži, byla množství jednotlivých látek vztažena k ploše jednoho km^2 povodí. U čtyř ze sledovaných ukazatelů bylo na Želetavce zjištěno vyšší množství látky z jednoho km^2 povodí. U celkového fosforu činí rozdíl 7 kg / km^2, u dusitanů 4 kg / km^2, u amonných iontů 11 kg / km^2 a u

fekálních koliformních bakterií byl rozdíl více než dvojnásobný – 650 588 KTJ / km^2. U dusičnanů byl tento rozdíl velmi malý (8 kg / km^2) a vzhledem k tomu, že se jedná o řády tisíců kilogramů, takřka zanedbatelný. Pouze u hodnot CHSK – Cr byla zjištěna vyšší spotřeba kyslíku na Dyji než na Želetavce (Tab. 3).

Tab. 3 Průměrné množství látky z 1 km^2 povodí Dyje a Želetavky

Tab. 3 Average substance quantity for 1 km^2 of the catchment for Dyje and Želetavka river

	CHSK - Cr	celkový P	dusičnany	dusitany	amonné ionty	fekál. kol. bakt.
	(kg / km^2)	*(kg / km^2)*	*(kg / km^2)*	*(kg / km^2)*	*(kg / km^2)*	*(KTJ / km^2)*
Dyje	4798	38	3825	15	28	612 163
Želetavka	2754	45	3817	19	39	1 262 751

ZÁVĚR

Ačkoliv povodí Želetavky není rozlohou rozhodující, znečištění, které se do nádrže dostává z jejího povodí, je dosti významné. V rizikové analýze celého povodí nádrže je nutné zaměřit se na povodí Želetavky a najít zdroje tohoto znečištění. Při návrhu ochranných pásem vodního zdroje navrhnout opatření na omezení dalšího znečišťování.

Vzhledem k tomu, že povodí Dyje zasahuje jak na území České republiky tak i na území Rakouska, bude nutné provést takovou analýzu, aby bylo zřejmé, z kterého území pochází více znečištění. V rizikové analýze a při stanovování limitujících opatření se pak zaměřit právě na to území, odkud by bylo zjištěno vyšší množství znečišťujících látek. Průtoky i koncentrace látek jsou sledovány na Moravské Dyji těsně před vtokem do Rakouska, proto by tato analýza mohla být snadno zpracována.

Vodní nádrž Vranov nad Dyjí nepatří mezi vodárenské nádrže, avšak je velmi významným zdrojem pitné vody. V současné době jsou prováděna opatření na omezení znečišťování vody v jejím bezprostředním okolí. V dalším kroku bude třeba se zabývat celým povodím nádrže. Podle získaných výsledků se pak zaměřit na konkrétní část povodí a tam vyhledat bodové zdroje znečištění.

Literatura

HLAVÁČ, J. et al. (2003): Učebnice vodárenství CD Rom, VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a. s., Brno

NOVÁK, J. (2000): OP ve smyslu zákona č. 14/1998 Sb. (novela zákona č. 138/1973 Sb. o vodách) a Vyhlášky č. 137/1999 Sb., VAS a. s., Brno

NOVÁKOVÁ, P. (2004): Zhodnocení vlivů vnějších činitelů povodí na jakost vody. Dizertační práce. Brno: MZLU v Brně,. 156 s.

PITTER, P. (1999): *Hydrochemie*. 2. vyd. Praha: VŠCHT, 568 s.

Zákon o vodách č. 254/2001 Sb. v platném znění

Autoři

Petra Nováková, Ústav aplikované a krajinné ekologie, MZLU v Brně, Zemědělská 1, Brno, 613 00, petra.novakova@uake.cz

Pavla Procházková, MZLU v Brně, Zemědělská 1, Brno, 613 00, pavcap@volny.cz

ZHODNOTENIE VPLYVU ZDRŽE ČUNOVO NA PRIETOKOVÝ REŽIM V MOŠONSKOM RAMENE DUNAJA OD ROKU 1993 PO SÚČASNOSŤ

Marián Supek, Balázs Fekete

Mošonské rameno tvorí súčasť dunajskej ramennej sústavy a na maďarskom území ohraničuje malý Žitný ostrov. Rameno je zásobované vodou predovšetkým z Dunaja. Okrem toho je do neho na maďarskom území zaústených aj niekoľko pravostranných prítokov s malou vodnosťou a pravostranný priesakový kanál zdrže Čunovo. Pred vybudovaním VD Gabčíkovo sa poloha vtoku z Dunaja do Mošonského ramena ustálila v rkm 1854,3 až 1854,4. Naspäť do Dunaja rameno ústi v rkm 1794,0 pri obci Kližská Nemá.

Množstvo vody vtekajúce do Mošonského ramena vždy záviselo od hladiny vody v Dunaji. Počas povodní sa zmenšovalo regulačným objektom, ktorý bol vybudovaný na maďarskom území. V obdobiach, kedy sa v Dunaji vyskytovali malé prietoky, vtekalo málo vody aj do ramena.

V technickom riešení zdrže Čunovo podľa variantu C od uvedenia VD Gabčíkovo do prevádzky bolo treba zvládnuť aj rovnocenný spôsob zásobovania Mošonského ramena. Odberný objekt do Mošonského ramena tvorí malá vodná elektráreň s jalovým výpustom. Objekt umožňuje vypúšťať do Mošonského ramena prietok prekračujúci veľkosť 50 $m^3.s^{-1}$. Za ním je priepich vedúci vodu do pôvodného Mošonského ramena. Podľa Zmluvy o výstavbe a prevádzke SVD Gabčíkovo – Nagymaros sa mal do Mošonského ramena vypúšťať prietok $Q \approx 20\ m^3.s^{-1}$. V roku 1995 bolo s Maďarskom dohodnuté zvýšenie vypúšťaného množstva na $Q \approx 43\ m^3.s^{-1}$.

Cieľom príspevku je porovnanie skutočných prítokov do Mošonského ramena cez odberný objekt zo zdrže Čunovo a hypotetického priebehu prítoku vody do ramena bez zdrže Čunovo. V prípade nevybudovania vodného diela by vplyvom morfologického vývoja koryta Dunaja pravdepodobne dochádzalo k postupnému znižovaniu prítokov do ramena. Simulácia hypotetického priebehu prítoku vody do ramena bez zdrže Čunovo od roku 1993 naznačila pravdepodobnosť častejšieho výskytu aj dlhšie trvajúcich porúch v zásobovaní ramena vodou z Dunaja. Úlohu zdrže Čunovo pri vytváraní potrebného režimu prietoku v ramene sme hodnotili pomerom možností Dunaja bez zdrže ku skutočne vypusteným prietokom. Manipulácia podľa Dohody z roku 1995 ($Q \approx 43\ m^3.s^{-1}$) sa začala uplatňovať počas hydrologického roku 1996. Odvtedy až po súčasnosť bola priemerná hodnota tohto pomeru približne 0,50.

Z riešenia úlohy vyplynulo, že zdrž Čunovo poskytuje optimálne podmienky na vytváranie vhodného režimu prietokov v Mošonskom ramene, pretože umožňuje v ktoromkoľvek čase dodávku potrebného množstva vody. Bez zdrže Čunovo by sa v Mošonskom ramene Dunaja postupne zvyšovala frekvencia výskytu nepriaznivých prietokových situácií.

Kľúčové slová: Mošonské rameno, zdrž Čunovo, skutočný prietok, hypotetický priebeh prietoku, manipulácia, nepriaznivé prietokové situácie

---

PÔVODNÉ A SÚČASNÉ ZÁSOBOVANIE MOŠONSKÉHO RAMENA DUNAJA VODOU

Mošonské rameno tvorí súčasť dunajskej ramennej sústavy a na maďarskom území ohraničuje malý Žitný ostrov (Szigetköz). Úprava koryta Dunaja na strednú vodu podľa Lafranconiho koncepcie, ktorá bola dokončená pred Prvou svetovou vojnou, ustálila polohu vtoku do Mošonského ramena v rkm 1854,3 až 1854,4. Rameno vedie cez maďarské mestá Mosonmagyaróvár a Győr a naspäť do Dunaja ústi v rkm 1794,0 oproti obci Kližská Nemá na ľavom brehu Dunaja.

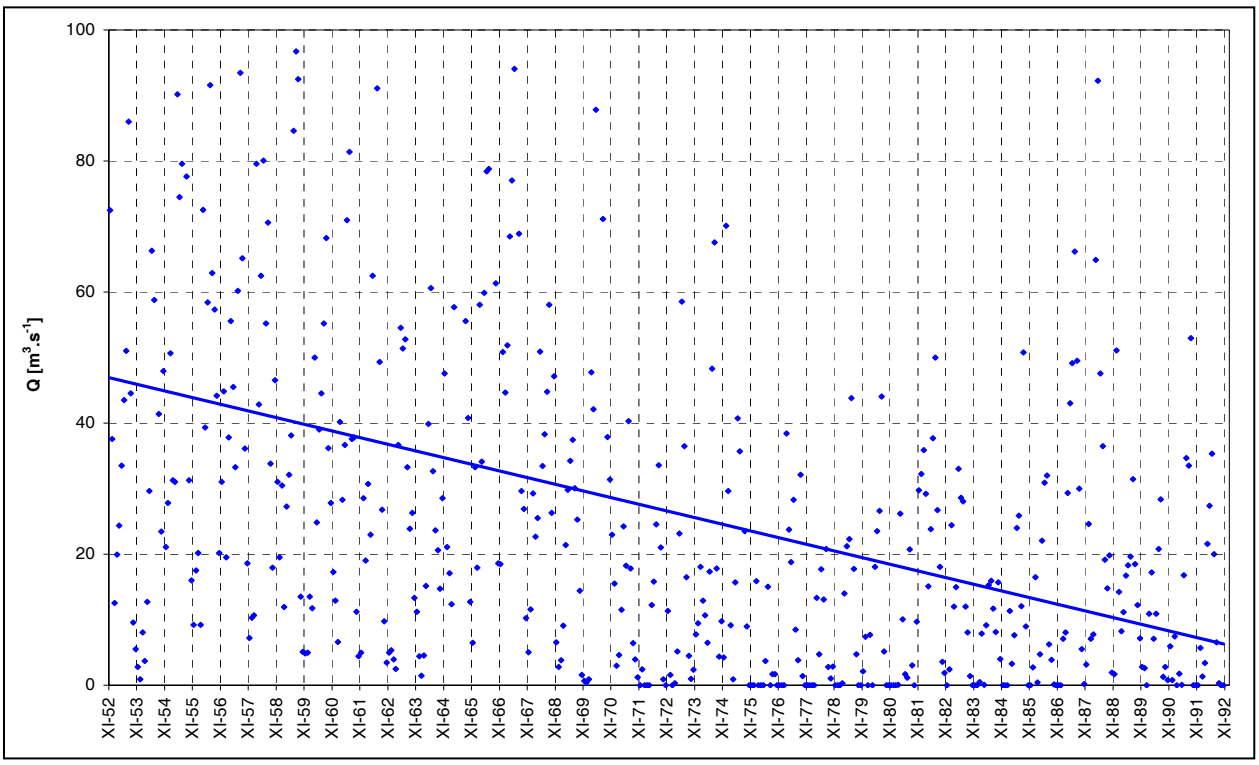
Dunaj je hlavným, ale nie jediným zdrojom vody prúdiacej v ramene. V súčasnosti je do ramena tesne za štátnou hranicou vyústený pravostranný priesakový kanál zdrže Čunovo. Pri obci Bezenye rameno prijíma vody pritekajúce z rakúskeho územia cez Wiesgraben (Leithakanal), ktorý je v Maďarsku evidovaný ako Rét–árok. Ďalším zdrojom vody je riečka Leitha, vtekajúca na územie Maďarska medzi obcami Nickelsdorf a Hegyeshalom, ktorá ústi do ramena v Mosonmagyaróvári. V Győri rameno priberá vody z prítokov Rábca a Rába. Žiadny z týchto prítokov nemá vodný režim porovnateľný s možnosťami Dunaja.

Množstvo vody vtekajúce do Mošonského ramena vždy záviselo od hladiny vody v Dunaji. Počas povodní sa zmenšovalo regulačným objektom, ktorý bol vybudovaný na maďarskom území. V obdobiach, kedy sa v Dunaji vyskytovali malé prietoky, vtekalo málo vody aj do ramena. V 50.

rokoch XX. storočia bolo koryto Dunaja až po rkm 1841 zväčša stabilné [1]. V dôsledku rozsiahlych zásahov pri úprave na malú vodu a morfologického vývoja koryta sa po začiatku 60. rokov na tomto úseku Dunaja začal prejavovať systematický pokles hladín v obdobiach výskytu malých a stredných prietokov. Tento trend sa nedarilo zastaviť ani podstatným sprísnením podmienok na bagrovacie práce v oblasti Bratislavy a poniže mesta, ktoré boli prijaté začiatkom 80. rokov. Vývoj hladín vody v Dunaji mal signifikantný priebeh smerom dolu, čo sa prejavovalo na postupnom zmenšovaní množstva vody vtekajúcej z koryta rieky do ramena.
Zásobovanie ramena vodou počas 40 hydrologických rokov 1953 – 1992 je znázornené na 1. obrázku, kde sú vynesené priemerné mesačné prietoky v Mošonskom ramene. V 1. tabuľke uvádzame priemerné ročné prietoky v Mošonskom ramene. Z obrázku a z tabuľky je vidieť zreteľný pokles prietokov najmä v posledných 20 rokoch a v tomto období aj častejšie nastávali situácie, kedy do ramena vôbec nepritekala voda z Dunaja.

Tab. 1 Priemerné ročné prietoky v Mošonskom ramene v hydrologických rokoch 1953 - 1992

Priemerný ročný prietok v Mošonskom ramene (1953 - 1992)							
Hydrologický rok	[$m^3.s^{-1}$]	Hydrologický rok	[$m^3.s^{-1}$]	Hydrologický rok	[$m^3.s^{-1}$]	Hydrologický rok	[$m^3.s^{-1}$]
1953	36.7	1963	25.7	1973	13.4	1983	13.7
1954	42.9	1964	21.5	1974	19.2	1984	7.4
1955	55.5	1965	81.4	1975	30.5	1985	12.0
1956	41.9	1966	62.8	1976	3.2	1986	10.0
1957	45.1	1967	55.2	1977	12.9	1987	24.0
1958	43.1	1968	32.8	1978	6.4	1988	28.3
1959	39.1	1969	18.0	1979	10.3	1989	17.5
1960	31.7	1970	53.6	1980	11.2	1990	8.8
1961	32.1	1971	14.2	1981	6.0	1991	12.8
1962	37.5	1972	9.2	1982	25.3	1992	10.1



Obr. 1 Trend priemerných mesačných prietokov v Mošonskom ramene (hydrologické roky 1952 – 1992)

V Spoločnom zmluvnom projekte Sústavy vodných diel Gabčíkovo – Nagymaros bolo zásobovanie Mošonského ramena Dunaja riešené napájaním priamo zo zdrže Hrušov – Dunakiliti. Preto je v pravostrannej hrádzi zdrže na maďarskom území vybudovaný nápustný objekt. V technickom riešení zdrže Čunovo podľa variantu C od uvedenia VD Gabčíkovo do prevádzky bolo treba zvládnuť aj rovnocenný spôsob zásobovania Mošonského ramena. Súčasná hrádza zdrže sa pri Čunove odkláňa od pôvodnej trasy pravostrannej hrádze zdrže Hrušov – Dunakiliti a v takmer kolmom smere križuje inundované územie. Vo vzdialenosti 850 m od pôvodnej hrádze zdrže je na novej hrádzi vybudovaný objekt na zásobovanie Mošonského ramena vodou. Objekt je 145 m vpravo od hate v pravostrannej inundácii Dunaja. Odberný objekt do Mošonského ramena tvorí malá vodná elektráreň s jalovým výpustom, ktorý má dve potrubia DN 1400 mm s kapacitou $Q = 25{,}6\ m^3 \cdot s^{-1}$. V malej vodnej elektrárni sú inštalované dve turbíny. Objekt umožňuje vypúšťať do Mošonského ramena prietok prekračujúci veľkosť $Q \approx 50\ m^3 \cdot s^{-1}$. Za ním je priepich vedúci vodu do pôvodného Mošonského ramena, ktorý je na slovenskom území dlhý 390 m a jeho koryto je na dne široké 20 m. Približne po 1,5 km prichádza k nápustnému objektu v pôvodnej hrádzi zdrže Hrušov – Dunakiliti. Voda preteká cez hrádzu dvomi otvormi so štvorcovými prierezmi rozmerov 3,75 x 3,75 m, ktoré sú hradené stavidlami.
Aktuálna veľkosť prietoku vypúšťaného zo zdrže nezávisí len od manipulácie na objekte VD Čunovo, ale aj od hladiny vody, ktorá sa nastavuje objektom v pôvodnej hrádzi zdrže Hrušov – Dunakiliti. Na zmenu prietočnej kapacity v otvoroch objektu reaguje s nevýznamným časovým oneskorením poloha hladiny vody na hornom konci priepichu pod objektom na VD Čunovo, čo si vynucuje úpravu vypúšťaného prietoku vody. Maďarská strana takto má bezprostrednú možnosť ovplyvňovať prietoky vypúšťané zo zdrže do Mošonského ramena a túto možnosť aj permanentne využíva podľa svojich potrieb.

SKUTOČNÉ PRIETOKY V RAMENE V OBDOBÍ OD 1. APRÍLA 1993 DO 31. MÁJA 2005 A SIMULÁCIA PRÍTOKU VODY Z DUNAJA DO RAMENA BEZ ZDRŽE ČUNOVO

Podľa Zmluvy o výstavbe a prevádzke SVD Gabčíkovo – Nagymaros sa mal do Mošonského ramena vypúšťať prietok $Q \approx 20\ m^3 \cdot s^{-1}$. V roku 1995 bolo s Maďarskom dohodnuté zvýšenie vypúšťaného množstva na $Q \approx 43\ m^3 \cdot s^{-1}$. Skutočne vypustené množstvo vody do Mošonského ramena Dunaja cez odberný objekt na VD Čunovo sme vyhodnotili z údajov v záznamoch, ktoré eviduje vodohospodársky dispečing Slovenského vodohospodárskeho podniku, š. p., OZ Bratislava. Aby sme dosiahli objektívne výsledky, začali sme až s hodnotením obdobia od 1. apríla 1993. V čase od prehradenia koryta Dunaja koncom októbra 1992 po tento termín ešte neboli príslušné objekty VD Čunovo v štandardnej prevádzke, lebo sa riešili otázky súvisiace s ich uvádzaním do prevádzky a s odstraňovaním povodňových škôd, ktoré spôsobila novembrová povodeň v roku 1992.
Ak by nebolo v roku 1992 uvedené do prevádzky VD Gabčíkovo, nezmenil by sa spôsob zásobovania Mošonského ramena vodou z Dunaja. Okrem povodňových stavov, kedy by voda zaplavovala pravostranné inundované územie, by do ramena vtekal len taký prietok, aký umožňovala kapacita jeho úseku od brehu rieky po objekt v hrádzi. Aktuálne prietoky vody v úseku Mošonského ramena za dunajskou hrádzou by ovplyvňovali tieto činitele:

1. Hladina vody v Dunaji v oblasti vtoku do ramena pri rkm 1854,3, ktorá by závisela od prietoku v rieke. Pritom možno predpokladať, že bez zdrže Čunovo by pri malých a stredných prietokoch aj naďalej pokračoval všeobecný trend poklesu hladín na tomto úseku.
2. Vtokový úsek ramena by sa mierne zanášal.
3. Počas povodní v Dunaji by sa prietok zmenšoval manipuláciou na objekte v hrádzi. Povodňové situácie si niekedy vynucujú zníženie prítoku aj z dôvodu vzdutia spôsobeného hladinou vody Dunaja v rkm 1794,0, ktoré zhoršuje odtokové podmienky v dolnom úseku ramena.

Na základe týchto predpokladov sa dal zostaviť vzťah medzi prietokom vody v Dunaji a prietokom vody, ktorá by vtekala do ramena. Z neho sme mohli zostaviť hypotetický rad prietokov vody v ramene bez zdrže Čunovo v období od 1. apríla 1993 do 31.mája 2005. Simulovaná postupnosť prietokov môže mať dobrú výpovednú hodnotu okrem období priebehu povodní, kedy by voda prúdila v pravostrannej inundácii a na objekte v pôvodnej hrádzi zdrže Hrušov – Dunakiliti by sa cielene manipulovalo.

Prehľad o skutočne vypúšťaných prietokoch cez objekt VD Čunovo do Mošonského ramena a simuláciou vypočítaných prietokoch poskytuje 2. tabuľka. V tabuľke uvádzame pre každý hydrologický rok aj mesiac, v ktorom sa vyskytol najmenší priemerný mesačný prietok v Mošonskom ramene. Logicky sa nezhodujú mesiace výskytu skutočne vypúšťaných a vypočítaných najmenších priemerných mesačných prietokov v ramene, lebo množstvo vody vypúšťané do ramena cez VD Čunovo nezávisí od prietoku v toku, ale iba od manipulácie na objektoch. Vzdutie hladiny vždy umožnilo reguláciu prietoku podľa očakávaných potrieb na maďarskom území a tie je zdrž Čunovo schopná nepretržite zabezpečovať. Na 2. obrázku uvádzame priebeh a trendy skutočne vypúšťaných a vypočítaných priemerných mesačných prietokov v Mošonskom ramene. Výsledky potvrdili pokračovanie trendu z obdobia rokov 1953 – 1992 (Obr. 1) a postupné zhoršovanie prietokových pomerov medzi ramenom a Dunajom.

Tab. 2 Skutočné a simuláciou vypočítané vypúšťané prietoky do Mošonského ramena v období 04/1993 – 05/2005

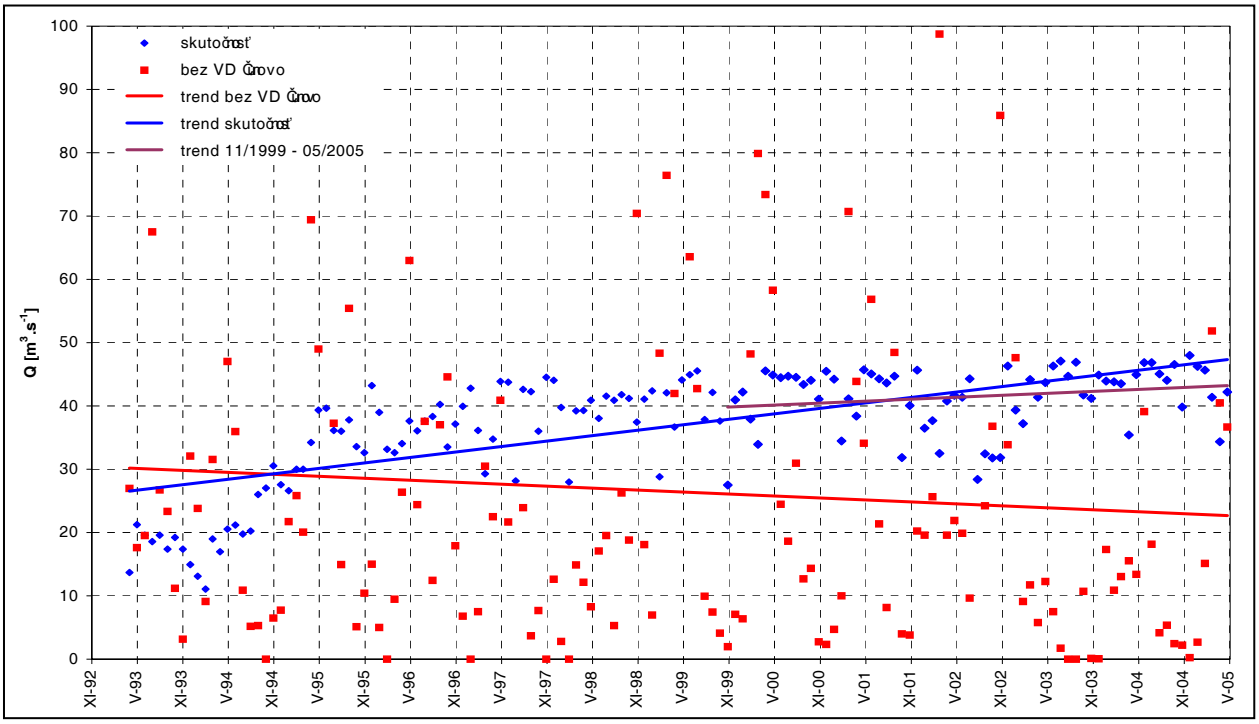
Hydrologický rok	Priemerný ročný prietok [$m^3.s^{-1}$]		Najmenší priemerný mesačný prietok [$m^3.s^{-1}$]			
	Skutočnosť	Bez VD Čunovo	Skutočnosť		Bez VD Čunovo	
1993 (od apríla)	18.5	27.6	13.7	IV.	11.2	X.
1994	18.9	24.1	11.1	II.	2.2	X.
1995	33.6	36.5	26.6	I.	5.1	X.
1996	36.5	24.0	32.6	XI.	1.4	II.
1997	38.1	28.7	28.2	VII.	1.2	I.
1998	40.0	11.7	28.0	II.	0.8	III.
1999	40.1	44.3	28.8	II.	5.4	X.
2000	41.2	31.3	27.5	XI.	2.0	XI.
2001	41.7	25.6	31.8	X.	2.3	XII.
2002	37.7	37.2	28.4	VIII.	3.8	XI.
2003	42.6	19.0	31.9	XI.	0.6	VIII.
2004	44.0	11.6	35.4	IV.	0.1	XI.
2005 (do mája)	42.5	21.4	34.3	IV.	0.2	XII.

V 3. tabuľke je prehľad o počtoch dní, počas ktorých by do ramena pritekali prietoky v intervaloch hodnôt uvedených v hlavičke tabuľky. Z tabuľky je jednoznačne zrejmý nárast počtu dní, kedy by z Dunaja do ramena vôbec nepritekala voda ($Q = 0\ m^3.s^{-1}$) a kedy by bol prítok veľmi malý z hľadiska funkcií, ktoré plní rameno na území Maďarska ($Q \leq 20\ m^3.s^{-1}$).

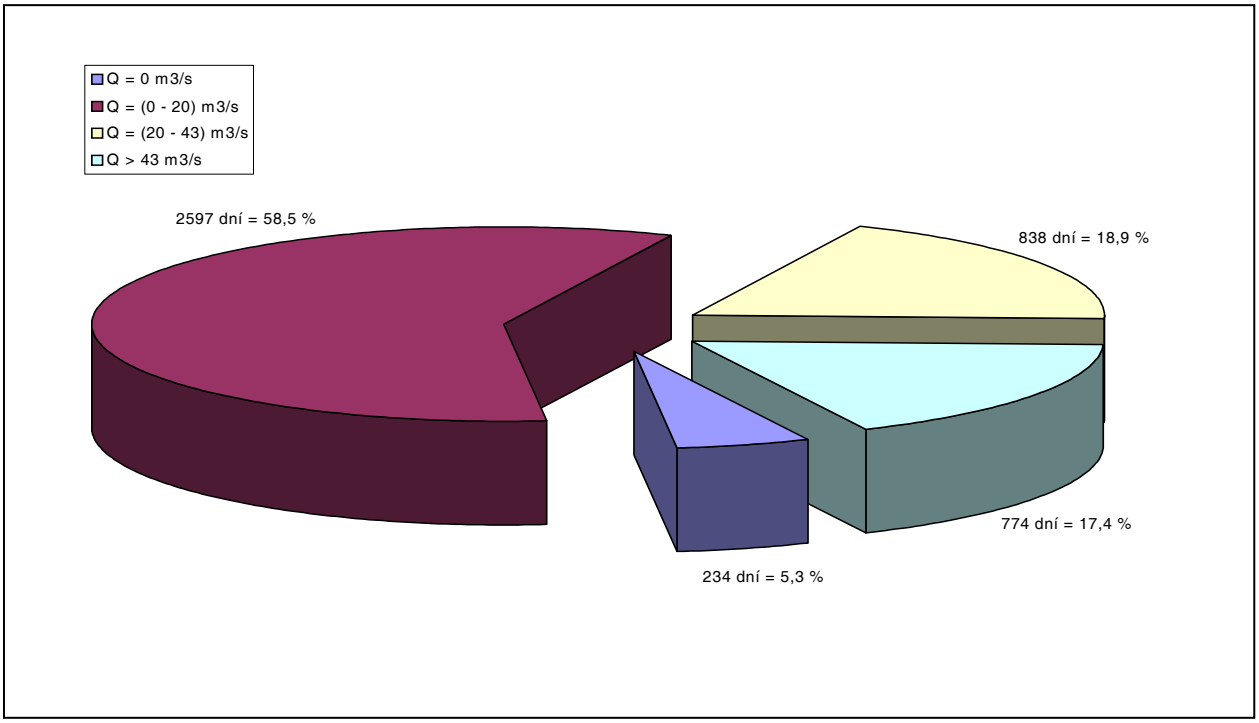
Tab. 3 Počty dní s výskytom simuláciou vypočítaných prietokov (bez zdrže Čunovo) v Mošonskom ramene vo zvolených intervaloch

Hydrologický rok	$Q = 0\ m^3.s^{-1}$	$Q = (0 - 20)\ m^3.s^{-1}$	$Q = (20 - 43)\ m^3.s^{-1}$	$Q > 43\ m^3.s^{-1}$
1993 (od apríla)	0	120	62	32
1994	5	225	76	59
1995	7	175	76	107
1996	4	223	86	53
1997	8	221	84	52
1998	14	304	27	20
1999	1	168	66	130
2000	3	186	88	89
2001	1	220	72	72
2002	3	214	88	60
2003	56	232	31	46
2004	79	221	46	19
2005 (do mája)	53	88	36	35

Na 3. obrázku je prehľadne zobrazené rozdelenie vypočítaných prietokov podľa zvolených intervalov za obdobie od 1.4.1993 po 31.5.2005. Z obrázku vyplýva, že počas viac ako 60 % dní tohoto obdobia by do ramena pritekal prietok menší ako $20\ m^3.s^{-1}$.



Obr. 2 Trend priemerných mesačných prietokov v Mošonskom ramene (obdobie 04/1993 – 05/2005)

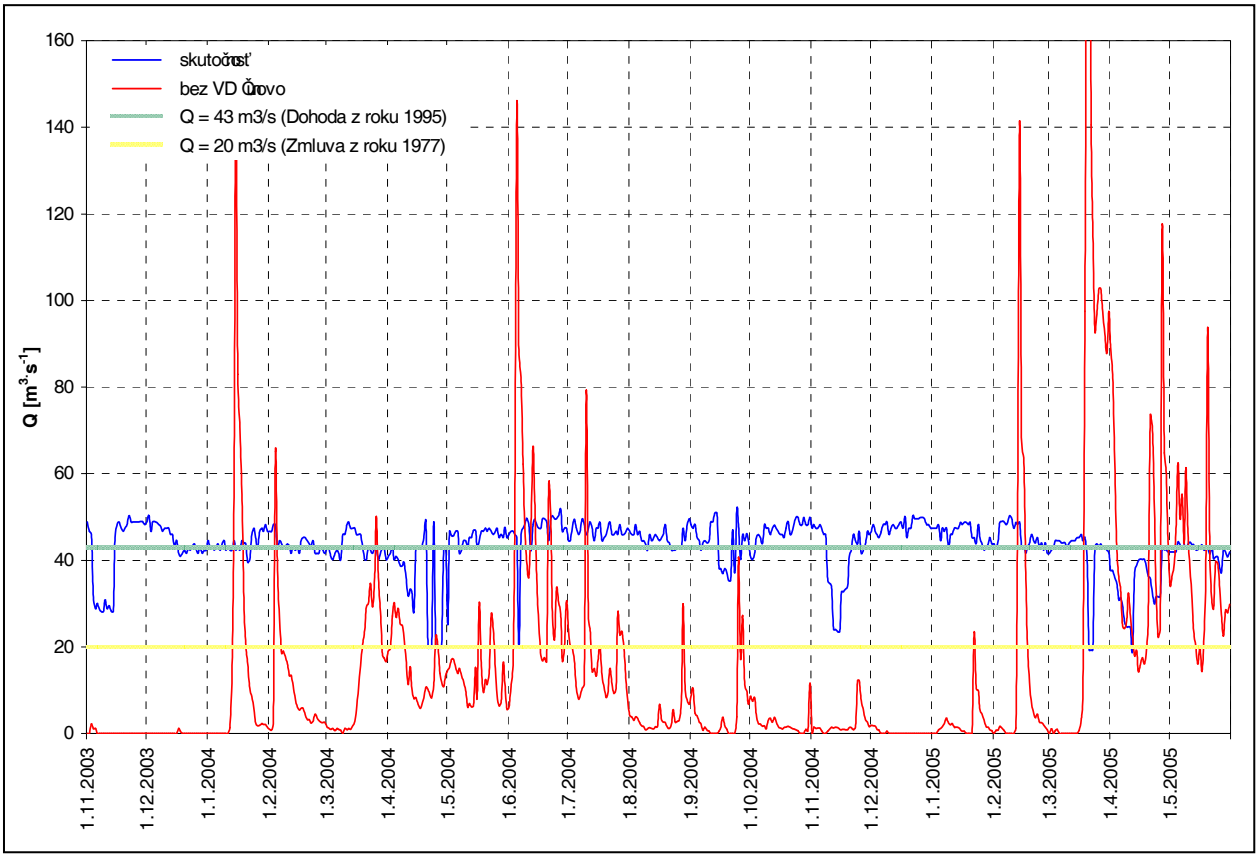


Obr. 3 Predpokladané rozdelenie prietokov v Mošonskom ramene v období od 1.4.1993 do 31.5.2005 bez VD Čunovo

Vodohospodársky významným ukazovateľom je aj celkový objem vody, ktorý pretiekol profilom vtoku Mošonského ramena. Vo 4. tabuľke uvádzame skutočne pretečené a simuláciou vypočítané objemy vody pre jednotlivé hydrologické roky. Z tabuľky vyplýva, že počas obdobia uplatňovania prietokového režimu podľa Dohody z roku 1995, okrem hydrologického roku 1999, do ramena vtieklo väčšie množstvo vody ako by dokázal zabezpečiť Dunaj bez VD Čunovo.

Tab. 4 Skutočný a simuláciou vypočítaný objem vody odvedený do Mošonského ramena (obdobie 04/1993 – 05/2005)

Hydrologický rok	Mošonské rameno - objem vody [mil. m^3]		
	Skutočnosť	Bez VD Čunovo	Rozdiel
1993 (od apríla)	341.71	510.61	-168.90
1994	599.83	760.37	-160.54
1995	1066.61	1149.62	-83.01
1996	1146.18	759.15	**387.03**
1997	1200.29	904.76	**295.54**
1998	1261.71	368.94	**892.77**
1999	1266.08	1398.07	-131.99
2000	1303.05	989.60	**313.45**
2001	1315.70	807.31	**508.39**
2002	1190.23	1172.09	**18.14**
2003	1343.71	599.43	**744.28**
2004	1390.09	365.99	**1024.10**
2005 (do mája)	778.80	392.04	**386.76**



Obr. 4 Skutočné prietoky v Mošonskom ramene a simulované prietoky bez VD Čunovo (obdobie 11/2003 – 05/2005)

VÝZNAM ZDRŽE ČUNOVO PRE ZÁSOBOVANIE MOŠONSKÉHO RAMENA VODOU

Úlohu zdrže Čunovo pri vytváraní potrebného režimu prietoku v ramene sme hodnotili pomerom možností Dunaja bez zdrže ku skutočne vypusteným prietokom, ktoré pravdepodobne zodpovedali potrebám. Manipulácia podľa Dohody z roku 1995 ($Q \approx 43\ m^3 \cdot s^{-1}$) sa začala uplatňovať počas hydrologického roku 1996. Odvtedy až do mája roku 2005 bola priemerná hodnota tohto pomeru 0,50. To znamená, že Dunaj by mohol v priemere iba na 50 % pokryť požiadavky na prietok vody v ramene.

V jednotlivých hydrologických rokoch by sa priemerná hodnota tohto pomeru pohybovala v rozpätí od 0,29 po 0,67.
Simulácia hypotetického priebehu prítoku vody do ramena bez zdrže Čunovo v období hydrologických rokov 1993 – 2005 naznačila pravdepodobnosť častejšieho výskytu aj dlhšie trvajúcich porúch v zásobovaní ramena vodou z Dunaja. Na 4. obrázku uvádzame priebeh skutočných a simuláciou vypočítaných prietokov v Mošonskom ramene od začiatku hydrologického roka 2004 po máj 2005. Z obrázka sa dajú určiť dlhšie trvajúce poruchy v zásobovaní ramena vodou - od novembra 2003 do polovice januára 2004, od februára do konca apríla 2004 a od polovice júla 2004 do polovice februára 2005. Celkovo by sa po roku 1992 podobných významných porúch vyskytlo viacero.
Zdrž Čunovo poskytuje optimálne podmienky na vytváranie vhodného režimu prietokov v Mošonskom ramene , pretože umožňuje v ktoromkoľvek čase dodávku potrebného množstva vody. Bez zdrže Čunovo by sa v Mošonskom ramene Dunaja postupne zvyšovala frekvencia výskytu nepriaznivých prietokových situácií so všetkými negatívnymi dôsledkami na životné i na prírodné prostredie.

Literatúra

[1] Szolgay, J. (1962): Úprava československého úseku Dunaja vzhľadom na hydrologický výskum splavenín a plavenín. Práce a štúdie 21. VÚVH. Bratislava.

Autori

Ing. Marián Supek, SVP, š. p., OZ Bratislava, Karloveská 2, 842 17 Bratislava, marian.supek@svp.sk
Ing. Balázs Fekete, SVP, š. p., OZ Bratislava, Karloveská 2, 842 17 Bratislava, balazs.fekete@svp.sk

KONFERENCIE MLADÝCH ODBORNÍKOV

Meteorológovia a klimatológovia

Dufková J., Šťastná M.
Stanovení trendu výskytu sucha v oblasti jižní Moravy a jeho vliv na erozi půdy 910

Mikulová K.
Rozdelenie územia Slovenska do oblastí na základe teplotných pomerov 921

Müller M., Kašpar M.
Extremita meteorologických prvků jako prekurzor vzniku dešťových povodní v ČR 931

Pecušová Z.
Vyhodnotenie priestorového a časového rozdelenia snehovej pokrývky
metódou čiar ubúdania snehu v povodí horného Hrona 938

Pecho J.
Možný vplyv klimatickej zmeny na priestorový
a dynamicko-klimatologický výskyt búrok na Slovensku..... 949

Simon A., Vivoda J.
High Resolution Numerical Study of the 19 November 2004 Windstorm 963

STANOVENÍ TRENDU VÝSKYTU SUCHA V OBLASTI JIŽNÍ MORAVY A JEHO VLIV NA EROZI PŮDY

Jana Dufková, Milada Šťastná

Na 16 vybraných meteorologických stanicích jižní Moravy bylo dlouhodobě sledováno relativní zavlažení půdy na základě indexu zavlažení podle Končeka. Klesající trend hodnot Končekova indexu zavlažení za období 1961–2003 znamená snížení relativního zavlažení půdy ve vybraných oblastech za sledované období. Hodnoty erozně klimatického faktoru stanovené z Končekova indexu zavlažení během sledovaného období 1961 až 2003 rostou, což teoreticky znamená zvýšení potenciální ohroženosti půdy větrnou erozí.

Klíčová slova: vlhkost půdy, Končekův index zavlažení, erozně klimatický faktor, větrná eroze

Determination of drought occurrence trend in the area of Southern Moravia and its influence on soil erosion. *Long-term relative soil humidity was studied at 16 meteorological stations of southern Moravia on the base of Končeks humidity index. The decreasing linear trend of the index for the period of 1961–2003 means the decrease in relative soil humidity. Values of erosion-climatic factor that was determined from Končeks humidity index increase during the studied period 1961–2003. The increase theoretically means the increase in potential threat of soil by wind erosion.*

Key words: soil humidity, Končeks humidity index, erosion-climatic factor, wind erosion

ÚVOD

Vlhkost půdy je určena množstvím a rozdělením ovzdušných srážek a ovlivněna teplotou, vlhkostí ovzduší a větrem, jež určují evapotranspiraci, a tím i úbytek půdní vláhy. Půdní vlhkost ovlivňuje erodovatelnost půdy jednak přímo tím, že působí odolnost kohezní silou mezi částicemi, jednak nepřímo ovlivňováním hrudovitosti a tvorbou povrchového škraloupu. Proto také nastává největší odnášení půdních částic u půd suchých, rovných, hladkých a jemně prašných. Čím častěji je povrch půdy ovlhčován a čím častěji a prudčeji vysychá, tím více nastává tvorba druhotných agregátů a povrchové kůry, a tím méně půda podléhá větrné erozi.
Větrná eroze je tudíž v prvé řadě omezena aridním a semiaridním územím. V oblastech humidních postihuje pouze půdy vystavené rychlému vysychání povrchu, jako jsou písčité půdy a váté písky (Pasák, 1966).
Cílem této práce bylo stanovit trend výskytu sucha v oblasti jižní Moravy a jeho vliv na erozi půdy.

MATERIÁL A METODY

Vlhkostní charakteristika daného území se stanoví na základě tzv. klimatologických indexů. Klimatologický index je číselné vyjádření vypočtené pomocí určitého vztahu jednoho či více klimatických prvků. Pokud jsou klimatologické indexy odvozeny z jednoho prvku, vytýká se jim nepřesvědčivost a konvenčnost hodnot, které jsou z empirických vzorců počítány (Rožnovský, 1999).

Problematikou stanovení suchých a vlhkých oblastí v České republice se zabývá mnoho studií. Vzhledem k tomu, že jde o problém komplexní, nestačí údaj o množství srážek, důležitými charakteristikami jsou i teplota, výpar, sluneční záření, směr a rychlost větru. Z jiných neklimatických vlivů je nutné jmenovat především druh půdy a způsob jejího obdělávání, vodní režim v půdě, terénní poměry a v neposlední řadě i vegetační kryt. Z tohoto důvodu se v literatuře setkáváme s celou řadou způsobů vyjádření stupně zavlažení daného území (Dufková, 2004).

Trend výskytu sucha byl stanoven na základě výpočtů Končekova indexu zavlažení z dat několika meteorologických stanic jižní Moravy.

Charakteristika meteorologických stanic

Pro stanovení trendu výskytu sucha byla použita data z 16 vybraných meteorologických stanic jižní Moravy (Tab. 1). Meteorologické stanice byly vybrány na základě dostupnosti požadovaných dat, jejich dostatečné reprezentativnosti, homogenity a v neposlední řadě i polohy.

Pro analýzy byly potřeba údaje týkající se rychlosti větru (průměrná rychlost větru v $m.s^{-1}$ ve 14 hod za vegetační období a průměrná rychlost větru v $m.s^{-1}$ za rok), množství srážek (měsíční úhrny v mm) a teploty vzduchu (průměrná teplota vzduchu ve °C za vegetační období), vše za období 1961-2003.

Tab. 1 Vybrané meteorologické stanice jižní Moravy (ČHMÚ, 2003)
Tab. 1 Selected meteorological stations from southern Moravia region

Meteorologická stanice		Zeměpisná		Nadmořská výška (m)
Indikativ	Název	šířka (s.š.)	délka (v.d.)	
004	**Žabčice**	49°00‘44“	16°36‘03“	179
636	**Kostelní Myslová**	49°09‘36“	15°26‘21“	569
667	**Moravské Budějovice**	49°02‘58“	15°48‘30“	457
685	**Nedvězí**	49°38‘06“	16°18‘36“	722
686	**Bystřice nad Pernštejnem**	49°30‘54“	16°15‘00“	573
687	**Velké Meziříčí**	49°21‘14“	16°00‘31“	452
698	**Kuchařovice**	48°53‘00“	16°05‘00“	334
716	**Protivanov**	49°28‘38“	16°49‘54“	670
723	**Brno-Tuřany**	49°09‘35“	16°41‘44“	241
724	**Pohořelice**	48°58‘39“	16°31‘00“	183
725	**Velké Pavlovice**	48°54‘31“	16°49‘28“	196
749	**Ivanovice na Hané**	49°18‘32“	17°05‘22“	245
754	**Staré Město u Uherského Hradiště**	49°05‘30“	17°25‘54“	235
755	**Strážnice**	48°53‘57“	17°20‘17“	176
774	**Holešov**	49°19‘07“	17°34‘24“	223
777	**Vizovice**	49°13‘23“	17°50‘38“	315

Končekův index zavlažení

Američan Thornthwaite vypracoval metodu pro vyjádření stupně zásoby vlhka indexem vlhka I_T, který zjistil pomocí potenciální evapotranspirace a několika empiricky určených vztahů (1) (Thornthwaite, 1948):

$$I_T = \frac{100 \times s - 60 \times d}{n}, \qquad (1)$$

kde s = úhrn měsíčních rozdílů mezi srážkami a evapotranspirací za ty měsíce, ve kterých je srážkový normál větší než normál evapotranspirace,
d = úhrn měsíčních rozdílů mezi srážkami a evapotranspirací za ty měsíce, ve kterých je srážkový normál menší než normál evapotranspirace,
n = úhrn měsíčních hodnot evapotranspirace v uvažovaných měsících.

Výpočet indexu vlhka je velmi pracný, svojí číselnou hodnotou udává klimatický typ určité oblasti.
Ve snaze najít jednodušší vztah pro vymezení různých stupňů zavlažení půdy na základě údajů srážek, teploty a rychlosti větru (která nahrazuje veličiny Thornthwaitovy potenciální evapotranspirace), porovnal Končekk závislost mezi Thornthwaitovým indexem vlhka a třemi uvedenými základními prvky, snadno přístupnými z pozorovacích výkazů či ročenek. Získal tak jednoduchý empirický vzorec pro hodnotu, kterou nazval index zavlažení I_Z. Vzorec udávající index zavlažení pro celé vegetační období duben až září má tvar (2) (Končekk, 1955):

$$I_Z = \frac{R}{2} + \Delta r - 10t - \left(30 + v^2\right), \qquad (2)$$

kde R = úhrn srážek za vegetační období (IV–IX) (mm),
Δr = kladná odchylka množství srážek třech měsíců v zimním období (XII–II) od hodnoty 105 mm (mm) (záporné hodnoty se neuvažují),
t = průměrná teplota za vegetační období (°C), v = průměrná rychlost větru ve 14 hod za vegetační období ($m.s^{-1}$).

V uvedeném vzorci je tedy brán zřetel i na vydatnost zimních srážek, které mají na začátku vegetačního období velký vliv na vlhkost půdy.Při posuzování číselných hodnot se za suché klimatické oblasti považují ty, se záporným indexem zavlažení. Je třeba dodat, že stupeň zavlažení, vyplývající z indexu zavlažení, platí pro standardní půdní poměry v standardním reliéfu okolí.

Jak uvádí Končeк (1955) jsou numerické hodnoty I_Z téměř v lineárním vztahu k hodnotám vyplývajícím z Thornthwaitova vzorce pro index vlhka I_T a jsou v poměru 1:3. Přesné vyjádření tohoto vztahu je (3):

$$I_Z = 3{,}09 I_T + 1{,}81 . \qquad (3)$$

Mapy zpracované pro index zavlažení na základě vzorce (2) pro celé vegetační období, dávají úplně shodný obraz s Thornthwaitovým indexem vlhka. Přitom Končekova stupnice je 3krát citlivější než stupnice Thornthwaitova (Končeк, 1955).

Končekův index zavlažení je tedy vhodný pro podrobnější členění a hodnocení menších územních celků. Byl použit jako kritérium pro vymezení klimatických podoblastí, na které se dělí klimatické oblasti. Tyto podoblasti tak charakterizují vláhovou bilanci České republiky. Vymezeno bylo celkem 5 podoblastí, a to suchá s indexem zavlažení pod –20, mírně suchá s indexem zavlažení od –20 do 0, mírně vlhká s indexem zavlažení od 0 do 60, vlhká s indexem zavlažení od 60 do 120 a velmi vlhká s indexem zavlažení nad 120 (Končeк et Petrovič, 1957). Pro rozšíření větrné eroze přicházejí v úvahu první tři jmenované podoblasti (Pasák et Janeček, 1971a).

Ohroženost půdy větrnou erozí

Stanovení potenciální ohroženosti území větrnou erozí je složitější než u eroze vodní. V literatuře se sice uvádí možné výpočty, jejich nevýhodou však je, že zpravidla vychází z jednotlivých činitelů podílejících se na vzniku větrné eroze.

Na vznik větrné eroze mají vliv dva základní faktory:

- faktory meteorologické – rychlost větru, doba jeho trvání a četnost výskytu,
- faktory půdní – struktura půdy a vlhkost půdy.

Větrná eroze je tedy ve výsledku závislá na třech hlavních klimatických (meteorologických) prvcích – větru, ovzdušných srážkách a teplotě vzduchu. Všechny tři uvedené klimatické prvky v sobě zahrnuje rovnice, kterou Chepil et al. (1962) nazval erozně klimatický faktor C. Erozně klimatický faktor tak vyjadřuje vliv průměrné vlhkosti půdního povrchu a průměrné rychlosti větru na průměrnou erodovatelnost půdy větrem.
Rovnice pro stanovení erozně klimatického faktoru v našich podmínkách byla upravena na následující tvar (4) (Dufková, 2004):

$$C = \frac{5620{,}23 \times v^3}{\left(I_Z + 183{,}59\right)^2} , \qquad (4)$$

kde v = průměrná roční rychlost větru ve výšce 10 m nad povrchem půdy ($m.s^{-1}$) a
I_Z = Končekův index zavlažení.

Různé druhy půd jsou i různě náchylné k větrné erozi. Největší erodovatelnost půdy větrem je u půd lehkých s obsahem jílovitých částic 0 až 20 %. Půdy s vyšším obsahem jílovitých částic jsou ohrožovány větrem již méně (Pasák et Janeček, 1971b). Proto podle závislosti erodovatelnosti

půdy na procentickém obsahu částic půdy < 0,01 mm odvozené Pasákem (1966), byly oblasti ohrožené větrnou erozí v České republice rozděleny do šesti stupňů, jak je znázorněno v Tab. 2 (Janeček, 1997). K vymezení oblastí byla použita mapa půdních druhů. Dělící hranicí bylo zvoleno kritérium mezi lehkými a středními půdami, tj. 20% obsah jílovitých částic (Pasák, 1970).

Tab. 2 Stupně pro hodnocení ohroženosti půd větrnou erozí (Janeček, 1997)
Tab. 2 Evaluation of soil threat by wind erosion (Janeček, 1997)

Stupeň ohrožení		Erozně klimatický faktor C	% I. kategorie půdních zrn (< 0,01 mm)
I.	bez ohrožení	< 20	> 30
II.	velmi slabé	20–40	> 30
III.	slabé	20–40	20–30
IV.	střední	20–40	0–20
		> 40	> 30
V.	silné	> 40	20–30
VI.	velmi silné	> 40	0–20

VÝSLEDKY A DISKUSE

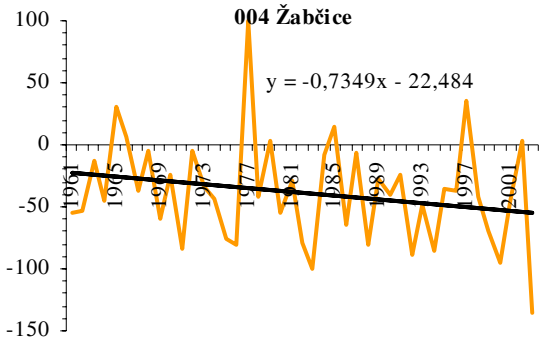
Končekův index zavlažení

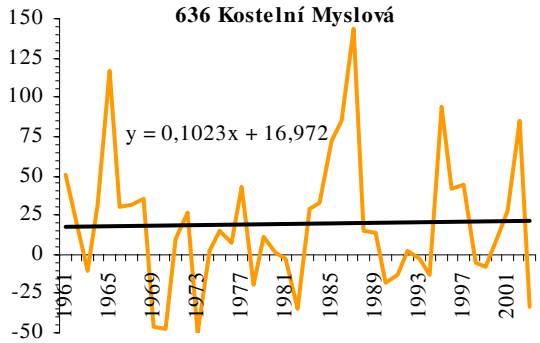
Končekův index zavlažení vypočítaný podle vzorce (2) jako průměr za vegetační období z časových řad 1961–2003, 1961–1990, 1991–2000 a 1971–2000 vykazuje zhruba u třetiny stanic pokles své hodnoty vůči hodnotě tabulkové, podle níž jsou stanice zařazeny do klimatických podoblastí (Tab. 3).

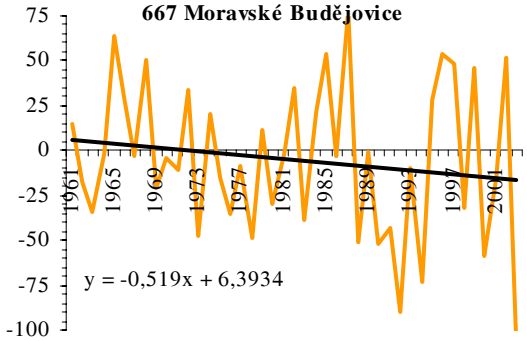
Spojnice trendu proložená grafy na Obr. 1 zachycuje trvalý směr a vývoj hodnot Končekova indexu zavlažení v průběhu období 1961–2003. Lineární trend tady znázorňuje celkovou klesající tendenci indexu zavlažení u všech stanic až na stanici Kostelní Myslová, Nedvězí a Kuchařovice, jejichž trend vzrůstá. Podobně je tomu v období 1961–1990. V období 1991–2000 naopak lineární trend u všech stanic s výjimkou stanice Nedvězí stoupá, jako důsledek vzrůstajícího trendu u úhrnů srážek v tomto období. Lineární trend Končekova indexu zavlažení za období 1971–2000 opět kopíruje trend srážek za toto období – u více jak poloviny stanic trend Končekova indexu zavlažení klesá. Klesající trend Končekova indexu zavlažení znamená snížení relativního zavlažení daného území a naopak.

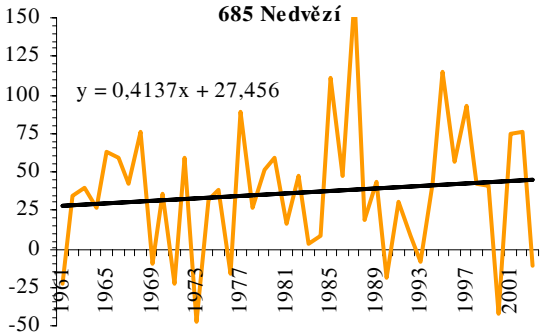
Tab. 3 Srovnání průměrných hodnot Končekova indexu zavlažení I_Z ze čtyř sledovaných období s hodnotami tabulkovými (změny označeny kurzívou)
Tab. 3 The Končeks humidity index I_Z comarisson from four investigated periods

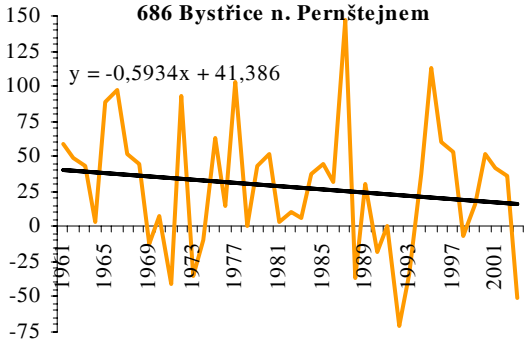
Stanice	Tabulkový I_Z	1961–2003	1961–1990	1991–2000	1971–2000
004	< –20	-38,7	-33,2	-48,9	-41,0
636	0–60	19,2	19,9	15,1	17,8
667	0–60	***-5,0***	***-0,5***	***-13,2***	***-7,4***
685	60–120	***36,6***	***35,1***	***37,8***	***36,3***
686	0–60	28,3	32,4	21,9	25,4
687	0–60	15,6	25,6	***-9,4***	8,9
698	< –20	-44,8	-45,4	-42,6	-47,5
716	0–60	47,2	55,3	31,0	46,4
723	–20–0	***-44,8***	***-40,2***	***-59,5***	***-49,4***
724	< –20	-38,7	-35,7	-51,7	-46,0
725	< –20	-38,9	-34,7	-44,9	-42,8
749	–20–0	-9,0	-2,4	-19,6	-11,5
754	–20–0	***-26,5***	***-21,5***	***-39,7***	***-32,1***
755	–20–0	***-26,3***	-16,2	***-47,6***	***-32,5***
774	0–60	15,2	14,8	19,0	11,9
777	60–120	73,3	78,8	66,3	73,3

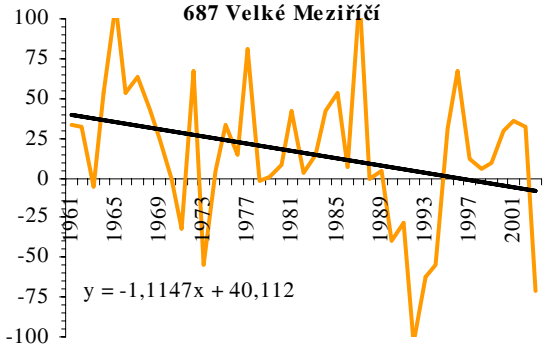

004 Žabčice
y = -0,7349x - 22,484

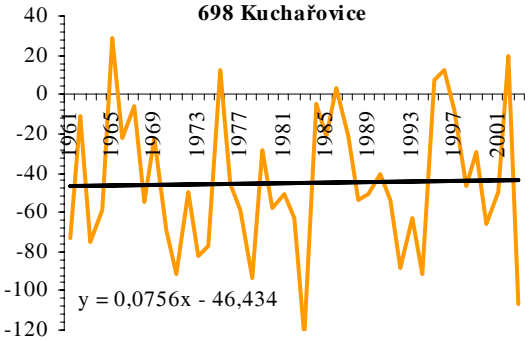

636 Kostelní Myslová
y = 0,1023x + 16,972

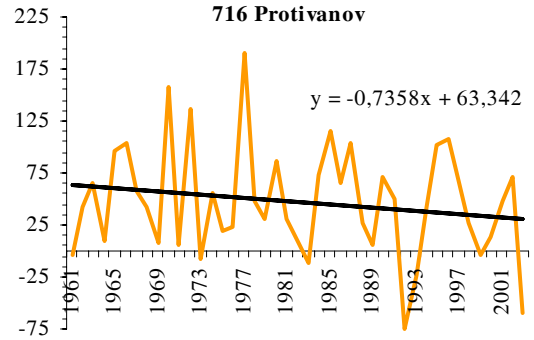

667 Moravské Budějovice
y = -0,519x + 6,3934

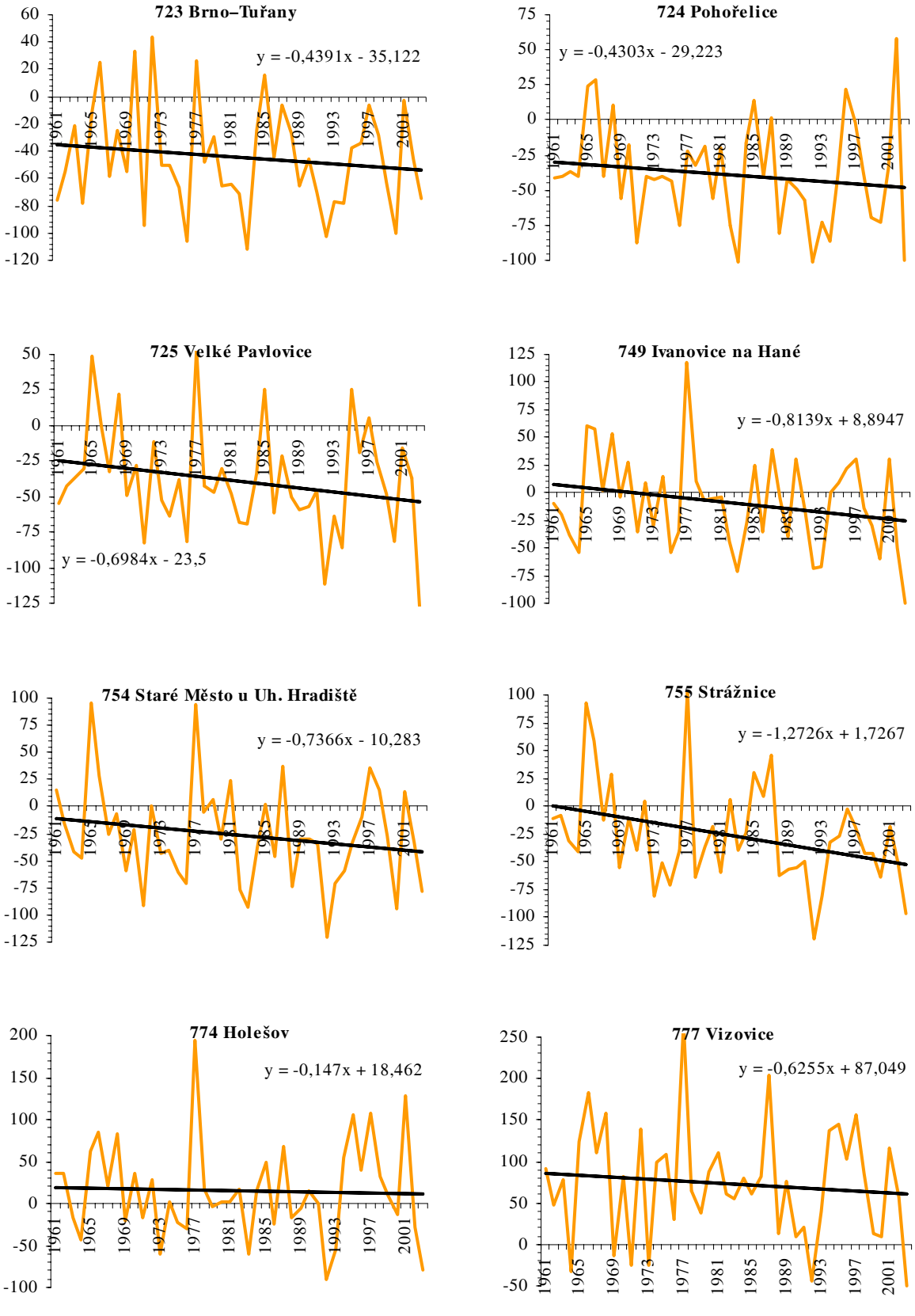

685 Nedvězí
y = 0,4137x + 27,456


686 Bystřice n. Pernštejnem
y = -0,5934x + 41,386


687 Velké Meziříčí
y = -1,1147x + 40,112


698 Kuchařovice
y = 0,0756x - 46,434


716 Protivanov
y = -0,7358x + 63,342



Obr. 1 Končekův index zavlažení I_Z a jeho lineární trend vypočítaný pro jednotlivé roky období 1961–2003
Fig. 1 The Končeks's humidity index I_Z and its linear trend for 1961 – 2003 period

Při posuzování síly vztahu mezi Končekovým indexem zavlažení a ostatními faktory potřebnými k jeho výpočtu (rychlost větru, množství srážek a teplota vzduchu) byla zjištěna velká až velmi vysoká závislost mezi indexem zavlažení a srážkami za vegetační období. Korelační koeficient se pro analyzované období 1961–2003 pohybuje v rozmezí 0,8335 u stanice Žabčice až po hodnotu 0,9564 u stanice Kuchařovice. Mezi ostatními faktory a indexem zavlažení již silnější závislost potvrzena nebyla.

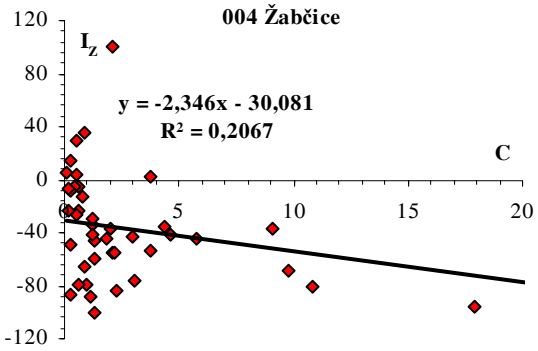
Ohroženost půdy větrnou erozí

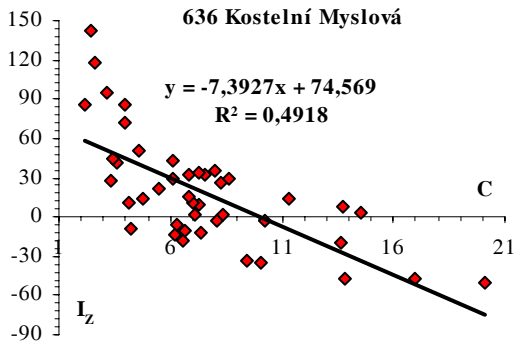
Hodnoty erozně klimatického faktoru vypočítané pro jednotlivé stanice podle vzorce (4) na základě průměrné roční rychlosti větru a Končekova indexu zavlažení sledují pomocí lineárního trendu změnu faktoru během období 1961–2003. U většiny stanic má lineární trend erozně klimatického faktoru vzrůstající tendenci, tedy teoreticky se v této oblasti během posledních 43 let zvýšilo potenciální ohrožení půdy větrnou erozí. Výrazné je toto především u stanice Velké Pavlovice, Brno-Tuřany a Staré město u Uherského Hradiště – stanic suchých s klesajícím trendem hodnot indexu zavlažení. U stanic vlhkých jako je Kostelní Myslová, Nedvězí a Vizovice trend erozně klimatického faktoru naopak klesá.

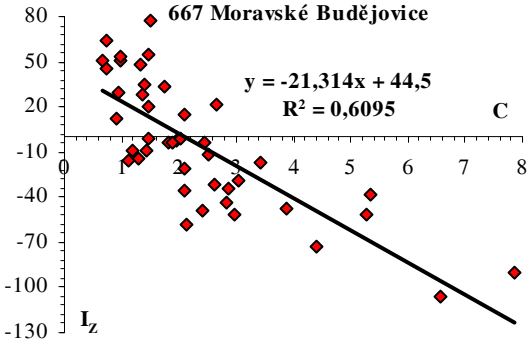
Lineární trend erozně klimatického faktoru v období 1961–1990 má u většiny stanic podobný vývoj jako v období 1961–2003. V období 1991–2000 však, až na stanici Velké Pavlovice, převažuje trend klesající, tzn. snižování potenciálního ohrožení půdy větrnou erozí. V období 1971–2000 trend u poloviny stanic klesá, u poloviny vzrůstá.

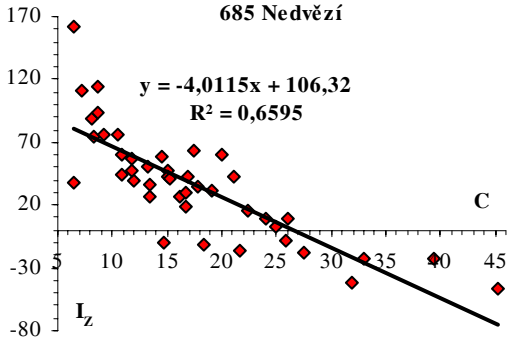
Oblast jižní Moravy patří k nejsušším v České republice, nicméně její západní část již spadá do klimaticky chladnější a vlhčí oblasti Českomoravské vysočiny (Červený et al., 1984). Z tohoto hlediska lze posuzované stanice rozdělit na stanice spadající do teplejší a sušší oblasti a stanice spadající do oblasti chladnější a vlhčí. Proto jsou také hodnoty erozně klimatického faktoru tak rozdílné u jednotlivých stanic.

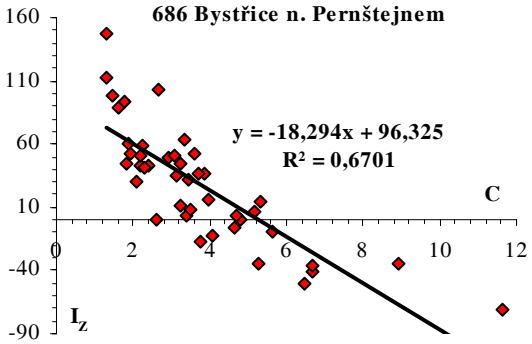
Vztah mezi erozně klimatickým faktorem, indexem zavlažení a průměrnou roční rychlostí větru vyjadřuje korelační závislost. Ta je vyšší ve vztahu erozně klimatický faktor – Končekův index zavlažení, koeficient korelace se pohybuje od 0,4546 u stanice Žabčice až po 0,8186 u stanice Bystřice nad Pernštejnem (Obr. 2). V obou případech jde o středně silnou závislost. Korelační koeficient mezi erozně klimatickým faktorem a průměrnou roční rychlostí větru je roven 0,2382 u stanice Holešov a dosahuje až hodnoty 0,7341 u stanice Pohořelice. Opět jde o volnou, středně silnou závislost.

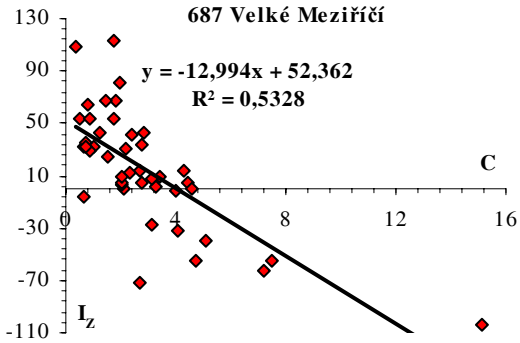


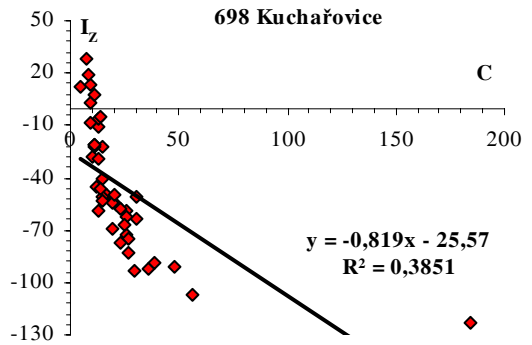


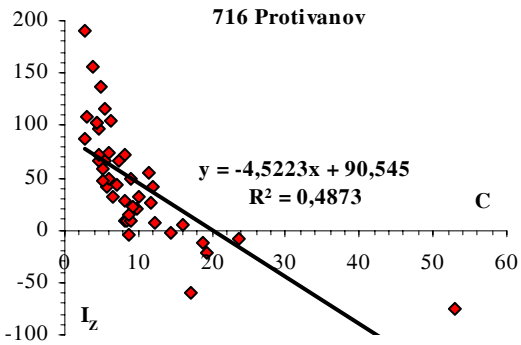

667 Moravské Budějovice
y = -21,314x + 44,5
R² = 0,6095
C
Iz

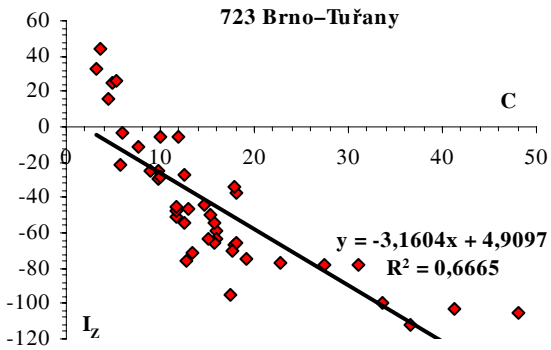

685 Nedvězí
y = -4,0115x + 106,32
R² = 0,6595
C
Iz

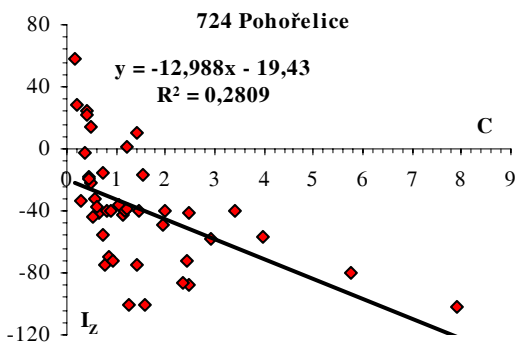

686 Bystřice n. Pernštejnem
y = -18,294x + 96,325
R² = 0,6701
C
Iz

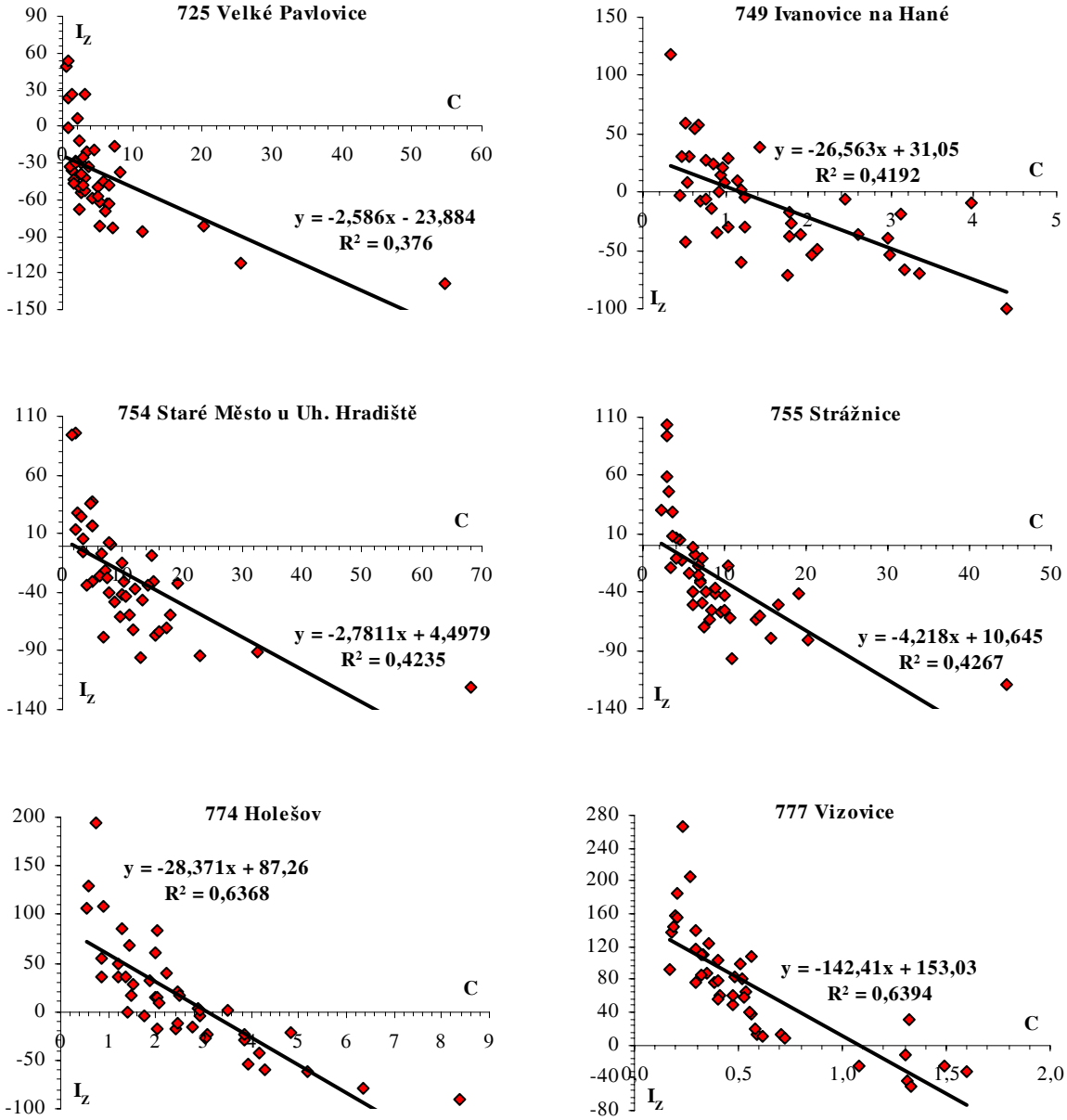

687 Velké Meziříčí
y = -12,994x + 52,362
R² = 0,5328
C
Iz


698 Kuchařovice
Iz
C
y = -0,819x - 25,57
R² = 0,3851


716 Protivanov
y = -4,5223x + 90,545
R² = 0,4873
C
Iz


723 Brno–Tuřany
C
y = -3,1604x + 4,9097
R² = 0,6665
Iz


724 Pohořelice
y = -12,988x - 19,43
R² = 0,2809
C
Iz



Obr. 2 Závislost mezi erozně klimatickým faktorem C a Končekovým indexem zavlažení I_Z za období 1961–2003

Fig. 2 Dependence between erosion-climatic factor C and Konček's humidity index I_Z for 1961 – 2003 period

Hodnota erozně klimatického faktoru vypovídá o potenciální erodovatelnosti půdy větrem. Dalším neméně významným faktorem je převažující druh půdy, tzn. zastoupení půdních částic I. zrnitostí kategorie (< 0,01 mm), který rozhoduje o stupni ohrožení zájmové oblasti větrnou erozí. Při hodnocení potenciální ohroženosti půd větrnou erozí je nutno zdůraznit, že záleží vždy především na konkrétních vlhkostních podmínkách v daném roce a na druhu půdy vyskytující se v dané oblasti. Podíváme-li se na maximální hodnoty erozně klimatického faktoru zjistíme, že téměř všechny stanice v suchých oblastech jsou v daném období ohroženy nejvyšším stupněm eroze (Tab. 4). Z tohoto důvodu, více než průměrné hodnoty klimatického faktoru, je lepší brát do úvahy jeho trend, který tak lépe vypovídá o vývoji potenciální ohroženosti dané oblasti v průběhu několika let (Dufková, 2004).

Tab. 4 *Potenciální ohroženost půd větrnou erozí na základě srovnání maximálních hodnot erozně klimatického faktoru a obsahu jílovitých částic v půdě (kurzívou značena ohroženost půd)*

Tab. 4 *Potential threaty of soil by wind erosion for maximum values of erosion-climatic factor C*

Stanice	I. zrn. kat. (%)	1961–2003	1961–1990	1991–2000	1971–2000
004	> 60	***51,3***	10,8	17,9	17,9
636	30–45	***20,1***	***20,1***	8,1	***20,1***
667	30–45	7,9	5,3	7,9	7,9
685	30–45	***45,2***	***45,2***	***31,9***	***45,2***
686	30–45	11,6	6,7	11,6	11,6
687	20–30	15,1	7,5	15,1	15,1
698	30–45	***184,6***	***184,6***	***48,1***	***184,6***
716	45–60	***52,8***	***23,7***	***52,8***	***52,8***
723	30–45	***48,1***	***48,1***	***41,4***	***48,1***
724	> 60	7,9	5,8	7,9	7,9
725	30–45	***54,8***	7,1	***25,6***	***25,6***
749	30–45	4,4	4,0	3,3	3,3
754	10–20	***68,1***	***32,6***	***68,1***	***68,1***
755	10–20	***44,6***	***20,1***	***44,6***	***44,6***
774	30–45	8,4	5,2	8,4	8,4
777	> 60	1,6	1,6	1,3	1,5

ZÁVĚR

Trend výskytu sucha byl stanoven na základě výpočtů Končekova indexu zavlažení z dat několika meteorologických stanic jižní Moravy. Téměř u všech stanic byl za sledované období 1961–2003 zjištěn klesající lineární trend hodnot Končekova indexu zavlažení, což ukazuje na snížení relativního zavlažení půdy ve vybraných oblastech.
Při posuzování síly vztahu mezi Končekovým indexem zavlažení a množstvím srážek byla zjištěna vysoká závislost zpracovávaných údajů.
Atmosférické srážky u většiny z posuzovaných stanic zaznamenávají za celkové sledované období 1961 až 2003 klesající trend. Hodnotíme-li však pouze normálové období 1971 až 2000 či poslední dekádu (1991–2000), trend průměrných ročních úhrnů srážek u všech sledovaných stanic roste. Výrazné jsou také pozorované změny v ročním chodu srážek. A právě tyto změny by mohly mít zásadní negativní vliv na ohroženost půdy větrnou erozí, především v jarním období.

Hodnoty erozně klimatického faktoru stanovené z Končekova indexu zavlažení během sledovaného období 1961 až 2003 rostou, což teoreticky znamená zvýšení potenciální ohroženosti půdy větrnou erozí. Rostoucí trend je nejvíce patrný u stanic v teplých, suchých oblastech.

Vlhkost půdy má zásadní vliv na intenzitu a rozšíření větrné eroze, a to zvláště v suchých oblastech jižní Moravy. Snížení hodnot Končekova indexu zavlažení a naopak růst erozně klimatického faktoru dává jasnou představu o vývoji ohroženosti půd sledovaných lokalit větrnou erozí.

Poděkování

Výsledky této práce jsou součástí řešení projektů NAZV č. QF3100 a NAZV č. 1R44027.

Literatura

ČERVENÝ, J. et al., 1984. *Podnebí a vodní režim ČSSR*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 416 s.

DUFKOVÁ, J., 2004. *Vliv klimatických podmínek na intenzitu a rozšíření větrné eroze*. Doktorská dizertační práce, MZLU v Brně, 162 s.

CHEPIL, W. S. – SIDDOWAY, F. H. – ARMBRUST, D. V., 1962. Climatic Factor for Estimating Wind Erodibility of Farm Fields. *Journal of Soil and Water Conservation*, no. 1, p. 162–165.

JANEČEK, M., 1997. Potenciální ohroženost půd České republiky vodní a větrnou erozí. *Vědecké práce VÚMOP Praha*, č. 9, s. 53–64. ISSN 1210-1672.

KONČEK, M., 1955. Index zavlaženia. *Meteorologické zprávy*, roč. 8, č. 4, s. 96–99.

KONČEK, M. – PETROVIČ, Š., 1957. Klimatické oblasti Československa. *Meteorologické zprávy*, roč. 10, č. 5, s. 113–119.

PASÁK, V., 1966. Struktura půdy a větrná eroze. *Vědecké práce VÚMOP Praha*, s.73–82.

PASÁK, V., 1970. *Wind Erosion on Soils*. Scientific Monographs. Praha: Výzkumný ústav meliorací, č. 3, 187 s.

PASÁK, V. – JANEČEK, M., 1971a. Použití klimatického faktoru pro hodnocení větrné eroze v ČSSR. *Meliorace*, roč. 44, č. 7, s. 113–118.

PASÁK, V. – JANEČEK, M., 1971b. Vliv klimatu na rozšíření větrné eroze v ČSSR. *Meteorologické zprávy*, roč. 24, č. 3–4, s. 67–69.

ROŽNOVSKÝ, J., 1999. *Klimatologie*. 1. vyd. Brno: MZLU v Brně. 146 s. ISBN 80-7157-419-8.

THORNTHWAITE, C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geografical Review*, p. 55–94.

Autoři: Ing. Jana Dufková, Ph.D., Ing. Milada Šťastná, Ph.D., Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Ústav aplikované a krajinné ekologie, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, tel. 00 420 545 132 472, janadufkova@email.cz

ROZDELENIE ÚZEMIA SLOVENSKA DO OBLASÍ NA ZÁKLADE TEPLOTNÝCH POMEROV

Katarína Mikulová

Teplota vzduchu je jedným z hlavných činiteľov určujúcich celkový ráz krajiny, preto sa vyhodnocuje v každom klimatickom popise. Teplotné pomery miesta ovplyvňuje viacero faktorov. V prvom rade zemepisná poloha, potom nadmorská výška a napokon orografické pomery. Táto práca prináša regionalizáciu nášho územia vzhľadom na teplotné pomery a počet pozorujúcich meteorologických staníc. Územie Slovenska bolo rozdelené na 5 oblastí. Pri rozdelení sa brali do úvahy všetky makroklimatické faktory ovplyvňujúce teplotu vzduchu. Vplyv mikroklímy a mezoklímy sa z dôvodu veľkopriestorového členenia zanedbával.

Kľúčové slová: teplota vzduchu, vertikálny teplotný gradient, horizontálny teplotný gradient, regionalizácia

Classification of the Slovak territory to the regions on the ground of the air temperature conditions. *Air temperature is one of determine factors of nature landscape pattern. Temperature characteristics of surface are influenced by several factors, particularly by geographic location, altitude and orography. This paper is about separation of Slovak territory to regions according to air temperature conditions and number of observed meteorological stations. Slovak territory was separating to 5 regions. This regionalization respects all macroclimatic factors which affect air temperature. Microclimate and mezoclimate factors have been ignored, because we have considered large-scale classification.*

Key words: air temperature, vetical temperature gradient, horizontal temperature gradient, classification

---

FAKTORY OVPLYVŇUJÚCE TEPLOTU VZDUCHU NA SLOVENSKU

Makroklimatické faktory

Teplotu vzduchu na Slovensku ovplyvňuje viacero faktorov. Slovensko sa nachádza v prechodnom type mierneho pásma, pričom na západe a severozápade republiky sa viac uplatňuje vplyv Atlantického oceánu, na juhu a východe vplyv Stredomoria a kontinentu Eurázie (Lapin, M., Tomlain, J.; 2001). Ročná amplitúda teploty vzduchu pri postupe do vnútrozemia Eurázie, zo západu na východ, rastie a priemerná ročná teplota vzduchu sa zmenšuje. Naše zimy zmierňuje vplyv oceánu a Stredozemného mora, v lete sa viac prejavuje vplyv kontinentu Eurázie. (Kol. autorov; 1969).

Vplyv vzdialenosti od Atlantického oceánu môžeme vyjadriť indexom kontinentality. Ak použijeme pre výpočet Gorczynského index kontinentality (Chromov, S.P.; 2001):

$$k = \frac{1{,}7A}{\sin\varphi} - 20{,}4 \ ; \qquad (1)$$

kde A je ročná amplitúda teploty vzduchu a φ je zemepisná šírka, tak na území Slovenska tento index rastie zo západu na východ (napríklad: k_{Myjava} =26; $k_{\text{Vysoká nad Uhom}}$=32).

Ďalším faktorom ovplyvňujúcim teplotu vzduchu je nadmorská výška. Naša krajina je špecifická tým, že na relatívne malom území máme pomerne rozsiahlu škálu nadmorských výšok. Nachádzajú sa tu miesta s nadmorskou výškou od 94 m n. m. (hladina rieky Bodrog na hranici s Maďarskom) aj vysoké pohoria do 2655 m n. m. (Gerlachovský štít). Teplota vzduchu s rastúcou nadmorskou výškou klesá. Na území Slovenska klimatický vertikálny gradient teploty vzduchu dosahuje v priemere 0,3 °C na 100 m výšky v zimných mesiacoch a okolo 0,7 °C na 100 m v mesiacoch apríl až september. (Lapin, M., Tomlain, J.; 2001).

Okrem vertikálneho gradientu teploty vzduchu sa v prízemnej vrstve atmosféry objavuje aj horizontálny gradient, ktorého veľkosť a smer ukazujú na možnosť doplnkových vplyvov na teplotné pomery danej oblasti. Vo všeobecnosti by mal korešpondovať s gradientom radiačnej bilancie, teda v smere zmenšujúcej sa zemepisnej šírky. Táto závislosť je však modifikovaná aj inými vplyvmi: rozložením pevnín a oceánov, prevládajúcom atmosférickým prúdením, orografiou, vodnými plochami, vegetáciou a ďalšími (Lapin, M., Tomlain,J.; 2001).

Mezoklimtické a mikroklimatické faktory

Pod slovom mikroklíma rozumieme miestne zvláštnosti klímy, ktoré sa podstatne menia už na malé vzdialenosti. Mikroklimatické rozdiely závisia od rozdielov v zložení a vlastnostiach zemského povrchu. Veľký význam tu zohráva expozícia daného povrchu na svetové strany, nerovnosti mikroreliéfu, vlhkosť pôdy, zvláštnosti rastlinnej pokrývky. (Chromov, S.P.; 2001).

Keďže naša staničná sieť slúži aj na výskum mikroklimatických a mezoklimatických zvláštností, zahŕňa aj stanice, ktoré sú ovplyvnené mikroklímou daného miesta. Najčastejšie ide o teplé južné svahy, relatívne studené kotliny, stanice ovplyvnené mestskou mikroklímou.

METODIKA

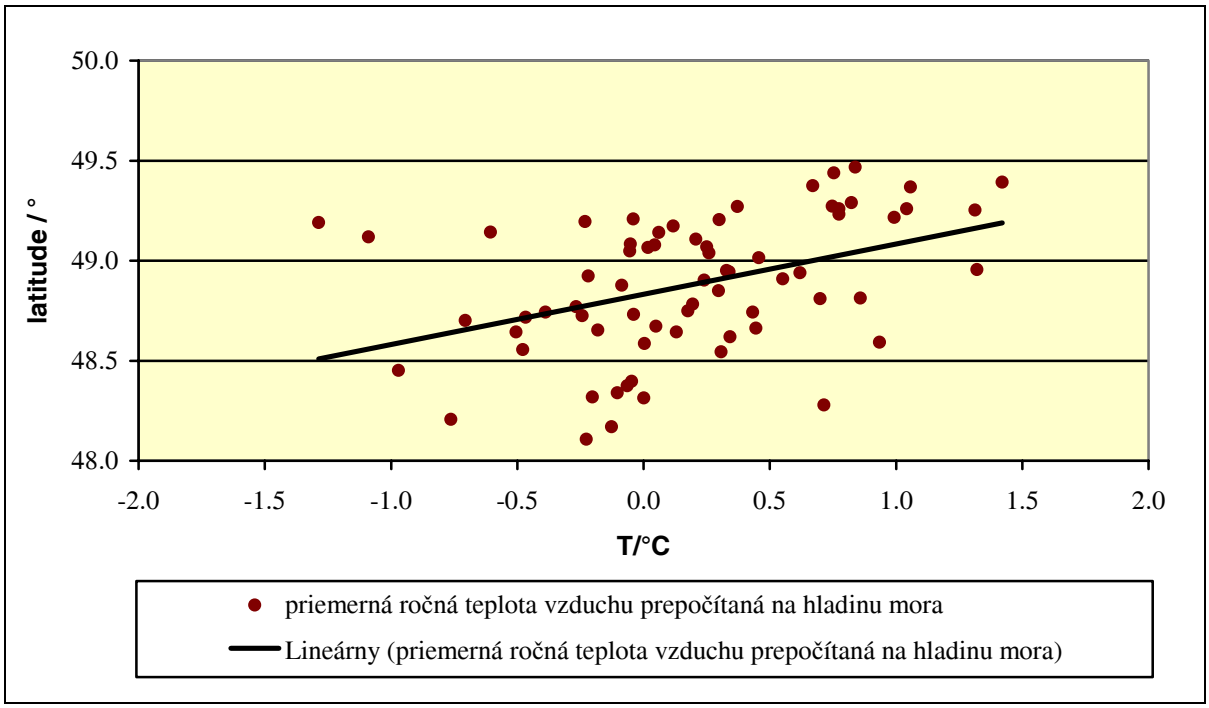
Rozdelenie územia Slovenska do oblastí na základe teplotných pomerov

Údaje priemernej dennej teploty vzduchu použité v tejto práci sú z klimatologickej a meteorologickej databázy KMIS. Namerané boli v sieti meteorologických staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu. Prešli štandardnou revíziou, kompletnou kontrolou a verifikáciou údajov. Keďže ide o normály 1961 – 1990, mesačné údaje prešli procesom homogenizácie.

Do spracovania vstupovalo 93 meteorologických staníc. Tieto stanice boli zatriedené podľa príslušnosti k jednotlivým geomorfologickým celkom (príloha 1). Prvotnou myšlienkou rozdelenia staníc bola hypotéza, že pre všetky stanice ležiace vo vybranom regióne je úzky regresný vzťah medzi teplotou vzduchu a nadmorskou výškou.. Jednotlivé pohoria však neboli dostatočne zastúpené počtom staníc, preto sa geomorfologické celky združovali do väčších územných formácií, ktoré sa potom nazvali teplotné oblasti. Pod týmto pojmom sa rozumie skôr oblasť s charakteristickým priebehom teploty vzduchu.

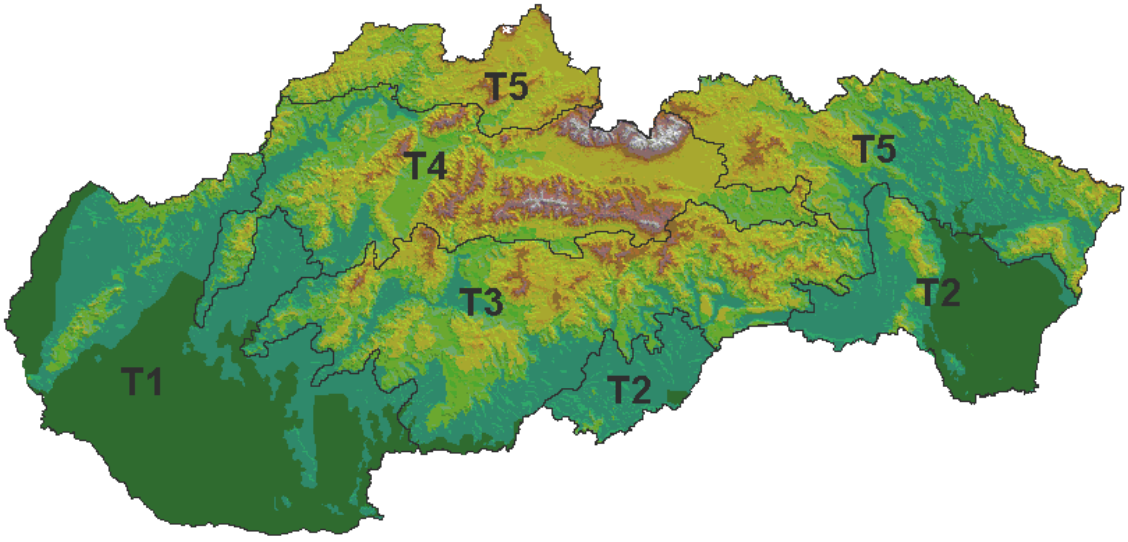
Ako prvý sa zobral do úvahy fakt, že Slovensko sa nachádza v prechodnom type mierneho pásma, z čoho vyplýva, že západ krajiny je viac pod vplyvom Atlantického oceánu. Prvú oblasť (T1) teda tvorí Podunajská nížina, Borská nížina, Malé Karpaty, Myjavská pahorkatina, Dolnomoravský úval a západná časť Bielych Karpát a Považského podolia. V tejto oblasti sa stráca zonálnosť rozloženia teploty vzduchu, pretože vplyv Atlantického oceánu túto závislosť teploty vzduchu od zemepisnej šírky eliminuje.

Pre ostatné územie Slovenskej republiky, ktoré už nie je pod takým výrazným vplyvom Atlantického oceánu, sa zvolilo rozdelenie na základe zonality vzhľadom na meridionálny gradient, ktorý je závislý od radiačnej bilancie. Vo všeobecnosti, ak neuvažujeme vplyv orografie a prúdenia, sa radiačná bilancia smerom k rovníku zvyšuje. Navyše všeobecná cirkulácia vzduchu v našich zemepisných šírkach má tiež zonálny charakter, ktorý závisí zase od zonálnosti rozloženia teploty vzduchu (Chromov, S.P.; 2001). Závislosť teploty vzduchu na našom území (okrem oblasti T1) od zemepisnej šírky je znázornená na obr. 1. Použité boli ročné priemery teploty vzduchu prepočítané na hladinu mora.



Obr. 1 Závislosť teploty vzduchu od zemepisnej šírky

Na tomto základe sa táto časť územia Slovenska rozdelila na ďalšie štyri oblasti.
Prvú oblasť (T2) tvorí Východoslovenská nížina, Zemplínske a Slanské vrchy, Košická kotlina, Cerová vrchovina, Lučenecká kotlina, Rimavská kotlina a Bodvianska pahorkatina.
Druhú oblasť (T3) tvorí celé Slovenské rudohorie s Slovenské stredohorie.
Tatransko-Fatranská oblasť, okrem Malých Karpát a Tríbeča, tvorí ďalšiu oblasť (T4). K tejto skupine sa pridala ešte aj východná časť Považského Podolia a Bielych Karpát.
Ostatné pohoria tvoria poslednú, štvrtú oblasť (T5). Patria sem Vihorlatské vrchy, Nízke Beskydy, Východné, Stredné a Západné Beskydy, Poloniny, Podhôľno - magurská oblasť a Javorníky.
Rozdelenie územia na tieto oblasti je na obrázku 1.



Obr. 1 Rozdelenie Slovenska na teplotné oblasti podľa priebehu teploty vzduchu s nadmorskou výškou

VÝSLEDKY

Závislosť teploty vzduchu od nadmorskej výšky v jednotlivých oblastiach

Teplota vzduchu s rastúcou nadmorskou výškou klesá. Vo všetkých piatich vymedzených oblastiach je táto závislosť lineárna s vysokými korelačnými koeficientmi (Tab. 1). Výnimku tvoria iba zimy, kde vplyvom kontinentality a inverzií je tento trend menej výrazný a teda aj korelačné koeficienty sú nižšie.

Tab. 1 Korelačné koeficienty teploty vzduchu a nadmorskej výšky za jednotlivé mesiace pre vyčlenené teplotné oblasti

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
T1	0.74	0.80	0.76	0.98	0.99	0.99	0.98	0.98	0.99	0.94	0.92	0.92	0.94
T2	0.84	0.91	0.98	0.98	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	0.97	0.98	0.98	0.97
T3	0.67	0.93	0.98	0.98	1.00	1.00	0.99	0.98	0.99	0.99	0.95	0.97	0.94
T4	0.90	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.98	0.98
T5	0.64	0.87	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.96	0.96	0.89

Sklon priamok lineárnych trendov teploty vzduchu s nadmorskou výškou je v jednotlivých mesiacoch rôzny, pričom najmä v chladnom polroku sa prejavujú väčšie rozdiely medzi jednotlivými teplotnými oblasťami (príloha 2). Z tohto dôvodu je aj vertikálny klimatický pseudogradient γ v každej oblasti iný (Tab. 2). V tabuľke 2 je pre porovnanie uvedený aj klimatický pseudogradient pre celé Slovensko v jednotlivých mesiacoch a pre rok.

Tab. 2 Klimatický vertikálny pseudogradient γ pre jednotlivé mesiace

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
SR	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5
T1	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4
T2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5
T3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
T4	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.5
T5	0.2	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.5

Teplotné pomery v jednotlivých oblastiach

Vymedzené teplotné oblasti sa od seba líšia. Reliéf je v každej z nich iný. Kým v oblastiach T1 a T2 prevládajú nížiny (do 200 m n. m.), v ostatných troch oblastiach menšiu nadmorskú výšku ako 200 m n. m. ani nenájdeme. Tomu sú podriadené aj teplotné pomery daných oblastí. Pre každú oblasť vyberieme jednu charakteristickú stanicu a jednu stanicu, ktorá má nadmorskú výšku okolo 250 m n. m., aby sme mohli porovnať teplotné rozdiely medzi jednotlivými oblasťami.

Ako základné charakteristiky teplotných pomerov sa zvolili priemerné teploty vzduchu za normálové obdobie 1961 – 1990 v jednom zimnom mesiaci (január), letnom mesiaci (júl), ročná amplitúda (A) teploty a priemerné teploty vzduchu pre chladný, teplý polrok a rok. V tabuľke 3 sú uvedené tieto charakteristiky pre vybrané stanice reprezentujúce danú oblasť. Pri každej stanici je uvedená aj nadmorská výška, v ktorej sa nachádza.

Tab. 3 teplotné charakteristiky vybraných reprezentatívnych staníc z vyčlenených teplotných oblastí

Oblasť	Stanica	Nadm. Výška	$T_{január}$	$T_{júl}$	A	T_{chp}	T_{tp}	T_{rok}
		m n.m.	°C	°C	°C	°C	°C	°C
T1	Hurbanovo	115	-1.5	20.2	21.8	3.3	16.7	10.0
T2	Michalovce	111	-3.2	19.5	22.7	2.1	16.0	9.1
T3	Sliač	313	-3.9	18.3	22.2	1.3	14.8	8.0
T4	Liptovský Hrádok	640	-4.8	15.9	20.7	-0.2	12.6	6.2
T5	Oravská Lesná	780	-5.6	14.1	19.7	-1.4	10.7	4.6

Tabuľka 3 už naznačuje rozdielne teplotné pomery vo vyčlenených oblastiach. Pri porovnaní staníc s malým rozdielom v nadmorských výškach sa rozdiely v teplotných charakteristikách ešte kvalitatívne umocnia, pretože sa odstráni vplyv nadmorskej výšky. Pre tento účel sme zvolili stanice: Bratislava - Koliba, Košice - letisko, Beluša, Žiar nad Hronom a Medzilaborce.

Tab. 4 Teplotné charakteristiky vybraných staníc s porovnateľnou nadmorskou výškou z vyčlenených oblastí

Oblasť	Stanica	Nadm. Výška	$T_{január}$	$T_{júl}$	A	T_{chp}	T_{tp}	T_{rok}
		m n.m.	°C	°C	°C	°C	°C	°C
T1	Bratislava - Koliba	286.00	-2.0	19.5	21.5	2.8	16.0	9.4
T2	Košice - letisko	230.00	-3.5	19.0	22.5	1.6	15.5	8.6
T3	Beluša	254.00	-2.5	17.9	20.4	2.2	14.7	8.5
T4	Žiar nad Hronom	275.00	-3.1	18.3	21.3	1.9	14.9	8.4
T5	Medzilaborce	305.00	-4.6	16.8	21.4	0.4	13.4	6.9

Z tabuľky 3 a 4 je zrejmá výnimočnosť oblasti T1 oproti ostatnému územiu. Teploty v zime sú tu najmiernejšie a júlové teploty najvyššie. Taktiež priemery teploty vzduchu za chladný, teplý polrok a rok sú výrazne vyššie oproti ostatným oblastiam. Pri ostatných teplotných oblastiach sa prejavuje zonálny charakter teploty vzduchu. V oblastiach od T2 do T5 postupne klesá priemerná ročná teplota vzduchu, zimy aj letá sú na severe chladnejšie ako na juhu.

Špecifiká niektorých meteorologických staníc

Správnosť metódy sa preverila tak, že v jednotlivých mesiacoch a na jednotlivých meteorologických staniciach sa teplota vzduchu prepočítala v rámci regiónov na hladinu mora. V tomto prípade by sa teplota vzduchu na všetkých staniciach mala pohybovať okolo nejakej konštantnej hodnoty. Niektoré meteorologické stanice však vykazovali výrazne vyššiu alebo výrazne nižšiu teplotu vzduchu ako ostatné (Obr. 2).



Obr. 2 : Teplejšie a chladnejšie stanice vzhľadom k okoliu

Tieto rozdiely boli očividné v letných aj zimných mesiacoch. Tento jav je dôsledkom mikroklimatických a mezoklimatických podmienok regiónu, kde sa stanica nachádza. Pri teplejších staniciach ide predovšetkým o teplé zóny južných svahov (Orechová, Skalnaté Pleso). Ako studené sa zase javia stanice, ktoré reprezentujú uzavreté kotliny (napríklad Spišské Vlachy) a vrcholové stanice (Chopok). Odchýlku od priemeru však mohlo spôsobiť aj to, že stanica sa nachádza na hranici dvoch regiónov. Takou typickou stanicou je Trenčín, ktorý svojimi teplotnými charakteristikami, a aj

polohou, je na rozhraní medzi oblasťou T1 a T4. Oproti oblasti T1 je táto stanica chladnejšia, ale na začlenenie do oblasti T4 je príliš teplá. Ďalšie anomálne správanie sa teploty vzduchu na staniciach má na svedomí mikroklíma. Umiestnenie stanice vo vinohrade, parku alebo v zastavanej zóne spôsobuje, že meteorologická stanica reprezentuje iba úzke okolie, ale pri hodnotení makroklimatických pomerov je nepoužiteľná.

ZÁVER

Rozdelenie Slovenska do regiónov podľa teplotných pomerov má veľký význam pri ďalších klimatických analýzach. Pri interpolácii teploty vzduchu sa vyžíva prevažne vertikálna závislosť od nadmorskej výšky, pričom sa neberú do úvahy ďalšie časové a priestorové závislosti tohto prvku. Táto práca mala rozdeliť územie na menšie celky preto, aby sa vertikálny teplotný gradient využívaný pri interpolácii teploty vzduchu čo najlepšie približoval ku skutočnosti. Podľa stanovenej metodiky bolo Slovensko rozdelené do teplotných oblastí. Rozdelenie sa robilo vzhľadom na geomorfologické členenie Slovenska a úzky regresný vzťah medzi nadmorskou výškou a teplotou vzduchu. Pri regionalizácii sa muselo brať do úvahy aj zastúpenie oblasti meteorologickými stanicami. Najmä v hornatých častiach územia máme málo meteorologických staníc. Sieť observatórií tak nezachytáva všetky zvláštnosti regiónov. Aj táto práca sa zamerala len na hrubé rozčlenenie republiky, pretože na jemnejšie rozdelenie nie sú dostatočné údaje.

Literatúra

Guide to climatological practices (1983), WMO, Geneva.

Chromov, S.P. (1968): Meteorológia a klimatológia, Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied v Bratislave.

Kol. autorov (1966): Klimatické a fenologické pomery Východoslovenského kraja, Hydrometeorologický ústav Praha

Kol. autorov (1968): Klimatické a fenologické pomery Západoslovenského kraja, Hydrometeorologický ústav Praha.

Kol. autorov (1969): Podnebí Československé socialistické republiky, Souborná studie, Hydrometeorologický ústav Praha.

Kol. autorov (1972): Klimatické a fenologické pomery Stredoslovenského kraja, Hydrometeorologický ústav Bratislava.

Kol. autorov (1990): Klimatické pomery Slovenska, mapová časť, Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu, zväzok 33/II, Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, Alfa Bratislava.

Kol. autorov (2002): Atlas krajiny, Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, Slovenská agentúra životného prostredia Bratislava.

Král, V. (2001): Fyzická geografie Evropy, Nakladatelství Akademie vied České republiky, Academia Praha.

Lapin, M., Faško, P., Kveták, Š. (1988): Klimatické normály, Metodický predpis SHMÚ 3 – 09 – 1/1, SHMÚ BratislavaLapin, M., Melo, M.: Zmeny a variabilita klímy, scenáre zmeny klímy. Živ. Prostr., XXXIV, 2, 2000, 69-74.

Lapin, M., Faško, P., Melo, M., Šťastný, P., Tomlain, J. (2002): Klimatické oblasti (M 1:1 000 000), In: Atlas krajiny Slovenskej republiky, IV Prvotná krajinná štruktúra. Bratislava, Banská Bystrica, MŽP SR, SAŽP

Lapin, M., Faško, P., Melo, M., Šťastný, P., Tomlain, J. (2002): Končekov index zavlaženia (graf), Priemerné úhrny zrážok a relatívnej evapotranspirácie za apríl až september (graf), Priemerná teplota vzduchu za január (graf), Priemerná teplota vzduchu za apríl až september (graf),In: Atlas krajiny Slovenskej republiky, IV Prvotná krajinná štruktúra. Bratislava, Banská Bystrica, MŽP SR, SAŽP

Lapin, M., Tomlain, J. (2001): Všeobecná a regionálna klimatológia, VydavateľstvoUK, Univerzita Komenského v Bratislave.

Sternová, Z., Rakovský, Š. (2002): Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov. Tepelná ochrana budov. Časť 1: Terminológia. STN 73 0540-1, SÚTN

Sternová, Z., Rakovský, Š. (2002): Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov. Tepelná ochrana budov. Časť 2 Funkčné požiadavky. STN 73 0540-2, SÚTN

Šťastný, P., Faško, P., Sekáčová, Z., Novotná, K., Dziubanová, A. (2004): Upresnenie priemerných mesačných výpočtových teplôt, Záverečná správa úlohy výskumu a vývoja štátneho programu S 00065 –PPŠP-2/2003 Vplyv stavebných materiálov a konštrukcií na Kvalitu života, podetapa 3.01.01, VVÚPS-Nova, Bratislava.

Šťastný, P., Sternová, Z., Lapin, M. (2004): DÔSLEDKY KLIMATICKEJ ZMENY NA VYKUROVANIE. Život. Prostr., Vol. 38, No. 5, 250-256.

Autor

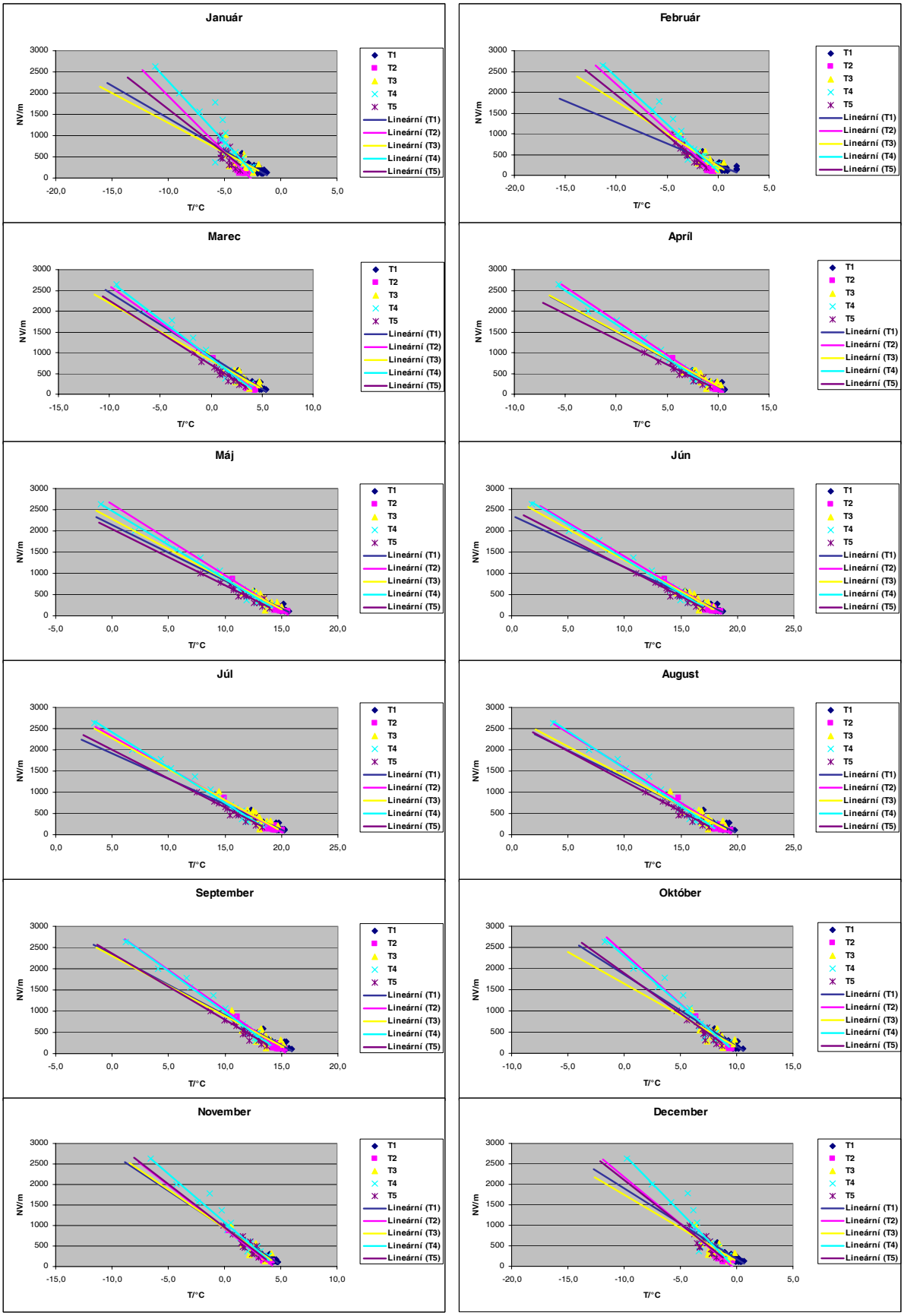
Katarína Mikulová, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava,
katarina.mikulova@shmu.sk

Príloha.1 Zatriedenie meteorologických staníc do jednotlivých geomorfologických oblastí

Stanica	Geomorfologická jednotka	zem. š	zem. d	n. v.
		°	°	m n.m.
Banská Bystrica	Zvolenská kotlina	48,743	19,150	405
Banská Bystrica - Trosky	Zvolenská kotlina	48,731	19,122	355
Banská Štiavnica	Štiavnické vrchy	48,452	18,910	600
Bardejov	Ondavská vrchovina	49,289	21,274	305
Beluša	Považské podolie	49,066	18,318	254
Bratislava - Koliba	Malé Karpaty	48,169	17,111	286
Bratislava - Letisko	Poddunajská rovina	48,172	17,200	133
Brezno	horehronské podolie	48,809	19,621	497
Bystrička	Turčianska Kotlina	49,048	18,876	470
Bzovík	Krupinská planina	48,319	19,094	355
Čadca	Turzovská vrchovina	49,439	18,775	423
Čaklov	Východoslovenská pahorkatina	48,908	21,624	140
Červený Kláštor	Pieniny	49,392	20,427	465
Číž	Juhoslovenská kotlina	48,313	20,281	174
Dolné Plachtince	Juhoslovenská kotlina	48,207	19,320	228
Dolný Hričov	Súľovské vrchyJavorníky	49,232	18,618	309
Dolný Kubín	Oravská vrchovina	49,208	19,302	507
Dubník	Slanské vrchy	48,923	21,463	875
Dudince	Poddunajská pahorkatina	48,169	18,876	139
Gabčíkovo	Poddunajská rovina	47,895	17,597	114
Habovka	Podtatranská brázda	49,271	19,609	745
Hurbanovo	Poddunajská pahorkatina	47,873	18,194	115
Chopok	Nízke Tatry	48,944	19,592	2005
Jakubovany	Spišsko-šarišské medzihorie	49,108	21,138	398
Jaslovské Bohunice	Poddunajská pahorkatina	48,487	17,671	176
Kamenica n/ Cirochou	Beskydské predhorie	48,939	22,006	176
Košice - letisko	Košická kotlina	48,672	21,222	230
Košice - mesto	Košická kotlina	48,725	21,265	203
Kráľová pri Senci	Poddunajská rovina	48,201	17,464	123
Krížna	Veľká Fatra	48,877	19,079	1570
Kuchyňa	Borská nížina	48,401	17,148	206
Liptovská Osada	Veľká Fatra	48,950	19,216	605
Liptovský Hrádok	Podtatranská kotlina	49,039	19,725	640
Liptovský Mikuláš	Podtatranská kotlina	49,083	19,606	575
Lom nad Rimavicou	Veporské vrchy	48,644	19,651	1018
Lomnický štít	Tatry	49,195	20,215	2635
Lučenec - Boľkovce	Juhoslovenská kotlina	48,339	19,736	214
Malacky	Borská nížina	48,452	17,033	165
Malý Čepčín	Turčianska Kotlina	48,903	18,840	462
Malý Javorník	Malé Karpaty	48,256	17,154	586
Medzilaborce	Laborecká vrchovina	49,253	21,914	305
Michalovce	Východoslovenská rovina	48,749	21,947	111
Milhostov	Východoslovenská rovina	48,663	21,724	105
Mochovce	Poddunajská pahorkatina	48,284	18,474	206
Moldava n/ Bodvou	Košická kotlina	48,782	21,001	210
Muráň	Muráňska planina	48,742	20,050	394
Myjava	Myjavská pahorkatina	48,762	17,578	375
Nitra	Poddunajská pahorkatina	48,442	18,369	294
Nová Baňa	Vtáčnik	48,279	18,138	135

Stanica	Geomorfologická jednotka	zem. š	zem. d	n. v
		°	°	m n.m.
Nové Mesto nad Váhom	Poddunajská pahorkatina	48,771	17,837	192
Nový Tekov	Poddunajská pahorkatina	48,429	18,634	285
Oravská Lesná	Podbeskydská vrchovina	49,368	19,183	780
Orechová	Východoslovenská pahorkatina	48,700	22,231	140
Pezinok, Slovenský Grob	Poddunajská pahorkatina	48,276	17,251	150
Piešťany	Poddunajská pahorkatina	48,613	17,833	163
Plaveč	Spišsko-šarišské medzihorie	49,260	20,846	485
Podbanské	Tatry	49,140	19,911	972
Podhájska	Poddunajská pahorkatina	47,764	18,480	106
Podolínec	Popradská kotlina	49,259	20,533	570
Pohronský Ruskov	Poddunajská pahorkatina	48,252	18,516	168
Poprad	Podtatranská kotlina	49,069	20,246	694
Prešov	Košická kotlina	49,015	21,260	250
Prievidza	Hornonitrianska kotlina	48,770	18,594	260
Rabča	Podbeskydská vrchovina	49,467	19,486	642
Ratková	Stolické vrchy	48,592	20,100	287
Rimavská Sobota	Juhoslovenská kotlina	48,374	20,011	215
Rožňava	Rožňavská kotlina	48,653	20,538	318
Ružomberok	Podtatranská kotlina	49,079	19,308	471
Senica	Chvojnická pahorkatina	48,671	17,374	218
Silica	Slovenský kras	48,555	20,527	541
Skalnaté Pleso	Tatry	49,190	20,236	1778
Sliač	Zvolenská kotlina	48,643	19,142	313
Somotor	Východoslovenská rovina	48,396	21,811	100
Spišské Vlachy	Hornádska kotlina	48,955	20,794	388
Starý Smokovec	Podtatranská kotlina	49,142	20,211	1070
Štós	Volovské vrchy	48,717	20,801	575
Štrbské Pleso	Podtatranská kotlina	49,119	20,061	1360
Štúrovo	Poddunajská pahorkatina	47,969	18,649	131
Švedlár	Volovské vrchy	48,813	20,690	530
Tatranská Javorina	Podtatranská brázda	49,272	20,135	1030
Tatranská Lomnica	Podtatranská kotlina	49,173	20,299	832
Telgárt	Horehronské podolie	48,849	20,189	901
Tisinec	Ondavská vrchovina	49,216	21,650	216
Topoľčany	Poddunajská pahorkatina	48,565	18,155	174
Trenčín	Považské podolie	48,904	17,994	203
Trstená	Oravská kotlina	49,374	19,560	598
Veľké Ripňany	Poddunajská pahorkatina	48,511	17,991	188
Vígľaš	Zvolenská kotlina	48,544	19,322	368
Vysoká nad Uhom	Východoslovenská rovina	48,619	22,117	105
Žiar nad Hronom	Žiarska kotlina	48,586	18,852	275
Žihárec	Poddunajská rovina	48,066	17,869	111
Žikava	Tríbeč	48,107	18,339	140
Žilina	Žilinská vrchovina	49,205	18,747	365

Príloha 2 Závislosť teploty vzduchu od nadmorskej výšky v jednotlivých oblastiach



EXTREMITA METEOROLOGICKÝCH PRVKŮ JAKO PREKURZOR VZNIKU DEŠŤOVÝCH POVODNÍ V ČR

Miloslav Müller, Marek Kašpar

Výskyt silných srážek trvalého charakteru je silně podmíněn synoptickou situací. V případě extrémních dešťových povodní, jaké postihly mj. povodí Vltavy a dolního Labe v srpnu 2002, tak lze předpokládat i výskyt extrémních hodnot meteorologických prvků, které se vznikem srážek souvisejí. Podrobným studiem reanalýz meteorologických dat za období 1958 – 2002, čerpaných z databáze ERA-40, byly v době před vybranými dešťovými povodněmi v ČR zjištěny značně extremní hodnoty některých meteorologických prvků v určitých oblastech Evropy. Z tohoto hlediska se jako nejvhodnější ukázala skupina veličin, které popisují přenos vlhkosti. Bylo poukázáno na existenci víceméně souvislého systému mimořádně mohutného toku vlhkosti kolem „srážkotvorné" cyklony, jehož počátek je nutné hledat již nad Atlantským oceánem. V době vypadávání srážek se pak v oblasti ČR vyskytovaly mimořádně vysoké hodnoty konvergence vlhkosti a v souvislosti s vypadáváním srážek i výrazné sestupné pohyby vzduchu. Podstatným aspektem je také vícedenní přítomnost anomálií v uvedeném prostoru. V současnosti jsou dále studovány možnosti využití těchto poznatků pro určení nebezpečnosti synoptické situace z hlediska povodňového rizika v ČR.

Klíčová slova: extremita, dešťová povodeň, tok vlhkosti, předpověď povodní

***The extremity of meteorological quantities as a precursor of rain flood emergence in the Czech Republic**. The occurrence of heavy continuous precipitation is strongly influenced by the synoptic situation. When extreme rain floods arise like those in August 2002 that affected e.g. the Vltava and Labe river basins, there can be also expected the presence of extreme values of those meteorological quantities, which are connected with precipitation onset. A detailed research was made with the aid of the European data reanalyses database ERA-40 from the period of 1958 – 2002 when extreme values of some meteorological quantities were found in some specific parts of Europe before several rain flood emergences in the Czech territory. From this point of view, the quantities representing a humidity transfer were found as the most useful. An almost continuous humidity flow was shown around the cyclone producing heavy precipitation afterward. The origin of this flow can be found over the Atlantic. Extraordinary high values of convergence of humidity were located over the Czech territory during the precipitation episodes. Connected with the precipitation, significant downdrafts were detected in the same area. An important aspect is also the several days remaining anomaly in the same region. Nowadays, a possibility of using these conclusions is studied for the evaluation of actual flood risks in the Czech Republic.*

Key words: extremity, rain flood, humidity flux, flood forecasting

---

ÚVOD

Z hodnocení předpovědi srážek v případě katastrofálních povodní v srpnu 2002 (např. Šopko, 2003) je zřejmé, že deterministická předpověď mimořádně silných srážek vykazuje podstatné nepřesnosti. V rámci vyhodnocení téže události byla studována extremita povětrnostních podmínek v době před a během události (Kašpar, 2003, Řezáčová et al., 2005). U některých meteorologických prvků, které prokazatelně souvisejí se srážkotvornými procesy, byly zjištěny extrémní hodnoty. To se stalo podnětem dalšího výzkumu, zaměřeného na možnosti využití této metody při předpovědi dešťových povodní (Řezáčová et al., 2004).

Nejrůznější studie, věnované velkoprostorovým dešťovým povodním v ČR, ukazují určitou podobnost synoptických podmínek před jednotlivými událostmi tohoto druhu s delší dobou opakování (viz následující kapitolu). Tyto podmínky jsou pro takové události charakteristické, v případě extrémních událostí pak prakticky nezbytné. Vzhledem k podobnosti těchto podmínek při jednotlivých událostech je možné předpokládat i existenci určitého prostorového vzorce rozložení extremit některých meteorologických prvků v atlanticko-evropském prostoru, obdobného pro různé epizody mimořádně silných srážek v ČR. Následující příspěvek přináší předběžné výsledky výzkumu, věnovaného extremitě meteorologických prvků při historických případech dešťových povodní v ČR.

PROBLEMATIKA SILNÝCH SRÁŽEK A DEŠŤOVÝCH POVODNÍ VE STŘEDNÍ EVROPĚ

V letním hydrologickém pololetí (od května do října) se ve střední Evropě na vodních tocích, jejichž povodí nezasahuje do velehorských oblastí, vyskytují výhradně dešťové povodně. Ty je možné dále dělit podle charakteru příčinných srážek na povodně z trvalých srážek a na přívalové povodně, spojené se silnou konvekcí. Především v případě povodní z trvalých srážek je zřejmá těsná souvislost mezi hydrometeorologickými podmínkami před povodní a průběhem povodně. Kromě předchozí nasycenosti povodí, ovlivňované povětrnostními podmínkami v období řádově několika týdnů před povodňovou událostí, je rozhodující množství a intenzita tzv. příčinných srážek, vázaných na specifické synoptické situace. Oba tyto faktory zásadně ovlivňovaly průběh i dosud největších dešťových povodní v Čechách (Müller, Kakos, 2003).

Silné srážky trvalého charakteru vypadávají v prostoru tlakových depresí (cyklon, popř. brázd nižšího tlaku). Pro prostor Evropy byly vymezeny dvě základní kategorie situací, které sem přinášejí silné srážky. Podle oblasti, kde je poprvé detekován střed tlakové níže, lze odlišit atlantické, resp. středomořské cyklonální systémy (Porkú et al., 2003). Ve střední Evropě je z hlediska nejvyšších jedno- a vícedenních srážkových úhrnů obzvlášť nebezpečná druhá jmenovaná kategorie, kde střed cyklony postupuje do této oblasti z jižního sektoru (Ustrnul, Czekierda, 2001). Vzhledem k orografickému efektu zesilování srážek v týlové části cyklony v silném proudění ze severního kvadrantu je nejvyšších úhrnů dosahováno v oblastech hor (na severní straně Alp, v nejvyšších pohořích Českého masivu a v Karpatech). Těsnou souvislost mezi těmito situacemi, především pak postupem cyklony po tzv. dráze Vb, a silnými srážkami na území ČR dokládá celá řada prací, např. Štekl et al. (2001).

HODNOCENÍ EXTREMITY METEOROLOGICKÝCH PRVKŮ

Pro hodnocení extremity meteorologických prvků byla využita databáze ERA-40, vytvořená v ECMWF (Evropském středisku pro střednědobou předpověď). Databáze obsahuje reanalýzy meteorologických dat z let 1958 – 2002. Z ní byl vybrán soubor celkem 4140 dní, který zahrnuje všechny dny června, července a srpna během uvedených 45 let. Sledována byla oblast mezi 30° a 70° severní šířky, resp. 30° západní a 40° východní délky, což při rozlišení 2,5 zeměpisného stupně činí 17 x 29 = 493 gridových bodů.

Podle databáze ČHMÚ bylo vytipováno celkem 19 epizod silných srážek trvalého charakteru na území ČR z daného období, které zde vyvolaly dešťové povodně. Nechyběly mezi nimi nejextrémnější případy z července 1997 a srpna 2002, stejně jako další významné události tohoto druhu, jako např. ze srpna 1972, z přelomu července a srpna 1977 nebo z července 1981. Na základě Denních přehledů počasí (DPP) a práce Štekla et al. (2001) byl pro jednotlivé události stanoven první den silných srážek, dále označovaný jako D. Sledována pak byla extremita jednotlivých meteorologických prvků ve dnech kolem dne D.

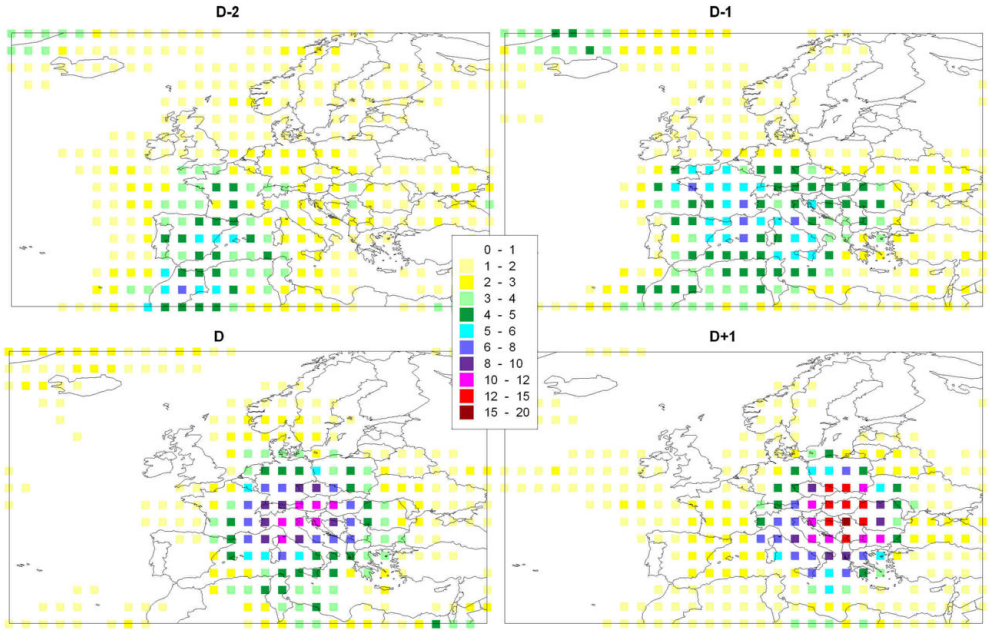
Byla navržena řada ukazatelů, pro něž bylo zjišťováno, zda, případně v které oblasti daný ukazatel dosahuje mimořádných hodnot při povodňových událostech na území ČR. Ukazatele byly vymezovány pomocí základních i odvozených veličin (pro jejich odvození viz Řezáčová et al., 2003). Za ukazatel lze považovat hodnoty určitého meteorologického prvku ve zvolené hladině a ve výše vymezené oblasti, a to s danou dobou průměrování. Jako nejvhodnější se ukázaly denní průměry, určované z analýz pro 0h a 12h světového času daného dne. Z celého souboru 4140 termínů pak byly pro každý gridový bod spočteny hodnoty vybraných kvantilů všech ukazatelů tak, aby pro kterýkoli termín bylo možné stanovit extremitu ukazatele v každém gridovém bodě porovnáním s příslušnými kvantily (Řezáčová et al., 2004).

EXTREMITA METEOROLOGICKÝCH PRVKŮ PŘED DEŠŤOVÝMI POVODNĚMI V ČR

Vzhledem k dynamice vývoje synoptické situace v době před povodňovou událostí je zřejmé, že extremitu meteorologických prvků je třeba hodnotit zvlášť pro různé dny relativně ke dni D. Bylo třeba vytipovat vhodné ukazatele pro jednotlivé dny a určit podoblasti, v nichž lze předpokládat výskyt extrémních hodnot těchto ukazatelů v případě epizody silných srážek. Za tímto účelem bylo sledováno, kolikrát v rámci souboru vybraných 19 povodňových událostí došlo v jednotlivých gridových bodech oblasti k překročení vybraných kvantilů ve dnech D-2, D-1, D a D+1. Výsledky pro libovolný ukazatel bylo možno zobrazit do map, v nichž bylo vyznačeno, při kolika z 19 událostí došlo v jednotlivých gridových bodech k překročení stanoveného kvantilu.

Bylo zjištěno, že k největší koncentraci mimořádných hodnot některých ukazatelů do specifické podoblasti dochází nejčastěji ke dni D+1, směrem dozadu pak míra shody výrazně klesá. Nejlepší shoda výskytu extrémů se vyskytla v případě ukazatelů vyjadřujících hloubku „srážkotvorné“ cyklony, především v případě AT850 (obr. 1). Naopak jako nevhodné se z hlediska posuzování extremity projevily veličiny jako teplota vzduchu, ekvivalentní potenciání teplota a měrná vlhkost. U těchto meteorologických prvků zřejmě dochází ke snížení extremity při událostech silných srážek vlivem výskytu extrémů rovněž za odlišných situací, které s vypadáváním silných srážek nesouvisejí (např. vysoké teploty při letních anticyklonálních situacích).

Pro výběr vhodných ukazatelů byl dále důležitý poznatek, že relativně největších extremit dosahují během srážkových epizod veličiny, které vyjadřují přenos vlhkosti, a to jak před začátkem srážek, tak především v době jejich vypadávání. Jde hlavně o meridionální složku toku vlhkosti, konvergenci vlhkosti a vertikální rychlost. Těmto meteorologickým prvkům se proto budeme věnovat podrobněji.

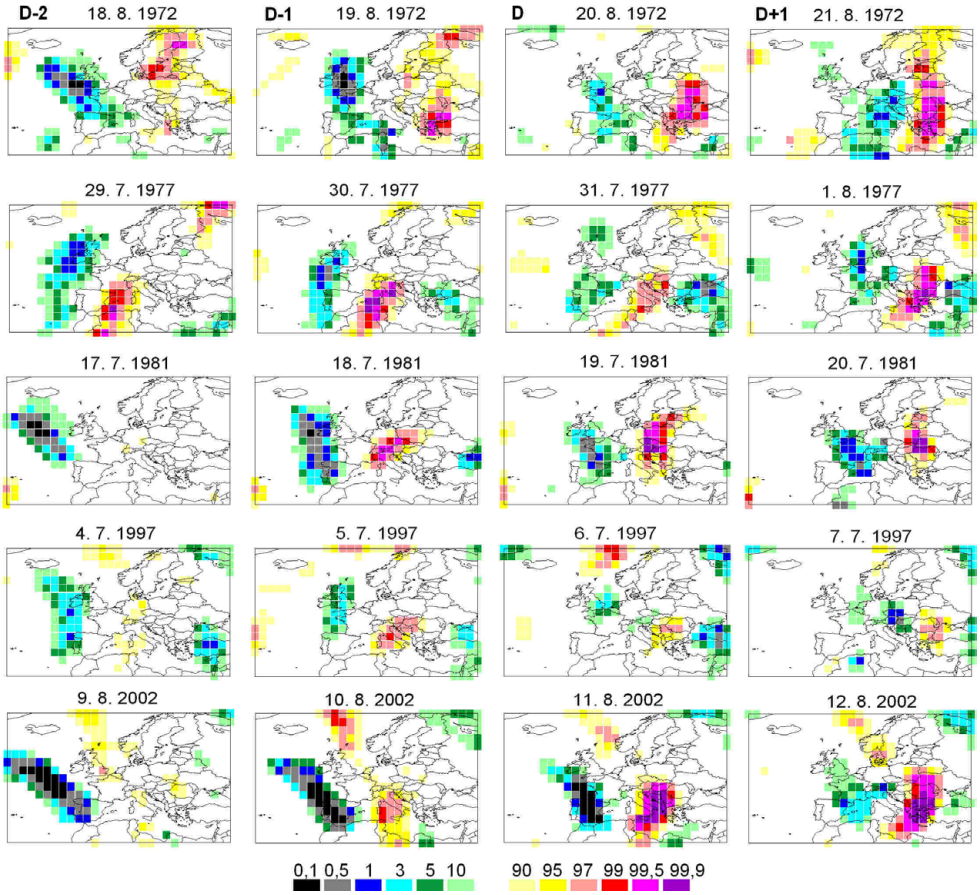


Obr. 1 Počet povodňových událostí z celkového souboru 19 vybraných případů, při nichž byla ve dnech D-2 až D+1 v příslušném gridovém bodě AT850 nižší než hodnota 95% kvantilu pro příslušný bod. Uvažovány jsou průměrné hodnoty z 00 UTC a 12 UTC daného dne.

Fig. 1 The number of flood events from the set of 19 events when the value of AT850 was less than the 95% percentile at given grid point from the day D-2 till D+1 where D means the first day of heavy precipitation in the territory of the Czech Republic. The average values from 00 UTC and 12 UTC are considered.

EXTREMITA UKAZATELŮ VYJADŘUJÍCÍCH PŘENOS VLHKOSTI

Vybrané ukazatele byly dále sledovány z hlediska extremity dosažené při několika nejvýznamnějších povodňových událostech. Pro zjištění míry extremity, dosažené v jednotlivých dnech těchto událostí, byly hodnoty ukazatelů, zjištěné v příslušném dni v každém gridovém bodě, porovnávány s hodnotami jednotlivých kvantilů dané veličiny v příslušných bodech. V případě ukazatelů, u nichž jsou z hlediska nebezpečí vzniku silných srážek zajímavé minimální hodnoty, byly tyto v každém gridovém bodě porovnávány s kvantily 0,1%, 0,5%, 1%, 3%, 5˘% a 10% rozdělení daného ukazatele pro příslušný bod, v případě maximálních hodnot analogicky s kvantily 99,9%, 99,5%, 99%, 97%, 95% a 90%. Extremita ukazatele v každém bodě pak byla vyjádřena nejvíce odlehlým kvantilem, pro nějž byla aktuální hodnota nižší (v případě minimálních hodnot), resp. vyšší (v případě maximálních hodnot) než tento kvantil. Vzhledem k počtu dní v souboru dosahují v každém bodě čtyři termíny extremity vyšší než kvantil 0,1%, resp. 99,9%, v případě kvantilu 0,5%, resp. 99,5% je to 20 termínů atd.



Obr. 2 Extremita průměrné hodnoty meridionálního toku vlhkosti z 00 UTC a 12 UTC příslušného dne (D-2 až D+1) na AT500. Barvy jednotlivých gridových bodů vyjadřují překročení příslušného kvantilu v daném bodě; minimální hodnoty – severní složka, maximální hodnoty – jižní složka.

Fig. 2 The extremity of values of the meridional humidity flux at AT500 averaged from the data from 00 UTC and 12 UTC on the given day. The colour means that the value was more extreme than the relevant quantil at given grid point; minimal values – the north component, maximal values – the south component.

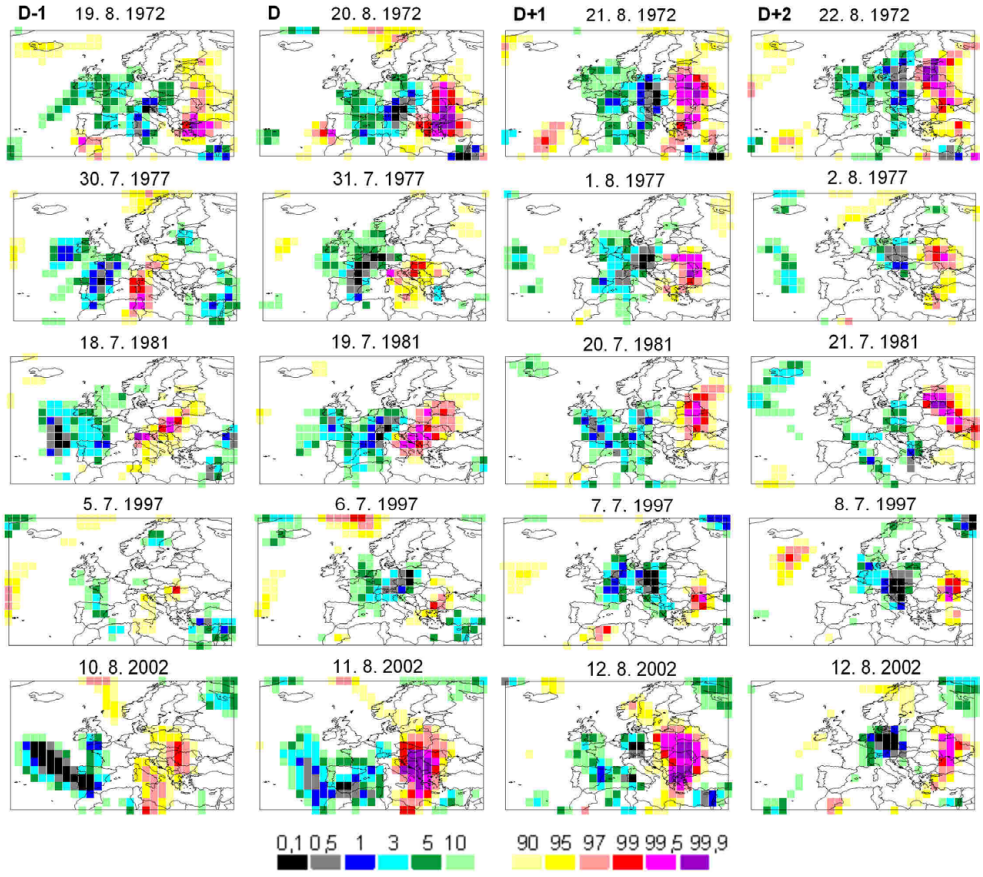
Meridionální tok vlhkosti

Meridionální tok vlhkosti se jeví jako veličina, jejíž využití pro zjišťování extremity podmínek před srážkovou epizodou a během ní je velmi vhodné, neboť mimořádné hodnoty se při událostech vyskytovaly v rozmezí D-2 až D+2. Přitom docházelo v posunu extrému přibližně podle tohoto schématu:

- ve dnech D-2 až D mimořádné až extrémní hodnoty severní složky toku vlhkosti především ve vyšších hladinách (AT500, AT300) v prostoru atlantského pobřeží (obr. 2);
- ve dnech D-1 až D+1 mimořádné až extrémní hodnoty jižní složky toku vlhkosti v hladinách AT850 a AT500 v prostoru jižní či východní Evropy (obr. 2 a 3);
- ve dnech D až D+2 mimořádné až extrémní hodnoty severní složky toku vlhkosti v hladině AT850 v prostoru ČR a v jejím bezprostředním okolí (obr. 3).

Vzhledem k výskytu extrémů i u zonální složky toku vlhkosti, která spojuje extrémy meridionální složky, je zřejmé, že v případě mimořádně silných srážkových epizod jde o ucelený systém přenosu vlhkosti kolem tlakové níže, jejíž střed se přesunuje do prostoru středovýchodní Evropy. Tento přísun vlhkosti má zdroj nejen v prostoru Středozemí, nýbrž může začínat již nad východním Atlantikem.

Z porovnávaných událostí byl systém přenosu vlhkosti podle uvedeného schématu prokazatelně nejlépe vyvinut 9. – 13. srpna 2002, kdy hodnoty v různých fázích dosahovaly skutečně extrémních hodnot. Naopak relativně nejslabší byl 4. – 8. 7. 1997, kdy extremitu události musíme hledat v dalším okolnostech, především v ojediněle dlouhé době setrvání systému v prakticky neměnné poloze v kombinaci s orografickým efektem Beskyd a Jeseníků (viz následující kap.).



Obr. 3 Extremita průměrné hodnoty meridionálního toku vlhkosti z 00 UTC a 12 UTC příslušného dne na AT850. Barvy vyjadřují překročení příslušného kvantilu v daném bodě; minimální hodnoty – severní složka, maximální hodnoty – jižní složka.

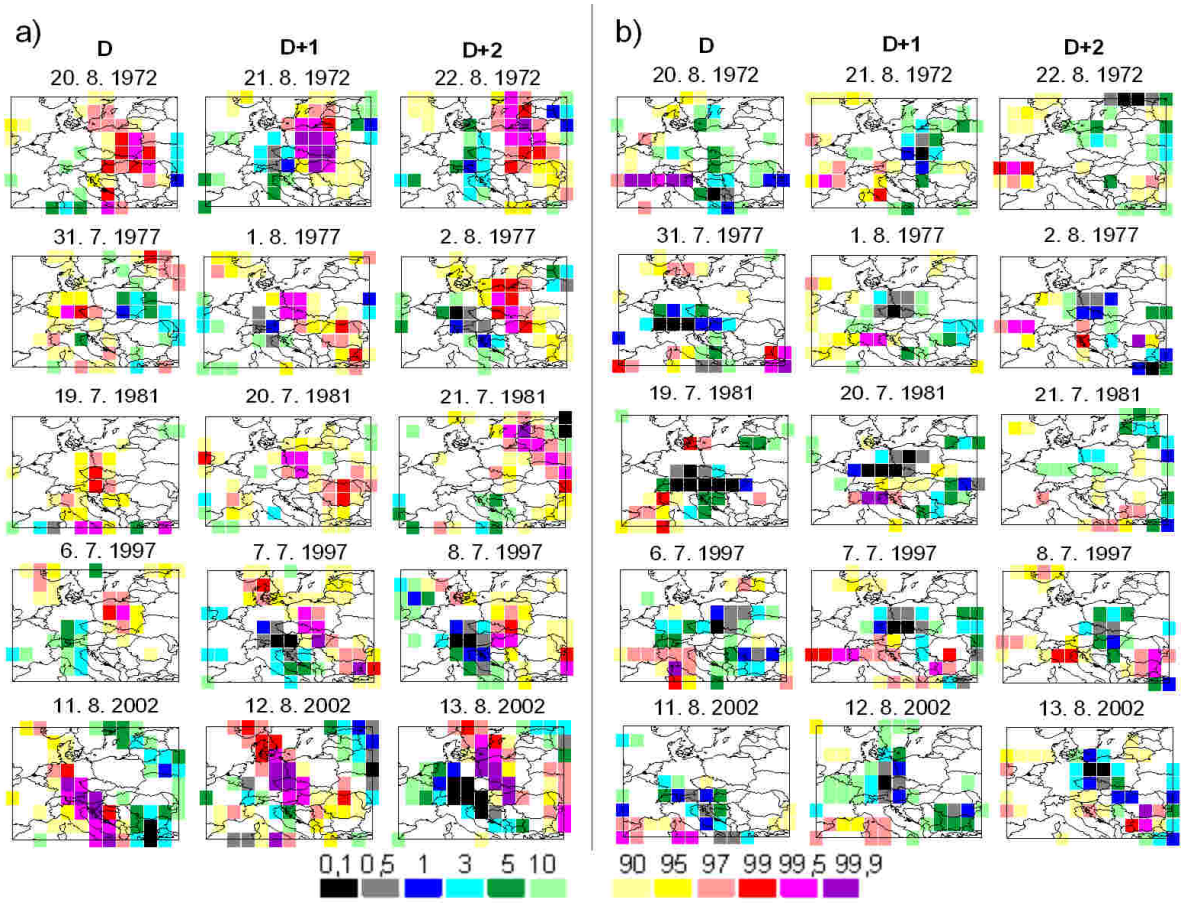
Fig. 3 The extremity of values of the meridional humidity flux at AT850 averaged from the data from 00 UTC and 12 UTC on the given day. The colour means that the value was more extreme than the relevant quantil at given grid point; minimal values – the north component, maximal values – the south component.

Konvergence vlhkosti a vertikální rychlost

Konvergence vlhkosti v hladině AT850 se jeví jako jeden z ukazatelů, jehož extremita se projevuje v prostoru ČR a jejího okolí, a to v době vypadávání srážek, tedy ve dnech D až D+1, případně až D+2 (obr. 4a). Na základě sledovaných událostí lze předpokládat, že pro vznik mimořádně silných srážek musí být dostatečně mohutný proud vlhkosti ukončen konvergencí vlhkosti v prostoru ČR.

Časoprostorové rozdělení extrémních záporných hodnot vertikální složky rychlosti větru, vyjádřené v p-systému na AT850 (obr. 4b), které odpovídají sestupům vzduchu v souvislosti s vypadáváním srážek, se zhruba shoduje s extrémy konvergence vlhkosti. Pro dny vypadávání srážek lze proto usuzovat na možnou mimořádnou intenzitu srážek i na základě sledování extrémů tohoto ukazatele.

Právě dlouhodobý výskyt extrému obou těchto ukazatelů v červenci 1997 v souvislosti s přechodnou stacionarizací „srážkotvorné“ cyklony se jeví jako jeden z indikátorů nebezpečnosti tehdejší synoptické situace.



Obr. 4 Extremita průměrné hodnoty konvergence vlhkosti (a), resp. vertikální rychlosti v p-systému (b) z 0 a 12 hodin UTC příslušného dne na AT850. Barvy jednotlivých gridových bodů vyjadřují překročení příslušného kvantilu v daném bodě; v části a: minimální hodnoty – divergence vlhkosti, maximální hodnoty – konvergence vlhkosti; v části b: minimální hodnoty – výstupné pohyby vzduchu, maximální hodnoty – sestupné pohyby vzduchu.

Fig. 4 The extremity of values of the convergence of humidity (a) and of the vertical velocity in isobaric coordinates (b) at AT850 averaged from the data from 00 UTC and 12 UTC on the given day. The colour means that the value was more extreme than the relevant quantil at given grid point; minimal values: (a) – the divergence of humidity, (b) – updraft; maximal values (a) – the convergence of humidity, (b) - downdraft .

ZÁVĚR

Příspěvek byl věnován sledování extremity řady meteorologických prvků před a během vybraných případů velkoprostorových dešťových povodní na území ČR. Bylo prokázáno, že některé z těchto prvků vykazují určitou časoprostorovou koncentraci extremity při jednotlivých událostech. Platí to především pro veličiny, které vyjadřují přenos vlhkosti. Bylo poukázáno na existenci víceméně souvislého systému mimořádně mohutného toku vlhkosti kolem „srážkotvorné“ cyklony, jehož počátek je nutné hledat již nad Atlantickým oceánem. V době vypadávání srážek se pak v oblasti ČR vyskytovaly mimořádně vysoké hodnoty konvergence vlhkosti a v souvislosti s vypadáváním srážek i výrazné sestupné pohyby vzduchu. Podstatným aspektem je také vícedenní přítomnost anomálií v uvedeném prostoru.

Poznatky budou dále využity při vytváření indexu extremity, který by měl sloužit jako pomocný nástroj vedle modelů numerické předpovědi počasí k určení nebezpečnosti synoptické situace z hlediska nebezpečí vzniku velkoprostorových dešťových povodní.

Poděkování

Příspěvek vznikl s podporou grantů VaV 650/4/03, GAČR 205/04/0114 a GA AVČR B3042404.

Literatura

DPP: Denní přehledy počasí, periodická publikace ČHMÚ.

ERA-40: http://www.ecmwf.int/research/era/Project/index.html

Kašpar, M. (2003): Porovnání extrémnosti synoptických podmínek během povodní v České republice v srpnu 2002 a v červenci 1997, Meteorologické zprávy, 56, č. 6, 166-177.

Müller, M. a Kakos, V. (2003): Hydrometeorologické srovnání povodní v srpnu 2002 s vybranými historickými případy dešťových povodní na Vltavě v Praze, Meteorologické zprávy, 56, č. 5, 129-136.

Porcú, F., Caracciolo, C., Prodi, F., 2003: Cloud systems leading to flood events in Europe: an overview and classification, Meteorological Applications 10, 217-227.

Řezáčová, D., Hanslian, D., Kakos, V., Kašpar, M., Müller, M., Pešice, P. a Sokol, Z. (2003): Posouzení hydrometeorologických podmínek vzniku významných letních povodní na území ČR na základě porovnání situace ze srpna 2002 s vybranými srážkovými epizodami a extrémními podmínkami, Výzkumná zpráva, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, 79 s.

Řezáčová, D., Kakos, V., Kašpar, M., Müller, M., Sokol, Z. (2004): Výzkum vztahů mezi meteorologickými příčinami vývoje silných srážek a hydrologickou odezvou povodí; dílčí úkol 1: Výzkum meteorologických příčin vývoje silných srážek a povodní, vývoj metod pro zpřesnění předpovědi plošných srážek, Zpráva za rok 2004, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, 21 s. (dostupné na ÚFA AV ČR nebo na ČHMÚ).

Řezáčová, D., Kašpar, M., Müller, M., Sokol, Z., Kakos, V., Hanslian, D., Pešice, P. (2005): Comparison of flood precipitation in August 2002 with historical extreme precipitation events from the Czech territory, Atmospheric research, v tisku.

Šopko, F. (2003): Model predictions of the floods in the Czech Republic during August 2002: the forecasters' perspective, ECMWF Newsletter 97, 2-6.

Štekl, J., Brázdil, B., Kakos, K., Jež, J., Tolasz, R. a Sokol, Z. (2001): Extrémní denní srážkové úhrny na území České republiky v období 1879-2000 a jejich synoptické příčiny, Národní klimatický program ČR, ČHMÚ, Praha, sv. 31, 128 s.

Ustrnul, Z. and Czekierda, D. (2001): Circulation background of the atmospheric precipitation in Central Europe (based on the Polish example), Meteorologische Zeitschrift 10, 103-111.

Miloslav Müller, Marek Kašpar

Miloslav Müller, Praha 4, Boční II./1401, 143 31, Česká republika, muller@ufa.cas.cz

VYHODNOTENIE PRIESTOROVÉHO A ČASOVÉHO ROZDELENIA SNEHOVEJ POKRÝVKY METÓDOU ČIAR UBÚDANIA SNEHU V POVODÍ HORNÉHO HRONA

Zuzana Pecušová

Významnou črtou snehovej pokrývky v horských povodiach je jej vysoká priestorová a časová premenlivosť. Poznanie rozdelenia snehu v priestore a čase je dôležité pre vyhodnocovanie množstva vody v snehu, ktorou prispieva snehová pokrývka do odtoku. Priestorové a časové rozdelenie snehu je možné vyhodnotiť rôznymi metódami. Dostupnou metódou je metóda ubúdania snehovej pokrývky v povodí, ktorú možno použiť najmä tam, kde sú potrebné priestorové informácie o snehu, ale k dispozícii nie sú žiadne výsledky diaľkového prieskumu Zeme (DPZ). Praktické využitie odvodených snehových čiar spočíva pri vyhodnocovaní priebehu topenia snehu a v ich začlenení ako priameho vstupu do snehovo-odtokových modelov.
Cieľom tohto príspevku je ukázať použiteľnosť metódy snehových čiar pri vyhodnocovaní priestorovej a časovej variability snehu na základe klasifikovaných tvarov. Snehové čiary boli odvodené pre povodie horného Hrona z vodných hodnôt snehovej pokrývky vypočítaných snehovým distribuovaným modelom.

Kľúčové slová: metóda čiar ubúdania snehovej pokrývky v povodí, priestorové a časové rozdelenie snehovej pokrývky

The areal and temporal assessment of snow distribution using a method of snow areal depletion curves.
The important feature of snow cover is its high variability in space and time, especially in mountainous regions. The knowledge of this variability is of particular relevance for evaluation of the snow contribution to the discharge. The areal assessment of snow can be based on various methods. The method of snow depletion curves may be useful if areal assessment of snow cover is needed and no remote sensing data are at the disposal. The practical applicability of the derived snow areal depletion curves lies in assessment of snowmelt in current season and in incorporating them as a direct input to the snowmelt-runoff models.
The aim of this paper is to present the applicability of the method of snow depletion curves in areal and temporal evaluation of snow distribution according to clasified shapes. The areal snow depletion curves were derived for an area of the upper Hron river basin from snow water equivalent by a distributed snowmelt model.

Key words: the snow areal depletion curves, spatial and temporal variability of snow

---

ÚVOD

Pri určovaní veľkosti odtoku zo snehu pre väčšinu hydrologických modelov, či už snehovo- alebo zrážkovo-odtokových, nie je dôležitá informácia o množstve akumulovaného snehu v jednom príp. viacero bodoch povodia, ale o zásobách snehu v celom povodí. Pretože **letecké,** príp. **družicové snímkovanie** je finančne náročné a **pozemná fotogrametria** (Turčan, 1970) je časovo a fyzicky náročná, určuje sa rozdelenie zásob snehovej pokrývky a vody v nej pre celé povodie stále z bodových meraní. V súčasnosti sú k dispozícii rôzne transformačné techniky teritoriálneho zovšeobecňovania podkladových dát. Prvotnú predstavu o rozložení snehu v povodí je možné získať z **čiary vodných hodnôt** (Turčan, 1973; Barták, 1980; Pobeha, 1984; Sevruk, 1992), ktorá vyjadruje závislosť medzi charakteristikou snehu – vodnou hodnotou a nadmorskou výškou empirickými regresnými funkciami. Vychádzajúc z tejto závislosti, môžu zásoby snehu v nižšie položených oblastiach (do 800 m n.m.) stúpať s nadmorskou výškou lineárne (Babiaková, 1978), alebo nelineárne (Borovikova a Denisov, 1972; Babiaková, 1980; Pomeroy a Gray, 1995) v topograficky členitých vysokohorských povodiach. Nelineárny priebeh čiary vodnej hodnoty svedčí o prudkom náraste zásob snehu až po tzv. kritickú úroveň (Netopil *et al.,* 1984), polohu, od ktorej zásoby snehu rastú len mierne, príp. dokonca klesajú vplyvom transportu vetrom (Kostka, 2001) alebo lavínami (Elder *et al.* 1991) do nižších polôh. Z ďalších metód sa v literatúre (Turčan, 1978) spomína napr. **priestorová extrapolácia** bodových meraní spôsobom, kde sa meraným údajom priraďujú určité plochy v povodí. Vybrané merané hodnoty musia reprezentovať podmienky celého priradeného územia. Zvolené čiastkové plochy povodia musia byť z rôznych hľadísk (topografie, vegetačného krytu a pod.) homogénne. Vývoj

v oblasti geografických informačných systémov posunul problematiku vyhodnocovania rozloženia snehovej pokrývky v povodiach do inej dimenzie. Efektívne sú využívané rôzne **interpolačné metódy** (Keckler, 1995), aj v spojení s **distribuovanými modelmi** akumulácie a topenia snehu (Holko *et al.*, 1999; Parajka *et al.*, 2001; Pecušová *et al.*, 2002), ktoré predstavujú ďalšie z nástrojov pre stanovenie priestorovej variability snehu. Výhodou oboch uvedených prístupov je možnosť získania rozloženia skúmanej vodnej hodnoty snehu v podobe rastrových máp. Z výsledných rastrových máp sa potom vypočíta percento pokrytia povodia snehom, a tak sa nielen vizuálne, ale aj jednoduchou grafickou formou, tzv. **čiarami ubúdania zásob snehu v povodí** (Turčan, 1978 *et al.*)**,** môže tiež vyjadriť územné rozloženie snehu predovšetkým počas obdobia topenia. Vyhodnotenie rozdelenia snehovej pokrývky metódou čiar ubúdania snehu v povodí sa obzvlášť uplatňuje, ak nie sú k dispozícii satelitné alebo letecké priestorové informácie o vývoji snehu a je potrebné takúto informáciu získať čo v najkratšom čase, napr. pre predpovede kumulatívnych prietokov v operatívnej hydrológii.

Cieľom príspevku je ukázať použiteľnosť metódy čiar ubúdania snehovej pokrývky v povodí pri vyhodnocovaní priestorovej a časovej variability snehu na základe klasifikovaných tvarov. Príspevok naväzuje na prácu Pecušová *et al.* (2004), kde bola pre povodie horného Hrona vyhodnotená snehová pokrývka z hľadiska priestoru a času v zimách 1962-2001. Pre rovnaké časové obdobie boli v tejto práci odvodené čiary ubúdania snehových zásob v povodí z vodných hodnôt snehu vypočítaných distribuovaným snehovým modelom.

Čiara ubúdania zásob snehu v povodí

Čiara ubúdania zásob snehu v povodí (tiež ju možno nazvať čiarou pokrytia povodia snehom) je závislosť pokrytia územia snehom v percentách plochy povodia od pomerných čísel, ktoré vyjadrujú postupné ubúdanie snehových zásob v povodí. Používané pomery sú rôzne napr. akumulovaný odtok od začiatku odmäku k celkovému sezónnemu odtoku, objem vody v snehovej pokrývke povodia k maximálnemu objemu zimného obdobia (Turčan *et al*., 1978), percento pokrytia povodia vzhľadom k času atď.. Informácia o pokrytí povodia snehom nebola pôvodne požadovaným vstupom do zrážkovo-odtokových modelov. Bolo však dokázané (napr. McDonell, 1985), že zahrnutie priestotového rozloženia snehu do modelov založených na teplotnom indexe viedlo k značnému zlepšeniu simulácií odtoku počas fázy topenia. Mnohé zo zrážkovo-odtokových modelov sú dnes prístupné už v modifikovanej podobe, kde čiara ubúdania zásob snehu je priamym požadovaným vstupom.

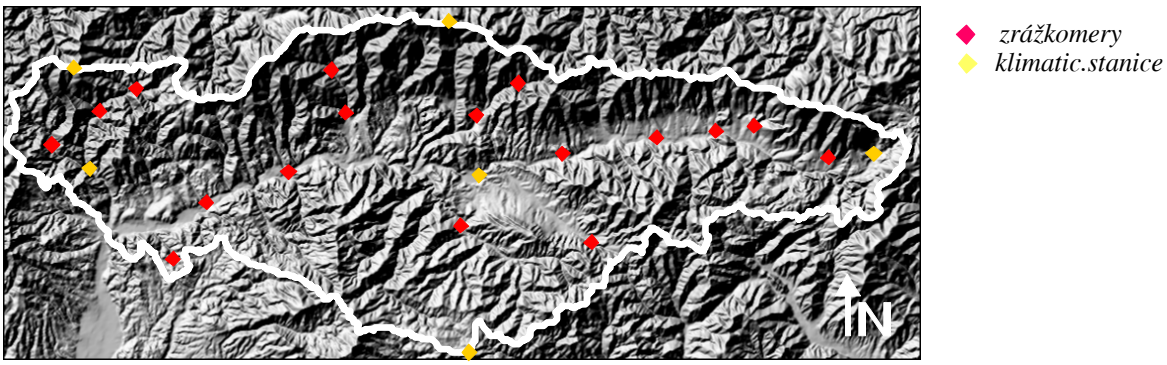
Význam čiary ubúdania zásob snehu v povodí spočíva okrem toho, že predstavuje priamy vstup do zrážkovo-odtokových modelov tiež v tom, že vývoj snehovej pokrývky na určitom území je prezentovaný grafickou formou a čo je pre hydrológov podstatné, aj kvantitatívne konkrétnymi hodnotami napr. odtopeného množstva snehu, poklesom vodnej hodnoty snehu atď.. Takto graficky zovšeobecnený vývoj snehu na určitom území je zároveň veľkým uľahčením práce v procese vyhodnocovania priestorových máp rozloženia snehu, lebo nie je nutné posudzovať každú mapu osobitne. Navyše sú čiary oproti snímkam DPZ dostupné pre akýkoľvek časový interval, lebo ich možno odvodiť z rastrových máp (najčastejšie vodných hodnôt), ktoré sú priamym výstupom snehových modelov. Samozrejme je potrebné čiary odvodené zo simulovaných hodnôt porovnávať s meranými vodnými hodnotami a pre použitie v praxi aj modifikovať podľa snímok DPZ (Kolberg a Gottschalk, 2003) alebo fyzicko-geografických faktorov vplývajúcich na tvar čiary (vegetácia, nadmorská výška, sklon a orientácia svahov) a meteorologických veličín, napr. slnečného žiarenia (Molotch *et al.*, 2001).

Cieľom modelovania je dokázať simulovať prvky hydrologického režimu aj v povodiach bez meraní na základe poznania zákonitostí z fyzicko-geograficky podobných povodí. Výskum v hydrológii snehu má v súvislosti s čiarou ubúdania zásob snehu podobnú myšlienku. Speje k tomu, aby modifikované čiary, príp. typizované na určité podmienky, mohli byť uplatnené pri simuláciách odtoku zo snehu v neznámych povodiach (König a Sturm, 1998) alebo použité pre predpovede odtoku v povodí, pre ktoré boli odvodené. Pri predpovediach odtoku použitím čiar sa predpokladá určitá uniformita

odozvy povodia na topenie snehu z roka na rok (Menoes a Brubaker, 2001). To znamená, že tvar čiar odvodených pre jednotlivé roky by mal byť pomerne stály (Turčan, 1978 *et al.*).

ŠTUDOVANÉ ÚZEMIE

Záujmové povodie horného Hrona bolo vybrané z dôvodu existencie 40-ročného časového radu meraní meteorologických vstupov a charakteristík snehu (výšky a vodnej hodnoty). Povodie je situované na strednom Slovensku, zo severu a severozápadu ohraničené fyzicko-geografickými celkami Nízke Tatry a z juhu Veporskými vrchmi a Poľanou. Povodie horného Hrona s rozlohou 1767 km^2 má horský charakter; výškový rozsah je od 341 (Hron v Banskej Bystrici) do 2043 m n. m. (Ďumbier). Priemerný sklon povodia je 17° a lesnatosť 66%. Meteorologické vstupy boli dostupné zo siete zrážkomerných (n=23) a klimatických staníc (n=6) a merania charakteristík snehu na snehových profiloch, ktoré sa nachádzali v blízkosti zrážkomerov (obr. 1).



Obr. 1 Digitálny model terénu povodia horného Hrona a sieť zrážkomerov a klimatických staníc SHMÚ.

Fig. 1 Digital elevation model of the upper Hron river basin and the network of precipitation and climatic stations of Slovak Hydrometeorological Institute (SHMI).

METODIKA

Na modelovanie vodnej hodnoty snehu z hľadiska jej variability v priestore a čase bol použitý fyzikálne založený distribuovaný model WaSiM-ETH (Schulla a Jasper, 1999).
Okrem splnenia požiadavky na vstupné údaje pre možnú aplikáciu modelu bola do úvahy braná aj skutočnosť, že uvedený model bol s úspechom testovaný aj v iných povodiach SR. Napr. v horskom povodí Jaloveckého potoka (Západné Tatry) pre výpočet priebehu akumulácie a topenia snehu (Kostka, 2001) a na odhad dôsledkov zmeny klímy (Kostka a Holko, 2002).
Databázu základných hydrometeorologických vstupov do modelu tvorili priestorové údaje o zrážkach, teplotách vzduchu, relatívnej vlhkosti vzduchu a rýchlosti vetra. Údaje topografického charakteru pozostávali z digitálneho modelu terénu (Obr.1) a informácií o využití krajiny, pôdnych typoch a pokrytia povodia vegetáciou. Všetky meteorologické veličiny okrem údajov o zrážkach boli získané zo siete klimatických staníc SHMÚ, Obr. 1. Na určenie plošných úhrnov zrážok boli použité zrážkové úhrny zo siete 23 zrážkomerov. Snehomerné merania, merania vodnej hodnoty, boli dostupné na všetkých 23 zrážkomerných staniciach.

Pre výpočet akumulácie a topenia snehu v rôznom čase a priestore bola v modeli WaSiM-ETH použitá kombinovaná metóda podľa Andersona (1973) rozšírená Braunom (1985). Podstata metódy je bližšie vysvetlená pri opise modelu. Výpočet topenia snehovej pokrývky zahŕňa vplyv rýchlosti vetra, slnečné žiarenie a príspevok energie z dažďa. Potenciálna evapotranspirácia sa počítala podľa vzorca Penman-Montheith. Na výpočet rýchlosti a množstva vody infiltrujúcej do pôdy bol použitý upravený vzťah Greena a Ampta.

Simulácie plošného rozdelenia vodnej hodnoty snehu v záujmovom území prebehli v rokoch 1962 až 2001. Ako kalibračné obdobie boli určené 80. roky (1981-1990), predovšetkým z dôvodu, že táto dekáda spĺňala požadované kritériá na komplexnosť vstupných údajov najlepšie.

Na optimalizáciu parametrov modelu bola použitá automatická technika PEST. V modele WaSiM-ETH bola optimalizácia parametrov vykonaná v dvoch krokoch: v zrážkovo-odtokovom podprograme voči meraným prietokom a v snehovom podprograme voči meraným vodným hodnotám snehu. Pri simuláciach výstupných veličín, odtoku a vodnej hodnoty snehu pracoval model s denným krokom výpočtu. Výsledné simulované odtoky boli pre vybrané časové obdobie získané v podobe grafických výstupov. Výstupom modelovania vodnej hodnoty snehu boli priestorové rastrové mapy simulovaných hodnôt pre každý deň 40 ročného obdobia. Pri modelovaní vodnej hodnoty snehu v povodí bola použitá štvorcová sieť s veľkosťou rastra 500x500m. Rastrové mapy boli podkladom pre výpočet priemernej vodnej hodnoty na povodie a konštrukciu čiar ubúdania snehovej pokrývky v povodí.

Opis modelu

***WaSiM** – Water Balance Simulation Model (Schulla a Jasper, 1999)*

Model bol skoncipovaný (Schulla a Jasper, 1999) na fyzikálnom základe opisu najdôležitejších procesov vodného cyklu. Ukladanie vody do zásoby, jej transformácia a transport v povodí sú v modeli opísané prostredníctvom týchto komponentov: meteorologických údajov a ich interpoláciou; vývinom snehovej pokrývky; intercepciou; výparom, infiltráciou vody do pôdy; tvorbou zásoby vody v koreňovej zóne a koncentráciou odtoku v riečnej sieti. Keďže model pracuje v distribuovanej forme, okrem hydrologických a klimatických údajov sú dôležitými vstupmi aj dáta o fyzicko-geografickom charaktere územia – topografia, spôsob využívania krajiny atď.. Parametre jednotlivých zložiek modelu vychádzajú z použitých matematicko-fyzikálnych vzťahov.

Existujú dve verzie modelu. Prvá verzia používa princíp hydrologickej podobnosti (TOPMODEL) a mohla by sa označovať ako priestorovo semi-distribuovaná, kým druhá používa systém Richardsových rovníc pohybu vody v pôde a je to priestorovo distribuovaná verzia. Obidve verzie riešia časový vývoj prírodných hydrologických procesov na základe fyzikálnych zákonitostí pre všetky body povodia.

Akumuláciu snehu v snehovej zložke modelu predstavuje vzťah, ktorý rozhoduje o skupenstve zrážok na základe teplôt vzduchu počas danej udalosti (rovnica 1). Podiel snehu v zrážkach je daný vzťahom:

$$P_S = \frac{T_{D/S} + T_{trans} - T}{2.T_{trans}} \qquad (1)$$

kde Ps je podiel snehu na celkovom úhrne zrážok, T je teplota vzduchu, $T_{D/S}$ je teplota, pri ktorej 50% dopadá vo forme snehu, T_{trans} je polovičný teplotný rozsah prechodu od zrážok v pevnej fáze k zrážkam v tekutej fáze.

Pre stanovenie topenia snehu môže model pracovať pomocou teplotného indexu (rovnica 2), kombinovane na fyzikálnej báze (rovnica 3), alebo s teplotným indexom doplnenom o vplyv vetra (rovnica 4).
V prípade kombinovanej metódy (Anderson, 1973) vstupujú do modelu nasledujúce zložky: turbulentný prenos energie (*Ms*) zahŕňajúci rýchlosť vetra (rovnica 4); topenie vplyvom slnečného žiarenia M_R (rovnica 5)*;* topenie vplyvom latentného tepla M_E, (rovnica 6) a vplyvom energie získanej z dopadajúcich tekutých zrážok M_P (rovnica 7). Parametre snehovej zložky modelu možno kalibrovať voči meraným vodným hodnotám a prietokom.

$$M = a.(T - T_{crit}) \quad (2)$$

$$M = (M_S + M_R + M_E + M_P) \quad (3)$$

$$M_S = a.(c.u).(T - T_{crit}).\frac{\Delta t}{24} \quad (4)$$

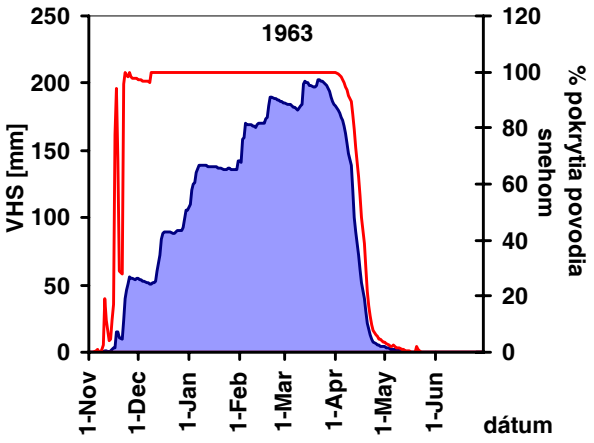
$$M_R = 1{,}2.T \quad (5)$$

$$M_E = a.(c.u).(E - 6{,}11)/\gamma \quad (6)$$

$$M_P = 0{,}0125.P.T \quad (7)$$

kde M [mm.deň$^{-1}$] je celkové roztopené množstvo snehu; a [mm°C^{-1}.d^{-1}] je teplotný faktor udávajúci úbytok vodnej hodnoty vrstvy snehu M [mm.deň$^{-1}$] spôsobený na jeden stupeň teploty vzduchu (T) nad kritickou teplotou vzduchu T_{crit}; c je koeficient topenia závislý od činnosti vetra [mm.(°C. m/s-1 d-)1]; u rýchlosť vetra [m.s^{-1}]; M_S je topenie snehu spôsobené turbulentým prenosom energie, M_R radiačnou bilanciou, M_E latentným teplom a M_E príspevokom energie z dažďa.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

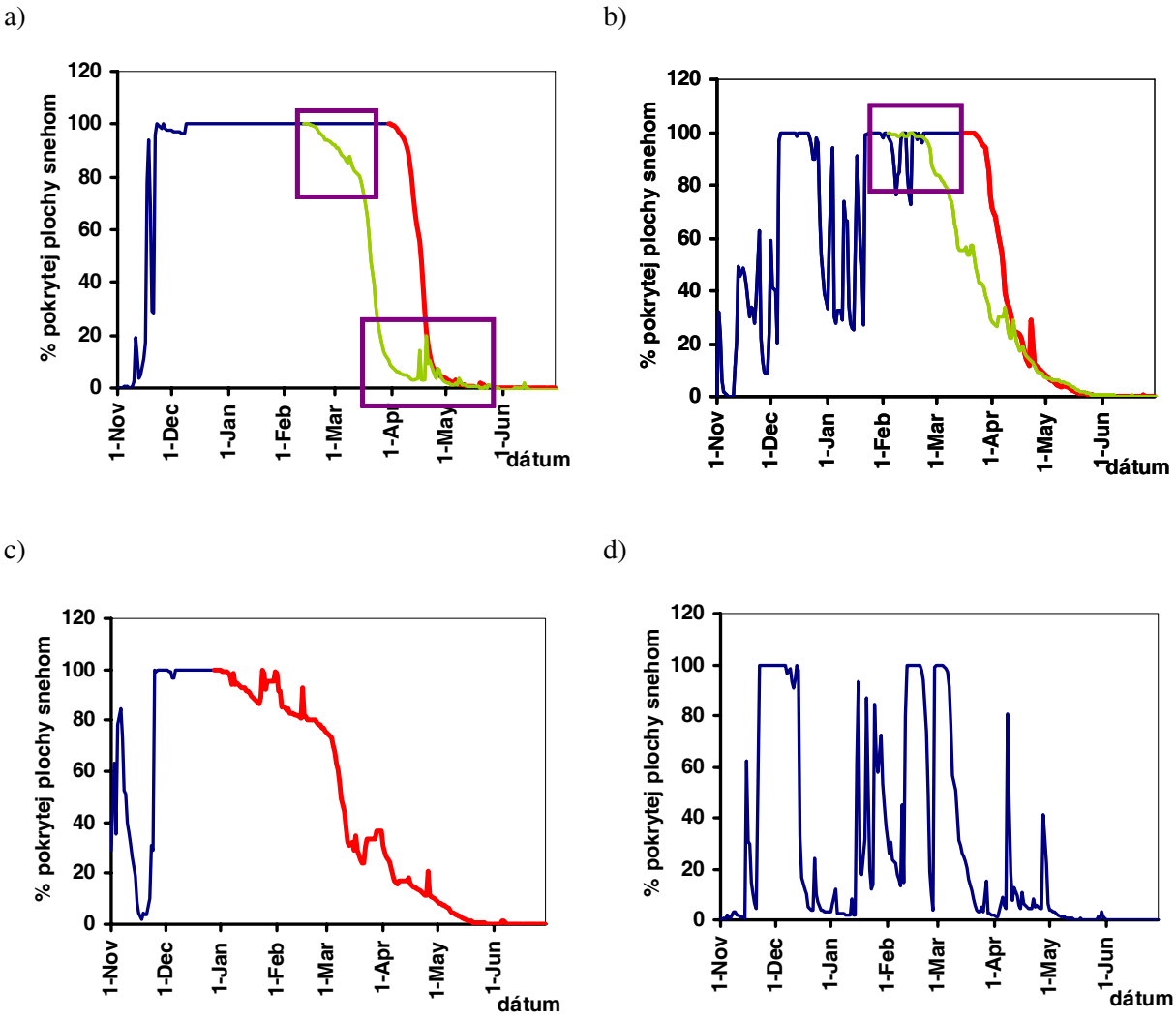


Obr. 2 Vývoj vodnej hodnoty snehu [mm] vyjadrenej ako priemer na povodie v zime 1963 (modrá krivka) a čiara ubúdania zásob snehu v povodí (červená krivka).

Fig. 2 Developement of mean basin snow water equivalent [mm] in winter 1963 (blue line) and snow depletion curve (red line).

Z rastrových máp vodnej hodnoty snehu simulovanej pre zimy 1962-2001 bolo odvodených 40 čiar ubúdania snehu v povodí horného Hrona. Percentuálne pokrytie povodia snehom bolo dané do vzťahu k času (Obr. 2), hoci sa tento vzťah často nepoužíva z dôvodu, že priebeh funkcie nie je hladký v bodoch, ktoré odrážajú náhle topenie alebo sneženie počas topenia snehu (Sevruk, 1992). Častejšie sa objavuje vzťah pokrytia snehom v percentách plochy povodia ku kumulatívnemu odtopenému množstvu vody zo snehu (Brubaker a Menoes, 2001; Martinec *et al.*, 1998 a iní) alebo vzťahy uvedené Turčanom *et al.* (1978); pozri v teoretickej časti pojednávajúcej o čiare ubúdania snehu v povodí.

Čiary boli v nasledujúcom kroku rozdelené do štyroch tried podľa tvaru kriviek na s-krivku (a), „exponenciálny“ tvar (b), postupne klesajúci (c) a neidentifikovateľný tvar krivky (d) na Obr. 3. Tvary a) a b) možno nájsť už v práci Andersona (1977) s tým rozdielom, že vo vzťahu je pomer priemernej a priemernej maximálnej vodnej hodnoty snehu W/W_{max} a plocha bez snehovej pokrývky.



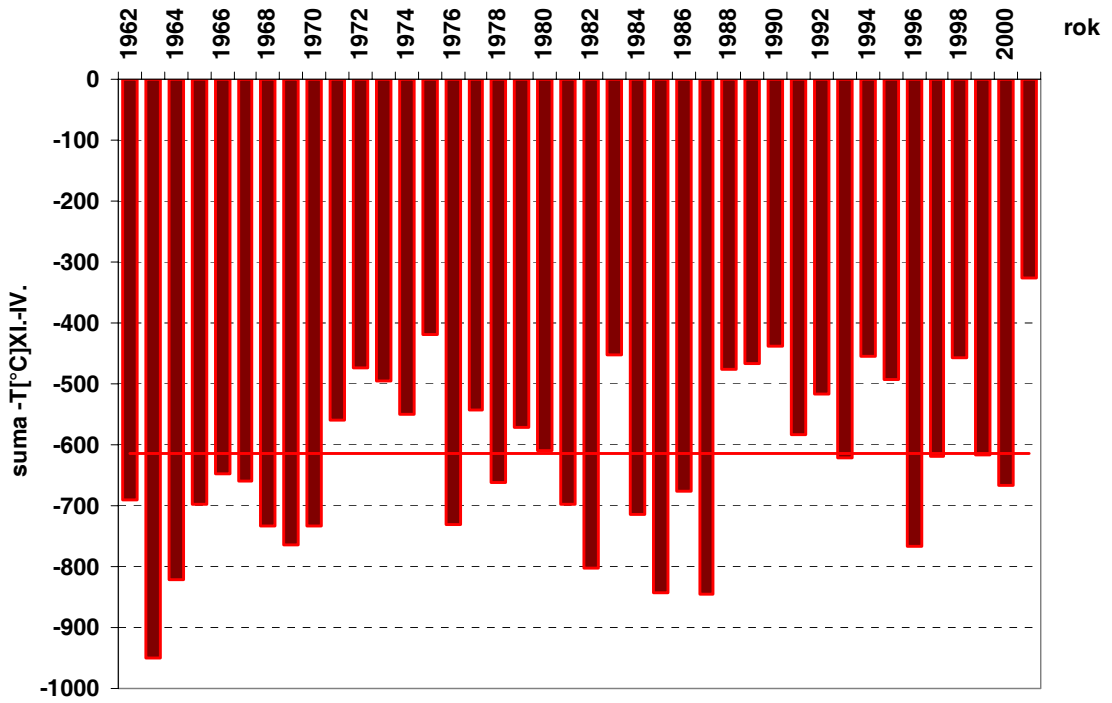
Obr. 3 Tvar odvodených čiar ubúdania snehu v povodí a) s-krivka b) „exponenciálna“ c) postupne klesajúca d) neurčitý tvar krivky. Zelené krivky naznačujú variáciu základnej formy v závislosti od dĺžky trvania počiatočnej a konečnej fázy topenia, príp. oboch fáz súčasne.

Fig. 3 Shape of the derived snow depletion curves a) s-form b) exponential c) gradually decreasing d) unidentified. The green line indicates the variation of base shapes according to the duration of initial and final phase of melting, or both phases simultaneously.

Z tvaru kriviek možno vyčítať vývoj snehovej pokrývky v priestore a čase. Krivka tvaru s opisuje priestorové rozdelenie snehu následovne. V iniciálnej fáze topenia (vyznačená na obrázku 3 a štvorčekom), ktorá môže trvať krátko (niekoľko týždňov - červená krivka) alebo dlhšie (aj viac ako mesiac - zelená krivka) ubúda sneh v povodí pozvoľne. Hlavnými oblasťami, kde sa fáza iniciálneho topenia odohráva, sú nižšie položené územia. Po iniciálnej fáze naznačuje krivka tvaru s fázu hlavného topenia. Zásoby snehu klesajú prudko v celom povodí, sneh sa uvoľní do toku prakticky počas 2 až 3 týždňov. Záver topenia (spodný štvorček) možno pripísať vysoko položeným oblastiam, kde sa ešte nachádza sneh a postupne sa uvoľňuje do toku. V povodí Hrona sa na počiatočnom topení podieľa od 5 do 20% územia a na konečnej fáze cca 10% územia. V krivke „exponenciálneho“ tvaru (b) sa počiatočná fáza buď vyskytuje (štvorček na Obr. 3b), vtedy môže byť znova topenie snehu pripísané nižším polohám, alebo úplne chýba. V prípade absencie iniciálnej fázy možno ubúdanie snehu v povodí interpretovať takto. Sneh mizne v povodí od nástupu topenia rýchlo v období 2-3 týždňov. Ubúdanie sa spomalí približne v polovici trvania celého procesu topenia, čo znamená, že v povodí sa snehová pokrývka nachádza ešte na pomerne veľkom území. Na území horného Hrona predstavuje

táto plocha okolo 40%. Zásoby snehu z tohto územia sa uvoľňujú postupne. Ak sa v odvodených exponencialnych čiarach objavila fáza počiatočného topenia, tak len na malom percente plochy povodia Hrona (5%). Krivka (c) s postupne klesajúcim trendom hovorí, že sneh v povodí ubúda počas fázy topenia postupne. Túto krivku nie je možné rozdeliť na iniciálnu, hlavnú a konečnú fázu topenia, čo možno v spojení s percentom pokrytej plochy vysvetliť tak, že vždy takmer rovnaké množstvo snehu mizne na takmer rovnakej ploche povodia. Je vhodné si tiež všimnúť aj skorý nástup topenia snehu. Krivka (d) nemá charakteristický tvar, a preto nemožno vyvodiť jednoznačné závery o rozložení snehu v povodí počas zimy. Je možné len skonštatovať, že v niektorých časových úsekoch nebolo celé povodie pokryté snehom. Predpokladáme, že ide hlavne o údolné a stredné polohy, kde sa variabilita snehu mení vplyvom kolísajúcich teplôt.

V nasledujúcej časti sme sa zamerali na charakterizovanie zím podľa sumy záporných teplôt vzduchu za mesiace november až apríl (obr. 4) a meraných výšok snehu, ako aj simulovaných vodných hodnôt snehu (obr. 5). Na základe teploty vzduchu spriemerovanej z meraní na 6 klimatických staniciach boli všetky zimy rozdelené do týchto tried: veľmi chladné, chladné, mierne, teplé a veľmi teplé. Kritériom pre zaradenie do kategórie veľmi chladné zimy bola suma prevyšujúca –700 [°C] a do kategórie veľmi teplá bola uvedená suma nižšia ako –500 [°C]. Smerodajným pre kategórie chladné, mierne a teplé zimy bol dlhodobý priemer za obdobie 40 rokov. Výsledok triedenia zím podľa teploty vzduchu je v Tab. 1.



Obr. 4 Suma záporných teplôt vzduchu vypočítaná ako aritmetický priemer z meraní na 6 klimatických staniciach pre mesiace XI.–IV. a dlhodobý priemer za obdobie 40 rokov.

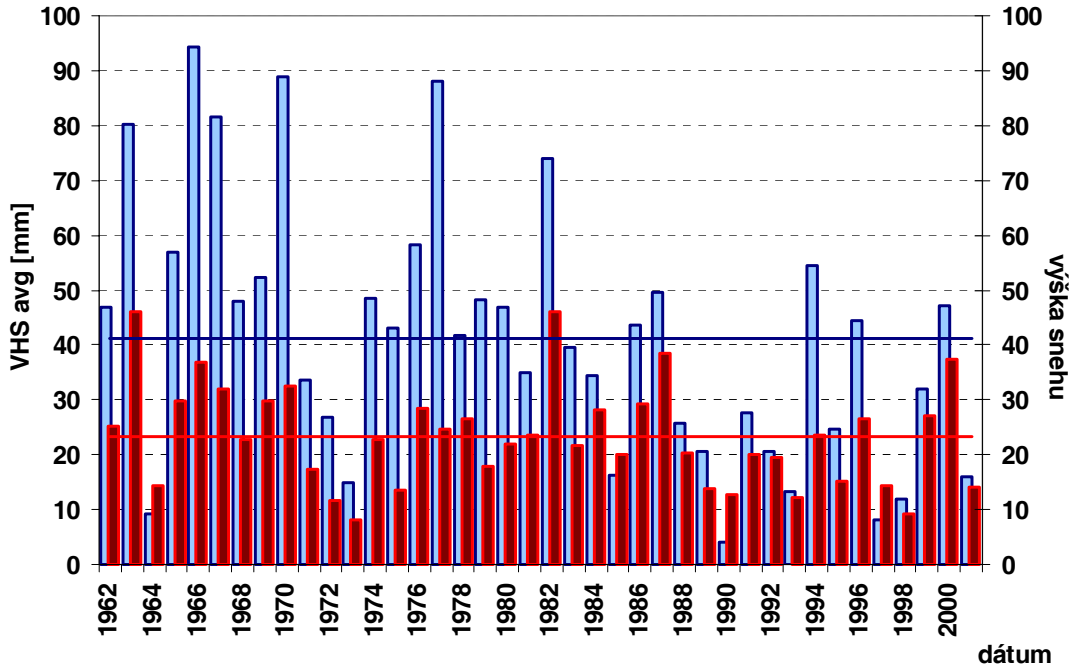
Fig. 4 The sum of negative temperatures calculated as arithmetical mean from values measured at 6 climatic stations for month XI.–IV. and long-term average for the time period of 40 years.

Tab. 1 Klasifikácia zím podľa sumy záporných teplôt vzduchu za mesiace XI.-IV.

Tab. 1 Classification of winters according to the sum of negative temperatures for month XI.-IV.

kategória	zimy
veľmi chladná	1963, 1964, 1968, 1969, 1970, 1976, 1982, 1984, 1985, 1987, 1996
chladná	1962, 1965, 1966, 1967, 1978, 1981, 1986, 2000
mierna	1980, 1993, 1997, 1999
teplá	1971, 1974, 1977, 1979, 1991, 1992
veľmi teplá	1972, 1973, 1983, 1988, 1989, 1990, 1994, 1995, 1998, 2001

Podľa meranej výšky snehu a simulovanej vodnej hodnoty boli zimy charakterizované na veľmi chudobné, chudobné, priemerné, bohaté a veľmi bohaté na sneh. Výšky snehu boli pre celé povodie vypočítané v jednotlivých zimách ako aritmetický priemer z 23 snehomerných profilov. Obr. 5 zobrazuje výšky snehu a vodné hodnoty snehu ako aj dlhodobé priemery za obdobie 1962-2001. Za zimy bohaté a veľmi bohaté boli považované všetky tie, ktorých hodnoty uvedených snehových charakteristík boli nad dlhodobým priemerom. Hodnoty snehových charakteristík priemerných zím sa pohybovali okolo dlhodobého priemeru. Hodnoty nižšie ako dlhodobý priemer určili, že zima je chudobná alebo veľmi chudobná na sneh. Hraničné hodnoty medzi veľmi bohatou a bohatou, resp. chudobnou a veľmi chudobnou zimou boli viac ako 60 mm a menej ako 30 mm. V sporných prípadoch, napr. zima 1977, ktorá bola podľa výšky snehu priemerná, ale podľa vodnej hodnoty snehu veľmi bohatá, sme sa priklonili k hodnoteniu podľa vodnej hodnoty snehu i ked simulovanej. Tá sa ukázala po vyhodnotení maximálnych nameraných prietokov z topiaceho sa snehu smerodatnejšia, lebo na jar 1977 kulminoval prietok najvyššou hodnotou za 40-ročné obdobie $Q > 250 m^3/s$. Logicky preto zima 1977 musela byť na sneh bohatá, čo nám neskôr potvrdilo aj maximum vodnej hodnoty snehu, ktoré bolo za roky 1962-2001 najvyššie práve počas tejto zimy [250 mm].



Obr. 5 Meraná výška snehu [cm] vyjadrená pre každú zimu ako aritm. priemer z 23 snehomerných profilov (červené stĺpčeky), priemerná simulovaná vodná hodnota [mm] (modrá farba) a dlhodobé priemery oboch charakteristík.

Fig. 5 Measured depth of snow [cm] expressed for each winter season as arithmetical average from 23 snow courses (red columns), the mean of simulated snow water equivalent [mm] (blue columns) and the long-term averages of both the characteristics calculated for the time period of 1962-2001.

Z analýzy 40 čiar sme dospeli k záveru, že tvar čiary nie je pre určité povodie stály, ako sa píše v práci Turčan *et al.* (1978), ale sa mení vzhľadom na charakter zimy. Oponovanie starším poznatkom argumentujeme následovnými výsledkami.

Krivka v tvare s bola platná prevažne pre zimy veľmi bohaté a bohaté na sneh, teplotne prevažne veľmi chladné. Veľmi bohaté zimy (1963, 1966, 1970, 1977, 1982, 1987, 2000) a bohaté na sneh (1969, 1986, 1996, 1999) mali charakter veľmi chladných a chladných zím (pozri tab. 1). Krivka čiar mala v takýchto prípadoch hladký priebeh bez výkyvov, ktoré by značili zmenu zásob snehu na území vplyvom kolísajúcich teplôt vzduchu. Čo sa týka zásob snehu, výnimkou pre typ krivky s boli zimy 1962, 1968, 1974 s priemernou zásobou snehu a jedna chudobná zima 1971. Výnimkou z teplotnej charakteristiky boli zimy 1971 a 1974, ktoré boli teplé.

Pre tvar krivky v „exponenciálnom" tvare (b) nebolo možné vyvodiť jednoznačné závery. Krivka bola priradená rôzne bohatým zimám, i keď najpočetnejšiu skupinu tvorili na sneh chudobné zimy (1964, 1971, 1972, 1981, 1984, 1985, 1988, 1991, 2001). Rovnako početné skupiny predstavovali priemerné zimy (1978, 1979, 1980, 1983) a zimy bohaté (1965, 1967, 1976 a 1994). Rôznorodé boli zimy aj teplotne. Možno však skonštatovať, že v danej kategórii sa častejšie objavujú teplé a veľmi teplé zimy (tab. 1), čím sa plynulosť krivky prerušuje početnejším výskytom vĺn z topenia, väčších, či menších rozmerov.

Postupne klesajúci trend (čiara c) bol platný pre veľmi teplé, chudobné (1975) a veľmi chudobné zimy (1989, 1992).

Čiary bez určitého tvaru s rozkolísaným priebehom (d) boli odvodené krivky len pre veľmi chudobné zimy 1973, 1990, 1993, 1995, 1997 a 1998. Pravidlom bolo, že čiary posledného typu mali značne rozkolísaný priebeh, čo znamená, že v daných zimách sa často striedali náhle oteplenia s opätovným ochladením. Pri oteplení sa v niektorých prípadoch snehová pokrývka roztopila skoro na celom území, ochladenie prinieslo opätovné sneženia, kde sa povodie pokrylo snehom buď čiastočne, alebo dokonca na 100% (Obr. 3d).

Využitie čiar pre predpoveď odtoku zo snehu

Základna myšlienka použitia čiar do predpovednej verzie zrážkovo-odtokového modelu SRM (Martinec *et al.*, 1998) je postavená na kategorizácii čiar, ktorú sme vykonali. Podľa teploty vzduchu a hodnôt vodnej hodnoty snehu nameraných v teréne k určitému dátumu by sa predbežne určil charakter skúmanej zimy. Z kategórie čiar typizovaných na určité teplotné a snehové pomery by sa vybral ten tvar, ktorý zodpovedá skupine zím s podobnými vlastnosťami ako je skúmaná zima. Tento tvar čiary ubúdania snehovej pokrývky by sa potom použil spolu s predpovedanými teplotami a zrážkami ako priamy vstup do modelu. V budúnosti bude však ešte potrebné základnú klasifikáciu čiar podľa teploty vzduchu a veľkosti vodnej hodnoty snehu rozšíriť o klasifikáciu podľa priebehu vodnej hodnoty snehu, maxima vodnej hodnoty snehu za zimnú sezónu, nástupu a dĺžky topenia atď. Tým by sa zovšeobecnili ďalšie faktory, ktoré spôsobujú určité variácie v základných štyroch zistených typoch čiar. Príkladom môžu zimy 1969 a 1996 charakteristické takmer identickým priebehom vodnej hodnoty počas sezóny. Rovnaký priebeh tejto snehovej charakteristiky v oboch zimách dáva typizovanej s čiare ubúdania snehu rovnakú dĺžku a sklon iniciálnej, hlavnej a konečnej fázy topenia.

ZÁVER

Z analýzy čiar ubúdania zásob snehu v povodí, odvodených pre 40 zím z rastrových máp simulovanej vodnej hodnoty sme dospeli k záveru, že tvar krivky týchto čiar nie je pre určité povodie stály. Naopak mení sa v závislosti od charakteru zimy. Pre zimy veľmi bohaté a bohaté a teplotne prevažne veľmi chladné bola určená krivka v tvare s. Pre bohaté, priemerné ale najpočetnejšiu skupinu zimy chudobné sa objavoval tvar krivky v „exponenciálnom" tvare. Pri „exponenciálnom" type už prevažovali zimy teplé až veľmi teplé nad chladnými. V chudobných a veľmi chudobných zimách trend krivky klesal postupne a pre zimy s veľmi chudobnými zásobami snehu nebolo možné určiť konkrétny tvar.

V posledných dvoch kategóriach sa vyskytovali najmä veľmi teplé zimy, čím sa vysvetlilo vytrácanie plynulosti krivky prerušovanej vlnami z náhleho topenia a opätovného sneženia. Rozkolísanie kriviek typizovaných čiar všeobecne signalizovalo, že variabilita trvania snehovej pokrývky na území je ovplyvňovaná tým viac, čím chudobnejšia na sneh a teplejšia je zima.
V budúnosti bude potrebné základnú klasifikáciu čiar podľa teploty vzduchu a veľkosti vodnej hodnoty snehu rozšíriť o klasifikáciu napr. o priebehu vodnej hodnoty alebo maxima vodnej hodnoty snehu za zimnú sezónu, nástupu a dĺžky topenia snehu atď. Tým by sa zovšeobecnili ďalšie faktory, ktoré spôsobujú určité variácie v základných štyroch určených typoch čiar.

POĎAKOVANIE

Výskum bol podporený agentúrou VEGA prostredníctvom grantu 2/3184/23.

Literatúra

Anderson, E. A (1973): National Weather Service river forecast system-snow accumulation and ablation model. National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA),Tech. Mem., NWS-HYDRO-17, U.S. Department of Commerce, Silver Spring, s. 217.

Anderson, E. A (1977): Initial parameter values for the snow accumulation and ablation model. Appendix to an unidentified publication, s. 15.

Babiaková, G. (1978): Posúdenie možností použitia základných vstupných údajov v modeli akumulácie a odmäku snehovej pokrývky. Vodohosp. čas., 26, 4, 397-408.

Babiaková, G. (1980): Príspevok k vertikálnemu rozdeleniu zrážok. Vodohosp. čas., 28, č.6, 596-605.

Barták, Z. (1980): Sněhomerný průzkum v povodí vodního díla Nýrsko. Vodohosp. čas., roč. 28, č. 2, 245-255.

Borovikova, L. N, Denisov, J. M., Trofimova, E. B., Šencis, J. D. (1972): Matematičeskoje modelirovanie processa stoka gornych rek. Trudy, vypusk 61, 76, Leningrad, Gidrometeoizdat.

Braun, L. N. (1985): Simulation of snowmelt-runoff in lowland and lower Alpine regions of Switzerland. Zűrcher Geographische Schriften, ETH Zűrich, 21, s.166.

Brubaker, L. K., Menoes, M (2001): A technique to estimate snow depletion curves from time-series data using the Beta distribution. 58th Eastern Snow Conference, Ottawa, Ontario, Canada, p. 4.

Elder, K., Dozier, J., Michaelsen, J. (1991): Snow Accumulation and Distribution in an Alpine Watershed. Water Resources Research, Vol. 27, No. 7, 1541-1552.

Holko, L., Kostka, Z., Parajka, J. (1999): Spatial distribution of snow in mountain catchments and basin-averaged modelling. Int. Conf. "Problems in Fluid Mechanics and Hydrology", Institute of Hydrodynamics AS CR, 1999, Praha, Česká republika, 400-407.

Keckler, D. (1995): Surfer for Windows. User's Guide, Golden Software, USA.

Kolberg, S. A., Gottschalk, L. (2003): Updating of snow depletion curve with remote sensing data. Geophysical Research Abstracts, Vol. 5, Abstract No. 09957.

Kostka, Z. (2001): Akumulácia, topenie a transport snehu v povodí s členitým reliéfom. Acta Hydrologica Slovaca, roč. 2, č. 1, 113-121.

Kostka, Z., Holko, L. (2002): Impact of climate and vegetation changes on hydrological processes in the Jalovecký creek catchment. Full paper (CD version) for the International Conference on 'Interdisciplinary Approaches in Small Catchment Hydrology: Monitoring and Research held in Demänovská dolina, Slovakia, from 25 to 28 September 2002.

Martinec, J., Rango, A., Roberts, R. (1998): Snowmelt Runoff Model (SRM). User's Manual, University of Berne, s. 84.

McDonnell, J. J. (1985): Snowcover ablation and meltwater runoff on a small Precambrian shield watershed. M.Sc. Thesis, Watershed Ecosystem Program, Trent Univ., Peterborough, Canada.

Menoes, M. C., Brubaker, K. L. (2001): How similar are the depletion curves from year to year? Case study in the Upper Rio Grande Watershed. 58th Eastern Snow Conference, Ottawa, Canada.

Molotch, N. P., Painter, T. H., Colee, M. T., Rosenthal, C. W, Dozier, J. Bales, R. C. (2001): Analysis of the spatial variability of snow cover depletion in an alpine watershed, Tokopah basin, Sierra Nevada, California, U.S.A.. 69th Annual Meeting of the Western Snow Conference, s. 9.

Netopil, R. Brázdil, R., Demek, J., Prošek, P. (1984): Fyzická geografie 1. SPN Praha, s. 272.

Parajka, J (2001): UEB EHZ – Distribuovaný energeticky založený model akumulácie a topenia snehovej pokrývky. Acta Hydrologica, ÚH SAV, roč. 2, č. 2, 58-63.

Pecušová, Z., Parajka, J., Hrušková, K. (2002): Spatial estimation of snow water equivalent in the mountain basin Bystrá. In Interdisciplinary approaches in small catchment hydrology: monitoring and research, ERB and Northern European FRIEND Project 5 Conference, Demänovská dolina, Slovakia, September 25.- 28., s. 217-221

Pobeha, Ľ. (1984): Zhodnotenie rôznych spôsobov vyhodnocovania zásob vody v snehovej pokrývke povodia Oravskej nádrže a možnosti ich aplikácie na povodie Váhu po nádrž Nosice. Vodohosp. čas., 32, 3, 282-309.

Pomeroy, J. W., Gray, D. M. (1995): Snowcover accumulation, relocation and management. National Hydrology Research Institute Science Report No. 7, s. 135.

Sevruk, B. (1992): Snow cover measurements and areal assessment of precipitation and soil moisture. Operational Hydrology Report, No. 35, WMO-No.749, Geneva, s. 283.

Schulla, J., Jasper, K. (1999): Model description WaSiM-ETH (Water Balance Simulation Model ETH). Institute of Geography ETH, Zűrich, 166s.

Turčan, J. (1973): Príspevok k určeniu zásoby snehu v horskom povodí. Vodohosp. časopis, Roč. XXI, č. 3-4, 367-376.

Turčan, J. (1978): Použitie pozemnej fotogrametrie pre snehomerné práce. Vodohosp. časopis, Roč. XVIII, č. 2.

Turčan, J., Babiaková, G., Šimo, E. (1978): Výskum tvorby a režimu odtoku zo snehu, I. Etapa. Záv. Správa ČÚ II-7-2/1, Ústav hydrológie a hydrauliky SAV, Bratislava.

MOŽNÝ VPLYV KLIMATICKEJ ZMENY NA PRIESTOROVÝ A DYNAMICKO-KLIMATOLOGICKÝ VÝSKYT BÚROK NA SLOVENSKU

Jozef Pecho

V predkladanom príspevku sme sa zamerali na štatistickú, priestorovú a dynamicko-klimatologickú analýzu početnosti dní s búrkou v rámci jednotlivých regiónov Slovenska v období 1951, resp. 1961 až 2002. Hlavným cieľom riešenia tejto závažnej problematiky bolo na základe výsledkov vyššie uvedených analýz hľadať určité logicky zdôvodniteľné súvislosti medzi dlhodobými priestorovými zmenami výskytu búrok a zmenami veľkopriestorovej cirkulácie atmosféry. Na štatistickú a dynamicko-klimatologickú analýzu sme použili údaje z 55 meteorologických, resp. klimatologických staníc. Pri hodnotení možného vzťahu medzi klimatickou zmenou a charakteristikami búrkovej činnosti sme uprednostňovali metódy štatistického hodnotenia časových radov (štatistické trendy a cykličnosť). V rámci dynamicko-klimatologickej analýzy sme sa pokúsili zhodnotiť vplyv zmien veľkopriestorovej cirkulácie atmosféry na dlhodobé zmeny priestorového výskytu búrok, a to najmä v letnom období.

Kľúčové slová: búrky na Slovensku, klimatická zmena, štatistická analýza, dynamicko-klimatologická analýza, dlhé časové rady

Possible impact of climate change on spatial and dynamic-climatological occurrence of thunderstorms in Slovakia. *Climatological analysis of long-term changes in spatial and dynamic-climatological incidence of thunderstorms in Slovakia in the 1951, resp. 1961 – 2002 period is presented in this contribution. Statistical evaluation of long-term tendency of thunderstorms occurrence in particular regions of Slovakia and attempt of correct interpretation of mentioned changes is the prime object of presented contribution. The long-term data series from 55 meteorological stations have been used for statistical, spatial and dynamic-climatological analysis. In the presented contribution we have tried to find some logical relation between the changes in total number of thunderstorms on the one hand and the changes in large-scale circulation over the Slovakia on the other hand.*

Key words: thunderstorms in Slovakia, climate change, statistical analysis, dynamic-climatological analysis, long-term time serie

.

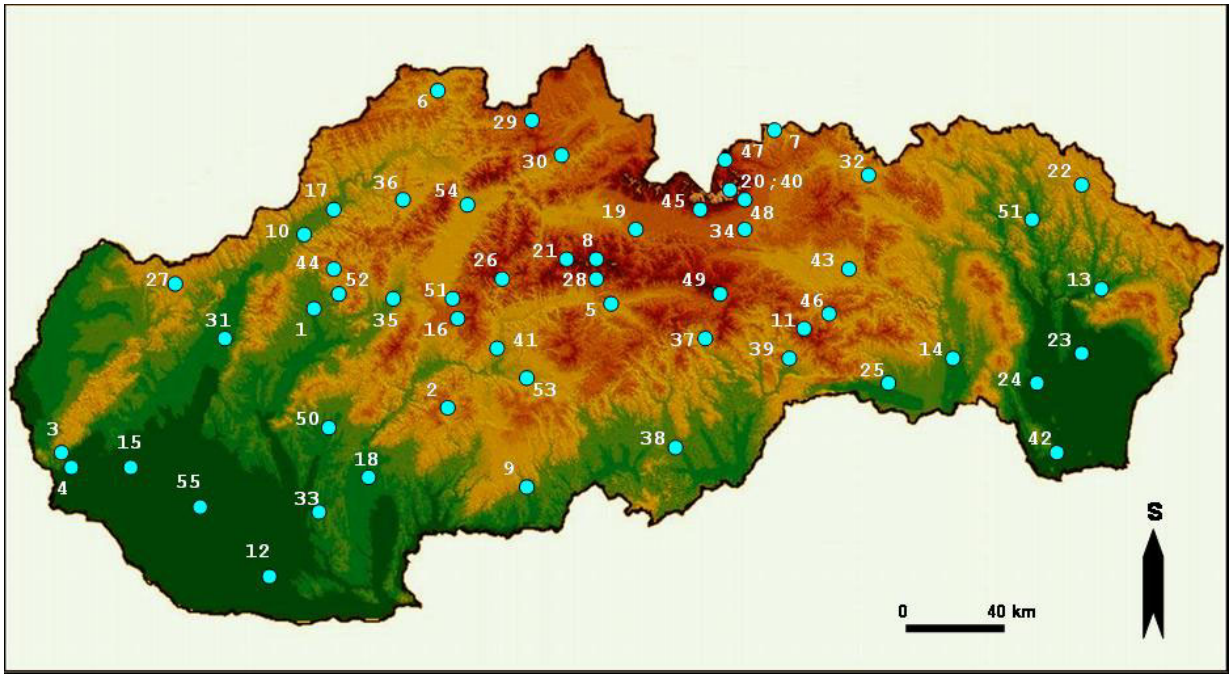
Úvod

Búrky, patriace nepochybne medzi najatraktívnejšie a súčasne aj najnebezpečnejšie prírodné javy, sa podobne ako iné extrémne prejavy počasia stávajú v poslednom období stredobodom pozornosti tak odbornej ako aj laickej verejnosti, a to najmä v súvislosti s očakávanými prejavmi klimatickej zmeny. Predpokladá sa, že najmä rast teploty vzduchu prízemnej vrstvy atmosféry môže do značnej miery ovplyvniť dynamiku atmosférických procesov vedúcich k vzniku búrok. Opodstatnenosť riešenia tohto závažného problému vyplýva najmä z potreby predikcie všeobecného charakteru búrkovej činnosti na Slovensku v nasledujúcom období, ktorého klimatické podmienky budú zrejme do značnej miery ovplyvnené už spomínanou klimatickou zmenou.

Prvým z cieľov predkladaného príspevku je analyzovať priestorové a časové zmeny výskytu búrok na Slovensku v období rokov 1951, resp. 1961 až 2002, a to na základe zmien počtu dní s búrkou pozorovaných na meteorologických staniciach v rôznych regiónoch Slovenska. Druhým, zrejme ešte dôležitejším cieľom, je na základe výsledkov dynamicko-klimatologickej analýzy zhodnotiť citlivosť jednotlivých regiónov na výskyt búrok počas rôznych poveternostných situácií, a to predovšetkým v letnom období. Dlhodobé zmeny v početnosti búrok v rámci jednotlivých synoptických typov počasia môžu veľa napovedať najmä o meniacich sa pomeroch veľkopriestorovej cirkulácie, ktorých pôsobením zrejme dochádza aj k zmenám priestorového výskytu búrok na Slovensku. Popri potvrdení tohto predpokladu je nevyhnutné zistiť aj to, ktoré typy synoptických situácií majú najväčší podiel na týchto zmenách a aký je ich konkrétny prejav v jednotlivých regiónoch Slovenska.

Použité údaje

Na štatistickú analýzu sme použili údaje z 55 meteorologických, resp. klimatologických staníc, ktorých výber ovplyvnila požiadavka tak na dostatočne dlhé a kvalitné časové rady pozorovaných búrkových javov (obdobie: 1951-2002, resp. 1961-2002), ako aj na polohu jednotlivých staníc v rámci regiónov s pomerne častým výskytom búrok počas roka.
V prípade analýzy zmien priestorového výskytu búrok v uvedenom období sme vychádzali z hodnotenia počtu dní s búrkou na vybraných staniciach za rok, sezóny (jar: III. - V.; leto: VI. – VIII.; jeseň: IX. – XI.; a zima: XII. – II.), či iné klimaticky významné obdobia, ako napríklad teplý (IV. – IX.) a chladný (X. – III.) polrok. Z hľadiska predmetu práce sme sa v štatistickej analýze sústredili na hodnotenie vývojových trendov uvedeného prvku v jednotlivých regiónoch a uvedených sezónach, pričom sme využili možnosti v klimatológii bežne používaných štatistických metód výskumu.. Priestorové rozloženie použitých meteorologických staníc je ilustračne znázornené na Obr.1 (kompletný zoznam je uvedený v Tab.1).



Obr.1 Priestorové rozloženie použitých meteorologických staníc na Slovensku (číselné označenie zodpovedá ich poradiu v Tab.1).

Fig.1 Spatial distribution of used meteorological stations in Slovakia (the numbers of stations in Fig.1 agree with numerical order in Tab.1).

Pre potreby dynamicko-klimatologickej analýze bolo potrebné „transformovať“ počet dni s búrkou na konkrétny dátum výskytu búrok v rámci celého 51, resp. 41-ročného časového radu. V tomto prípade sme použili informačnú bázu z 50 meteorologických staníc. Nemenej významnými boli aj informácie o výskyte vybraných typov synoptických situácií v sledovanom období nad územím Slovenska, ktoré sú pre každý rok prehľadne publikované v Meteorologických správach.
Závažným problémov použitých časových radov uvedených prvkov je hodnotenie ich spoľahlivosti, resp. homogenity. Obzvlášť sa to dotýka spoľahlivosti časových radov počtu dní s búrkou, resp. termínov výskytu búrok. Je všeobecne známe, že metodika pozorovania búrok je značne zaťažená subjektivitou a často krát aj obmedzenými schopnosťami pozorovateľa identifikovať búrku hlavne v tých prípadoch, keď sa jav vyskytol vo väčšej vzdialenosti (nad 3 km) od pozorovacej stanice, prípadne mimo pozorovacieho termínu (7., 14. a 21. hod.), predovšetkým v nočných hodinách.

Tab.1 Zoznam použitých meteorologických staníc (P – poradie; v zátvorke sú uvedené obdobia použité v štatistickej analýze).

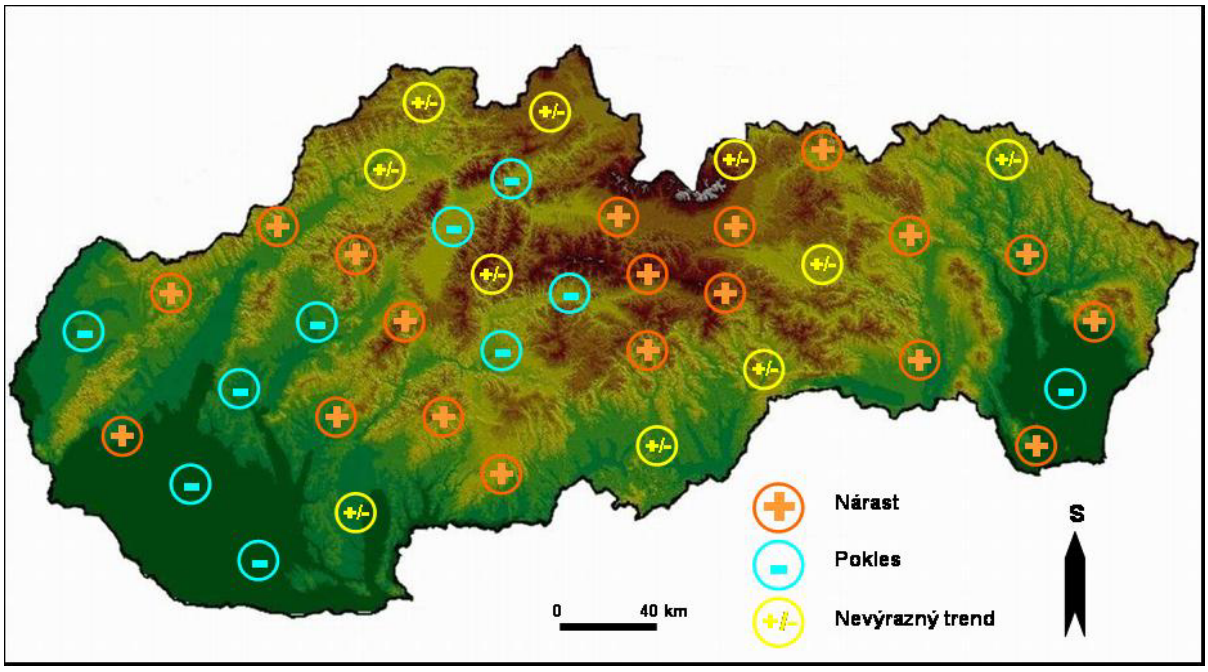
Tab.1 The list of used meteorological stations (P – numerical order, the used time periods are mentioned in the round brackets).

P	Názov stanice	P	Názov stanice
1.	**Bánovce nad Bebravou** (1951-2002)	28.	**Mýto pod Ďumbierom** (1951-2002)
2.	**Banská Štiavnica** (1961-2002)	29.	**Oravská Lesná** (1951-2002)
3.	**Bratislava - Koliba** (1951-2002)	30.	**Oravská Podzámok** (1961-2002)
4.	**Bratislava - letisko** (1951-2002)	31.	**Piešťany** (1951-2002)
5.	**Brezno** (1961-2002)	32.	**Plaveč** (1961-2002)
6.	**Čadca** (1961-2002)	33.	**Podhájska** (1961-2002)
7.	**Červený Kláštor** (1961-2002)	34.	**Poprad** (1951-2002)
8.	**Chopok** (1961-2002)	35.	**Prievidza** (1951-2002)
9.	**Dolné Plachtince** (19621-2002)	36.	**Rajec** (1951-2002)
10.	**Dubnica** (1951-2002)	37.	**Revúca** (1961-2002)
11.	**Henclová** (1961-2002)	38.	**Rimavská Sobota** (1961-2002)
12.	**Hurbanovo** (1951-2002)	39.	**Rožňava** (1961-2002)
13.	**Kamenica** (1951-2002)	40.	**Skalnaté Pleso** (1961-2002)
14.	**Košice-letisko** (1951-2002)	41.	**Sliač** (1951-2002)
15.	**Kráľová pri Senci** (1961-2002)	42.	**Somotor** (1951-2002)
16.	**Kremnica** (1951-2002)	43.	**Spišské Vlachy** (1961-2002)
17.	**Ladce** (1951-2002)	44.	**Šípkov** (1951-2002)
18.	**Levice** (1961-2002)	45.	**Štrbské Pleso** (1951-2002)
19.	**Liptovský Hrádok** (1951-2002)	46.	**Švedlár** (1951-2002)
20.	**Lomnický štít** (1951-2002)	47.	**Tatranská Javorina** (1961-2002)
21.	**Magurka** (1951-2002)	48.	**Tatranská Lomnica** (1961-2002)
22.	**Medzilaborce** (1961-2002)	49.	**Telgárt** (1951-2002)
23.	**Michalovce** (1961-2002)	50.	**Tesárske Mlyňany** (1961-2002)
24.	**Milhostov** (1961-2002)	51.	**Turček** (1961-2002)
25.	**Moldava nad Bodvou** (1961-2002)	52.	**Uhrovec** (1951-2002)
26.	**Motyčky** (1961-2002)	53.	**Vígľaš Pstruša** (1961-2002)
27.	**Myjava** (1961-2002)	54.	**Vrútky** (1961-2002)
		55.	**Žiharec** (1961-2002)

Dôležité je si tiež uvedomiť, že najmä v oblastiach s veľmi členitým reliéfom je celkový počet pozorovaných búrok o niečo nižší, ako by v skutočnosti mal byť. Tento problém je najlepšie ilustrovaný tým, že nie každá stanica poskytuje informácie o celkovom počte búrok, ktoré sa objavili v blízkom okolí stanice v rámci konkrétneho dňa. Mnohé stanice uvádzajú len jediným symbolom, či sa v danom dní búrky vyskytli, alebo nie (počet búrok neuvádzajú, pretože je to takto jednoduchšie). Z tohto dôvodu bolo vhodnejšie použiť objektívnejší prvok charakterizujúci frekvenciu výskytu búrok, a to počet dní s búrkou.

Výsledky štatistickej analýzy

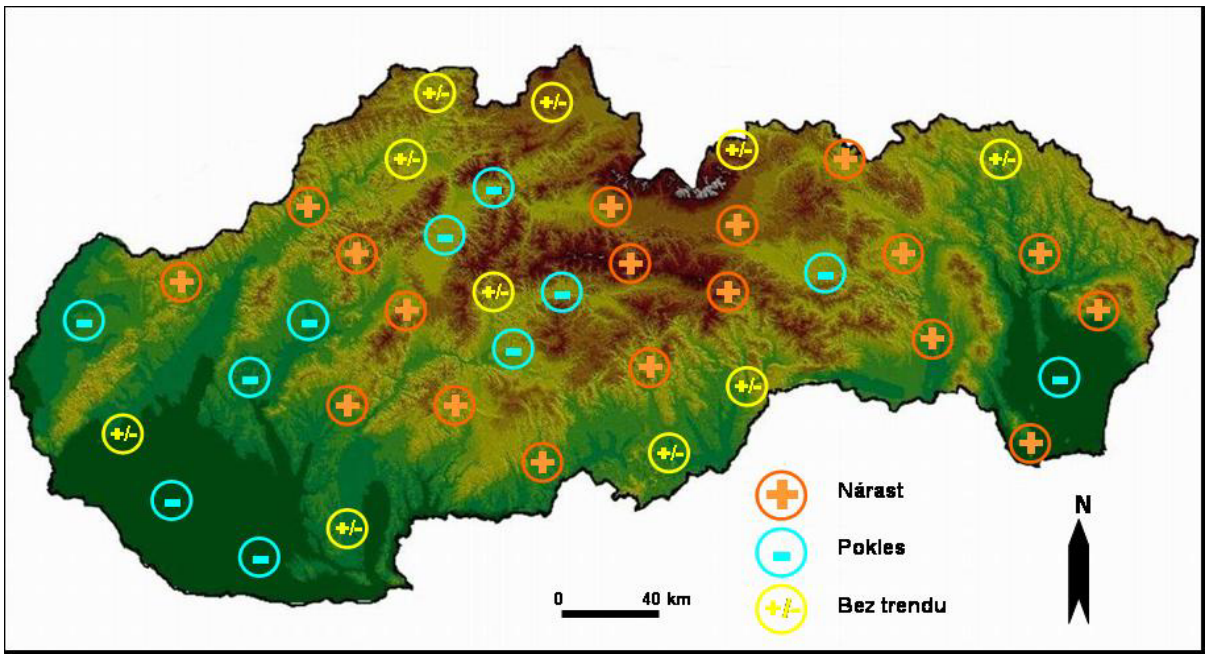
Na základe dosiahnutých výsledkov analýzy je možné potvrdiť všeobecný nárast počtu dní s búrkou na väčšej časti územia Slovenska, aj keď je potrebné pripomenúť, že sa potvrdili signifikantné rozdiely tak medzi jednotlivými regiónmi ako aj ročnými obdobiami (najmä teplým a chladným polrokom; Obr.2; 3 a 4).
Zatiaľ čo pre centrálne časti našich nížin je charakteristický celkový pokles búrkovej činnosti (Hurbanovo o takmer 15%; Obr.5), a to predovšetkým v letnom období, v ich okrajových častiach nie je tento pokles tak výrazný, naopak vo väčšine prípadov je nahradený miernym až výrazným rastom. Podobné trendy sa prejavujú aj v jarných mesiacoch. Naopak v chladnom polroku, predovšetkým v jesennom období, sa preukázal na väčšine staníc nezávisle od ich polohy trvalý nárast počtu dní s búrkou, ktorý je výraznejší najmä v posledných dvoch desaťročiach (80. a 90. roky 20. storočia). Veľmi podobný charakter zmien sa odzrkadľuje aj v dlhodobých trendoch výskytu búrok v rámci južnej časti stredného Slovenska (Juhoslovenská kotlina).



Obr.2 Priestorové rozloženie dlhodobých zmien ročného počtu dní s búrkou na Slovensku za obdobie 1951, resp. 1961 až 2002.

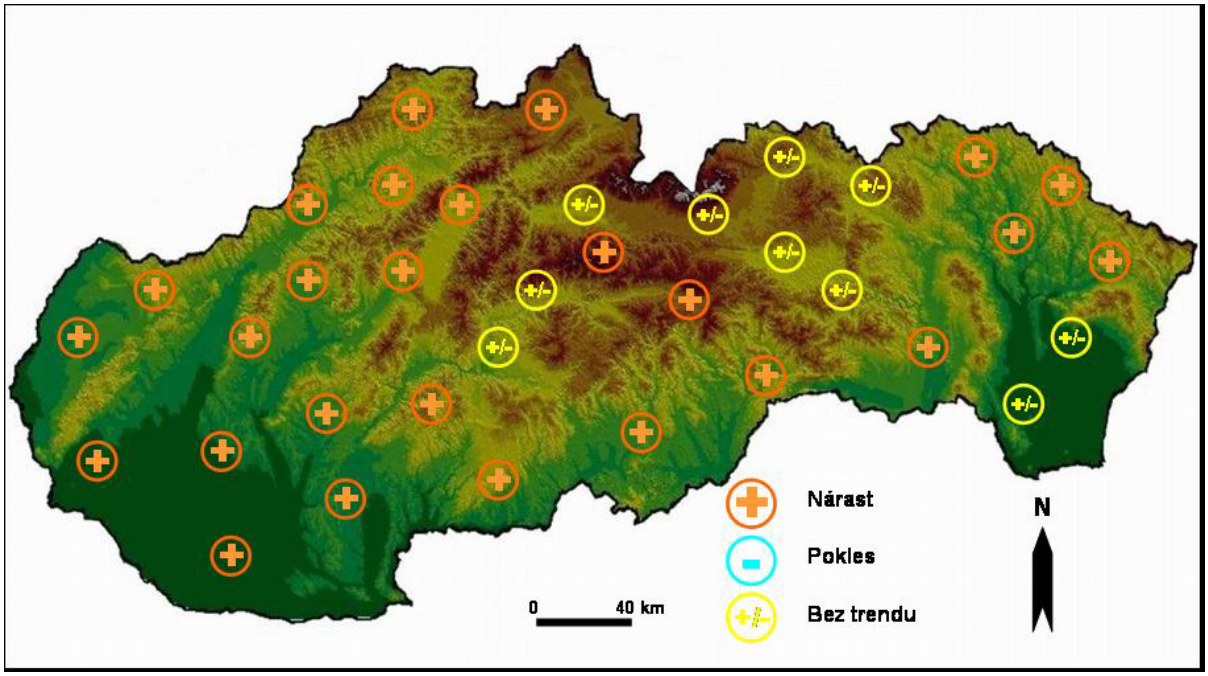
Fig.2 Spatial distribution of long-term changes in annual number of days with thunderstorm in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.

Veľmi zaujímavo sa správa vývoj častosti výskytu búrok v horských oblastiach stredného Slovenska. Pre južnejšie situované kotliny tohto regiónu (napr. Zvolenská kotlina a Horehronské podolie) je prekvapujúco typický výrazne klesajúci trend početnosti výskytu búrok vo všetkých ročných obdobiach, predovšetkým však v lete (Vigľaš-Pstruša: pokles až o takmer 40%). Pre horské oblasti stredného Slovenska je v sledovanom období naopak príznačné všeobecné zvýšenie početnosti búrkových dní vo všetkých ročných obdobiach. Podstatne odlišný charakter dlhodobých zmien sa prejavuje severne od horského masívu Nízkych Tatier, a to predovšetkým v kotlinových polohách, v rámci ktorých všetky sledované stanice zaznamenali nárast výskytu búrok, a to opäť najmä v letnom období (Poprad: nárast o takmer 40%).
Určitú podobnosť vo vývoji častosti výskytu búrok vykazujú lokality nachádzajúce sa na náveterných stranách pohorí v severnej a severozápadnej časti Slovenska. Meteorologické stanice nezaznamenali v týchto oblastiach za posledných 50 rokov žiadne významnejšie zmeny výskytu búrok.
V prípade niektorých staníc bolo možné v študovaných časových radoch identifikovať istú podobnosť vo výskyte viacročných cyklov (napr. Somotor, Oravská Lesná a pod.) (Obr.6). Na základe toho je možné si všimnúť, najmä v prípade počtu dní s búrkou za rok, že 60., 70. a zvlášť 90. roky sa vyznačovali relatívne častejším, zatiaľ čo 50. a najmä 80. roky menej častým výskytom búrok..



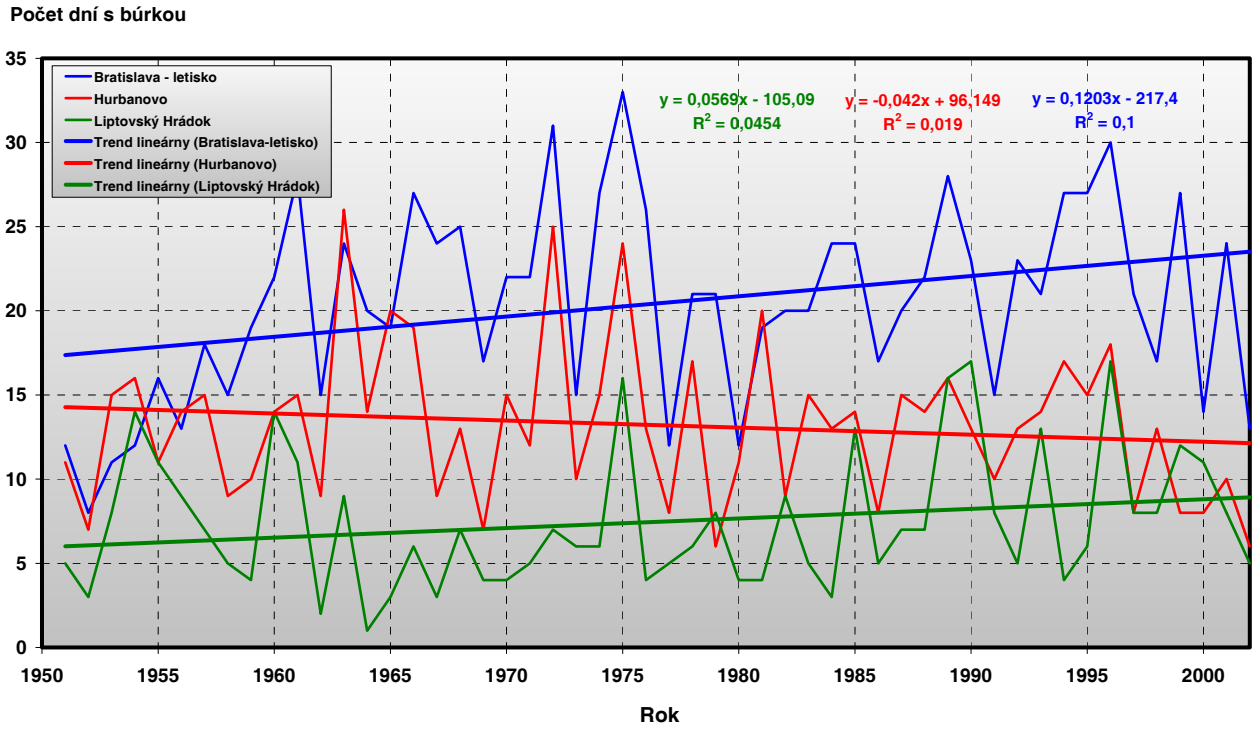
Obr.3 Priestorové rozloženie dlhodobých zmien v počte dní s búrkou na Slovensku v teplom polroku (IV. – IX.) za obdobie 1951, resp. 1961 až 2002.

Fig.3 Spatial distribution of long-term changes in number of days with thunderstorm within the warm half-year (April-September) in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.



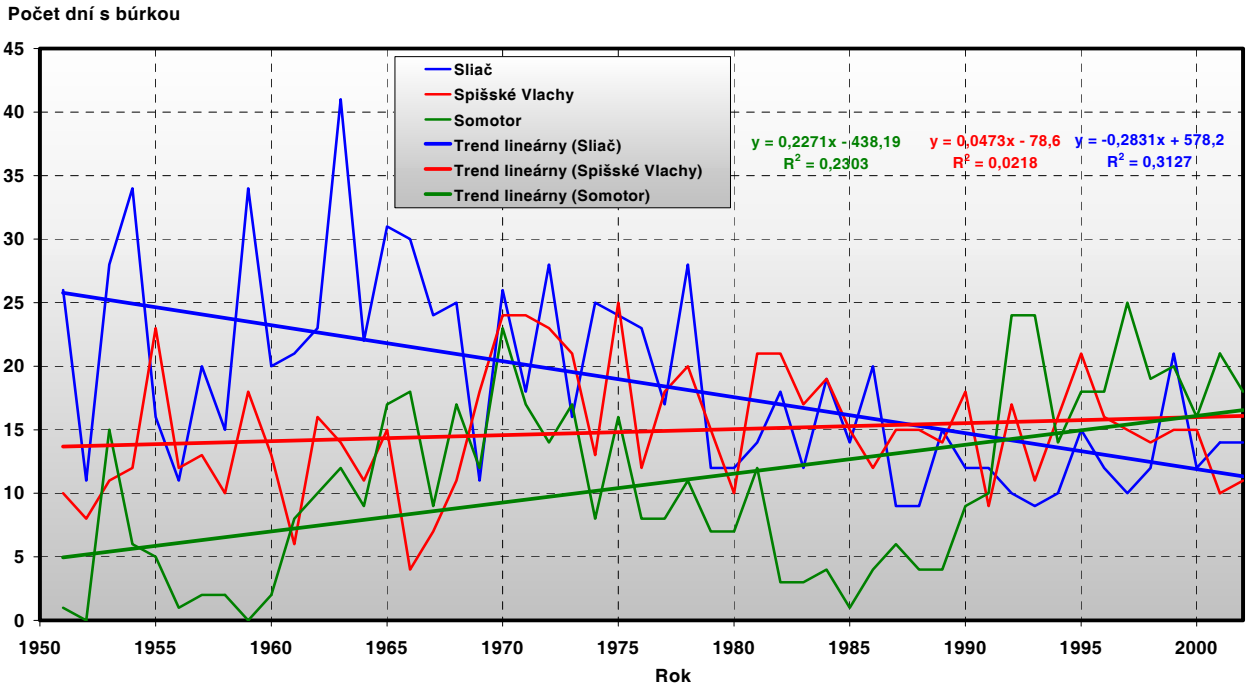
Obr. 4 Priestorové rozloženie dlhodobých zmien v počte dní s búrkou na Slovensku v chladnom polroku (X. – III.) za obdobie 1951, resp. 1961 až 2002.

Fig.4 Spatial distribution of long-term changes in number of days with thunderstorm within the wintry half-year (October-March) in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.



Obr. 5 Vývoj počtu dní s búrkou za rok na vybraných meteorologických staniciach na Slovensku v období 1951 až 2002.

Fig.5 The annual number of days with thunderstorm trend on selected meteorological stations in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.

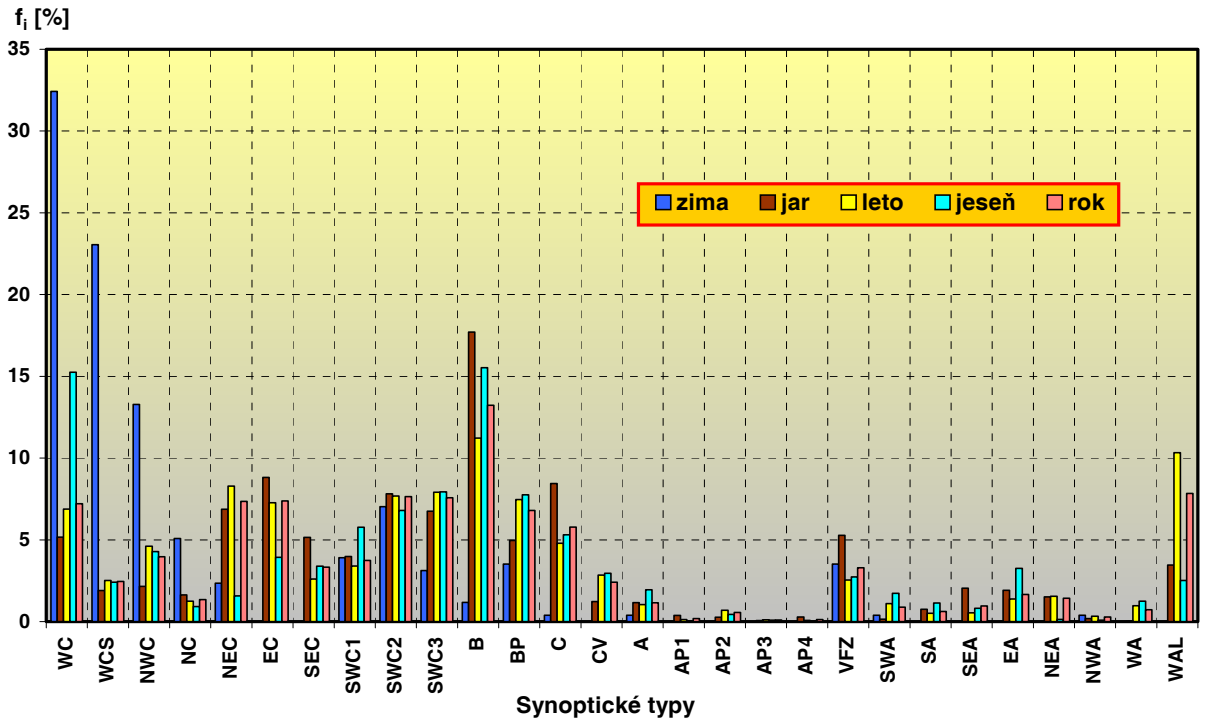


Obr. 6 Vývoj počtu dní s búrkou za rok na vybraných meteorologických staniciach na Slovensku v období 1951 až 2002.

Fig. 6 The annual number of days with thunderstorm trend on selected meteorological stations in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.

Výsledky dynamicko-klimatologickej analýza

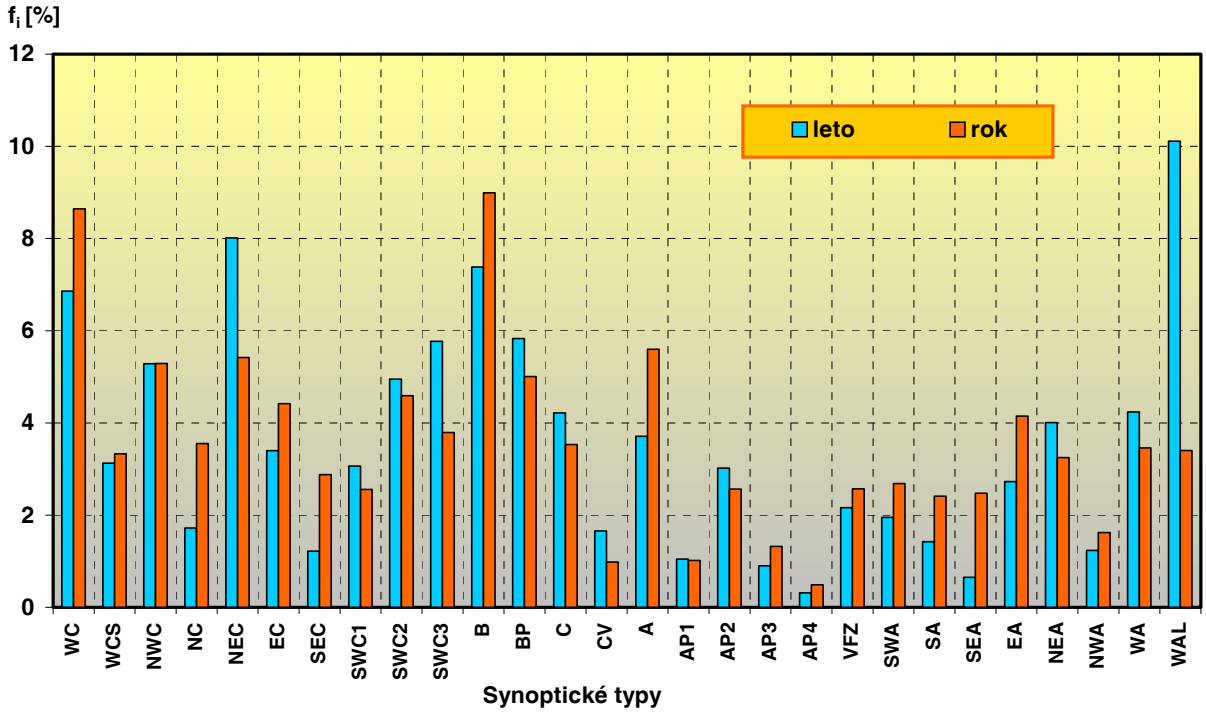
Ako sme uviedli už v úvode tohto príspevku, hlavným zámerom dynamicko-klimatologickej analýzy je pokúsiť sa do istej miery korektne zhodnotiť vplyv dlhodobých zmien početnosti vybraných poveternostných typov počasia na zmeny častosti výskytu búrok v jednotlivých regiónoch Slovenska a zistiť tak určitú regionálnu citlivosť na tvorbu a prejavy búrkovej činnosti pri zmenách veľkopriestorovej cirkulácie atmosféry.
Z grafu na Obr.7 je zjavná dominantnosť niektorých cyklonálnych, resp. anticyklonálnych synoptických situácií z hľadiska hodnotenia podielu počtu dní s búrkou v rámci jednotlivých typov počasia na území celého Slovenska.



Obr. 7 Podiel (f_i) vybraných synoptických typov počasia na celkovom počte dní s búrkou na Slovensku v období 1951 – 2002 (pre jednotlivé sezóny a rok).

Fig.7 The proportions (f_i) of selected synoptic types of weather to total number of days with thunderstorm in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.

V letnom období sa búrky najčastejšie vyskytujú počas synoptických typov **B** (11,22%), **Wal** (10,33%), **NEc** (8,28%), **SWc3** (7,9%), **SWc2** (7,69%), **Bp** (7,46%), **Ec** (7,26%) a **Wc** (6,89%). Podiel niektorých ďalších významných typov nepresiahol 5% (**C** – 4,8%; **NWc** – 4,6%;...). Najmenej zastúpenými synoptickými typmi sú **Ap4** (0,07%), **Ap3** (0,11%), **Ap1** (0,12%), ako aj **NWa** (0,33%). Zastúpenie uvedených synoptických typov sa vzhľadom na hodnotenie ostatných ročných sezón mení buď len veľmi nepatrne (napr. pri **SWc1**, **SWc2**,...) alebo podstatne výrazne (**Wal**, ako typický letný poveternostný typ má zastúpenie v rámci ostatných sezón len minimálne; naopak typy **Wc**, **Wcs** a **NWc** výrazne zvyšujú svoj podiel najmä v zimnom období).
Pri vzájomnom porovnaní grafov na Obr.7 a 8 je možné si všimnúť skutočnosť, že charakteristické zastúpenie búrkových dní v jednotlivých typoch počasia je možné všeobecne pripísať typickému rozdeleniu bežne sa vyskytujúcich synoptických situácií počas letného obdobia a roka. Aj napriek tomuto tvrdeniu tu existujú jemné rozdiely pri posudzovaní percentuálneho zastúpenia oboch charakteristík. Najvýraznejší rozdiel je v prípade synoptického typu **Ec**, počas ktorého sa vyskytlo v sledovanom období 7,26% búrkových dní, avšak jeho podiel na výskyte poveternostných typov v letnom období je len 3,40%. Pomerne výrazný rozdiel je v prípade typu **B** (10,22%, resp. 7,4%). Pri hodnotení ostatných poveternostných situácií nie sú tieto diferencie až tak markantné.



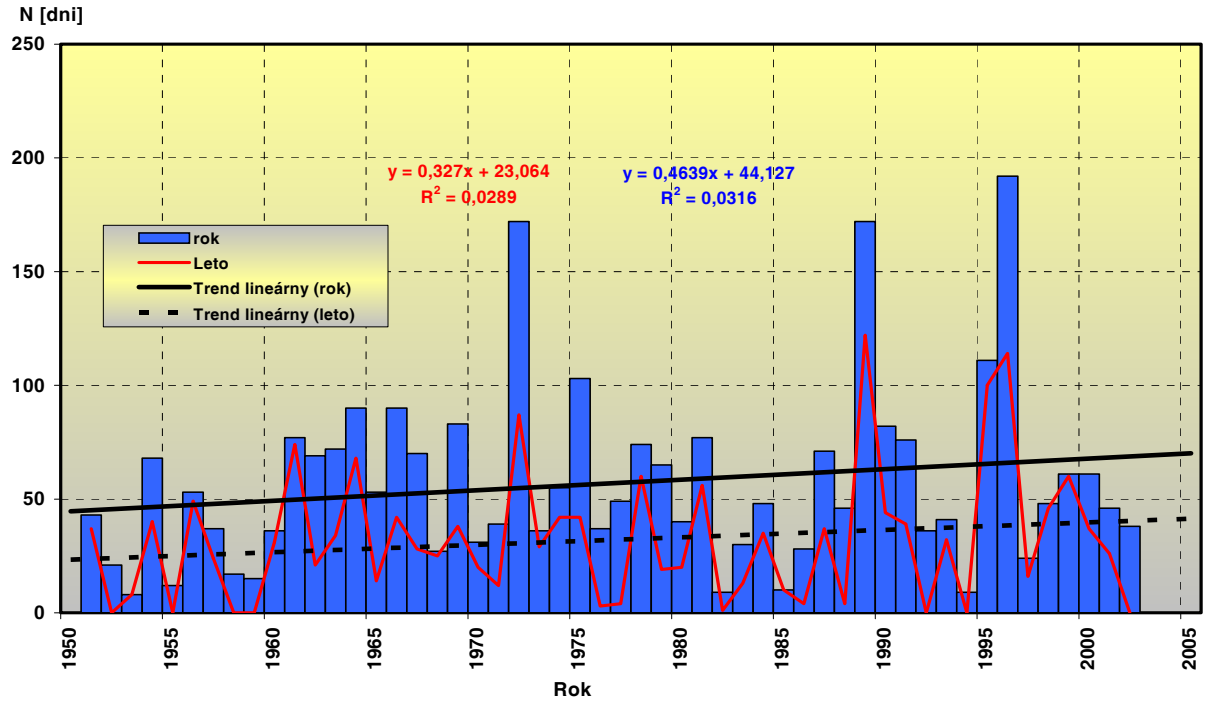
Obr. 8 Podiel (f_i) početnosti jednotlivých synoptických typov na celkovom počte poveternostných typov na Slovensku v období 1951 – 2002 (pre letné obdobie a rok).

Fig.8 The proportion of frequency of selected synoptic types to total number of synoptic types in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.

Z hľadiska hodnotenia dlhodobého zastúpenia búrkových dní v rámci jednotlivých typov počasia vo vybraných regiónoch Slovenska možno všeobecne konštatovať určitú všeobecnú zhodu regionálnych rozdelení početností s rozdelením na celoslovenskej úrovni. Popri tejto všeobecnej zhode je možné pri vzájomnom porovnaní jednotlivých oblastí identifikovať aj určité závažnejšie rozdiely, resp. podobnosti v zastúpení konkrétnych synoptických typov pri výskyte búrok..
V rámci celoslovenského zhodnotenia (Obr.7) je možné si všimnúť určitú dominantnosť typov **B** a **Wal** z hľadiska výskytu búrkových dní. Pri regionálnom porovnávaní však všeobecne platí, že vplyv poveternostného typu **Wal** je výraznejší v severnejších, vyššie položených oblastiach Slovenska, zatiaľ čo v nižšie položených južnejších oblastiach výraznejšie dominuje typ **B**. Okrem uvedenej severojužnej zákonitosti bolo možné identifikovať aj západovýchodnú, ktorá sa prejavuje na jednej strane narastajúcim významom poveternostného typu **NEc** pri postupe na východ a na strane druhej rastúcim vplyvom typov **SWc2** a **SWc3** pri postupe smerom na západ až severozápad územia Slovenska. Ostatné „búrkové“ poveternostné typy nevykazujú z priestorového hľadiska až tak výrazné závislosti.

Z hľadiska predmetu predkladaného príspevku sú azda najzaujímavejšie dlhodobé zmeny vyššie charakterizovaných rozdelení početností tak búrkových dní v rámci jednotlivých synoptických situácií ako aj samotných poveternostných typov.
Všeobecný nárastu výskytu búrok na Slovensku, o ktorom sme sa zmienili už v predchádzajúcej kapitole, je pravdepodobne do značnej miere podmienený nárastom počtu búrkových dní počas cyklonálnych poveternostných typov, ktoré sú v tomto prípade reprezentované najmä typmi **B** (Obr.9), **Bp**, **SWc2**, **NEc**, **Ec**, **SEc** a **Cv**. Miernejší nárast počtu dní s búrkou zaznamenali aj typy **Wc**, **NWc** a **Nc**, zatiaľ čo celkový pokles bol zaznamenaný v rámci typov **SWc1**, **SWc3**, **C** a **Wal** (Obr.10). Pri hodnotení ostatných, najmä anticyklonálnych poveternostných typov, nie sú dlhodobé zmeny až tak významné (vzhľadom na ich relatívne malé zastúpenie v letnom období), i keď nárast výskytu búrok je príznačný aj pre tieto typy (najmä **SWa**, **SEa**, **Sa**,...).

V časových radoch počtu búrkových dní niektorých synoptických typov sa väčšinou odráža aj vcelku veľmi dobre vyjadrená cykličnosť častosti výskytu konkrétnych typov počasia v rámci letného obdobia (počas roka je vyjadrenie cykličnosti o niečo výraznejšie). Najlepšie je to vidieť v prípade typov **Wc**, **Wcs**, **NWc**, **SWc2**, či **C** a **Wal**. V prípade prvých štyroch menovaných typov sa cykličnosť prejavuje na jednej strane výrazným nárastom frekvencie výskytu tak búrkových dní ako aj samotných poveternostných typov v priebehu druhej polovice 80. a v prvej polovice 90. rokov a na strane druhej relatívne nízkou frekvenciou ich výskytu v 60., 70. a v druhej polovici 90. rokov 20. storočia.

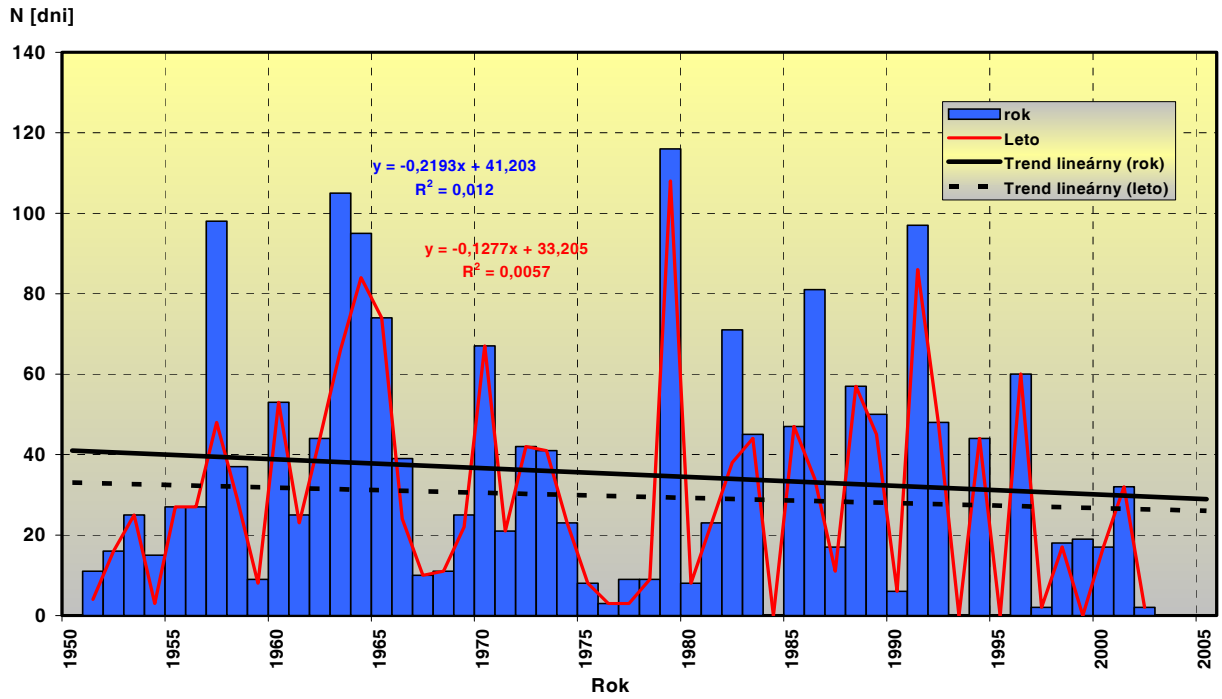


Obr.9 Dlhodobé zmeny počtu dní s búrkou (N = suma za celé Slovensko) v rámci synoptického typu B v období 1951 – 2002.

Fig.9 The long-term changes in total number of days with thunderstorms (N – the sum of all stations) within the synoptic type B in the period 1951 – 2002.

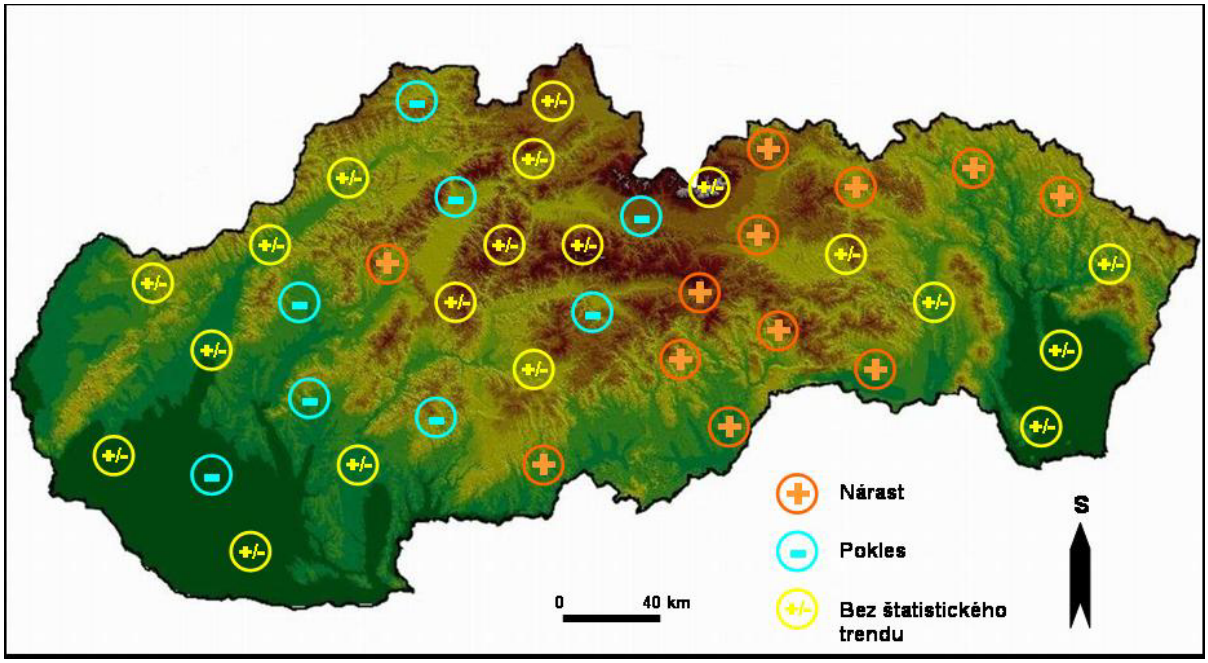
Pomerne dobre sú vyjadrené aj dlhodobejšie cykly v rámci typov **C** a **Wal**, ktoré sa prejavujú relatívne častejším výskytom oboch charakteristík v 50. rokoch a na prelome 80. a 90. rokov, a menej častým výskytom v druhej polovici 70. rokoch. Z hľadiska hodnotenia dlhodobých cyklov sú ostatné poveternostné typy vcelku menej zaujímavé, t.j. bez výraznejších prejavov a náznakov cyklických zmien.

Na záver sa pokúsime odpovedať na otázku, do akej miery sa dlhodobé zmeny veľkopriestorovej cirkulácie atmosféry premietajú do zmien častosti výskytu búrkových dní v jednotlivých regiónoch Slovenska. Je možné predpokladať, že za zmenami vo frekvencii výskytu búrok v konkrétnom regióne stoja najmä zmeny v rámci tých poveternostných typov počasia, ktoré z dlhodobého hľadiska vykazujú relatívne najčastejší výskyt búrkových dní. Už sme spomínali, že z celoslovenského hľadiska dominujú vo výskyte búrok predovšetkým typy **B** a **Wal**, pričom prvý z nich je dominantný na juhu, zatiaľ čo druhý na severe Slovenska. Keďže dlhodobé zmeny početnosti výskytu búrok v rámci oboch typov majú obdobný charakter na celom území Slovenska, regionálne špecifiká v celkových tendenciách frekvencie búrkových dní budú ovplyvnené skôr zmenami v rámci ostatných významných typov (napr. **NEc**, **Wc**, či **SWc2** a **SWc3**), ktorých význam taktiež významné závisí od geografickej polohy regiónu.



Obr.10 Dlhodobé zmeny počtu dní s búrkou (N = suma za celé Slovensko) v rámci synoptického typu Wal v období 1951 – 2002.

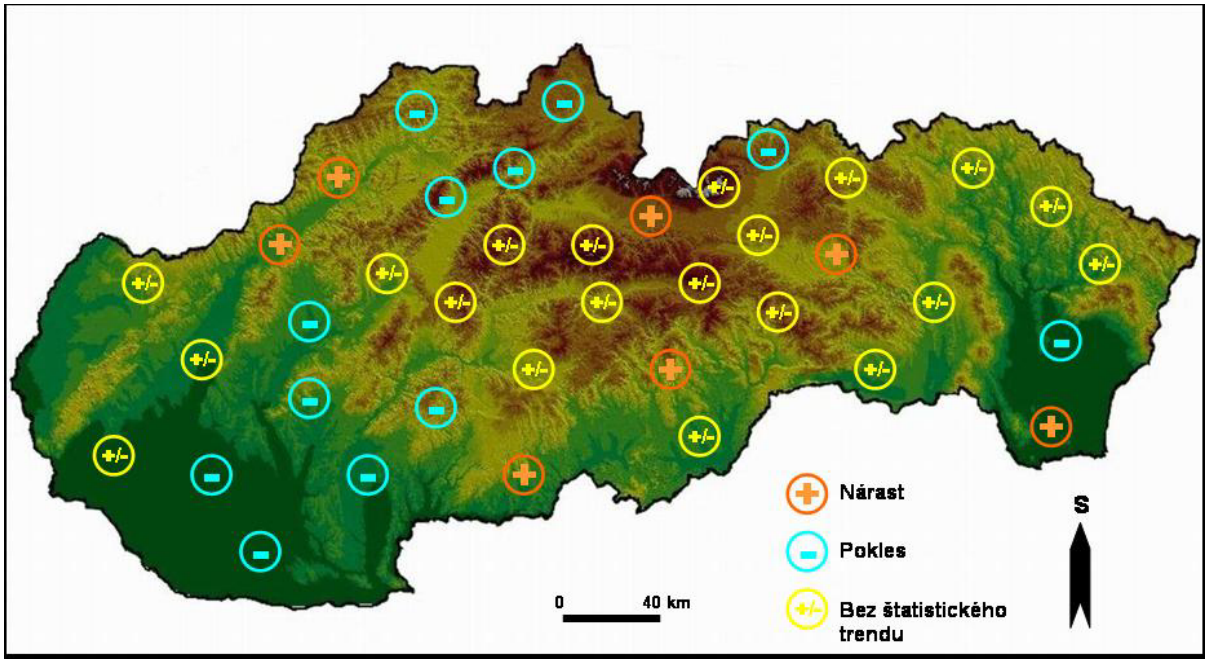
Fig.10 The long-term changes in total number of days with thunderstorms (N – the sum of all stations) within the synoptic type Wal in the period 1951 – 2002.



Obr.11 Priestorové zmeny výskytu búrkových dní v rámci poveternostného typu NEc na Slovensku v období 1951, resp. 1961 – 2002.

Fig.11 Spatial changes of thunderstorm days occurrence within the synoptic type NEc in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.

Za celkovým poklesom počtu búrkových dní v **nížinných oblastiach** stoja najmä zmeny v rámci typov **Wal**, **C**, **SWc3** a **NEc** (Obr.11; 12 a 13). Všetky štyri typy zaznamenali pomerne výrazný pokles výskytu búrkových dní nielen v južných nižšie položených oblastiach, ale aj vo vyššie položených kotlinových regiónoch, prevažne v západnej a severozápadnej časti Slovenska. Výrazný je z tohto pohľadu najmä vplyv poklesu frekvencie búrok pri type **Wal** (najmä na Východoslovenskej nížine). V prípade typu **NEc** sme už síce pri celoslovenskom hodnotení spomenuli jeho výrazne rastúcu tendenciu častosti búrkových dní, avšak vplyv tohto nárastu je výraznejší skôr na východe územia, zatiaľ čo na západe sa významne prejavuje nielen pokles jeho významnosti, ale aj celkový pokles výskytu búrkovej činnosti.
Výraznejší pokles búrkovej činnosti v **kotlinách stredného a západného Slovenska** možno takisto odôvodniť najmä zmenami v rámci typov **Wal**, **NEc** a **SWc3**. Prejavuje sa to prevažne vo Zvolenskej, Žilinskej, Turčianskej kotline, ďalej v Horehronskom podolí a na Nitrianskej pahorkatine. Zatiaľ čo na západe má výraznejší vplyv na tento pokles typ **Wal** a čiastočne i **NEc**, na východe je to spôsobené skôr typom **SWc3** (napr. Hornádska kotlina).



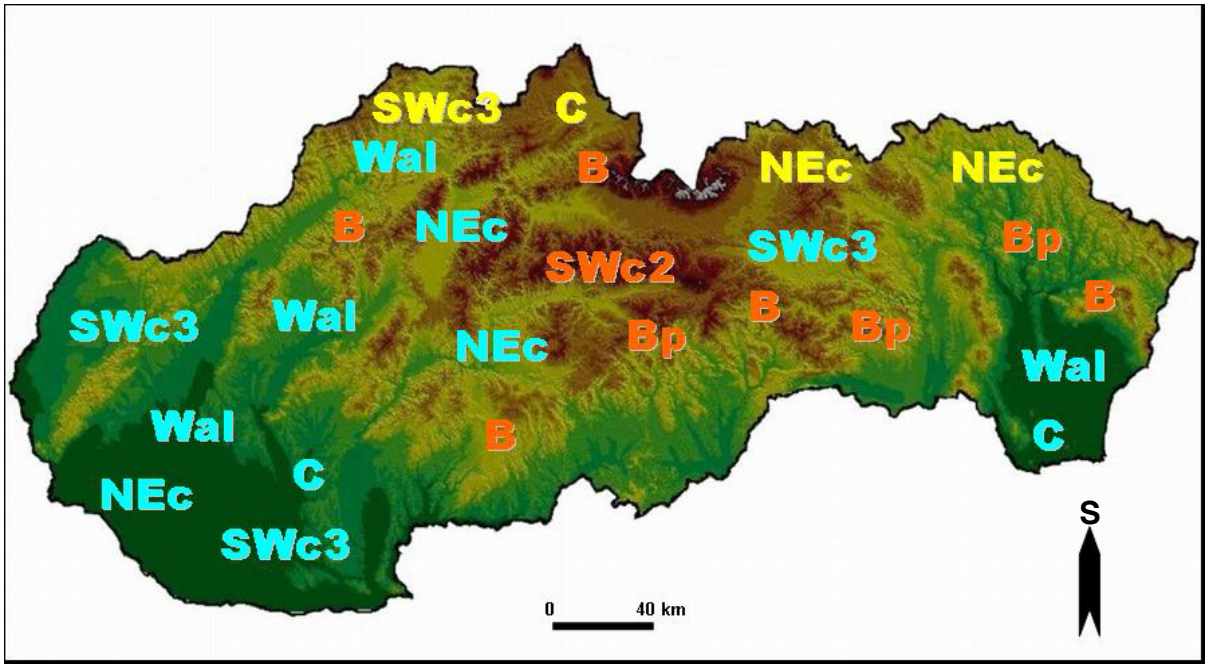
Obr.12 Priestorové zmeny výskytu búrkových dní v rámci poveternostného typu Wal na Slovensku v období 1951, resp. 1961 – 2002.

Fig.12 *Spatial changes of thunderstorm days occurrence within the synoptic type Wal in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002.*

Dlhodobo rastúce tendencie výskytu búrkových dní v **horských oblastiach stredného a východného Slovenska** možno pripísať predovšetkým zmenám frekvencie búrok v rámci troch výrazných typov, a to **B**, **Bp** a **SWc2**. Vyššie spomenuté typy **Wal**, **NEc**, **SWc3** a **C**, ktoré majú v horských oblastiach tiež významné postavenie, nezaznamenali v sledovanom období žiadne výraznejšie zmeny, a preto sa v týchto oblastiach výraznejšie na náraste frekvencie búrkovej činnosti podieľajú práve už spomínané tri poveternostné typy.
Poslednou významnou oblasťou, ktorá však z dlhodobého hľadiska nezaznamenala žiadne výraznejšie zmeny vo výskyte búrok, je **krajný sever Slovenska**, kde sa v prípade zrážkovej činnosti dominantne prejavujú náveterné efekty od severu až severozápadu. Žiadne alebo len veľmi malé zmeny v počte búrkových dní v lete by sme mohli vysvetliť na základe nevýrazných zmien tejto charakteristiky v rámci takmer všetkých už spomínaných poveternostných typov. Najvýraznejší vplyv však na uvedenú situáciu majú bez pochýb typy **SWc3**, **C**, **NEc**, ktoré majú v severných horských oblastiach Slovenska zrejme významnú úlohu pri vzniku a formovaní búrok (majú väčší význam ako typy **Wc**, **NWc** či **Nc**).

Zmeny výskytu búrok v chladnom polroku a v rámci neho hlavne v **zimnom období** súvisia pravdepodobne s dlhodobými zmenami v poveternostných typoch **Wc**, **Wcs** a **NWc**, ktoré majú v tomto období najväčšie zastúpenie. Nárast výskytu búrkových dní, a to najmä v západnej a severozápadnej časti Slovenska, je možné pripísať predovšetkým zmenám v rámci typu **Wc** a **NWc**, ktorých frekvencia výskytu v priebehu sledovaného obdobia kontinuálne narastala.

Na základe predložených výsledkov je možné všeobecne potvrdiť fakt a v podstate aj predpoklad, z ktorého sme čiastočne vychádzali, že dlhodobé zmeny výskytu búrok na Slovensku možno do istej miery vysvetliť prostredníctvom zmien veľkopriestorovej cirkulácii atmosféry. V podstate sa nám podarilo aspoň v hrubých rysoch načrtnúť, aký podiel majú na týchto zmenách jednotlivé synoptické situácie a ako sa priestorovo mení ich vplyv na výskyt búrkovej činnosti.



Obr.13 Rámcové priestorové usporiadanie vplyvu najvýznamnejších poveternostných typov na dlhodobé zmeny výskytu búrkových dní na Slovensku za obdobie 1951, resp. 1961 – 2002 (typy označené červenou podmienili nárast; označené modrou podmienili pokles; označené žltou sa najviac podieľali na nevýrazných trendoch výskytu búrok).

Fig.13 The general spatial configuration of influence of the most significant synoptic types to long-term changes of thunderstorm days occurrence in Slovakia in the period 1951, resp. 1961 – 2002 (the red marked types have caused incease of number of thunderstorm days; blue marked types have caused decrease; yellow marked types have caused non-significant trend of number of thunderstorm days) .

Diskusia

V tejto časti by sme radi upozornili na niektoré skutočnosti, ktoré by bolo potrebné v súvislosti s riešenou problematikou v budúcnosti dôkladnejšie prehodnotiť.
Ide tu predovšetkým o zhodnotenie výpovednej hodnoty a kvality dostupných informácií – údajov o priestorovom výskyte búrok na Slovensku. Vzhľadom na v súčasnosti ešte stále pretrvávajúci subjektívny spôsobom pozorovania búrok na väčšine meteorologických staníc predstavuje posúdenie hodnovernosti a reprezentatívnosti vstupných dát veľmi závažný problém, ktorému sme v predkladanej práci nevenovali dostatočnú pozornosť. Má to aj svoj jednoduchý dôvod. **Testovanie homogenity** časových radov počtu dní s búrkou na vybraných staniciach pomocou niektorých špeciálnych štatistických metód (napr. Craddockov test relatívnej homogenity či iné) by bolo vzhľadom na neveľký počet profesionálnych pozorovacích staníc (vykonáva sa nich kontinuálne pozorovanie búrok počas celého dňa, alebo sa používa automatický snímač - počítač bleskov,...) na Slovensku mimoriadne obtiažne, aj keď nie celkom nemožné. Bolo by v budúcnosti nanajvýš vhodné

a potrebné podrobiť použité údaje detailnejšej analýze ich homogenity, aby nedošlo k spochybňovaniu dosiahnutých výsledkov.
Aj napriek absencii testov homogenity v tejto práci sme sa snažili eliminovať chyby vyplývajúce z nedostatočnej hodnovernosti niektorých údajov. V našom prípade sme začlenili vybrané meteorologické stanice do štatistickej analýzy až po expertnom posúdení dlhodobej kvality ich pozorovania. Okrem toho sme kontrolu homogenity a hodnovernosti dát čiastočne vykonávali (prevažne subjektívnym prístupom) už v priebehu ich štatistického spracovávania. Niektoré stanice boli najmä z dôvodov určitej pochybnosti o kvalite ich údajov (najmä z obdobia 50. rokov) zo štatistickej analýzy vylúčené a v rámci konečného hodnotenia sme informácie z týchto staníc nezohľadňovali, aby nedošlo k zbytočnému skresleniu výsledkov.
Ďalšou veľmi dôležitou otázkou sú **možnosti korektnej interpretácie** dosiahnutých výsledkov. Je zrejmé, že na základe vyššie uvedených výsledkov ešte nemožno formulovať žiadne všeobecne platné závery o vzťahu klimatickej zmeny a výskytu búrok na Slovensku. Ide o veľmi náročnú a komplexnú problematiku, ktorá si vyžaduje nielen ďalší a zrejme i rozsiahlejší klimatologický výskum, ale aj tesnejšiu spoluprácu s fyzikálnejšie orientovanými meteorológmi, ktorých odlišný prístup k riešeniu uvedeného problému bude pre nás určite prínosom.
Najmä v prípade výsledkov by bolo zrejme vhodnejšie a aj potrebnejšie hodnotiť ich kvantitatívne exaktnejším spôsobom, ako doposiaľ. Bolo by predovšetkým potrebné spresniť kvantitatívne vyhodnotenie vplyvu najdôležitejších poveternostných typov počasia na dlhodobé priestorové zmeny búrkovej činnosti v jednotlivých regiónoch Slovenska. Detailnejšie vyhodnotenie štatistických trendov a cyklov sledovaných klimatologických prvkov a charakteristík bude taktiež nevyhnutné.
V neposlednom rade by bolo veľmi užitočné konfrontovať dosiahnuté výsledky prezentované v tomto príspevku s už publikovanými, obdobne tematicky orientovanými príspevkami. Avšak vzhľadom na to, že doposiaľ sa podobnou tematikou na vedeckej úrovni nikto systematicky nezaoberal, nie je možné ani sčasti vykonať aspoň najzákladnejšie porovnanie dosiahnutých výstupov.

Záver

V predkladanej práci sme sa zamerali na klimatologické zhodnotenie dlhodobých zmien priestorového a dynamicko-klimatologického výskytu búrok na Slovensku v období 1951, resp. 1961 – 2002. Hlavným cieľom práce je predovšetkým poukázať na vývojové trendy výskytu búrok na Slovensku v uvedenom období a pokúsiť sa charakter týchto zmien korektne interpretovať a do istej miery aj vysvetliť ich príčiny. Štatistická analýza prezentovaná v tejto práci by sa mala stať prvým krokom v rámci riešenie širšie koncipovaného problému možného vzťahu očakávanej klimatickej zmeny a výskytu búrok na Slovensku.
Na základe štatistického rozboru časových radov tak počtu búrkových dní ako aj výskytu jednotlivých synoptických typov počasia sme dospeli k nasledujúcim záverom:

- miestami až výrazný pokles častosti výskytu búrkových dní v nížinných oblastiach juhozápadného a východného Slovenska je z hľadiska hodnotenia zmien veľkopriestorovej cirkulácie zrejme spôsobený poklesom frekvencie výskytu búrok v rámci poveternostných typov Wal, C, SWc3 a NEc; pričom vplyv situácií Wal a C na tieto zmeny je výraznejší na východe, zatiaľ čo vplyv SWc3 a NEc je významnejší na západe Slovenska;
- významný pokles frekvencie dní s búrkou v rámci kotlinových regiónov stredného a východného Slovenska je v prevažnej miere opäť zapríčinený poklesom výskytu búrok v rámci typov NEc, Wal a SWc3;
- mierny nárast počtu dní s búrkou v prevažnej časti horských regiónov stredného a východného Slovenska je pravdepodobne podmienený nárastom počtu búrkových dní v rámci poveternostných typov B, Bp a SWc2;
- nevýrazné dlhodobé zmeny vo frekvencii výskytu dní s búrkou v regiónoch krajného severu Slovenska (Orava, Kysuce,...) sú zrejme zapríčinené nevýrazným vývojom počtu búrkových dní najmä v rámci poveternostných typov C, SWc2 a NEc, pričom posledný menovaný typ mal výraznejší vplyv na dlhodobé zmeny vo východných oblastiach Slovenska.

Aj napriek tomu, že sme v dynamicko-klimatologickej analýze zaoberali prevažne len letným obdobím, ktoré je z hľadiska výskytu búrok najvýznamnejšie, môžeme predpokladať, že nárast výskytu búrkových dní v chladnom polroku, a to najmä v zimnom období, je pravdepodobne zapríčinený rastom frekvencie dní s búrkou v rámci typov Wc, Wcs a NWc. Uvedené typy sú v tomto období nielen najčastejšie sa vyskytujúce, ale v sledovanom období zaznamenali aj najzreteľnejší nárast dní s búrkou, najmä na západe a severozápade územia Slovenska. Dlhodobé cykly vo výskyte búrkových dní bolo možné identifikovať len na niektorých meteorologických staniciach (Oravská Lesná, Somotor a niektoré iné). Prejavovali sa najmä poklesom búrkovej činnosti v 80. a 50. rokoch, a naopak jej nárastom v 60., 70. a 90. rokoch 20. storočia. Výsledné cykly sú pravdepodobne výsledkom vzájomného pôsobenia všetkých významných poveternostných typov (najmä však Wal, C, SWc2, Wc, B).

Z výsledkov najmä dynamicko-klimatologickej analýzy je zrejmé, že dlhodobé zmeny vo veľkopriestorovej cirkulácií atmosféry na Slovensku sa v prevažnej miere podieľajú na dlhodobých zmenách priestorového výskytu búrkovej činnosti v jednotlivých regiónoch.

Poďakovanie

Predkladaná práce by nevznikla bez odborných rád a pripomienok dvoch vynikajúcich slovenských klimatológov, Prof. RNDr. Milana Lapina, CSc. a RNDr. Pavla Faška, CSc., ktorým chceme touto cestou poďakovať za odborné vedenie

Literatúra

AHRENS, C. AD. 1988. Meteorology today. St. Paul. West Publishing Company, New York, 1988, 581 s.

BRÁZDIL, R., ŠTEKL, J. 1986. Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. Univerzita J. E. Purkyňe, Přírodovědecká fakulta, Brno, 1986, 300 s.

DAI, A. 2001. Global precipitation and thunderstorm frequencies. Part I: Seasonal and interannual variations. In: Journal of climate. Vol. 14, No. 6, 2001, pp. 1092-1111.

IPCC. 2001. Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Xiaosu, D. (eds.). Cambridge Univ. Press, UK, 944 pp.

LAPIN, M., FAŠKO, P., ZEMAN, V. 1994. Príspevok k analýze možných dôsledkov globálneho oteplenia atmosféry o 1 - 2°C na zmeny klimatických pomerov na Slovensku. In: *Národný klimatický program SR*. MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, č.2, 1994.

LAPIN, M., MELO, M., DAMBORSKÁ, I. 2001. Scenáre súborov viacerých vzájomne fyzikálne konzistentných klimatických prvkov. In: *Národný klimatický program SR*. MŽP SR, SHMÚ Bratislava, č. 11, 2001.

LAPIN, M., DAMBORSKÁ, I., MELO, M. 2001. Downscaling of GCM outputs for precipitation time series in Slovakia. In: *Meteorologický časopis*, 4, 3, SHMÚ, Bratislava, 2001, pp. 29-40.

LAPIN, M., MELO, M., DAMBORSKÁ, I., GERA, M. 2004. Scenáre úhrnov zrážok počas extrémnych zrážkových situácií na Slovensku. s. 33 In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (eds) *Extrémy počasí a podnebí – Zborník abstraktov + CD-ROM*, Brno.

MAJERČÁKOVÁ, O., FAŠKO, P., ŠŤASTNÝ, P., MARIKOVIČOVÁ, J. 2004. Frekvencia výskytu a priestorové rozloženie veľmi vysokých denných úhrnov atmosférických zrážok na Slovensku. In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (eds) *Extrémy počasí a podnebí – Zborník abstraktov* + CD-ROM, Brno.

NOSEK, M. 1972: Metody v klimatologii. Academia, Praha, 434 s.

ORAVEC, D. 2000. Búrkové pomery na Horehroní. Bratislava: Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, 2000, s. 17-48 – Diplomová práca.

PODZIMEK, J. 1959. Fysika oblaků a srážek. Československá akademie věd, Praha, 476 s.

SMITH, J. A, BEACK, M. L., ZHANG, Y. 2001. Extreme rainfall and flooding from supercell thunderstorms. In. *Journal of hydrometeorology*. Vol. 2, No. 5, 2001, pp. 469-489.

Autor: Mgr. Jozef Pecho, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava 37, jozef.pecho@shmu.sk

HIGH RESOLUTION NUMERICAL STUDY OF THE 19 NOVEMBER 2004 WINDSTORM

André Simon, Jozef Vivoda

The study presents the results of the numerical simulation of the 19 November 2004 windstorm using several models with high horizontal resolution. Effects of the hydrostatic and non-hydrostatic dynamics were compared, as well as the method of the so called dynamical adaptation. The nature of the event that is considered as a downslope windstorm is evaluated with help of diagnostic parameters as the Froud number and with vertical cross-sections of potential temperature and vertical velocity fields. It is concluded that windstorms of this kind can be forecasted by numerical models of 2.5 km resolution with higher precision than by using the current operational models. It is shown that computationally effective hydrostatic models based on dynamical adaptation approach can be sufficient in forecasting extreme non-convective wind, similar to the evaluated event. Nevertheless, the results are strongly dependent on the physical parameterisation of the model (turbulence, orographic drag, etc.). Hence, future versions of both hydrostatic and non-hydrostatic numerical models should be carefully examined and tested to keep the performance of forecasting severe downslope windstorms.

Key words: windstorm, numerical model, high resolution, downslope windstorm

Výskum víchrice z 19.11.2004 pomocou numerických modelov s vysokým rozlíšením. *Článok informuje o výsledkoch numerickej simulácie víchrice z 19. novembra 2004, pri ktorej boli použité modely s vysokým horizontálnym rozlíšením. Porovnávali sa vplyvy hydrostatickej a nehydrostatickej dynamiky, rovnako aj metóda tzv. dynamickej adaptácie. Fyzikálna podstata javu, ktorý je považovaný za prípad bóry, bola skúmaná pomocou diagnostických parametrov ako je Froudovo číslo a pomocou vertikálnych rezov cez polia potenciálnej teploty a vertikálnej rýchlosti. Konštatuje sa, že víchrice tohto typu je možné predpovedať s numerickými modelmi pri rozlíšení 2,5 km s vyššou presnosťou ako pomocou súčasných operatívnych modelov. Ukázalo sa, že výpočtovo efektívne hydrostatické modely založené na dynamickej adaptácii môžu v podobných prípadoch postačovať pri predpovedaní extrémneho vetra, ktorý nie je spojený s konvekciou. Napriek tomu sú výsledky veľmi závislé od fyzikálnej parametrizácie v modeli (schéma turbulencie, parametrizácia účinkov orografie a pod.). Preto budúce verzie hydrostatických aj nehydrostatických numerických modelov budú odskúšané a testované aj s ohľadom na zachovanie schopností predpovedania extrémnych prípadov bóry.*

Kľúčové slová: víchrica, numerický model, vysoké rozlíšenie, bóra

---

1. INTRODUCTION

The 19 November 2004 windstorm was a severe weather event that caused considerable damages in Slovakia, above all in the region of High and Low Tatras. The forest in High Tatras was reported to be destroyed on area of 120 km^2 in a belt 40-50 km long and 2-5 km wide (WWF position paper, 2004). Daily maximum of the mean hourly wind speed exceeding 21 m/s has average occurrence frequency 5 ‰ (what means two-three days in a year in average) at high altitudes of High and Low Tatras. Orographical strengthening and high gustiness of the wind are frequently observed at lee sides of mountain passes. Climatological studies for years 1951-1960 showed that at some places (e.g. Skalnaté Pleso, 1778 m above sea level) daily maxima of wind gusts overlapping the speed of 105 km/h (29.2 m/s) can have occurrence frequency of 20% (Otruba, 1964, Otruba and Wiszniewski, 1974). In the evaluated case, wind gusts of speed over 160 km/h (44.4 m/s) were recorded in the southern (lee) slopes of the mountains even at altitudes of 800 – 1200 meters above sea level what can be considered as a rare event. In the past, windstorms of considerable destructive consequences for High Tatras were referenced in the years 1915, 1919, 1941 (Konček, 1944), in 1964 (Rak, 1967) and 1981 (Koreň, 2005) as well. Wind blowing from northern direction and accelerating along the slopes of Tatras was considered as a possible reason for such extreme events. This knowledge was based mainly on damage surveys and records of meteorological stations situated in the region of High Tatras.

More information about the character of severe downslope winds are available from research of bora winds in Croatia (Picek and Tutiš, 1996, Jurčec and Brzović, 1995, Klemp and Durran, 1987) and of similar events appearing in the United States (Lilly, 1978). It was shown that the phenomenon of downslope windstorm can be described analytically (see e.g. textbooks of Holton, 1992 and Stull, 2003). Numerical simulations proved that the wind of this kind is induced by mountain waves of large

amplitudes and by breaking of mountain waves (Clark and Peltier, 1977, Laprise and Peltier, 1989). Another works examined both wavy and hydraulic origin (Smith, 1985) of the wind amplification giving a unified concept of downslope windstorms (Durran, 1986). Currently, limited area models as ALADIN or MM5 provide operationally mesoscale analysis and forecasts of wind and pressure. This enabled to forecast severe bura events in Dalmatia by using the so called dynamical adaptation (Ivatek-Šahdan and Tudor, 2004, Kraljević and Tudor, 2005).

The study presented in this paper shows the possibility of high resolution numerical simulation and forecasting of the 19 November 2004 windstorm. The main motivation of the research was to see, how much a hydrostatic model can improve the forecast of this event and if a non-hydrostatic approach produces forecasts of better quality. Another point was the effectiveness of several computational approaches including the dynamical adaptation of the ALADIN model. Finally, numerical analysis and forecasts of several meteorological parameters at high resolution grid were expected to provide more information about the nature of the event.

The paper is divided in seven parts. The next section gives a brief description of the macro-synoptic situation and local meteorological conditions inferred from surface observations. Section 3 is an overview of research methods and used versions of numerical models. Section 4 presents the results of the model ALADIN operational at 19 November 2004 which are compared with outputs of both hydrostatic and non-hydrostatic high resolution runs in section 5. Section 6 shows the availability of mesoscale diagnostics of downslope windstorms. Future plans and consequences for operational forecasting are discussed in the conclusion (section 7).

2. OBSERVATIONS AND SYNOPTIC ANALYSIS

In the morning of 19 November, 2004, the territory of Slovakia was situated in polar air-mass with prevailing westerly flow between the area of low pressure over Baltic Sea and Scandinavian Peninsula and the area of high pressure over Mediterranean. In the upper troposphere a jet stream was spread from Northern Atlantic over British Isles and exiting over France and Germany with north-westerly wind of speed exceeding 50 m/s along the axis. Between 00 and 06 UTC a cyclone started to develop in elongated trough of low pressure over Germany and Benelux. It deepened quickly and moved over northern part of Czech Republic and southern Poland eastwards. A cold front was quickly passing the territory of Slovak Republic between 11 and 16 UTC when the centre of the low was propagating through southern Poland. The passage of the front was associated with remarkable advection of cold air-mass and with turn of the wind direction from south-westerly to westerly and north-westerly, respectively.

The majority of the stations measured the maximum wind speed during or shortly after the passage of the front. For instance, the peak wind gust was recorded at Poprad station at 1321 UTC (34 m/s from west). However, the start of the windstorm according to observations in High Tatras (Stará Lesná station, 810 m above sea level) can be placed after 1420 UTC. It was marked by sudden increase of both average wind speed and speed of the wind gusts and by turn of the wind from westerly to north-westerly direction. At that time the region of High and Low Tatras was already situated on the rear side of the low. The north and north-western flanks of the mountains were windward and the south and south-eastern flanks leeward according to the mean low and middle tropospheric flow. The gusty character of the wind is underlined by big difference between the hourly mean wind speed (almost 20 m/s) and maximum measured wind gusts (45 m/s at Stará Lesná at 1628 UTC and 54 m/s at Skalnaté Pleso at 1754 UTC). Wind gusts were accompanied by fast oscillations of the atmospheric pressure in order of 3 hPa (from records of the station Stará Lesná belonging to the Geophysical Institute of Slovak Academy of Sciences). The speed of the wind gusts in the Poprad Valley remained during the event mostly below 30 m/s (station Poprad airport and station Poprad Gánovce). The wind speed was even continuously decreasing during 15 and 17 UTC because this region was not directly affected by the windstorm. The end of the event at High and Low Tatras can be situated to 20 UTC. Later the speed of the gusts at most of the stations decreased below 30 m/s and the wind has lost its severity.

3. NUMERICAL WEATHER PREDICTION TOOLS

The limited area hydrostatic model ALADIN used at SHMÚ was operationally running on 19th of November 2004 with the ALADIN cycle 25t2. Horizontal resolution was 9km with 37 vertical levels. The model takes the initial and boundary conditions from global model ARPÈGÈ with 3 hour coupling frequency. Model is initialised via digital filter (see more details about ALADIN model in Radnóti et al., 1995). After the event, the test with 2.5 km horizontal resolution was carried out with hydrostatic version of the model ALADIN (further denoted as DADA). It used the physical parameterisation from reference operational model version with convection parameterisation switched off. The initial and boundary conditions were taken from the operational run with 1 hour coupling frequency.

The second experimental run used the non-hydrostatic ALADIN dynamics and the physical parameterisation of the ALADIN model from cycle 29. Here the coupling strategy was the same as in the DADA experiment. All experimental runs were based on 19 November 2004 00 UTC analysis and the evaluated forecasting period was 0 to 36 hours (valid for short range and very short range forecasting).

The last test was performed with the so called dynamical adaptation approach. The model was running for 30 minutes and for 60 minutes, respectively, using only 15 vertical levels adjacent to the model surface. It was expected that even simplified and computationally effective hydrostatic simulation at short time ranges keep a good representation of interaction of atmospheric flow with the terrain. This approach enables to forecast the mesoscale distribution of wind field, except of events, where explicit non-hydrostatic simulation and more sophisticated physical parameterisation are necessary (for instance by convection). By dynamical adaptation, the model is integrated from forecasts of the operational 9.0 km ALADIN model at every hour (e.g. at times 00, 01, 02 UTC …). The 30 minute integration with time constant coupling is time inconsistent because its final output is approximated as the state of the atmosphere at the beginning of the integration. The 60 minutes integration is time consistent, hence, providing better estimates for minimal and maximal values in the given period.

4. RESULTS OF THE OPERATIONAL FORECAST

The forecasts of the ALADIN model with cycle 25t2 provided very satisfying results for the case of the 19 November 2004 windstorm. The situation was well forecasted already by the run based on 18 November 2004 00 UTC. Forecasts of the 10 m wind and wind gusts from this run enabled to issue warning on wind speed exceeding 100 km/h more than 36 hours in advance. The reference run in this study based on 19 November 2004 00 UTC forecasted peak wind gusts of 40 m/s with maximum situated in the region of High Tatras. Time course of the values forecasted and interpolated to the locality of Lomnický štít (2635 m above sea level) were compared with records of the meteorological station (Fig.1). The start of the event was predicted with small time shift (1 hour) but the overall tendency fits very well the observations. The horizontal distribution of wind field was less precise – overestimating the magnitude of the wind in Poprad Valley and underestimating certain regions, e.g. Low Tatras (Fig.2). Generally speaking, this forecast gave a good possibility to estimate severe wind occurrence. However, at 9 km resolution it was not possible to sufficiently localise the position of the event (e.g. to distinguish if the wind maximum is more likely on the peaks or on the slopes of the mountains).

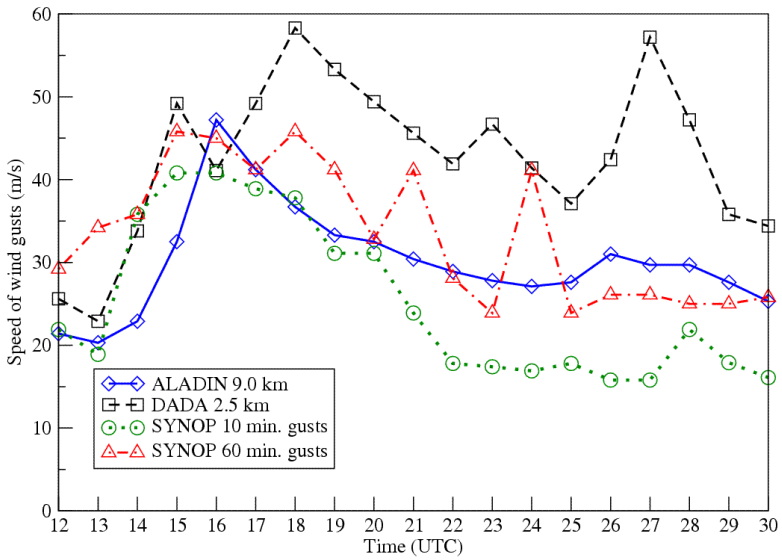


Fig. 1 Time course of ALADIN model forecast of wind gusts for operational run (solid line) and for the experimental run DADA (dashed line) as approximated for the Lomnický štít station (2633 m above sea level). Dotted and dash-dotted lines are maximum wind gusts recorded for the previous 10 minutes and 1 hour, respectively (SYNOP observations).

Obr. 1 Časový priebeh predpovede nárazov vetra modelu ALADIN z operatívnej integrácie (plná čiara) a z experimentu DADA (prerušovaná čiara) aproximovaný pre stanicu Lomnický štít (2633 m.n.m.). Bodkovaná čiara znázorňuje maximálny náraz vetra zaznamenaný za predchádzajúcich 10 minút a bodko-čiarkovaná čiara vyznačuje priebeh maximálnych nárazov vetra za predchádzajúcu hodinu (zo správy SYNOP).

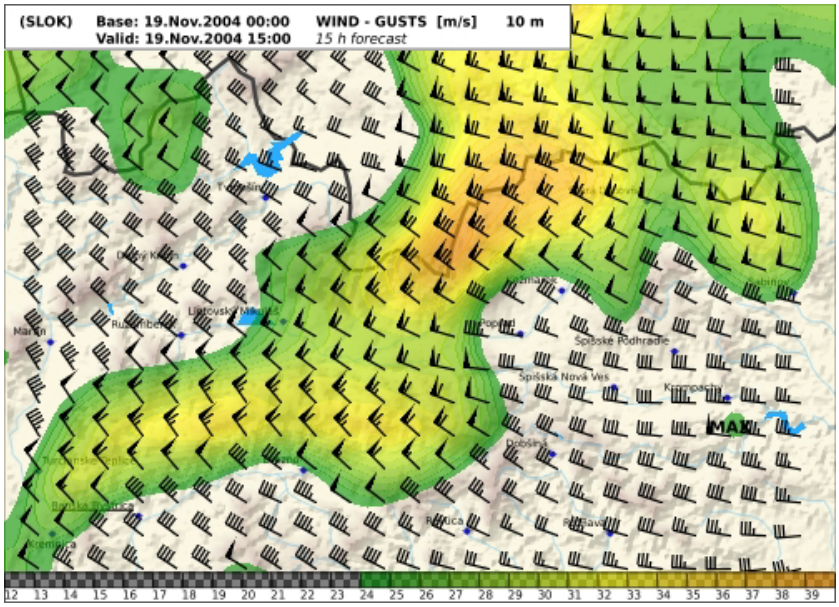


Fig. 2 Operational forecast of ALADIN SLOVAKIA model of the wind gust field at 10 m height AGL (wind barbs) and of the wind gust magnitude (in colour) based on 19 November 2004, 00 UTC and valid for 19 November, 15 UTC. Unit is m/s.

Obr. 2 Operatívna predpoveď nárazov vetra z modelu ALADIN SLOVAKIA pre výšku 10 m nad terénom. Pole vetra je znázornené šípkami a veľkosť rýchlosti je vo farebnej škále. Predpoveď bola iniciovaná 19. Novembra 2004 o 00 UTC a platí pre 19. November 15 UTC. Jednotkou je m/s.

5. HIGH RESOLUTION FORECASTS

The resolution of the horizontal grid is very important by numerical simulation of small scale events. In the operational model configuration at 9 km resolution, the area of High Tatras is represented only by few grid points. Hence, models with higher resolution should describe better the spatial distribution of the wind and should localize the wind speed maxima with higher precision. Outputs of the hydrostatic run at 2.5 km fulfilled these expectations. The distribution of the wind gust field (Fig. 3a) coincides with the stationary observations and information from damage survey better than the operational run with lower resolution. Maximum predicted wind gust at south-eastern flank of High Tatras was 50 m/s what was observed at some locations (e.g. Skalnaté Pleso). Better is the representation of Poprad Valley, where the wind is weaker against the reference outputs and the second maximum located at southern slopes of Low Tatras seems to be realistic as well (it corresponds with reports about damages observed in this region). Forecasts of the high resolution model show very interesting features in the field of mean sea level pressure and wind at 10 m height (Fig.3b). A mesoscale cyclone forms on the lee side of High Tatras and a ridge of high pressure on the windward side. This configuration creates significant pressure gradient on the southern slopes of the mountains. The wind in this region is cross-isobaric, hence, the forcing is characterized by strong pressure drag what is typical for downslope windstorms (Tutiš and Picek, 1991, Picek and Tutiš, 1995).

Vertical cross-sections of wind and potential temperature field in direction perpendicular to the ridge of High Tatras show other evidence about the presence of an intense downslope wind. Areas with wind speed exceeding 30 m/s are located in the close vicinity of the south-eastern slopes of mountains. Analysis of potential temperature shows a deformation of isotherms in this region (Fig.4a). If we expect an adiabatic motion of the air parcel following the surfaces of constant potential temperature, intense downward vertical motions are necessary on the lee side of the mountain. This is accompanied by shrinking of the vertical air column, hence, with large increase of the static stability. Further downstream, the parcel is forced to rise, what is related to decrease of static stability. Diagnostics of the vertical velocity field indicates downward motions faster than 50 Pa/s and upward motions of velocity higher than 25 Pa/s. This is much in excess of usual vertical wind speed in non-convective environment (in order of 0.1-1 Pa/s). The effect of creating strong vertical motions by airflow over obstacle is called hydraulic jump (see e.g. Holton, 1992) and it is discussed with more details in the next section.

Non-hydrostatic simulation of the 19 November wind storm showed qualitatively similar results as the DADA experiment according to the vertical profiles of potential temperature and simulation of the hydraulic jump (Fig. 4b). However, the start of the event is shifted forward almost by three hours against the reference operational run. This leads to differences in the wind field distribution of the 15 hour forecast and weaker wind gusts (maximum speed of 35 m/s). The forecast valid for 18 UTC shows already results similar to 2.5 km hydrostatic run and higher speed of wind gusts up to 50 m/s (Fig.5a). The reason of this time shift is not yet completely understood. Probably it is related to physical parameterisation used for the experiment with non-hydrostatic run that was different from the reference run of cycle 25t2. Tests with current operational configuration (cycle 28) showed a considerable dependence of the forecasted wind field on the used version of the model including changes in physical parameterisation, diagnostic scheme of wind gusts, and representation of the model orography (Simon and Vivoda, 2005, Drvar et al., 2005).

The dynamic adaptation of the ALADIN model forecasted strongest wind gusts (58 m/s) from all high resolution runs (Fig.5b). The distribution of this parameter is in principle equal to the output of the DADA experiment. Despite of the time inconsistency, the dynamical adaptation using 30 minute integration valid to 15 UTC described the situation better than the time consistent version with one hour integration valid for the same time. In the latter case, the start of the windstorm was predicted with one hour delay. This experience suggests that the dynamical adaptation is very dependent on the initial and boundary conditions obtained from the reference run. Hence, the one hour integration of dynamical adaptation is probably not able to give a good forecast until the mesosynoptic conditions for the windstorm are not established in the initial input file taken from the reference run.

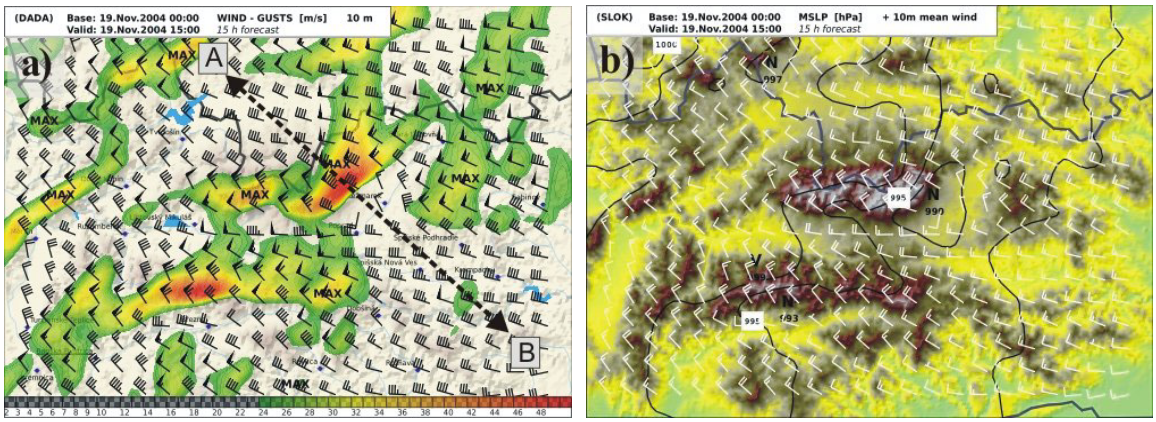


Fig.3 a) The same as in Fig. 2 except for the experimental model DADA. The AB line denotes the sense of the cross-section in Fig. 4.

b) Forecast of the wind field at 10 m height AGL (wind barbs) and of the mean sea level pressure in hPa (thin black line). The background shows the orography in the region of High Tatras (centre of the figure) and Low Tatras (southerly from High Tatras). Border with Poland is marked by thick grey line. Note the mesocyclone at south-eastern flank of the High Tatras (990 hPa in the centre of the low).

Obr. 3 a) To isté ako v obrázku 2 ale pre experimentálny model DADA. Čiara AB znázorňuje smer vertikálneho rezu na obr. 4.

b) Predpoveď poľa vetra vo výške 10 metrov nad terénom (šípky) a poľa prízemného tlaku vzduchu v hPa (tenká čierna čiara). Pozadie znázorňuje orografiu v okolí Vysokých Tatier (v strede obrázku) a Nízkych Tatier (južne od vysokých Tatier). Hranica s Poľskom je znázornená hrubou šedou čiarou. Za zmienku stojí mezocyklóna situovaná na juhovýchodnom okraji Vysokých Tatier (990 hPa v strede níže).

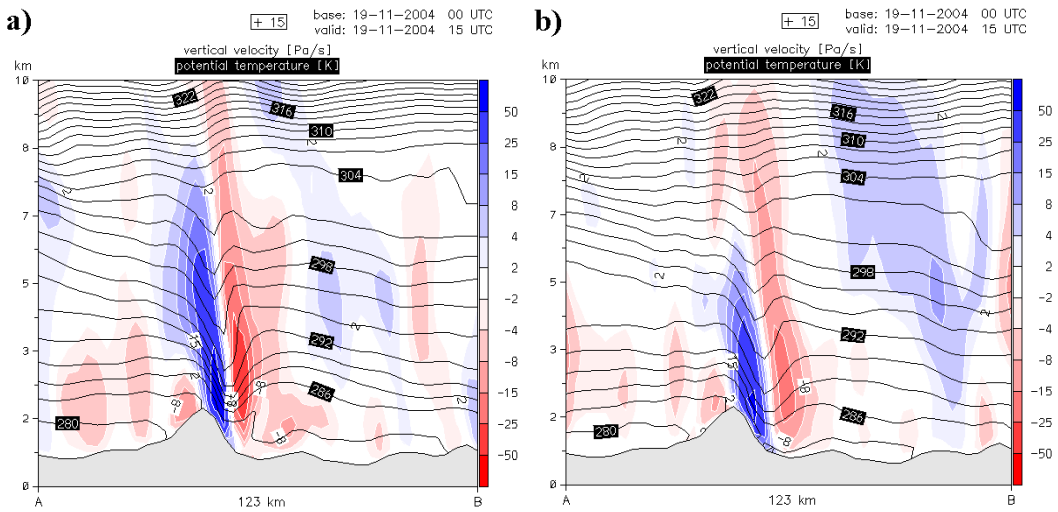


Fig. 4 a) Vertical cross section through the field of potential temperature in Kelvins (solid lines) and vertical velocity in Pa/s (in colour) as derived from the forecast of the DADA experimental model based on 19 November 2004 00 UTC and valid for 19 November 2004 15 UTC. The sense of the AB cross section is from north-west to south-east (marked in Fig. 3a).

b) The same as in a) except for the non-hydrostatic model.

Obr. 4 a) Vertikálny rez poľom potenciálnej teploty v Kelvinoch (plné čiary) a vertikálnej rýchlosti v Pa/s (farebné odtiene) odvodený z predpovede experimentálneho modelu DADA iniciovaného 19. novembra 2004 00 UTC a s platnosťou pre 19. November 2004 15 UTC. Rez AB je vedený od severozápadu na juhovýchod (znázornený na obrázku 3a).

b) to isté ale pre nehydrostatický model

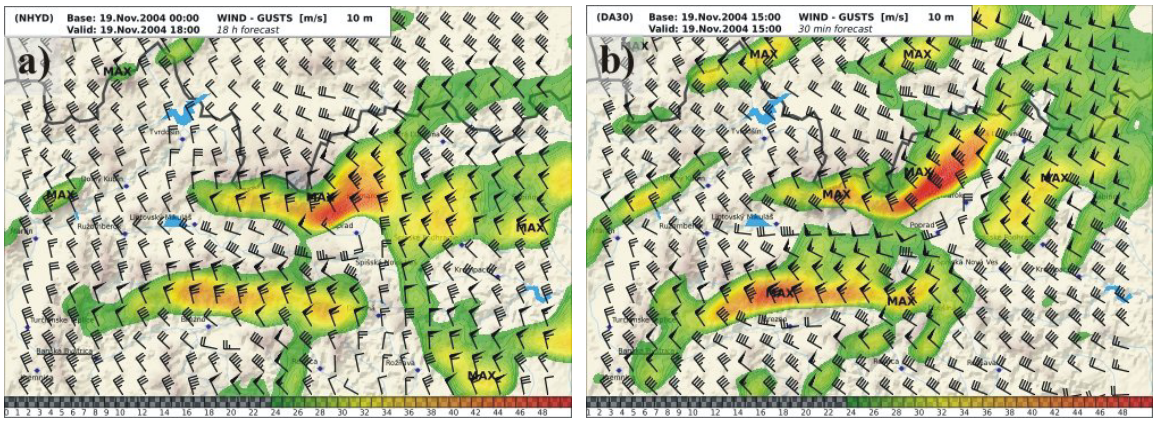


Fig. 5 a) The same as in Fig. 2 except for the non-hydrostatic model and for 18 UTC.
b) The same as in Fig. 2 except for the time inconsistent dynamical adaptation valid for 15 UTC.

Obr. 5 a) To isté ako v obrázku 2 ale pre nehydrostatický model a s platnosťou pre 18 UTC.
b) To isté ako v obrázku 2 ale pre časovo nekonzistentnú dynamickú adaptáciu s platnosťou pre 15 UTC.

6. MESOSCALE DIAGNOSTICS

Several analytical models describe the onset and characteristics of downslope windstorms. The simplest possible solution can be obtained from the shallow water equations (Holton, 1992). It can be shown that by certain ratio of the wind speed and mean static stability, the air starts to flow over the obstacle and to create mountain waves. The amplitude of the waves is increasing when the mean kinetic energy of the air parcels on the windward side of the mountain is approaching the potential energy needed to overcome the mountain. The ratio of the mentioned kinetic and potential energy is the square of the so called Froud number.

When the Froud number is higher or very close to one, the flow is called supercritical. In this case the potential energy is converted into kinetic energy during the entire period that the air column flows over the crest of the mountain and falls down on its lee side (Durran, 1986). In the upslope part of the wave, the flow is adjusted to ambient subcritical conditions via turbulent (hydraulic) jump.

The Froud number can be expressed in several ways, according to the used analytical model. In this study a linear approximation of shallow water model was evaluated with Froud number defined

$$F_r = \frac{U}{NH} \tag{1}$$

where F_r is the Froud number, U is the component of the mean speed of the flow in direction perpendicular to the mountain ridge, N is the mean Brunt-Väisälä frequency and H is the height of the obstacle (considered as a variable depth over the surface in this computation). The means of the wind speed and static stability were computed for the layer of depth H. The Froud number was evaluated over selected point in the windward side of High Tatras in order to make diagnostics of conditions to create downslope windstorm (Fig.6). The Froud number is decreasing with increase of the height of the obstacle. However, by corresponding wind speed and stratification of the atmosphere the air parcels would be able to rise along the slopes of the mountains even to heights of 3000 m above the sea level. From this point of view, conditions for downslope windstorm were fulfilled.

Visualization of the horizontal distribution of the Froud number is computationally more difficult (because of subtracting the wind component); however, by replacing U with the magnitude of the wind vector we obtain at least a simplified version, partially useful as a precursor of downslope wind generation. Horizontal distributions of the mean Brunt-Väisälä frequency of the layer 1200 m over surface were also examined and showed considerable increase of the static stability on the lee side of High Tatras replaced by decrease of this parameter further downstream in the area of the hydraulic jump. Similar parameters could help the forecasters to recognize the features of the downslope windstorm.

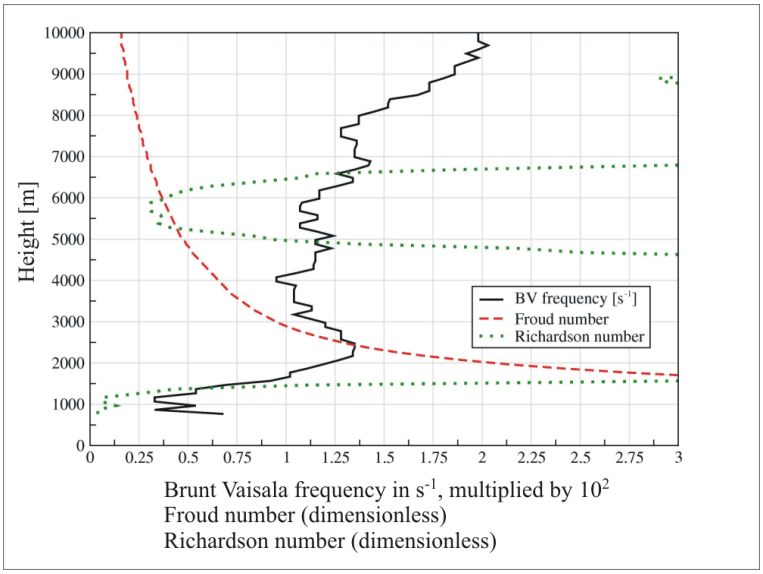


Fig. 6 Vertical course of several stability parameters derived from the forecast of the DADA experimental model valid for 19 November 2004 15 UTC and for the point over Zakopane (in Poland, at windward side of High Tatras). Solid black line denotes the Brunt Väisälä frequency (in s^{-1}, multiplied by 10^2), dashed red line is the dimensionless Froud number and dotted green line the dimensionless Richardson number. The vertical axis indicates height above sea level (in meters).

Obr. 6 Vertikálny priebeh niekoľkých parametrov stability vypočítaný z predpovede experimentálneho modelu DADA s platnosťou pre 19. november 2004, 15 UTC, pre bod nad Zakopane (v Poľsku, na náveternej strane Vysokých Tatier). Plná čierna čiara reprezentuje Brunt Väisäläovu frekvenciu (v s^{-1}, vynásobená 10^2), prerušovaná červená čiara je bezrozmerné Froudovo číslo a bodkovaná čiara bezrozmerné Richardsonovo číslo. Vertikálna os ukazuje výšku nad hladinou mora (v metroch).

7. SUMMARY AND CONCLUSION

Results of the study presented in this paper imply several consequences for future development and for the operational suite in numerical weather prediction. It was shown that models with sufficiently high resolution are able to forecast extreme mesoscale event as was the 19 November 2004 windstorm. Further, hydrostatic approximation seems to be fully sufficient to simulate the effect of intense downslope winds. It turned out that already the dynamical adaptation of the ALADIN model provides at 2.5 km resolution satisfying outputs and better horizontal distribution of the wind field in comparison to the reference run on lower resolution. This is important for the operational suite, because the dynamical adaptation is computationally more effective than conventional integration of the model with full number of vertical levels. On the other hand, the results of high resolution runs are dependent on the performance of the model giving the initial and boundary conditions. It was shown that the success of the reference run was linked with optimal setup of physical parameterisation used in the cycle 25. Different schemes of horizontal diffusion or the parameterisation of turbulence might have considerable influence on both low and high resolution simulations. Hence, the case of the 19 November 2004 should be used to test the future versions of model dynamics and physics to keep the performance of forecasting windstorms of these types.

From the forecasters point of view it is important that all model forecasts with high resolution showed typical features of a downslope windstorm (e.g. the hydraulic jump). Forecasters in Slovakia do not have many experiences with extreme events similar to the 19 November 2004 windstorm, because downslope wind of this intensity occurs rarely in Slovakia. The density of available surface observations is also not sufficient to get complete information from scales less than 10 km in horizontal. Hence, forecasters are forced to accept and rely on the model results what is easier if the dynamical reasons of the windstorm are known and better understood.

Results of the mesoscale diagnostics should be considered as very preliminary. Computation of the vertically averaged Froud number or Brunt-Väisälä frequency could be useful in forecasting praxis; however, more sophisticated diagnostic parameters are required to identify the events as the 19 November 2004 windstorm.

Future activities related to study of downslope windstorms will continue with more detailed sensitivity tests in different parts of the physical parameterisation (e.g. on the influence of the mixing length and critical Richardson number in parameterisation of the turbulent fluxes). Several available analytical models will be carefully examined to find appropriate parameters for fast diagnostics of downslope windstorms or mountain waves phenomena. It can be concluded that high resolution models are necessary to provide early warnings on extreme weather events with sufficient precision. Because of computational limitations, models with hydrostatic dynamics will be used in the near future. However, realistic simulations of windstorms in general, will require further development of non-hydrostatic models.

References

Clark, T.L., Peltier, W.R. (1977): On the Evolution and Stability of Finite-Amplitude Mountain Waves, *J. Atmos. Sci.*, 34, 1715-1730

Drvar, D., Stiperski, I., Tudor, M., Tutiš, V. (2005): ALADIN/HR: Testing the New Sub-Grid Scale Orography Representation on Bura Cases, *Croatian Meteorological Journal* 40, 304-307

Durran, D.R. (1986): Another look at downslope windstorms. Part I: The development of analogs to supercritical flow in infinitely deep continuously stratified fluid. *J. Atmos. Sci.*, 43, 2527-2543

Holton, J.R. (1992): *An Introduction to Dynamic Meteorology*, ACADEMIC PRESS, third edition, 282 – 287

Ivatek-Šahdan, S., Tudor, M. (2004): Use of high-resolution dynamical adaptation in operational suite and research impact studies, Meteorol. Z., 13, 99-10

Jurčec, V., Brzović, N. (1995): The Adriatic bora: special case studies, *Geofizika*, 12, 15-32

Klemp, J.B., Durran, D.R. (1987): Numerical Modelling of Bora Winds, *Meteorol.Atmos.Phys.*, 36, 215-227

Konček, M. (1944): *Meteorologické podmienky katastrofálnej víchrice na Slovensku v jeseni roku 1941* (Die meteorologischen Vorbedingungen des katastrophalen Sturmes in der Slowakei im Frühherbst 1941. Meteorological circumstances of catastrophic windstorm in Slovakia during autumn of 1941. In Slovak, with abstract in German language), Prírodovedecká fakulta Slovenskej university, Bratislava, 44 pp.

Koreň, M. (2005): Vetrová kalamita 19. novembra 2004 – nové pohľady a konsekvencie (Wind calamity of 19 November 2004 – new points of view and consequences, in Slovak), *Vysoké Tatry*, special issue, 15, 6-28

Kraljević, L., Tudor, M. (2005): High Resolution Simulation of a Severe Bura Event – an Intercomparison of Two Models, presentation, 15th ALADIN workshop, Bratislava

Laprise, R., Peltier, W. R. (1989): The structure and energetics of transient eddies in a numerical simulation of breaking mountain waves. *J. Atmos. Sci.*, 46, 565-585

Lilly, D.K. (1978): A Severe Downslope Windstorm and Aircraft Turbulence Event Induced by a Mountain Wave, *J. Atmos. Sci.*, 35, 59-77

Otruba, J. (1964): *Veterné pomery na Slovensku* (Wind conditions in Slovakia. In Slovak), SAV, Bratislava, 130-134

Otruba, J. and Wiszniewski, W. (1974): in: *Klíma Tatier* (Climate of Tatras. In Slovak, edited by Konček, M.), Veda, Bratislava, 328-339

Picek, B.I., Tutiš, V. (1995): Mesoscale Bora flow and mountain pressure drag, *Meteorol. Zeitschrift*, 4, 119-128

Picek, B.I., Tutiš, V. (1996): A case study of a severe Adriatic bora on 28 December 1992, *Tellus*, 48A, 357-367

Radnóti, G., Ajjaji, R., Bubnová, R., Caian, M., Cordoneanu, E., et al. (1995): The spectral limited area model Arpègè-Aladin. In: PWPR report series n.7 – WMO TD n. 699, pp. 111-118

Rak, J. (1967): Víchrica v oblasti Tatier v novembri 1964 (The gale in the Tatra region - in November, 1964. In Slovak, with abstract in Russian, English and German language.), *Sborník prác o Tatranskom národnom parku*, 10, 49-64

Simon, A., Vivoda, J. (2005): Downslope windstorm in High Tatras 19 November 2004, presentation, 15th ALADIN workshop, Bratislava

Smith, R.B. (1985): On Severe Downslope Winds. *J. Atmos. Sci.*, 42, 2597-2603

Stull, R.B. (2003): *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*, Kluwer Academic Publishers, 601-609

Tutiš, V., Picek, I.B. (1991): Pressure Drag on the Dinaric Alps During the ALPEX SOP, *Meteorol. Atmos. Phys.*, 47, 73-81

WWF position paper (2004): *Storm in Tatras National Park (Slovakia)*, web page of WWF organisation

Authors

André Simon, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, andre.simon@shmu.sk
Jozef Vivoda, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, jozef.vivoda@shmu.sk

EXTRÉMNÍ HYDROLOGICKÉ JEVY V MALÝCH POVODÍCH – KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ OCHRANY ÚZEMÍ

Jana Podhrázská, Jana Uhlířová

V červenci 2002 bylo povodí Hodonínky, která protéká Olešnicí (Olešnický potok), zasaženo bouřkami se silnými srážkami. V odezvě na ně se hladina zvedla na úroveň 200-letého průtoku. Došlo nejen k rozvodnění Hodonínky, ale všech zdejších přítoků, včetně Crhovského potoka. Záplavami byly postiženy obce Olešnice, Crhov, Hodonín, Kunštát, Zbraslavec. V květnu 2003 byla obec Sloup v Moravském krasu postižena povodněmi vzniklými z přívalového deště, který zasáhl zejména východní část území. Došlo k rozvodnění potoků Žďárského, Petrovického a Němčického. Záplavami byl zasažen rovněž turisticky atraktivní ponor Punkvy a došlo k devastaci krajiny v oblasti druhé ochranné zóny CHKO Moravský kras. Na žádost pozemkového úřadu Blansko byla pro povodněmi postižená území zpracována studie protierozní a protipovodňové ochrany. Studie zájmové oblasti je řešena jako návrh komplexních prostorových a funkčních opatření, pro zlepšení podmínek využití území, pro zvýšení protierozní a retenční schopnosti území. Účelem a cílem protierozní ochrany je snížit rozsáhlou a nepřípustnou vodní erozi v území a v součinnosti s protipovodňovou ochranou zvýšit ochranu vlastní zástavby ohrožených obcí před účinky extrémních povrchových odtoků a transportovaných splavenin.

Klíčová slova: protierozní a protipovodňová ochrana, záplavy

Extreme hydrological effects in small catchments – conceptual solution of territory protection. *In July 2002 the drainage area of Hodonínka river, which traverse village Olešnice (Olesnický stream), was affected by a storm with strong precipitations. In the response on them, the water level lifedt on level of 200-years flow. It get not only to flooding of Hodonínka river, but of all local tributaries, inclusive of Crhovský stream. Communities Olešnice, Crhov, Hodonin, Kunstat, Zbraslavec were cursed with flood. In May 2003 village Sloup in the Moravian Carst was cursed with floods caused by a storm rainfall, which striked especially east part of the area. It caused flooding of Žďárský, Petrovický and Němčický stream. Floods striked the tourist attractive pludge of Punkva river too and it demaged the countryside in the second protective zone of Protected area Moravian Carst. By a request of the land office of Blansko the study of erosion and flood control was designed for flooded territory. Study of interest areas is solved like a proposal of complex space and functional measures, for better territory utilization, for increasing of erosion and retentive possibilities of the territory. Purpose and goal of erosion control is to reduce extensive and inadmissibility water erosion in territory and, in co-operation with flood-protection, to increase protection of built-up area in danger communities before effects of extreme overland flow and transported matter.*

Key words: erosion and flood control, flood

ÚVOD

Záplavy a eroze půdy jsou vnímány především jako faktor ohrožující životy a majetek obyvatelstva. Patří však zároveň k nejvýznamnějším faktorům degradace zemědělských půd jako důsledek jejich neadekvátního využívání. Dochází k plošnému smyvu půdy, zkracování půdních profilů, v depresích se prohlubují dráhy soustředěného odtoku provázené vznikem strží. V údolních polohách jsou patrné akumulační procesy, při záplavách dochází k překrytí původního humusového horizontu v důsledku akumulace transportovaných splavenin. V důsledku eroze i akumulace dochází ke změnám struktury, skeletovitosti a fyzikálně-chemických vlastností půd.

Povodně v malých zemědělských povodích jsou většinou lokálního významu a nevzbuzují tolik pozornosti médií jako ničivé povodně postihující celé oblasti. Přesto působí nemalé škody a ztrpčují život místních obyvatel. Kromě škody na zemědělských plodinách a majetku obyvatel působí i škody přímo nevyčíslené, to jest degradaci půdy erozí, devastací přírody a krajiny.

Extrémní povodně, které se vyskytly v posledních letech v České republice, vyvolávají potřebu zabývat se tímto závažným jevem. Podstatný důraz při ochraně povodí hraje zvyšování retenční schopnosti krajiny a omezení odtokových množství z povodí. Jedním z prostředků ke zvyšování retence je realizace protierozních a protipovodňových opatření.

Praktické zkušenosti v oblasti ochrany půdy a vody ukazují nezbytnost odborného posouzení širšího území při přípravě pozemkové úpravy. Vodní eroze i povrchový odtok se většinou netvoří pouze v konkrétním katastru, ale vycházejí z širších územních celků vymezených hranicemi povodí. Při protierozní ochraně lze vycházet z elementárních odtokových ploch, ale protipovodňovou ochranu je nutné zvažovat v co nejširším měřítku. Z uvedeného je patrné, že v území omezeném hranicemi katastru většinou nelze beze zbytku splnit požadavky komplexní ochrany a organizace území. Tyto problémy je možno řešit formou studií protierozní a protipovodňové ochrany zvoleného povodí, zahrnující i širší vztahy (plány ÚSES, požadavky na ochranu přírody a krajiny – CHKO, CHOPAV, atd).

METODY ŘEŠENÍ PROTIEROZNÍ A PROTIPOVODŇOVÉ OCHRANY

Nové legislativní dokumenty (zákon a prováděcí vyhláška) přinesly pozitivní změny v oblasti řešení ochrany půdy a vody prostřednictvím pozemkových úprav. Vedle ochrany půdy byla posílena ochrana vody a prováděcí vyhláška byla uvedena do souladu se zákonem o vodách č. 254/2001 Sb. Vyhláška 545/2002 nyní obsahuje mj. rozšíření mapových podkladů o mapy komplexního průzkumu půd (KPZP), mapy pásem hygienické ochrany a ochranných pásem (dle § 28 zákona o vodách) a mapy zranitelných oblastí (dle § 33 zákona o vodách).

K hodnocení a analýzám rizikových území v projektech pozemkových úprav i v rámci studií protierozní a protipovodňové ochrany na VÚMOP, oddělení pozemkových úprav Brno, jsou využívány následující metody a postupy: Erozní ohroženost území se vyhodnocuje pomocí výpočtů plošného odnosu půdy podle Wishmayerovy – Smithovy rovnice programem ERCN. Pro výpočet návrhových průtoků je využíván model DesQ (Hrádek, 1998, 2001 in Janeček a kol., 2002) a rovněž ERCN využívající k charakterizování vlastností povodí metodu CN. Metodika výpočtu umožňuje výpočet návrhových průtoků QN, vyvolaných přívalovými dešti kritické doby trvání a příslušné intenzity, i výpočet maximálních průtoků Qmax, vyvolaných přívalovými dešti zvolené doby trvání a intenzity. Při zvolených scénářích výpočtu je možné zohlednit vliv změny charakteristik povodí na hodnoty maximálních průtoků, což je potřebné např. při posuzování účinnosti navrhovaných opatření v povodí (změna způsobu využívání pozemků v povodí, protierozní opatření, zejména vyloučení erozně nebezpečných plodin a ochranné zatravnění nebo zalesnění).

Nezastupitelnou roli mají v protierozních a protipovodňových opatřeních suché nádrže. Proto se jim v poslední době začíná věnovat mimořádná pozornost. VÚMOP vydal metodiku, ve které jsou shrnuty hlavní zásady pro navrhování zemních hrází, včetně výpustných a přelivných objektů, vycházející z požadavků ČSN 752410, ČSN P750290 a ČSN 730031. Zdůrazněna je zejména nutnost spolehlivosti konstrukcí přelivných objektů, které velmi často působí protržení zemních hrází, jak potvrdily povodně z r. 2002. Jde jak o nedostatečnou kapacitu přelivů, tak o jejich vadnou konstrukci. Proto je žádoucí používat osvědčené konstrukce žlabových a šachtových přelivů, doporučené v metodice, které jsou v některých případech schopné převést až dvojnásobky 100letých průtoků. Tyto konstrukce jsou nejen bezpečné a spolehlivé, ale též hospodárné, zejména ve srovnání s korunovými přelivy (Bilík, M. 2003).

PRAKTICKÉ ZKUŠENOSTI

Ve VÚMOP byly v poslední době zpracovány studie protierozní a protipovodňové ochrany jako návrh komplexních prostorových a funkčních opatření, pro zlepšení podmínek využití území, pro zvýšení protierozní a retenční schopnosti území: V květnu 2003 byla dokončena studie protipovodňové a protierozní ochrany v části povodí Hodonínky která protéká Olešnicí (Olešnický potok). V červenci 2002 bylo povodí zasaženo bouřkami se silnými srážkami. V odezvě na ně se hladina zvedla na úroveň 200letého průtoku. Došlo nejen k rozvodnění Hodonínky, ale všech zdejších přítoků, včetně Crhovského potoka. Plocha řešeného území po vymezení rozvodnic rizikových povodí byla 1 500 ha. Po vyhodnocení erozních rizik bylo navrženo zatravnit 380 ha zemědělské půdy a vyloučit pěstování erozně nebezpečných plodin na 434 ha. Dále byla navržena lokalizace 1 zasakovacího pásu, 5

zatravněných průlehů a 11 protierozních mezí. Pro dosažení požadovaných maximálních průtoků a objemů bylo navrženo v povodí 6 suchých poldrů.

V říjnu 2003 byla dokončena studie protierozní a protipovodňové ochrany v části povodí Luhy (Punkva) protékající obcí Sloup. Obec byla postižena povodněmi v květnu 2003, vzniklými z přívalového deště, který zasáhl zejména východní část území. Došlo k rozvodnění potoků Petrovického, Žďárského a Němčického. Řešené území má rozlohu 5 000 ha, zahrnující 9 katastrálních území. Po vyhodnocení erozních a povodňových rizik území bylo navrženo zatravnění 343 ha z celkových 2070 ha orné půdy, na 291 ha orné půdy bylo navrženo vyloučení pěstování erozně nebezpečných plodin. Dále bylo navrženo situování 13 průlehů, 11 zasakovacích pásů a 18 protierozních mezí. Pro dosažení požadované ochrany proti extrémním průtokům byly navrženy 3 suché nádrže.

Protierozní opatření ovlivňují i snížení objemu povrchového odtoku z povodí, to znamená, že celý komplex opatření působí ve vzájemné vazbě. V některých z katastrů obsažených ve studii byly již zahájeny komplexní pozemkové úpravy. Předpokládáme, že v projektu KPÚ budou tyto katastry řešeny ještě detailněji. Projektant a pozemkový úřad mají však už nyní v ruce podklad pro protierozní a protipovodňová opatření navržená v rámci komplexního řešení území.

ZÁVĚR

Extrémní hydrologické jevy, které se v posledních letech vyskytují se zvýšenou frekvencí, vyvolávají potřebu zabývat se tímto závažným jevem. Podstatný důraz při ochraně povodí je kladen na zvyšování retenční schopnosti krajiny a omezení odtokových množství z povodí. Jedním z prostředků ke zvyšování retence je realizace protierozních a protipovodňových opatření. Hlavními cíli ochrany půdy a vody jsou:

- omezení eroze půdy a asanace degradovaných zemědělských půd,
- zastavení snižování mocnosti profilu a zvyšování skeletovitosti,
- optimalizace způsobů zemědělského využití půdy,
- zabezpečení příznivého obsahu vody v půdě pro rostliny (zemědělské plodiny),
- podpora zpomalení odtoku a zlepšení zadržení vody v krajině,
- zvýšení kvality vody z hygienického hlediska.

Myšlenka studií ochrany půdy a vody vyplynula z potřeb praxe. Metodický návod pro pozemkové úpravy (Dumbrovský – Mezera, 2000) uvádí, že okresní pozemkový úřad v rámci zahajovacího řízení KPÚ provádí průzkum a rozbor území a seznamuje se s problémy, které by KPÚ měly řešit a které ovlivňují podmínky veřejné zakázky. Je proto nezbytné, aby pozemkový úřad měl na samém začátku KPÚ k dispozici objektivní, exaktní podklad, který vymezí klíčové problémy řešeného katastru a naznačí směry jejich řešení. Na jedné straně umožní pozemkovým úřadům usměrňovat a kontrolovat práci projektanta a na druhé straně poskytne projektantovi spolehlivé vstupní informace pro návrh společných zařízení.

Literatura

Bilík, M. (2003): Suché nádrže v pozemkových úpravách. Sborník z 3. Vodohospodářské konference VUT FAST. Brno, 2003.

Bilík, M., Dumbrovský, M. (2003): Optimalizace konstrukcí zemních hrází suchých nádrží a jejich funkčních objektů včetně přehrážek. Metodika VÚMOP, Brno, 2003. 38s.

Dumbrovský, M. a kol. (2003): Studie protierozní a protipovodňové ochrany v části povodí Olešnického potoka. VÚMOP Praha, Brno 2003. 41 s.

Dumbrovský, M. – Mezera, J. a kol. (2000): Metodický návod pro pozemkové úpravy a související informace. Uživatelský výstup projektu NAZV ČR EP 0960 996156. Praha: VÚMOP Praha, 2000. 189 s. ISSN 1211-3972.

Janeček, M. a kol.: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha: ISV nakladatelství, 2002. 201 s. ISBN 85866-85-8.

Podhrázská, J. a kol.: Studie protierozní a protipovodňové ochrany v části povodí Luhy a přilehlých katastrů. VÚMOP Praha, Brno 2003. 53 s.

Podhrázská, J., Uhlířová, J. (2003): Význam studií protipovodňové a protierozní ochrany pro plán společných zařízení v projektech KPÚ. Sborník z 13. mezinár. konf. pozemkových úprav, Jestřábí - Lipno, ČMKPÚ 15.-17.9.2003, s.68-71.

Autoři

Jana Podhrázská - Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, oddělení pozemkových úprav Brno, Lidická 25/27, 657 20 Brno, tel. 541126278, podhrazska@vumopbrno.cz

Jana Uhlířová - Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, oddělení pozemkových úprav Brno, Lidická 25/27, 657 20 Brno, tel. 541126281, uhlirova@vumopbrno.cz

ELEKTRICKÁ VODIVOSŤ AKO INDIKÁTOR POVRCHOVÉHO ODTOKU A ERÓZNEHO PROCESU

Peter Bača

Predkladaný príspevok sa zaoberá využitým elektrickej vodivosti (EC), ako indikátora povrchového odtoku v súvislosti s eróznym procesom. Za najdôležitešiu zložku celkového odtoku, ktorý spôsobuje transport pôdnych častíc rozrušených kinetickou energiu zrážky do koryta vodného toku sa považuje povrchový odtok. Použitie EC ako indikátora povrchového odtoku vychádza zo skutočnosti, že hodnoty EC v povrchovom odtoku, ktorý predstavuje zrážkovú vodu, sú výrazne nižšie, ako v podzemnej a podpovrchovej zložke odtoku. Vo všeobecne používanom vzťahu medzi koncentráciou plavenín a prietokom vody sa objavuje rozptyl hodnôt koncentrácií plavenín okolo regresnej čiary, čo je spôsobené zmenou dostupnosti sedimentov a zrieďovaným koncentrácií plavenín v povrchovom toku základnym a podpovrchovým odtokom. V príspevku bolo analyzované, do akej miery je roptyl hodnôt koncentrácií plavenín spôsobovaný spomínaným zrieďovaným. Bol určený vzťah medzi koncentráciou plavenín, prietokom a EC, čím sa podstatne znížil roptyl hodnôt koncentrácií plavenín. Je zrejmé, že zrieďovanie koncentrácií plavenín základným a podpovrchovým odtokom je významným faktorom, ktorý prispieva k celkovej dynamike plavenín v koryte vodného toku.

Kľúčové slová: plaveniny, elektrická vodivosť, hysterézny efekt

Electrical conductivity as the indicator of surface runoff and erosion process. *The paper is focused on electrical conductivity (EC) as the indicator of surface runoff in connection with erosion process. The most important part of total runoff is considered surface runoff that causes transport of soil particles disrupted by kinetic energy of rainfall into the surface channel. Utilization of EC as the indicator of surface runoff is based on the fact, that EC in surface runoff, which represents rainfall water, is much lower than in groundwater and interflow. The discharge-suspended sediment relationship shows the scatter of suspended sediment concentration about regression line. This scatter results from changes in sediment availability and from dilution of suspended sediment concentration in streamwater with baseflow and interflow. The effect of dilution on the scatter of suspended sediment concentration about regression line was analysed. Relationship between discharge, suspended sediment concentration and EC was defined, which resulted in reduction of the scatter. It is obvious, that the dilution of suspended sediment concentration with baseflow and interflow is the important factor controlling suspended sediment dynamics in the stream channel.*

Key words: suspended sediment, electrical conductivity, hysteresis effect

---

ÚVOD

Sledovanie obsahu plavenín vo vodných tokoch je dôležitou pomôckou pri sledovaní erózno-sedimentačných procesov v povodí. O tom, že režim plavenín odráža erózne pomery v povodí, svedčia mnohé fakty, napríklad nárast koncentrácií plavenín počas extrémnych zrážko-odtokových udalostí a závislosť množstva plavenín vo vodných tokoch jenotlivých povodí od sklonu svahov v povodí, lesnatosti a spôsobu využívania krajiny.

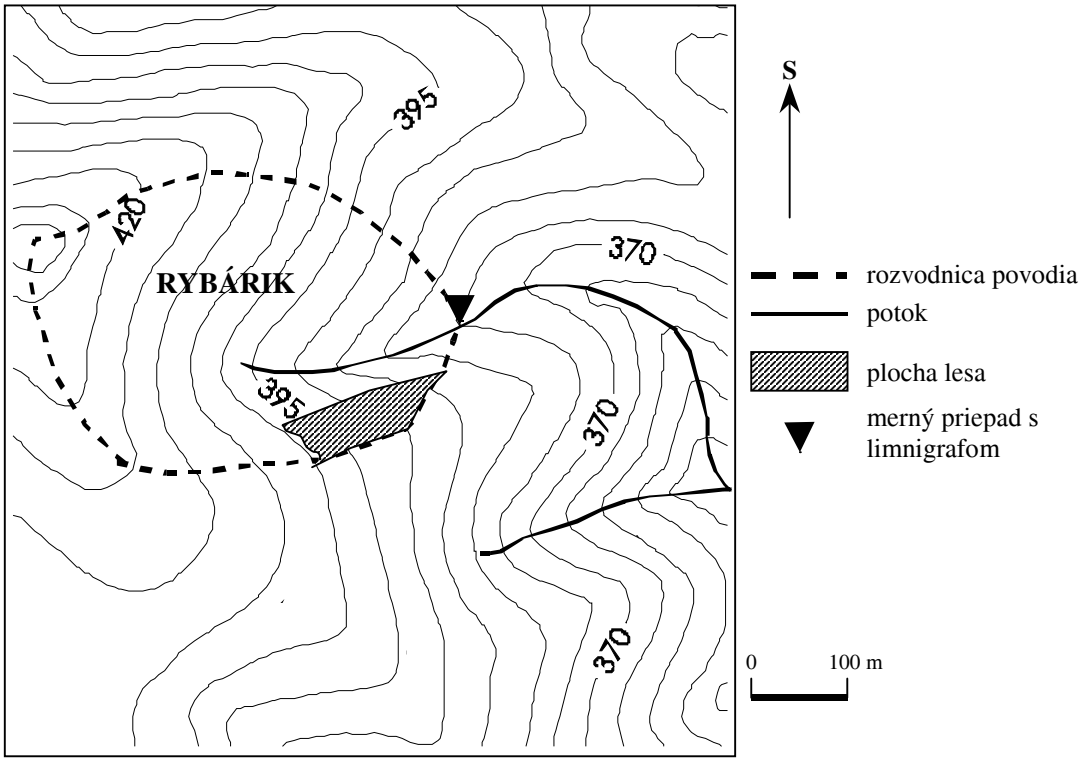
Režim plavenín a zmeny v hodnotách koncentrácií plavenín počas zrážko-odtokových udalostí sú funkciou nielen transportnej kapacity povrchového odtoku, so zvyšovaním prietokov sa zvyšujú aj hodnoty koncentrácií plavenín, ale aj funkciou tzv. dostupnosti sedimentov (z angl. „sediment availability“).Zmeny v dostupnosti sedimentov spôsobujú tzv. hysterézny efekt, čo znamená, že koncentrácie plavenín na stúpajúcej a klesajúcej časti prietokovej vlny nie sú rovnaké pri rovnakých prietokoch vody. Takéto správanie je spôsobené vyčerpávaním dostupného sedimentu na svahu a v koryte vodného toku (Church a Gilbert, 1975; Froehlich, 1975 a 1982; Walling a Webb, 1981; Van Sickle a Beschta, 1983; Zăvoianu, 1996; Bhutiyani, 2000; Bronsdon a Naden, 2000; Bača, 2001; Picouet, 2001). Pri grafickom znázornení vzťahu medzi koncentráciou plavenín a prietokom sa hysterézny efekt prejavuje rozptylom hodnôt koncentrácií okolo regresnej čiary. Ďalším faktorom, ktorý spôsobuje tento roptyl je zrieďovanie koncentrácií plavenín vo vodnom toku základným a podpovrchovým odtokom (Walling, 1974 a 1978; Wood, 1977; Becht, 1989), ktoré sú z hľadiska

eróznych procesov menej významné. Za najdôležitešiu zložku celkového odtoku, ktorý spôsobuje transport pôdnych častíc rozrušených kinetickou energiu zrážky do koryta vodného toku sa považuje povrchový odtok.

Predkladaný príspevok sa zaoberá využitým elektrickej vodivosti (EC), ako indikátora povrchového odtoku v súvislosti s eróznym procesom. Hodnoty EC v povrchovom odtoku, ktorý predstavuje zrážkovú vodu, sú výrazne nižšie, ako v podzemnej a podpovrchovej zložke odtoku. Elektrická vodivosť totiž vyjadruje množstvo minerálnych látok rozpustených vo vode a množstvo týchto látok je logicky väčšie v pôdnej a podzemnej vode ako v zrážkovej vode. S využitým EC a vhodne zvolenou metodikou možno získať istú predstavu o časových a priestorových aspektoch hydrologického cyklu (Hanušin, 1992).

OPIS POVODIA, MONITORING KONCENTRÁCIÍ PLAVENÍN A ELEKTRICKEJ VODIVOSTI

Na monitorovanie hodnôt koncentrácií plavenín, elektrickej vodivosti a štúdium režimu plavenín v podmienkach základného odtoku a počas prívalových vĺn bolo vybrané poľnohospodárske mikro-povodie Rybárik pri Považskej Bystrici (obrázok 1). Povodie Rybárik je súčasťou experimentálneho povodia potoka Mošteník, ktoré bolo založené ako Prírodné hydrologické laboratórium v roku 1958 a je časťou povodia rieky Váh, hlavného prítoku rieky Dunaj na území Slovenska. Územie potoka Mošteník patrí do Strážovskej vrchoviny, ktorú možno zaradiť do vrchovinnej a čiastočne stredohorskej oblasti Slovenska. Plocha povodia Rybárik je 0,12 km^2 s priemernou nadmorskou výškou 400 m n. m. (min – 375 m n. m., max – 434 m n. m.). Z geologického pohľadu je povodie súčasťou flyšového pásma so striedajúcimi sa ílovými a pieskovcovými vrstvami. Pôdny druh je zastúpený ílovito-hlinitými pôdami. Spôsob využívania krajiny je prevažne poľnohospodársky, len 5 % z celkovej rozlohy povodia je pokryté lesom. Priemerná ročná teplota je 7,7 C°, priemerné ročné zrážky sú 745 mm a priemerný odtok je 239 mm/rok.



Obr. 1 Schématické znázornenie povodia Rybárik
Fig. 1 Schematic image of the Rybárik basin

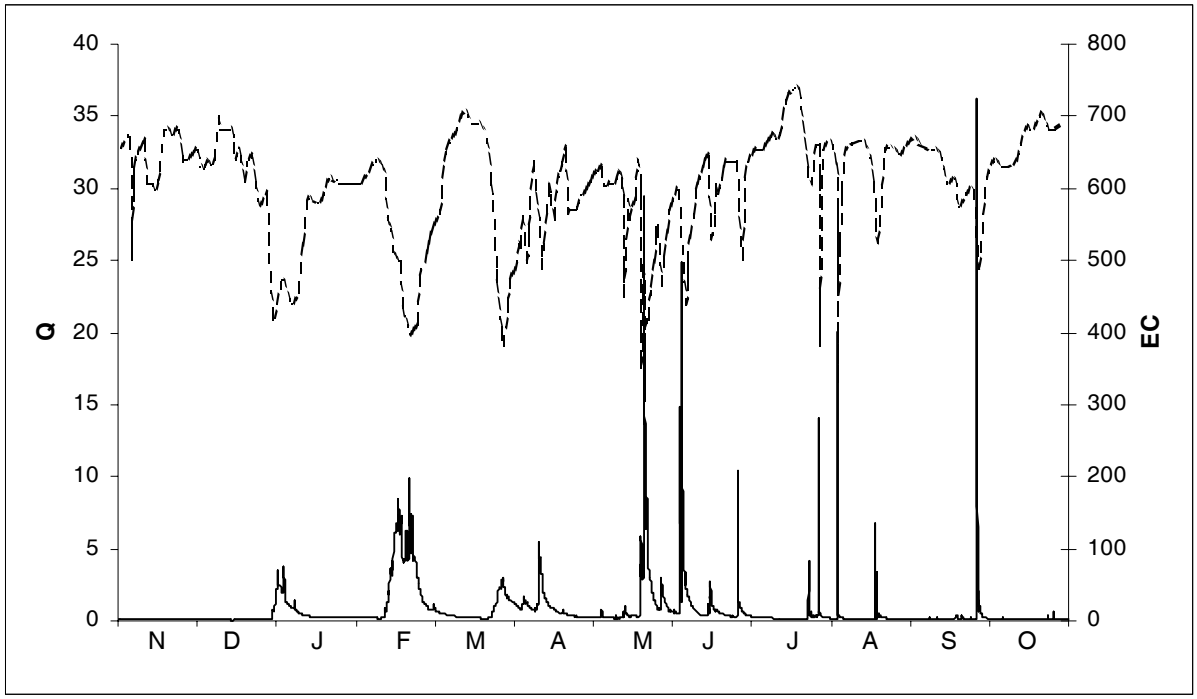
V záujmovom povodí Rybárik bol v prvých rokoch výskumu v záverečnom profile vybudovaný merný priepad s limnigrafom, určený na kontinuálny záznam vodného stavu. Pomocou merných kriviek prietokov získaných tarovaním bol vyhotovený kontinuálny záznam prietokov. Údaje o hodnotách koncentrácií plavenín v povrchovom toku a elektrickej vodivosti boli stanovené zo vzoriek vody odoberaných manuálne tesne za objektom priepadu do plastikových fliaš s objemom 1000 ml.

S monitorovaním koncentrácií plavenín sa začalo koncom roku 1986. Pre nedostatok financií bol monitoring prerušený začiatkom roka 1988 a znovu obnovený na jar 2001. V období rokov 1986–1988 boli vzorky vody z povrchového toku odoberané v intervaloch 1–3 dni, výnimočne vo väčších intervaloch. V roku 2001 sa vzorky odoberali v priemere 4 krát za mesiac. Všetky vzorky získané v rokoch 1986 – 1988 a 2001 boli odoberané v podmienkach základného odtoku. Okrem uvedeného monitoringu boli vzorky odoberané aj počas zrážko-odtokových udalostí, spôsobených prívalovými dažďami v rokoch 1987–1990, 1992, 2000 a 2001. Vzorkovanie prebiehalo v intervaloch 5 minút až niekoľko hodín v závislosti od rýchlosti stúpania resp. klesania vodného stavu. Pri rýchlejších zmenách vodného stavu bola frekvencia odberov vzoriek hustejšia a naopak. Monitorovanie elektrickej vodivosti prebiehalo v rokoch 1986-1990 a obnovené bolo v roku 2000 (počas zrážko-odtokovej udalost), resp. v roku 2001. Predkladaný príspevok predstavuje prvú časť výskumu, spracované boli zatiaľ archívne údaje z rokov 1986-1988.

REŽIM ELEKTRICKEJ VODIVOSTI

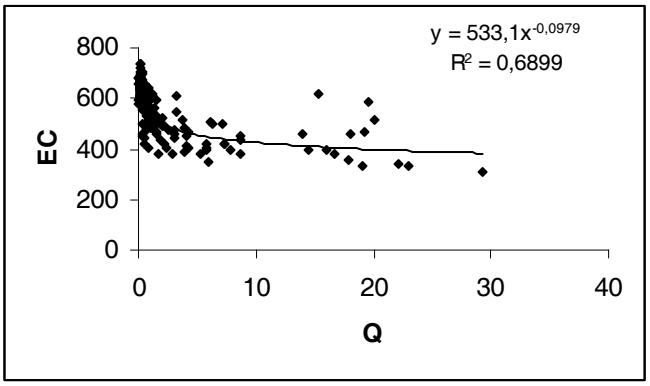
Počas monitorovaného obdobia v rokoch 1986-1988 bolo odobratých 266 vzoriek vody z povrchového toku v povodí Rybárik. Namerané hodnoty elektrickej vodivosti dosahujú značný rozptyl. Maximálna hodnota EC nameraná v záverečnom profile bola 737 $\mu S.cm^{-1}$, minimálna hodnota EC bola 305 $\mu S.cm^{-1}$. Z obrázku 2 je zrejmé, že najvyššie hodnoty EC sa vyskytujú v obdobiach s minimálnym vodným stavom. Je to predovšetkým koncom kalendárneho roka, kedy je vodný stav ustálený, s minimálnymi zrážkovými úhrnmi, resp. s výskytom snehovej pokrývky. V tomto období sa hydrochemicky výraznejšie uplatňujú viac mineralizované vody hlbšieho obehu s vyššou EC (základný, podzemný odtok). Vysoké hodnoty EC sa objavujú aj počas zvyšnej časti roka v bezzrážkových obdobiach. Počas prietokových vĺn, vyvolaných topením snehovej pokrývky a zrážkami sa hodnoty EC výrazne znižujú. Hodnoty EC v snehovej pokrývke a v zrážkovej vode sú podstatne menej mineralizované, čo spôsobuje zrieďovanie hodnôt EC v koryte vodného toku. Znižovanie hodnôt EC so zvyšovaním prietoku je dokumentované aj v zahraničnej literatúre (Duysings a kol.; 1982; Laudon a Slaymaker, 1997; Nakamura, 1971).

Hoci sa v podí Rybárik znižujú hodnoty EC so zvyšovaním prietoku, separácia prietokovej vlny a určenie podielu povrchového odtoku z celkového odtoku pomocou EC je problematická. Laudon a Slaymaker (1997) prinášajú výsledky dvojzložkovej separácie (tzv. nová voda a stará voda, z angl. event water a pre-event water alebo old water) prietokovej vlny pomocou izotopov kyslíka, vodíka a elektrickej vodivosti. Za tzv. novú vodu sa považuje zrážková voda, za tzv. starú vodu sa považuje voda, ktorá sa nachádzala v povodí pred výskytom zrážok. Z uvedeného vyplýva, že nová voda nepredstavuje povrchový odtok, ale že povrchový odtok je časťou novej vody, pretože určitá časť zrážkovej vody infiltruje do pôdy a odteká ako podpovrchový, prípadne podzemý odtok. V porovnaní s izotopovou separáciou, ktorá je všeobecne považovaná za najpresnejšiu metódu separácie hydrogramu, boli výsledky separácie pomocou EC, ktoré udávajú autori, čiastočne uspokojivé. Napriek tomu, že priebeh koncentrácií izotopv a EC môžu mať porovnateľný trend pri konkrétnej prietokovej vlne, pri použtí EC dochádza k nadhodnocovaniu podzemnej a podpovrchovej zložky odtoku. Jedným z ôvodou je, že zrážková voda, ktorá steká po svahu je určitý čas v styku s povrchom pôdy, čím sa môže zvýšiť hodnota elektrickej vodivosti. V niektorých prípadoch dokonca hodnoty EC oscilujú nezávisle od prietoku. V takomto prípade sú do celkového odtoku zapájané zdrojové oblasti povodia s rôznymi hodnotami EC. Identifikácia týchto zdrojových oblastí a hodnôt EC je však obtiažna.



Obr. 2 Prietok a elektrická vodivosť v hydrologickom roku 1987
Fig. 2 Discharge and electrical conductivity in the hydrological year 1987

Vzhľadom na presnejšie určenie povrchového odtoku, ktorý je významným eróznym činiteľom a vzhľadom k uvedeným ťažkostiam s dvojzložkovou separáciou sa uvažovalo o použití troj zložkovej separácie. Kvatifikácia povrchového odtoku je prepodkladom lepšieho pochopenia eróznych procesov na svahu, tvorby plavenín a ich celkovej dynamiky v koryte vodného toku. Pri tejto metóde sa celkový odtok separuje na podzemnú, podpovrchovú a povrchovú zložku. Je preto nevyhnutné poznať hodnoty EC vo všetkých troch zložkách odtoku. Tu však opäť narážame na problém určenia týchto hodnôt. Z obrázku 3 je zrejmé, že hodnoty EC prislúchajúce podzemnému a podpovrchovému odtoku sa menia nezávisle od prietoku. Dynamika elektrickej vodivosti je teda výraznejšia ako dynamika odtoku. Vzhľadom na túto skutočnosť je prakticky nemožné určiť hodnoty EC v podzemnom a podpovrchovom odtoku počas priebehu prietokovej vlny. Opäť možu byť totiž do celkového odtoku zapájané rozdielne oblasti s odlišnými hodnotami EC. Uvedené problémy umocňuje aj fakt, že sa jedná o mikro-povodie, ktorého veľkosť je len 0,12 km^2 a hydrogeologická a orografická rozvodnica nemusia byť totožné a može dochádzať k určitým zmenám v hydrologickom režime takéhoto malého povodia. Takisto neboli údaje o hodnotách EC v zrážkach pri všetkých zrážko-odtokových situáciách.



Obr. 3 Vzťah medzi prietokom a elektrickou vodivosťou
Fig. 3 Relationship between discharge and elctrical conductivity

VZŤAH MEDZI PRIETOKOM KONCENTRÁCIOU PLAVENÍN A EC

Napriek ťažkostiam so separáciu prietokovej vlny pomocou elektrickej vodivosti, boli hodnoty EC použité ako indikátor povrchového odtoku pri zrážko-odtokových situáciách. Ako už bolo naznačené hodnoty EC sa znižujú s narastaním prietoku, čo odráža stúpanie povrchového odtoku, ktorý spôsobuje transport pôdnych častíc do koryta vodného toku. So zvyšovaním celkového prietoku sa zvyšujú aj koncentrácie plavenín. Grafické znázornenie vzťahu medzi koncentráciou a prietokom ukazuje však značný rozptyl koncentrácií okolo regresnej čiary, čo j do určitej miery spôsobované zrieďovaním koncentrácií plavenín v povrchovom odtoku podzemným a podpovrchovým odtokom.

Pr získanie lepšieho obrazu o dynamike plavenín počas zrážko-odtokových udalostí bol odvodený multi regresný lineárny vzťah medzi logaritmickými hodnotami prietoku, EC a koncentrácie plavenín. Tento vzťah však nemožno považovať za definitívny, pretože sa jedná len o prietokové vlny, ktoré sa vyskytli vo vegetačnom období rokov 1987 a 1988, kedy sa v povodí pestovala kukurica. Ide skôr o získanie prvých informácií o vplyve spomínaného zrieďovania na celkovú dynamiku plavenín. Výsldky ukazujú, že koeficient determinácie vo vzťahu medzi prietokom, EC a koncentráciou plavenín je výrazne vyšší (r^2=0,62) ako v prípade vzťahu len medzi prietokom a koncentráciou (r^2=0,34). Hoci v ani v prvom prípade nie je vzájomný vzťah medzi prietokom, EC a koncentráciou plavenín až tak veľmi štatisticky významný, je zrejmé, že zrieďovanie koncentrácií je významným faktorom, ktorý ovplyvňuje dynamiku plavenín.

Na záver treba pripomenúť, že sa jedná o prvé výsledky, spracované na základe 2 rokov. V súčasnosti výskum pokračuje, so zameraným na separáciu pomocou rozpustných kremičitanov, ktoré podľa zahraničných zdrojov vykazujú lepšiu stabilitu ako elektrická vodivosť a je teda možné ich použitie pri separácii povrchového odtoku. Takisto sú priebežne spracovávané údaje z neskorších rokov. Celý výskum smeruje k lepšiemu pochopeniu dynamiky plavenín a hlavných faktorov, ktoré ju ovplyvňujú. Nové poznatky budú použité pri modelovaní erózneho procesu, predovšetkým v prípade 2, prípadne viacerých po sebe nasledujúcich prietokových vlnách. V takýchto prípadoch sú koncentrácie plavenín výrazne vyššie počas prvej vlny ako počas 2, prípadne ďalšej vlny, pri tých istých prietokoch. Je preto otázne do akej miery je tento jav spôsobený zrieďovaním koncentrácií alebo vyčerpávaním dostupných sedimentov. Odpoveď na túto otázku by mal priniesť ďalší výskum.

Poďakovanie: *Spracovanie štúdie bolo podporené projektmi APVT 7804 a VEGA 5055.*

Literatúra

Bača, P., 2001: Analýza a modelovanie povrchového odtoku a erózneho procesu na malom povodí. Acta Hydrologica Slovaca, Roč.2, 1, 93-97.

Becht, M., 1989: Suspended load yield of a small alpine drainage basin in upper Bavaria. Landforms and Landform Evolution in West Germany, Catena (supplement), 15, 329-342.

Bhutiyani, M. R., 2000: Sediment load characteristics of a proglacial stream Siachen Glacier and the erosion rate in Nubra valley in Karakoram Himalayas, India. Journal of Hydrology 227, 84-92.

Bronsdon, R., K., Naden, P., S., 2000: Suspended sediment in the Rivers Tweed and Tevoit. The Science of the Total Environment, 251/252, 95-113.

Froehlich, W., 1975: Dynamika transportu fluwialnego Kamienicy nawojowskiej. PAN, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Prace Geograficizne NR, 114.

Froehlich, W., 1982: Machanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin do koryta w Górskiej Zlewni Fliszowej. PAN, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Prace Geograficizne NR, 143.

Church, M., Gilbert, R., 1975: Proglacial fluvial and lacustrine environments, glaciofluvial and glaciolacustrine sedimentation, Jopling A. V. and McDonald B. C. (Eds), Soc. Econ. Paleontol. Minerol. (Spec. Publ.), 23, 40-100.

Picouet, C., Hingray, B., Olivry, J. C., 2001: Empirical and conceptual modelling of the suspended sediment dynamics in a large tropical African river: the Upper Niger river basin. Journal of Hydrology 250, 19-39.

Van Sickle, J., Beschta, R. L., 1983: Supply-based models of suspended sediment transport in streams. Water Resources Research, 19, 768-778.

Walling, D.E., 1974: Suspended sediment and solute yields from a small catchmetn prior to urbanisation. In Gregory K. J. and Walling D. E. (Eds), Fluvial processes in instrumented watersheds, Inst. Br. Geog. (Spec. Publ.), 6, 169-192.

Walling, D., E., 1978: Suspended sediment and solute response characteristics of the river Exe, Devon, England. In Davidson-Arnott, R. and Nickling, W. (Eds), Research in fluvial systems. Geoabstratcs, Norwich, 169-197.

Walling, D. E., Webb, B. W., 1981: The reliability of suspended load data. In: Erosion and Sediment transport measurement. IAHS Publ., 133, 177-194.

Wood, P., A., 1977: Controls of variation in suspended sediment concentration in the River Rother, West Sussex, England. Sedimentology, 24, 437-445.

Zăvoianu, I., 1996: Relationship between rainfall, slope runoff and erosion in the Valea Muscel Basin. Geografický časopis, 48, 2, 113-120.

Peter Bača
Ústav hydrológie SAV
Račianska 75
831 02 Bratislava
baca@uh.savba.sk

HYDROLOGICKÉ DNI 2005

Bratislava, 21.– 23. september 2005

Vydavateľ
SHMÚ, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava 37
Slovenský výbor pre hydrológiu, Račianska 75, 831 02 Bratislava 3

Publikácia prešla recenzným pokračovaním
Počet strán: 982 Náklad: 240 ks

ISBN 80-88907-53-5