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

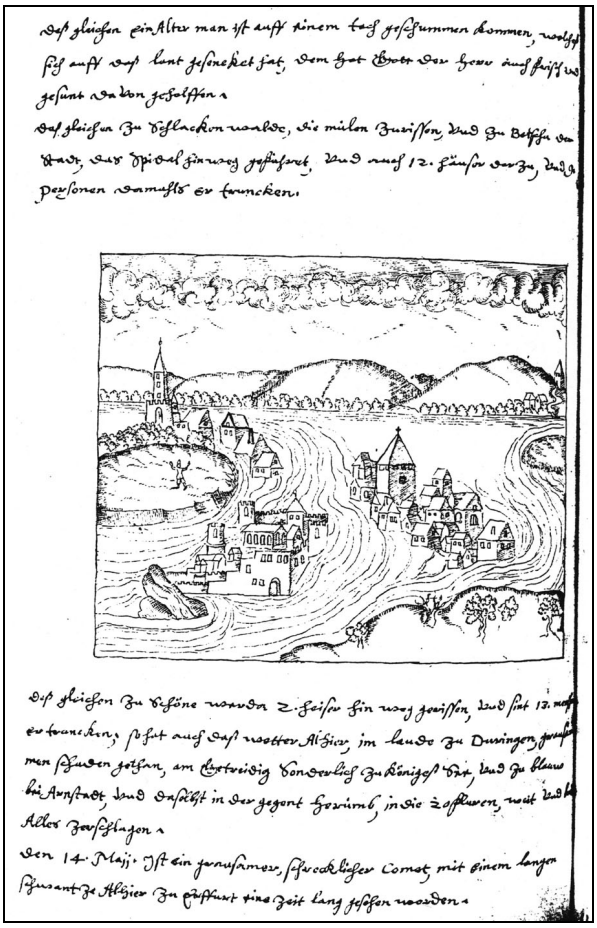
V České republice se pro studium historických povodní dá využít několik typů pramenů, které jsou dále stručně charakterizovány.

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

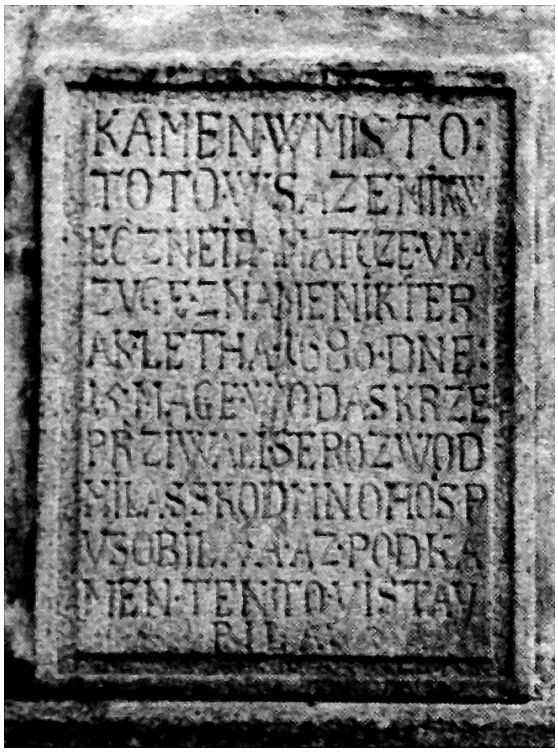
Povodně byly vděčným tématem také pro trhové a kramářské písně. Jednalo se buď o katastrofální povodně nebo bleskové povodně po bouřkách a přívalových srážkách, které díky náhlému a často nečekanému vzniku měly za následek lidské oběti a velké škody v lokálním či regionálním měřítku. I když písně obsahovaly 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)

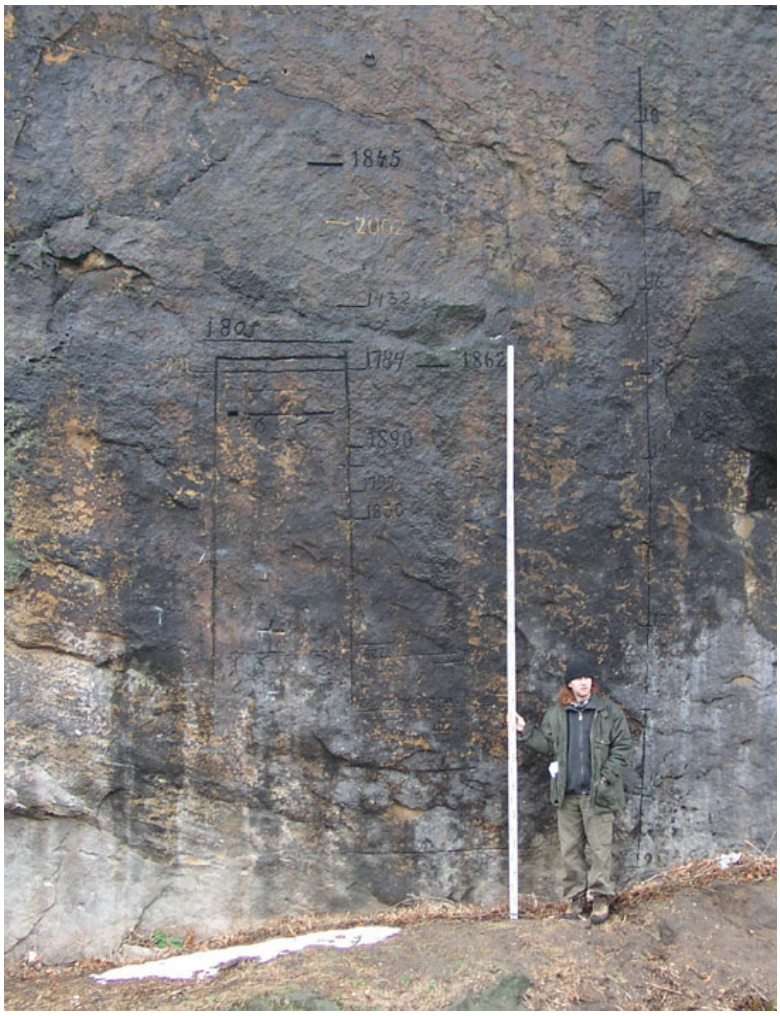
Fig. 6. The Bradáč sculpture on the Vltava riverbank next to Charles Bridge in Prague (photo L. Elleder)

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)

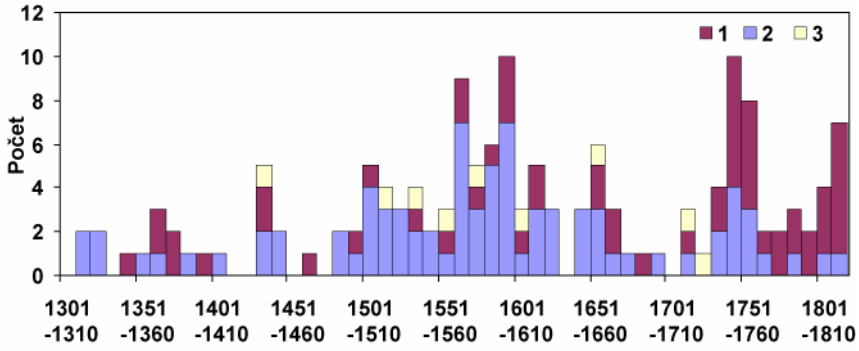
3 CHRONOLOGIE HISTORICKÝCH POVODNÍ V ČESKÉ REPUBLICE

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.



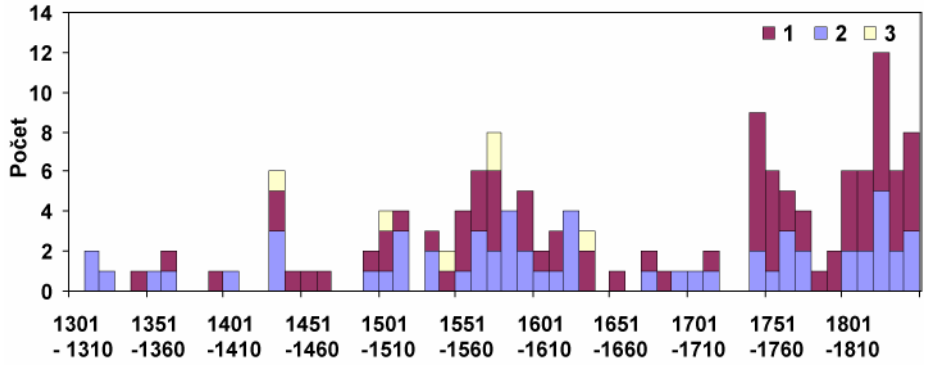
Obr. 8. Dekádové četnosti povodní na Vltavě v úseku od Českých Budějovic po její ústí do Labe u Mělníka podle dokumentárních pramenů v období 1301–1820 s rozlišením podle typu povodně (1 – zimní, 2 – letní, 3 – nejasný)

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.



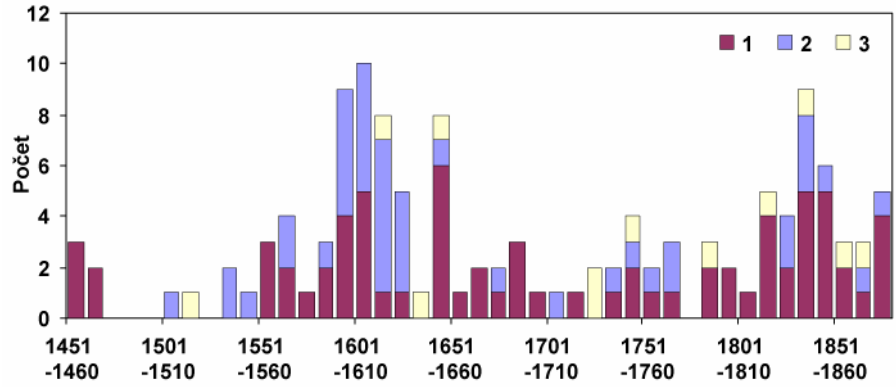
Obr. 9. Dekádové četnosti povodní na Labi v úseku od Brandýsa nad Labem po státní hranici podle dokumentárních pramenů v období 1301–1850 s rozlišením podle typu povodně (1 – zimní, 2 – letní, 3 – nejasný)

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).



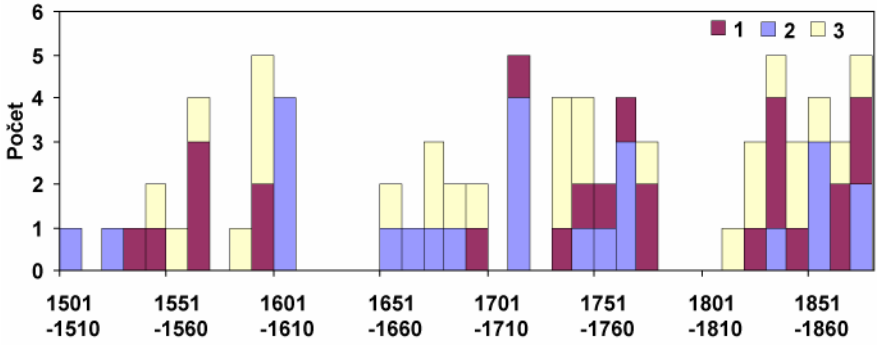
Obr. 10. Dekádové četnosti povodní na Ohři v úseku od Kadaně po její ústí do Labe v Litoměřicích podle dokumentárních pramenů v období 1451–1880 s rozlišením podle typu povodně (1 – zimní, 2 – letní, 3 – nejasný)

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)

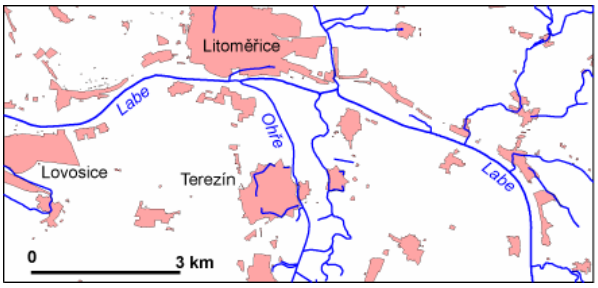
Fig. 11. Decadal frequencies of floods on the Morava River according to documentary sources in the period 1501–1880, and the differentiation of flood types (1 – winter, 2 – summer, 3 – unclear)

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.

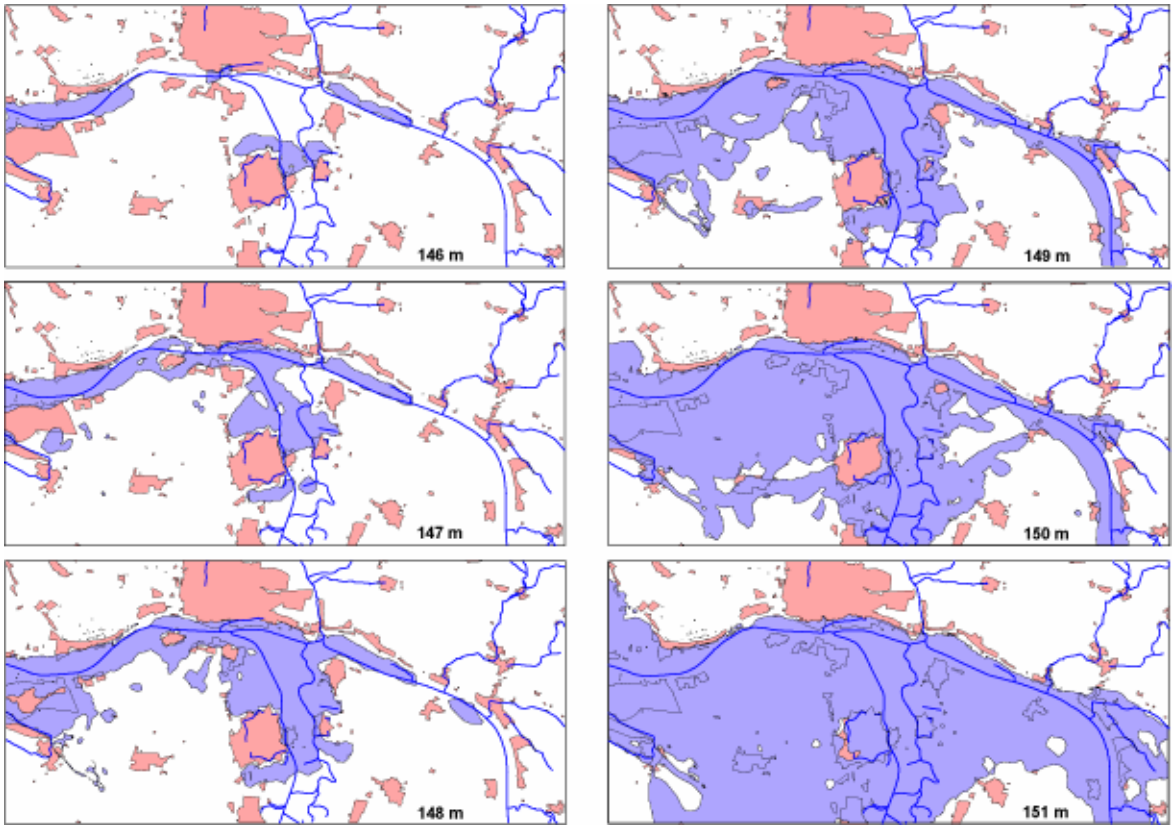
Informace o dosažených vodních stavech (např. značky velkých vod) mohou být využity např. k modelování možného zaplaveného území při jednotlivých historických povodních. Rozsah zaplaveného území může být následně konfrontován s písemnými zprávami o těchto událostech. Jako modelové území pro takové odhady 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:

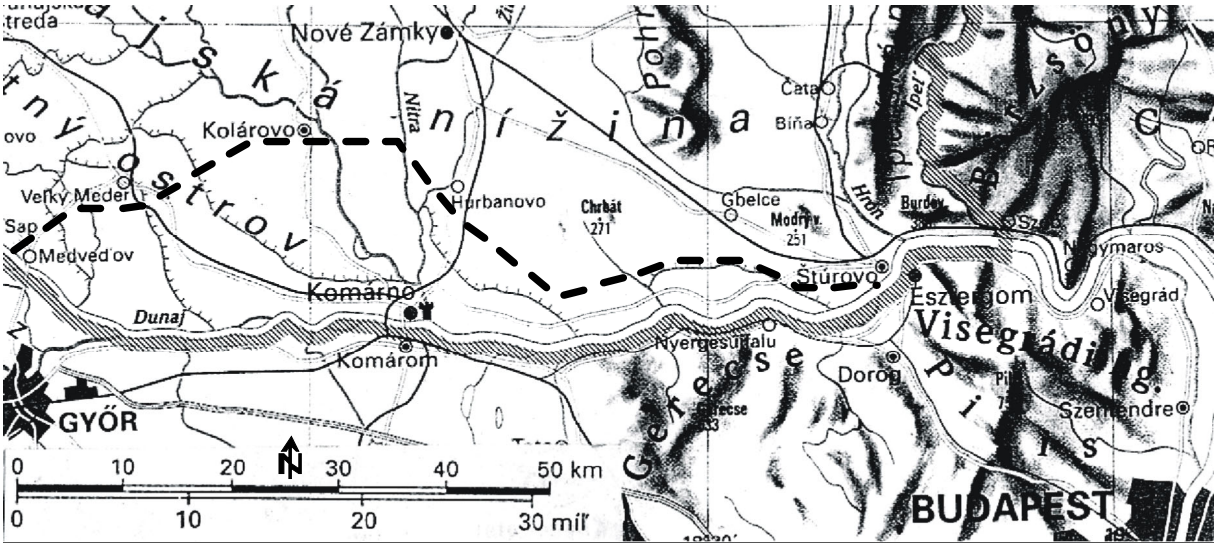
- celková koncentrácia rozpustených solí,vyjadrená vyjadrená elektrickou vodivosťou (EC), ktorá je vyjadrená v jednotkách deci Siemens na meter ($dS.m^{-1}$ alebo $\mu S.cm^{-1}$).
- relatívny pomer sodíka k ostatným katiónom vyjadrený sodíkovým adsorpčným pomerom (sodium adsorption ratio) SAR,
- nadmerná 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

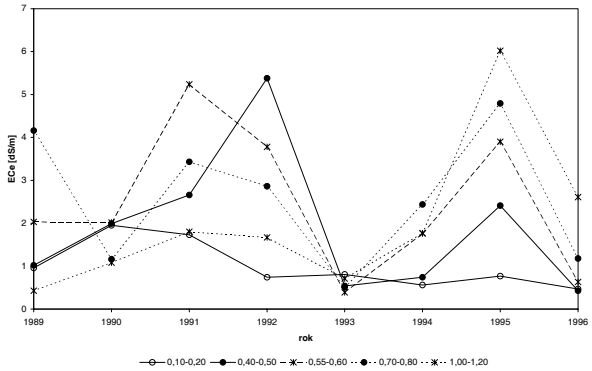
Je všeobecne známe, že väčšina zavlažovaných oblastí je vystavená riziku vzniku sekundárne zasolených, prípadne zamokrených pôd. Sekundárne zasolené a alkalické pôdy sú tie, ktoré vznikli v dôsledku antropogénneho vplyvu, predovšetkým zavlažovania, alebo zmenou režimu hladín podzemnej vody, ako dôsledok 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.

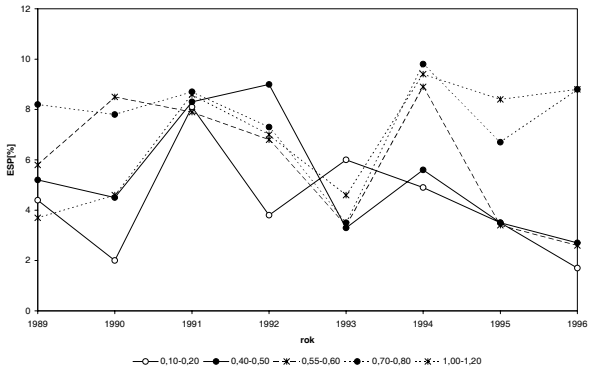
Výsledky monitoringu pôd, t.j. údaje analýz nasýteného extraktu pôdnej pasty a analýz vodného výluhu pôd potvrdzujú, že na záujmovej oblasti aj v súčasnosti prebieha formovanie soľných pôd, a to procesom salinizácie a alkalizácie. Hlavným kritériom salinizácie pôd je elektrická vodivosť nasýteného extraktu 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

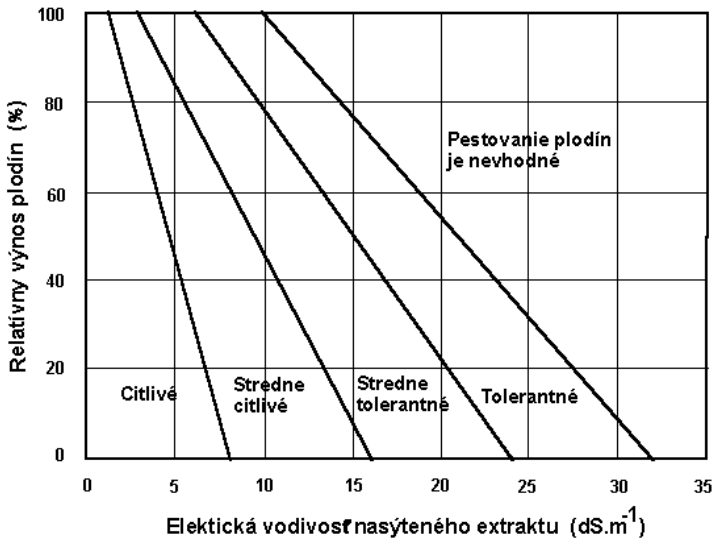
V suchých rokoch 1990-1993 je výskyt slancových pôd zaznamenaný vo väčšom rozsahu ako v rokoch vlhkejších (1994-1996), v ktorých dochádza k vymývaniu solí z povrchových do spodných vrstiev pôdneho profilu. Striedanie suchých a vlhkých rokov je preto v záujmovej oblasti hodnotené ako významný činiteľ 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)

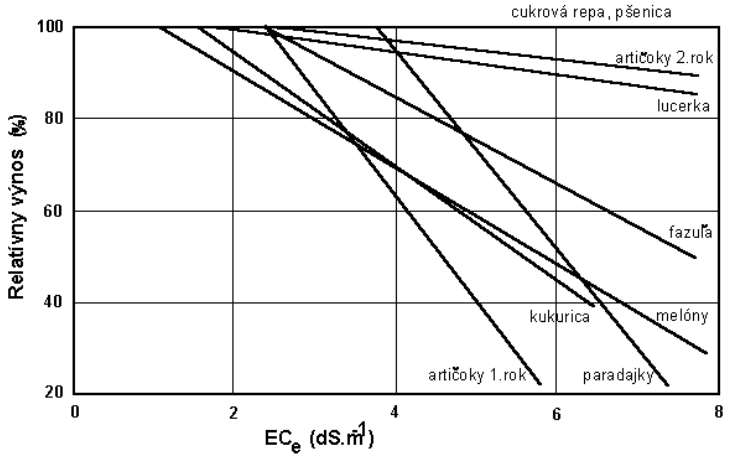
Fig.4. Dividing of fields for classification of crops salt tolerance. Relative yield vs.soil salinity (Maas, Hoffman, 1977)

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***

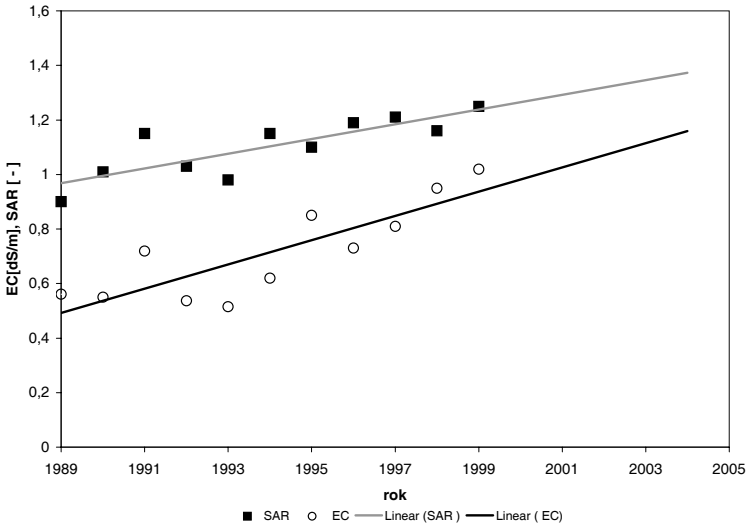
Účel sústavy kanálovej siete Podunajskej roviny úzko súvisí s odvodnením zamokrených pôd vo vlhkom jarnom období a za povodní, so závlahami v suchom vegetačnom období a s regulovaním režimu hladín podzemnej vody, celkovou potrebou závlahovej vody, prevodmi vody medzi jednotlivými oblasťami a s rozvojom 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

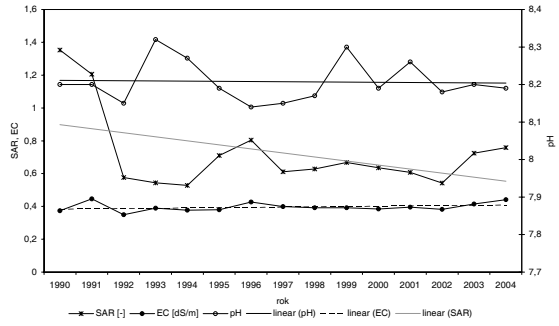
Podľa klasifikačného diagramu závlahovej vody (US Salinity Laboratory) definujúceho hazard salinity a sodocity, patria tieto vody podľa hodnôt EC do triedy C2 a C3 (C2 ak 0,25<EC<0,75; C3 ak 0,75<EC<2,25 $dS.m^{-1}$). Ide o vody stredne až vysoko salinizované so stredným až vysokým rizikom salinizácie 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).

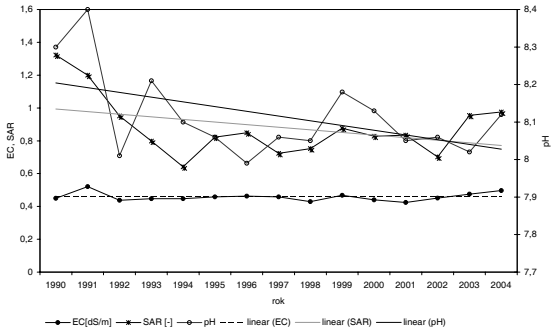
Na základe zistených skutočností možno konštatovať, že súčasná kvalita povrchovej vody v juhovýchodnej časti Podunajskej roviny, kde bola v období rokov 1990 – 2004 hodnotená povrchová voda dolného Váhu a Dunaja (profil: Dunaj-Komárno a Váh-Komárno), je z hľadiska salinity a sodicity vyhovujúca a je 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.

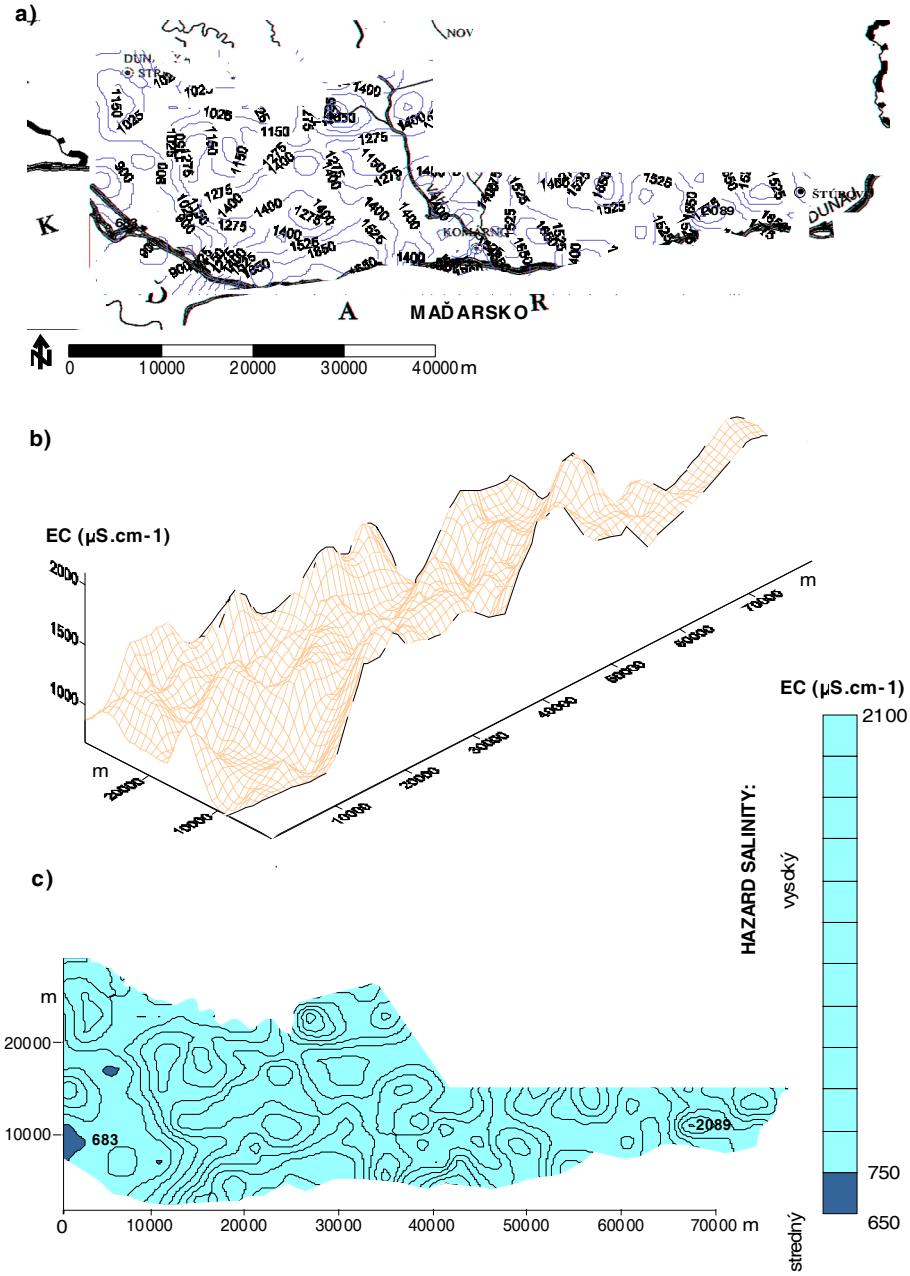
Pre spracovanie charakteristík salinity podzemnej vody boli použité údaje a poznatky z monitoringu a výskumných úloh Ústavu hydrológie a hydrauliky SAV v Bratislave (Burger, a kol., 1991; Čelková, Burger, 1993; Burger, 1995), ako aj z ďalších nižšie uvedených archívnych a databázových zdrojov. Monitorovacie 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.

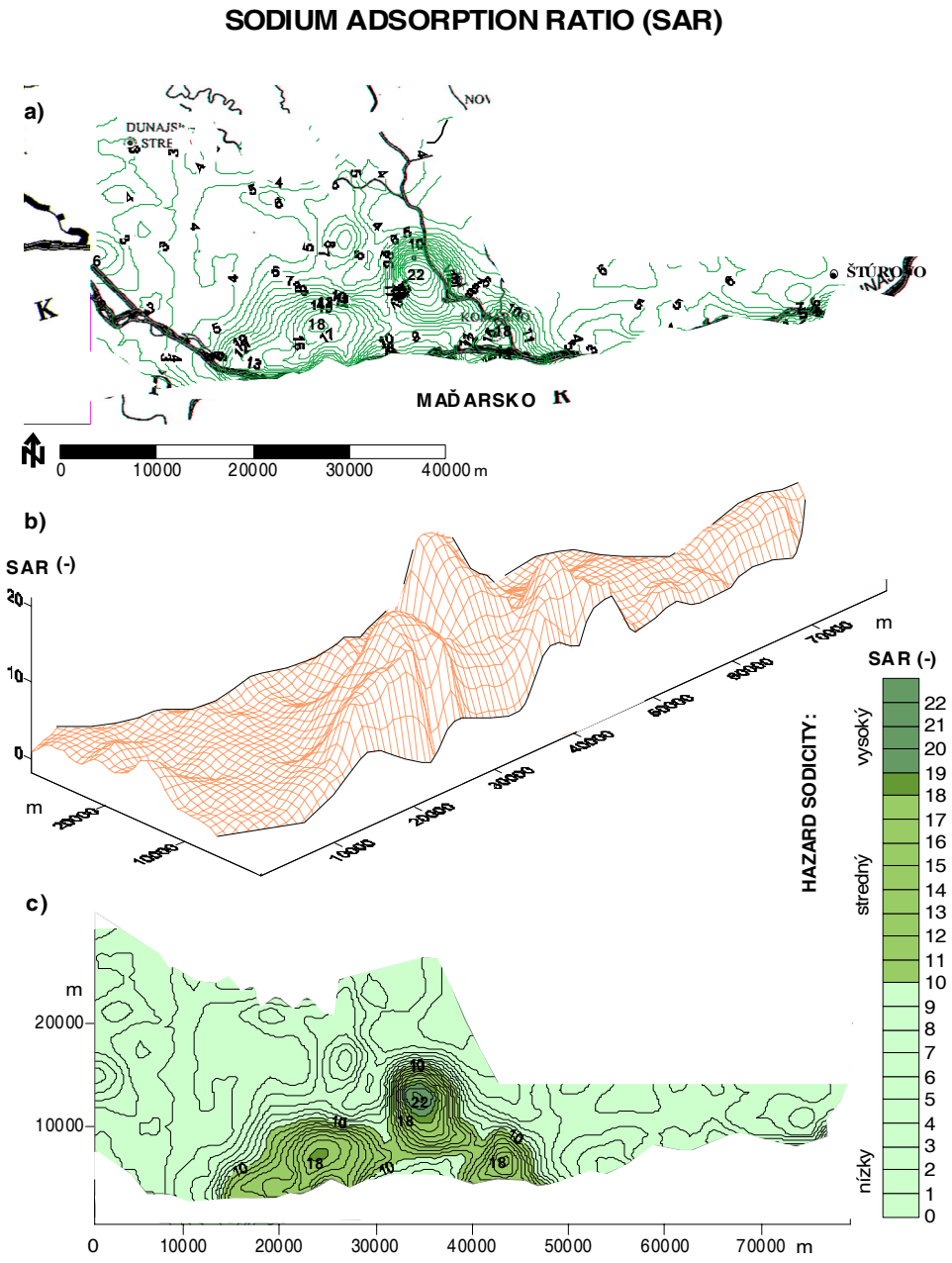


Obr. 9. Distribúcia hodnôt elektrickej vodivosti EC (v µS.cm^{-1}) podzemnej vody prvého zvodneného kolektora juhovýchodnej časti Podunajskej roviny

- *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.

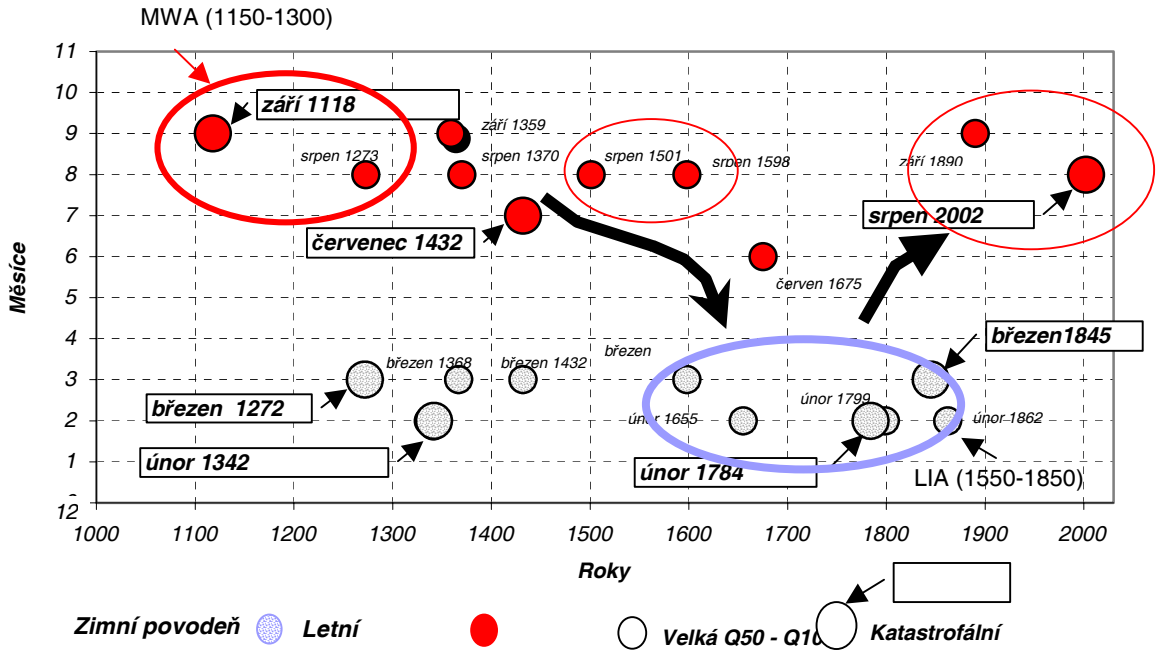
Skutečnosti určitého časového vývoje sezonality historických povodní si povšiml např. Fügner (1995). Uvádí, že období MWP (klimatické optimum 1150-1300) bylo z 24 zaznamenaných labských povodní 22 letních, naproti tom ve 14. století je již z počtu 10 celkem 8 povodní následkem tání a

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.

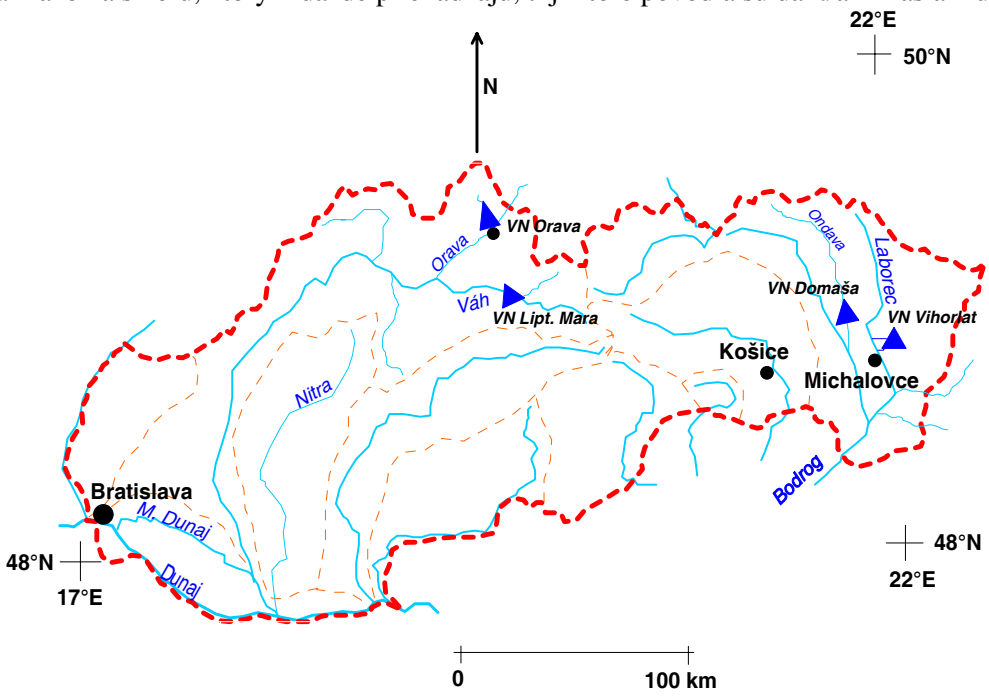
---

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.

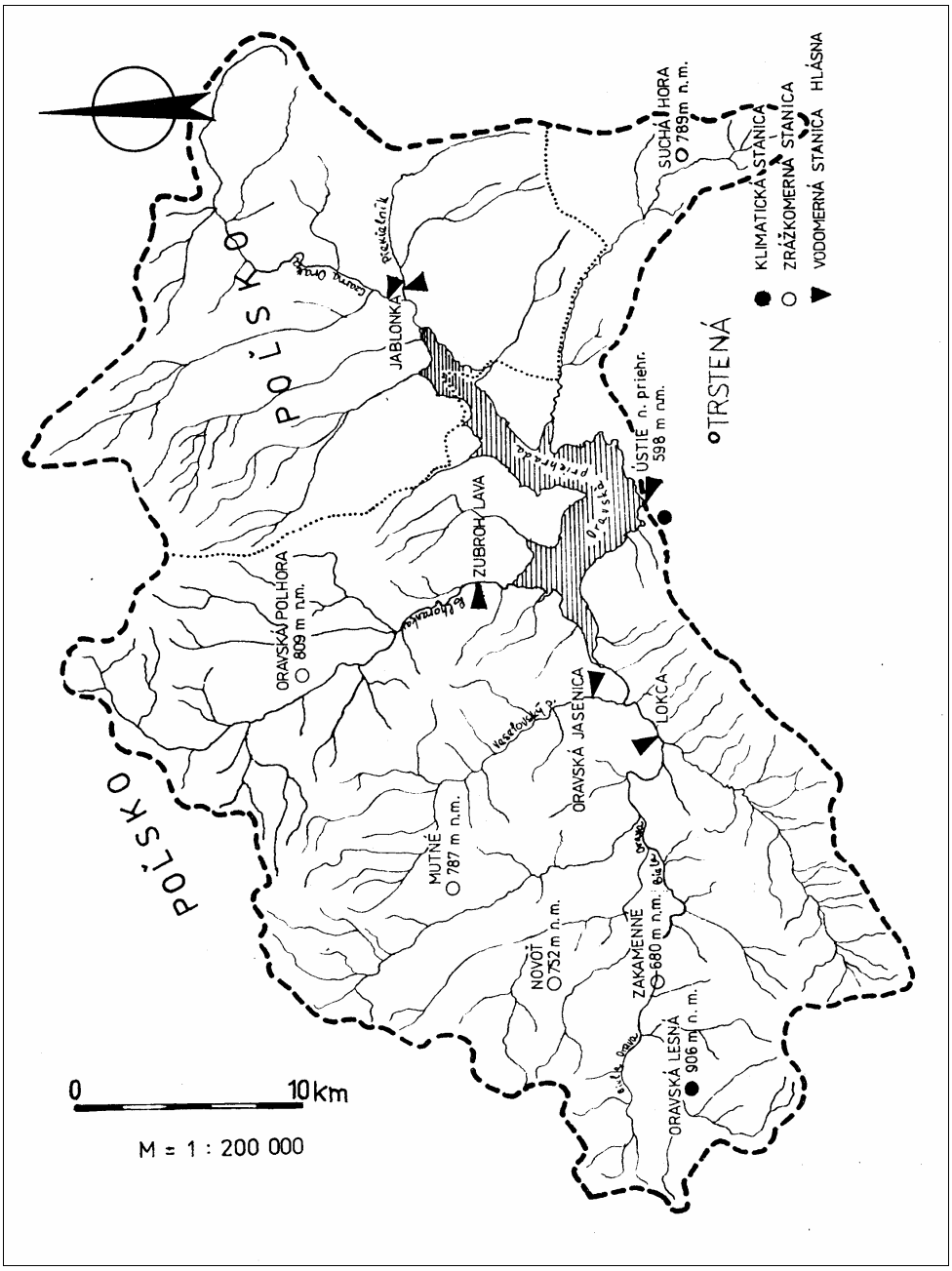
Pokiaľ nie sú na Váhu problémy so zvýšenými prietokmi, rešpektujú sa na vážských kaskádach vodných elektrární záujmy využitia vodnej energie.

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.

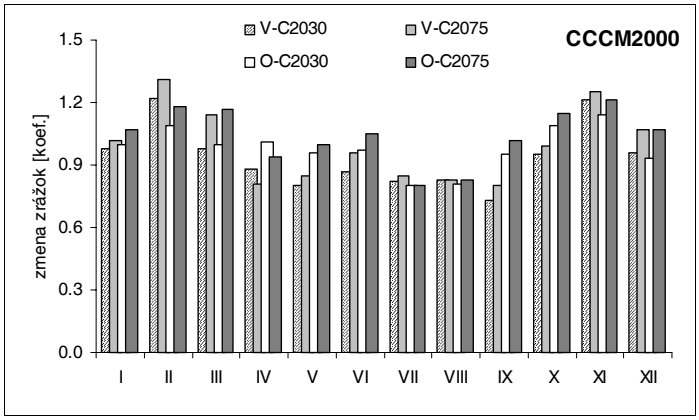
Hodnoty zmeny zrážok a teplôt pre povodie VN Orava boli porovnané s hodnotami pre povodie VN Vihorlat. Tieto dve nádrže sa nachádzajú v rôznych klimatických oblastiach Slovenska, VN Orava na severe Slovenska a VN Vihorlat v južnej časti východného Slovenska. Hodnoty zmeny zrážok a teplôt podľa scenára 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

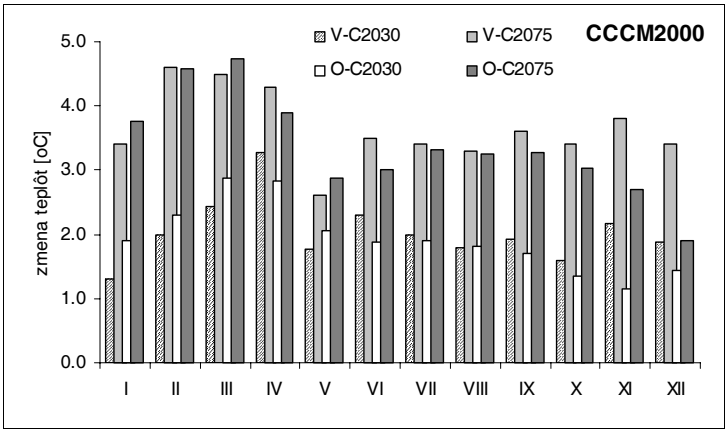
Tab. 1 Climate scenario CCCM2000 of temperature and precipitation changes for VR Vihorlat and VR Orava

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.

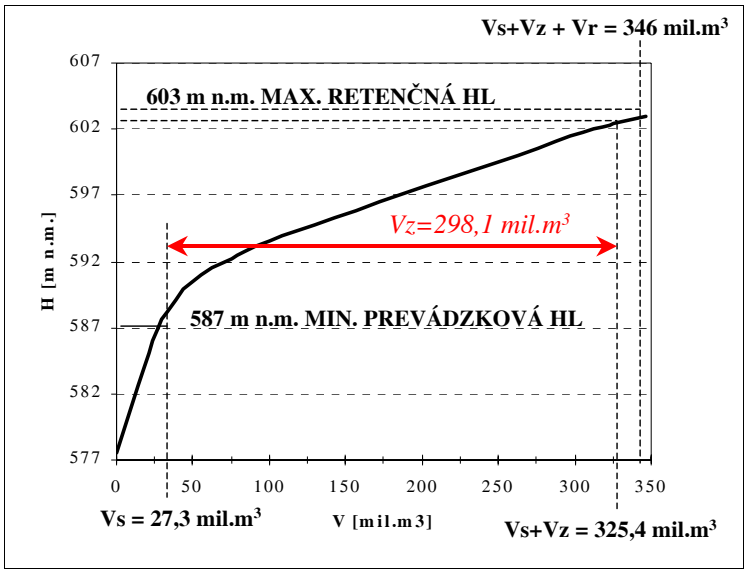
Základné vstupné údaje sú pre obdobie 1951-1980 a povodie VN Orava nasledovné:
- údaje o povodí: *veľkosť povodia VN Orava [km^2]*,
- priemerné mesačné prietoky v stanici *[$m^3.s^{-1}$]*: *Lokca, Zubrohlava, Jasenica, Jablonka (tok Čierna Orava), Jablonka (tok Piekelník),*

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

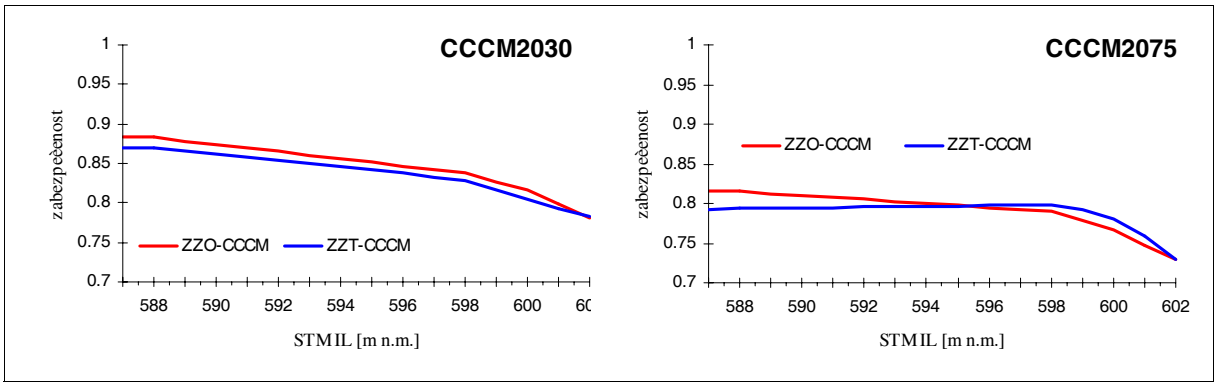
Jednotlivé alternatívy výpočtu podobne ako pri VN Vihorlat (C 1A – C, C 2A - C) sa líšia najmä minimálnou prípustnou prevádzkovou hladinou vody v nádrži v lete (pri objeme STMIL), avšak s ohľadom na skutočnosť, že VN Orava nie je v lete tak využívaná na rekreačné účely, bolo zvolených menej alternatív 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)

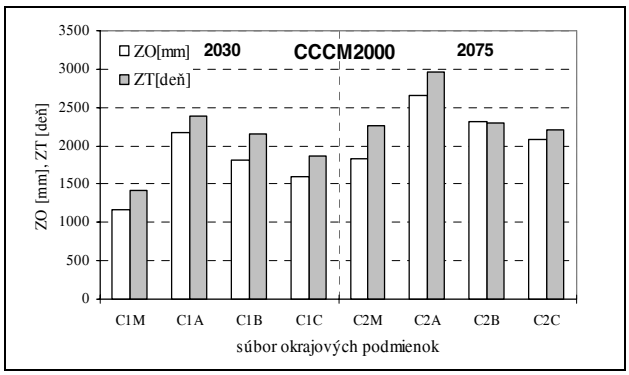
Fig. 6. Relationship between certainty of water supply (ZZO, ZZT) and minimum operating water level (water level for reservoir storage STMIL)

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

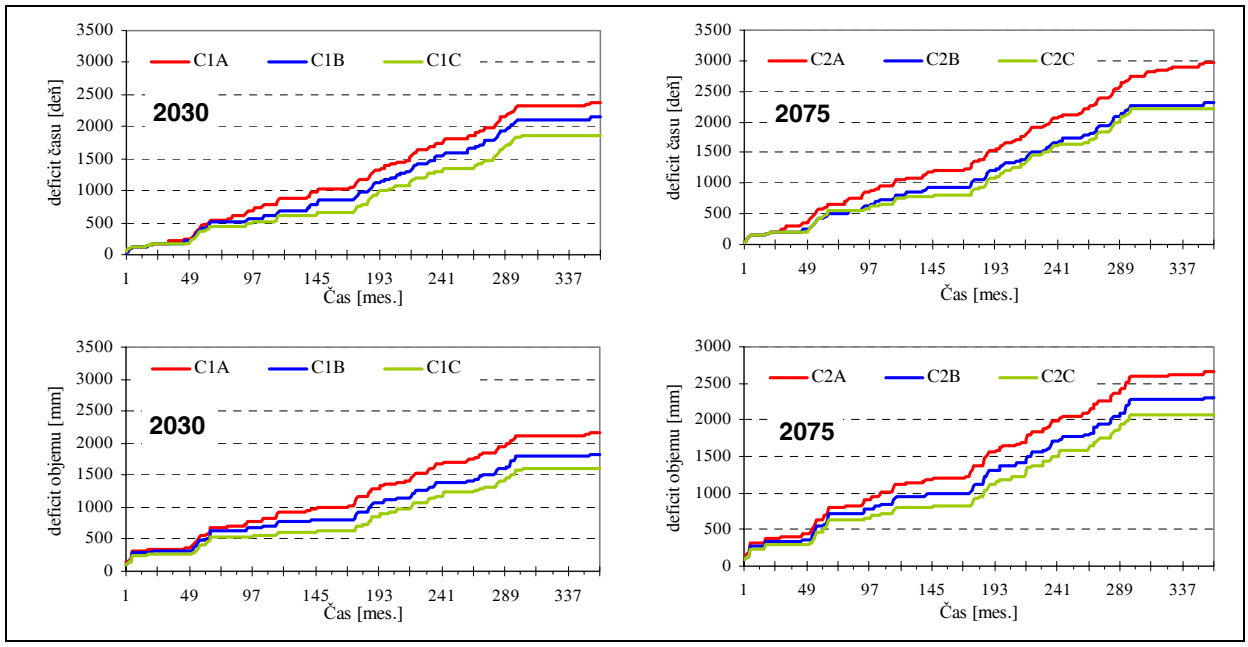
označenie alternatívy	ZOC[mm] 1971-1998	ZO[mm] CCCM2000	ZTC[deň] 1971-1998	ZT[deň] CCCM2000
C-M1	9884.6	1158.9	10950	1420
C-1A	9884.6	2172.4	10950	2383
C-1B	9884.6	1815.5	10950	2147
C-1C	9884.6	1602.0	10950	1869
C-M2	9884.6	1828.4	10950	2266
C-2A	9884.6	2664.6	10950	2966
C-2B	9884.6	2312.4	10950	2305
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

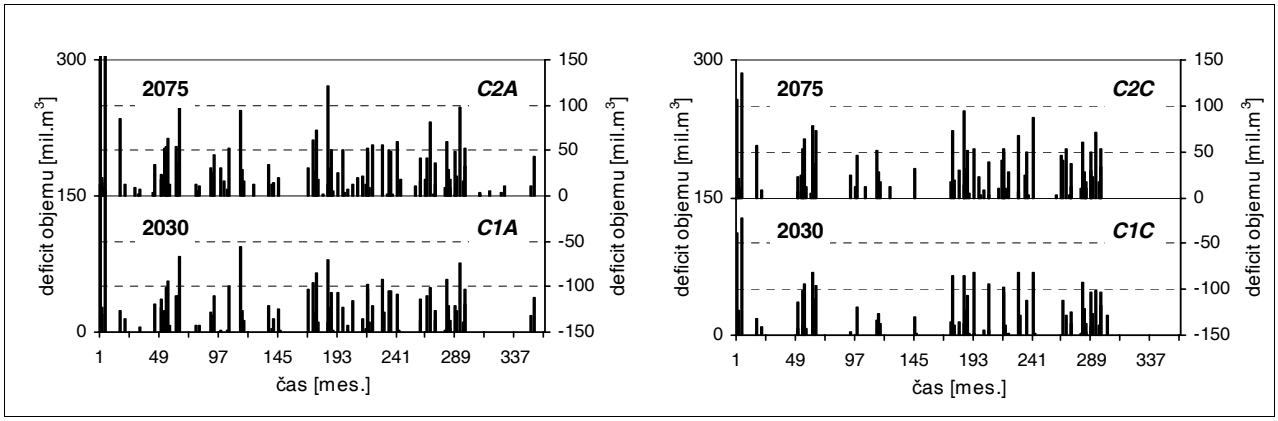
Na Obr. 8 sú vykreslené súčtové čiary nedodaného objemu vody (ZO v mm) a času s nezabezpečenou požadovanou manipuláciou (ZT v dňoch) pre obdobie 1951-1980, podľa scenára CCCM2000 a pre oba časové horizonty 2030 a 2075. Výsledky potvrdzujú predpoklad, že hodnoty nedodaného množstva vody (ZO v mm) a času 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

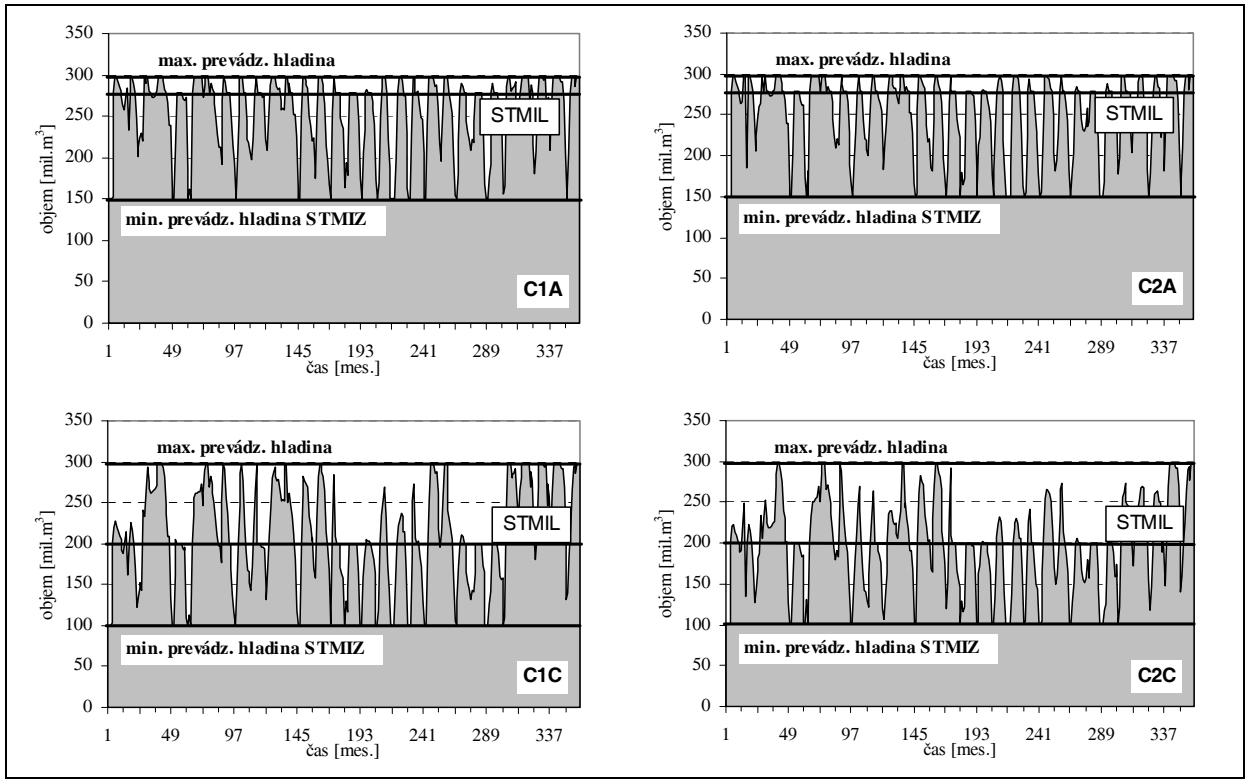
Obr. 9, na ktorom je graficky znázornený deficit objemu v mil.m^3, umožňuje porovnať rozdiely v celkovom nedodanom objeme vody (ZO) pre vybrané alternatívy výpočtu počas obdobia 1951─1980 pre klimatický scenár CCCM2000. Je zrejmé, že hodnoty nedodaného množstva vody (ZO v mm) podľa daného klimatického 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.

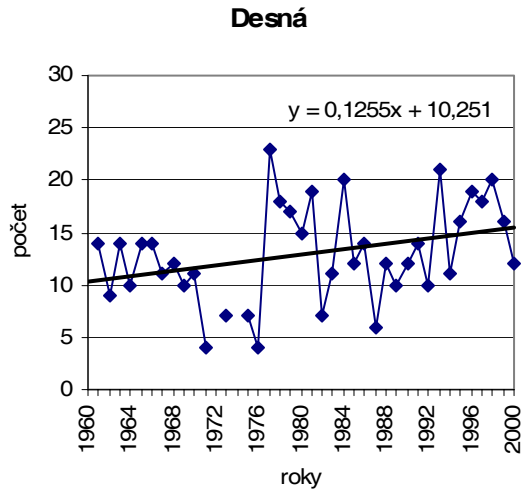
Ze záznamů byl v souladu s postupem dle WISCHMEIERA, SMITHE (1978) proveden výběr dešťů, které byly od ostatních izolovány přestávkou delší než 6 hodin a splňují následující podmínky: Jejich srážkový úhrn překračuje 12,5 mm nebo jejich intenzita je větší než 24 $mm.h^{-1}$. Při těchto deštích se předpokládá, že při nich již zpravidla dochází k odtoku vody po povrchu pozemků.

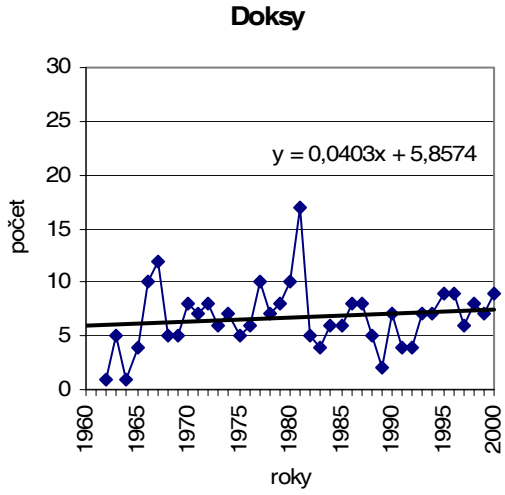
Uvedeným postupem byly získány údaje o počtu erozně nebezpečných dešťů, které se v jednotlivých letech a měsících pozorování na vybraných stanicích ČHMÚ vyskytly. Počty erozně nebezpečných dešťů za léta pozorování a jejich trendy změn jsou uvedeny v následujících grafech na obr. 1 a 2.

Pravděpodobnost jejich výskytu v jednotlivých měsících je uvedena na obr. 3.

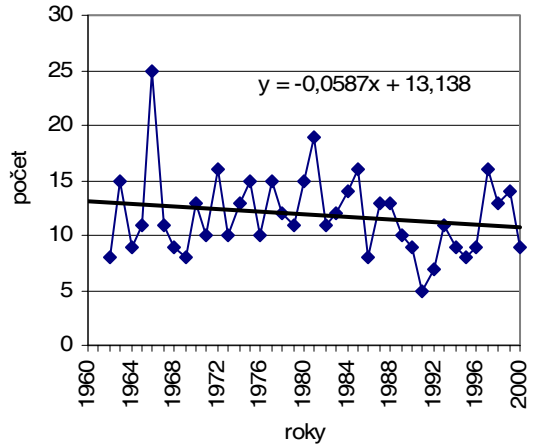
Tab. 1 : Přehled zpracovaných stanic ČHMÚ
Tab. 1: The survey of the elaborated stations of the Czech Hydrometeorological Institute

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

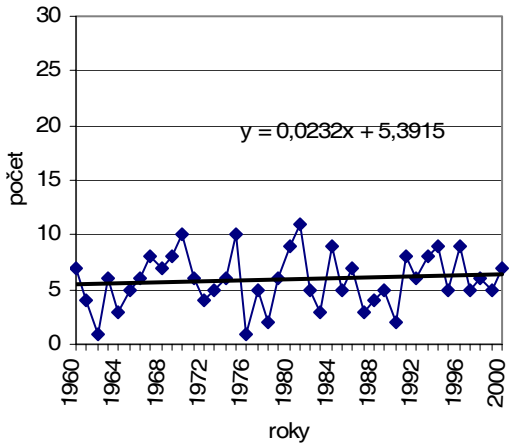




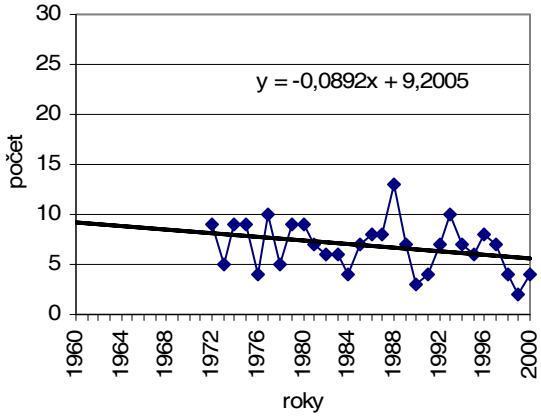
Horní Bečva



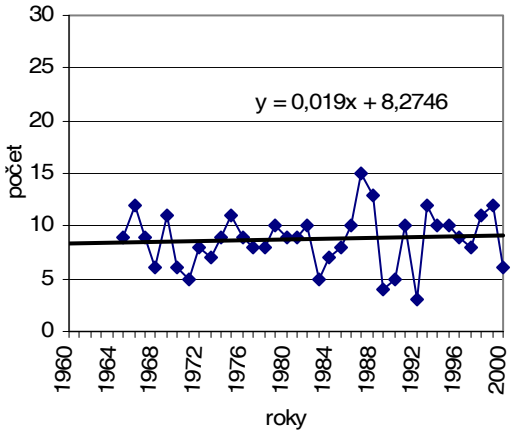
Cheb



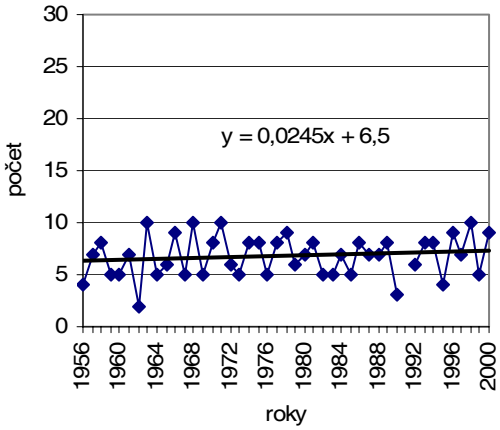
Praha - Libuš



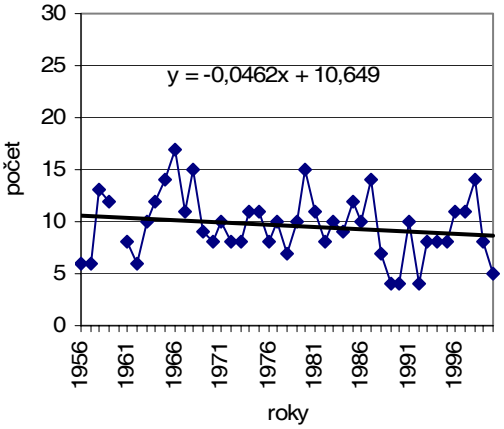
Přibyslav

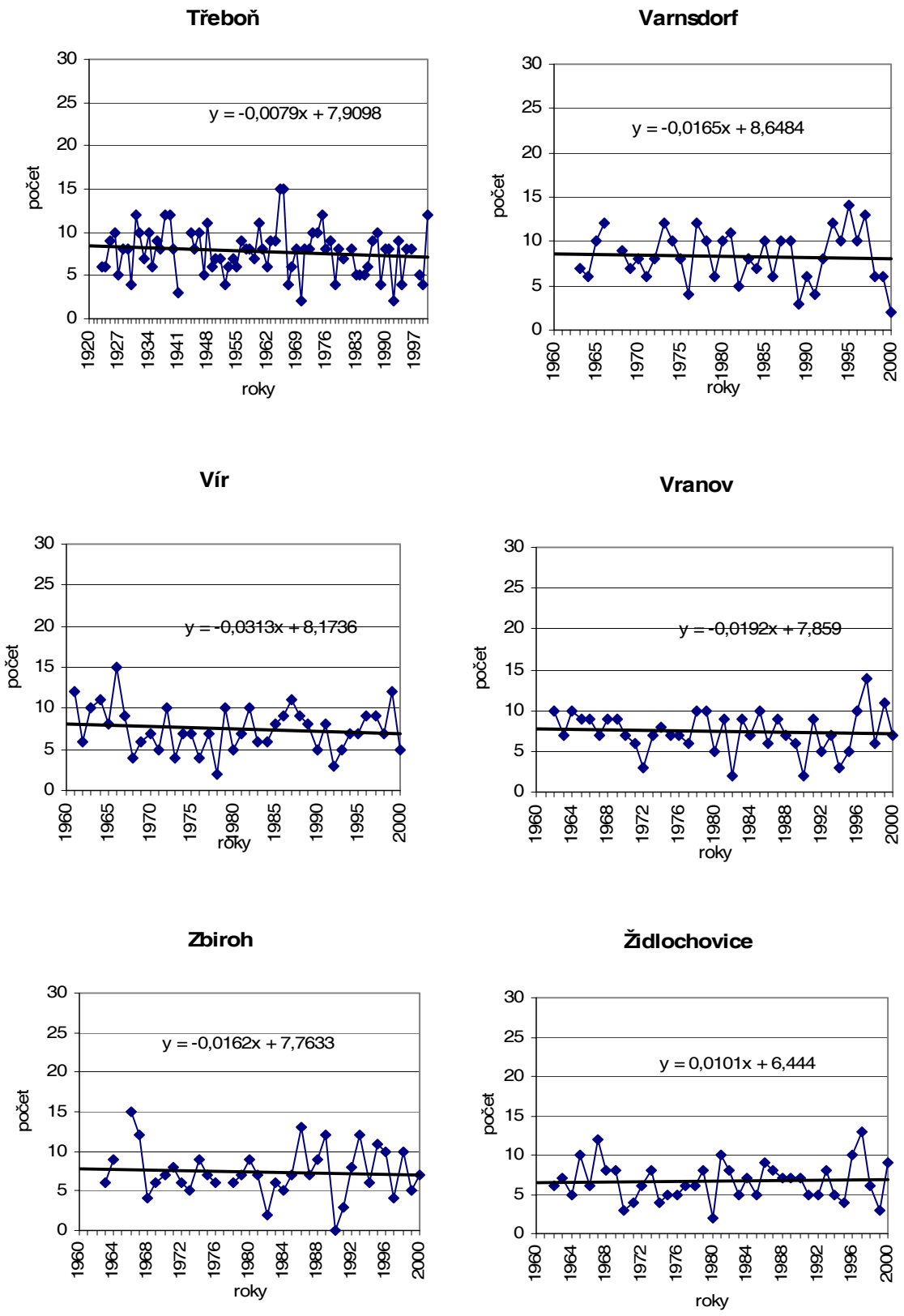


Přimda



Svratouch





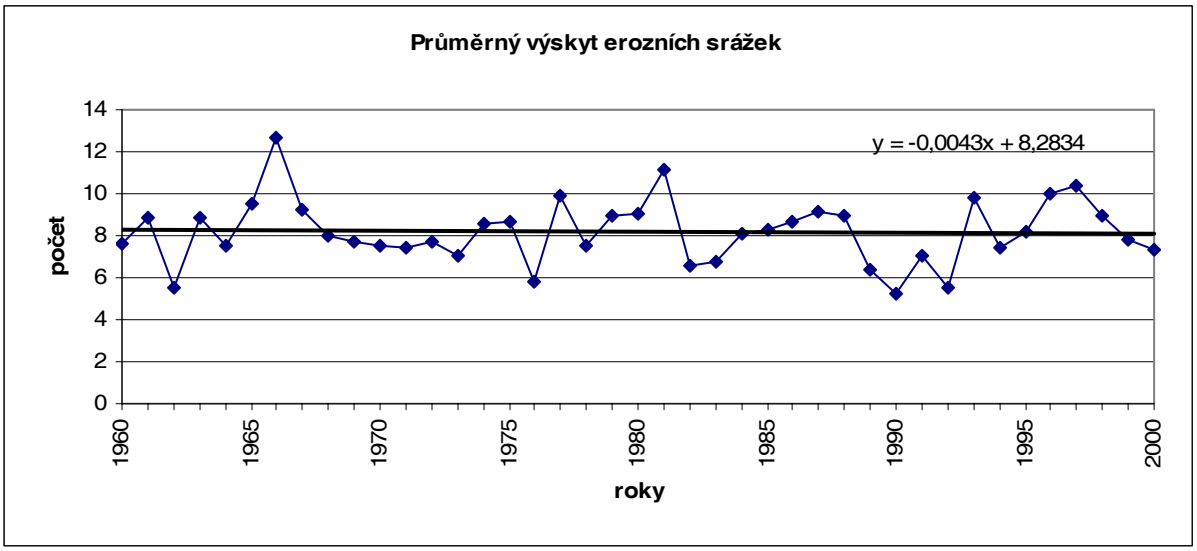
Obr. 1: Počty erozně nebezpečných dešťů a trend jejich změn na jednotlivých stanicích ČHMÚ

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.

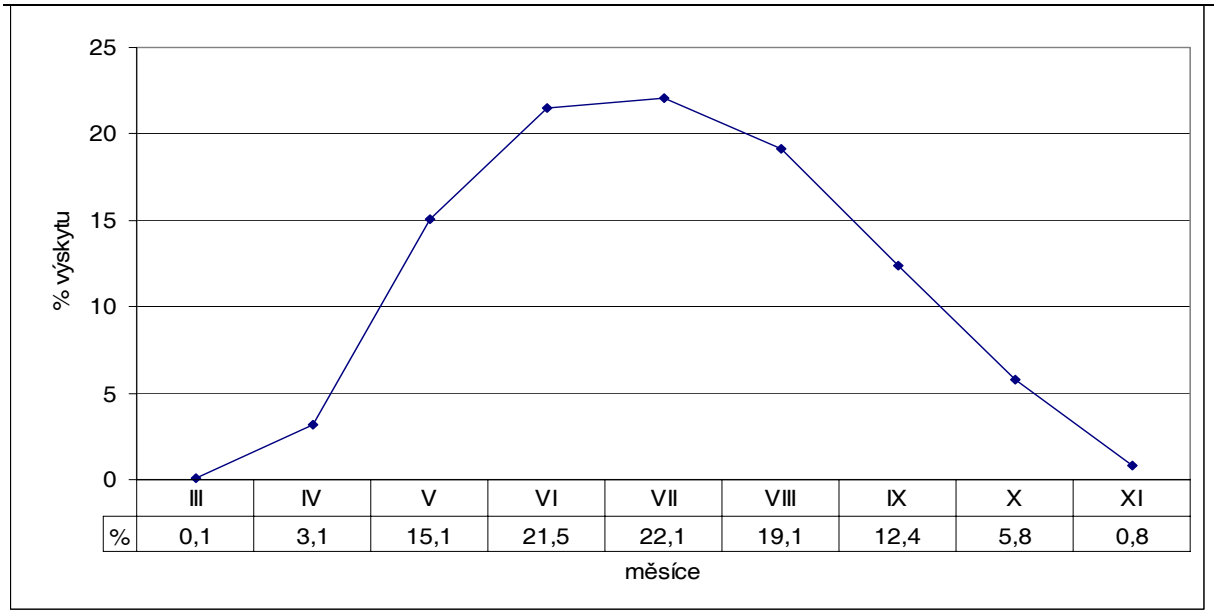


Obr. 2: Průměrné počty výskytu erozních srážek z vybraných stanic ČHMÚ v období 1960-2000

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.

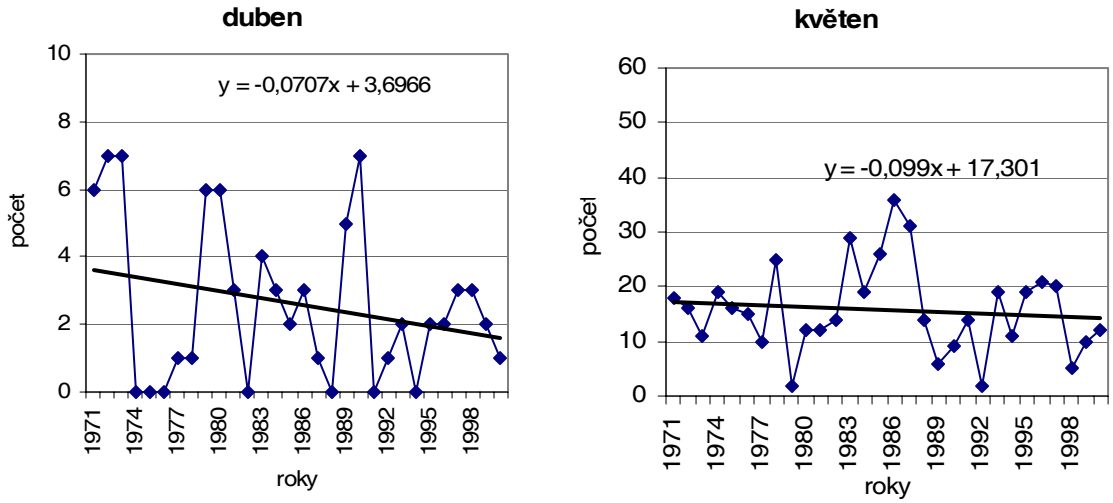


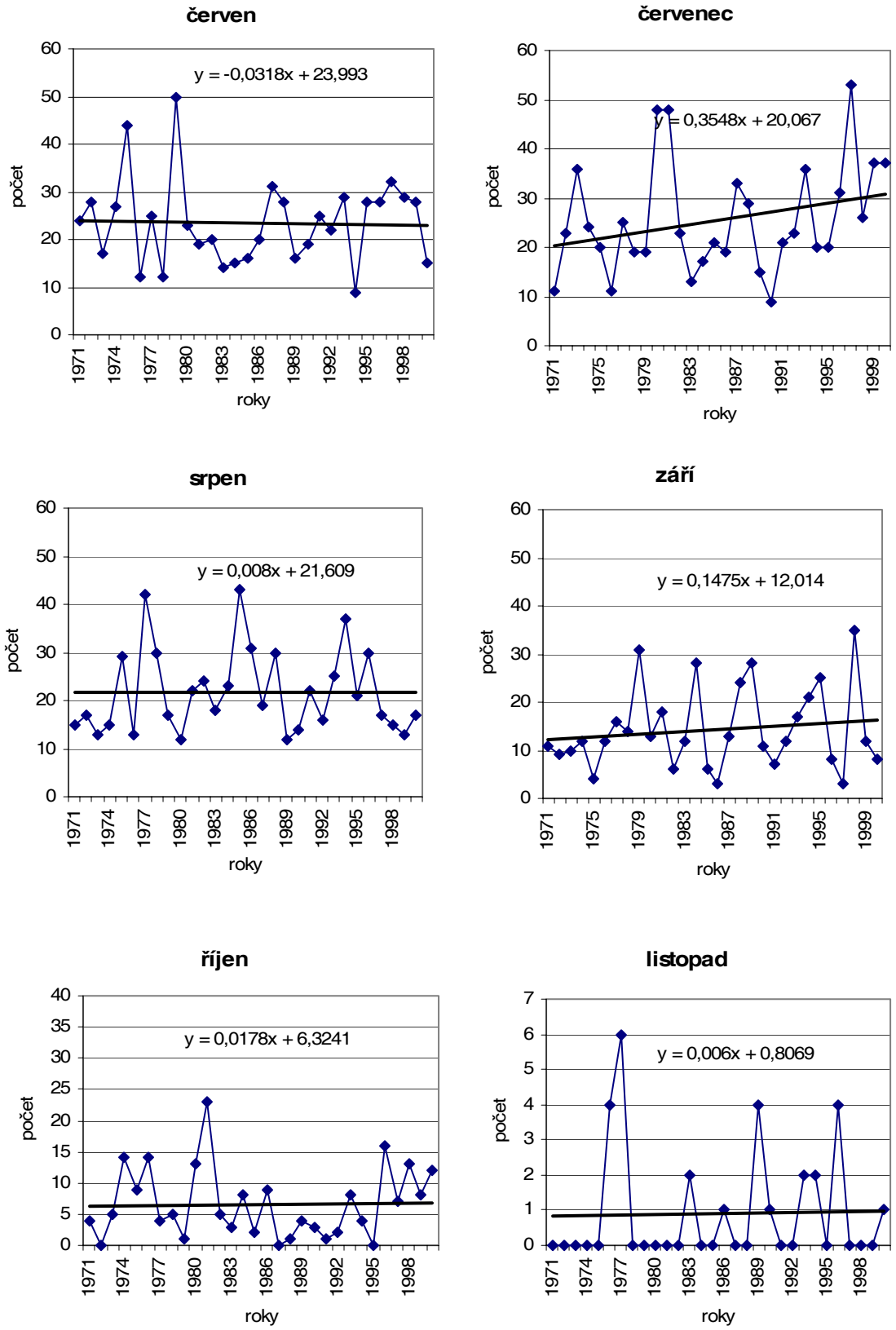
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
%	0,1	3,1	15,1	21,5	22,1	19,1	12,4	5,8	0,8

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

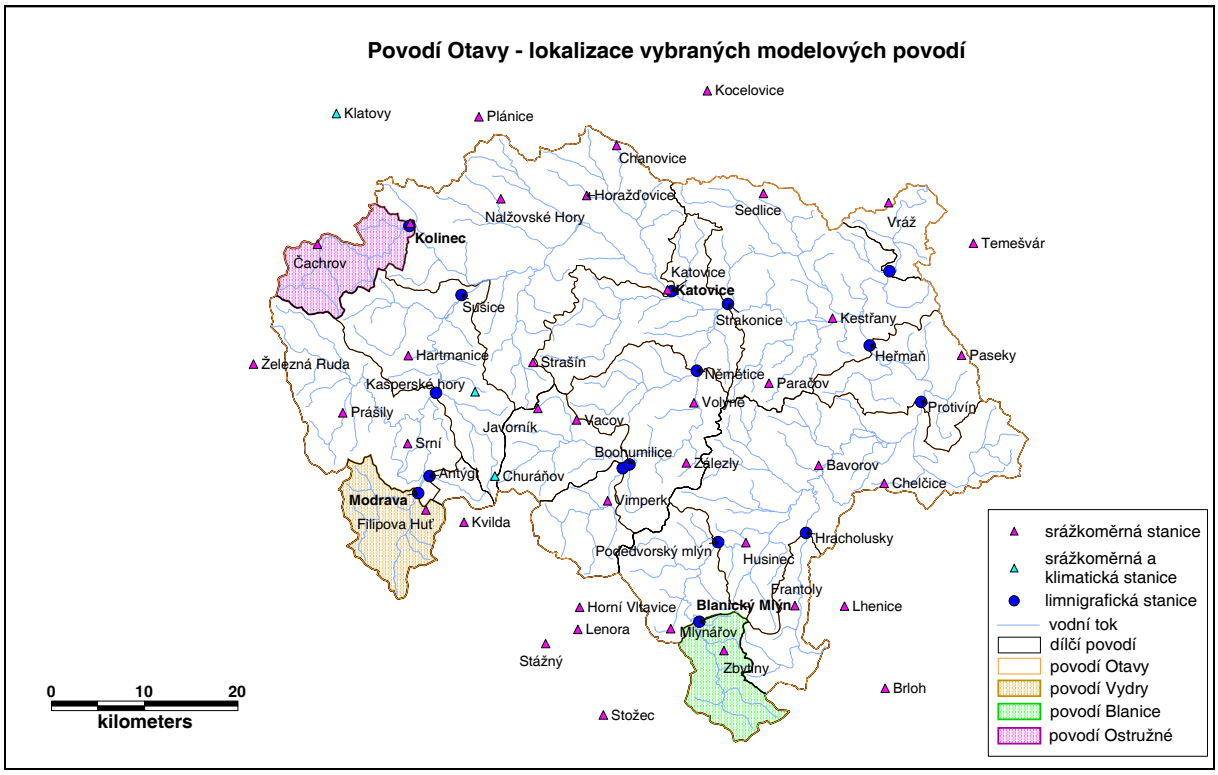
Proběhlé povodňové události v Česku vyvolaly četné diskuze o možném vlivu změn přírodního prostředí na srážko-odtokový proces. Vedle přirozeně podmíněných klimatických změn je pozornost věnována působení lidské společnosti. Česká krajina prošla specifickým vývojem, který v různých oblastech probíhal 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

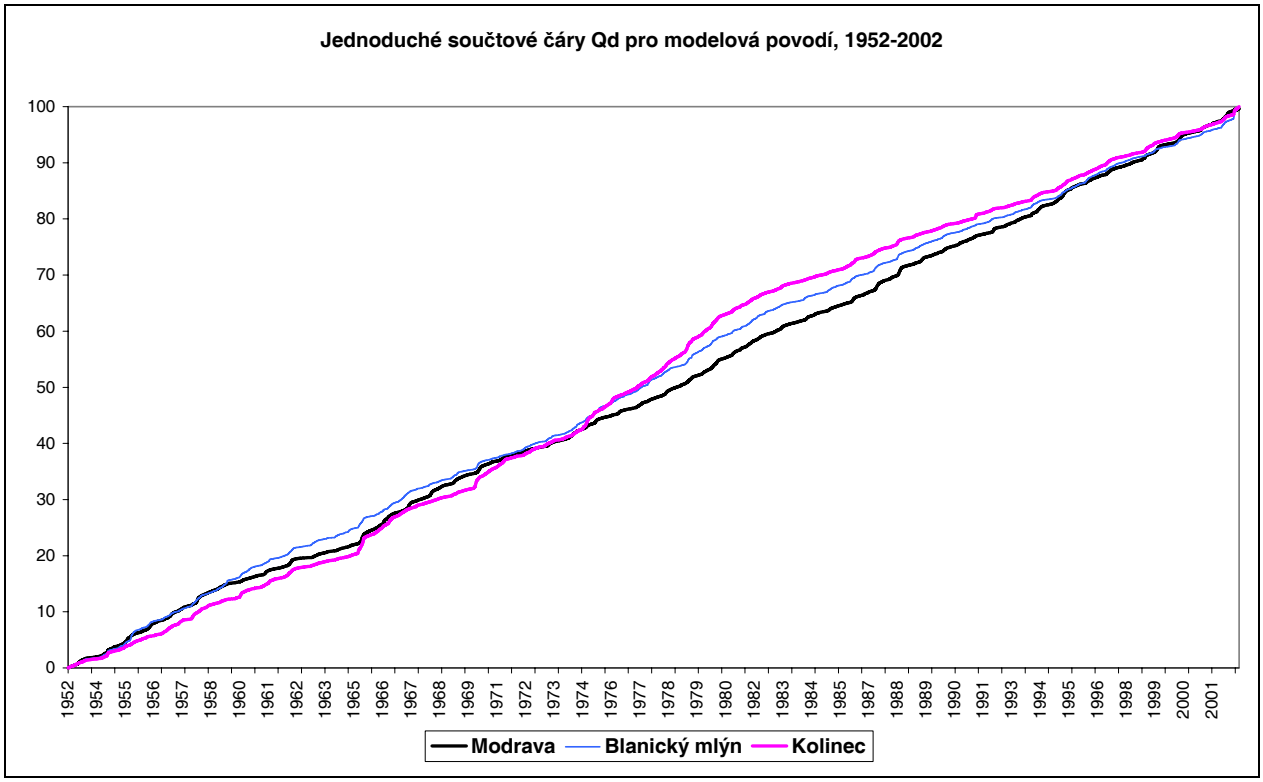
(ČHMÚ). Trendy byly vyjádřeny formou 5-letých klouzavých průměrů na úrovni měsíčních, ročních i sezónních hodnot.
V návaznosti na analýzy trendů odtokového, srážkového a teplotního režimu byly provedeny analýzy změn ve využití krajiny, upravenosti říční sítě a plošného odvodnění pozemků. Výsledky byly 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.

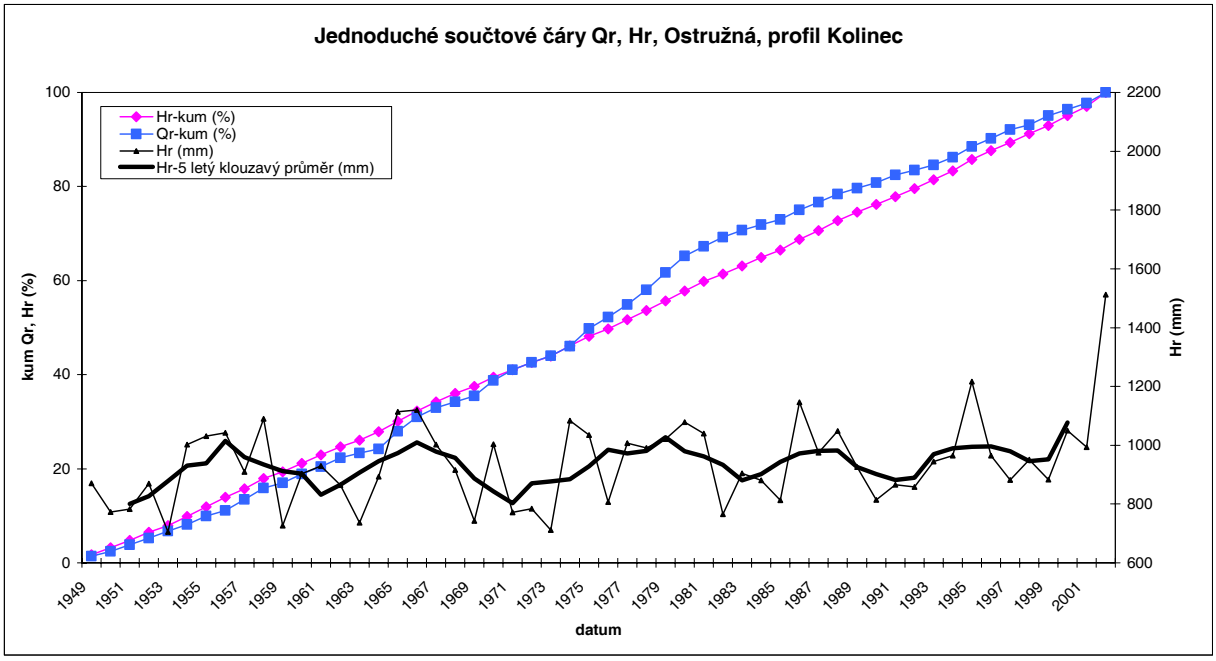
V profilech Ostružná-Kolinec a Blanice-Blanický mlýn byly identifikovány změny ve vývojovém trendu odtokového režimu. Výrazné změny byly rozpoznány v profilu Ostružná-Kolinec, kde byl zaznamenán zvýšený nárůst odtoku v období 1975-80. Méně výrazná změna vývojového trendu v období 1975-82 byla rovněž 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

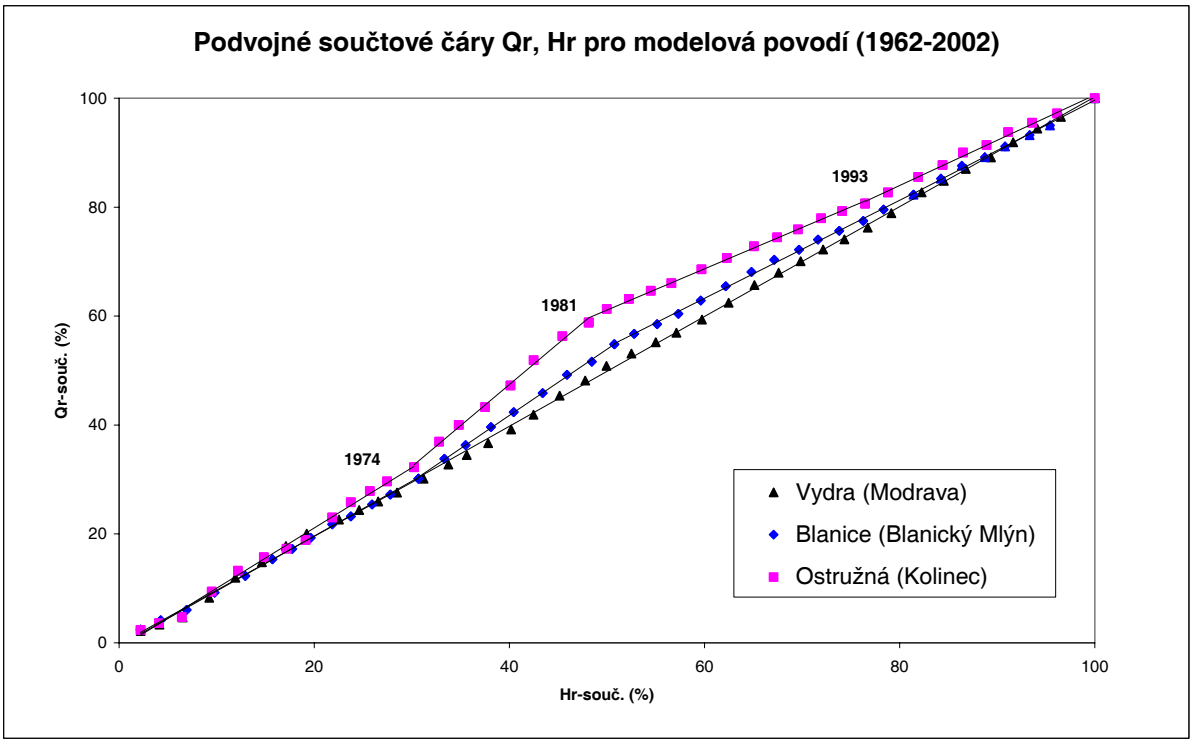
Pro detailnější sledování trendů v odtokovém režimu bylo použito dále společných jednoduchých čar průtoků vody a srážkových úhrnů pro povodí nad daným profilem. Ke konstrukci bylo použito nejprve kumulovaných měsíčních hodnot, posléze pro lepší přehlednost bez ztráty informace kumulovaných ročních hodnot. 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

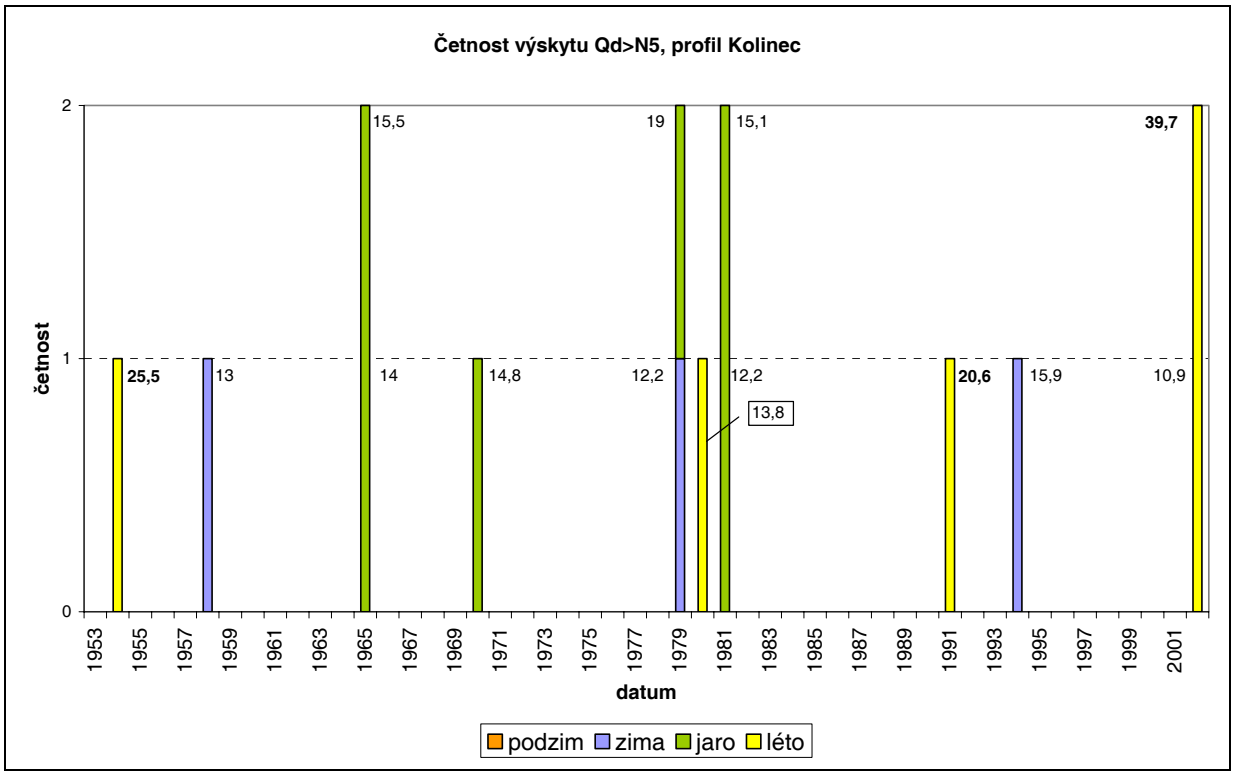
Pro objasnění příčin významných změn v trendu odtoku byly provedeny analýzy četnosti výskytu velkých vod. Hranicí pro vymezení velkých vod byla stanovena úroveň pětileté vody, která byla odvozena empiricky pomocí pravděpodobnostních křivek. Hladina 5-leté vody byla zvolena záměrně, neboť je takto zachycen 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

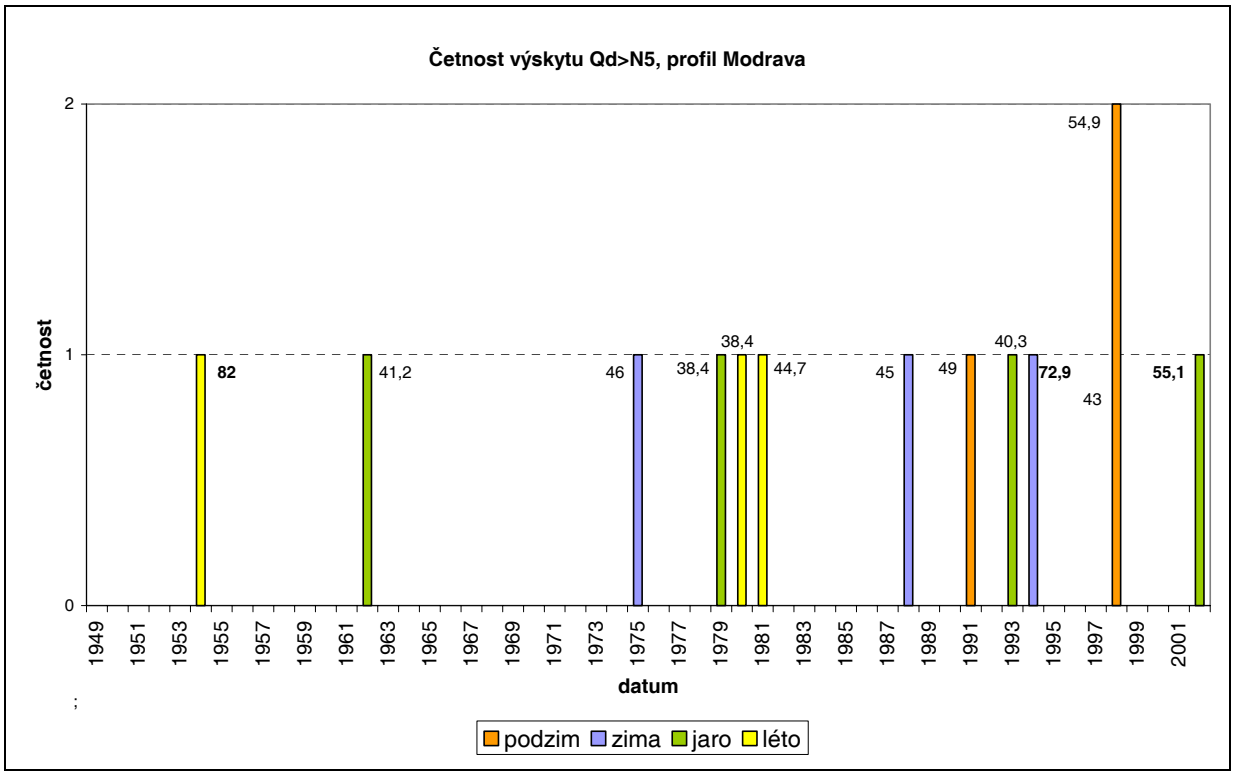
Profil	5-letá voda m^3/s	roční období s nejvyšší četností výskytu N5	Qd max m3/s (datum)
Modrava	38,0	jaro	82,0 (7.7. 1954)
Blanický mlýn	11,4	léto	64,7 (12.8. 2002)
Kolinec	10,5	jaro	39,7 (13.8.2002)

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

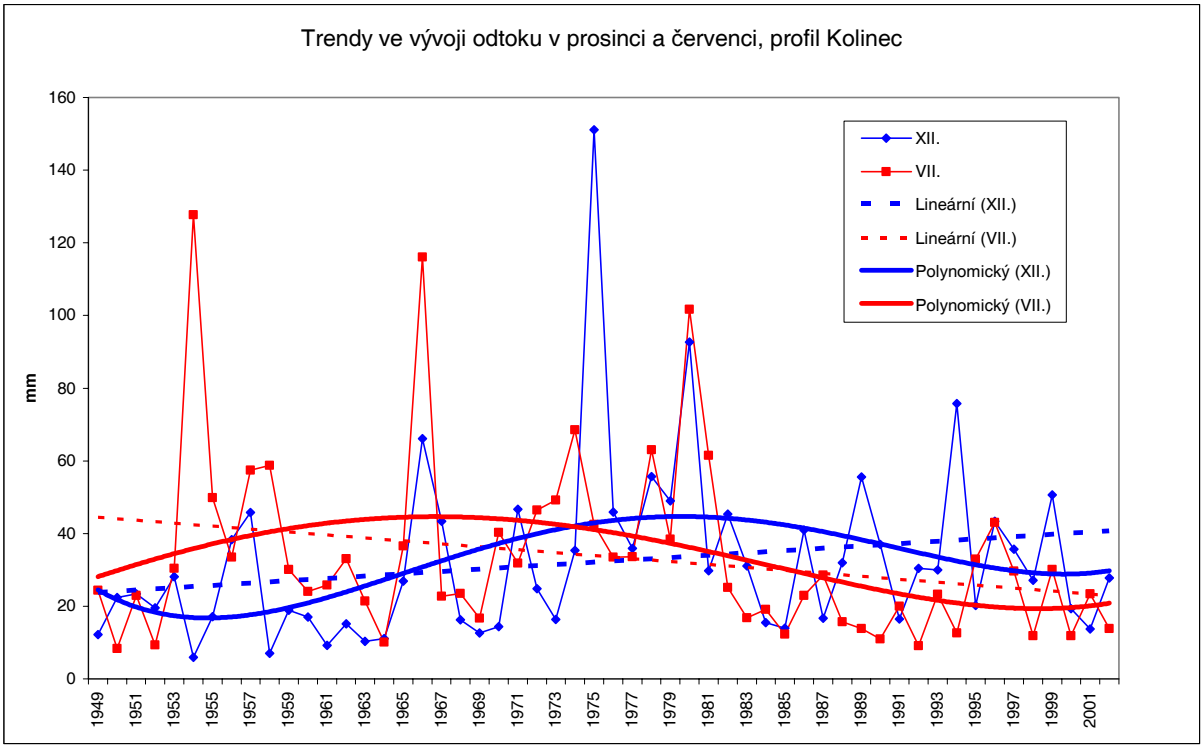
Změny sezónního rozložení odtoku

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.

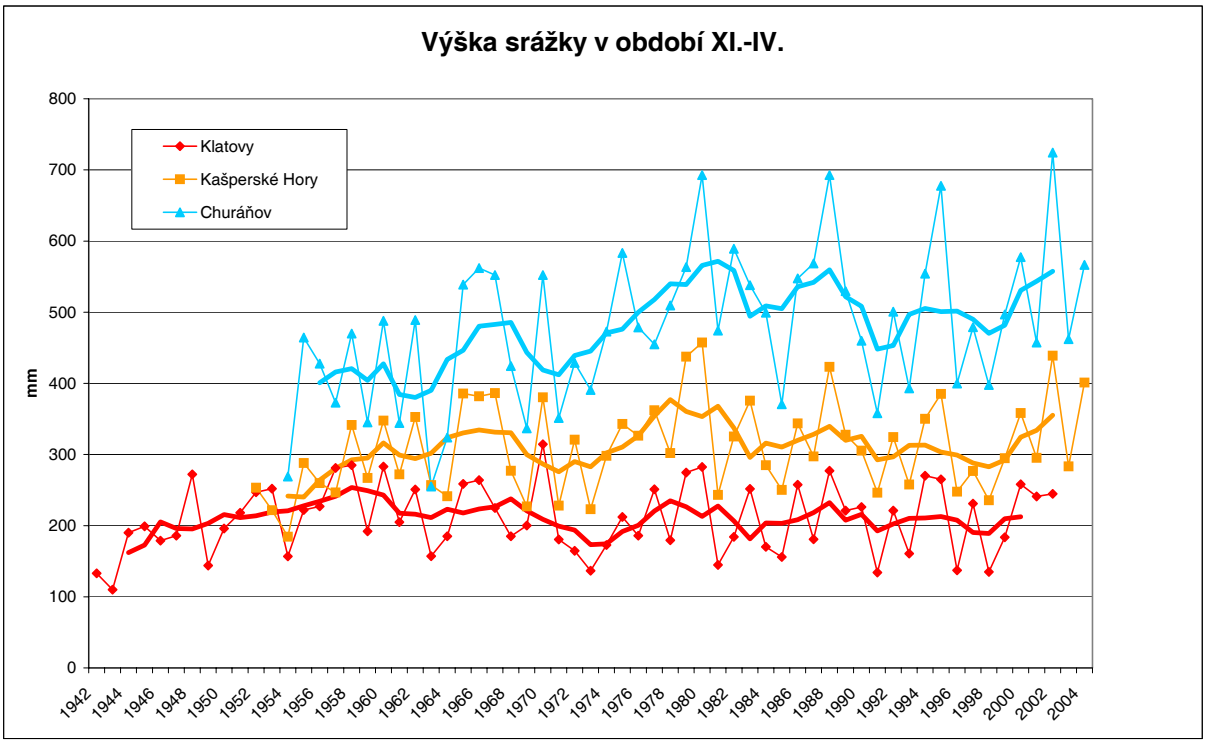
Tab. 4 Charakteristiky teploty vzduchu a sněhové pokrývky (1953-2003)

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

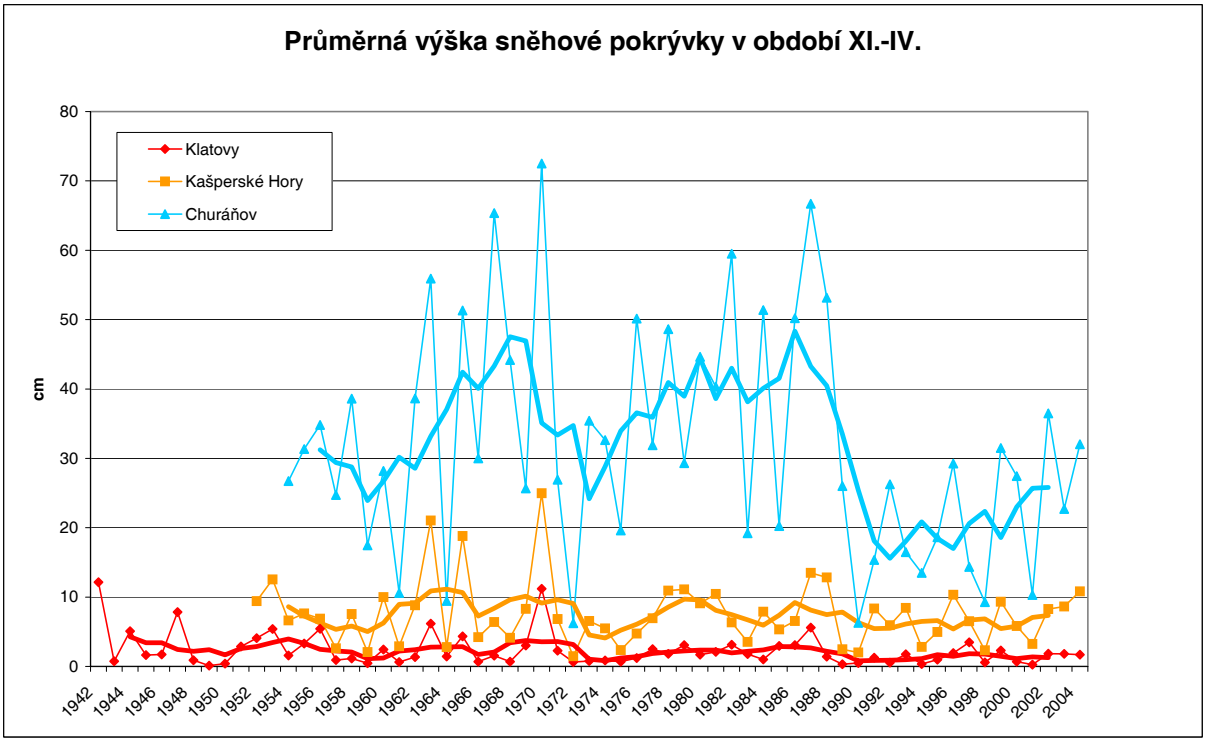
Průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou za období 1950/51-2003/04 (50,2) se prakticky neliší od průměru za období 1920/21-1949/50 (49,1) – viz. Tabulky podnebí ČSSR, 1960. V řadě posledních 50 let můžeme sledovat určitý úbytek počtu dní se sněhovou pokrývkou především u nejníže položené stanice Klatovy 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.



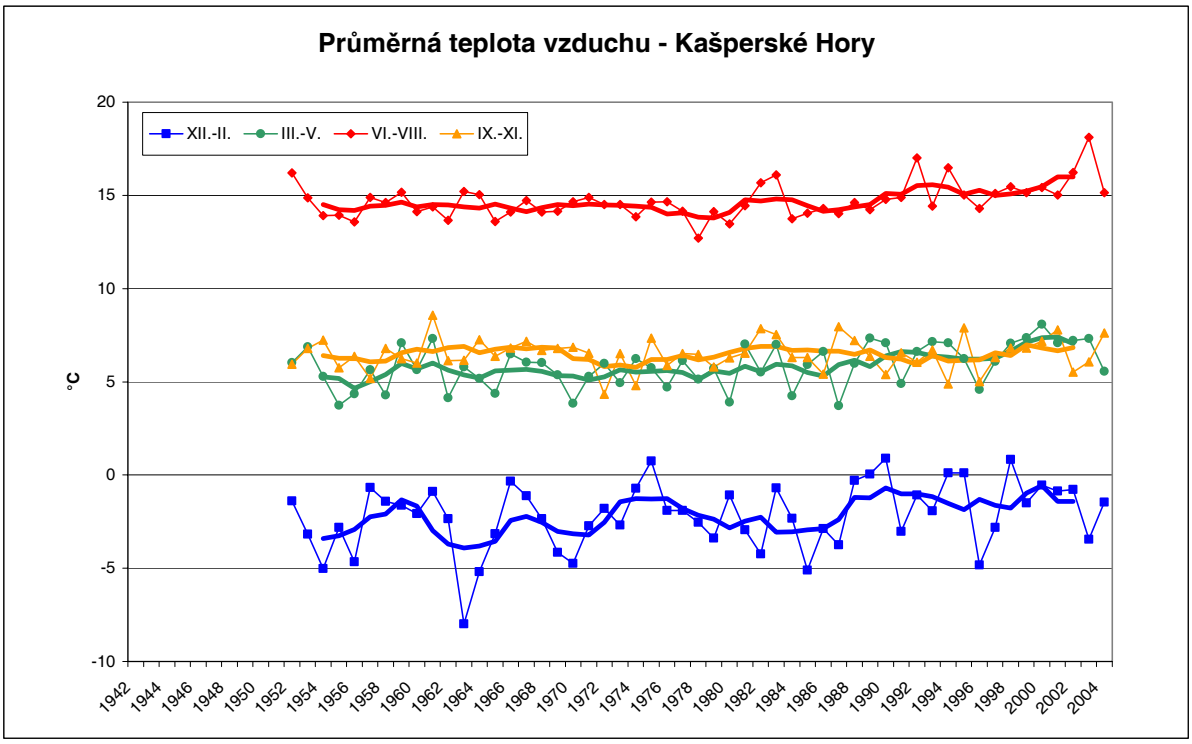
Obr. 8 Průměrná výška srážky, stanice Klatovy, Kašperské hory, Churáňov, zdroj: ČHMÚ

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

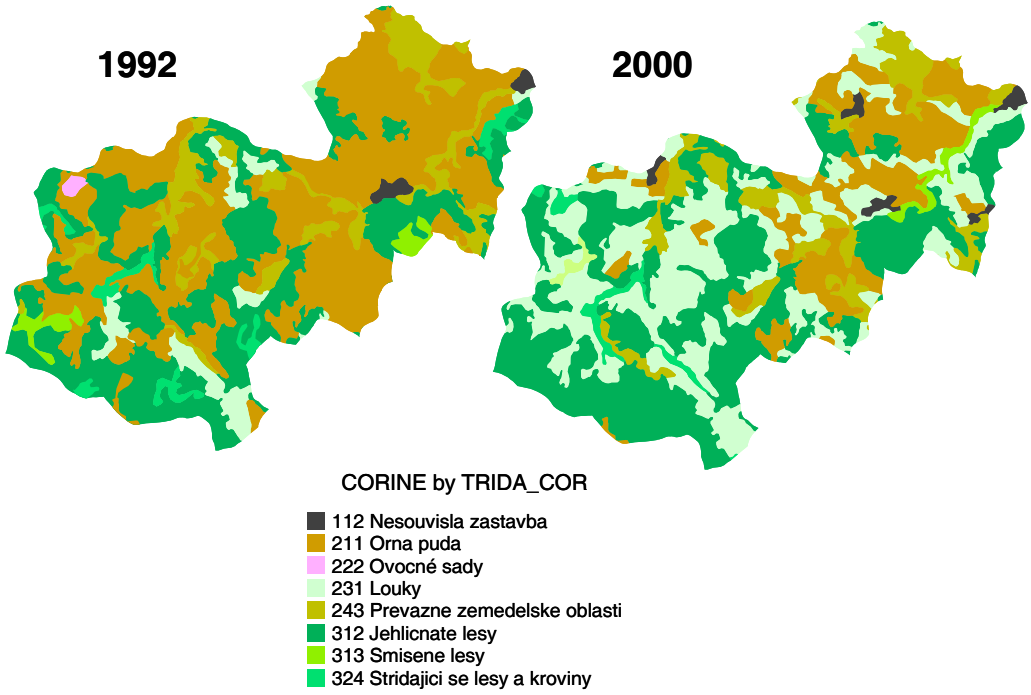
Typ krajinného pokryvu významně ovlivňuje vznik a průběh povrchového odtoku. Vzhledem k svému propojení na procesy evapotranspirace a intercepce má způsob využití území přímý vliv na hydrologickou bilanci a odtokový režim povodí. Dlouhodobé tendence ve vývoji horské a podhorské krajiny Šumavy můžeme 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)

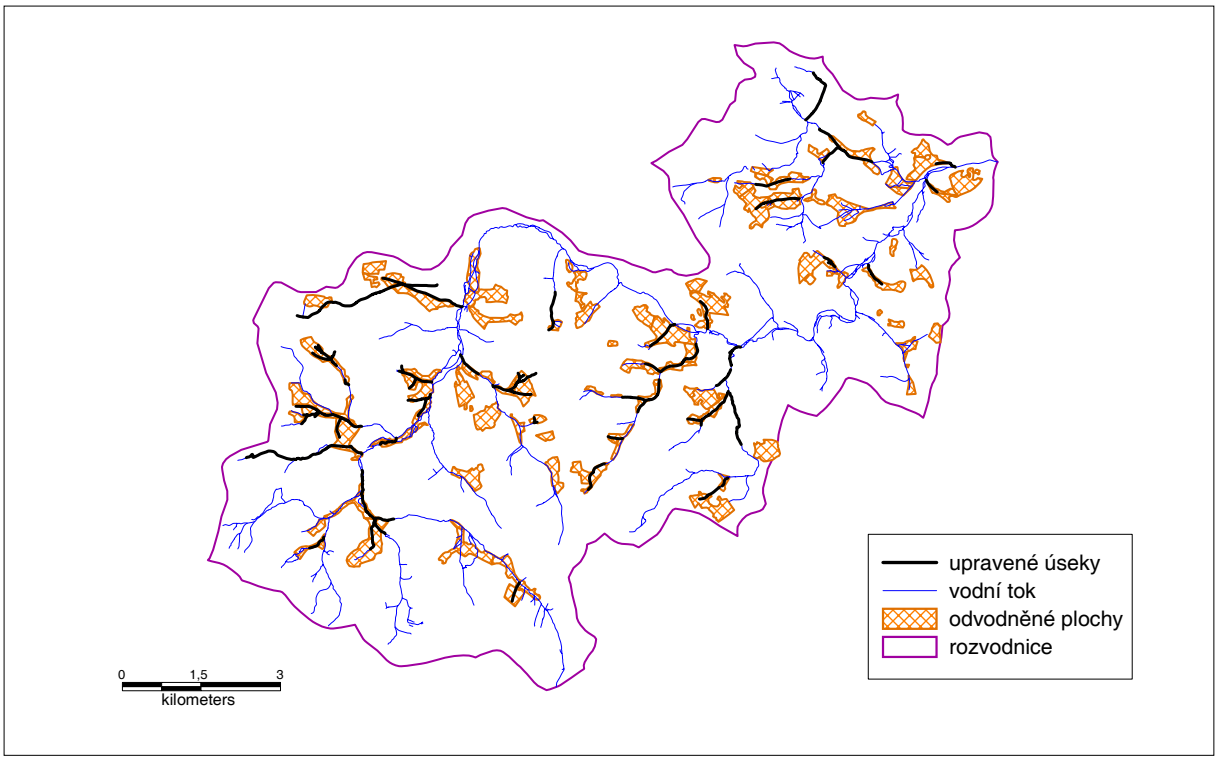
Tab. 6 Úpravy koryt vodních toků v povodí Ostružné a Blanice

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*)

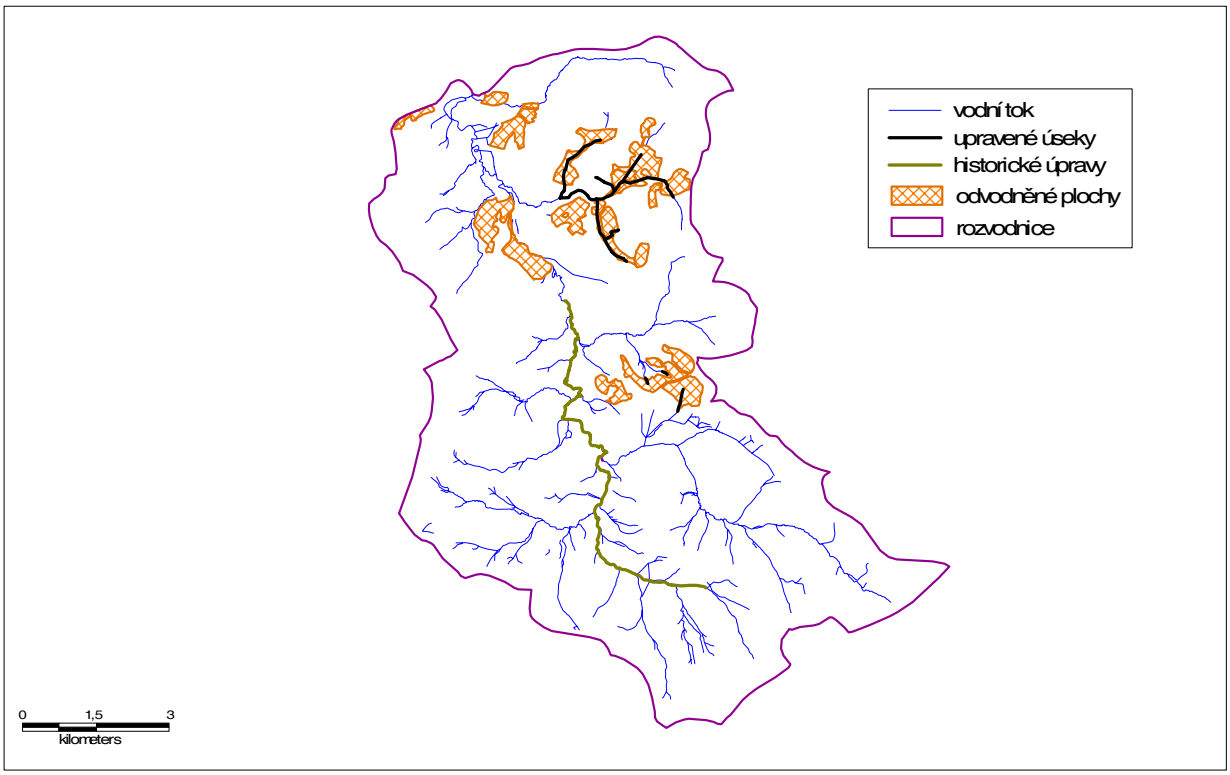
**včetně historických úprav, které dnes mají přírodě blízký charakter*

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).



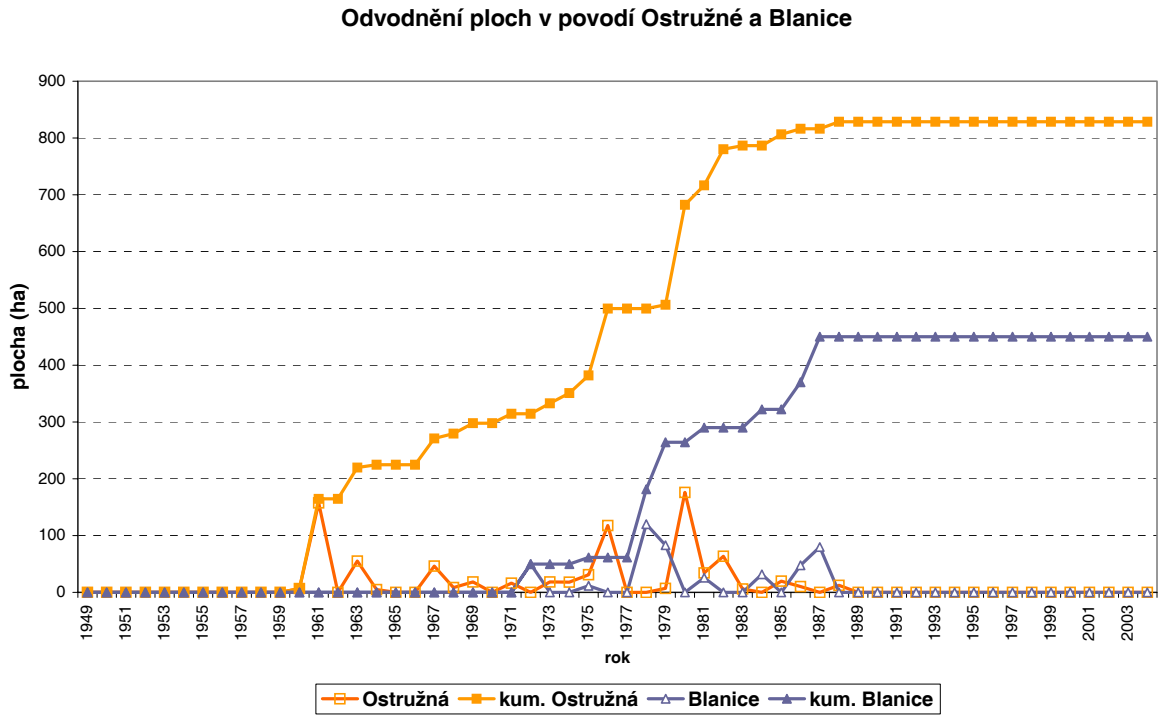
Obr. 12 Upravenost říční sítě a odvodnění ploch v povodí Ostružné, zdroj: ZABAGED, ZVHS Prachatice

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

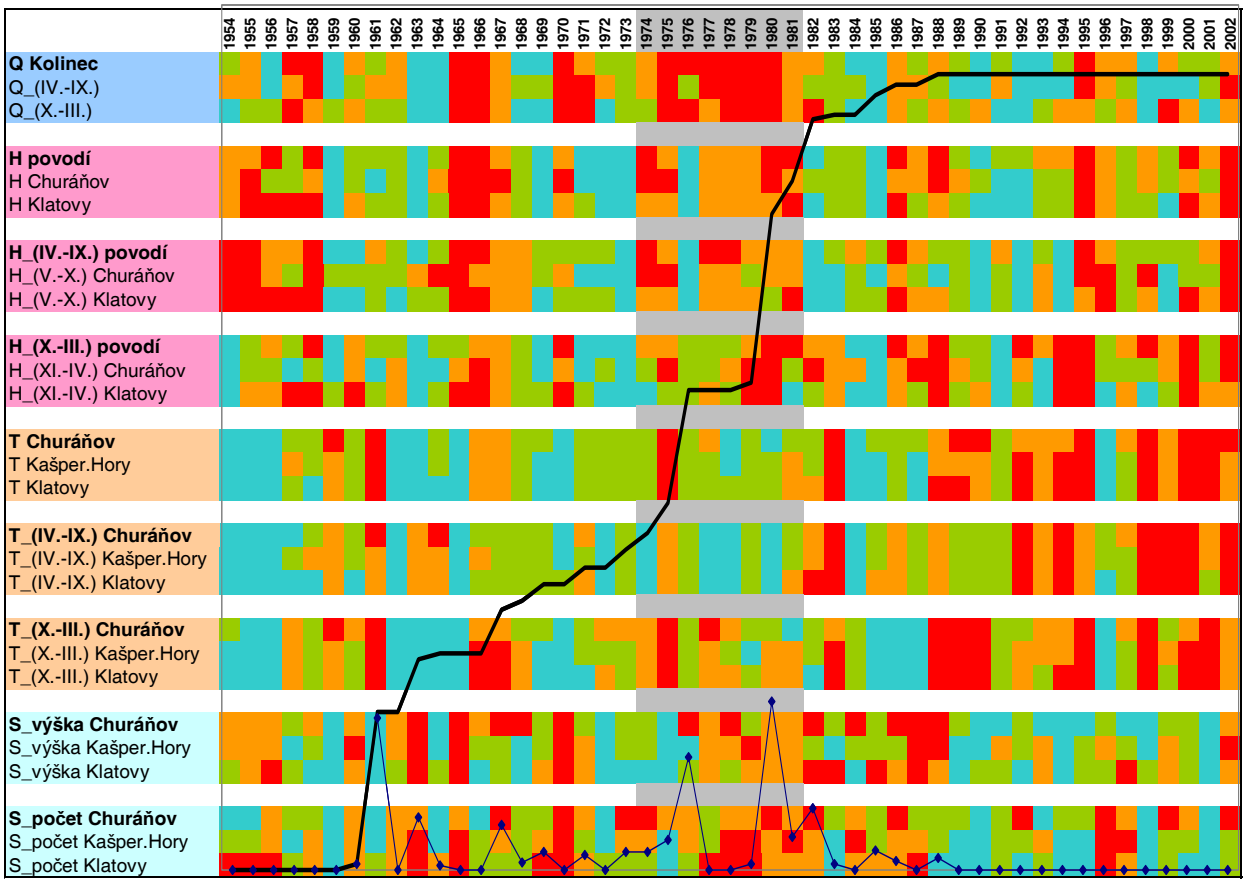
SHRNUTÍ POZNATKŮ

- 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[#].

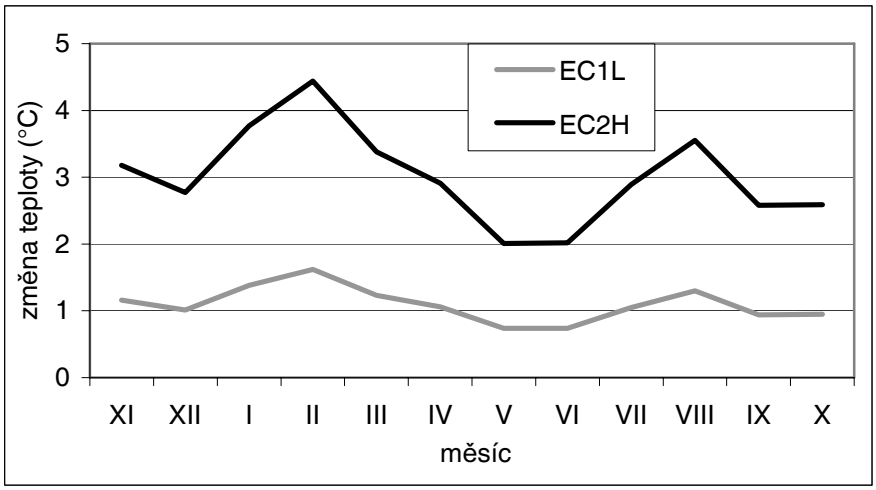
---

* 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

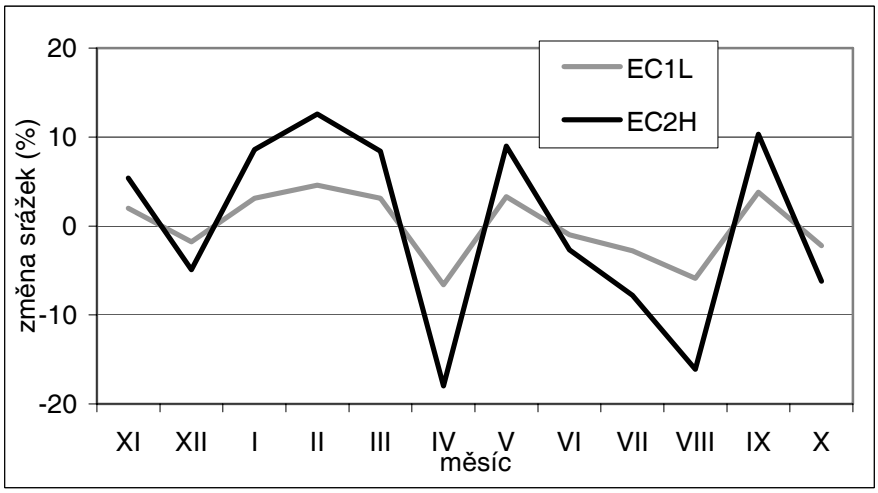
Scénáře emisí byly použity dva: SRESA2 jako pesimistická varianta nárůstu emisí CO_2 k roku 2050 na cca 17 Gt C a SRESB1 jako optimistická varianta vývoje (cca 10 Gt C k roku 2050). Pro citlivost klimatu (změna průměrné globální teploty při zdvojnásobení koncentrace CO_2 ekv.) byly zvoleny hodnoty 1,5 °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

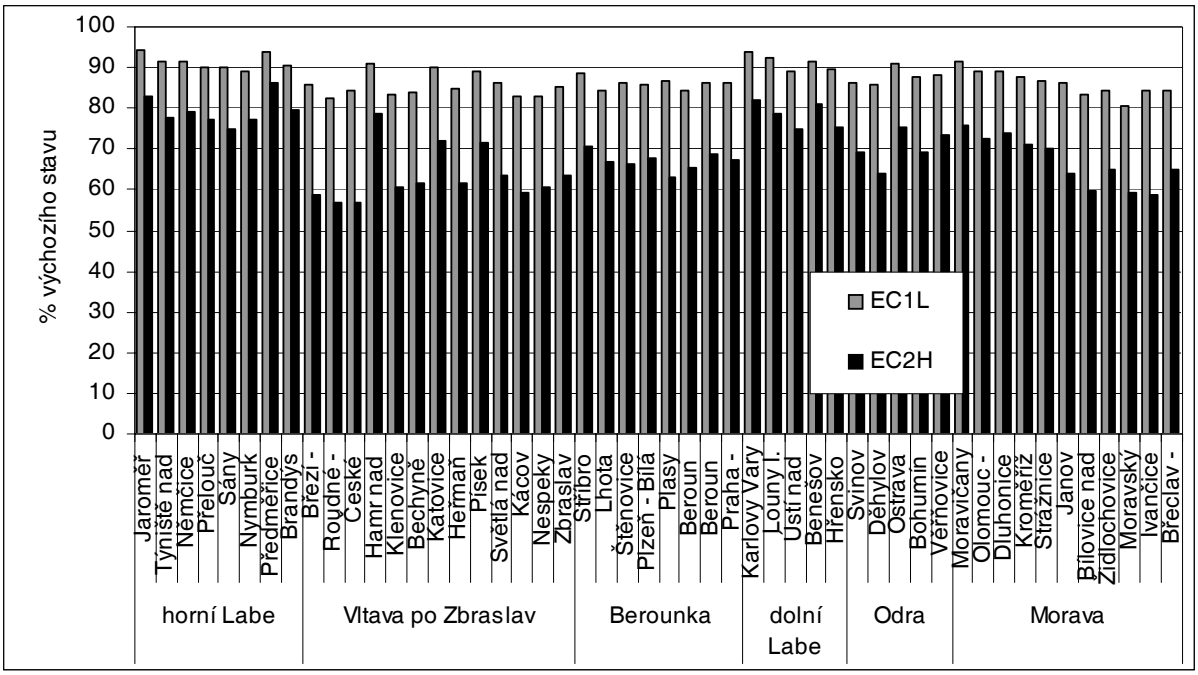
Nejdůležitější veličinou hydrologické bilance jsou srážky. Jejich změny vlivem klimatické změny v rozsahu použitých scénářů klimatické změny jsou sice z hlediska dlouhodobých průměrů zanedbatelné, mění se však jejich sezónní rozložení, zjednodušeně řečeno se zimní srážky zvětšují a letní zmenšují.

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.



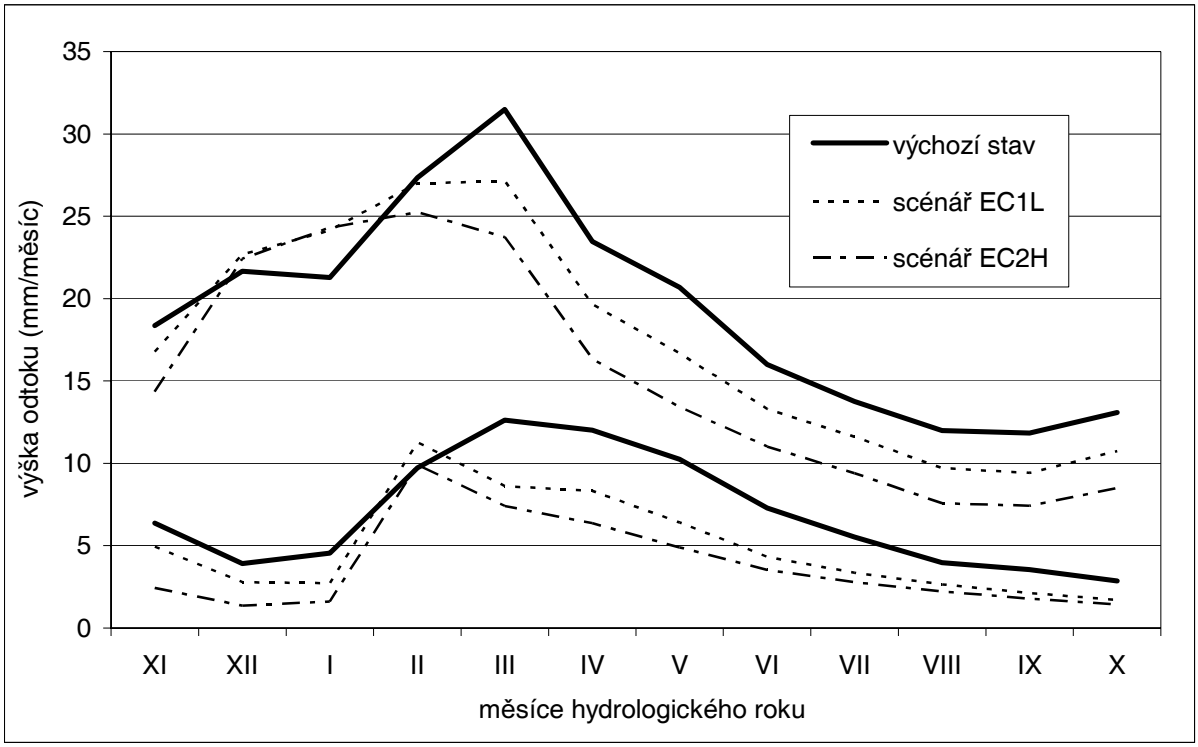
Obr. 3 Celkový odtok v jednotlivých povodích při změně klimatu podle scénářů EC1L a EC2H

Fig. 3 Total runoff in individual basins according to EC1L and EC2H climate change scenarios

ZMĚNY SEZÓNNÍHO CHODU PRŮMĚRŮ A MINIM CELKOVÉHO ODTOKU

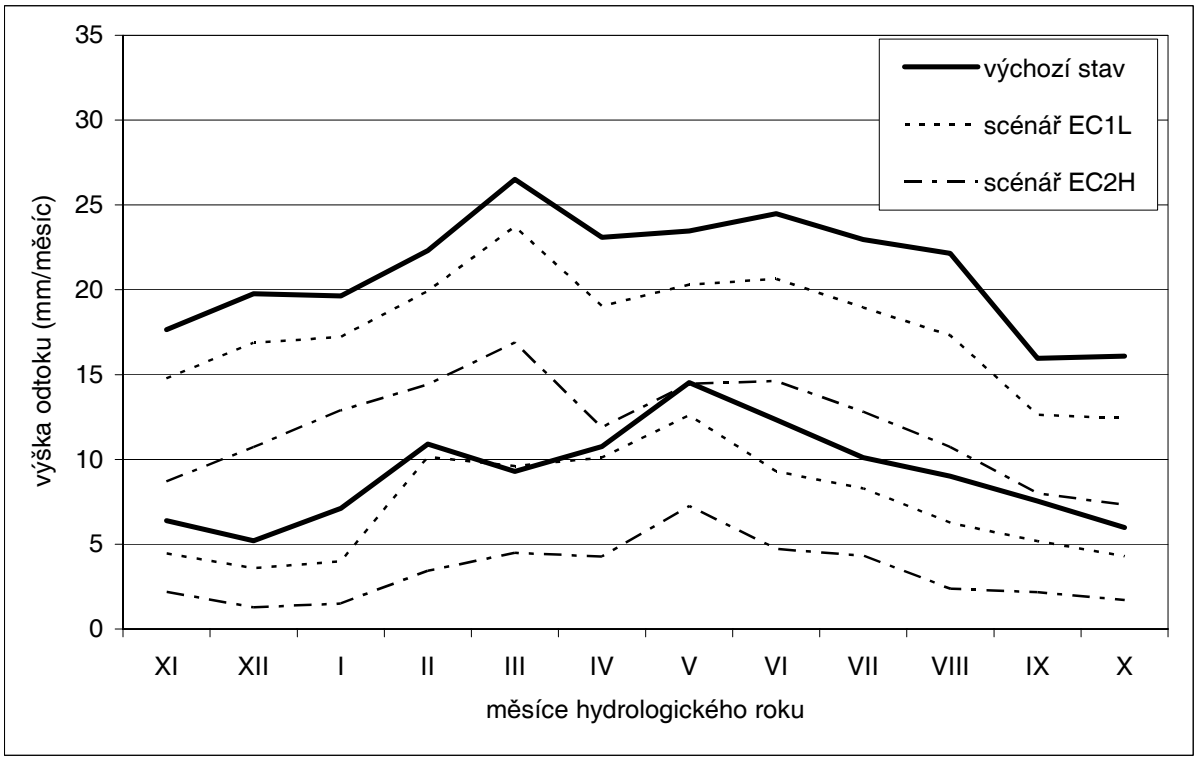
Celkový odtok klesá podle obou scénářů klimatické změny v průběhu jarních, letních a podzimních měsíců zejména na dolních tocích téměř konstantně o 10-20 % (EC1L), resp. o 30-40 % (EC2H). V zimních měsících je pokles méně výrazný, nulový nebo dochází k mírnému vzestupu. Na horních tocích jsou změny celkového 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).

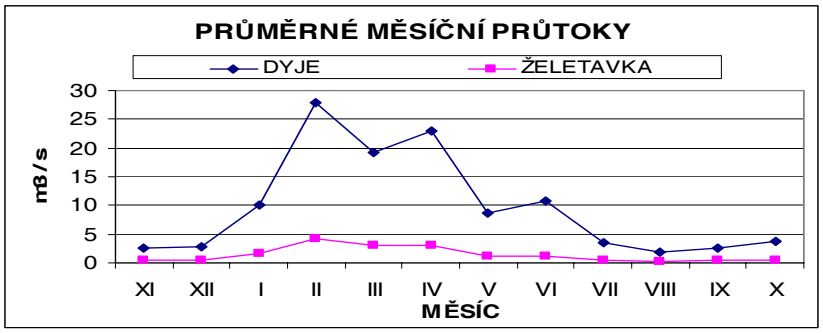
METODIKA

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

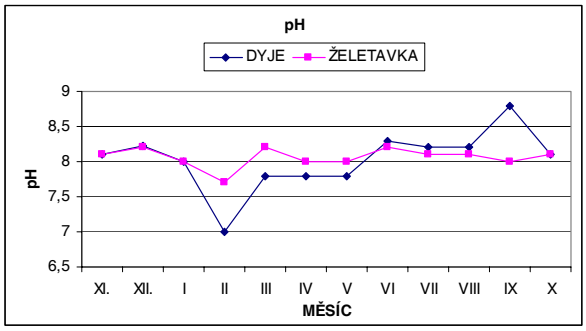
Hodnoty průměrných měsíčních průtoků jsou na hlavním toku přibližně sedmkrát vyšší než na Želetavce (Obr. 1). Průměrný průtok za sledovaný hydrologický rok je na Dyji 9,735 m^3/s a na Želetavce 1,421 m^3/s. Nejvyšší průtoky byly na obou tocích naměřeny v únoru a v dubnu 2004, nejnižší v srpnu 2004.

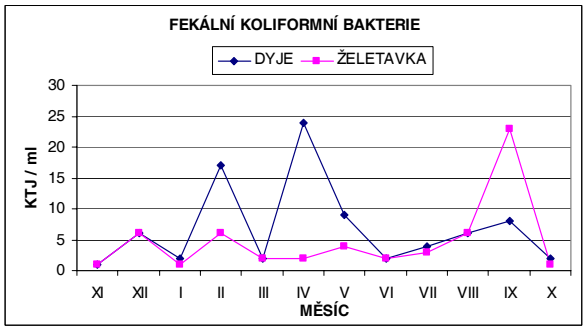


Obr. 1 Průměrné měsíční průtoky na Dyji a Želetavce (listopad 2003 – říjen 2004)

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.

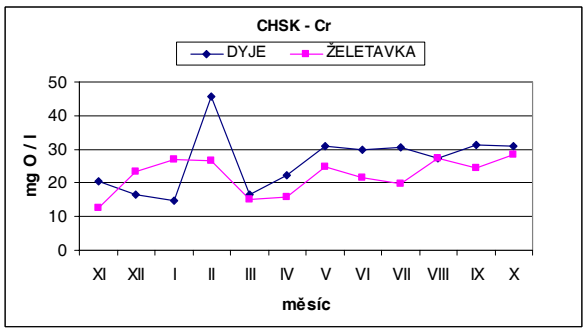


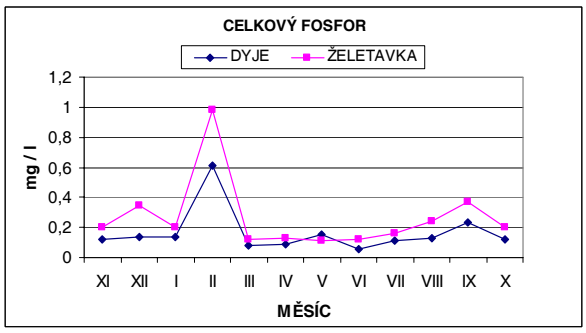


Obr. 2 pH a fekální koliformní bakterie na Dyji a Želetavce (listopad 2003 – říjen 2004)

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).





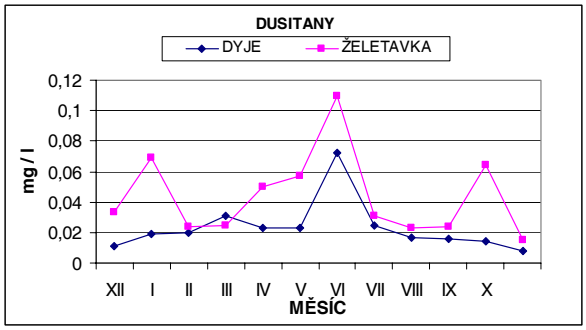
Obr. 3 koncentrace CHSK – Cr a celkového fosforu na Dyji a Želetavce (listopad 2003 – říjen 2004)

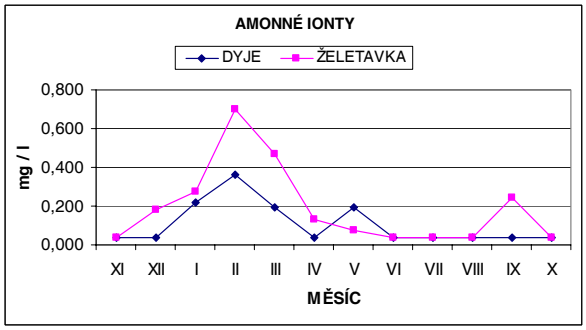
Fig 3 COD – Cr and total phosphorus concentration for Dyje and Želetavka river (November 2003 – October 2004)

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).

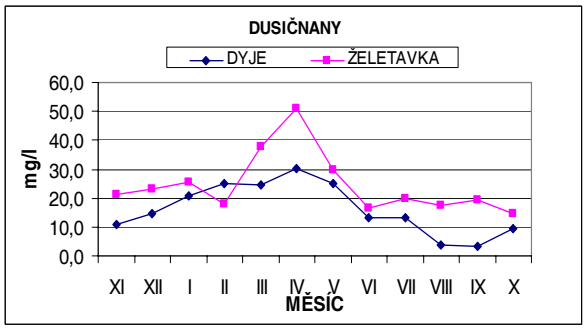
Stejně jako u dusitanů a amonných iontů, také u dusičnanů byly zjištěny nejvyšší koncentrace na Želetavce. Maximální hodnota (50,9 mg / l) byla naměřena v dubnu 2004. Ve stejném období byla naměřena nejvyšší hodnota i na Dyji (30,1 mg / l). Nejnižší hodnoty se pohybovaly na Dyji pod 10 mg / l, na Želetavce pod 20 mg / l. Koncentrace fosforečnanů byly měřeny pouze na hlavním toku, kde se nejvyšší hodnota vyskytla v únoru 2004 (Obr. 5).

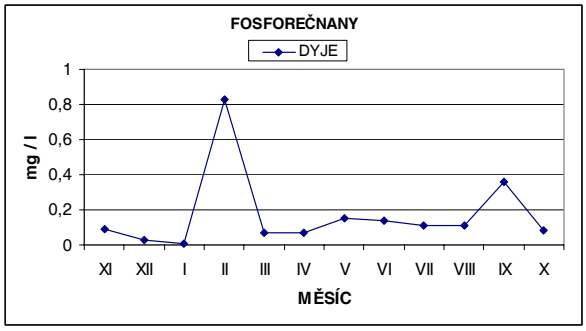




Obr. 4 Koncentrace dusitanů a amonných iontů na Dyji a Želetavce (listopad 2003 – říjen 2004)

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

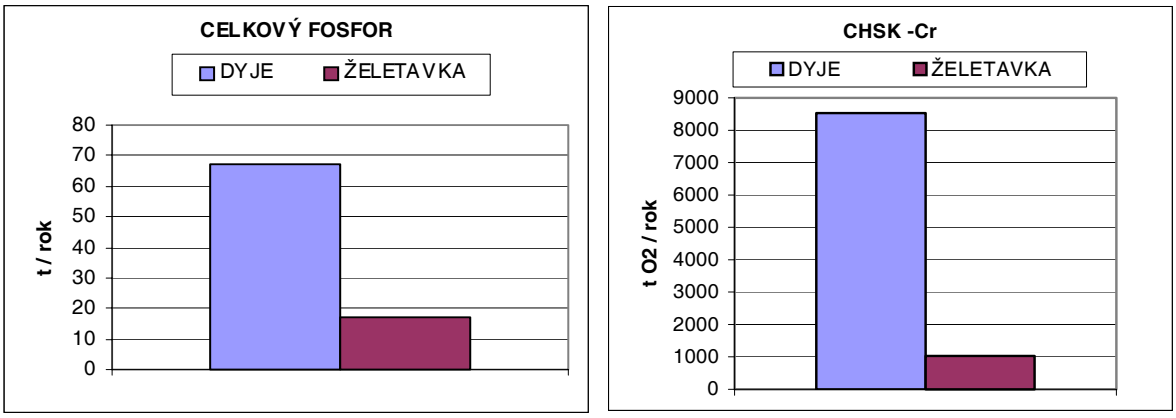
Tab. 1 Total substance for Dyje and Želetavka river per hydrological year (November 2003 – October 2004)

	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

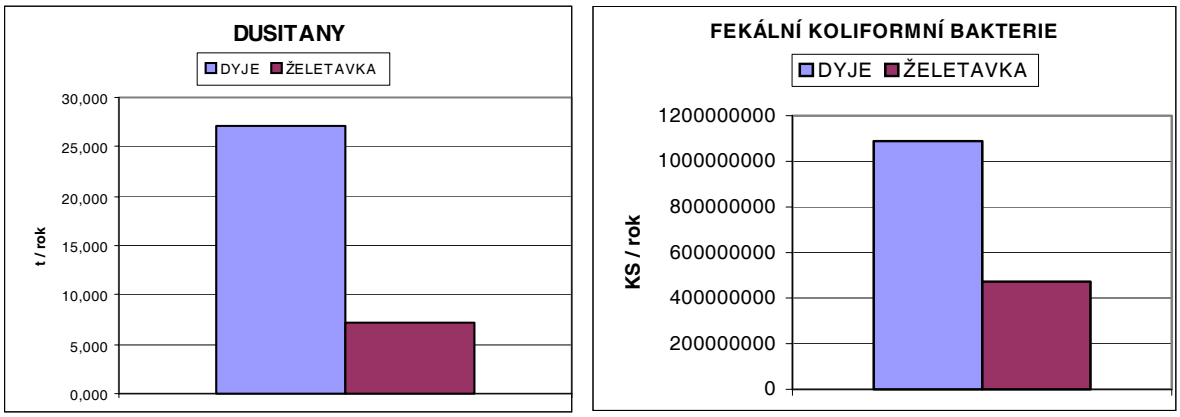
Tab. 2 Total substance for Dyje river per hydrological year (November 2003 – October 2004)

	Mangan	Železo	Chloridy	Fosforečnany
	(t / rok)	(t / rok)	(t / rok)	(t / rok)
Dyje	79,031	525,193	6900,669	79,031



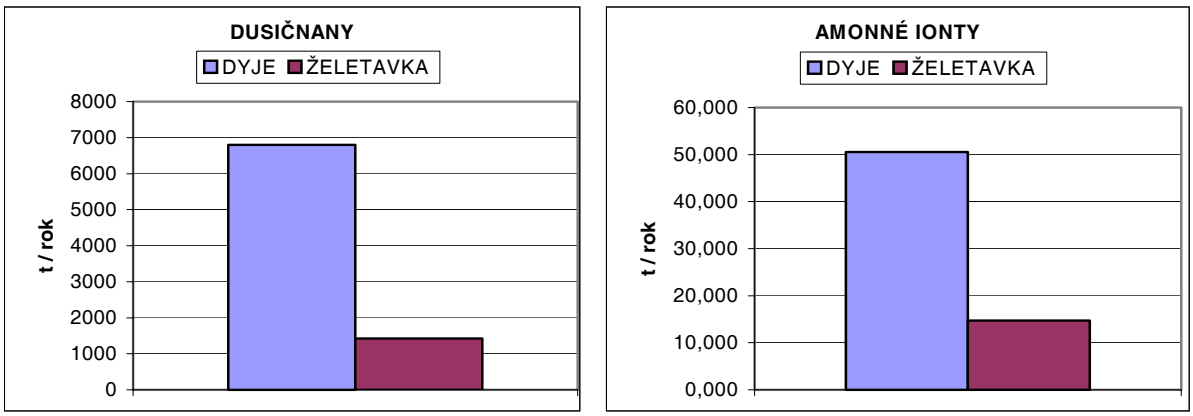
Obr. 5 Suma CHSK – Cr a celkového fosforu za rok na Dyji a Želetavce

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:

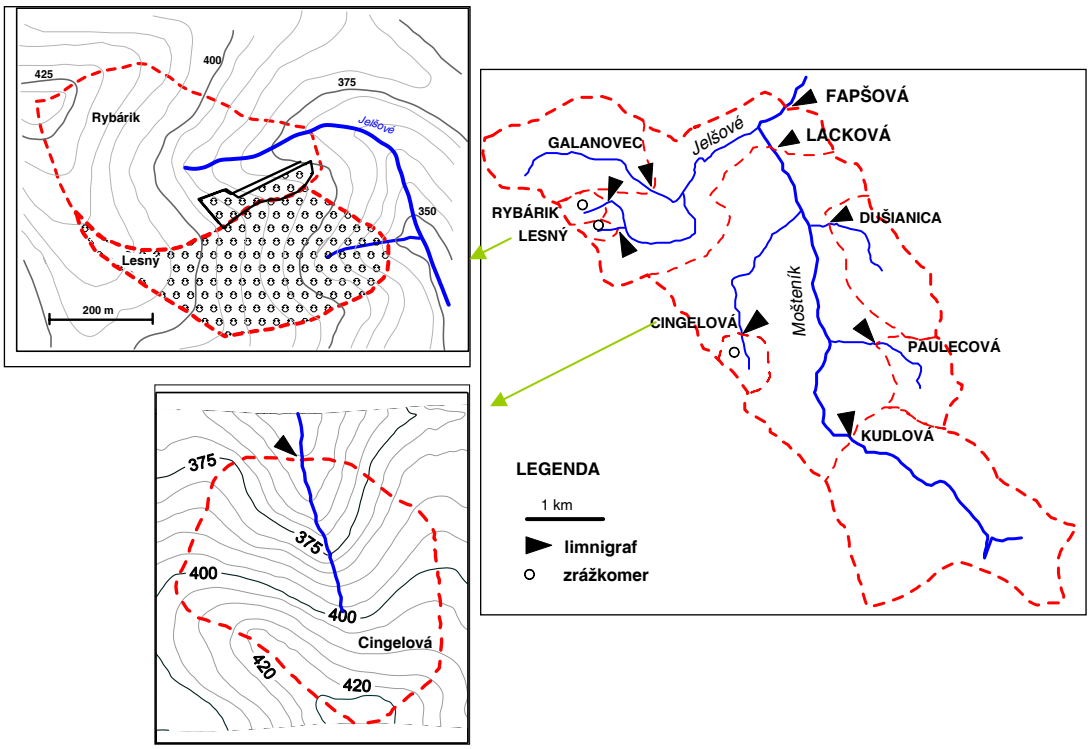
- Rybárik (poľnohospodárske povodie),
- Lesný (zalesnené - hrabový porast),
- Cingeľová (zalesnené - smrekový porast).

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*

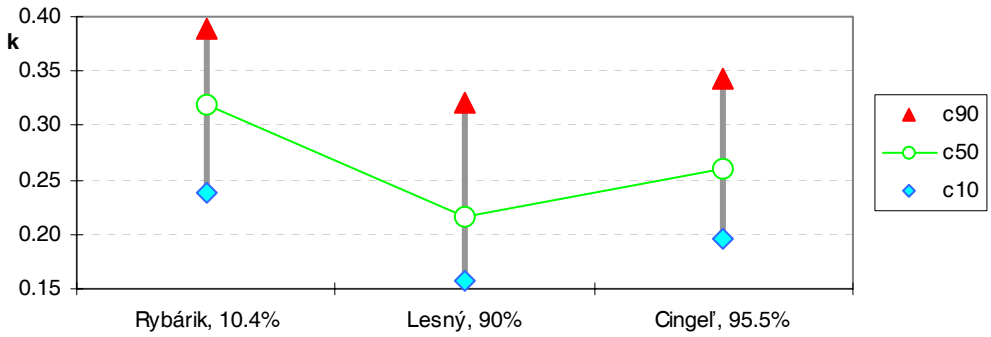
Tab. 4 *Basic hydrological characteristcs of the experimental microbasivs Rybárik, Lesný and Cingeľová during 1964/65–1993/94*

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.

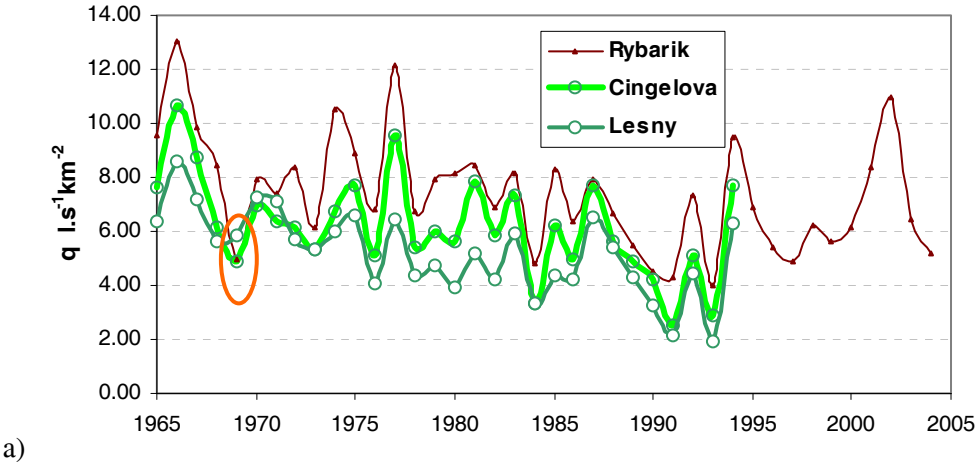
2.2 Vplyv zalesnenia povodia na priemerný ročný odtok

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..

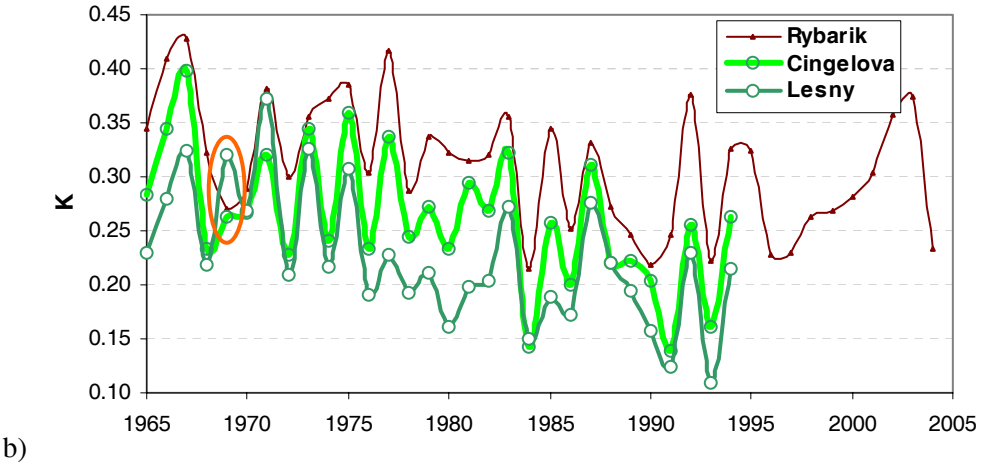


Obr. 2 *Horný decil, medián a dolný decil (c_{90}, c_{50} a c_{10}) koeficientu odtoku v troch experimentálnych mikropovodiach. Percento zalesnenia.*

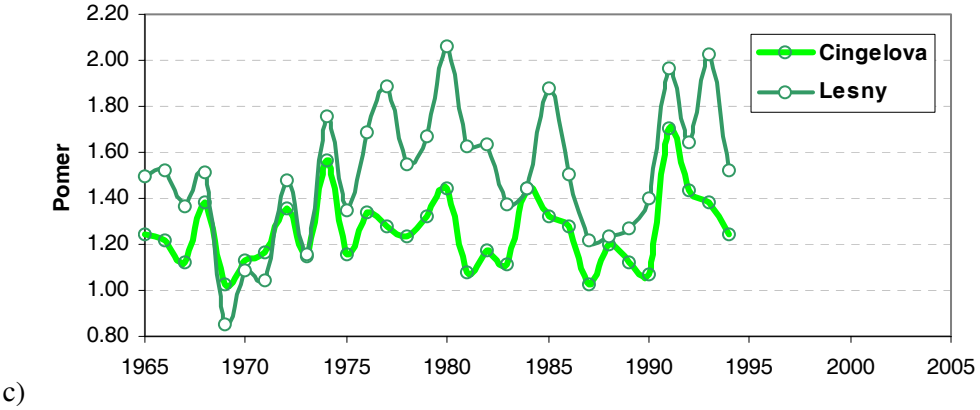
Fig. 2 *Upper decil, , median and lower decil (c_{90}, c_{50} a c_{10}) of runoff coefficients in experimental microbasins. Forest percentage.*



a)



b)



c)

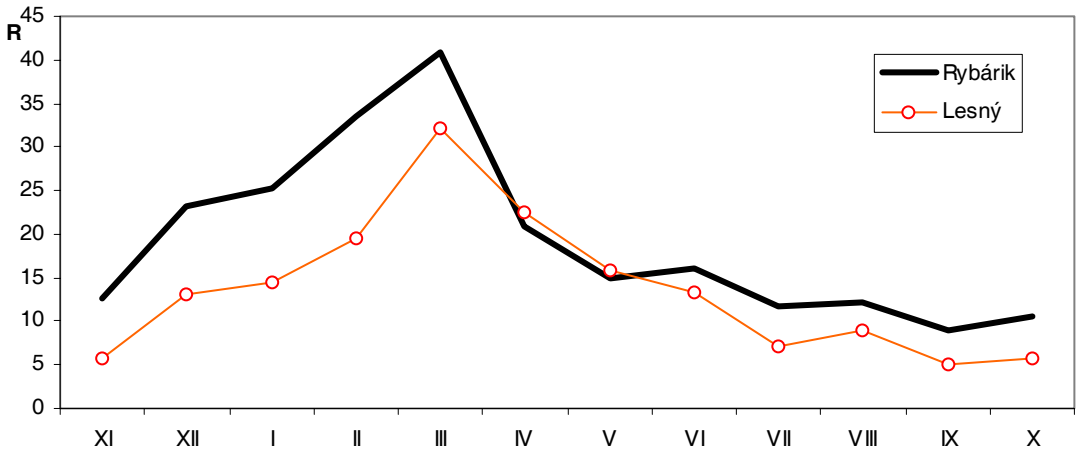
Obr. 3 *a) Priebeh priemerných ročných špecifických odtokov q z troch povod,*
b) Priebehy koeficientov odtoku K z troch povodí
c) Pomer odtoku Cingeľovej a Lesného ku odtoku Rybárika.

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.

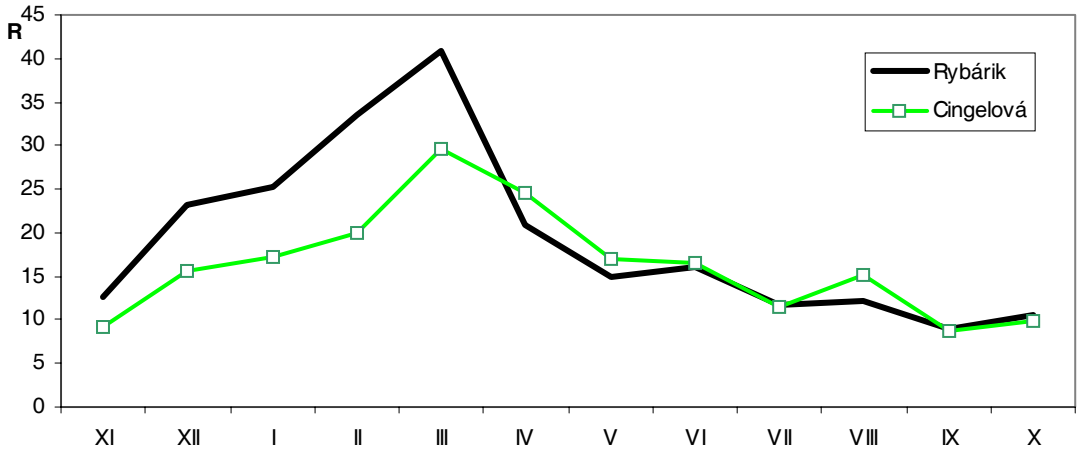
U ročných odtokov sa výrazne preukázal vyšší odtok v povodí Rybárik, využívanom k poľnohospodárskym účelom. Priemerný ročný odtok z tohto povodia je 1,22 krát vyšší ako u povodia Cingeľová, resp. 1,46 krát vyšší, ako u povodia Lesný, ktoré sú povodiami zalesnenými.

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)*

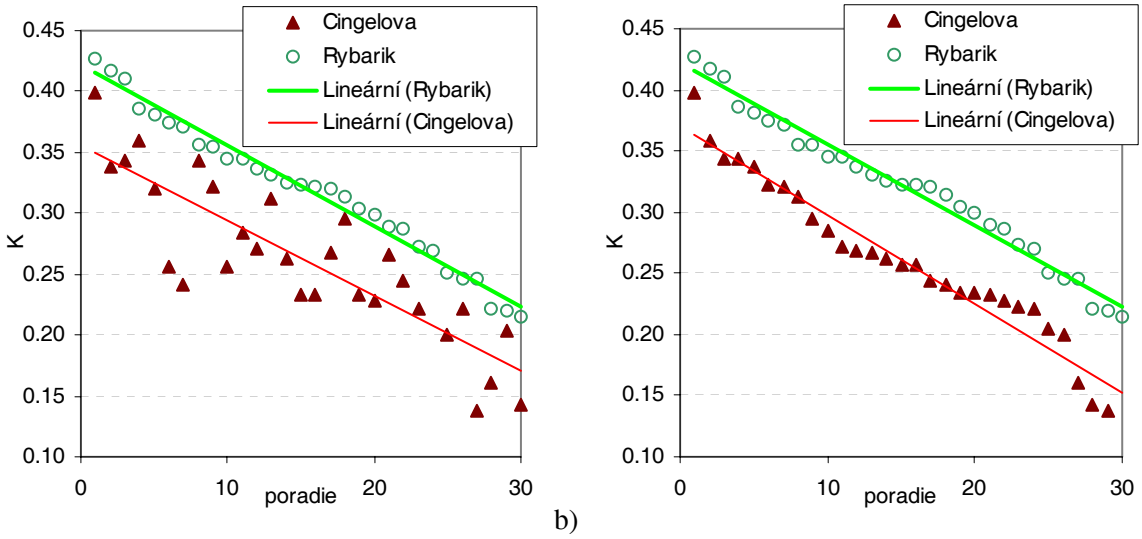
Tab. 6 *Relative values of the monthly runoff to yearly runoff in % form experimental microbasins, (average during 30-years)*

	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.

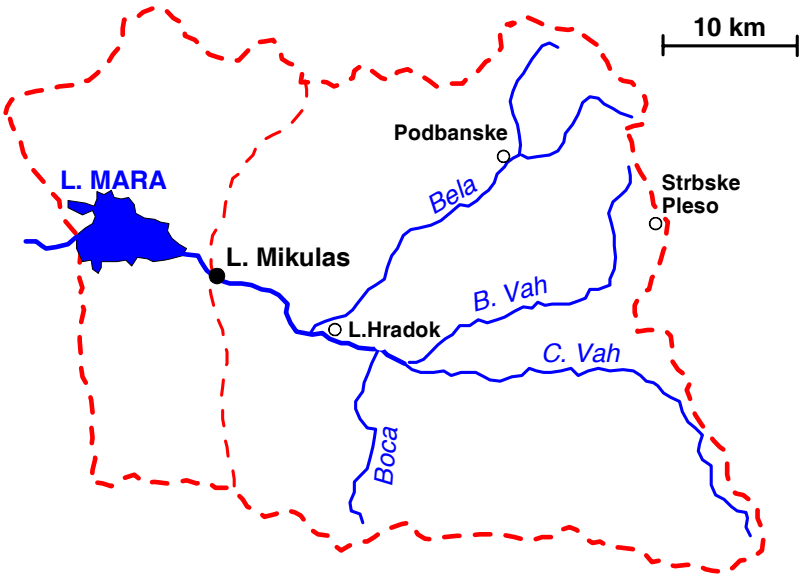
Belá, odvodňujúca rozhranie Západných a Východných Tatier je bystrinou, reprezentujúcou odtokové pomery najvyššej časti Karpát. Povodie Belej po Podbanské bolo do polovice 20. storočia veľmi málo zasiahnuté ľudskou činnosťou – bolo využívané salašníckym spôsobom na pasenie oviec a dobytka. Po uzákonení 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

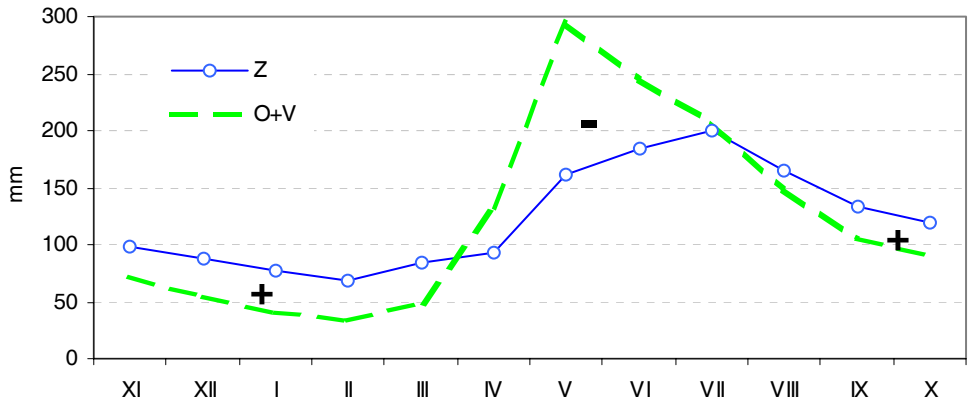
Tab. 1 Basic characteristics of the Belá basin, water balance

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):

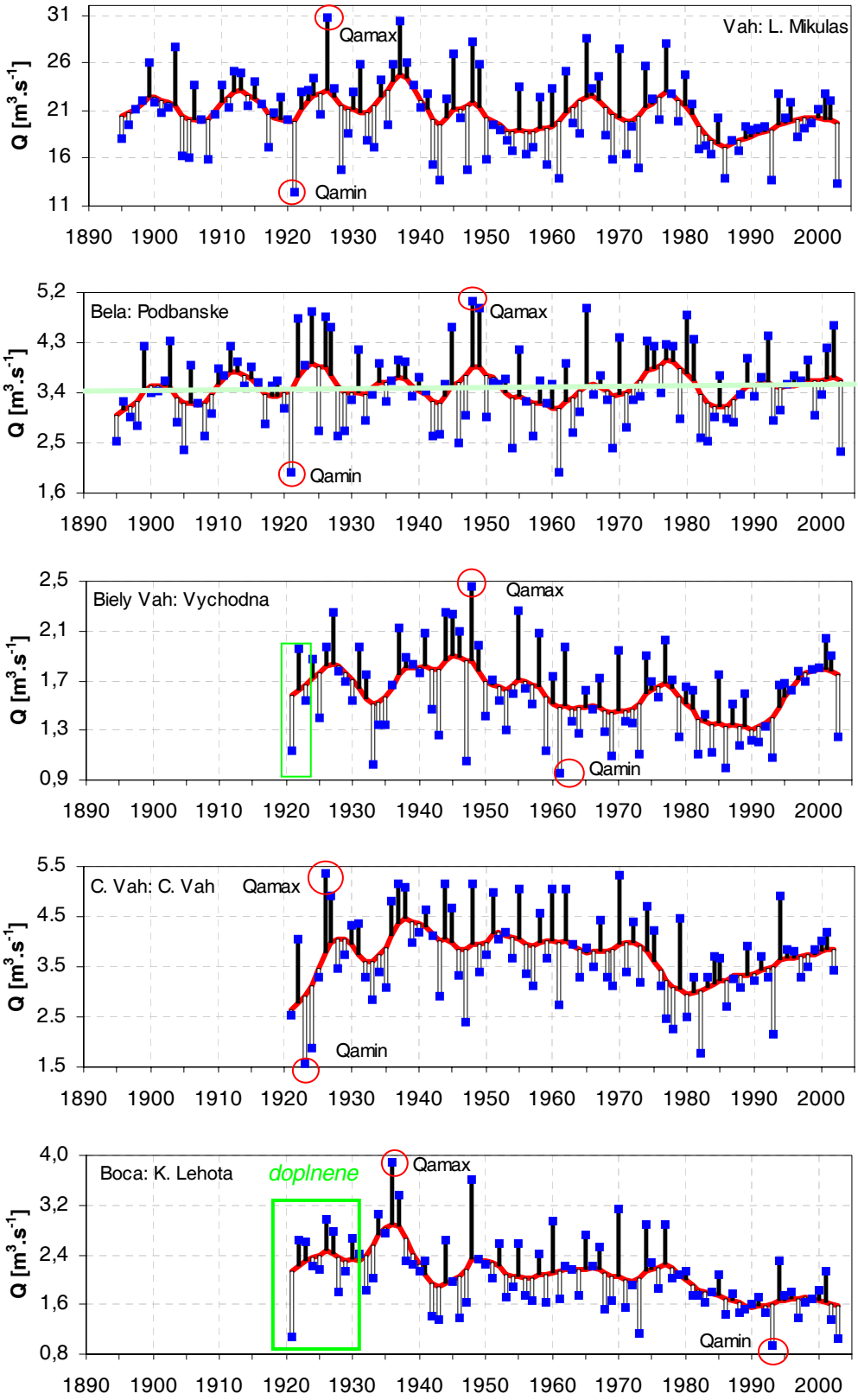
- Bola analyzovaná presnosť zrážkomerných údajov zo staníc Liptovský Hrádok, Podbanské, Štrbské Pleso, údajov z 3 totalizátorov situovaných priamo v povodí (doliny Tomanova, Tichá a Kôprová), z 2 totalizátorov v blízkej Bystrej doline a údajov z poľského meteorologického observatória na hraničnom Kasprowom 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.

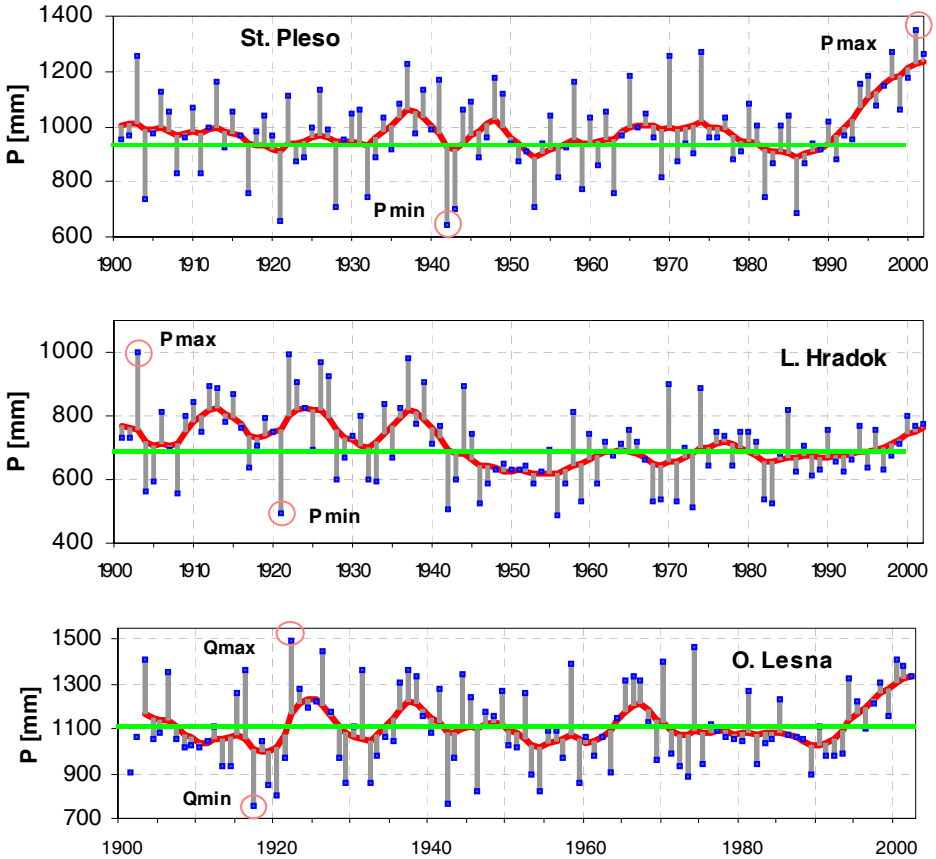
Na obrázku 4 sú vykreslené priebehy ročných úhrnov zrážok zo staníc Liptovský Hrádok (1901–2003), Štrbské Pleso (1901–2003) a Oravská Lesná (1951–2003).

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



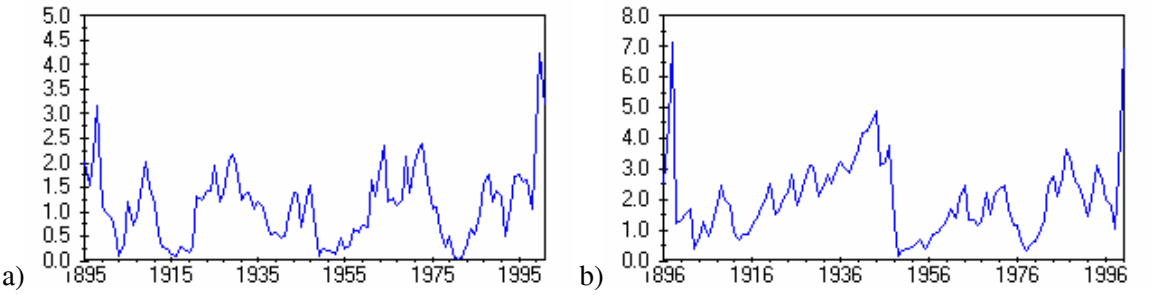
Obr. 4. Priebehy vybraných radov priemerných ročných úhrnov zrážok, odchýlky od dvojnásobných 5-ročných kĺzavých priemerov, Pmin – absolútne minimum, Pmax – absolútne maximum.

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

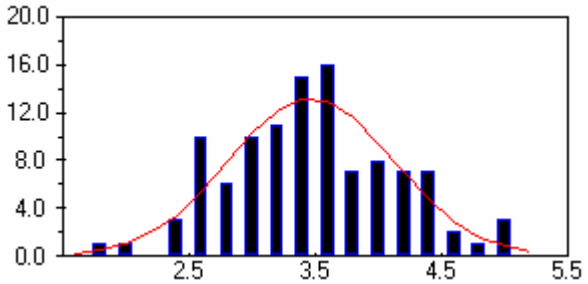
Homogenitou hydrologických radov v SR sa zaoberali napr. Hlubocký (1986), Benický (1992) alebo Majerčáková, Šedík (1994). Pri testovaní homogenity prietokového radu Belej (1885–2002) sme použili softvérový balík AnClim (autor Štepánek, 2003). Homogenitu radu ročných prietokov Belej sme testovali Alexanerssonovým 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).

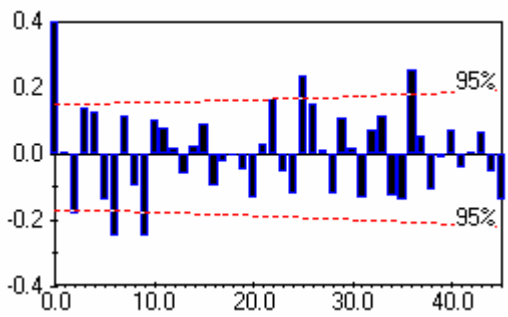
Tab. 6 Test významnosti trendu ročných prietokov Belej za obdobie 1895–2002

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).

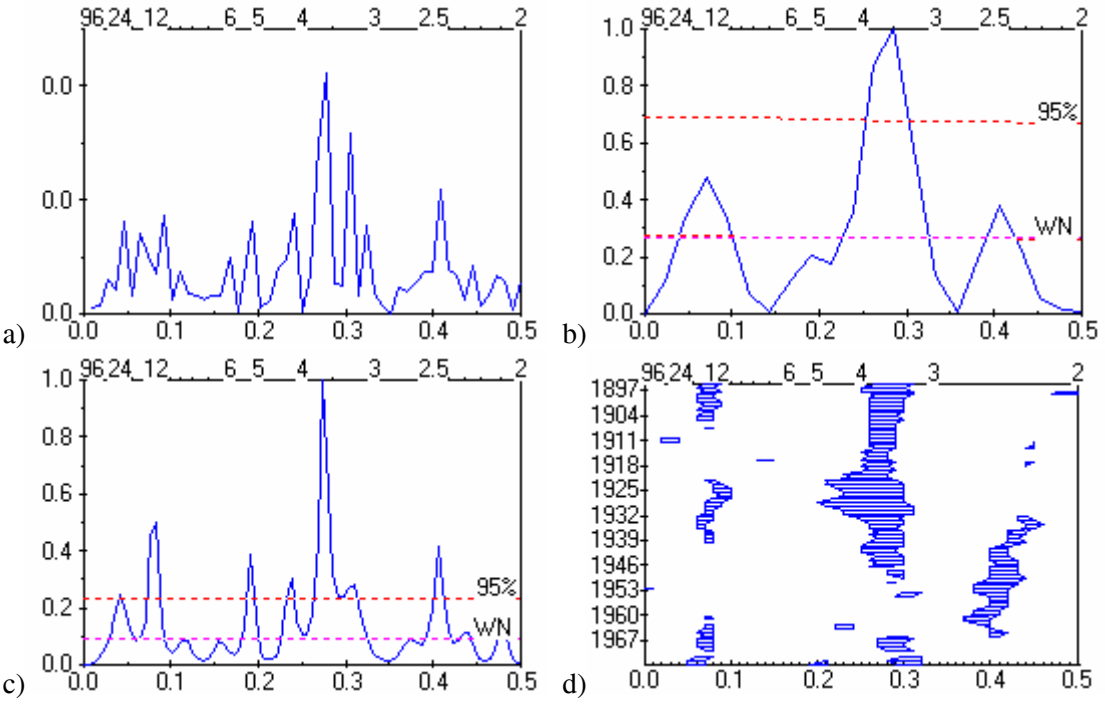
Dĺžka cyklov ca 2,47-roka môže súvisieť s QBO osciláciou.

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.

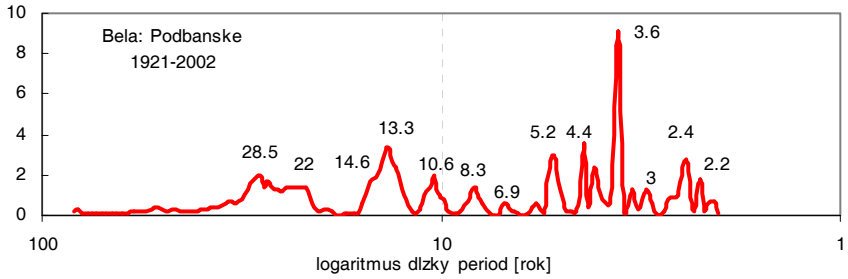
Vyplýva z toho, že na priebeh kolísanie odtoku Belej má vplyv ako NAO, AO, tak i SO fenomén. Povodím Belej (Vysokými Tatrami) prechádza pomyselná hranica (tiahnúca sa od Marseille po st. Peterburg) medzi severozápadnou Európou, kde ročné prietoky v poslednom desaťročí rástli a juhovýchodnou Európou, 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.

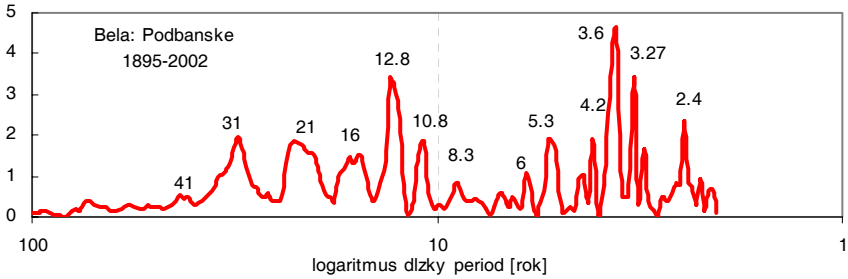


Obr. 8 Spektrálna analýza priemerných ročných prietokov Belej (softvér AnClim, Štepánek, 2003). a) Periodogram; b) PS Tukey; c) PS MESA; d) dynamic MESA.. Hore na osi x sú roky.

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.

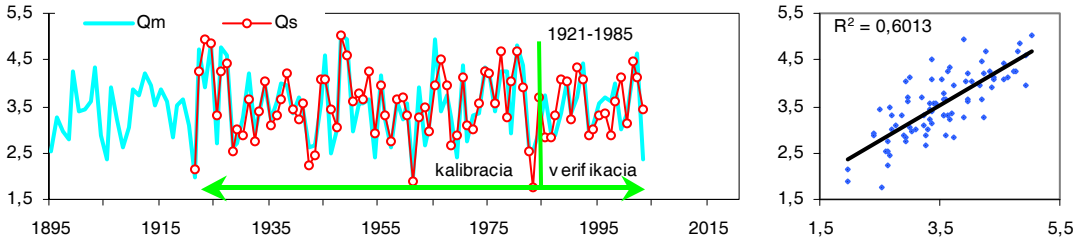
Všeobecne tieto modely možno schematicky možno opísať rovnicou (1).

$$X_t = A_0 + \sum_{j=1}^{m}\left(A_j \cos(\lambda_j t) + B_j \sin(\lambda_j t)\right) + ARIMA + CR + \varepsilon_t \qquad t = 1, \ldots, N. \qquad (1)$$

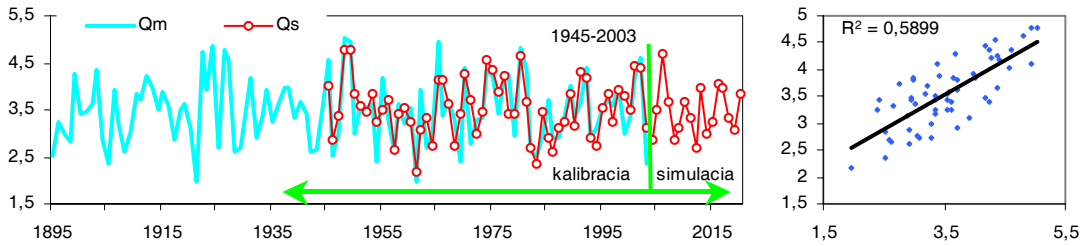
harmonická zložka *B-J zložka* *vplyv NAO* *biely šum*

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

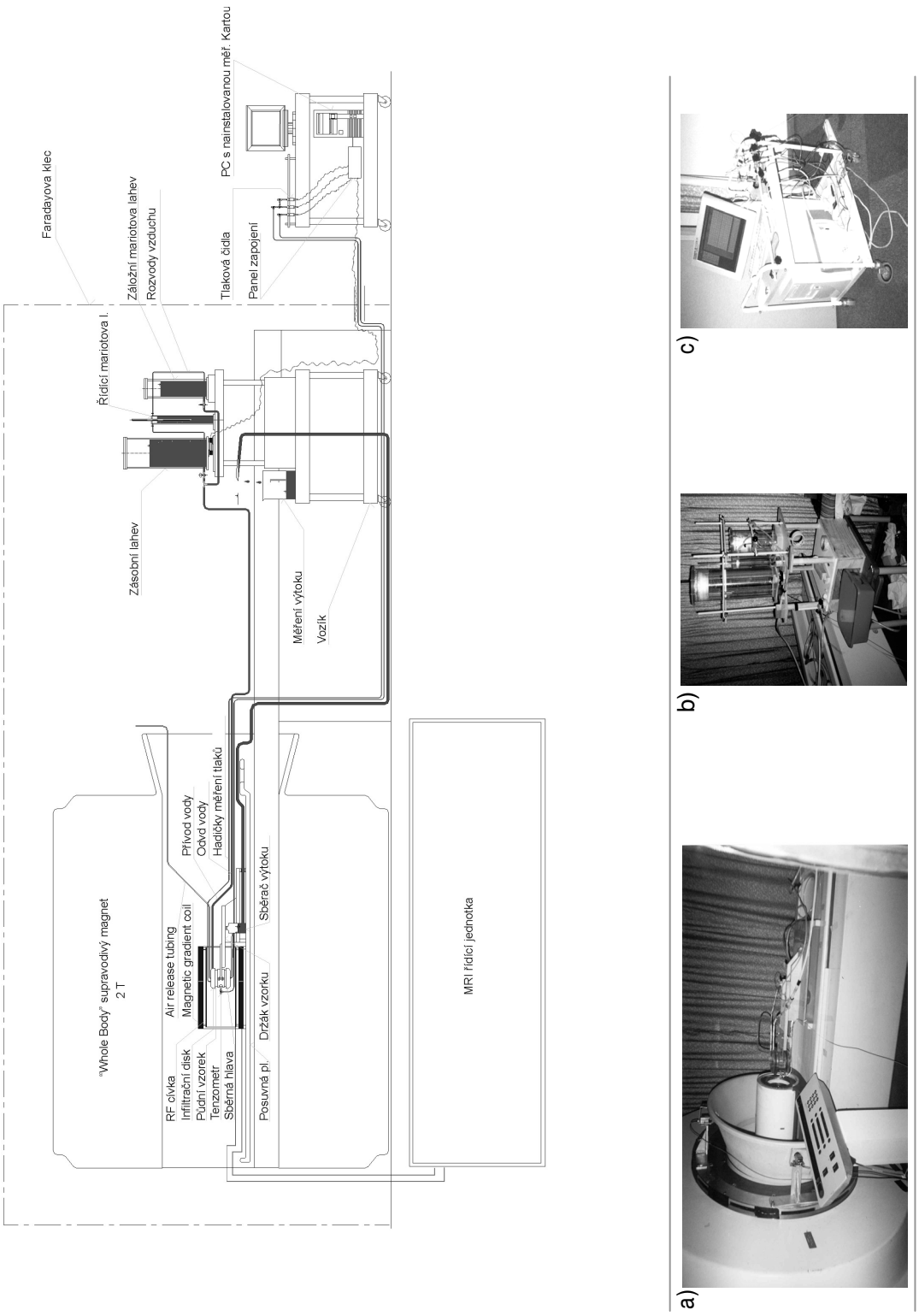
Zkoumanou půdou byla hrubá hlinitopísčitá půda (District Cambisol), z lokality Korkusova Huť (KH). Pro tuto půdu byla opakovaně zjištěna nestabilita hydraulických charakteristik (*Císlerová et al.* 1988; 1990; 2002). Pro srovnání byla použita také hlinitopísčitá půda s obsahem štěrkových zrn z oblasti 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).

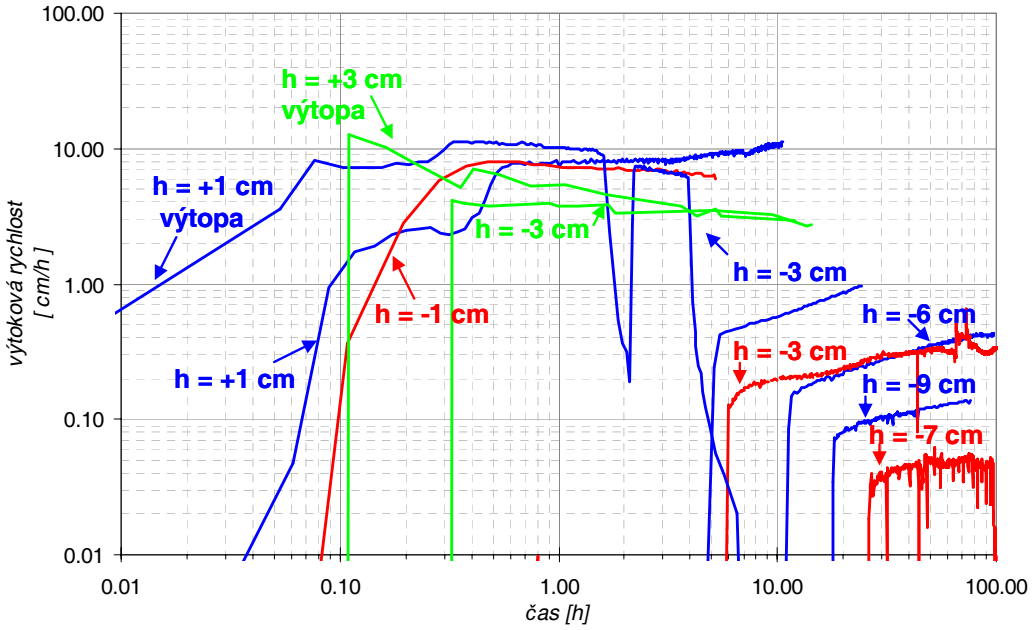
VÝSLEDKY

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.

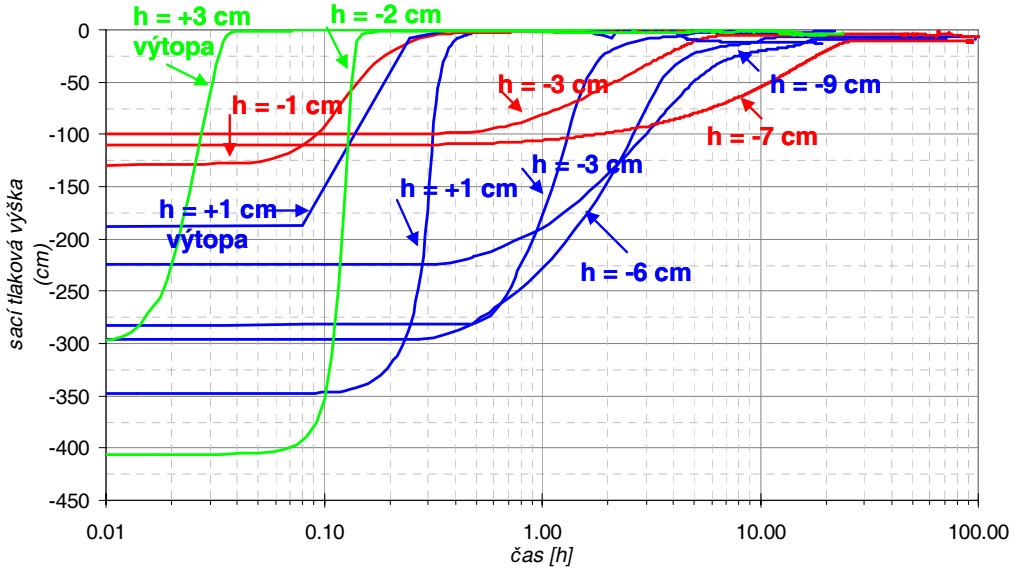
Snímkování nukleární magnetickou rezonancí

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.



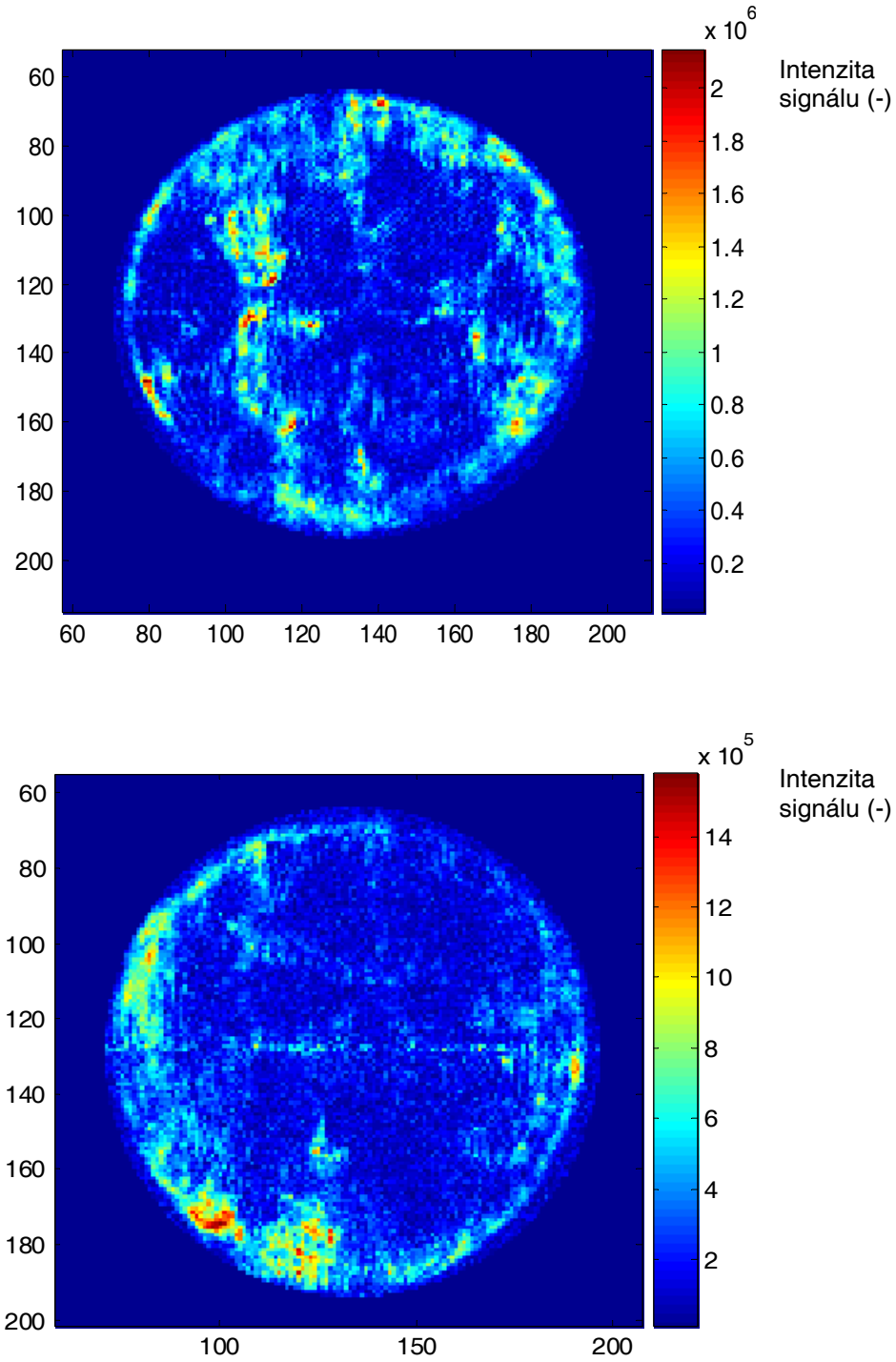
Obr. 2: Výtokové rychlosti při infiltracích provedených na vzorcích KHS5 (zelená), KHXL3 (modrá) a KRXL1 (červená). Tlaková výška h uvedená u každé datové řady vyjadřuje horní okrajovou podmínku experimentu.

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.



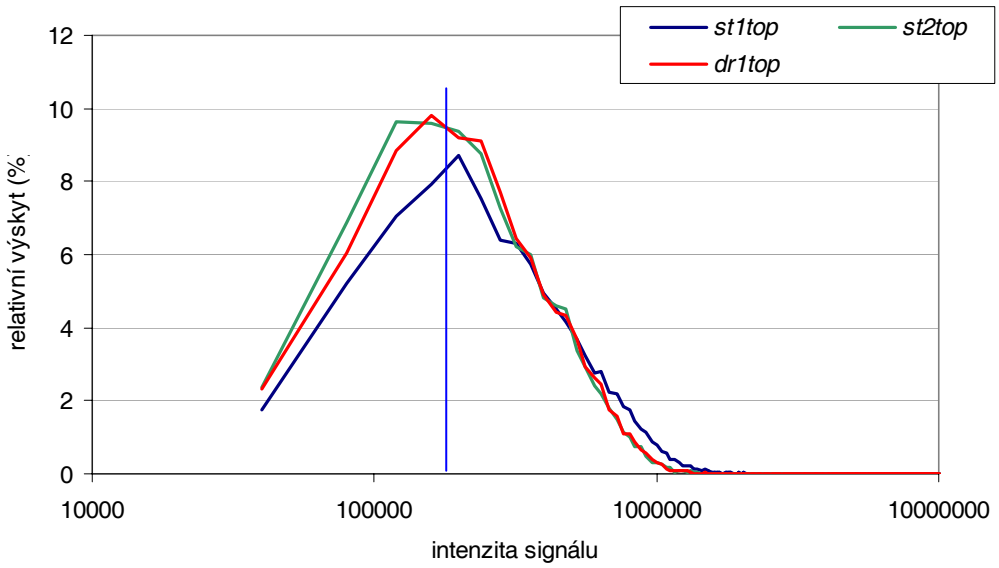
Obr. 3: Sací tlakové výšky měřené tensometrem ve středu vzorku v průběhu infiltrací provedených na vzorcích KHS5 (zelená), KHXL3 (modrá) a KRXL1 (červená). Tlaková výška uvedená u každé datové řady vyjadřuje horní okrajovou podmínku experimentu.

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.



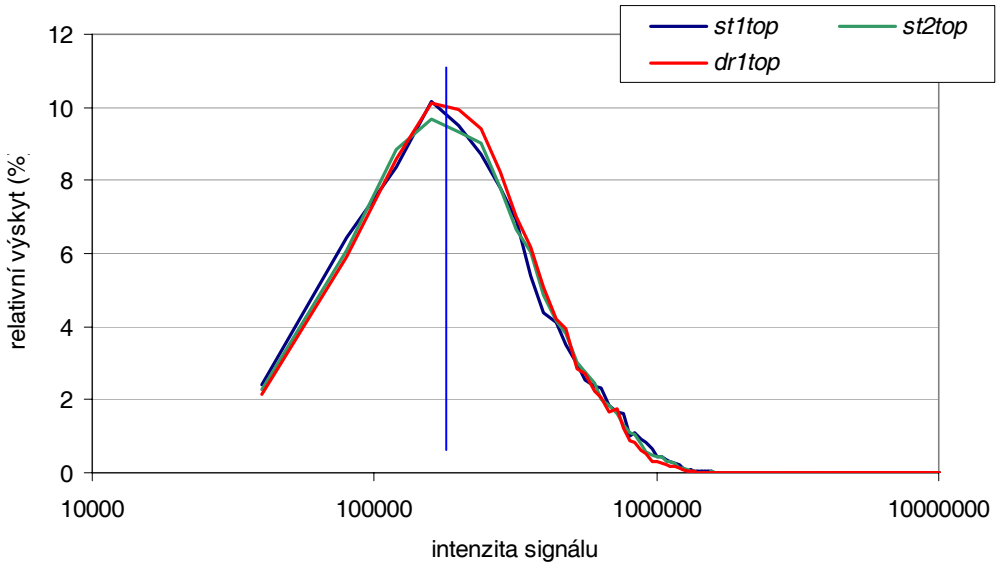
Obr. 4: Intezita MR signálu na snímcích se středem -1 cm (nahoře) a -6 cm (dole) pod povrchem vzorku. Snímky byly pořízeny na počátku fázi quazi-ustáleného proudění, při experimentu na vzorku KHS5.

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.

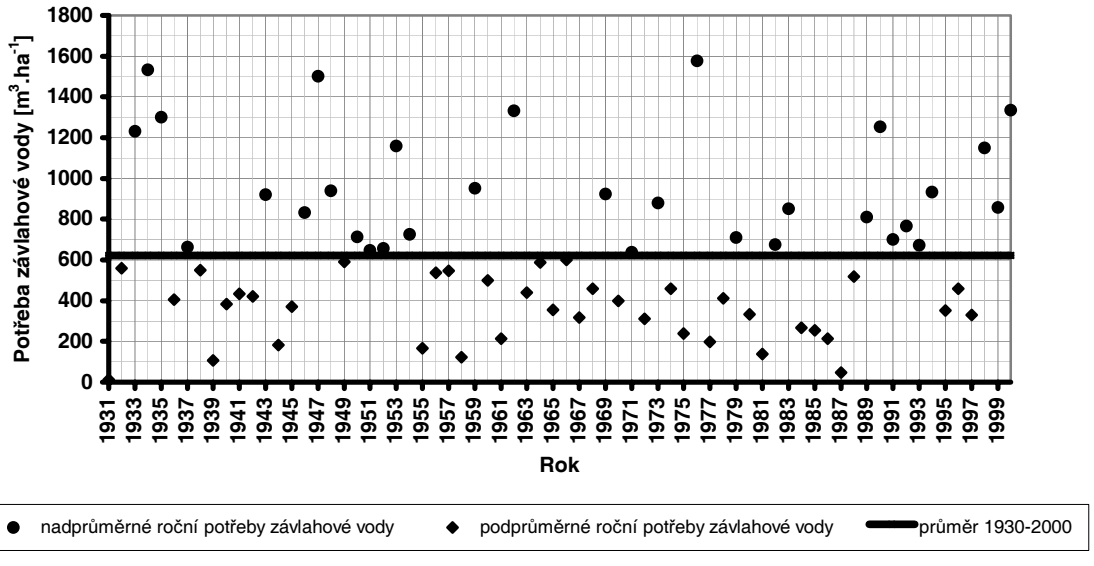
Z výsledků hodnocení období roků 1976–2000 vyplývá, že pro 40 % případů z 10 sledovaných klimatických stanic (Podivín, Pardubice, Roudnice, Brandýs nad Labem) se zjistil nárůst extrémně zemědělsky suchých roků oproti referenčnímu období 1931 až 1960, v 60 % (Žatec, Židlochovice, Znojmo, Strážnice, Kroměříž, 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

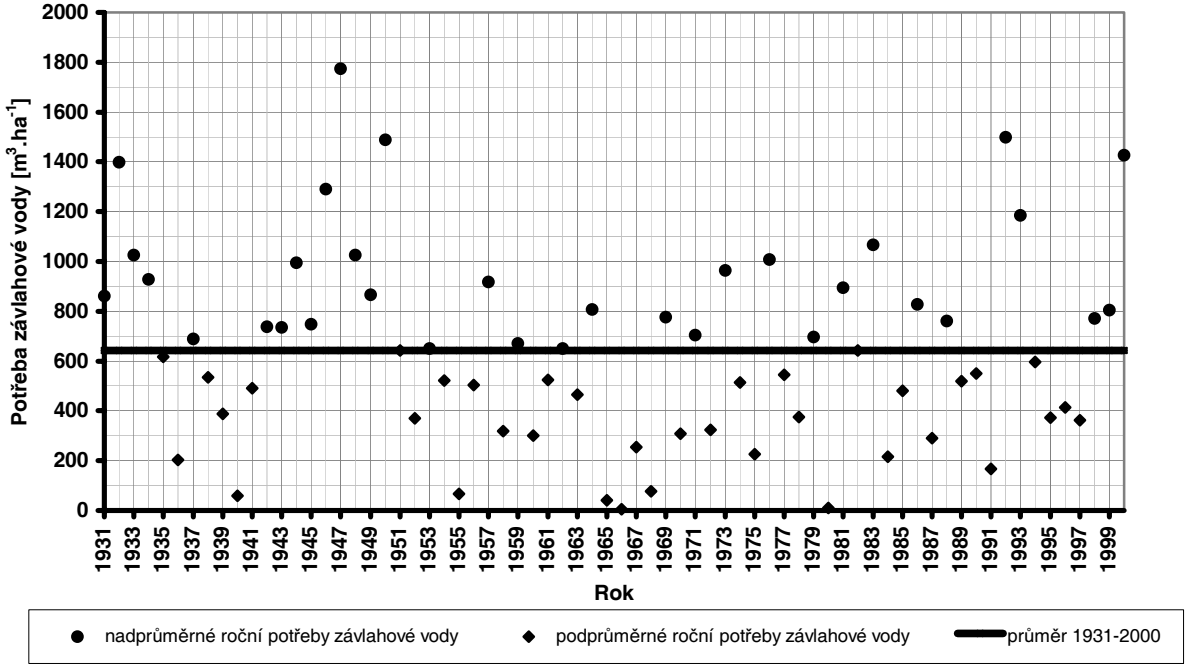
Tab. 4 Ascertainment of evolutionary tendency occurrence dry years in period 1976 till 2000 with regard to period 1931 till 1960 for our dry territories

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

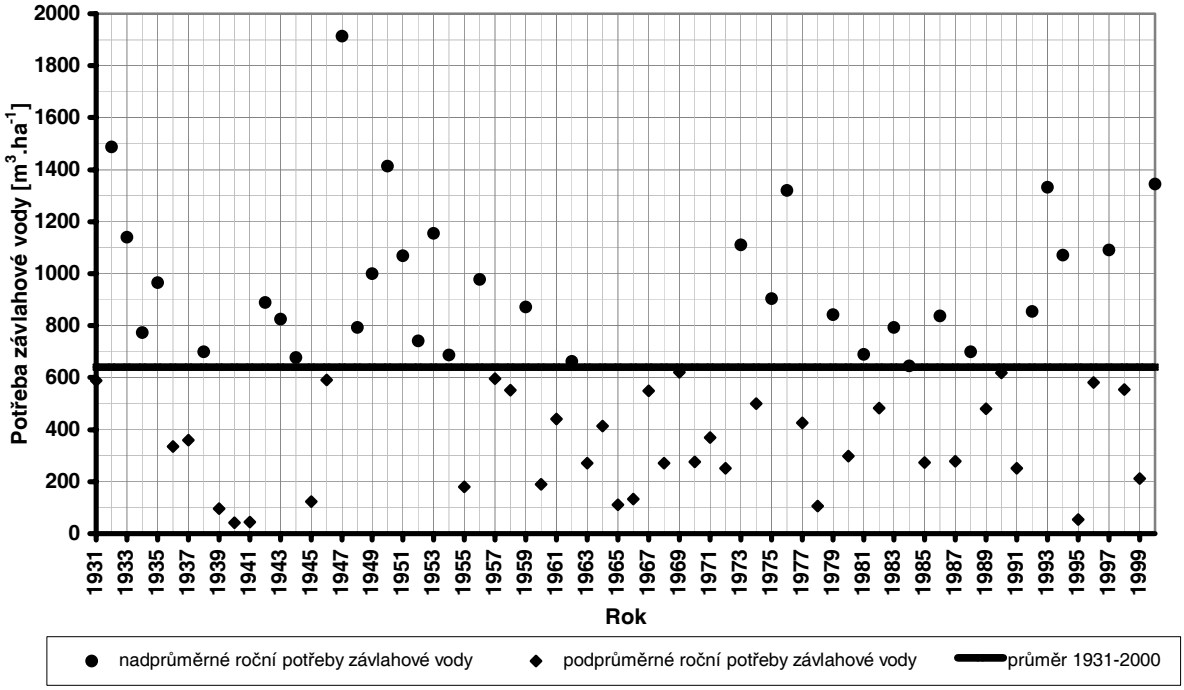
Graf 1 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Brandýs nad Labem*



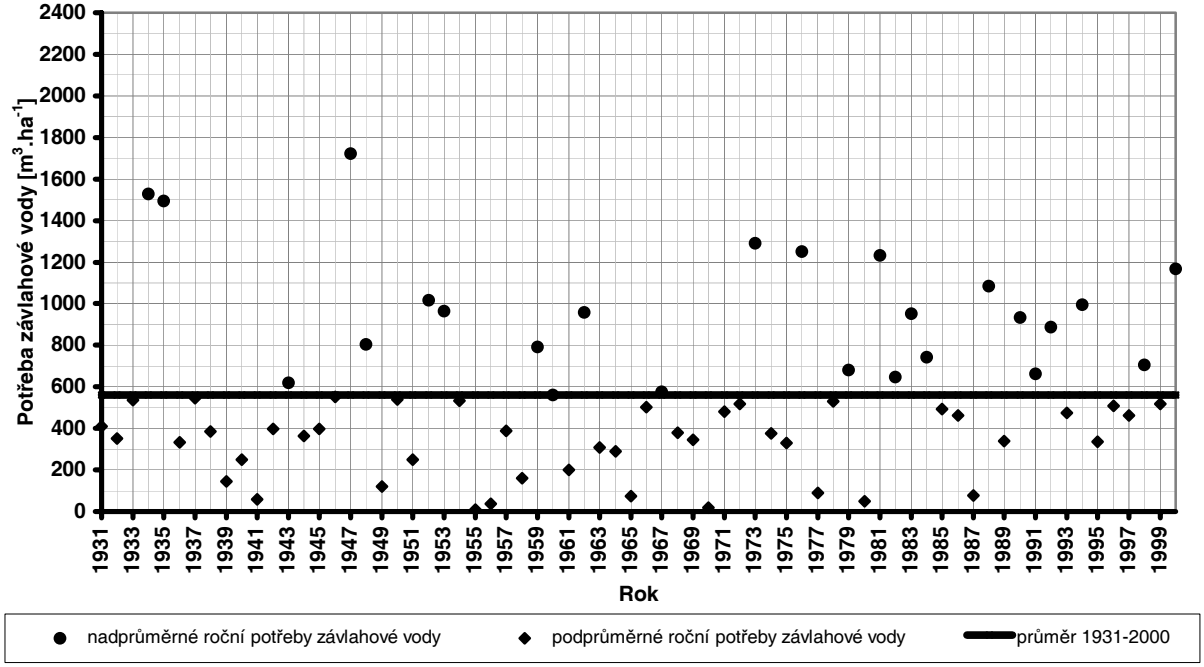
Graf 2 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Kroměříž*



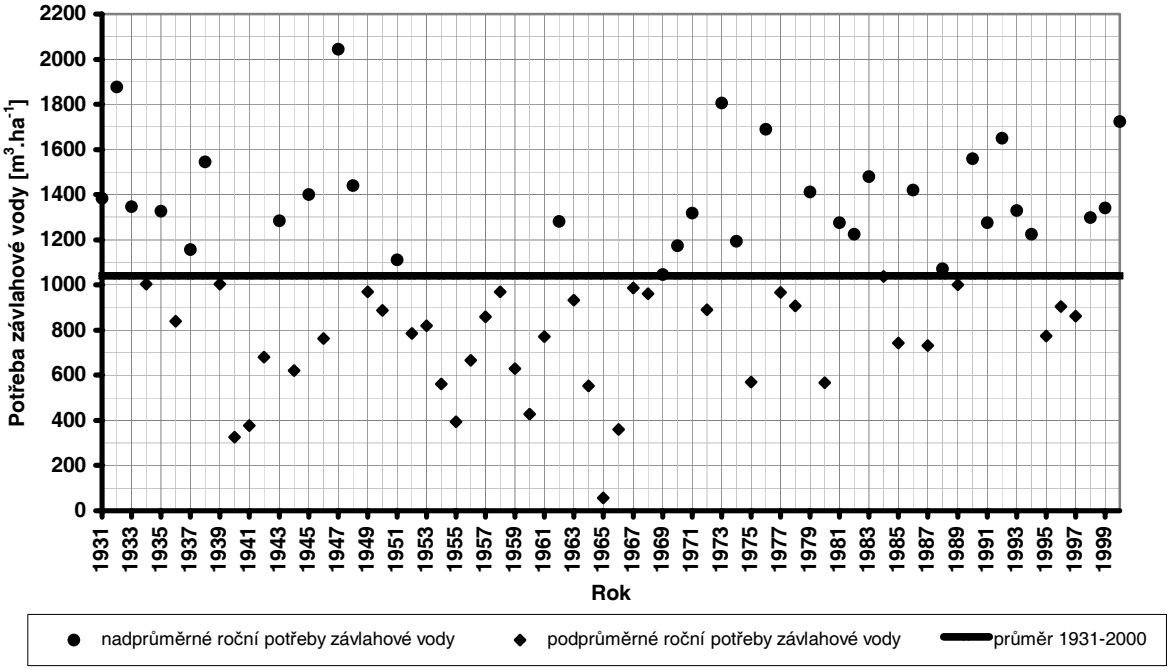
Graf 3 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Olomouc*



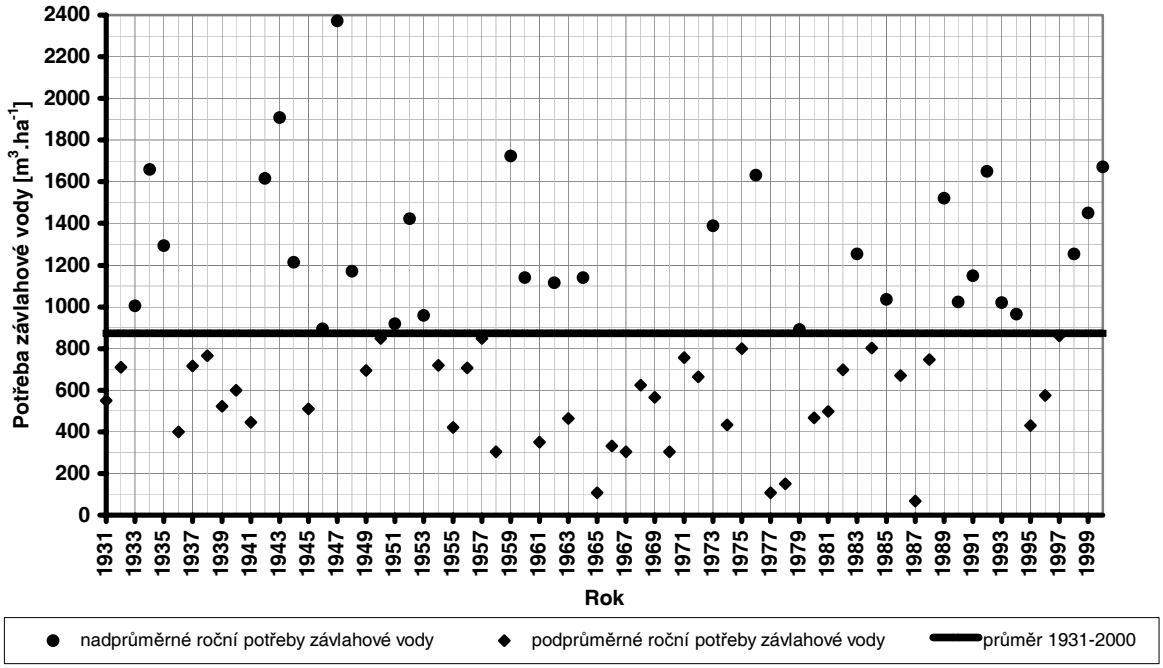
Graf 4 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Pardubice*



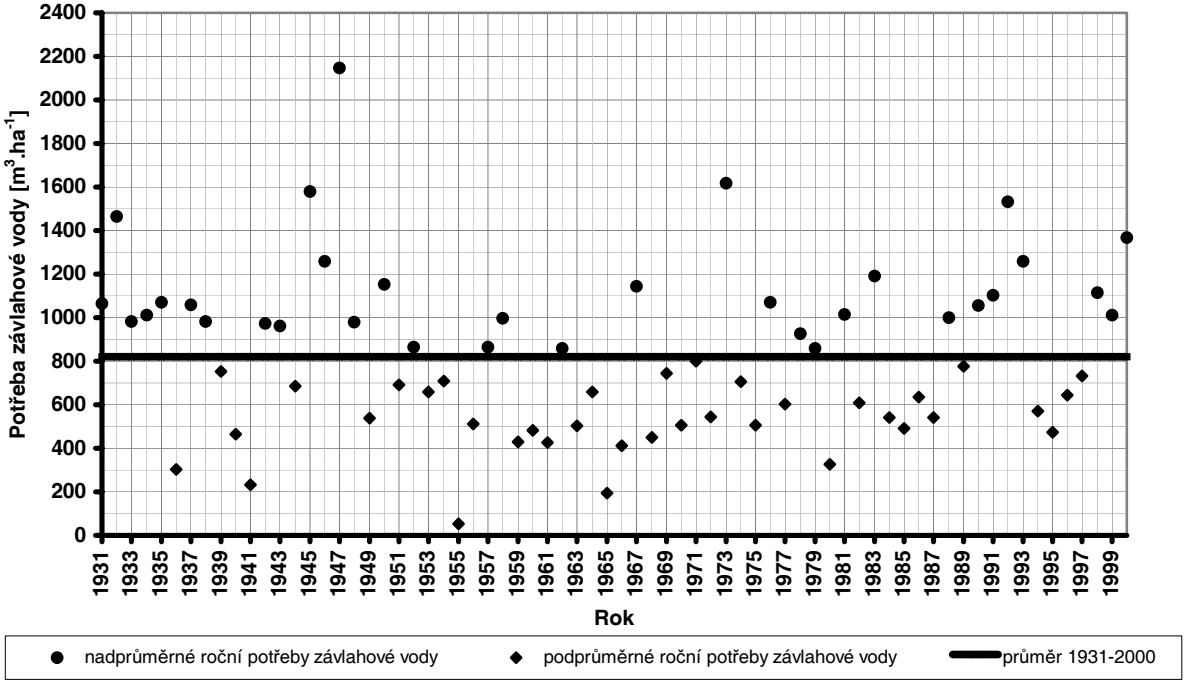
Graf 5 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Podivín*



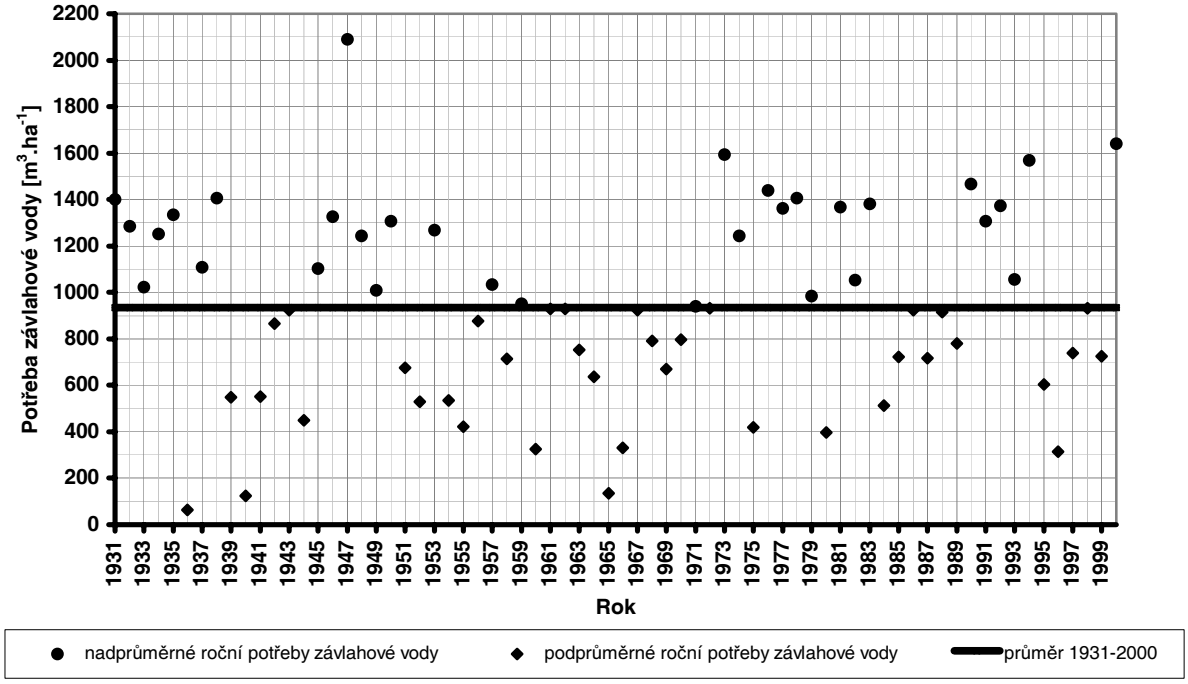
Graf 6 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Roudnice*



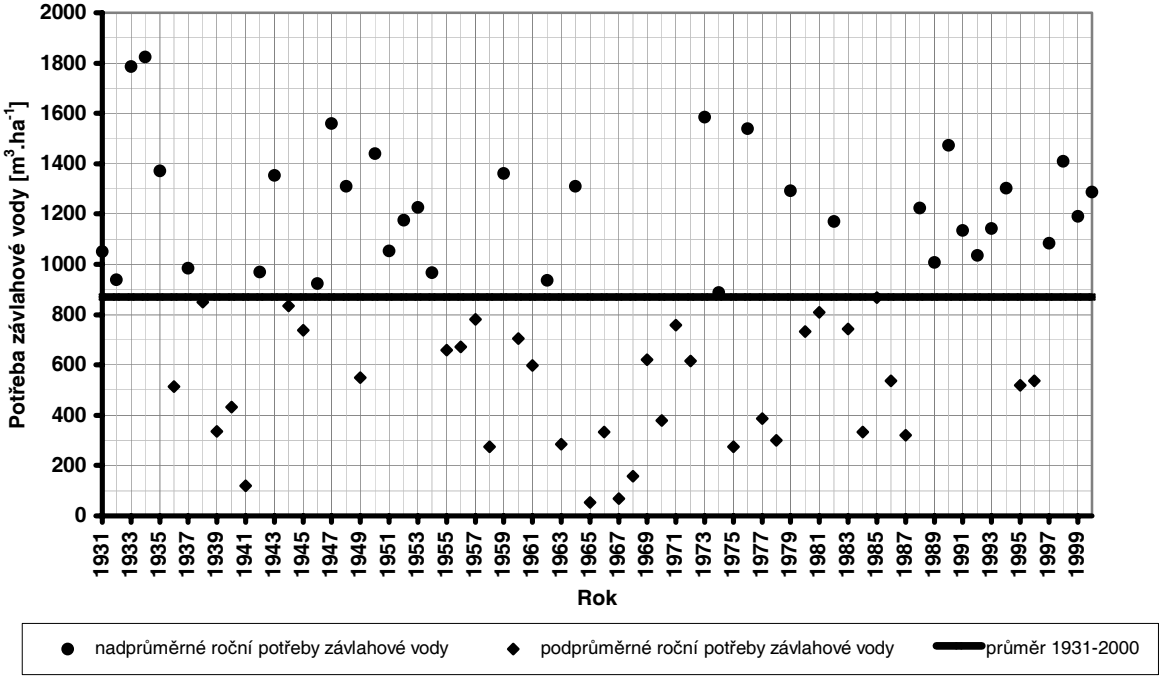
Graf 7 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Strážnice*



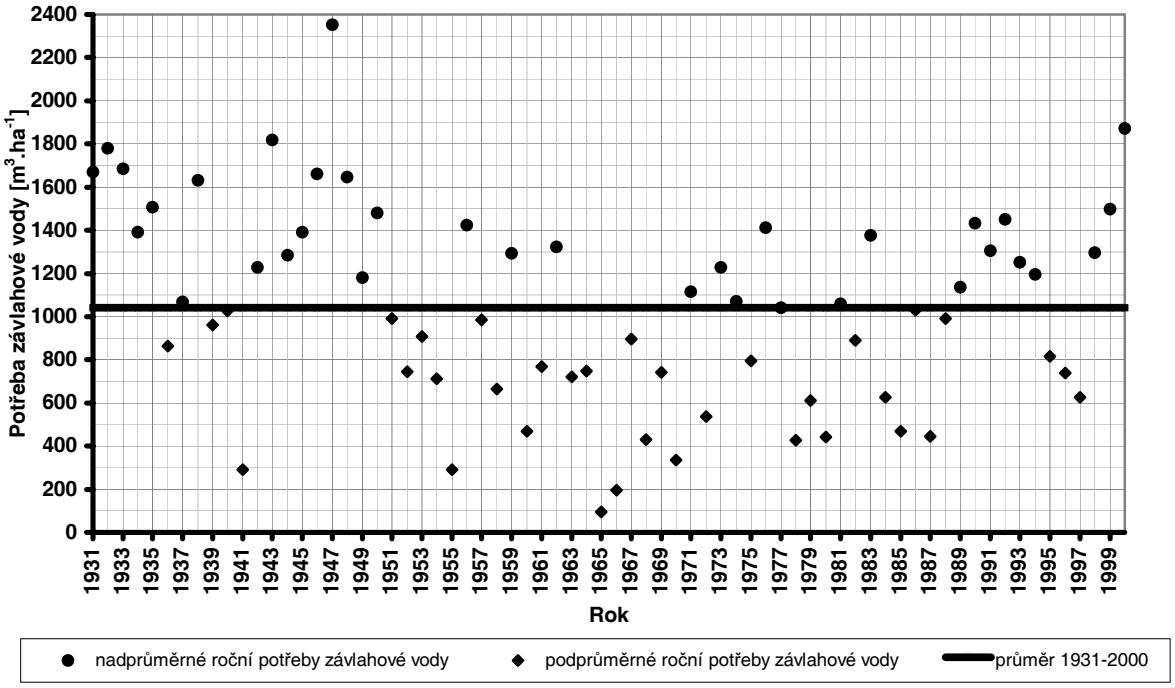
Graf 8 *Hodnoty potřeb závlahové vody v letech 1931-2000 vypočtené metodou RVB klimatická stanice Znojmo*



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

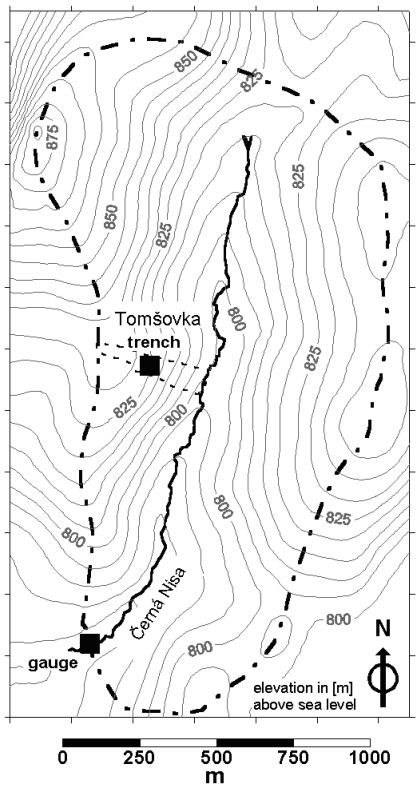
---

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^{o}C.

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.



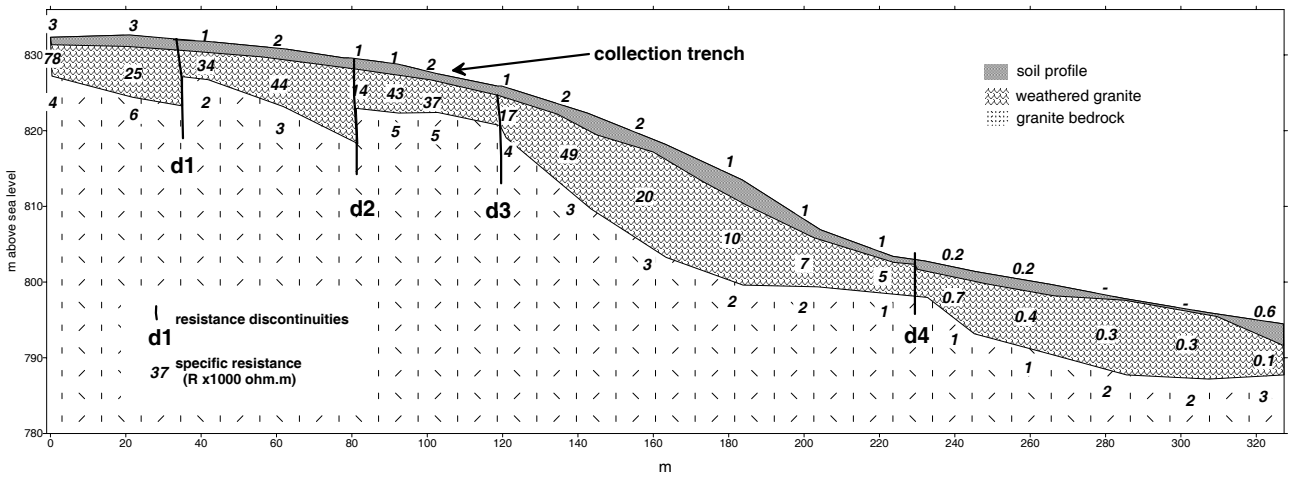
Obr. 1 Mapa povodí Uhlířská
Fig. 1 Map of Uhlířská watershed

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.

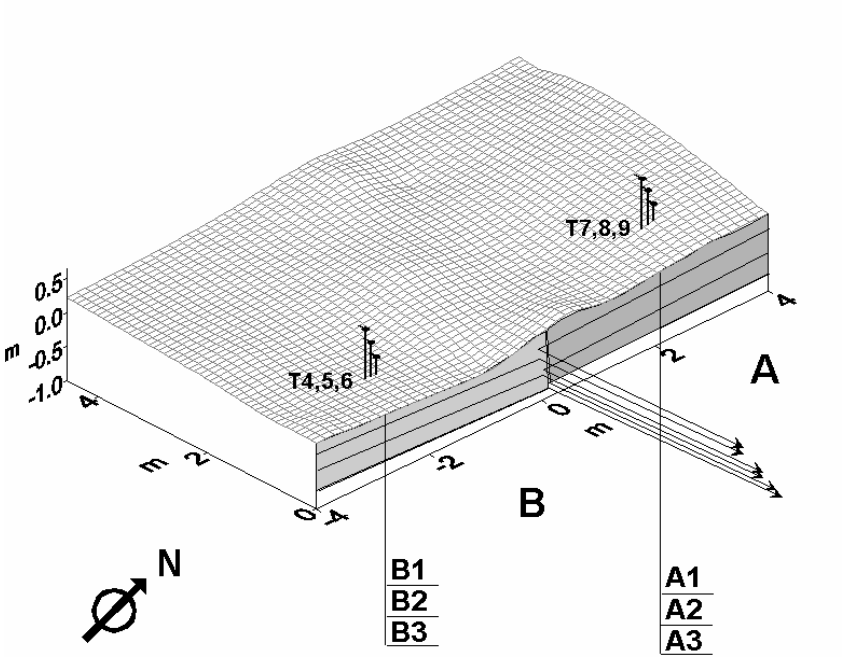
Hydropedologický průzkum

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.

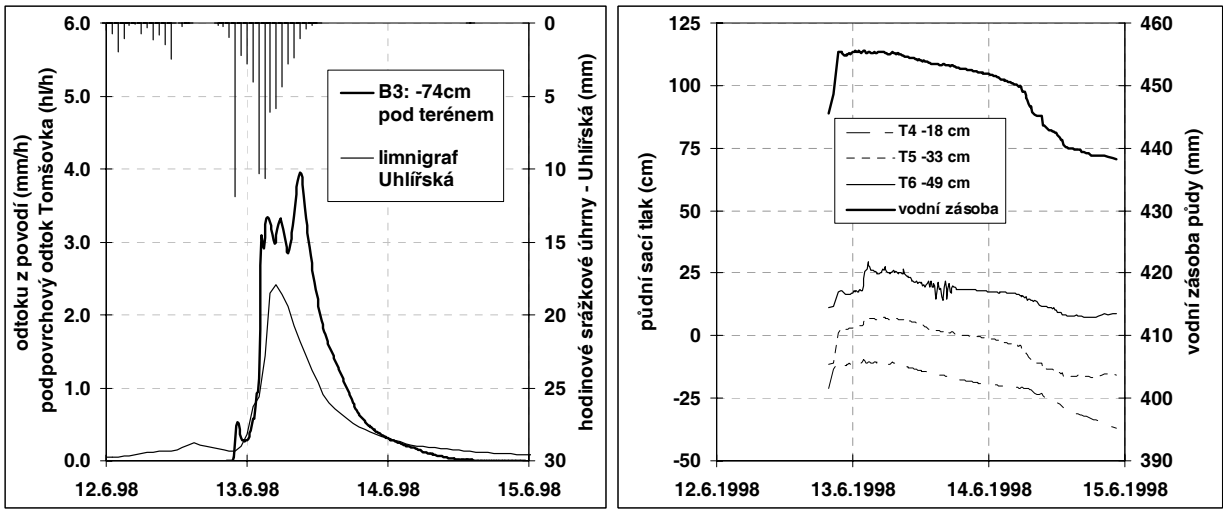
Tab. 1 Přehled odtokových epizod v uzávěrovém profilu Černé Nisy, Uhlířská (Hrnčíř, 2005)
Tab. 1 Overview of runoff events in the gauging station Černá Nisa, Uhlířská (Hrnčíř, 2005)

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

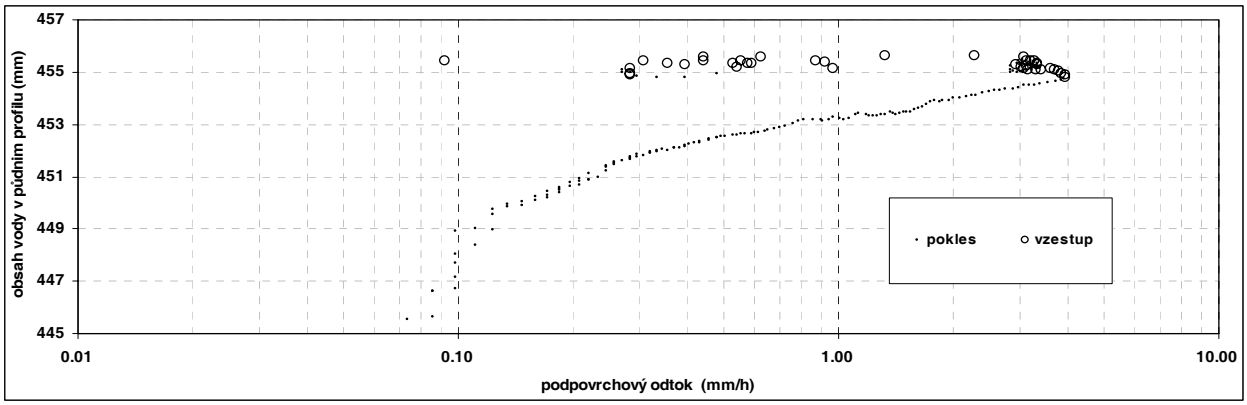
Tab. 2 Přehled odtokových epizod v půdním profilu sběrného příkopu v horizontu B3, Uhlířská (Hrnčíř, 2005)
Tab. 2 Overview of runoff events in the soil profile of the subsurface trench in the horizon B3 (Hrnčíř, 2005)

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

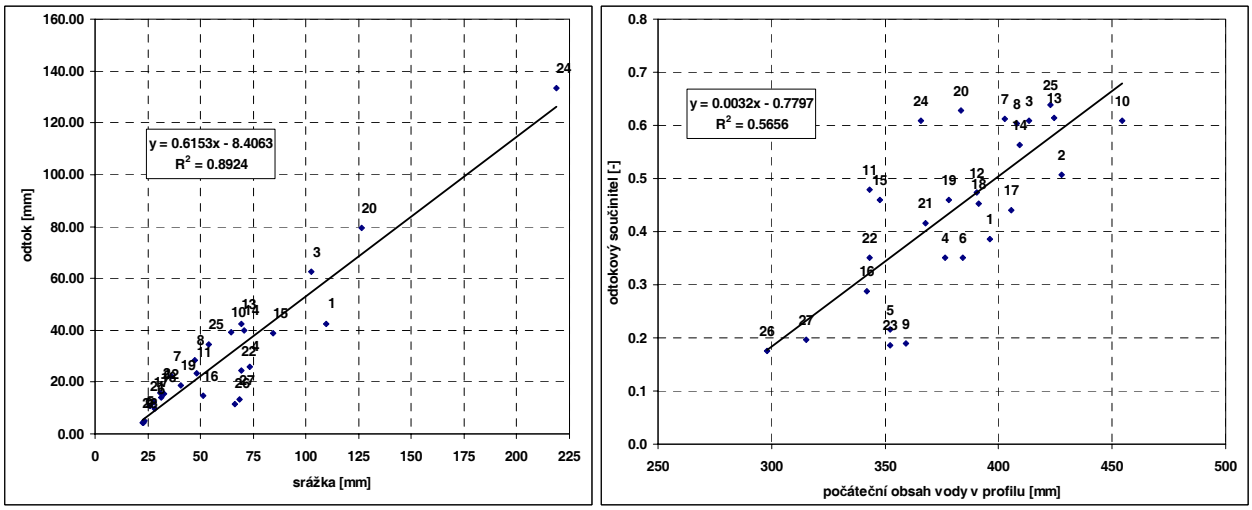


Obr. 5 Vztah okamžitého podpovrchového odtoku a vodní zásoby v půdě

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.



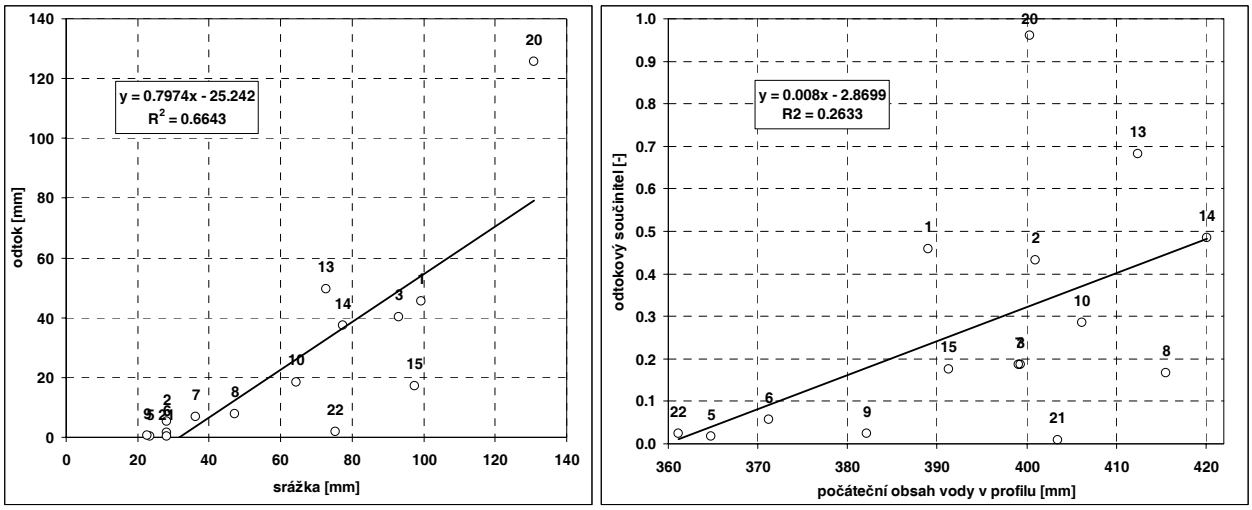
Obr. 6 Srážka, odtok z povodí a obsah vody v půdním profilu pro hydrologické epizody (Hrnčíř, 2005)

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

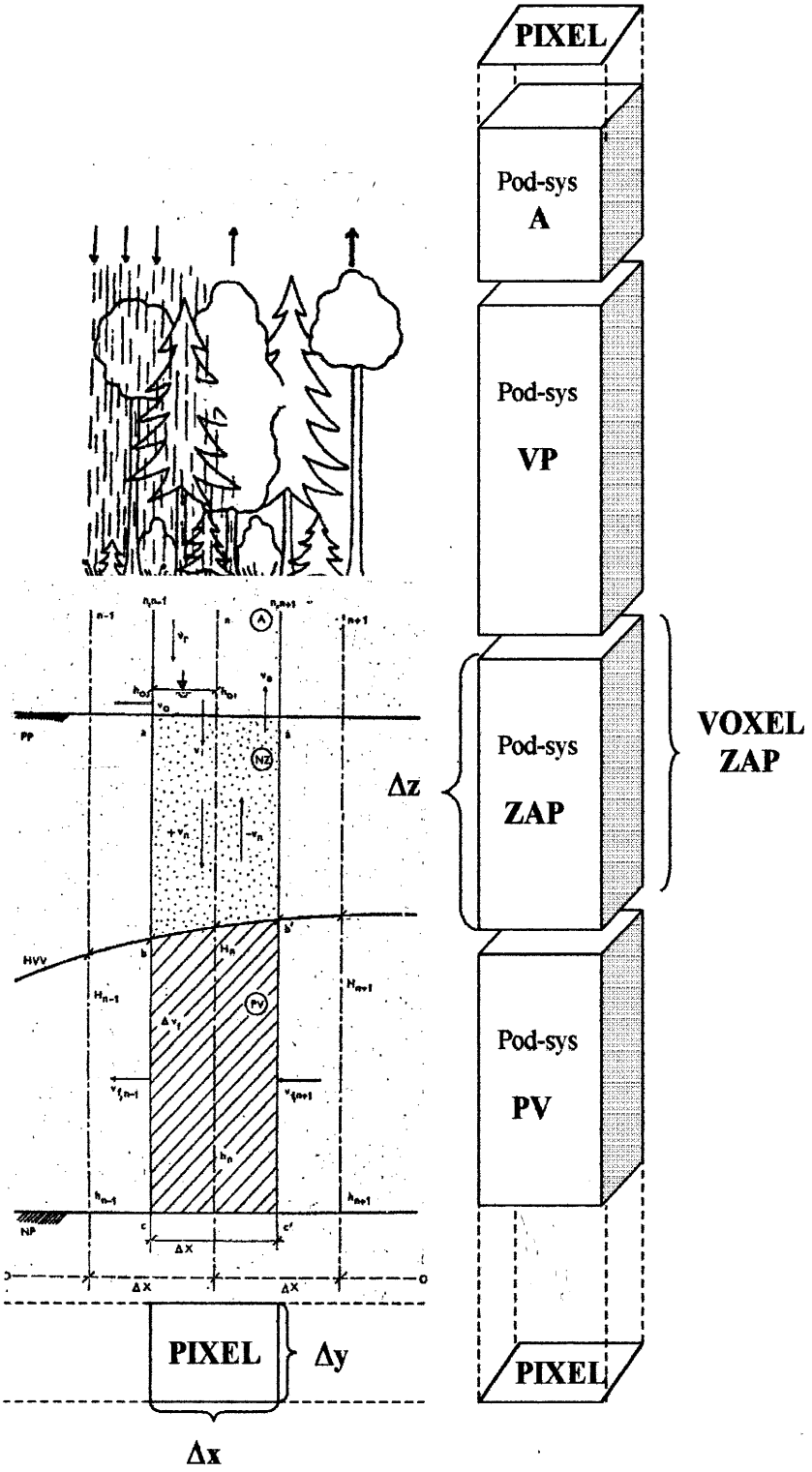
jednom alebo na viacerých miestach vymedzených hraníc. Takto definovaný objem slúži pre kvantifikáciu retencie vody počas hydrologického cyklu, pre pozorovanie režimových charakteristík (premenných stavu jednotlivých podsystémov) a pre štúdium zákonitostí, ktorým sa pohyb vody v systéme A-VP-ZAP-PV podriaďuje. 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.

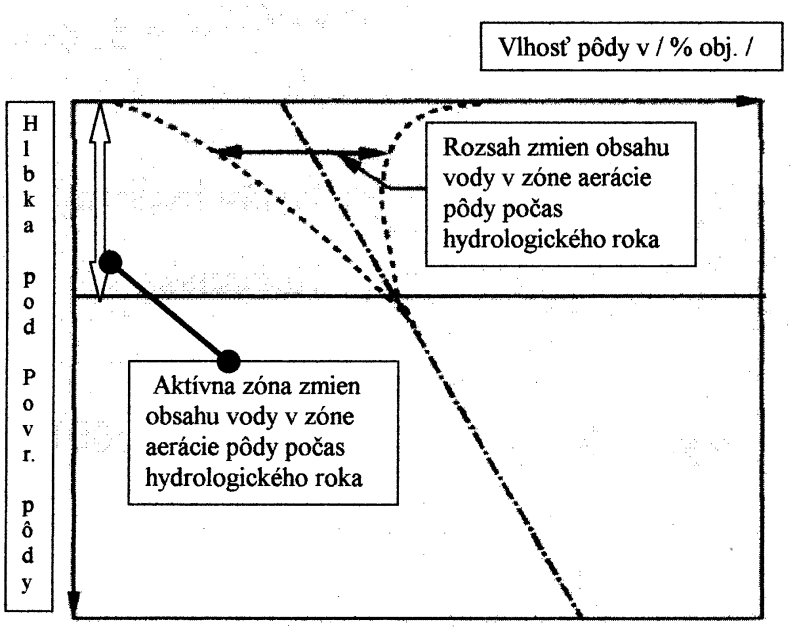
Kvantifikácia zásob vody a jej dynamiky v zóne aerácii pôdy v jeho geometricky vymedzenom útvare - voxli (obr.1), zodpovedá reálnym procesom pohybu vody v systéme A-VP-ZAP-PV v nížinnom území. Ďalej takto formulovaný systém s definovaným geometrickým prejavom umožňuje získanie charakteristík dynamiky 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.**

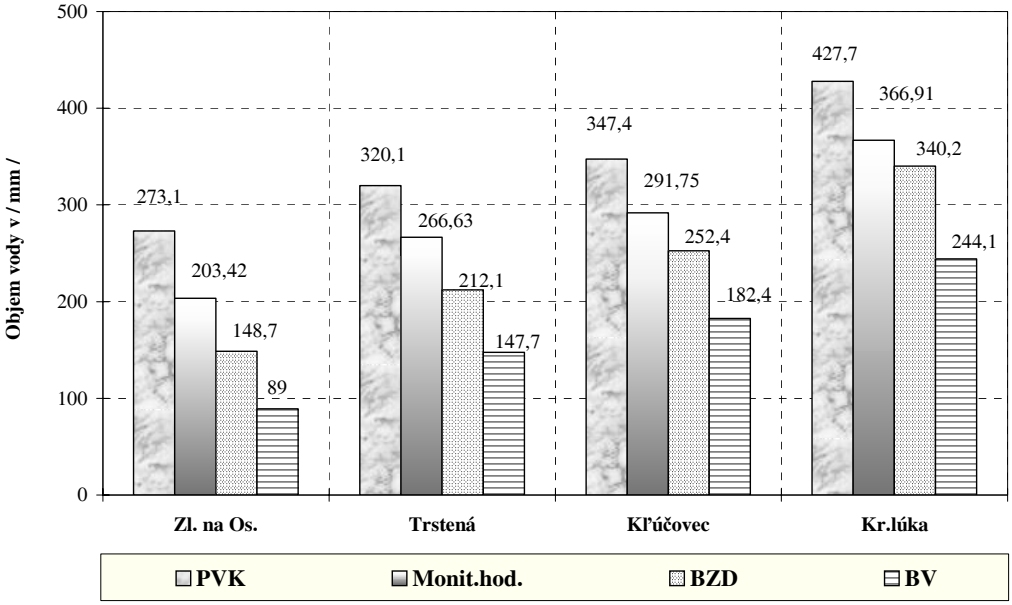
Ak **ΣQin /Qv > 1** vegetačný pokryv môže byť dostatočne zásobovaný vodou (1)

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