METODIKA PRE HYDROMORFOLOGICKÉ HODNOTENIE KVALITY POVRCHOVÝCH VÔD AKO SÚČASŤ MONITORINGU POVRCHOVÝCH VÔD, UKÁŽKA HODNOTENIA V POVODÍ HORNÉHO VÁHU

Lotta Blaškovičová, Renáta Magulová

Ciele Rámcovej smernice o vodách (RSV - Smernica 2000/60/ES Európskeho parlamentu a rady z 23.10.2000) zahŕňajú sledovanie ekologického stavu povrchových vôd, vrátane hydromorfologických podmienok. Na tento účel bola vypracovaná metodika hydromorfologického mapovania a hodnotenia povrchových vôd pre Slovensko.

Metodika bola vytvorená v rámci Twinning-Light projektu financovaného EK v spolupráci SHMÚ s dánskymi partnermi, pričom vychádzala z konceptu navrhnutého pracovníkmi Geografického ústavu SAV (Lehotský, Grešková, 2003). Metodika tiež zohľadňuje európsku normu EN 14614 Kvalita vody – Návod na hodnotenie hydromorfologických vlastností tokov (v SR je STN EN 14614 v tlači).

Podľa spomínanej metodiky monitorovania hydromorfologických podmienok sa hodnotia pôdorysné vlastnosti toku (pôdorysný tvar toku, kľukatosť, skrátenie toku), vlastnosti brehov a dna toku (dnové prvky, dnový substrát, variácia v šírke, opevnenie brehov, typy prúdenia), svahová a príbrežná zóna a inundačné územie (laterálna spojitosť, vegetácia) a hydrologický režim. Jednotlivým parametrom sú priraďované body v závislosti od stupňa odchýlky reálneho stavu od stavu prirodzeného, z ktorého sa nakoniec vypočíta výsledné skóre. Na základe výsledkov hodnotenia sa následne zaraďujú vodné útvary do piatich tried kvality.

Na Slovensku sa začalo robiť hydromorfologické hodnotenie v miestach odberov monitoringu kvality povrchových vôd a na referenčných lokalitách, aby bolo možné analyzovať vzťahy medzi hydromorfologickými a biologickými prvkami kvality tokov, ktoré sú potrebné pre vývoj klasifikačnej schémy pre hodnotenie vôd. Referenčné lokality by mali odpovedať nenarušenému prirodzenému stavu, alebo sú len minimálne ovplyvnené. V ďalšej fáze sa v súčinnosti s metodikou bude vykonávať hydromorfologický prieskum vo vybraných lokalitách jednotlivých vodných útvarov.

V príspevku sa prezentujú výsledky hydromorfologického hodnotenia v časti povodia Váhu (horný Váh). Sieť odberových miest pre kvalitu vody sa vo veľkej časti nachádza v ovplyvnených lokalitách (pod zaústením odpadových vôd, v ústiach významných tokov), často priamo v obciach, preto je vo výsledkoch hydromorfologického hodnotenia zrejmé silné ovplyvnenie ľudskou činnosťou a umelými úpravami. Referenčné lokality reprezentujú najmenej ovplyvnené oblasti, čo sa prejavuje na výslednom skóre.

Kľúčové slová: hydromorfológia, , pôdorys koryta, tok, brehy, pririečna zóna, inundačné územie, hydrológia

Methodology for hydromorphological assessment of surface water quality as an integral part of the monitoring of surface water; sample of the assessment in the catchment of Upper Váh

The objectives of Water Frame Directive cover the monitoring of ecological status of surface water including hydromorphological conditions. For this purpose the methodology of hydromorphological mapping and assessment of surface water in Slovakia has been developed.

The methodology has been created in cooperation of SHMI with Danish colleagues in the frame of Twinning-Light project supported by the European Commission. The methodology is based on the draft designed by Lehotský and Grešková (2003). Methodology is also in accordance with European Standard EN 14614:2004 Water quality – Guidance standard for assessing the hydromorphological features of rivers.

According to this protocol of monitoring of hydromorphological conditions the following features of rivers are evaluated: channel form (sinuosity, channel type, channel shortening), bank and bed characteristics (bed elements, river bed substrate, variation in width, bank stabilization, flow types), bank and riparian zone and floodplain area (lateral connectivity, vegetation) and hydrological regime. Each parameter is assigned a score from 1 to 5, with 1 indicating the 'best' state and 5 indicating the 'worst' state, compared to natural, historical status. According to final score the water bodies are classified into the five quality classes. .

The hydromorphological assessment in Slovakia has been started at the sampling sites for water quality and at reference localities to enable the analysis of relations between hydromorphological and biological elements of river quality, needed for development of scheme of classification for water assessment. The reference localities should correspond with undisturbed natural status or are affected just minimally. In next stage according to the protocol the hydromorphological assessment will be provided in selected localities of particular water bodies.

In the article the results of hydromorphological assessment in the catchment of Upper Váh are presented. The water quality sampling site network is in greater part situated in influenced localities (under the waste waters mouth, in mouths of significant rivers), often in cities, therefore the results of this hydromorpho-

logical assessment show significant human influence and artificial changes. Reference localities represent the minimum affected areas, what is reflected by good final score.

Key words: hydromorphology, channel planform, in.stream parameters, bank, riparian zone, floodplain, hydrology

---

PROTOKOL MAPOVANIA HYDROMORFOLOGICKEJ KVALITY TOKOV PRE SLOVENSKÚ REPUBLIKU

Mapovanie a hodnotenie hydromorfologickej kvality tokov vyplynulo z Rámcovej smernice o vodách. Protokol mapovania hydromorfologickej kvality pre Slovenskú republiku je založený na koncepte pre Slovenskú republiku vytvorený RNDr. M. Lehotským, CSc. a RNDr. A. Greškovou, CSc. (2003) a na metodológii aplikovanej v Nemecku - LAWA. Podrobná metodika a protokol bol vypracovaný v spolupráci pracovníkov SHMÚ a odborníkov z Dánska (NERI) v rámci projektu Twinning light Project No. TLP 01 – 29 , SR 0110 01 01 0009.

Metodika obsahuje návod na výber prieskumného miesta, popis pracovného postupu v teréne, bodovací systém na vyhodnocovanie, ako aj návod na školenie a certifikáciu. Metodika je v súčinnosti s európskou normou EN 14614:2004 Water quality – Guidance standard for assessing the hydromorphological features of rivers, ktorá bola prevzatá na Slovensku ako STN EN 14614:2005 Kvalita vody - Návod na hodnotenie hydromorfologických vlastností tokov.

Samotné hydromorfologické hodnotenie pozostáva z piatich krokov:

1. Zber údajov

- podkladové údaje potrebné k hodnoteniu, ako vodohospodárske mapy, historické mapy, geologické mapy, letecké fotografie, GIS vrstvy, údaje o užívaní vody a manipuláciách na toku atď.

2. Určenie prieskumných jednotiek (SU) na jednotlivých tokoch (vodných útvaroch)

Výber miest na tokoch pre hydromorfologické hodnotenie sa má robiť tak, aby bola prieskumná jednotka reprezentatívna z hľadiska morfológie koryta, využívania pôdy, geológie a geomorfológie.
Prieskumná jednotka sa ďalej člení na 5 rovnako dlhých sub-jednotiek (SSU), v ktorých sa vyhodnocujú parametre toku, dna brehov a priľahlej nivy pre oba brehy.
Dĺžka prieskumnej jednotky závisí od šírky toku v mieste prieskumu. Pre účely hydromorfológie sa toky rozdeľujú do troch skupín podľa šírky toku v hladine:

A) Malé - šírka < 10 m
B) Stredné – šírka 10 – 30 m
C) Veľké - šírka > 30m

Pre malé toky je dĺžka prieskumnej jednotky 200 m, pre stredné je 500 m a pre veľké je 1000 m.

3. Vyhodnotenie mapových parametrov

Pred samotným terénnym prieskumom sa vyhodnotia údaje dostupné z mapových a digitálnych podkladov, ako aj údaje z databáz (pôdorysný tvar toku, typ koryta, porovnanie s historickým stavom, vzdialenosť od prameňa, plocha povodia k danému profilu, nadmorská výška, sklon toku, využitie pôdy, hydrologické charakteristiky, údaje o využívaní vody v toku a pod).

4. Terénny prieskum

Terénny prieskum sa má vykonávať na miestach, ktoré sa vybrali pomocou mapových podkladov (krok 2). Výnimky sa robia iba v prípade, ak sa v teréne zistí, že v zvolenom mieste nie je možný prístup k vode, resp. k brehom toku, alebo je značne obmedzený. V teréne sa hodnotia jednotlivé parametre a overujú sa charakteristiky určené z mapových podkladov. Hodnotenie sa priamo v teréne zapisuje do protokolu. Terénny prieskum sa má robiť pochôdzkou pozdĺž toku a brodením v toku v hodnotenej prieskumnej jednotke. Pri väčších tokoch sa môže na prieskum použiť aj čln.
Hydromorfologický prieskum sa odporúča vykonávať vo vegetačnom období od júna do septembra v čase malých prietokov.

5. Vyhodnotenie a prezentovanie výsledkov

Hodnotenie sa zaznamenáva do sprievodného protokolu a do vyhodnocovacieho protokolu.

Sprievodný protokol obsahuje základné identifikačné údaje o prieskumnej jednotke, informačné údaje o toku, povodí, pririečnej zóne a inundačnom území.

Vo vyhodnocovacom protokole sa hodnotené parametre členia do štyroch, resp. piatich kategórií: tvar koryta, vlastnosti toku, brehová a pririečna zóna a parametre inundačného územia. Piatou kategóriou je hodnotenie hydrologického režimu; táto kategória sa hodnotí samostatne. Zoznam parametrov v sprievodnom a vo vyhodnocovacom protokole je uvedený v tabuľkách 1 a 2.

Každému parametru sa priradí skóre od 1 do 5, kde 1 označuje najlepší stav, t.j. stav najbližší prirodzenému, historickému stavu a 5 označuje najhorší stav, t.j. stav silno ovplyvnený zásahom človeka, s málo prírodnými vlastnosťami. Skóre pre každý parameter sa priemeruje za prieskumnú jednotku (ak sa hodnotenie vykonáva na úrovni SSU) a hodnoty parametrov SU v rámci každej zo štyroch kategórií sa priemerujú, aby sa získalo skóre pre kategóriu SU. Výsledné morfologické skóre je tvorené priemerom hodnôt morfologických kategórií (1 – 4). Výsledné morfologické a hydrologické skóre sa použijú na určenie morfologických a hydrologických tried kvality. Hodnotenie kvality je v súlade s Európskou normou a Rámcovou smernicou o vodách navrhnuté do 5 tried kvality (tabuľka 3 – Triedy hydromorfologickej kvality).

Tab. 1 Parametre zahrnuté v sprievodnom protokole

Tab. 1 Parameters included in the site protocol

Parameter	Popis / zdroj informácie
1 IDENTIFIKÁCIA	
1.1 Názov toku	Názov
1.2 Názov miesta	Názov
1.3 Riečny kilometer	Číslo
1.4 Číslo toku / miesta	Číslo
1.5 Názov riečneho systému	Názov
1.6 Číslo mapy	Číslo
1.7 Rád toku	Číslo
1.8 Zemepisná šírka	Súradnica
1.9 Zemepisná dĺžka	Súradnica
1.10 Nadmorská výška (m n.m.)	Číslo
1.11 Typ toku podľa šírky	Typ
1.12 Riečny typ (WFD)	Typ
1.13 Nákres / foto	Obrázok
1.14 Prieskum vykonal	Meno
1.15 Číslo certifikátu	Číslo
1.16 Dátum prieskumu	Dátum
1.17 Využitie toku	Typ
2 PARAMETRE KORYTA A MIESTA	
2.1 Plocha povodia	Mapa alebo GIS
2.2 Vzdialenosť ku prameňu	Mapa alebo GIS
2.3 Priemerný sklon koryta	GIS alebo mapa
2.4 Typ priečneho profilu koryta	Typ
2.5 Stabilizácia brehov	Terénny prieskum / Typ
2.6 Rozmery priečneho profilu	Terénny prieskum
2.7 Hĺbka / variácia hĺbky	Číslo / Typ
2.8 Množstvo makrofytov	Typ
2.9 Pôdorys koryta (súčasný)	Typ
2.10 Typ údolia	Typ
2.11 Prítomnosť migračných bariér	Terénny prieskum / znalosť experta

3 PRIRIEČNA ZÓNA A INUNDAČNÉ ÚZEMIE	
3.1 Nepôvodná vegetácia v 20m pririečnej zóne	Terénny prieskum / Typ
3.2 Prevládajúce využitie pôdy v inundačnom území	Terénny prieskum
4 CHARAKTERISTIKY POVODIA	
4.1 Prevládajúca geológia	Mapa alebo GIS
4.2 Prevládajúci typ pôdy	Mapa alebo GIS
4.3 Prevládajúce využitie pôdy	Mapa alebo GIS
4.4 Topografia povodia (min. a max.)	Mapová analýza
5 HYDROLOGICKÉ PODMIENKY	
5.1 Priemerný prietok	Rady údajov
5.2 Zmeny v hydrologickom režime	Terénny prieskum / Znalosť experta

Tab. 2 Zoznam parametrov zahrnutých do vyhodnocovacieho protokolu

Tab. 2 List of parameters included in the protocol

Kategória/Parameter	Spôsob získania	Skóre sa hodnotí pre:
1 PÔDORYS KORYTA		
1.1 Kľukatosť	Mapa / Terénny prieskum	SU
1.2 Typ koryta	Mapa / Terénny prieskum	SU
1.3 Skrátenie toku	Mapa / Terénny prieskum	SU
2 TOK		
2.1 Prvky dna	Terénny prieskum	SSU
2.2 Dnové substráty	Terénny prieskum	SSU
2.3 Priestorová variácia šírky	Mapa / Terénny prieskum	SU
2.4 Typy prúdenia	Terénny prieskum	SSU
2.5 Veľké zvyšky dreva	Terénny prieskum	SU
2.6 Umelé prvky v dne	Terénny prieskum	SSU
3 BREHY /PRIRIEČNA ZÓNA		
3.1 Pririečna vegetácia	Terénny prieskum	SSU Ľ / P
3.2 Stabilizácia brehov	Terénny prieskum	SSU Ľ / P
3.3 Brehový profil	Terénny prieskum	SSU Ľ / P
4 INUNDAČNÉ ÚZEMIE		
4.1 Zaplavované územie	Mapa / Terénny prieskum	SSU Ľ / P
4.2 Vegetácia v inundácii	Mapa / Terénny prieskum	SSU Ľ / P
5 HYDROLÓGIA		
5.1 Priemerný prietok	Údaje / iné informácie	SU
5.2 Nízke prietoky	Údaje / iné informácie	SU
5.3 Rozsah vodných stavov	Údaje / iné informácie	SU
5.4 Časté kolísanie prietokov	Údaje / iné informácie	SU

Tab. 3 Triedy hydromorfologickej kvality

Tab. 3 The hydromorphological quality classes

Trieda hydromorfologickej kvality		Rozsah skóre	Farebné označenie
1	Veľmi dobrá	1.0 – 1.7	Modrá
2	Dobrá	1.8 – 2.5	Zelená
3	Priemerná	2.6 – 3.4	Žltá
4	Zlá	3.5 – 4.2	Oranžová
5	Veľmi zlá	4.3 – 5.0	Červená

Spôsob hodnotenia parametrov vo vyhodnocovacom protokole

Pôdorys koryta

Kľukatosť

Kľukatosť sa zistí meraním dĺžky koryta na mape a jej predelením dĺžkou údolia (Obr. 8). Kľukatosť (SI) sa počíta z nasledujúcej rovnice:

SI = Vzdialenosť v koryte toku : priama vzdialenosť pozdĺž dna riečneho údolia

Hodnoty SI z historickej mapy a z novej mapy sa porovnajú a pomocou tabuľky uvedenej v metodike sa stanoví skóre.

Typ koryta

Parameter sa hodnotí podľa zmeny typu koryta toku (jednoduché koryto, paralelné korytá alebo divočiaci tok) oproti minulosti. Ak sa stav nezmenil, je priradené skóre 1; ak sa zmenil od divočiaceho toku, alebo paralelných korýt k jednoduchému korytu, skóre sa podľa miery zmeny zhoršuje.

Skrátenie toku

Skrátenie toku sa meria na mapách. Vyjadruje sa ako percentuálna hodnota pôvodnej dĺžky koryta. Skóre sa určuje pomocou tabuľky uvedenej v metodike. Ak sa skrátenie koryta nedá zhodnotiť (absencia historických máp) a logicky sa dá usúdiť, že sa koryto toku skrátilo alebo inak zmenilo, hodnota skóre je 3.

Tok

Parametre toku sa hodnotia v teréne a obsahujú niekoľko parametrov súvisiacich so súčasnými podmienkami v toku a v dne koryta. Skúmajú sa z toku. Všetky vlastnosti toku sa vyhodnocujú v rozsahu SSU. Po zhodnotení vlastností toku sa najskôr spriemerujú skóre zo všetkých SSU a potom sa vypočíta skóre vlastností toku ako priemer skóre udaných pre SU.

Dnové prvky

Hodnotenie parametra závisí od počtu jednotlivých prvkov dna, ako sú ostrovy, rôzne lavicové formy a pereje (skalné lavice). Malý počet dnových prvkov v hodnotenom úseku skóre zhoršuje.

Dnové substráty

Hodnotenie sa vykonáva pri brodení v toku. Prirodzený dnový substrát sa hodnotí spočítaním počtu rôznych typov (skalné podložie, balvany, kamene, štrk, piesok, blato, íl, rašelina), ktoré pokrývajú viac ako 5% dna v SSU.

Variácia šírky

Variácia šírky je definovaná ako najväčšia omočená šírka predelená najmenšou omočenou šírkou v rámci SU v čase prieskumu. Šírkou sa rozumie vzdialenosť z pravého brehu k ľavému brehu kolmá na prúdnicu, nezávisle na tom, či sa v priečnom profile vyskytujú ostrovy. Pre veľké rieky sa hodnota stanoví z topografických máp alebo z leteckých fotografií. Pre menšie toky sa variácia šírky meria v teréne. Najmenšia a najväčšia šírka toku sa merajú v každej SSU a doplnia sa do vyhodnocovacieho formulára. Vypočíta sa pomer medzi najväčšou a najmenšou šírkou berúc do úvahy všetky merania v rámci všetkých SSU. Skóre sa určí z tabuľky.

Typy prúdenia

Parameter je hodnotený podľa počtu vyskytnutých sa typov prúdenia (vodopád, sklz, chaotické prúdenie, stojaté vlny, zvlnené, vyvierajúce a pokojné prúdenie, nebadateľné prúdenie)

v danom záujmovom úseku toku. Každý z typov prúdenia je započítaný len jedenkrát. Na základe počtu typov prúdenia sa z pomocnej tabuľky určí skóre.

Veľké zvyšky dreva

Parameter je hodnotený počtom napadaných kusov dreva v danom úseku toku (zvyškov stromov) v koryte toku, ktoré sú dlhšie ako 3m alebo majú priemer väčší ako 30cm. Nakoniec sa spočíta množstvo zo všetkých sub-jednotiek a prepočíta sa množstvo napadaných kusov dreva na jeden kilometer. V tabuľke sa pre daný počet odčíta skóre.

Umelé dnové prvky

Parameter zahŕňa konštrukcie ako je prievoz, vystuženie dna, paralelné konštrukcie, výhony, zemné prahy, križovanie s rúrami a kolmatácia. Umelé prvky v dne sú vždy vyrobené z umelých materiálov, ktoré nie sú endemické pre daný tok. Skóre sa udáva podľa dĺžky ovplyvneného toku.

Brehy a pririečna zóna

Prirodzená pribrežná vegetácia

Hodnotenie vychádza z percentuálneho pokrytia pririečnej zóny prirodzenou vegetáciou, umelo vysadenou vegetáciou a umelo vytvorenými prvkami.
Zahŕňa vegetáciu v pririečnej zóne pozdĺž oboch brehov koryta. Pririečna zóna je tu definovaná ako 20 metrov široký pás s nižším okrajom na úrovni brehu plného koryta. Ostrovy sa nezapočítavajú do prieskumu. Treba si uvedomiť, že v prípade stromov sa uvažuje plocha koruny stromu, nie kmeň stromu.

Stabilizácia brehov

Parameter sa používa na hodnotenie obmedzenia prirodzenej bočnej dynamiky spôsobeného stabilizovanými brehmi. Vykonáva sa oddelené hodnotenie pre ľavý a pravý breh. Prieskum sa vykonáva v teréne a vykonáva sa v každej z 5 sub-jednotiek. Percentuálna dĺžka brehu toku ovplyvnená stabilizačnými konštrukciami sa hodnotí v teréne.

Brehový profil

Hodnotenie je zamerané na dĺžku prirodzených brehov v SSU. Percentuálnym rastom umelých prvkov sa skóre zhoršuje.

Záplavové územie

Záplavová plocha

Hodnotená je veľkosť zaplavovanej plochy porovnaná s historickou. Najlepšie skóre sa pridelí, ak je veľkosť nezmenená, alebo sa záplavová plocha vôbec nevyskytuje a ani sa nevyskytovala. Ak sa veľkosť zaplavovaných plôch umelo znížila (hrádze a pod.), skóre sa zhoršuje.

Vegetácia v záplavovej oblasti

Hodnotí sa výskyt (plošná percentuálna hodnota) prirodzenej vegetácie v záplavovom území.

Hydrológia

V tejto časti sa hodnotia hydrologické charakteristiky (prietok priemerný a minimálny, kolísanie vodných stavov), ich miera ovplyvnenia ľudskou činnosťou (manipulácia na vodných dielach, odbery a pod.). Skóre v tejto kategórii sa nekombinuje so skóre z morfologických kategórií, hodnotí sa oddelene, prípadne sa v prvej fáze môže vynechať.

Pracovníci vykonávajúci hydromorfologické hodnotenie, musia byť predtým na túto činnosť špeciálne zaškolení, prakticky oboznámení so všetkými prvkami jednotlivých parametrov, ktoré sa v hodnotených úsekoch môžu vyskytnúť a preskúšaní, aby sa docielila čo najväčšia objektivita hodnotenia.

Upozornenie: Pri všetkých terénnych prieskumných prácach v toku a v jeho blízkosti sa dôrazne odporúča dbať na bezpečnosť pri práci.

UKÁŽKA HYDROMORFOLOGICKÉHO HODNOTENIA V POVODÍ HORNÉHO VÁHU

Na Slovensku sa začalo robiť hydromorfologické hodnotenie v miestach odberov monitoringu kvality povrchových vôd a na referenčných lokalitách, aby bolo možné analyzovať vzťahy medzi hydromorfologickými a biologickými prvkami kvality tokov, ktoré sú potrebné pre vývoj klasifikačnej schémy pre hodnotenie vôd. Referenčné lokality by mali zodpovedať nenarušenému prirodzenému stavu, alebo sú len minimálne ovplyvnené.

V tabuľke sa prezentujú výsledky morfologického hodnotenia v časti povodia Váhu (horný Váh). V tejto fáze sa hydrologická časť nehodnotila. Sieť odberových miest pre kvalitu vody sa vo veľkej časti nachádza v ovplyvnených lokalitách (pod zaústením odpadových vôd, v ústiach významných tokov), často priamo v obciach, preto je vo výsledkoch hydromorfologického hodnotenia zrejmé silné ovplyvnenie ľudskou činnosťou a umelými úpravami. Referenčné lokality reprezentujú najmenej ovplyvnené oblasti, čo sa prejavuje na výslednom skóre. V prílohe 1 je uvedená mapa s profilmi hydromorfologického hodnotenia v povodí horného Váhu. Jednotlivé profily sú farebne označené podľa výslednej triedy hydromorfologickej kvality.

V prílohe 2 je uvedené hydromorfologické hodnotenie 18 vybraných lokalít na hornom Váhu, z toho je 6 referenčných lokalít (Štiavnica 1 – Liptovský Ján, Revúca – Liptovská Osada, Oravica – Vitanová nad, Vôdky – Jasenská Dolina, Čierny Váh – Liptovská Teplička a Ipoltica – Čierny Váh). Výsledné hydromorfologické skóre u týchto staníc sa pohybovalo od 1,18 do 1,41, tzn. že sú všetky zatriedené do najlepšej triedy kvality (1 – „veľmi dobrá“).

Z ostatných 12 lokalít bolo 5 vyhodnotených v druhej triede kvality („dobrá“), 3 lokality v tretej triede kvality („priemerná“), 3 lokality v štvrtej triede kvality („zlá“) a 1 lokalita v najhoršej triede kvality („veľmi zlá“). Najhoršie výsledné skóre bolo v lokalite (Revúca – Ružomberok). Ide o upravený tok, v intraviláne obce, s umelo opevnenými svahmi (Obr. 1 Lokalita : Revúca - Ružomberok), čo spôsobuje nepriaznivé skóre vo všetkých štyroch morfologických kategóriách.



Obr. 1 Lokalita: Revúca – Ružomberok

Fig. 1 Survey place: Revúca - Ružomberok

Aj lokality s výsledným hodnotením 4. trieda - „zlá“ kvalita (Biely Váh – Važec, Orava – VN Tvrdošín a Váh - Pod Krpeľanmi) získali nepriaznivé skóre najmä vďaka tomu, že ich korytá sú v skúmanom úseku upravované (čím sa tok skrátil, zmenila sa jeho kľukatosť, má umelo spevnené brehy, nízku variáciu šírky toku a kvôli povodňovej ochrane zamedzené zaplavovanie bývalých inundačných oblastí).

V ďalšej fáze hydromorfologického hodnotenia sa v súčinnosti s metodikou bude vykonávať hydromorfologický prieskum vo vybraných lokalitách jednotlivých vodných útvarov. Tieto lokality sa budú vyberať v reprezentatívnom úseku daného vodného útvaru, mimo intravilánov obce, preto sa dá očakávať značne priaznivejšie výsledné skóre a prislúchajúce triedy kvality. Horšie hodnotenie sa dá očakávať na niektorých väčších tokoch, ktoré sú na dlhších úsekoch ohrádzované z dôvodu ochrany pred povodňami, ďalej toky s upravenými korytami, ktorých pôdorysný tvar oproti historickému bol napriamený a skrátený a pod.

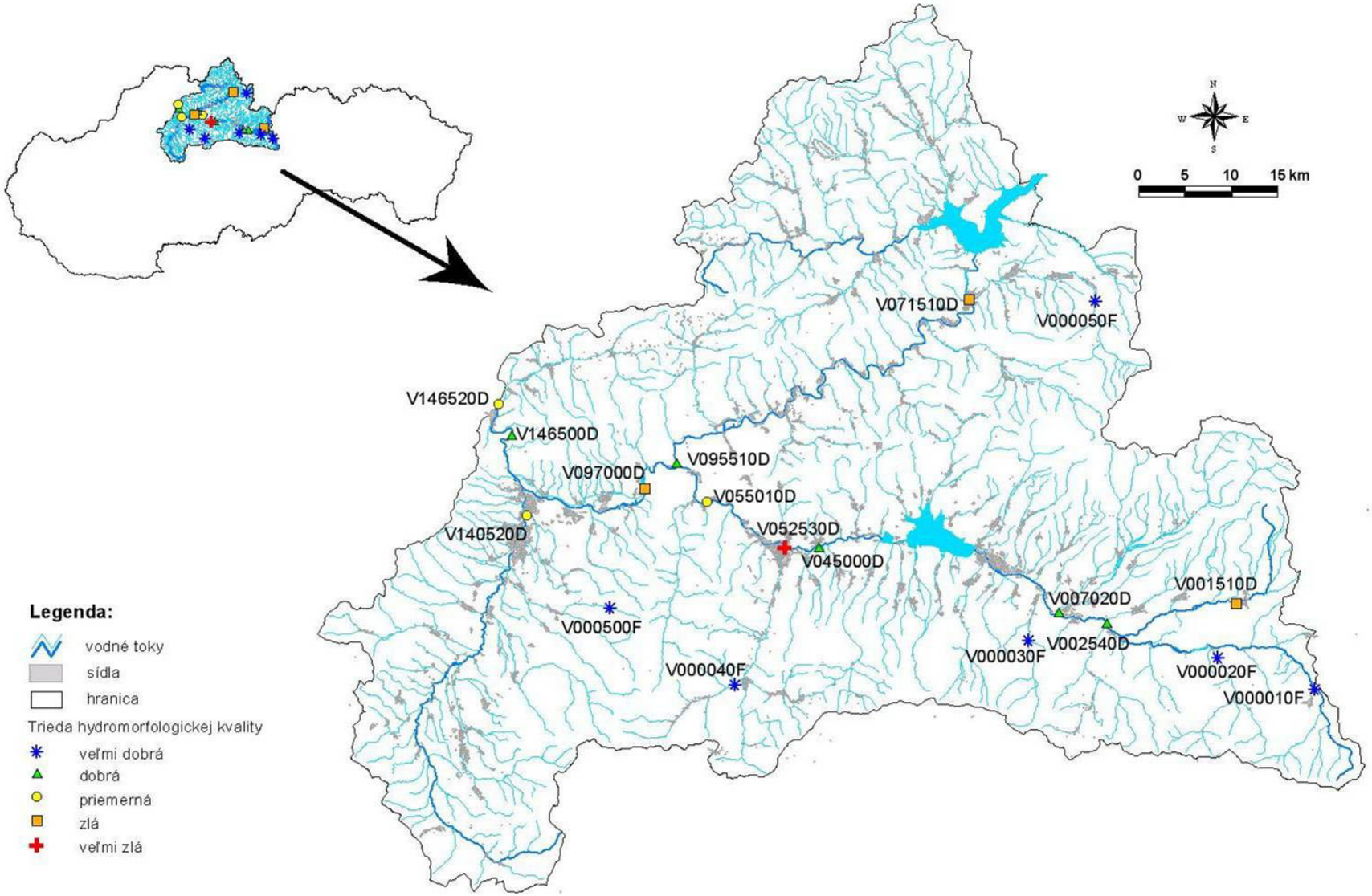
Autori

Ing. Lotta Blaškovičová, Ing. Renáta Magulová

SHMÚ, Jeséniova 17, Bratislava 833 15

lotta.blaskovicova@shmu.sk , renata.magulova@shmu.sk

Príloha 1: Profily hydromorfologického hodnotenia (v povodí horného Váhu)



Príloha 2 Hydromorfologické hodnotenie 18 vybraných lokalít na hornom Váhu

			1.Pôdorys koryta				2. Tok						
Kód toku	Názov toku	Názov miesta	1.1 Kľukatosť	1.2 Typ koryta	1.3 Skrátenie toku	**Skóre pôdorysnných parametrov toku**	2.1 Dnové prvky	2.2 Dnový substrát	2.3 Variácia šírky	2.4 Typy prúdenia	2.5 Veľké zvyšky dreva	2.6 Umelé dnové prvky	**Skóre charakteristík toku**
V000010F	Čierny Váh	Liptovská Teplička	1	1	1	**1,0**	4,4	1,4	1	1,2	1	1	**1,7**
V000020F	Ipoltica	Čierny Váh	1	1	1	**1,0**	1	1	3	2	2	1	**1,7**
V001510D	Biely Váh	Važec	5	3	5	**4,33**	2	1,6	3	1,4	5	1	**2,33**
V007020D	Belá	Liptovský Hrádok	1	1	1	**1,00**	1	2	4	2,4	1	1	**1,90**
V002540D	Váh	Nad Liptovským Hrádkom	4	1	3	**2,67**	1	1	3	2,6	1	1,2	**1,63**
V000030F	Štiavnica-1	Liptovský Ján	1	1	1	**1,00**	1	1,2	2	1	1	1	**1,20**
V045000D	Váh	Lisková	4	1	3	**2,67**	4,8	2	3	1,4	4	1	**2,70**
V000040F	Revúca	Liptovská Osada	1	1	1	**1,00**	1,4	1,6	3	2,2	1	1	**1,70**
V052530D	Revúca	Ružomberok	5	1	5	**3,67**	5	2	5	2	5	2	**3,50**
V055010D	Váh	Hubová	4	1	3	**2,67**	5	2	3	2,6	3	1	**2,77**
V000050F	Oravica	Vitanová nad	1	1	1	**1,00**	1	1	3	1	1	1	**1,33**
V071510D	Orava	VN Tvrdošín	4	1	3	**2,67**	5	2	5	3,2	4	1,6	**3,47**
V095510D	Orava	Kraľovany	1	1	1	**1,00**	4,8	2	4	3	3	1	**2,97**
V097000D	Váh	Pod Krpeľanmi	5	3	5	**4,33**	1,2	1,8	4	3,4	1	1,8	**2,20**
V000500F	Vôdky	Jasenská Dolina	1	1	1	**1,00**	1,6	1	3	1	1	1	**1,43**
V140520D	Turiec-1	Vrútky	4	1	3	**2,67**	4	3	3	2,6	4	1	**2,93**
V146500D	Váh	Dubná Skala	1	1	1	**1,00**	1,4	1	4	3,2	3	1	**2,27**
V146520D	Varínka	Varín	4	1	3	**2,67**	1,4	1,8	3	1,8	3	1	**2,00**

			3. Brehy a pririečna zóna				4. Záplavové územie					
Kód toku	Názov toku	Názov miesta	3.1 Prirodzená príbrežná vegetácia	3.2 Stabilizácia brehov	3.3 Brehový profil	**Skóre svahov a pririečnej zóny**	4.1 Zaplavovaná plocha	4.2 Vegetácia v záplavovej oblasti	**Skóre Záplavového územia**	**Skóre hydromorfologickej kvality**	**Trieda hydromorfologickej kvality**	
V000010F	Čierny Váh	Liptovská Teplička	1,8	1	1	**1,3**	1	1,2	**1,1**	**1,26**	1	High
V000020F	Ipoltica	Čierny Váh	2,2	2,2	2,2	**2,2**	1,8	1,8	**1,8**	**1,67**	1	High
V001510D	Biely Váh	Važec	4	3	4	**3,67**	5	5	**5**	**3,833**	4	Poor
V007020D	Belá	Liptovský Hrádok	2	3	3	**2,67**	2,2	2,7	**2,45**	**2,004**	2	Good
V002540D	Váh	Nad Liptovským Hrádkom	3	1	2	**2,00**	2	2	**2**	**2,075**	2	Good
V000030F	Štiavnica-1	Liptovský Ján	1	1	1	**1,00**	1,5	1,5	**1,5**	**1,175**	1	High
V045000D	Váh	Lisková	2,8	2	1	**1,93**	1	4	**2,5**	**2,450**	2	Good
V000040F	Revúca	Liptovská Osada	1,2	1	1	**1,07**	1,6	1,6	**1,6**	**1,342**	1	High
V052530D	Revúca	Ružomberok	5	5	5	**5,00**	5	5	**5**	**4,292**	**5**	**Bad**
V055010D	Váh	Hubová	3	1,5	1,5	**2,00**	5	5	**5**	**3,108**	3	Moderate
V000050F	Oravica	Vitanová nad	3	1	1	**1,67**	1	2	**1,5**	**1,375**	1	High
V071510D	Orava	VN Tvrdošín	4	3	4	**3,67**	5	5	**5**	**3,700**	4	Poor
V095510D	Orava	Kraľovany	1,4	1,2	1	**1,20**	2	2	**2**	**1,792**	2	Good
V097000D	Váh	Pod Krpeľanmi	3	3,1	3,8	**3,30**	5	5	**5**	**3,708**	4	Poor
V000500F	Vôdky	Jasenská Dolina	1,6	1	1	**1,20**	2	2	**2**	**1,408**	1	High
V140520D	Turiec-1	Vrútky	4	3	4	**3,67**	4	5	**4,5**	**3,442**	3	Moderate
V146500D	Váh	Dubná Skala	2	1	1	**1,33**	2,5	2,5	**2,5**	**1,775**	2	Good
V146520D	Varínka	Varín	4	1	1	**2,00**	5	5	**5**	**2,917**	3	Moderate

VYHODNOCENÍ SNĚHOVÝCH ZÁSOB A ODTOKU Z TÁNÍ V BŘEZNU ROKU 2005 V ČR

Jan Daňhelka, Pavla Řičicová

V průběhu února a března 2005 došlo v České republice k akumulaci relativně velkého množství vody ve formě sněhové pokrývky. Následně vznikly obavy z možnosti vzniku velké povodně v případě prudkého jarního tání. Z toho důvodu ČHMÚ zpracoval několik podrobných analýz sněhových zásob a možností vzniku jarních povodní, které byly podkladem pro uklidnění a pragmatické řešení nastalé situace. Příspěvek hodnotí sněhové zásoby a proběhlé tání v březnu 2005.

Klíčová slova: jarní povodně, sněhové zásoby, vodní hodnota sněhu, Česká republika

Evaluation of the snow cover and snow melting runoff in the Czech Republic in March 2005. *Snow water equivalent of the snow cover accumulated in the Czech Republic reach relatively high values in February and March 2005. Therefore the possibility of development of great snow melting flood was largely discussed in media and general public. CHMI analyzed the situation and prepared special reports on snow cover development and expected snow-melting runoff. These analyses showed that the probability of extreme flood is very low and were very valuable in preparation for flood. This article brings the evaluation of the situation from the point of view of snow cover and melting flood in March 2005.*

Key words: snow melting floods, snow cover, snow water equivalent, Czech Republic

---

ÚVOD

Průběh zimního období 2004/05 byl mimořádný z hlediska množství sněhových zásob, které v první polovině března dosáhly relativně velkých hodnot. Právě výrazně nadprůměrné množství sněhu vedlo k obavám z možného rozsáhlého a prudkého tání a tedy z nebezpečí vzniku povodňové situace.

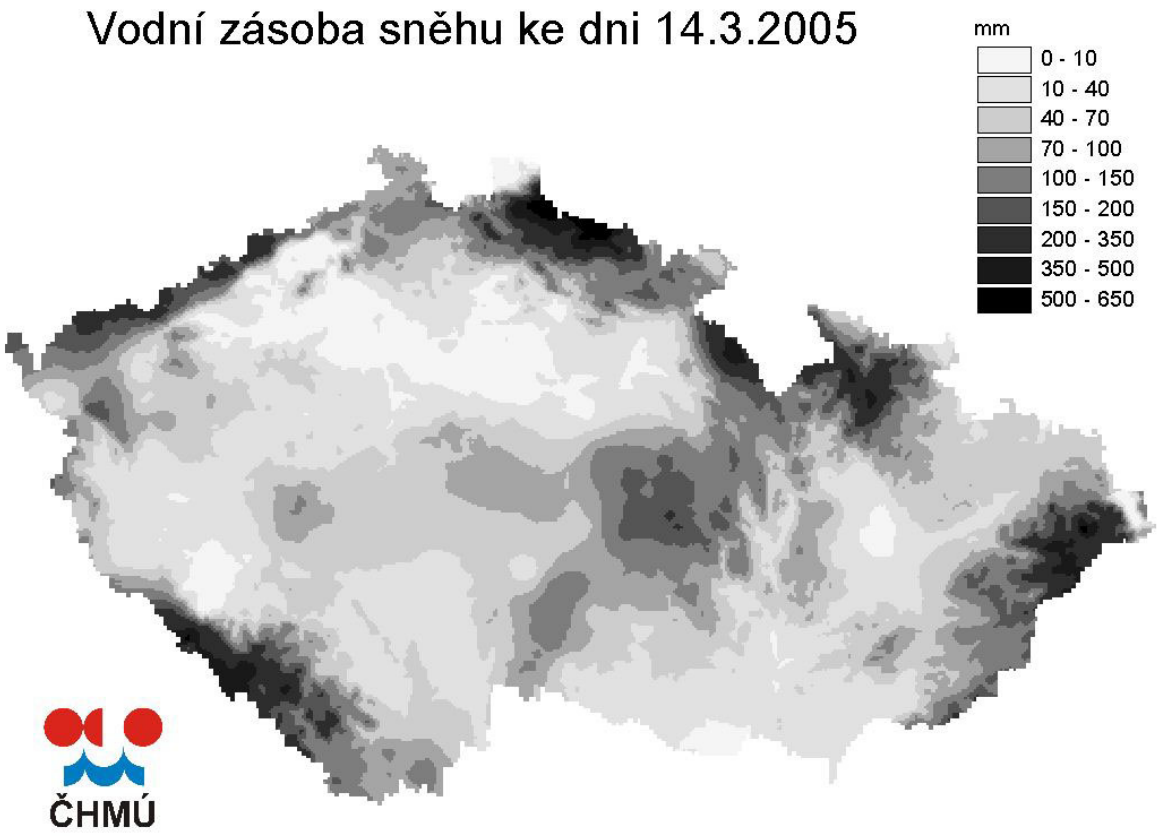
SNĚHOVÉ ZÁSOBY

ČHMÚ operativně měří a zpracovává informace o zásobě vody ve sněhové pokrývce na více než 300 místech v ČR jedenkrát týdně. Měření je pravidelně vyhodnocováno a počítá se množství vody akumulované ve sněhové pokrývce na určitém území (většinou jde o povodí významných nádrží, např. Lipno, Orlík, Nechranice, Vranov apod.). Tyto informace jsou pravidelně předávány státním podnikům Povodí a jejich dispečinky zohledňují tyto informace při rozhodování o preventivním prázdnění nádrží.

Zima 2004/05 byla charakteristická malým množstvím sněhu v průběhu prosince a počátku ledna. Ještě v polovině ledna se vyskytlo období výrazně nadnulových teplot s denními maximy přes 10°C. Sněhová pokrývka tak přetrvala pouze v horských polohách (nad 1000 metrů). Následně došlo k odtokové situaci způsobené dešťovými srážkami ve dnech 20. až 21.1.2005 s dosažením až 3. SPA na Radbuze. Další odtoková událost se odehrála ve druhé únorové dekádě, kdy byly dosaženy 3. SPA na Teplé Vltavě, Lužnici, Sázavě, Mži Radbuze, Klabavě, Úslavě a dolním Labi, přitom u menších toků byl průběh často komplikován ledovými jevy. Následně v únoru a na počátku března došlo k několika přechodům frontálních systémů, které přinesly vydatné srážky ve formě sněžení i do středních a nižších poloh. Díky faktu, že nedošlo k dalším obdobím oteplení a roztátí akumulovaného sněhu, celkové zásoby vody ve sněhové pokrývce neustále rostly a sníh přetrvával i ve středních a nižších polohách.

Maximálních hodnoty množství sněhu a vodní hodnoty sněhu byly naměřeny v pondělí 14.3.2005. Většinou šlo o největší sněhové zásoby naměřené a vyhodnocené od roku 1968. Poté došlo k oteplení

spojeném s vypadávání dešťových srážek, což mělo za následek prudké snižování sněhových zásob a to především ve středních a nižších polohách.

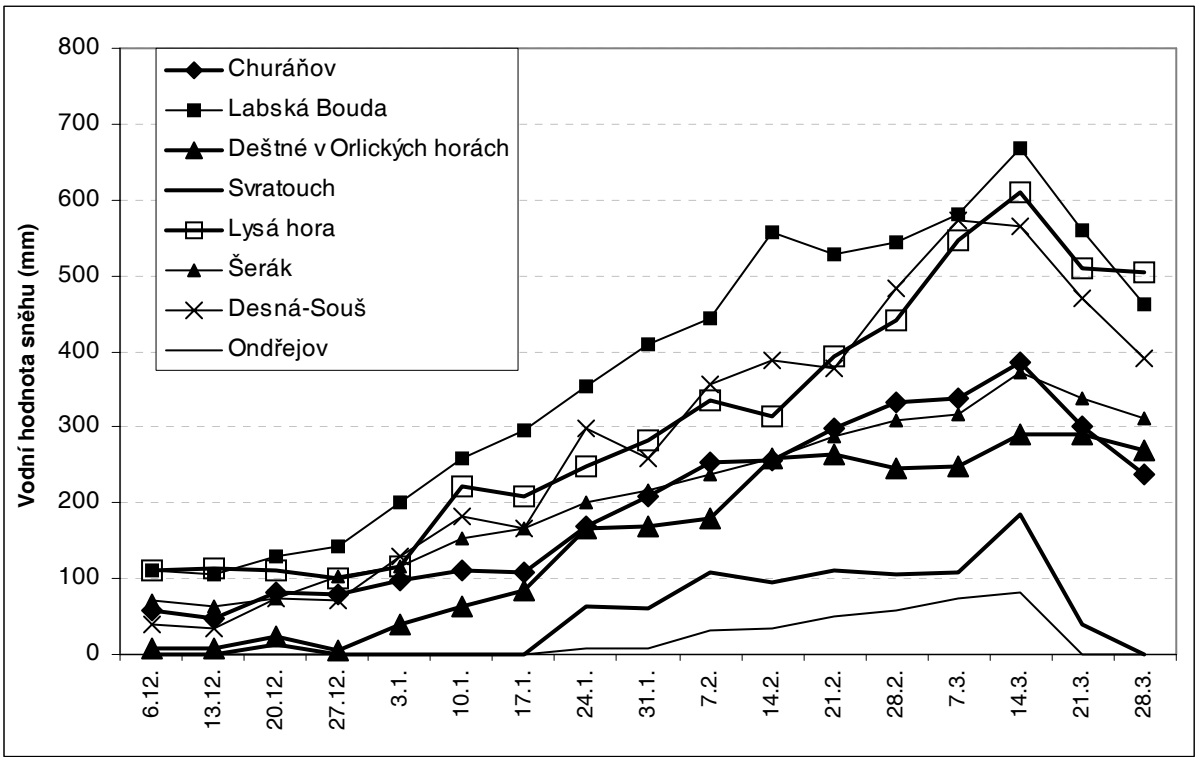


Obr. 1 Vodní hodnota sněhu k 14.3. 2005

Fig. 1 Snow water equivalent (14th of March 2005)

V průběhu hlavní odtokové reakce (v týdnu od 14.3. do 21.3.2005) došlo k roztátí a odtoku velké části akumulovaného sněhu na území ČR. Odtál především sníh ležící ve středních a nižších polohách. Zatímco v úterý 15.3.2005 byla sněhem pokryta většina našeho území s výjimkou Polabí, dolního Poohří a moravských úvalů (tedy nejnižších částí našeho území). O šest dní později 21.3.2005 se sněhová pokrývka udržovala již pouze v horských polohách (Jizerské hory, Krkonoše a podkrkonoší, Orlické hory, Jeseníky, Beskydy, Šumava, Krušné hory a vrcholové oblasti Českomoravské vrchoviny).

Množství vody akumulované ve sněhu za zmiňované období pokleslo v nižších a středních polohách o 60 až 100 %, v horských oblastech úbytek činil většinou 5 až 30 %. Celkové zásoby v jednotlivých hodnocených povodích poklesly o 39 až 100 % (VD Lipno o 39 %, VD Orlík o 67 %, povodí Berounky o 83 %, Labe po Přelouč 59 %, VD Nechranice o 59 %, VD Vranov 100 %, VD Šance o 18 %). Zásoby sněhu ve vyhodnocovaných povodích tak poklesly většinou na zanedbatelné, nebo pro jarní období normální hodnoty. Celkově na území ČR poklesla průměrná vodní hodnota sněhové pokrývky ze 67 mm na 24 mm, odtálo tedy téměř 65 % celkových sněhových zásob.



Obr.2 Průběh pozorovaných vodních hodnot sněhu na vybraných stanicích.

Fig. 2 Course of observed Snow water equivalents in selected meteorological stations

MOŽNOSTI VZNIKU VELKÝCH JARNÍCH POVODNÍ

Velké sněhové zásoby v povodí nejsou samy o sobě jednoznačnou příčinou vzniku velkých povodní. Na průběh tání a formování jarních povodní mají velký vliv další faktory, především vývoj a rozdělení nárůstu teplot vzduchu (v čase, ploše i nadmořské výšce) a vývoj a rozdělení dešťových srážek, pokud se vyskytnou ve větší míře během tání. Důležitým faktem je rovněž skutečnost, že voda akumulovaná ve sněhu nikdy neodteče všechna (část sublimuje, či se vypaří, část doplňuje zásobu podzemních vod).

Většina velkých jarních povodní byla způsobena táním sněhu v kombinaci s intenzivními dešťovými srážkami. Navíc pro vznik velkých povodní jsou rozhodující zásoby sněhu v nižších a středních polohách (které nedosahovaly extrémních hodnot). Příznivým faktorem v březnu 2005 bylo, že půda pod sněhem nebyla promrzlá. Před napadnutím sněhu totiž převládaly výrazně nadnulové teploty.

Velkoplošné extrémní zimní povodně postihující celé povodí Vltavy, respektive Labe se vyskytly v historické době zejména v 18. a v první polovině 19. století. Například v Praze na Vltavě byly s kulminací povodně dosahující 100 l.p. zaznamenány v letech 1784, 1845 a také v roce 1862. Ve všech těchto případech byly podmínky vedoucí k povodním mnohem nepříznivější než v březnu 2005. V uvedených letech došlo před napadnutím sněhu k hlubokému promrznutí půdy a tak téměř veškerá tající voda ze sněhu přímo po povrchu odtékala, aniž by docházelo k její infiltraci. Zmiňované povodně se pak zejména vyznačovaly extrémním množstvím sněhu akumulovaným v nižších a středních polohách (několikanásobně větším než v roce 2005), který naráz roztál při intenzivních dešťových srážkách.

Za posledních 50 let úroveň neškodného průtoku Prahou (1500 $m^3.s^{-1}$) překročila pouze jediná zimní povodeň v roce 1981 – extremita kulminace přitom dosáhla 5-leté povodně (l.p.). Největší zimní povodeň ve 20. století se vyskytla v roce 1940 (cca 3200 $m^3.s^{-1}$ – téměř 50 l.p.), tedy ještě v době neexistence nádrží Vltavské kaskády. Kaskáda v současné době, kromě zachycení části povodňové vlny, pozitivně působí také na eliminaci problémů s ledovými krami a bariérami.

HYDROMETEOROLOGICKÁ SITUACE V BŘEZNU 2005

Od 14. března začala nad jižní Evropou mohutnět oblast vysokého tlaku vzduchu, po jejíž severní straně k nám postupně začal proudit teplejší vzduch od západu až jihozápadu a naše území jen velmi okrajově ovlivňovaly frontální systémy postupující z Atlantiku přes západní Evropu dále k severovýchodu. Vliv tlakové výše nad jižní Evropou se projevil především úbytkem srážek a postupně rovněž úbytkem oblačnosti, což spolu s teplejším západním prouděním mělo za následek vzrůst průměrných denních teplot od 14. do 18. března z hodnot kolem 0°C na teploty mezi 5 až 8°C (maximální denní teploty se 18. března pohybovaly mezi 10 až 18°C). Takovýto rychlý nárůst teplot znamenal poměrně rychlé odtávání bohaté sněhové pokrývky nejen v nížinách, ale vzhledem ke kladným maximálním denním teplotám také na horách.

Odtoková situace

Na území ČR došlo ve třetím březnovém týdnu ke všeobecnému zvýšení průtoků. Přitom na tocích horského charakteru (Labe v Labské, Úpa, Teplá Vltava, Černá, Vydra, nejhořejší Morava) byly maximální dosažené vodnosti malé, většinou na úrovni 30-denního průtoku*. Zde se projevila schopnost velké vrstvy sněhu akumulovat vodu z dešťových srážek a z tající povrchové vrstvy sněhové pokrývky. Relativně malá vodnost (60-denní průtok) byla zaznamenána také na Mrlině, tedy na toku, který jako jediný ze sledovaných toků patřil z velké své části před povodní k území bez sněhové pokrývky.

Maximální stavy byly zaznamenány na horských a menších tocích většinou v noci z pátku (18.3.) na sobotu (19.3.), či v průběhu soboty, na větších tocích pak v průběhu neděle (20.3.) až pondělí (21.3.).

Celkově v průběhu povodně byly dosaženy maximálně průtoky odpovídající 5-leté vodě, pouze ojediněle v povodí Sázavy, Moravy a Dyje byly zaznamenány 10-leté vody.

V **povodí Labe** byly relativně největší průtoky podle doby opakování kulminačního průtoku (5-letá voda) zaznamenány na Metuji v Maršově nad Metují, Tiché Orlici v Dolních Libchavách, Výrovce, Lužnici v Pilaři, Nežárce v Lásenicích, Skalici ve Varvažově, Želivce v Poříčí a Teplé v Březové. Na Sázavě ve Zruči nad Sázavou byl zaznamenán maximální průtok odpovídající 10leté vodě. Nejvíce postiženy tedy byly toky a úseky ve středních nadmořských výškách. Na ostatních tocích byly zaznamenány kulminace do 2-leté vody, nebo nižší..

V **povodí Odry** byly maximální dosažené průtoky na úrovni 2-leté vody nebo nižší. Výjimkou byla pouze Stěnava v Otovicích s 5-letým průtokem.

V **povodí Moravy a Dyje** dosáhly maximální průtoky úrovní do 5-leté vody. V horní části povodí Moravy (Moravská Sázava, Třebůvka a Morava v Moravičanech), dále na Moravě ve Strážnici a na Dyji nad VD Vranov (Moravská Dyje a Dyje v Podhradí) kulminační průtoky odpovídaly 10-leté vodě.

Vzhledem k rozložení sněhových zásob a charakteru oblevy byly všeobecně dosaženy **stupně povodňové aktivity** na většině sledovaných toků. Výjimkou byly jen některé horské toky (např. Úpa, horní Jizera, Malše, horní Otava, Desná a nejhořejší Labe a Morava) a úseky ovlivněné provozem vodních děl (např. Ohře pod Skalkou a Nechranicemi, Vltava pod Lipnem, střední Vltava, Mže, Dyje ve Vranově, Svratka ve Víru aj.).

Třetí stupně povodňové aktivity byly zaznamenány ve 31 stanici sledované ČHMÚ - v povodí Tiché Orlice a na spojené Orlici, na Labi v Němčicích, Chrudimce v Nemošicích, Nežárce a dolní Lužnici, na Sázavě, dolní Střele, dolním Labi, horní Ploučnici, Opavě v Opavě, Stěnavě, Lužické Nise v Hrádku nad Nisou, na horní Moravě (s výjimkou Raškova) a jejích přítocích (s výjimkou Desné), na Moravě ve Strážnici a v celém povodí Dyje s výjimkou vlastní Dyje pod VD Vranov, Svratky ve Víru a Jihlavy v Mohelnu.

ČINNOST ČHMÚ PŘED A V PRŮBĚHU POVODNĚ

ČHMÚ před a v průběhu povodně zabezpečoval předpovědní povodňovou službu v souladu se zněním zákona o vodách č. 245/2001 Sb. a Metodického pokynu MŽP o Hlásné a předpovědní povodňové službě.

Před a v průběhu povodně ČHMÚ vydával výstražné a informační zprávy o hydrometeorologické situaci v rozsahu přesahujícím jejich běžnou formu. Velká pozornost byla věnována zejména analýze sněhových zásob, včetně srovnání s historickými povodněmi a událostmi, a modelování možných scénářů odtoku. Pro účely této zprávy bylo provedeno speciální měření vodní hodnoty sněhu ve čtvrtek 17.3. 2005.

První analýza pro interní potřebu byla vypracována již na konci února. V souvislosti s dalším růstem množství sněhových zásob a se vzrůstajícími obavami z možného nebezpečného vývoje hydrometeorologické situace ČHMÚ vypracoval a vydal 11.3.2005 rozsáhlou informační zprávu.

Ta obsahovala především popis stávajícího stavu sněhových zásob a nasycenosti povodí, vysvětlení principu vzniku a možné nebezpečnosti jarních povodňových situací a shrnutí výsledků provedených modelových simulací, které ukazovaly na fakt, že při běžných srážkových úhrnech spojených s oteplením, nehrozil vznik plošně rozsáhlé extrémní povodně. Simulace poskytly výsledky s maximálními průtoky většinou v rozmezí 1 až 5-leté povodně, maximálně pak až 20-leté povodně. Při extrémních dešťových srážkách (v tomto období velmi málo pravděpodobných) byl simulován přítok do vodního díla Orlík na úrovni 50-leté povodně. Ukázka provedených a prezentovaných simulací možného teoretického vývoje tání pro přítok VD Orlík, Orlici v Týništi je v příloze. Tato zpráva byla poskytnuta orgánům a organizacím zainteresovaným v protipovodňové ochraně, médiím a prostřednictvím internetových stránek ČHMÚ i široké veřejnosti.

S Povodím Vltavy s.p. byla navíc celá situace podrobně konzultována s cílem co nejlepšího využití volných prostorů vodních děl v povodí. Z toho důvodu byly Povodí Vltavy poskytnuty výsledky všech provedených simulací v celém povodí Vltavy výrazně přesahující rámec oficiálně vydávaných zpráv.

Bohužel v některých případech došlo k nepřesné interpretaci vydaných zpráv a do médií tak pronikla například informace o očekávané 50-leté povodni na Vltavě v Praze.

Poté v období 15. až 23.3.2005 následovalo vydání dalších 16 informačních zpráv o hydrometeorologickém vývoji. Přitom zprávy z 15.3. a 18.3. obsahovaly opět výrazně rozšířené informace o stávajících sněhových zásobách a předpokladech odtoku v důsledku oteplení. Zpráva z 22.3. pak již obsahovala první stručné zhodnocení průběhu celé povodně, opět s informacemi o sněhových zásobách a dosažených průtocích.

Před vlastní hlavní odtokovou vlnou bylo dne 18.3.2005 vydáno Upozornění č. 17/05 a dne 19.3.2005 pak Výstraha č. 04/05 informující o nebezpečí dosažení až 3. SPA na celém území ČR.

HYDROLOGICKÉ PŘEDPOVĚDI

Vzhledem k značným sněhovým zásobám, které se vyskytovaly od února na území naší republiky, a to nejenom v horských oblastech, ale i v podhůřích a nížinách a dále i k výskytu ledových jevů na tocích, byly předpoklady, že může dříve nebo později dojít ke komplikacím spojeným s táním sněhu. Z tohoto důvodu již od druhé poloviny února do poloviny března celkem třikrát provedla hydroprognózní pracoviště simulace předpokládaných odtoků na základě stávajících podmínek povodí (zásoby vody ve sněhu, procento pokrytí povodí sněhem, nasycenost půdy, průtoky v tocích) a zvolených variant „budoucích“ srážek a teplot. Na základě zkušeností meteorologů a hydrologů byly voleny dvě varianty srážek.

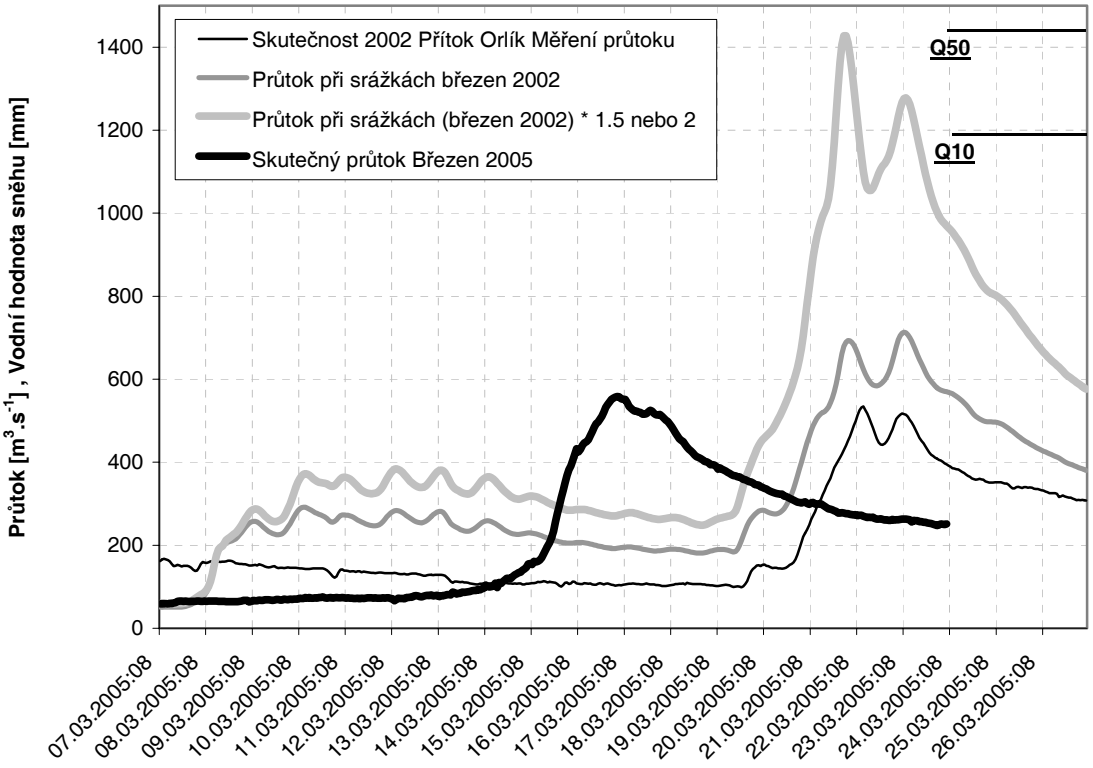
- „reálná“ varianta představovala velké srážky, které mohou v tomto ročním období nastat

- „maximální“ varianta byla zvolena na úrovni 1,5 až 2 násobku „reálných“ srážek.

Třetí možnost, která se nakonec uskutečnila, tání sněhu jen v důsledku relativně vysokých teplot a malých srážek, simulována nebyla.

Z hlediska průtoků byly při „reálné“ variantě, se srážkami od 40 mm pro nižší polohy až po 100 mm v horských oblastech za cca dva dny při teplotách 8 až 12 °C, dosahovány u všech provedených simulací 2. a 3. stupně povodňové aktivity. Z hlediska extremity simulované kulminační průtoky dosahovaly v povodí Labe nejčastěji 1 až 10 l.p., což se v průběhu skutečné povodně potvrdilo, i když vstupní hodnoty byly poněkud jiné – maximální teploty byly vyšší a úhrny srážek naopak menší. V povodí Moravy a Dyje na úsecích neovlivněných nádržemi simulované kulminační průtoky dosahovaly 5 až 20 l.p. Obdobné výsledky pak poskytly i simulace provedené na tocích v povodí Odry.

Varianta s maximálními srážkami, kdy simulace kulminačních průtoků byly na úrovni 5 až (výjimečně) 100-letých průtoků, představovala jakýsi teoretický horní limit.



Obr. 3 Ukázka provedených teoretických simulací a skutečného průběhu povodně pro přítok VD Orlík

Fig. 3 Theoretical simulations and observed inflow of Orlík reservoir

Takto spočítané odhady maximálních průtoků byly předávány vodohospodářským orgánům.

Vyhodnocování zásob vody ve sněhové pokrývce pro významná vodohospodářská díla, stejně tak i pro závěrové profily toků pramenících na horách, je dnes již běžnou rutinou a provádí se pravidelně vždy v pondělí v období se sněhovou pokrývkou. Tyto informace jsou pravidelně předávány státním podnikům Povodí a jejich dispečinky berou tyto informace v úvahu při rozhodování o preventivním prázdnění nádrží.

Vstupem do výpočtů jsou údaje o vodní hodnotě sněhu naměřené v síti stanic ČHMÚ (cca 300), ale v posledních letech jsou brány v úvahu i hodnoty získané ve 14, převážně horských nebo podhorských

stanicích, kde se měří v tzv. „profilech“, ve více bodech na volném prostranství i v lese. Tyto údaje mají pro výpočty mnohem větší reprezentativnost než jednobodová měření. Pro povodí Jizery je využíváno informací z pravidelného každotýdenního profilového měření výšky a vodní hodnoty sněhu pracovníky experimentálního pracoviště OHV v oblasti Jizerských hor a západních Krkonoš. Pro letošní povodeň byly zužitkovány pro vstupy do hydrologického modelu i výsledky expedičních měření, bezprostředně před povodňovou událostí, v Krkonoších a Orlických horách, v povodí Sázavy a ve vybraných lokalitách vodních děl v povodí Moravy, prováděné pracovníky poboček ČHMÚ. Tyto údaje potom také posloužily ke kontrole a updatingu vodní hodnoty generované předpovědním modelem.

Vyhodnocení operativních předpovědí

Před a v průběhu odtokové situace byly vydávány standardně předpovědi průtoků na 48 hodin, a odhad pravděpodobného vývoje s předstihem 120 hodin. Pro tento účel byla meteorology připravována speciální pětidenní předpověď srážek.

Při hodnocení vydaných předpovědí odtoku z tání, je vhodné si připomenout složitost procesu a množství faktorů, které tání ovlivňují (vliv větru, odhad množství sněhu, schopnost sněhu akumulovat dešťové srážky aj.). Tyto faktory způsobují, že předpovědi odtoku z tání sněhu kombinovaného s deštěm jsou obecně nejméně spolehlivé.

Výsledky předpovědí vlivem velké nejistoty vstupů a parametrů modelu v tomto konkrétním případě nebyly bohužel vždy uspokojivé. Model, ačkoliv reagoval velmi dobře z hlediska načasování povodně, velmi často výrazně podceňoval skutečnou velikost průtoku.

Při zpětných simulacích proběhlého tání byly učiněny četné pokusy se změnou sněhových parametrů, aby bylo parné do jaké míry mohl prognostik ovlivnit předpovědi. Výsledky poukázaly na relativně malou významnost parametrů oproti vstupním datům. Podstatný vliv měla však teplota vzduchu v průběhu povodně, kdy kladná změna o 1 °C, vykazovala podstatný nárůst průtoku. Domníváme, se, že právě nepřesnost určení teploty pro potřeby modelu způsobila v operativním provozu podcenění předpovědí.

ZÁVĚR

Situace v březnu 2005 byla významná především akumulováním relativně velkých zásob sněhu ve většině povodí v ČR, které budily obavy z možného nebezpečného vývoje tání. Přitom situace byla velmi podrobně monitorována a dramatizována médii. ČHMÚ před povodní rozpracoval rozsáhlé analýzy situace a možného vývoje jarního tání, které neindikovaly nebezpečí vzniku extrémní povodně. Tyto analýzy a předpovědi byly následně potvrzeny vlastním průběhem povodně. V průběhu povodně jednotlivá pracoviště plnila všechny úkoly a povinnosti dané legislativou a smlouvami.

Literatura:

ČHMÚ (2005): Zpráva o hydrometeorologické situaci v březnu 2005, ČHMÚ, Praha

Autoři

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

ANALÝZA DOPADU VYUŽÍVANIA VODÁRENSKÝCH ZDROJOV PODZÁMČOK A DOBRÁ NIVA NA KVANTITATÍVNY STAV ÚTVAROV POVRCHOVÝCH A PODZEMNÝCH VÔD

Miriam Fendeková, Peter Némethy

Príspevok prezentuje výsledky hydrogeologického výskumu dopadov, ktoré vyvolali odbery podzemnej vody z vodárenských zdrojov Podzámčok a Dobrá Niva na stav útvarov povrchovej a podzemnej vody v povodí povrchového toku Neresnica. Pri analýze vplyvu odberov boli použité metódy dvojitej súčtovej čiary, analýzy časových radov prietokov a klimatických činiteľov ako aj metódy regresnej analýzy. Získané výsledky potvrdili výraznú zmenu prietokov na povrchovom toku Neresnica v dôsledku nadmerných odberov, ktorá sa prejavila hlavne v oblasti nízkych prietokov v čase maximálnych odberných množstiev v druhej polovici osemdesiatych a začiatkom deväťdesiatych rokov. Odbery spôsobili pokles hladiny podzemnej vody do hĺbky viac ako 20 m pod terénom. Zníženie odberov po roku 1993 sa prejavilo na postupnom náraste hladiny podzemnej vody a stabilizácii minimálnych prietokov povrchového toku.

Kľúčové slová: podzemná voda, odbery, minimálne prietoky, ovplyvnenie

Analysis of the impacts of water-supply sources Podzámčok and Dobrá Niva operation on the quantitative stage of surface and groundwater bodies. *Results of the hydrogeological research oriented on impacts of groundwater abstraction from water sources Podzámčok and Dobrá Niva on surface and groundwater bodies in the Neresnica brook catchment are presented in the paper. Methods of double-mass curve, time series analysis of discharges and precipitation, as well as regression analysis were used for assessment of the abstractions impacts. Obtained results confirmed distinct change in Neresnica brook discharges within the time of maximum abstraction values in the second half of 80-ties and early 90-ties of the last century. Abstractions were the cause of groundwater level decrease to the depths of more than 20 meters under the ground surface. Reduction of abstractions after 1993 was followed by gradual increase of groundwater levels and stabilization of minimum discharges in the surface stream.*

Key words: groundwater, abstractions, minimum discharges, influencing

---

ÚVOD

Smernica 2000/60/EC nazývaná Rámcová smernica o vode vytvorila podmienky pre integrovaný prístup k riadeniu ochrany a využívania vôd v rámci EÚ. Stratégiu pre implementáciu tejto smernice v Slovenskej republike schválila vláda SR svojím uznesením č. 46 z 21. januára 2004. Jedným z bodov tohto uznesenia bola aj úloha uložená ministrom životného prostredia, pôdohospodárstva, zdravotníctva a dopravy pôšt a telekomunikácií vytvoriť podmienky vo svojich rezortoch a zabezpečiť plnenie úloh v zmysle stratégie pre implementáciu Rámcovej smernice o vode v SR podľa schváleného harmonogramu prác do 31. decembra 2015. K tomuto termínu sa má vo všetkých členských štátoch EÚ dosiahnuť dobrý stav útvarov povrchových aj podzemných vôd. K dosiahnutiu tohto cieľa vedie veľké množstvo čiastkových krokov, ku ktorým patrí najmä analýza charakteristík povodí a v rámci nej vymedzenie a predbežné zhodnotenie útvarov povrchových a podzemných vôd, zhodnotenie vplyvov a dopadov ľudských aktivít na stav vôd, spracovanie ekonomickej analýzy, ďalej vymedzenie „výrazne zmenených“ a „umelých“ útvarov povrchovej vody, návrh monitorovacích programov a následne návrh, schválenie a realizácia plánov manažmentu povodí. Ďalším cieľom, už za horizontom roku 2015, je eliminácia vypúšťania a únikov prioritných nebezpečných látok do vôd s dobou dosiahnutia tohto cieľa v roku 2020.

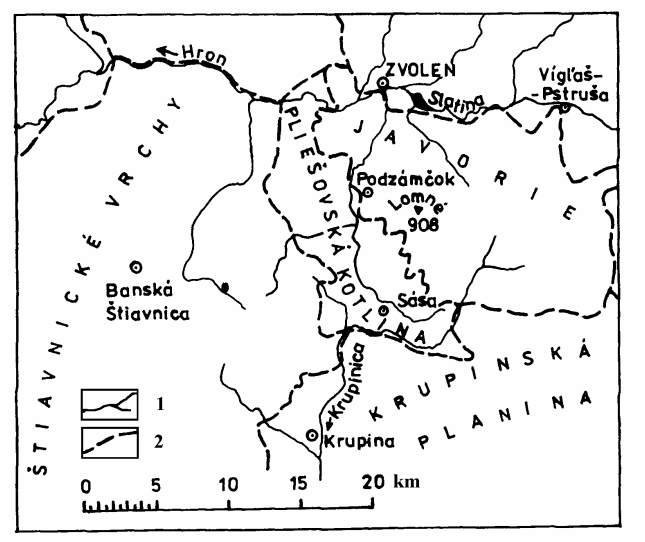
Príspevkom autorov k zhodnoteniu útvarov povrchových a podzemných vôd, hlavne k zhodnoteniu dopadov ľudských aktivít na stav vôd, je analýza dopadu využívania vodárenského zdroja Podzámčok na kvantitatívny stav povrchových a podzemných vôd. Vodárensky zdroj Podzámčok je situovaný v blízkosti vodného toku Neresnica asi 6 km južne od Zvolena. Intenzívne využívanie tohto zdroja malo nepriaznivý dopad na kvantitatívny stav útvarov povrchových aj podzemných vôd priľahlého územia, ako to dokumentujú predkladané výsledky.

Hydrogeologický výskum v predmetnom území začal v 60-tych rokoch minulého storočia a bol orientovaný na získanie zdrojov pitnej vody. Prieskumné práce tu vykonávali hlavne Litva (1963), Škvarka (1967), Škvarka a Valušiak (1968), Valušiak (1970). Druhá fáza prieskumu vykonaná Feckom a Hlavatým (1980), Feckom (1987) a Feckom et al. (1994) bola zameraná na zvýšenie odberných množstiev podzemnej vody vo vybudovaných vodárenských zdrojoch. V roku 1996 Fecek hodnotil vplyv využívania vodárenských zdrojov na podzemné vody.

Od roku 1991 bol v hodnotenom území vykonávaný detailný výskum vzťahu povrchových a podzemných vôd v závislosti na odberných množstvách vykonávaný kolektívom pracovníkov Katedry hydrogeológie PRIF UK v Bratislave (Škvarka et al., 1991; Šilar a Škvarka, 1991; Némethy et al., 1992). V predmetnom území boli zadané a vypracované diplomové práce poslucháčov Demoviča (1991), Vlčkovej-Michalíkovej (1999), Prelovského (2001) a Makišovej (2003), ako aj granty mladých pracovníkov UK Kupčovej (2002) a Makišovej (2004). Výsledky výskumov boli publikované v prácach Némethyho a Vlčkovej-Michalíkovej (2000), Makišovej a Ženišovej (2004) a Fendekovej (in Tallaksen a van Lanen, Eds., 2004) Uvedené práce hodnotili výsledky výskumu povrchových vôd so zameraním na nízke prietoky, pôvod podzemnej vody a zmeny v hladinovom režime v závislosti na odberoch, ako aj na kvalitu povrchovej a podzemnej vody a jej zmeny počas využívania vodných zdrojov v povodí

CHARAKTERISTIKA PREDMETNÉHO ÚZEMIA

Vodárensky zdroj Podzámčok leží v povodí potoka Neresnica v blízkosti obce Podzámčok asi 6 km južne od Zvolena. Predmetné územie z pohľadu územno-správneho členenia patrí do Banskobystrického kraja do okresu Zvolen. Z hľadiska geomorfologického členenia – obr. 1 (Mazúr a Lukniš, 1980) leží v celku Pliešovská kotlina, ktorý je zo severu ohraničený tokmi Hrona a Slatiny, na západe celkom Štiavnických vrchov – ich podcelkom Skalka, na východe celkom Javoria – jeho podcelkom Lomnianska vrchovina a na juhu chrbtami celku Krupinská planina – podcelkom Závozská vrchovina, ako aj tokom Krupinice.



Obr. 1 Geomorfologická situácia (Mazúr – Lukniš, 1980) 1-povrchový tok, 2-hranica geomorfologického útvaru
Fig. 1 Gemorphological situation (Mazúr – Lukniš, 1980) 1-surface stream, 2-geomorphological unit boundary

Pliešovská kotlina predstavuje depresnú štruktúru s dĺžkou približne 25 km a premenlivou šírkou s maximálnou hodnotou približne 7 km v oblasti Dobrej Nivy. Nadmorská výška územia sa pohybuje od 286 m n.m. v severnej časti územia až do 908 m n.m na vrcholoch pohoria Javorie.

Klimatické a hydrologické pomery širšieho okolia

Klimatologicky zaraďujeme predmetné územie v jeho údolnej časti do teplej oblasti, okrsku T7 teplého, mierne vlhkého s chladnou zimou s priemernou januárovou teplotou ≤ -3 °C. Priľahlé svahy Štiavnických vrchov a Javoria patria do mierne teplej oblasti, okrsku M3 mierne teplého, mierne vlhkého, pahorkatinového až vrchovinového s priemernou júlovou teplotou vzduchu > 16 °C v nadmorských výškach do 500 m n.m. (Lapin et al. in Atlas krajiny SR, 2002).

Charakteristické hodnoty teplôt vzduchu a zrážok zo stanice Sása (383 m n.m.) a z meteorologickej stanice Vígľaš – Pstruša, ktorá leží v porovnateľnej nadmorskej výške 368 m n.m. sú uvedené v tab. 1.

Hlavný tok hodnoteného územia – potok Neresnica tečie z juhu smerom na sever. Údolie potoka sleduje hlboké tektonické pásmo meridionálneho smeru nazývané neresnická vulkanotektonická zóna (Konečný et al., 1998). Hlavný tok má niekoľko menších pravo- i ľavostranných prítokov. Pravidelné monitorovanie vodných stavov a prietokov toku začalo v roku 1963 a je vykonávané vo vodomernom profile č. 7228 Neresnica – Zvolen s nadmorskou výškou nuly vodočtu 286,59 m n.m. v rkm 0,5 tesne nad ústím toku do Slatiny.

Tab. 1 Priemerné mesačné teploty vzduchu (1951-1980, podľa Kol. autorov, 1991) a priemerné mesačné úhrny zrážok v staniciach Sása (1963-1998) a Vígľaš-Pstruša (1951-1980, podľa Kol. autorov, 1991)

Tab. 1 Average monthly air temperatures (1951-1980, after Kol. autorov, 1991) and precipitation amounts in Sása (1963-1998) and Vígľaš-Pstruša (1951-1980, after Kol. autorov, 1991) gauging stations

Stanica	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Rok
Teplota vzduchu													
Sása	-4.2	-1.8	2.4	8.1	13.0	16.6	17.8	17.0	12.9	7.6	3.1	-1.8	7.6
Vígľaš-Pstruša	-4.2	-1.6	2.7	8.2	12.8	16.3	17.7	17.0	13.1	8.0	3.4	-1.4	7.7
Úhrn zrážok													
Sása	36	34	36	48	70	83	67	64	57	48	59	48	650
Vígľaš-Pstruša	31	35	34	43	56	80	74	60	48	44	53	47	609

Dĺžka riečneho údolia (L) je 25,6 km a plocha povodia (P) pokrýva 139,33 km^2. Povodie má pretiahnutý tvar s hodnotou koeficientu tvaru povodia $\alpha = 0.21$ ($\alpha = P/L^2$). Lesnatosť povodia dosahuje hodnotu 40 %. Absolútne minimum prietokov za obdobie rokov 1963 – 2002 kleslo na 0,009 m^3/s (august 1990), absolútne maximum za to isté obdobie dosiahlo 64,55 m^3/s (január a september 1984). Dlhodobý priemerný ročný prietok bol určený na 1,159 m^3/s. Neresnica je trvalý tok, avšak v mimoriadne suchých rokoch, hlavne v letnom období vo svojom hornom toku môže na kratšie časové obdobie vyschnúť a prietok sa objavuje až v nižšie ležiacej časti riečneho údolia.

Útvar povrchovej vody patrí do skupiny útvarov oblasti povodia Hrona s označením R0011 Slatina – VN Môťová – ústie (II. národná správy Slovenskej republiky o stave implementácie Rámcovej smernice o vode spracovanej pre Európsku komisiu, 2005). Útvar podzemnej vody patrí do skupiny predkvartérnych útvarov podzemných vôd v oblasti povodia Hrona s označením SK200220FP Puklinové a medzizrnové podzemné vody S časti Stredoslovenských neovulkanitov oblasti povodia Hrona (Kullman ml. et al., 2005).

Geologické a hydrogeologické pomery širšieho okolia

Základom geologickej stavby širšieho okolia predmetného územia sú produkty vulkanizmu stratovulkánov Štiavnických vrchov (ľavá strana povodia) a Javoria (pravá strana povodia). Tieto pohoria patria do stredoslovenského neovulkanického poľa (Biely et al., 1996) a sú veku báden až panón.

Najstaršou litostratigrafickou jednotkou štiavnického stratovulkánu je bazálny vulkanický komplex tvorený andezitovými lávovými prúdmi, často sa striedajúcimi s vulkanoklastickými horninami. V Z až SZ časti územia vystupuje studenská formácia predstavovaná opäť andezitmi a ich vulkanoklastikami. V JZ a J časti územia sa vyskytuje žibritovský efuzívny komplex (lávové prúdy andezitov), bielokamenské súvrstvie (tufy), sitniansky efuzívny komplex (lávové prúdy amfibolicko-pyroxenického andezitu), relikty alkalického bazaltového vulkanizmu (bazalty s výrastlicami plagioklasov a olivínov) a neresnická formácia vytvárajúca samostatnú štruktúru vo vzťahu k štiavnickému stratovulkánu a stratovulkánu Javoria. Zahrňuje komplex extrúzií a plytkých intrúzií andezitov a ich vulkanoklastík (hlavne epiklastických brekcií, blokových vulkanoklastík prechádzajúcich až do konglomerátových brekcií). Na pravej strane doliny potoka Neresnica, severne od obce Podzámčok vystupuje táto formácia na povrch. Formácia je spodnobádenského veku (Konečný et al., 1986).

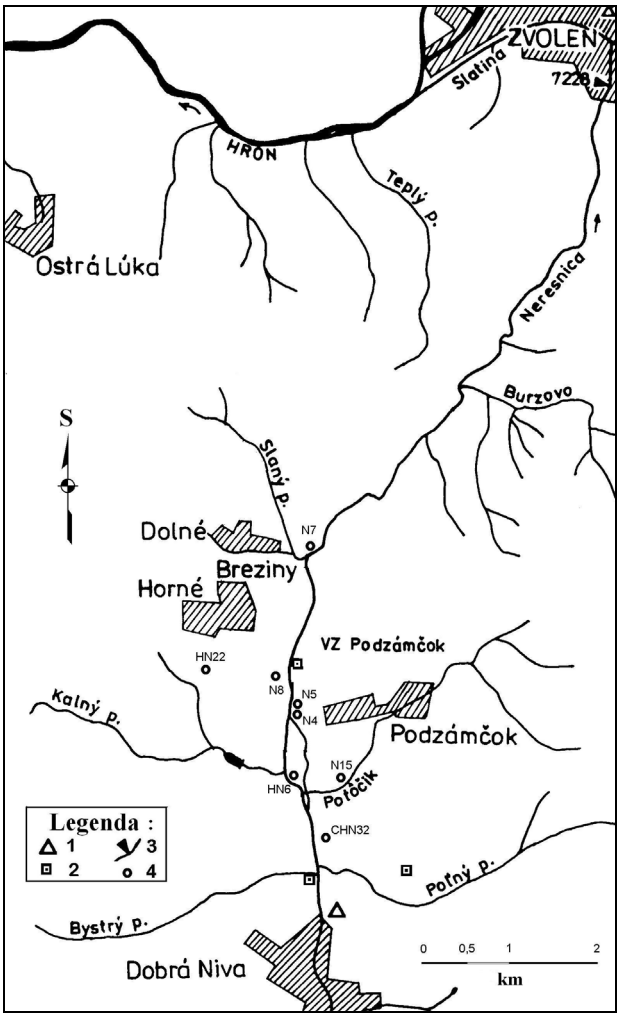
Vulkanity Javoria sú na východnej hranici predmetného územia zastúpené blýskavickou formáciou a na nej diskordantne uloženou javorskou formáciou (stratovulkanické komplexy andezitových lávových prúdov a ich vulkanoklastík – hlavne granulometricky veľmi rozmanitých epiklastík).

Geologickú stavbu dopĺňajú sedimenty pliocénnej výplne Pliešovskej kotliny a kvartérne sedimenty. Kvartérne sedimenty sú predstavované aluviálnymi náplavmi potoka Neresnica a svahovými sedimentmi. Aluviálne sedimenty sú tvorené náplavovými hlinami, pieskami, štrkmi a zahlinenými štrkmi s obsahom balvanov s priemernou hrúbkou sedimentov 3 – 10 m. Ich hydraulické vlastnosti nie sú veľmi priaznivé v dôsledku vysokého stupňa zahlinenia. Svahové sedimenty tvoria najmä deluviálne sedimenty zložené z hlín a ílovitých hlín, často obsahujúcich piesčitú prímes a miešajúcich sa s drobnokamenitými suťami. Hrúbka deluviálnych sedimentov v nižších polohách dosahuje až 10 m, so stúpajúcou nadmorskou výškou klesá na 3 – 5 m. Údolie Neresnice sleduje hlbokú tektonickú zónu, ktorú križujú longitudinálne zlomy smeru SZ-JV a JZ-SV. Stratovulkán Javorie a jeho formácie porušujú zlomy SV-JZ smeru, neresnickú formáciu aj zlomy smeru V-Z. Tektonická línia tohto smeru sa uplatňuje na severnom ohraničení územia. Neresnická tektonická štruktúra pôsobí ako drén podzemných vôd okolitých vulkanických pohorí.

Hydrogeologické pomery územia sú závislé od geologicko-tektonických pomerov. Horninové prostredie sa vyznačuje puklinovou (efuzívne horniny), puklinovo-medzizrnovou priepustnosťou (intenzívne porušené horniny drvených tektonických pásiem), ako aj medzizrnovou priepustnosťou (vulkanoklastické horniny). Pre tento typ horninového prostredia je charakteristický výskyt puklinových a suťových prameňov s malými výdatnosťami, obvykle do 1 l/s. Výnimkou bol pôvodný prameň v blízkosti Podzámčoku, ktorý vyvieral na pravom brehu potoka Neresnica a jeho výdatnosť dosahovala 25 – 30 l/s. Časť podzemnej vody súčasne prestupovala do potoka (140 l/s), čo bolo dokumentované hydrometrovacími prácami. V blízkosti prameňa boli neskôr odvŕtané prvé prieskumné vrty. Hodnoty hydraulických parametrov prostredia stanovené na základe výsledkov hydrodynamických skúšok sa pohybujú v intervale od $2{,}9 \times 10^{-4}$ do $6{,}97 \times 10^{-2}$ m^2/s pre koeficient prietočnosti a od $4{,}0 \times 10^{-5}$ do $3{,}79 \times 10^{-2}$ pre koeficient zásobnosti.

Odbery v povodí

V povodí Neresnice sa nachádzajú dva využívané vodárenské zdroje – Podzámčok a Dobrá Niva. Situovanie vodných zdrojov je uvedené na obr. 2. Vodárenský zdroj Podzámčok je intenzívne využívaný od roku 1973. Podzemná voda bola spočiatku odoberaná pomocou horizontálnych čerpadiel a celkový odber zo zdroja dosahoval v priemere okolo 140 l/s. Od augusta 1978 bola realizovaná intenzifikácia využívania vodného zdroja pomocou ponorných čerpadiel, pričom odberné množstvá stúpli a v niektorých obdobiach presiahli 270 l/s. To sa prejavilo na poklese hladiny podzemnej vody. Pokiaľ v období rokov 1973 – 1977 sa hladina podzemnej vody nachádzala v hĺbke 5 – 7 m pod terénom po roku 1978 začala zaklesávať a dosiahla hĺbku viac ako 20 m, v extrémnych prípadoch až 34 m pod terénom. Po roku 1993 došlo k postupnému znižovaniu odberných množstiev, ktoré sa ustálili na priemerných hodnotách okolo 80 l/s.



Obr. 2 Situácia záujmových objektov: 1-zrážkomerná stanica, 2-vodárenský zdroj, 3-prietokový profil, 4-vybraný pozorovací objekt SsVaK

Fig. 2 Situation of the objects of interest: 1-precipitation gauging station, 2-water supply source, 3-surface water gauging station, 4-selected monitoring well of the SsVaK (Middle Slovakian Waterworks)

Druhým využívaným vodárenským zdrojom je zdroj Dobrá Niva, nachádzajúci sa asi 6 km južne od Podzámčoku. Odbery podzemnej vody z vodárenského zdroja sú realizované čerpacími vrtmi. Odbery v období rokov 1980 – 1990 dosahovali v priemere 35 l/s s minimálnou hodnotou odberu zo zdroja 7,37 l/s. V rokoch 1990 – 1996 sa zvýšili odbery v priemere až na 60 l/s s maximálnou hodnotou 96,1 l/s. Priemerné odberné množstvo z tohto vodárenského zdroja v rokoch 1997 – 1999 dosahovalo okolo 23 l/s.

VSTUPNÉ DÁTA A POUŽITÉ METÓDY

Hodnotenie vplyvu odberov na kvantitatívny stav útvaru povrchovej vody bolo založené na analýze vzťahu prietokov v povrchovom toku a odberov, hodnotenie kvantitatívneho stavu útvaru podzemnej vody na analýze vzťahu odberov a hladiny podzemnej vody v pozorovacích objektoch v okolí vodárenského zdroja. Pri analýze boli využité aj údaje u úhrnoch zrážok v hodnotenom území.

Ako vstupné dáta boli použité údaje o prietokoch v povrchovom toku Neresnica z profilu č. 7228 za obdobie rokov 1964 – 1999, údaje o úhrnoch zrážok zo zrážkomernej stanice Sása za rovnaké obdobie, údaje o hladine podzemnej vody a údaje o odberoch. Keďže sme skúmali hlavne vplyv odberov na nízke prietoky, vyhodnotené boli najmenšie priemerné denné prietoky v jednotlivých mesiacoch. Pre účely spresnenia období, v ktorých došlo k zmene režimu odberov v povodí, boli pri

analýze využité aj priemerné minimálne ročné prietoky vypočítané ako aritmetický priemer z najmenších priemerných denných prietokov v jednotlivých mesiacoch roka a ročné úhrny zrážok. Keďže v hodnotenom území nie sú lokalizované žiadne monitorovacie objekty základnej pozorovacej siete podzemných vôd SHMÚ, boli pri analýze využité údaje o hladine podzemnej vody v objektoch účelovej siete Stredoslovenských vodární a kanalizácií v Banskej Bystrici. Z rovnakého zdroja pochádzajú aj údaje o sumárnych mesačných odberných množstvách z oboch vodárenských zdrojov.

Ako základné metódy analýzy boli využité:

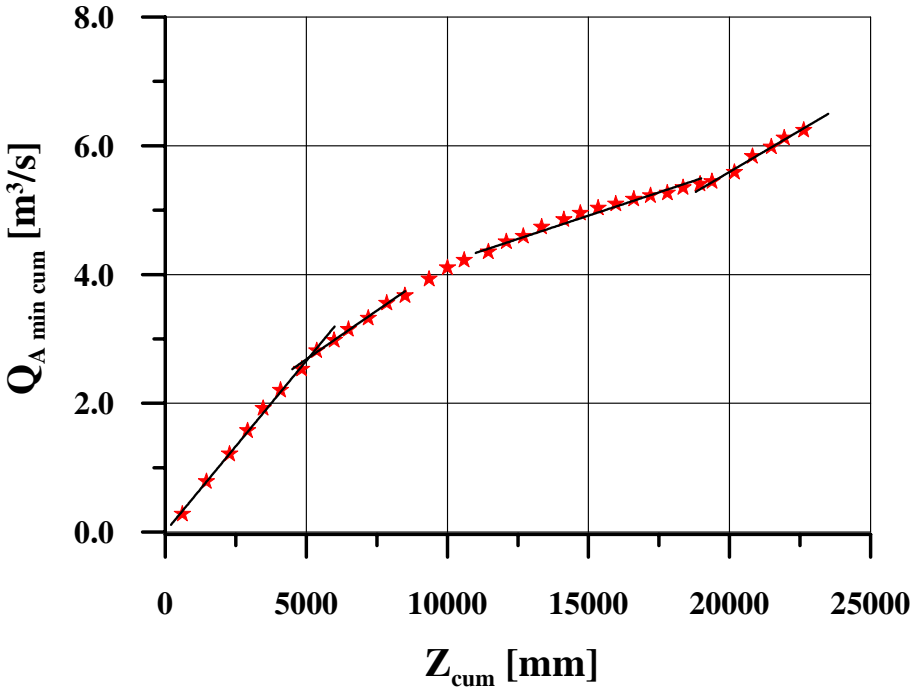
- metóda dvojitej súčtovej čiary,
- základné štatistické vyhodnotenie časových radov,
- analýza zložiek časových radov vstupných údajov,
- regresná analýza.

ZÍSKANÉ VÝSLEDKY A ICH INTERPRETÁCIA

Pre zistenie období významných zmien v režime nízkych prietokov povrchového toku bola použitá metóda dvojitej súčtovej čiary. Ako porovnávací časový rad bol použitý rad ročných úhrnov zrážok, vzťažným radom bol rad priemerných minimálnych ročných prietokov. Použiteľnosť metódy bola testovaná hodnotou korelačného koeficienta vzťahu uvedených premenných v neovplyvnenom období. Toto obdobie bolo zvolené na základe štúdia archívnych správ o hydrogeologickom prieskume realizovanom v hodnotenej štruktúre a predstavovalo ho obdobie do spustenia prevádzky vodárenského zdroja, teda obdobie rokov 1964 – 1972. Získaná hodnota korelačného koeficienta R_{xy} = 0,823 pre neovplyvnené obdobie je štatisticky významná na hladine významnosti $\alpha = 0,05$ čo podľa Sachsa (1984) indikuje štatisticky významný vzťah.

Ako je zrejmé z obr. 3, na základe priebehu dvojitej súčtovej čiary je možné rozdeliť celé obdobie na niekoľko čiastkových období oddelených zlomovými bodmi. Priradenie alebo vylúčenie jednotlivých rokov do určitého čiastkového obdobia sa riadilo zvyšovaním, resp. znižovaním hodnoty korelačného koeficienta pre daný úsek dvojitej súčtovej čiary. Zlomovými bodmi boli hodnoty rokov 1972, 1978, 1980 a 1993. Podrobná analýza archívnych materiálov dokumentovala, že obdobie rokov 1964 – 1971 predstavovalo neovplyvnené obdobie, obdobie rokov 1972 – 1977 bolo obdobím s odbermi pomocou horizontálnych čerpadiel, obdobie rokov 1978 – 1979 zhruba zodpovedalo obdobiu, v ktorom boli vykonávané krátko- a dlhodobé čerpacie skúšky (od augusta 1978 do septembra 1979). Pozícia roku 1980 nie je celkom jasná a je možné vysloviť predpoklad, že predstavuje obdobie nábehu odberov z vodárenského zdroja po dlhodobej čerpacej skúške. Obdobie rokov 1981 – 1992 je obdobím s maximálnymi odbermi a obdobie rokov 1993 – doteraz obdobím poklesu odberov z vodárenských zdrojov v povodí.

Pre jednotlivé vyčlenené úseky boli vypočítané hodnoty korelačných koeficientov jednoduchého regresného vzťahu, pričom pre obdobie rokov 1964 – 1971 bola získaná hodnota R_{xy} = 0,998 a pre obdobie rokov 1972 – 1977 to bola hodnota R_{xy} = 0,995. Pre roky 1978 – 1980 regresnú analýzu z dôvodu nízkeho počtu údajov nebolo možné realizovať. Pre obdobie rokov 1981 – 1992 bol získaný koeficient korelácie R_{xy} = 0,978 a pre obdobie rokov 1993 – 1999 koeficient R_{xy} = 0,989.



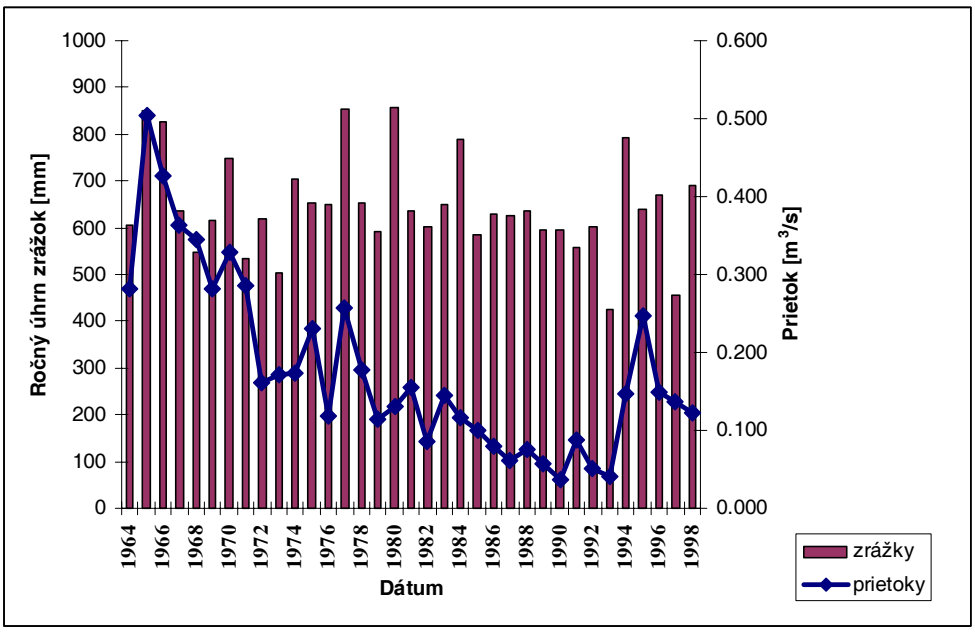
Obr. 3 Dvojitá súčtová čiara kumulatívnych zrážok priemerných minimálnych ročných prietokov
Fig. 3 Double mass curve of cumulative precipitation and average minimum yearly discharges

Na základe analýzy získaných výsledkov bolo nakoniec celé hodnotené obdobie rozdelené do troch čiastkových období, pre ktoré boli vykonané ďalšie analýzy:

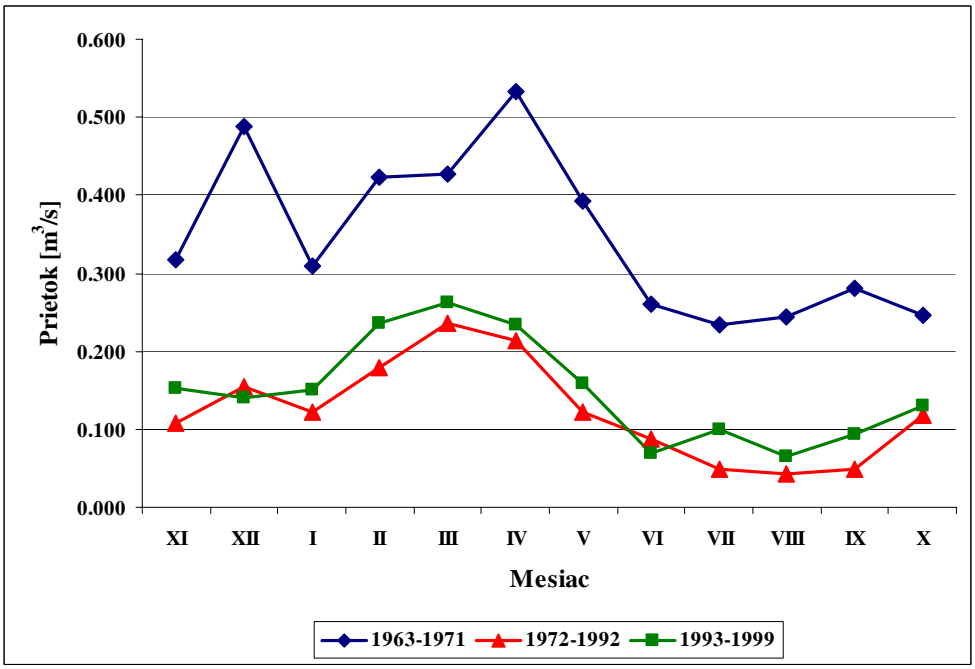
- neovplyvnené obdobie rokov 1964 – 1971,
- obdobie rokov 1972 – 1992 s najvyššími hodnotami odberov pohybujúcimi sa v intervale 140 – 270 l/s,
- obdobie rokov 1993 – 1999 reprezentujúce obdobie poklesu odberov pod 80 l/s.

Po vykonaní analýzy dvojitej súčtovej čiary bol vyhodnotený vzťah nízkych prietokov a zrážok. Ako charakteristické hodnoty nízkych prietokov boli použité najmenšie priemerné denné prietoky v jednotlivých mesiacoch. Celé obdobie bolo rozdelené do vyčlenených troch čiastkových období, ktoré boli posudzované samostatne použitím analýzy sezónnej zložky časového radu metódou sezónnej dekompozície. Navzájom bol porovnaný priebeh troch čiastkových radov reprezentujúcich vyčlenené čiastkové obdobia časových radov prietokov a zrážok. Porovnanie dokumentovalo, že priebeh sezónnej zložky prietokov a zrážok nie je synchrónny. Zatiaľ čo maximálne úhrny zrážok sú viazané na letnú sezónu (jún – august) a minimálne na zimnú a začiatok jarnej sezóny, hodnoty prietokov sú najnižšie v letných a skorých jesenných mesiacoch a najvyššie v apríli. Korelačný koeficient vzťahu radov hodnôt sezónnej zložky prietokov a zrážok bol štatisticky nevýznamný. Porovnanie priebehu zrážok a prietokov v ročnom časovom kroku je uvedené na obr. 4

Na obr. 5 je uvedený priebeh sezónnej zložky prietokov pre všetky tri vyčlenené čiastkové obdobia. Z obrázku je zrejmé, že vo vyčlenených obdobiach došlo tak k zmene hodnôt sezónnej zložky, ako aj k zmene režimu nízkych prietokov. Hodnoty sezónnej zložky v ovplyvnených obdobiach sú nižšie, ich priebeh je viac vyhladený a došlo k posunu maxima hodnôt z apríla na marec. V treťom čiastkovom období sa síce hodnoty prietokov zvýšili, ale nedosiahli pôvodné hodnoty z rokov 1964 – 1971.



Obr. 4 Porovnanie priebehu zrážok a prietokov v ročnom časovom kroku
Fig. 4 Comparison of precipitation and discharges time course in a yearly step



Obr. 5 Porovnanie sezónnej zložky prietokov pre vyčlenené čiastkové obdobia
Fig. 5 Comparison of discharges seasonal component for respective sub-periods

Existencia vzťahu medzi hodnotami minimálnych prietokov a odberov v povodí bola posudzovaná na základe výsledkov regresnej analýzy odberov a prietokov. Aby bolo možné vylúčiť rušiaci vplyv sezónnosti v časových radoch, boli na analýzu použité ročné hodnoty. Štatistická významnosť vzťahu bola opäť testovaná Fischerovým testom (Sachs, 1984). Najvyššie hodnoty korelačných koeficientov boli získané pre logaritmický regresný vzťah a pre polynomickú regresiu 4. rádu. Zostavené rovnice majú tvar:

- $y = -0{,}0675\ln(x) - 0{,}1009$ $[R_{xy} = 0{,}695]$

- $y = -16789.x^4 + 8783{,}9.x^3 - 1669.x^2 + 135{,}49.x - 3{,}8995$ $[R_{xy} = 0{,}808]$

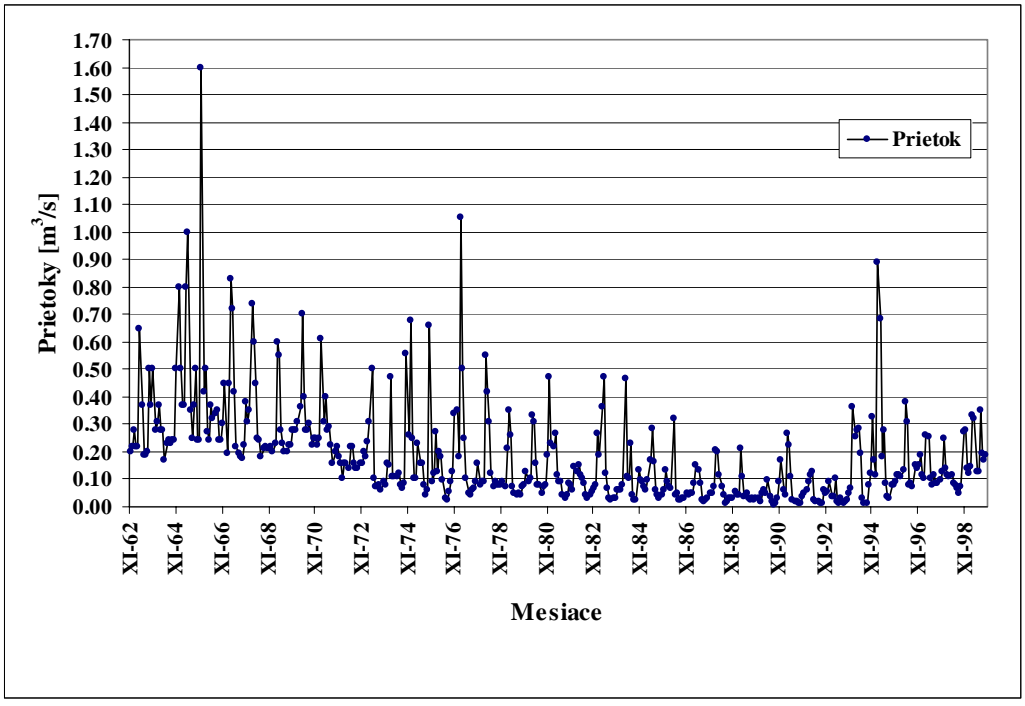
Korelačné koeficienty oboch vzťahov boli štatisticky významné na hladine $\alpha = 0{,}01$.

V hodnotenom území sa nenachádza žiadny monitorovací objekt základnej pozorovacej siete podzemných vôd SHMÚ, ktorý by dokumentoval dlhodobé zmeny hladiny podzemnej vody. Pre posúdenie týchto zmien boli použité údaje poskytnuté Stredoslovenskými vodárňami a kanalizáciami a.s. Banská Bystrica (SsVaK), ako aj údaje zo správ archivovaných v Geofonde. Tieto umožnili formulovať nasledujúce závery:

- V 80-tych a začiatkom 90-tych rokov minulého storočia poklesla hladina podzemnej vody v hodnotenom území do hĺbky 24 m pod terénom, v niektorých vrtoch aj viac.
- Bolo prerušené hydraulické spojenie povrchových a podzemných vôd.
- Vyschlo pôvodné prirodzené pramenisko.

Po výraznom znížení odberov po roku 1993 začali hladiny podzemnej vody opäť stúpať. Vzostup hladín si vyžiadal použitie jednej z pôvodných odberných studní ako odvodňovacieho vrtu, ktorý umelým znižovaním hladiny podzemnej vody zabezpečuje funkčnosť ostatných odberných studní, ktoré by sa inak ocitli pod hladinou podzemnej vody. K ďalším znakom zlepšovania kvantitatívneho stavu telies povrchovej a podzemnej vody patria:

- vzostup a stabilizácia hladiny podzemnej vody
- vzostup minimálnych prietokov v povrchovom toku (obr. 6),
- obnovenie drenážnej funkcie povrchového toku.



Obr. 6 Priebeh prietokov v profile č. 7228

Fig. 6 Time series of discharges in gauging profile No. 7228

ZÁVERY

Vysoké dlhodobé odbery podzemnej vody z neresnickej vulkano-tektonickej zóny spôsobili výrazné zhoršenie kvantitatívneho stavu telies povrchovej aj podzemnej vody. Toto zhoršenie sa prejavilo na zreteľnom poklese prietokov povrchového toku hlavne v období minimálnych stavov, na zaklesnutí hladiny podzemnej vody v bližšom okolí vodárenského zdroja a na prerušení hydraulického vzťahu povrchovej a podzemnej vody.

Geologické prostredie neovulkanických hornín predstavuje z pohľadu odberov podzemnej vody vysoko zraniteľné prostredie, citlivé na intenzitu zásahov do prirodzeného režimu povrchovej aj podzemnej vody. Hydrogeologické pomery územia v kombinácii s konkrétnymi klimatickými pomermi neumožňujú adekvátne dopĺňanie zásob podzemnej vody pri odberoch prevyšujúcich 100 l/s.

Preto je potrebné v uvedenej lokalite navrhnúť optimálne odberné množstvá tak, aby sa zachovala hydraulická spojitosť povrchovej a podzemnej vody, zachovala drenážna funkcia povrchového toku a stabilizovali minimálne prietoky v povrchovom toku. Je tiež nanajvýš potrebné začať s pravidelným monitoringom hladiny podzemnej vody a pokračovať v monitoringu prietokov povrchového toku Neresnica. Len tak bude možné posúdiť a dosiahnuť dobrý stav útvarov povrchovej a podzemnej vody tak, ako to vyžaduje rámcová smernica o vode.

POĎAKOVANIE

Vedecký výskum vplyvu odberov podzemnej vody na kvantitatívny stav telies povrchovej a podzemnej vody v povodí Neresnice bolo možné uskutočniť vďaka finančnej podpore projektu VEGA č. 1/1025/04 – hlavný riešiteľ Miriam Fendeková a 5 RP projektu ASTHyDA (č. kontraktu EVK1-CT-2002-80023) – zodpovedný riešiteľ za UK Bratislava Miriam Fendeková. Autori tiež ďakujú SHMÚ Bratislava a SsVaK Banská Bystrica za poskytnutie podkladových hydrologických údajov.

Literatúra

Atlas krajiny SR. 1. vydanie. MŽP SR Bratislava, Slovenská agentúra životného prostredia Banská Bystrica.

Biely, A., Bezák,V., Elečko, M., Gross, P., Kaličiak, M., Konečný, V., Lexa, J., Mello, J., Nemčok, J., Potfaj, M., Rakús, M., Vass, D., Vozár, J. a Vozárova, A. (1996): Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenska. 1:500 000. Vydavateľstvo ŠGÚDŠ, Bratislava.

Demovič, M. (1991): Režim povrchového toku Neresnica vo vzťahu k využívaným zdrojom podzemnej vody v Podzámčoku a Dobrej Nive. Diplomová práca. Archív Katedry hydrogeológie PRIF UK.

Fecek, P. (1987): Podzámčok – Hydrogeologický prieskum. Manuskript. Archív Geofondu Bratislava.

Fecek, P. (1996): Podzámčok – režim podzemných vôd z pohľadu ich dlhodobého využívania. Podzemná voda II./1996, Č. 2: 47-51.

Fecek, P. a Hlavatý, Z. (1980): Podzámčok – Hydrogeologický prieskum. Manuskript. Archív Geofondu Bratislava.

Fecek, P., Ostrolucký, P. a Roháčiková, A. (1994): Podzámčok – podrobný hydrogeologický prieskum. II. etapa. Podzámčok – Hydrogeologický prieskum. Manuskript. Archív Geofondu Bratislava.

Konečný, V., Bezák, V., Halouzka, R., Konečný, P., Miháliková, A., Marcin, D., Iglárová, L., Panáček, A., Stohl, J., Žáková, E., Galko, I., Rojkovičová, L. a Onačila, D. (1998): Vysvetlivky ku geologickej mape Javoria 1:50 000. Vydavateľstvo ŠGÚDŠ, Bratislava.

Kolektív autorov (1991): Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave. Zväzok 33/I. Alfa, Bratislava.

Kullman ml., E., Malík, P., Patschová, A. a Bodiš, D. (2005): Vymedzenie útvarov podzemných vôd na Slovensku v zmysle Rámcovej smernice o vodách 2000/60/ES. Podzemná voda XI./2005, Č. 1: 5-18.

Kupčová, S. (2002): Vplyv odberov na prirodzený režim podzemnej vody na Neresnickej zlomovej línii. Záverečná správa za Grant UK 78/2002. Archív RUK Bratislava.

Litva, J. (1963): Zhodnotenie predbežného hydrogeologického prieskumu v katastri Podzámčok. Manuskript. Archív Geofondu Bratislava.

Makišová, Z. a Ženišová, Z. (2004): Hydrogeochemická charakteristika vodného zdroja Podzámčok. Podzemná voda X./2004, Č. 1: 106-114.

Mazúr, E. a Lukniš, M. (1980): Geomorfologické členenie územia Slovenska. Geografický ústav SAV, Bratislava.

Nemethy, P. and Michalikova–Vlckova, D. (2000): Rational utilization of groundwater for water supply engineering. In: Groundwater: Past Achievements and Future Challenges. Editors: Oliver Sililo et al., A. A. Balkema, Rotterdam Brookfield, pp 241-246.

Némethy, P., Škvarka, L., Böhm, V., Fendeková, M. a Hyánková, K. (1992): Pohronský skupinový vodovod – racionálne využitie podzemných vôd a zhodnotenie ich kvalitatívnych vlastností. Správa za II. etapu prác. Manuskript. Archív Katedry hydrogeológie PRIF UK Bratislava.

Prelovský, B. (2001): Model prúdenia podzemnej vody na lokalite Podzámčok. Diplomová práca. Archív Katedry hydrogeológie PRIF UK.

Sachs, L. (1984): Applied Statistics. A Handbook of Techniques, Second Edition, Springer-Verlag, New York Berlin Heidelberg Tokyo.

Silar, J. and Skvarka, L. (1991): Origin of groundwater in the tertiary volcanic complex in Central Slovakia. International Symposium on the Use of Isotope Techniques in Water Resources Development, extended synopsis, Vienna Austria 11 – 15 March 1991, pp 130-134.

Škvarka, L. (1967): Nálezová správa o nových zdrojoch podzemných vôd v oblasti Podzámčok a návrh na ich zachytenie. Manuskript. Archív Geofondu Bratislava.

Škvarka, L. a Valušiak, I. (1968): Podzámčok – hydrogeologický prieskum. Manuskript. Archív Geofondu Bratislava.

Škvarka, L., Némethy, P., Hyánková, K. a Fendeková, M. (1991): Pohronský skupinový vodovod – racionálne využitie podzemných vôd, ich kvalitatívne vlastnosti. Správa za I. etapu prác. Manuskript. Archív Katedry hydrogeológie PRIF UK Bratislava.

Tallaksen, L.M. and van Lanen, H.A.J. Eds.(2004): Hydrological drought. Processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Elsevier, Amsterdam, 579 p.

Valušiak, I. (1970): Vyhodnotenie hydrogeologických prieskumných vrtov RH-7, RH-8, RH-9, RH-10 v Podzámčoku. Manuskript. Archív Geofondu Bratislava.

Vlčková-Michalíková, D. (1999): Racionálne využitie podzemnej vody pre vodárenské účely. Diplomová práca. Archív Katedry hydrogeológie PRIF UK.

II. národná správy Slovenskej republiky o stave implementácie Rámcovej smernice o vode spracovanej pre Európsku komisiu, 2005, MŽP SR, Bratislava.

Autori

Miriam Fendeková, Katedra hydrogeológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave, Pavilón G, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, fendekova@fns.uniba.sk

Peter Némethy, Katedra hydrogeológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave, Pavilón G, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, nemethy@fns.uniba.sk

NOVÉ SMĚRY V OBLASTI HYDROLOGICKÉ PŘÍSTROJOVÉ TECHNIKY

Tomáš Kocman, Zdeněk Kožnárek

Technický rozvoj v posledních letech přináší zásadní změny i v oblasti hydrologické přístrojové techniky. Dochází k zásadním změnám v zažitých postupech a technologiích, které se odráží i do nové metodiky měření a nových způsobů zpracování a využití měřených dat. Cílem tohoto příspěvku je zdůraznění významu a přínosu nových měřících systémů pro hydrologickou praxi. Je zaměřen především na přístrojové vybavení vodoměrných stanic a hydrometrická měření včetně stanovení průtoků.

Klíčová slova: Radarový princip, „bubble" princip, měření ADCP

***New trends in the field of the hydrological equipment**. The technological development in last years brings important changes even in the field of the hydrological equipment. It comes to the important changes in standard processes and procedures, which is reflected even in the new measurement technology and in the new ways of the measuring and data proceeding and data useThe purpose of this article consists in the emphasis of the importance of the new measuring systems for the hydrological practice. It deals almost with the instruments fittigs of the stage-discharge gauging stations and with the hydrological measurements including the discharges assessment.*

Key words: Radar principle, „bubble" principle, ADCP measurement

---

1. Měřící technika pro vodoměrné stanice

Měření stavů hladin ve vodoměrných stanicích bylo v minulosti standardně prováděno (a je ještě i v současnosti) mechanickým principem pomocí plováku a protizávaží, které byly součástí limnigrafických přístrojů se záznamem měřených dat na limnigrafický papír.

Nástup automatických měřících systémů s sebou přinesl změnu způsobu řízení sběru a záznamu měřených hodnot (datalogery) a současně i změnu principu měření stavů hladin (kontaktní, bezkontaktní čidla).

Vývoj v oblasti **datalogerů** se nyní soustřeďuje na minimalizaci jejich nároků na odběr elektrického proudu, sleduje trend vývoje interního řízení sběru a záznamu dat, unifikovatelnosti vstupů a zjednodušení a zpřístupnění datových přenosů (GPRS, SMS).

Vývoj v oblasti měřících **čidel** se zaměřuje na snižování jejich energetické náročnosti, dosahování vyšších přesností měření a na produkci nových bezkontaktních způsobů měření stavů hladin. Přínosem pro monitoring stavů hladin pro vodoměrné stanice ČHMÚ jsou zejména aplikace jiných způsobů měření než doposud standardně využívaných plovákových a manometrických sond.

Od roku 2004 je na vybraných stanicích zaváděn pro měření stavů hladin bublinkový princip (tzv. „bubble" princip) a radarové měření.
„Bubble" princip měření stavů hladin je dlouhodobě rozšířen a tradičně používán v západní Evropě. Tyto měřící systémy jsou určeny především pro lokality, kde není funkční - nebo jen omezeně - měrná šachta, resp. přívodní kanál.
Radarový princip (24 GHz) využívá výhod bezkontaktního měření stavů hladin s vyloučením ovlivnění měření změnou teploty vzduchu mezi čidlem a měřenou hladinou.

Přínos nových principů měření stavů hladin

- Podstatné snížení stavebních investic (vodoměrné stanice bez měrných šachet a přívodního kanálu)
- Zabezpečení měření na objektech s problematickou měrnou šachtou nebo přívodním kanálem
- Provoz na vlastní bateriové zdroje bez nutnosti zavádění přípojky 230V
- Jednoduchá instalace, operativnost při výběru měrného bodu



Obr. 1 Radarové měření vodního stavu hladiny
Bílovice nad Svitavou, Radar SEBAPULS, výrobce SEBA, Německo

Fig. 1 Radar water-level stage measurement
Bílovice nad Svitavou, Radar SEBAPULS, producer SEBA, Germany



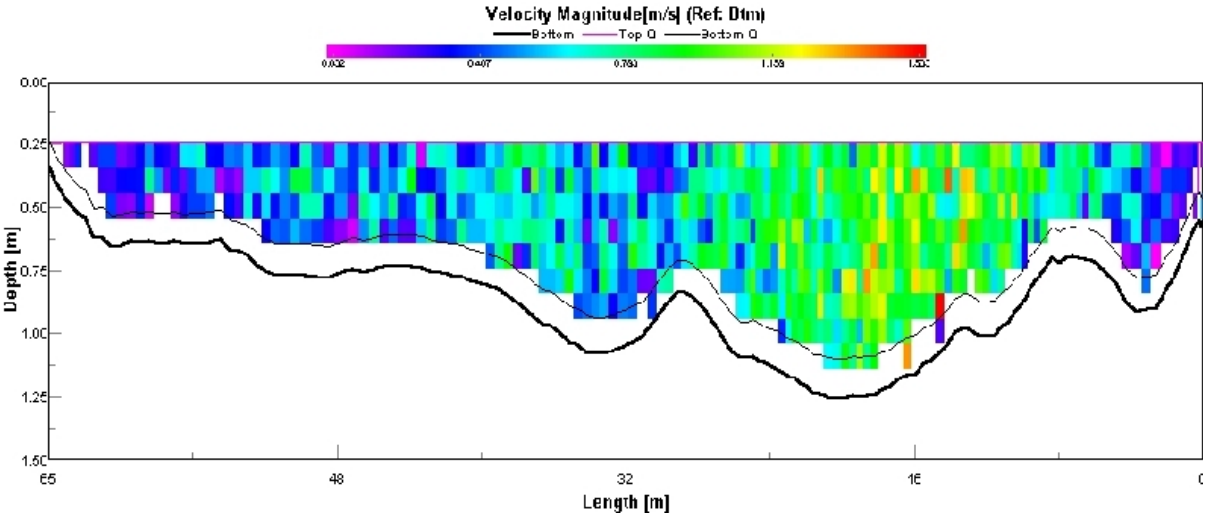
Obr. 2 „Bubble“ princip měření stavů hladin
Komponenty měřícího systému PS-LIGHT, výrobce SEBA, Německo

Fig. 2 „Bubble“ principle water-level stage measurement
Measuring system PS-LIGHT components, producer SEBA, Germany

2. Hydrometrická měření

Více než 150 let se provádí měření a výpočet průtoků z hlediska principu měření stejnou metodou. Jedná se o vyjádření průběhů rychlostí v rychlostním poli změřením bodových rychlostí vody nejčastěji pomocí hydrometrické vrtule. Princip měření spočívá ve změření rychlosti rotace vrtule za časovou jednotku v definované poloze měrného profilu.
Po celou dobu používání tohoto principu měření docházelo ke zkvalitňování jak hydrometrických vrtulí, tak zejména výpočetních postupů pro určení průtoků a rychlostních charakteristik měřeného profilu.
Moderní výpočetní postup objektivizuje v prostorovém vyjádření výpočet jako objem tělesa ohraničeného kolmou rovinou řezu a průběhy rychlostních obrazců ve svislicích a v celém profilu. Zpracování hydrometrických měření obsahuje ve své poslední verzi výpočet průtoků metodou prostorového splinu.
Jednou z posledních změn ve standardně využívané přístrojové technice byl měřící systém BIBER (výrobce OTT, Německo), který měl zabudovanou manometrickou sondu v koncové části těla vrtule a umožňoval přenos měřených dat do PC (měřená rychlost, poloha vrtule ve svislici).
Princip měření – měření rychlosti otáček v měrném bodě za časovou jednotku – zůstává ale stále stejný.

Nebývalý technický rozvoj posledních let přinesl zásadní změnu i v oblasti hydrometrických měření. Dochází k nástupu měřících systémů ADCP (Acoustics Doppler Current Profiler – akustický měřič průtoků založený na Dopplerově jevu).
Původně byly tyto akustické přístroje určeny pro měření rychlosti lodí, následně z nich byly vyvinuty systémy pro měření rychlosti vody v segmentech v prostoru mezi sensorem a dnem měřeného profilu.
První generace ADCP (NarrowBand) byla využívána především v oceánografii, v roce 1991 je vyroben první prototyp ADCP (BroadBand) s možností využití pro měření průtoků na povrchových tocích.



Obr. 3 Průtočný profil s měřenými rychlostními segmenty - program WinRiver (ADCP měření)

Fig. 3 Discharge cross-section with measured velocity segments - program WinRiver (ADCP measurement)

Oddělení hydrologické přístrojové techniky sledovalo tento princip měření od roku 1998. V té době se ještě jednalo o systémy umístěné pouze na lodích s různými technickými omezeními. Mezi nejvíce limitující omezení patřil požadavek na minimální 2 m hloubku měřeného profilu, a proto nebylo možné tento systém použít pro většinu českých řek.

Během katastrofálních povodní v roce 2002 bylo v České republice téměř nemožné provádět hydrometrické měření klasickou metodou (hydrometrickou vrtulí). V Drážďanech však prováděl pracovník BWG (Bundesamt für Wasser und Geologie, Švýcarsko, Bern) řadu unikátních měření kulminace povodně novým systémem ADCP WorkHorse RIO GRANDE. O rok později byl zakoupen a je provozován pro potřeby hydrologické služby celého ČHMÚ první měřící systém ADCP, jehož parametry odpovídají velké většině českých toků. V roce 2004 byla stejným systémem vybavena i pobočka ČHMÚ Praha.



Obr. 4 Přístroj ADCP WorkHorse Rio Grande

Fig. 4 ADCP WorkHorse Rio Grande device



Obr. 5 Přístroj ADCP StreamPro

Fig. 5 ADCP StreamPro device

Výhody systému ADCP

- měření povodňových průtoků za situací, kdy nelze využít standardní hydrometrickou metodu
- výrazné zkrácení času měření
- detailní zastižení změn průtočného profilu a rychlostí vody (v libovolném bodě profilu lze určit rychlost proudění vody)
- okamžitá znalost aktuálního průtoku, oproti metodě rychlostního pole odpadá následné zpracování dat
- minimální nároky na výběr měrného bodu, měření i mimo standardně využívané měrné profily

Technický pokrok v této oblasti směřuje ještě k výraznějšímu zpřesnění měření v mělkých tocích.
V roce 2004 byl vyvinut měřící systém ADCP StreamPro určený pro toky o maximální hloubce 2 m, s minimální hloubkou 0.15 m, s rozsahem měřených rychlostí ±2m/s a s minimální velikostí cely 0,02 m, což umožní detailní měření rychlostí v průtočném profilu. Tento systém se tak již stává vážným konkurentem hydrometrických vrtulí.
V dlouhodobém výhledu se předpokládá, že se měřící systém StreamPro (resp. WorkHorse RIO GRANDE) stane součástí hydrologického přístrojového vybavení každé pobočky ČHMÚ.

Závěr

Využití nových měřících systémů přináší zásadní změny v principech měření, pracovních postupech a ve způsobech vyhodnocování a zpracování dat.
Důsledkem zavádění nových měřících systémů by mělo být především zkvalitnění vlastního procesu měření a vyhodnocení měřených dat. Posuzování ekonomické náročnosti nových řešení je možné pouze při komplexním hodnocení celé řady faktorů, kdy cena vlastní přístrojové techniky a jejího servisního zabezpečení je pouze jedním, v mnoha případech ne zcela rozhodujícím prvkem .
Zkušenosti z konkrétních aplikací potvrzují očekávané cíle a jsou předpokladem pro další cílené využívání moderní hydrologické přístrojové techniky v Českém hydrometeorologickém ústavu.

Literatura :

Adler, M. (1994): Abflußmessungen an Rhein und Mosel während des Weihnachtshochwasssers 1993 mit einem Ultraschall-Doppler-Gerät (ADCP), Sonderdruck aus DGM, 38. Jahrgang, Heft 1,2, Mai 1994, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

RD Instruments (1996): Acoustic Doppler Current Profiler – Principles of Operation, A Practical Primer, RD Instruments, San Diego, California

Autoři :

Tomáš Kocman, Český hydrometeorologický ústav Praha, pracoviště Brno, Kroftova 43, kocman@chmi.cz
Zdeněk Kožnárek, Český hydrometeorologický ústav Praha, pracoviště Brno, Kroftova 43, koznarek@chmi.cz

MONITORING VLIVU VYUŽITÍ ÚZEMÍ A ODVODŇOVACÍCH SYSTÉMŮ NA HYDROLÓGII A JAKOST VODY V MALÝCH ZEMĚDĚLSKÝCH POVODÍCH

Zdeňka Burešová, Milan Čmelík, František Doležal, Peter Fučík, Zbyněk Kulhavý, Tomas Kvítek, Jana Peterková, Eva Pilná, Mojmír Soukup, Martin Tippl

VÚMOP Praha dlouhodobě provozuje několik experimentálních povodí (Cerhovický potok, Černičí, Kopaninský potok, Žejbro) souběžně s řadou dílčích sledování na dalších plochách. Cílem těchto aktivit je kvantifikace hydrologické bilance, srážko-odtokových vztahů a mechanismů tvorby odtoku a jakosti vod v podmínkách převážně zemědělsky využívaných malých povodí v parovinných a pahorkatinných oblastech ČR. Ve výzkumných projektech je na těchto povodích zkoumán vliv využití území (zejména stupně zornění a zatravnění) i funkce řízených či tradičních odvodňovacích systémů. Metody monitoringu reflektují současné trendy výzkumu i rozvoj automatizace měření, správy a přenosu dat. Jsou sledována nejen povodí jako celek, ale i jejich dílčí součásti, v souladu s moderním trendem výzkumu vnořených povodí. Relativní různorodost přírodních a zemědělsko-hospodářských podmínek jednotlivých lokalit umožňuje realizovat srovnávací analýzy a zobecňovat navržené analytické postupy. Vedle interní spolupráce jednotlivých výzkumných týmů při využívání experimentálních povodí jsou tato povodí systematicky včleňována do celostátních i mezinárodních výzkumných programů.

Klíčová slova: experimentální povodí, monitoring, vnořená povodí

Monitoring of landuse and drainage systems influence on hydrology and water quality in the small agriculture basins. *RISWC (Research Institute for Soil and Water Conservation) in Prague has operated a number of experimental watersheds (Cerhovický stream, Černičí, Kopaninský stream, Žejbro river) in parallel with range of partial observations in another sites. The aim of these activities is quantification of hydrological balance, precipitation – runoff relations and mechanisms of runoff formation and water quality at conditions of small watersheds used mainly by agriculture and located in peneplain and hilly regions of the Czech Republic. Influence of landuse (especially tilling and grassing level) and function of controlled and traditional drainage systems are explored in watersheds mentioned above in the frame of the research projects. Methods of monitoring reflect today´s trends of research, development of measuring automation, data management and data transport.*

The watersheds are observed not only as a whole, but as a complex of their partial components in accordance with the advanced trend of nested watersheds research. Relative heterogeneity of the natural and agro–economic conditions of the individual locations make possible to realize comparative analysis and to generalize proposed analytical processes. In addition to the internal cooperation among the separate research teams at experimental watersheds utilization, there are these watersheds incorporated systematicly into the national and international research programmes.

Key words: experimental catchments, monitoring, nested catchments

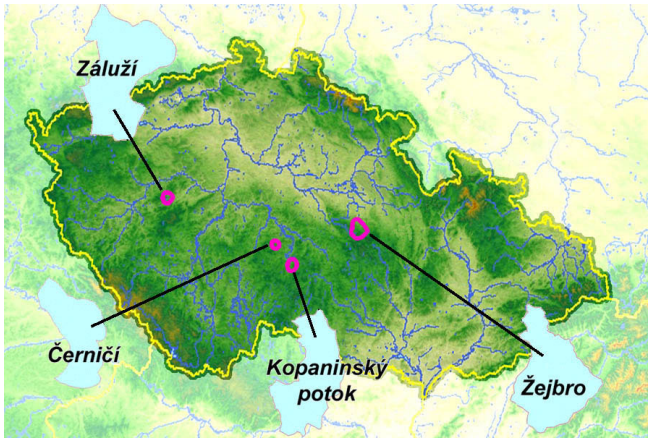
---

ÚVOD

Hydrologický monitoring je při Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy Praha orientován na podporu řešení úkolů, souvisejících s vodním režimem zemědělských půd (odvodnění, závlahy, protierozní opatření, využití půdního fondu a pozemkové úpravy). Experimenty byly v minulosti realizovány na celé řadě povodí a dílčích ploch, v posledním desetiletí se z praktických důvodů zúžil počet těchto povodí na několik hlavních, které vyhovují většině řešeným úkolům a přitom nabízí dlouhodobou řadu základních pozorování i zázemí ověřených popisných a dalších informací. Neméně důležité je i místní povědomí a technické zázemí experimentální plochy, otevřená komunikace s uživateli či majiteli dotčených pozemků. Mezi hlavní, dlouhodobě systematicky měřená povodí náleží experimentální povodí: Cerhovického potoka, Černičí, Kopaninského potoka a Žejbra. Pro tato povodí byla zpracována v předchozích dvou letech jednotná metadata, která jsou východiskem účelného využívání měřených dat a zachování vazeb na již ukončené studie a experimenty. Jednotnost zpracování umožňuje využít podklady pro presentaci těchto povodí vně organizace, pro navazování nových spoluprací a vícenásobné využívání dat, což přináší spektrum pohledů na procesy v povodí probíhající, jejichž základem je hydrologický režim.

STRUKTURA EXPERIMENTÁLNÍCH POVODÍ

Koncepce experimentálních povodí pro obory vodohospodářských meliorací a hydrologii malých povodí se vyvíjela s ohledem na řešená témata a materiální i personální zázemí. Redukce počtu výzkumných objektů a výzkumných stanic v 90.letech 20.století souvisela s restrukturalizací ústavu. Úkoly související s četnějším výskytem extrémních hydrologických jevů v povodích a potřeba popsat vliv jednotlivých antropogenních činitelů na odtokový proces včetně odhadu vývoje kvality vod v souvislosti se změnami zemědělsko-hospodářských podmínek vyvolal nutnost využívat numerické simulační modely. Pro jejich kalibraci jsou nezbytná experimentální data s dostatečně dlouhou řadou relevantních pozorování. Proto došlo k přehodnocení reprezentativnosti v minulosti vybudovaných experimentálních povodí či ploch a sdružením prostředků se podařilo stabilizovat hlavní experimentální základnu ústavu. Kritická byla z tohoto pohledu léta 1992-1995. Tímto opatřením se podařilo prodloužit řady měření na období 15-25 let a shromáždit unikátní data, platná pro malá zemědělsko-lesní povodí s rozlohami v řádu jednotek km^2. Význam spatřujeme také v kontinuitě předchozích výzkumů, které poskytují popis povodí z různých pohledů a jsou zdrojem cenných údajů, které slouží pro zařazení současných měření a pro jejich vzájemné srovnání.



Obr. 1 Lokalizace hlavních experimentálních povodí VÚMOP Praha

Fig. 1 Situation of main experimental catchments of RISWC Prague

V posledních deseti letech se koncepce hlavních výzkumných povodí VÚMOP Praha ustálila na čtyřech vyjmenovaných (Obr.1). V povodích se provádí monitoring základních hydrologických charakteristik, které slouží pro zpracování hydrologické bilance a pro popis vodního režimu půd i potřeb pěstovaných plodin resp. rostlinných společenstev. Na příkladu povodí Žejbro (okr. Chrudim) můžeme dokumentovat úspěšné uplatnění koncepce vnořených povodí, což snižuje rozsah monitoringu při zachování jeho reprezentativnosti. V závěrovém profilu povodí Žejbro (s plochou cca 50 km^2) využíváme měření průtoků, zajišťované ČHMÚ, které doplňujeme vlastními šetřeními (sledování kvality vod, kalibrace a měření extrémních průtoků atd.). Závěrné profily povodí nižších řádů (Dolský potok – 4,78 km^2, Kotelský potok – 3,21 km^2; viz Tab.1) jsou monitorována vlastními limnigrafickými stanicemi (Thompsonův přeliv a měrná trať) s intenzivnějším experimentálním provozem v povodí. Vedle srovnávací meteorologické stanice ČHMÚ (Svratouch), nalézající se poblíž jižní rozvodnice, je instalována ve střední části experimentálního povodí automatická stanice (VÚMOP), doplněná plošným monitoringem srážek a dalších veličin (viz Obr 2b).

Vlastní monitoring poskytuje experimentální data z období předcházející realizaci i po provedení souboru experimentů. Účelu využití naměřených podkladů je přizpůsoben rozsah a zaměření monitoringu, zejména s ohledem na speciální témata, jakými jsou například měření drenážních odtoků, jakosti vod a obsah nerozpuštěných látek v určujících profilech povodí, vlhkost půdy resp. charakteristiky pohybu vody půdním prostředím. Ústav disponuje poměrně dlouhými řadami režimových měření i množstvím speciálně zaměřených experimentů. Přehled těchto aktivit s odkazy

na literaturu, případně s převzatými hlavními výsledky poskytuje sjednocené zpracování metadat. K dispozici je v písemné podobě, v letošním roce je připravováno základní zpracování v digitální formě, které bude souhrnné informace o povodích poskytovat i prostřednictvím Internetu (rozšíření základní verze, publikované na http://www.hydromeliorace.cz/povodi/index.html).

V současnosti je zpracovávána 2. verze koncepce databáze o experimentálních povodích. Zahrnuje následující kapitoly:
- Geografie (obecné charakteristiky)
- Hydrologie (obecné charakteristiky)
- Monitoring (struktura a charakteristiky)
- Fotogalerie
- Aplikace .... představení souhrnných výsledků - tabulky, grafy, mapy
- Odkazy na literaturu s citací experimentálních povodí
- Administrace exp. povodí (kontaktní adresy, další informace)

UPLATNĚNÍ EXPERIMENTÁLNÍCH DAT

V souvislosti s útlumem zemědělské produkce v devadesátých letech jsou na experimentálních povodích studovány aktuálně následující témata:
- ochrana půd a hydrosféry jako základní princip realizovaného výzkumu;
- dopady restrukturalizace zemědělské výroby (změna využití půdy, delimitace kultur, snížení potřeby intenzit odvodnění, vliv těchto aspektů na kvalitu povrchových a podzemních vod);
- problematika vodní a větrné eroze, účinnost agrotechnických protierozních opatření, vliv erozních smyvů na kvalitu povrchových vod;
- hodnocení retenční kapacity půd a krajiny, uplatnění systémů retardace drenážních vod a řízení odtoku mělkých podpovrchových vod, transportní procesy v povodí (živiny a rizikové látky);
- zpřesnění složek hydrologické bilance a vyjádření podílu drenážních vod na celkovém odtoku z povodí (za běžných i extrémních situací).

PŘEDSTAVENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH POVODÍ

Tab. 1 Základní charakteristiky hlavních experimentálních povodí VÚMOP Praha

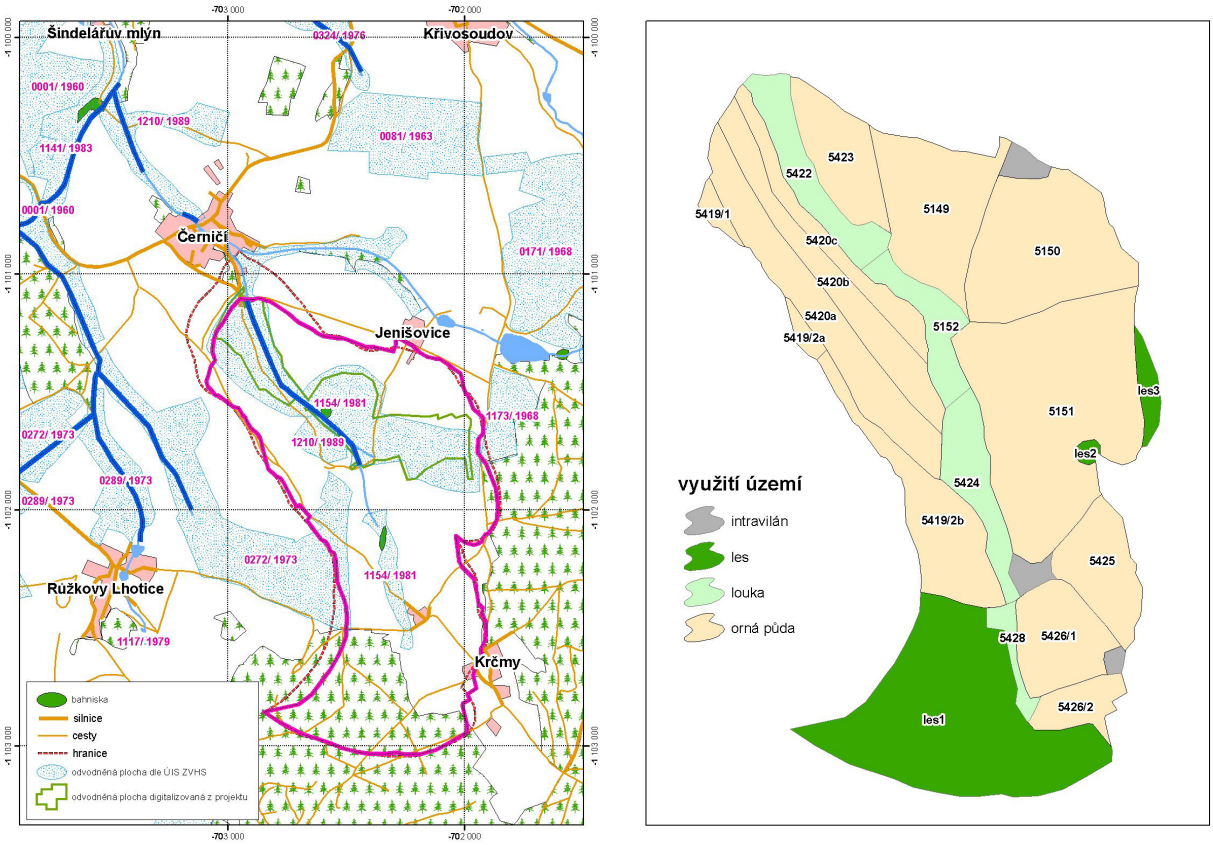
Tab. 1 Basic characteristics of the main RISWC experimental catchments

Jméno povodí	Cerhovický potok	Černičí	Dolský potok /*	Kopaninský tok	Kotelský potok /*	Žejbro /**
Prům.zem.šířka	49° 51' E	49° 37' N	49° 47' N	49° 28' N	49° 47' N	49° 48' N
Prům.zem.délka	13° 50' E	15° 04' E	15° 59' E	15° 17' E	15° 59' E	15° 59' E
Výšky (m n.m.) min – max (avg.)	390 – 572 (481)	448 - 543 (496)	456 - 676 (566)	467 - 578 (523)	438 - 663 (551)	355-676 (516)
Plocha (km^2)	7.36	1.42	4.78	6.69	3.21	48.3
% orné půdy	18 %	73 %	68 %	52 %	76 %	63 %
% louky	22 %	7 %	7 %	14 %	10 %	15 %
% les	60 %	17 %	1 %	30 %	3 %	16 %
% system.drenáž	16 %	17 %	22 %	10 %	38 %	23 %
Srážkový úhrn roční prům.(mm)	617	722	764	665	764	764
Prům. teplota vzduchu (°C)	7.5	7.5	6.3	7.0	6.3	6.3
Hlavní matečná hornina	svor	pararula	fylity	pararula	fylity	fylity, hlubinné vyvřeliny, křída

/ Dolský potok a Kotelský potok je dvojice povodí nižšího řádu v povodí vodního toku Žejbro*

*/** Měrná limnigrafická stanice ČHMÚ*

Experimentální povodí Černičí u Čechtic bylo založeno v roce 1990. Jde o typické malé povodí bez významných bodových zdrojů znečištění (komunálního či zemědělského). Původním účelem byl monitoring erozního smyvu a odnosu půdy spolu s hodnocením plošného znečištění vod zemědělskou výrobou v povodí VD Želivka - Švihov. Povodí bylo využíváno pro kalibraci modelů pohybu půdní vody a půdních roztoků, analyzován byl i chemizmus povrchové, podzemní a drenážní vody. Území je součástí paroviny Středočeské pahorkatiny, klimatická oblast mírně teplá, mírně vlhká. Geologické podloží je předprvohorního až prvohorního stáří (Moldanubikum), půdy jsou středně hluboké až hluboké, převážně středně těžké. Poměry povodí jsou znázorněny na Obr.2.



Obr. 2 Situace povodí Černičí: a/ rozsah odvodnění drenáží; b/ využití území

Fig. 2 Situations of Černičí basin: a/ drainage systems; b/ landuse

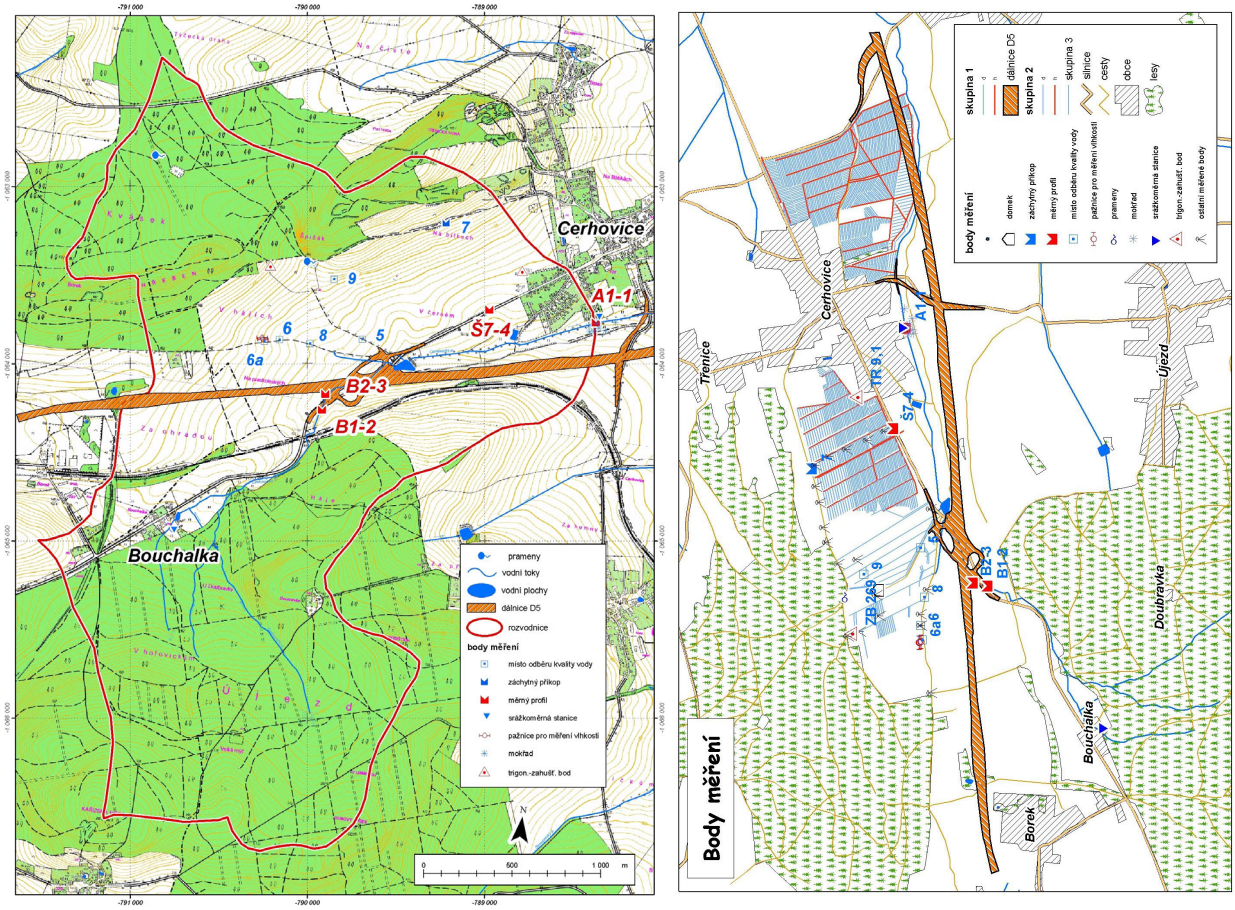
Experimentální plocha Záluží-Cerhovice byla založena v roce 1973/4 pro účely řešení problematiky funkce drenážního zásypu, obsypu a filtru. V roce 1977 bylo měření rozšířeno pro řešení úkolů, zabývajících se úpravou odtokových poměrů odvodňovacími zařízeními v malém povodí a studiem vlivu zemědělské činnosti na kvalitu podzemních vod. Výstavba dálnice v roce 1994 si vyžádala provedení řady opatření (přeložení závěrového profilu - redukce plochy z 8,98 km^2 na 7,36 km^2). Povodí patří do oblasti bramborářsko-pšeničné, klimatická oblast mírně teplá, mírně vlhká, zemědělské půdy zaujímají cca 286 ha; na 450 ha jsou smíšené lesy (smrk a dub). Povodí se nachází na území středočeské pánve (Barrandien) - komplex nejmladšího proterozoika. Situování objektů v povodí a kategorie využití území popisuje Obr.3. V současnosti se s ohledem k rozšiřování intravilánu obce a stavebním činnostem výrazně mění podmínky u závěrového profilu povodí.

Skupina pěti experimentálních povodí vodního toku Žejbro se nachází v okrese Chrudim. V posledním desetiletí byl monitoring soustředěn vedle uceleného povodí Žejbro na dvě dílčí povodí: Dolský a Kotelský potok. Experimentální provoz byl zahájen v roce 1981 s účelem měření průtoků před chystanou stavbou velkoplošných odvodnění zemědělských půd. Geologicky je povodí součástí hlinecké zóny - spodní paleozoikum (kambrium až devon) a svrchní proterozoikum. S ohledem na

velikost povodí se jednotlivé charakteristiky (geologické poměry, klima, půdní poměry) mění v poměrně širším rozmezí a vhodněji je proto popisují mapové přílohy (viz literatura). Odlišnost vnitřních povodí Dolského a Kotelského potoka je dána zejména existencí sídel a vodních nádrží i rozsahem ploch odvodněných drenáží. Na povodích byly řešeny výzkumné projekty, související s úpravou odtokových poměrů v malém povodí v důsledku odvodnění půd a úprav malých toků. Řešena byla problematika regulace odtoku povrchové a půdní vody, i vliv změn zemědělského hospodaření. Data o průtocích v uzavíracím profilu povodí Žejbra jsou přebírána od ČHMÚ. Situace využití území a rozmístění měrných objektů je znázorněna na Obr.4.

Obr. 3 Situace povodí Cerhovice: a/ měřící objekty; b/ rozsah odvodnění drenáží

Fig. 3 Situation of Cerhovice basin: a/ object of measurements; b/ localization of drainage systems



Tab. 2 Podíl ploch zemědělských půd, odvodněných drenáží (povodí Žejbro)

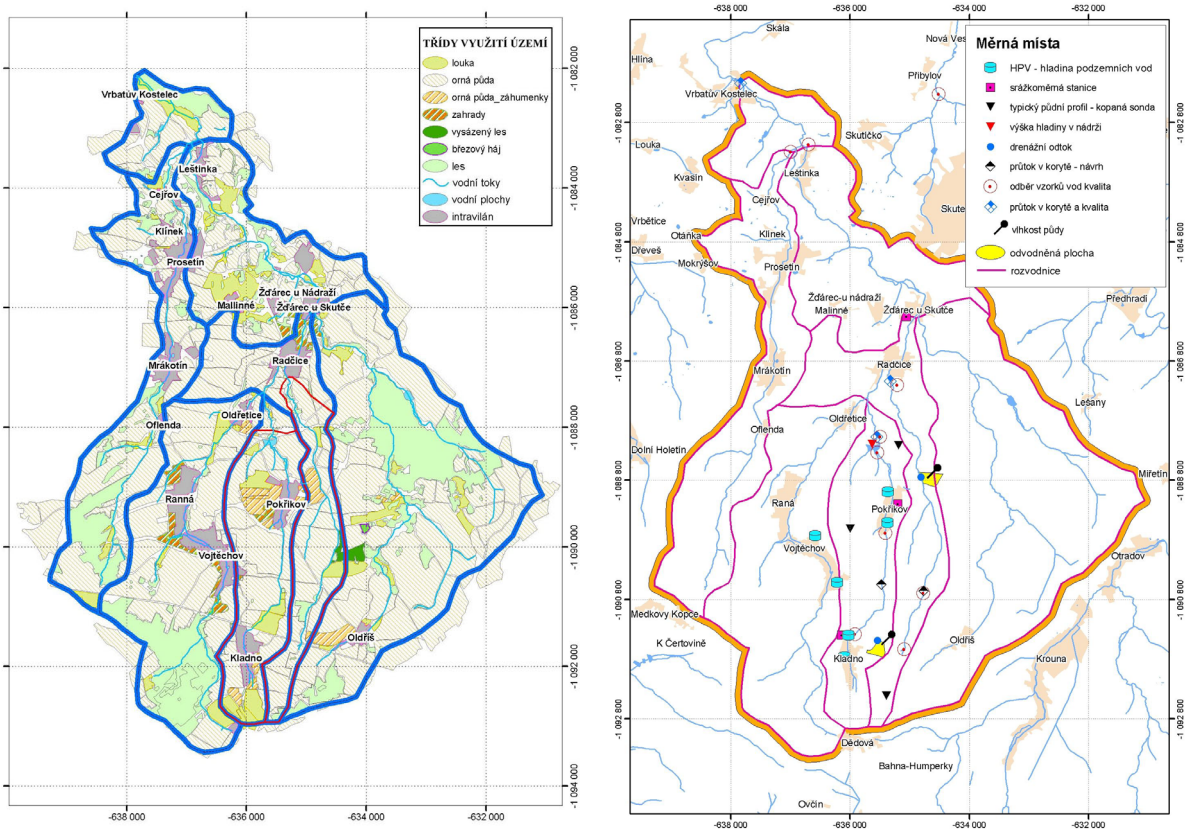
Tab. 2 Portion of agriculture land with drainage systems (Žejbro catchment)

Číslo povodí	Plocha pozemků odvodněných drenáží [ha]	Podíl odvodněné plochy k ploše dílčího povodí [%]
1-03-03-069- Hesinský potok	556	39
1-03-03-070- Ranský potok	153	17
1-03-03-071- Dolský potok	151	30
1-03-03-072- Kotelský potok	299	54
1-03-03-073- Žejbro	72	13
1-03-03-074- Mrákotínský potok	154	22
1-03-03-075a- Žejbro	4	2

Intenzita zemědělského odvodnění plošnou drenáží je v povodí Žejbra poměrně vysoká (29%), pro jednotlivá povodí ji uvádí následující Tabulka 2 a graficky vyjadřuje mapa na Obr.5a.

Obr. 4 Povodí Žejbro: a/ využití území; b/ místa měření

Fig. 4 Situation of Žejbro basin: a/ landuse; b/ object of measurements

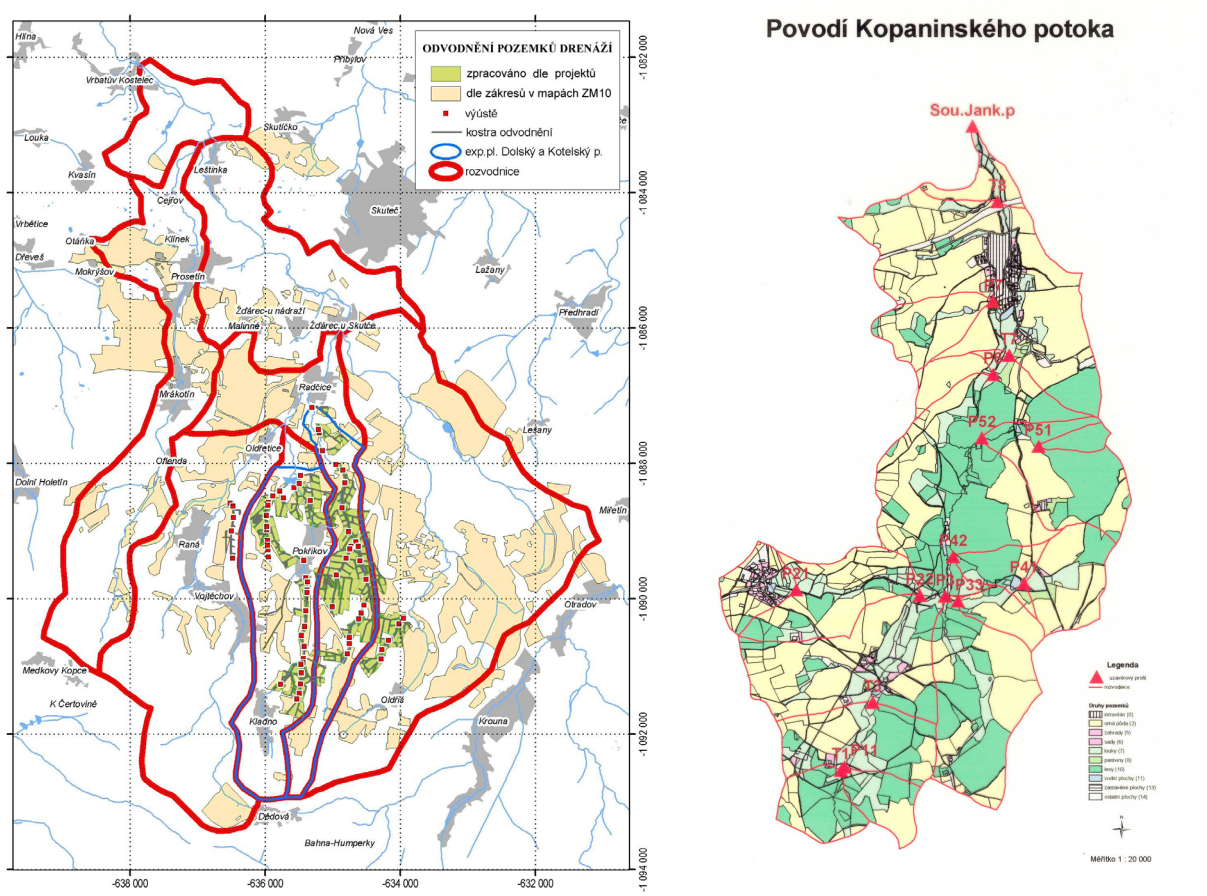


Pokusné plochy v povodí Kopaninského toku byly založeny v roce 1985, původně pro výzkum regulační drenáže na lučních stanovištích. Povodí se nachází mezi Humpolcem a Pelhřimovem v kraji Vysočina, geologickým podložím je krystalinikum, půdy jsou převážně kambizemě districké. Od roku 1992 je zde systematicky sledována kvalita vody nejen v hlavním toku, ale také na cca 17-ti přítocích (potocích, drenážích a pramenech), což umožňuje podrobné provedení bilance dusíku a identifikaci lokalit, které se nejvíce podílejí na odnosu tohoto nutrientu, tzv. zdrojových (infiltračních) oblastí povodí. Výsledky šetření slouží pro stanovení dopadu zatravnění na kvalitu vod a pro návrh rozsahu tohoto opatření k zajištění vyhovující jakosti vody. Využití území, tvar povodí a rozmístění měrných objektů vyjadřuje Obr. 5b.

ZÁVĚR

V průběhu posledních let se podařilo integrovat a koordinovat výzkum na experimentálních povodích do různých programů, napříč průběžně vznikajícími prostorovými a časovými zájmy. Podařilo se opakovaně porovnat a koordinovat výsledky činností, což vytvořilo ve vztahu k monitoringu pozitivně hodnocený efekt zpětné vazby. Data z komplexně sledovaných experimentálních ploch nachází využití v resortních i nadresortních projektech, současně se zvyšuje zájem o vnější i vnitřní spolupráci.
V posledních 5-ti letech byly na všech uvedených povodích monitorovací systémy modernizovány ve smyslu automatizace sběru dat, případně jejich distribuce k uživatelům bezdrátovými technologiemi či prostřednictvím Internetu (archivace dat na zabezpečeném serveru). Reprezentativnost měřících

profilů byla zhodnocena vzhledem k mnohačetnému využívání dat, přitom byla iniciována doplnění řady nových měrných profilů.
Jak je uvedeno v závěrech prvního sborníku s tématikou pokusných povodí VÚMOP Praha (2002), srovnání a koordinace experimentálních činností na malých povodích ozřejmuje některé aspekty sledovaných jevů, které by jinak unikaly pozornosti nebo by byly považovány za samozřejmé. Takovými aspekty jsou např. značná převaha skutečné evapotranspirace nad odtokem v rovnici hydrologické bilance malých zemědělských povodí v podhorských oblastech středočeského krystalinika, zvláštní charakter drenážního odtoku ve srovnání s obvyklými složkami odtoku z povodí, chování vodních toků za extrémních situací, náchylnost jednotlivých povodí k erozi půdy, komplikované trendy vývoje jakosti vody v drobných vodních tocích a mechanismy tvorby jakosti vody v půdním profilu.



Obr. 5 *a/ Odvodnění zemědělských půd systematickou drenáží v povodí Žejbra*

b/ Využití území povodí Kopaninského potoka

Fig. 5 *a/ Situation of drainage systems on Žejbro catchment*

b/ Landuse on basin 'Kopaninský potok'

Závěrem bychom chtěli poděkovat za podporu provozu experimentálních povodí zejména z prostředků výzkumného záměru ústavu (do roku 2003: MZE-M07-99-01, po roce 2004: MZE0002704901), která se tak stává součástí trvalé a systematické péče o experimentální základnu výzkumu na malých zemědělsko-lesních povodích v podmínkách VÚMOP Praha.

Literatura

Burešová Z., Čmelík M., Eichler J., Kulhavý Z. (2003): Informační zpracování databází experimentálního povodí Žejbro. Samostatná část výstupu etapy 14 výzkumného záměru VÚMOP Praha MZE-M07-99-01, VÚMOP Praha, 18s + 66s příloh

Johanovský Z. (2004): Metadata výzkumného povodí Černičí. VÚMOP Praha, 55s + 13s příloh

Kolektiv autorů (2002): Pokusná zemědělsko-lesní povodí VÚMOP ve středočeském krystaliniku. Sborník z Workshopu Nové Hrady, editor Doležal F., VÚMOP Praha, 96 str.

Peterková J., Kvítek T. (2003): Experimentální povodí Kopaninský tok a Dehtáře – stav po vybavení novou přístrojovou technikou. In Zborník príspevkov na CD 11 Posterový deň s medzinárodnou účasťou „Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda – rastlina – atmosféra“. Bratislava, SR : ÚH SAV / GFÚ-SAV, s. 319-325. ISBN 80-89139-02-7.

Pilná E. (2002): Metadata výzkumné plochy Cerhovice. VÚMOP Praha, 55s + 20 s příloh

Pilná E. (2003): Metadata výzkumné plochy Kopaninský tok, VÚMOP Praha, 66 s. +13 s. příloh

http://www.hydromeliorace.cz/povodi/index.html (2003): Experimentální povodí VÚMOP Praha, 1.verze WEB-ové presentace

Autorský kolektiv

Zdeňka Burešová, Milan Čmelík, František Doležal, Petr Fučík, Zbyněk Kulhavý, Tomáš Kvítek, Eva Pilná, Jana Peterková, Mojmír Soukup, Martin Tippl

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5 - Zbraslav, Česká republika

Tel: +420 257 921 640, E-mail: dolezal@vumop.cz; kulhavy@hydromeliorace.cz

SYSTÉM NA MONITOROVANIE EURÓPSKYCH VÔD SEWING A JEHO VYUŽITIE V HYDROLÓGII

Ľubomír Lichner, Ladislav Holko, Zdeněk Kostka, Vladimír Píš

V rámci riešenia projektu 5. Rámcového programu EÚ č. IST-2000-28084 „System for European Water Monitoring" (SEWING) sa v r. 2001 – 2004 vyvinulo zariadenie na meranie koncentrácie iónov NO_3^-, NH_4^+, Na^+, Ca^{2+} a H^+ vo vode. Ako jeho senzory slúžia chemicky upravené iónovoselektívne FET tranzistory (nazývané CHEMFET-y), údaje z ktorých sú spracovávané, kódované, uschovávané a prenášané mikrosystémami, ktoré sú flexibilné a špecifické pre konkrétneho používateľa. V rámci riešenia projektu bol vyvinutý aj hydraulický systém, odoberajúci vzorky meranej vody, štandardné kalibračné vzorky a softvér na vizualizáciu výsledkov. Ako subkontraktor (konečný používateľ) projektu, slovenská skupina riešiteľov využila toto zariadenie pri stanovovaní časovej variability koncentrácie dusičnanov vo vzorkách vody, odobratých na dvoch odberných miestach Jaloveckého potoka počas hydrologického roka 2004 a na jar 2005, a jej závislosti od využitia krajiny Jedno odberné miesto bolo horskej časti povodia v Západných Tatrách, kde je ľudská činnosť veľmi obmedzená, druhé v obývanej časti povodia s poľnohospodárskou činnosťou v Liptovskej doline. Koncentrácie dusičnanov v toku sa v dvoch odberných miestach nelíšili s výnimkou obdobia topenia snehu, keď dochádza k vyplavovaniu iónov akumulovaných v snehu. Pozdĺžne monitorovanie vody v Jaloveckom potoku potvrdilo, že k najväčším zmenám v koncentrácii dochádza v obývanom území.

Kľúčové slová: meranie, koncentrácia, dusičnany, Jalovecký potok

System for European water monitoring SEWING and its use in hydrology. *A device for measurement of NO_3^-, NH_4^+, Na^+, Ca^{2+}, and H^+ ions was developed as an output of the 5th European Commission Framework Programme Project No. IST-2000-28084 „System for European Water Monitoring" (SEWING), solved in 2001–2004. Sensors of this device are chemically modified ion-selective field-effect transistors (called CHEMFETs). Output data of the sensors are processed, coded, maintained, and transferred by flexible and user-specific microsystems. The SEWING-device contains a hydraulic system for water sampling, standard calibration samples, and software for visualization of the results. As a subcontractor (end-user) of the project, the Slovak team used this device for estimation of the temporal variability in nitrate concentration in water samples, collected in two sampling sites of Jalovecký potok creek during the hydrological year 2004 and in spring 2005, depending on land use. The first sampling site was in the mountainous part of the catchment with very restricted human activities in the Western Tatra mountains, the second one in rural area with villages and agriculture in Liptov valley. Concentrations of nitrates in the creek at both sites typically do not differ very much except of the snowmelt period. Leaching of nitrates from the inhabited areas during the snowmelt is the reason of large differences between the two sites during the snowmelt period.*

Key words: measurement, concentrations, nitrates, Jalovecký potok creek

---

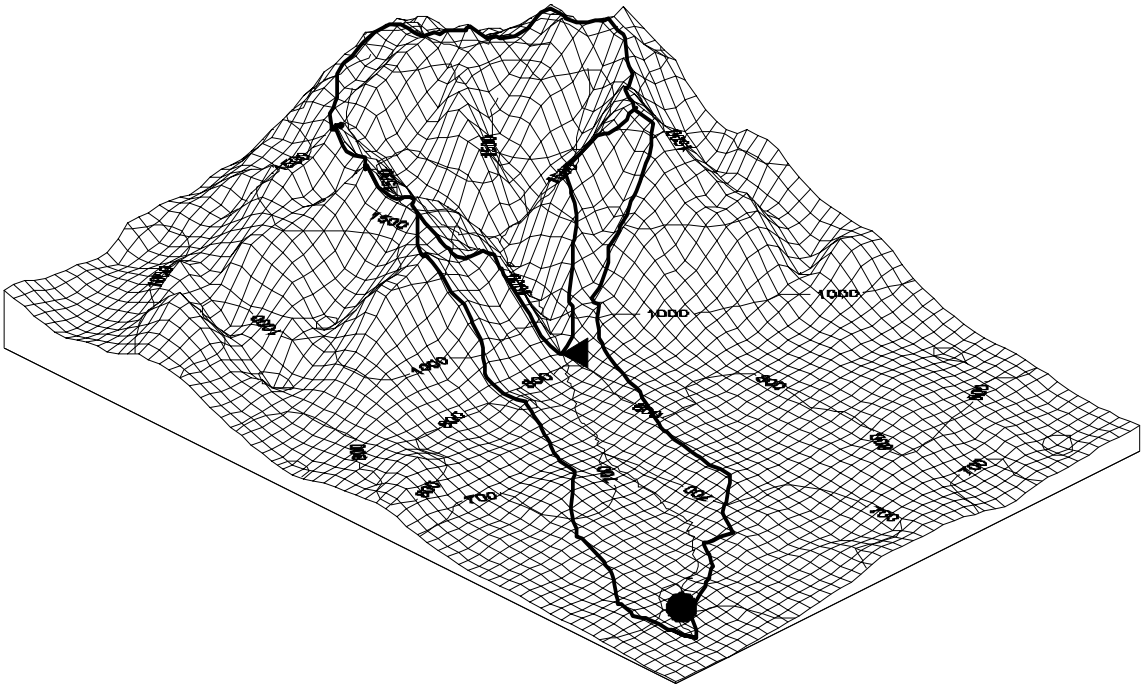
ÚVOD

Deficit pitnej vody sa v súčasnosti stáva problémom aj v Európe (Falkenmark et al., 1999). Na získanie informácií o najčastejšie stretávaných typoch znečistenia povrchovej a podzemnej vody sa v rámci riešenia projektu 5. Rámcového programu EÚ č. IST-2000-28084 „System for European Water Monitoring" (SEWING) v r. 2001 – 2004 vyvinulo zariadenie na meranie koncentrácie iónov NO_3^-, NH_4^+, Na^+, Ca^{2+} a H^+ vo vode. Ako jeho senzory slúžia chemicky upravené iónovoselektívne FET tranzistory (nazývané CHEMFET-y), využívajúce rôzne iónovo-senzitívne polymérové membrány, ktoré umožňujú výber rôznych cieľových polutantov. Údaje zo senzorov sú spracovávané, kódované, uschovávané a prenášané mikrosystémami, ktoré sú flexibilné a špecifické pre konkrétneho používateľa. V rámci riešenia projektu bol vyvinutý aj hydraulický systém, odoberajúci vzorky meranej vody, ako aj štandardné kalibračné vzorky. Zariadenie má slúžiť na kontinuálne monitorovanie znečistenia vody v reálnom čase a tiež ako systém včasnej výstrahy (http://www.sewing.mixdes.org).

Ústav hydrológie SAV v Bratislave je subkontraktorom (konečným používateľom) projektu SEWING. Autori článku použili prototyp tohto zariadenia pri stanovovaní časovej variability koncentrácie dusičnanov vo vzorkách vody, odobratých na dvoch odberných miestach Jaloveckého potoka počas hydrologického roka 2004 a na jar 2005, a jej závislosti od využitia krajiny.

MATERIÁLY A METÓDY

Trojrozmerná mapa povodia Jaloveckého potoka je na obr. 1. Jedno odberné miesto („Mountains“) sa nachádza na výtoku z horskej časti povodia Jaloveckého potoka v Západných Tatrách s nadmorskou výškou až 2178 m n. m., kde je ľudská činnosť veľmi obmedzená. Na obr. 1 je označené trojuholníkom. Druhé odberné miesto („Valley“) sa nachádza v obývanej časti povodia s poľnohospodárskou činnosťou v Liptovskej doline v blízkosti uzáveru povodia. Na obr. 1 je označené krúžkom.

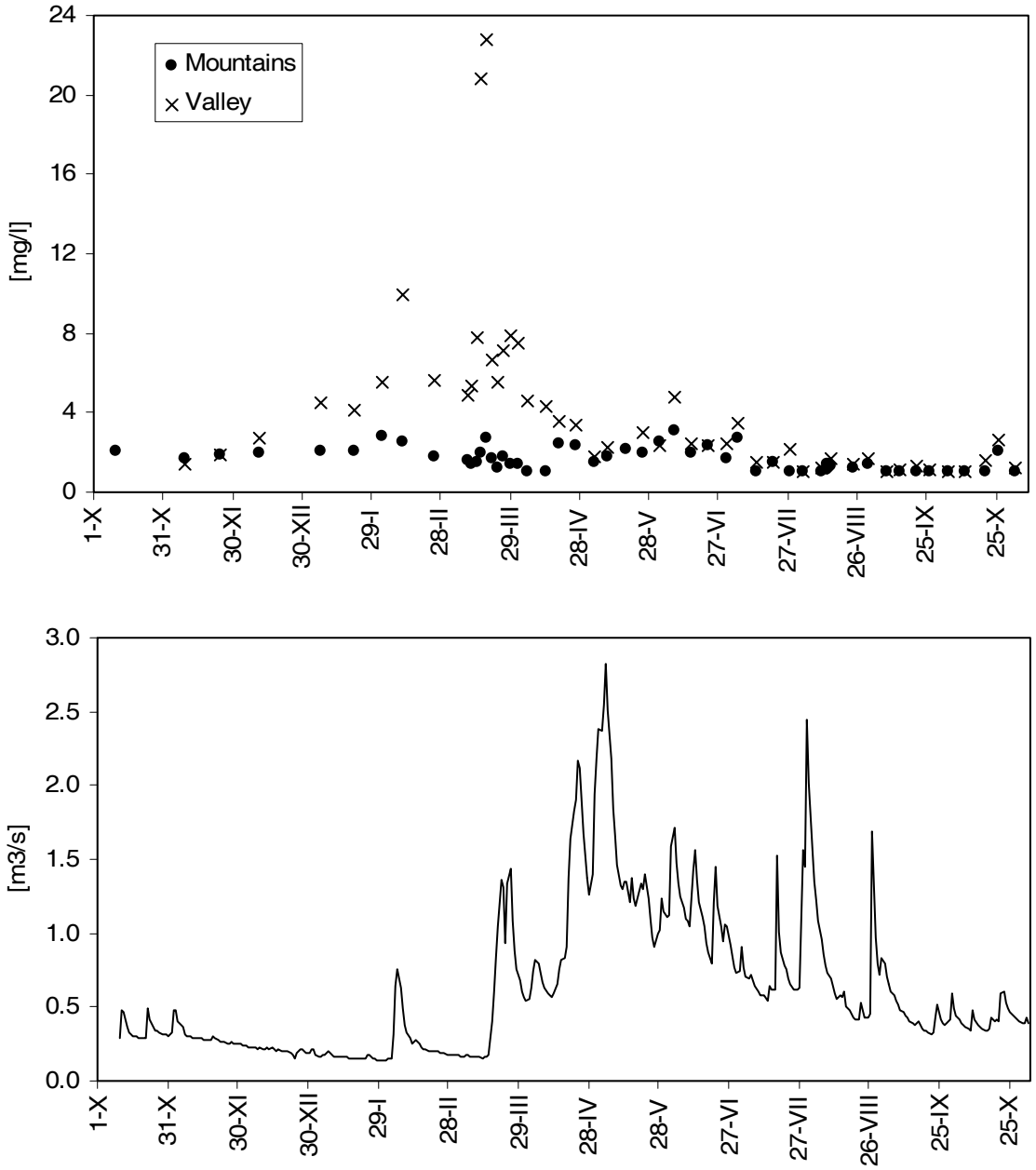


Obr. 1 Povodie Jaloveckého potoka a odberné miesta na výtoku z horskej časti povodia (trojuholník) a v blízkosti uzáveru celého povodia (krúžok).
Fig. 1 The Jalovecký potok creek catchment and the sampling points at the outlet of the mountain part (triangle) and near the end of the whole catchment (circle).

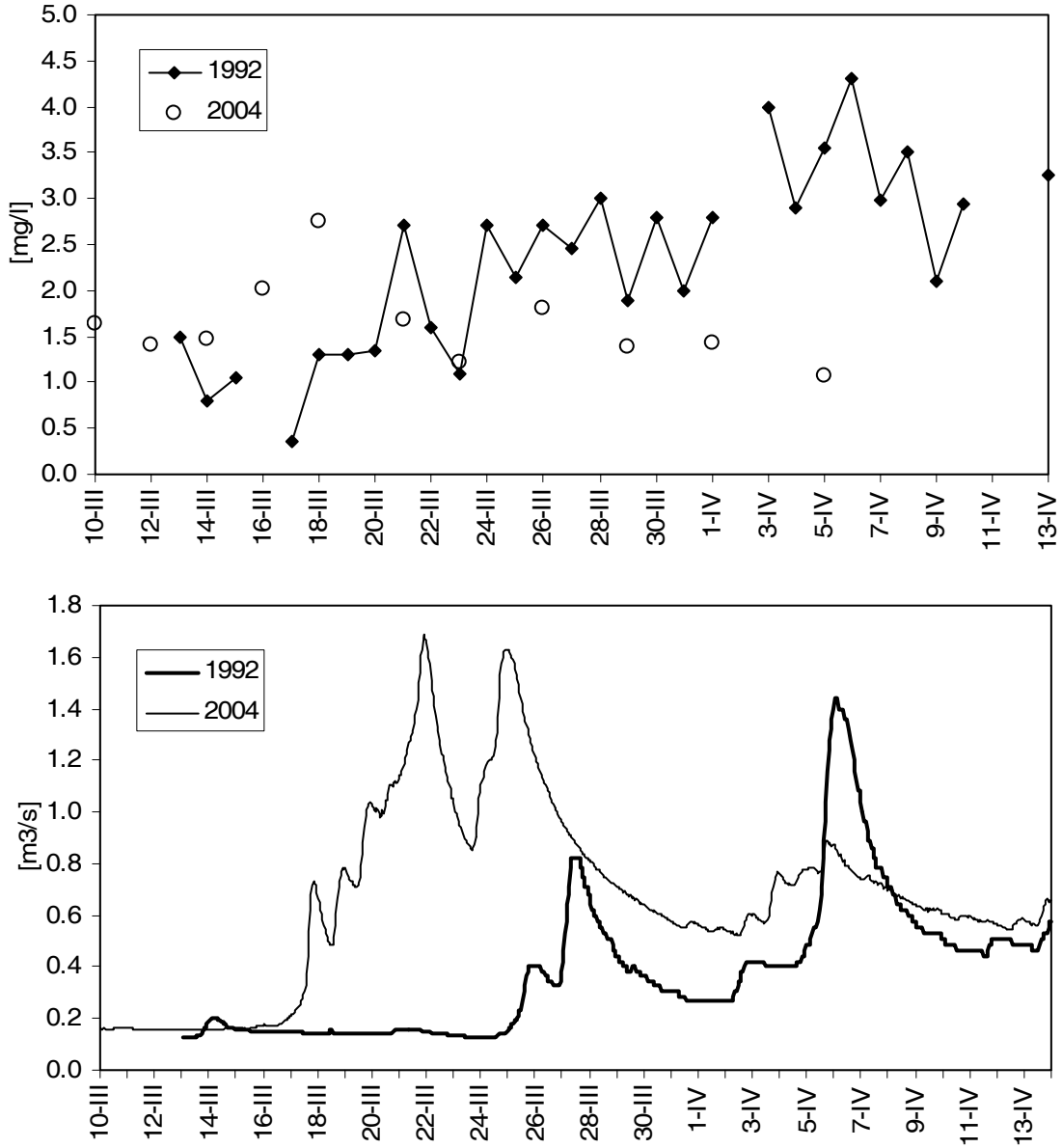
Vzorky vody sa odoberali od októbra 2003 s premenlivou frekvenciou – počas studenej časti roka (október 2003 – apríl 2004) raz za dva týždne a počas teplej časti roka (máj – október 2004) raz týždenne. Ešte častejší odber vzoriek sa vykonával na začiatku topenia snehu v marci 2004 a počas zrážkovo-odtokovej udalosti v auguste 2004. Koncentrácia dusičnanov vo všetkých vzorkách sa merala kolorimetrickým spektrometrom spektrofotometrickou metódou na prietokovom segmentovom analyzátore SKALAR SAN Plus system (výrobca: SKALAR ANALYTICAL BV Breda, Holandsko) (Píš, 1996). Detekčný limit (LOD) je 0,49mg/l a medza stanoviteľnosti (LOQ) je 1,00mg/l. Koncentrácia dusičnanov v niekoľkých vzorkách sa merala aj na prototype zariadenia SEWING.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Koncentrácie dusičnanov vo vode, odobranej na dvoch odberných miestach Jaloveckého potoka (obr. 2), sa v priebehu roka nelíšili s výnimkou obdobia topenia snehu. Vzorkovanie pozdĺž Jaloveckého potoka vykonané na jar 2005 ukazuje, že k najväčším zmenám koncentrácií dochádzalo v osídlenych oblastiach.



Obr. 2 Koncentrácia dusičnanov [mg.l^{-1}] a prietok [m^3.s^{-1}] v Jaloveckom potoku v odberných miestach "Mountains" a "Valley" v hydrologickom roku 2004.
Fig. 2 Concentration of nitrates [mg.l^{-1}] and stream discharge [m^3.s^{-1}] in the Jalovecký potok creek at the sampling sites "Mountains" and "Valley" in hydrological year 2004.



Obr. 3 Koncentrácia dusičnanov [mg.l^{-1}] a prietok [m^3.s^{-1}] v Jaloveckom potoku v odbernom mieste "Mountains" na jar 1992 a 2004.
Fig. 3 Concentration of nitrates [mg.l^{-1}] and stream discharge [m^3.s^{-1}] in the Jalovecký potok creek at the sampling site "Mountains" in springs 1992 and 2004.

Koncentrácia dusičnanov v odbernom mieste „Mountains“ bola v rozmedzí od < 1 mg.l^{-1} do 3,09 mg.l^{-1}. Koncentrácia dusičnanov v odbernom mieste „Valley” bola v rozmedzí od < 1 mg.l^{-1} do 22,8 mg.l^{-1}. Od mája do novembra boli koncentrácie v oboch odberných miestach skoro rovnaké, pričom od septembra do polovice októbra často klesali pod prah citlivosti meracieho zariadenia. Rozdiely koncentrácií dusičnanov, namerané obomi zariadeniami, boli nepatrné.

Koncentrácia dusičnanov v zrážkach, vzorkovaných v najvyššej časti povodia v lete 2003 (od polovice mája do polovice októbra) bola v rozmedzí od 0,7 mg.l^{-1} do 4,8 mg.l^{-1}. Maximálna koncentrácia dusičnanov vo vzorkách snehu, odoberaných od polovice marca do začiatku apríla 2004, bola 1,63 mg.l^{-1}; vo väčšine z 15 odobraných vzoriek bola koncentrácia dusičnanov pod prahom citlivosti meracieho zariadenia. Hodnoty koncentrácie však mohli byť ovplyvnené počas topenia vzoriek snehu.

Porovnanie našich výsledkov so staršími výsledkami, nameranými v chladnom období roka na konci osemdesiatych (Babiaková et al., 1990) a na začiatku deväťdesiatych rokov, ukázalo, že koncentrácia dusičnanov v odbernom mieste „Mountains“ bola skoro rovnaká (obr. 3). Aj keď variácia koncentrácie dusičnanov v horských oblastiach nie je veľmi vysoká, všetky série údajov ukazujú, že týždňový vzorkovací krok počas topenia snehu môže viesť k záverom, ovplyvneným systematickou chybou. Správny odhad odnosu dusičnanov počas obdobia topenia snehu by mal byť založený na vzorkách odoberaných s dennou frekvenciou.

Poďakovanie

Autori ďakujú za podporu poskytnutú z prostriedkov projektu 5. Rámcového programu EÚ č. IST-2000-28084 „System for European Water Monitoring“ (SEWING).

Literatúra

Babiaková, G., Bodiš, D., Palkovič, D. (1990): Hydrologická a hydrochemická odozva povodí. Vodohosp. Čas., 38, 4, 427 – 452.

Falkenmark, M., Andersson, L., Castensson, R., Sundblad, K. (1999): Water, a reflection of land use. Swedish Natural Science Research Council, 128 s.

Píš, V. (1996): Stanovenie dusičnanov vo vode na prietokovom segmentovom analyzátore SKALAR SAN Plus System. Vedecké práce 22, Výskumný ústav závlahového hospodárstva v Bratislave, s. 159 – 163.

Autori

Ing. Ľubomír Lichner, CSc., Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava, lichner@uh.savba.sk

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

RNDr. Zdeněk Kostka, PhD., Experimentálna hydrologická základňa ÚH SAV, Ondrašovecká 16, 031 05 Liptovský Mikuláš, kostka@uh.savba.sk

RNDr. Vladimír Píš, Hydromeliorácie, š. p., Vrakunská 29, 825 63 Bratislava, pis@hmsp.sk

POUŽITIE NOVÝCH METÓD MERANIA VLHKOSTI PÔDY ZA ÚČELOM OPTIMALIZÁCIE VODNÉHO REŽIMU PÔD

Viliam Nagy, Vlasta Štekauerová

Vodný režim zóny aerácie pôdy vyjadruje priebeh integrálneho obsahu vody v zóne aerácie pôdy počas sledovaného obdobia. Závisí od rôznych faktorov. Jeho dlhodobé sledovanie umožňuje klasifikovať vodný režim pôd v určitej lokalite, resp. regióne, z rôznych pohľadov: hydrologického, ekologického, agronomického a podobne. Pre kvantifikáciu vodného režimu pôd sa využíva vlhkostný režim pôd, ktorý si vyžaduje stanovenie priebehu vlhkosti pôdy v danom časovom intervale v jednotlivých horizontoch zóny aerácie pôdy. Vlhkostný režim zóny aerácie pôdy je možné určiť monitoringom, t.j. priamym meraním vlhkosti pôdy v jednej, resp. viacerých vertikálach vo vybraných lokalitách tak, aby termíny medzi meraniami boli čo najmenšie. Monitoring vlhkosti pôdy je náročný na čas, prístroje, pracovníkov, ale má svoje nezastupiteľné miesto. Získajú sa priebehy vlhkostí v pôdnom profile počas celého roku s dostatočnou presnosťou. Metódy na meranie vlhkosti pôdy prešlo mnohoročným vývojom. Cieľom práce je podať informáciu o najnovších metódach merania vlhkosti pôdy, ktoré boli vyvinuté a použité na vyhodnotenie vlhkostného režimu pôd v niektorých zahraničných lokalitách v oblasti Dunaja.

Kľúčové slová: vlhkosť pôdy, senzorI, kapacitná metóda, neutrónová sonda

***Using of new methods of soil water content measurement for intention of soil water regime optimalization**. Soil water regime express course of soil integral water content during yeasr. It depends on various factors. Soil water regime of localities or regions can be assessed from this course from point of view of hydrology, ecology,agricultural and so on. For qualification of soil water regime was used the soil moisture regime, which requires to assessed of course of soil moisture within given time intervals in each horizon of the all aeration zone. It is possible to specify the soil moisture regime of the aeration zone with monitoring, measuring directly the soil moisture in one or more verticals from chosen locations, so the terms are shottest possible, between the measurements. The monitoring is time, equipment and workers consuming, but has its hight importance. With monitoring of soil profiles we receive precise data of the behaviour of the soil moisture during the whole year. Methods of soil moisture measurement were developed many years. The aim of the contribution is to inform about new methods. They were used to assess of soil water regime in localities on both side of Danube.*

Key words: soil water content, senzor I, capacity method, neutron probe

---

ÚVOD

Vodný režim zóny aerácie pôdy vyjadruje priebeh integrálneho obsahu vody v zóne aerácie pôdy počas sledovaného obdobia.Jeho dlhodobé sledovanie umožňuje jeho klasifikáciu z rôznych hľadísk, ako z: hydrologického, ekologického, agronomického a podobne.Pri každom pohľade dôležitú úlohu hrajú hydrofyzikálne charakteristiky daného druhu pôdy, pomocou ktorých sa sleduje aktuálny integralny obsah vody v pôde, podľa potreby v determinovanej vrstve, z rôzneho hľadiska ako napríklad: ochrana proti povodniam, ekológia regionu, produkcia potravín, produkcia biomasy pre alternatívne zdroje energie a podobne. V každom zo spomínaných odvetví je potrebné monitorovať sezónný, ročný alebo aj dlhodobejší chod pôdnej vlhkosti. Táto práca je veľmi náročná na čas, prístrojové vybavenie, na počet pracovníkov a na financie. Vyžaduje veľa terénnej ako aj laboratórnej práce, vyžaduje značné finančné zdroje, ale zatiaľ monitorovanie chodu vlhkostného režimu nie je nahraditeľné, lebo má svoje nezastupiteľné miesto. Získajú sa priebehy vlhkostí v pôdnom profile počas celého roku s dostatočnou presnosťou. Z viacročných monitorovaných hodnôt vlhkostných profilov možno vypočítať trend vývoja integrálneho obsahu vody v jednotlivých horizontoch alebo v požadovaných vrstvách pôdneho profilu a vyhodnotiť ho vo vzťahu k zabezpečenosti porastu vodou.
Dopad klimatických zmien ovplyvňuje integrálny obsah vody v pôde a tým aj zabezpečenosť porastu vodou (Štekauerova, Nagy, 2001a; Šútor a kol., 1999; Šútor, Rehák, 1999b; Mikulec a kol., 2001; Majerčák a kol., 1999; Šútor, 2000b; Štekauerova 2001;).

Výsledky z monmitorovania vlhkosti pôdy sú v centre záujmu ekológov a poľnohospodárov pre hodnotenie zásob vody v pôde, pre zásobovanie rastlinného krytu vodou, geografov za účelom hodnotenia retenčných vlastností jednotlivých horizontov pôd, hydrológov pre kvantifikáciu smeru pohybu vody v zóne aerácie pôdy ako časti hydrologického cyklu, odborníkov pre ochranu podzemných vôd proti znečisteniu prienikom látok rôzneho druhu a pôvodu z pôdneho profilu, odborníkom z oblasti závlahového hospodárstva pre zefektívňovanie závlah polnohospodárskych plodín, krajinným inžinierom pre kvantifikáciu akéhokoľvek navrhovaného zásahu do prírodného prostredia a na posúdenie dopadu globálnej klimatickej zmeny (Štekauerová, 2002).
Cieľom práce je podať informáciu o najnovších metódach merania vlhkosti pôdy, ktoré boli vyvinuté a použité na vyhodnotenie vlhkostného režimu pôd v niektorých zahraničných lokalitách v oblasti Dunaja.

METÓDY MERANIA VLHKOSTI PÔDY

Meracie metódy vlhkosti pôdy prešli mnohoročným vývojom delíme ich na niekoľko skupín podľa požadovanej podľa toho akú veličinu merajú, či sú priame alebo nepriame. Je uvedený stručný prehľad meracích metód používaných na meranie vlhkosti pôdy.

- Gravimetrická metóda
- Odporová metóda
- Kapacitná metóda
- Gammaskopická metóda
- Neutrónová sonda
- Na základe merania koncentrácie látok
- Reakčnej teploty
- Karbidová metóda
- Klorometrická metóda
- Na princípe tepelnej vodivosti pôdy
- TDR metóda
- Na základe mikrovlnného žiarenia
- Na základe magnetickej rezonancie
- Na základe odsávania vlhkosti
- Viacparametricke metôdy
- Penetrometer
- Szenzor I

Práca sa v ďalšom bude venovať len niektorým z týchto metód.

A. Gravimetrická metôda, ktorá slúžila ako základná a definičná metóda (6) s presnosťou merania 0,01%, a ktorá slúži aj na kalibráciu iných metód.
B. Neutrónová sonda
C. Kapacitná metóda
D. Senzor I

Posledné dve metódy boli pomocou Neutrónovej sondy a gravimetrickej overované v rámci medzinárodného Slovensko-Maďarského projektu.
Na UH-SAV sa v súčastnosti používa na monitorovanie sezónneho chodu pôdnej vlhkosti neutrónová sonda doplnená gravimetrickou metódou pre vrstvy 0-10cm. Nakoľko táto metóda v rámci vyspelých štátov a EÚ začína byť utlmovaná kvôly možnému znečisteniu okolia, nákladnému uskladneniu, nutnej ročnej kontrole tesnosti a nutnosti sledovania dávky žiarenia u obsluhujúceho personálu je požiadavka hladať novú metódu, ktorá bude výhodnejšia a plne vyhovie požiadavkám kladeným z hľadiska ďalšieho výskumu a monitorovania pôdnej vlhkosti a jeho sezónneho chodu.

V rámci spolupráce na medzinárodnom projekte - Hydropedologické základy pestovania rastlín na poľnohospodárských pôdach so zvláštným zreteľom na Žitný Ostrov a Szigetkoz- ÚH SAV spolu so Západomaďarskou Agrárnou univerzitou v Mosonmagyaróvári a Agrárnou univerzitou v Debrecíne boli overené metódy C a D pre sledovanie sezónneho chodu pôdnej vlhkosti. Súčastný smer vývoja meracích prístrojov sa snaží vyhovieť rastúcim požiadavkám na množstvo aktuálných údajov a ich presnosť súčastne. Vývoj počítačovej techniky otvára nové možnosti zhodnotenia výsledkov ale aj kladie zvýšený nárok na kvantitu a kvalitu vstupných údajov. Preto je nutné vyvynúť buď nové metódy a prístroje alebo z už jestvujúcich pomocou novej techniky vytvoriť modernizovanú a pre požiadavky vyhovujúcu metódu, t.j. zmodernizovať, zdokonalovať už existujuce pristroje a metódy.V rámci spolupráce boli overené dve meracie metódy:

A. Zdokonalená kapacitná sonda pod názvom BR-150 vyvinutá Maďarskou akadémiou vied, na Ústave Agrochémie a Pôdoznalecstva, ktorá je používaná Agrárnou Univerzitou v Mosony a slúži na monitorovanie sezónneho chodu pôdnej vlhkosti pre Szigetkoz v 60 merných bodoch.

B. Inteligentný Senzor z Agrarnej Univerzity Debrecín vyvinutý kolektívom prof. Sinórosa. Metóda pracuje na známom princípe hydromolekulárnej polarizácie, čo v praxi znamená vytvorenie silného elektromagnetického poľa so stabilizovanou energiou, ktorého polaritu v rámci určených pravidiel meníme. Polarizačný čas je priamo úmerný počtu molekúl vody H_2O, t.j. dlhší čas väčšia vlhkosť, mensí čas menšia vlhkosť. Zmena magnetického poľa sa deje podľa dopredu určenej frekvenčnej úrovne.

Pre meranie podnej vlhkosti v rôzných hĺbkách (podľa požiadaviek), je zostrojená špeciálna sonda zavedená do pôdy s podobným systémom ako TDR. Senzory su dvojmo izolované a s pôdou neprichadzajú do priamého styku. Merajú nepretržite v čase, aby požadovaná aktuálna hodnota vlhkosti mohla byť určená pre požadovaný čas. Pre tento pripad je v sonde zabudovaná pämať, z ktorej sa dajú hodnoty odčitať podľa potreby, alebo sa dá nastaviť požadovaný čas merania počas dňa alebo sezóny. Nameraní hodnoty sa dajú preniest na pocitač modulárne, alebo pomocou rádiových vĺn (napr. mobilný telefón). Údaje sa udávajú v percentách poľnej voľnej kapacity.

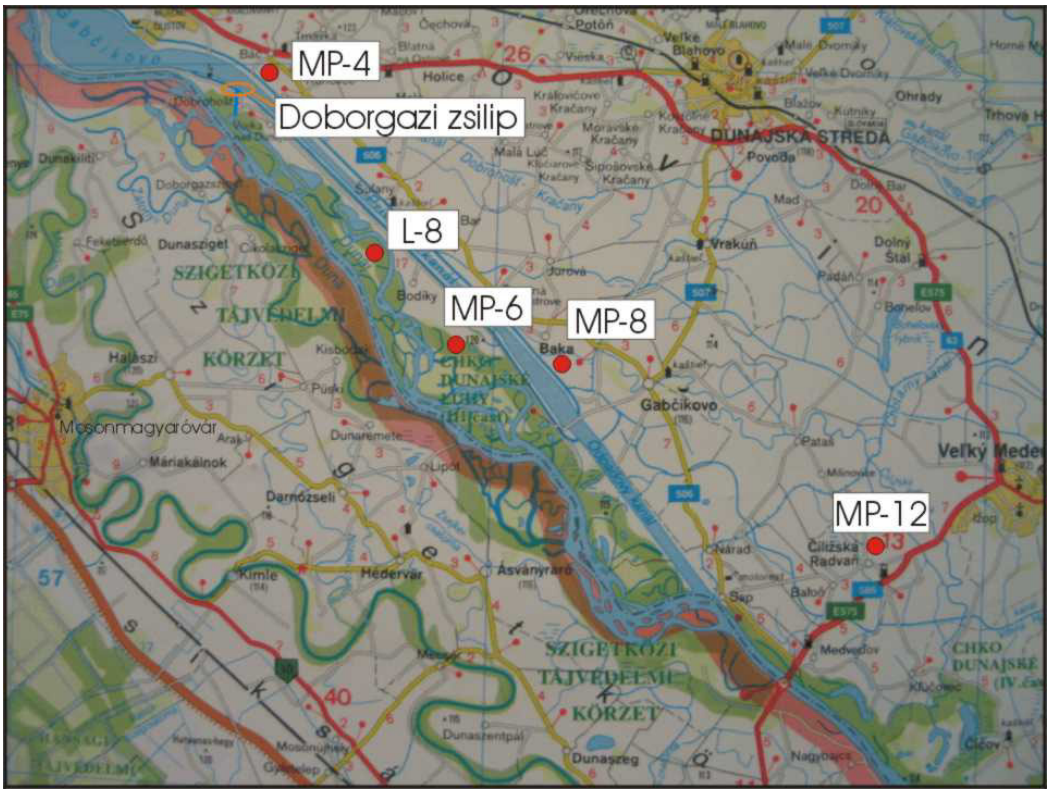
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Porovnanie hodnôt meraných vlhkostí pôdy uvedenými metódami sa vykonalo na 10-tich pozorovacích bodoch, 5 na Maďarskej a 5 na Slovenskej strane. Pozorovacie miesta boli vybraté, aby zabrali celú škálu vyskytujúcích sa pôd a zároveň bolo zohľadnené aj ich využitie. Z pôd boli vybrané ťažke, poloťažké a ľahké pôdy. Podľa využitia sa jednalo o lesné ekosystémy z inundačního územia Dunaja (lužné lesy) a poľnohospodársky intenzývne využívaná pôda.

Príslušné lokality a ich umiestnenie na obidvoch stranách Dunaja (slovenskej a maďarskej) sú zobrazené na obrázkoch 1 a 2.

Porovnanie výsledkov meraní pôdnej vlhkosti neutrónovou sondou a kapacitnou metódou BR150

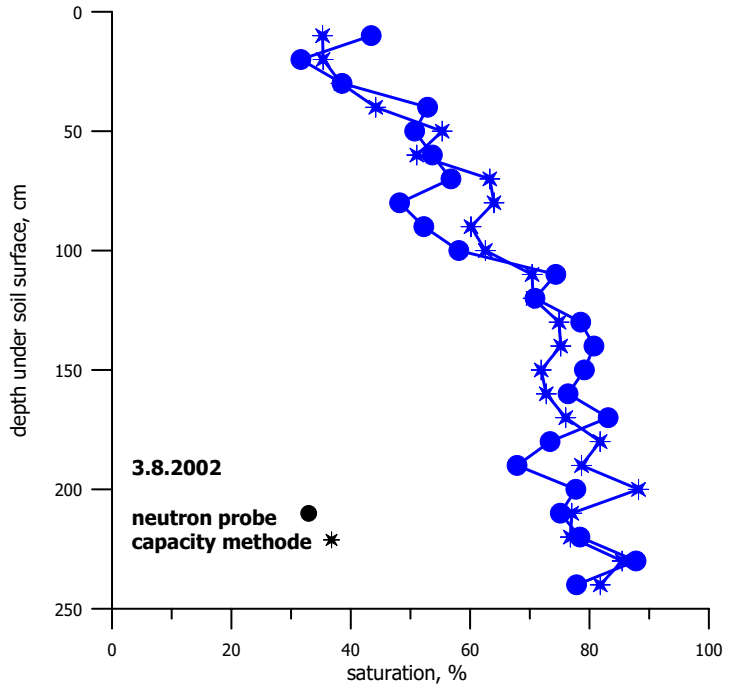
Na obr.3 sú zobrazené hodnoty nasýtenosti pôdy vodou, ktoré boli vypočítané z nameraných hodnôt vlhkosti pôdy metodou kapacitnou KS BR150 a metódou neutrónovej sondy NS.
Nasýtenosť pôdy bola vypočítaná ako pomer nameranej aktuálnej vlhkosti a hodnoty vlhkosti pôdy (Θ_S), ktorá bola úplne nasýtena vodou. Θ_S bola určená na izolovaných vzorkách v laboratóriu pre každý pôdny horizont.



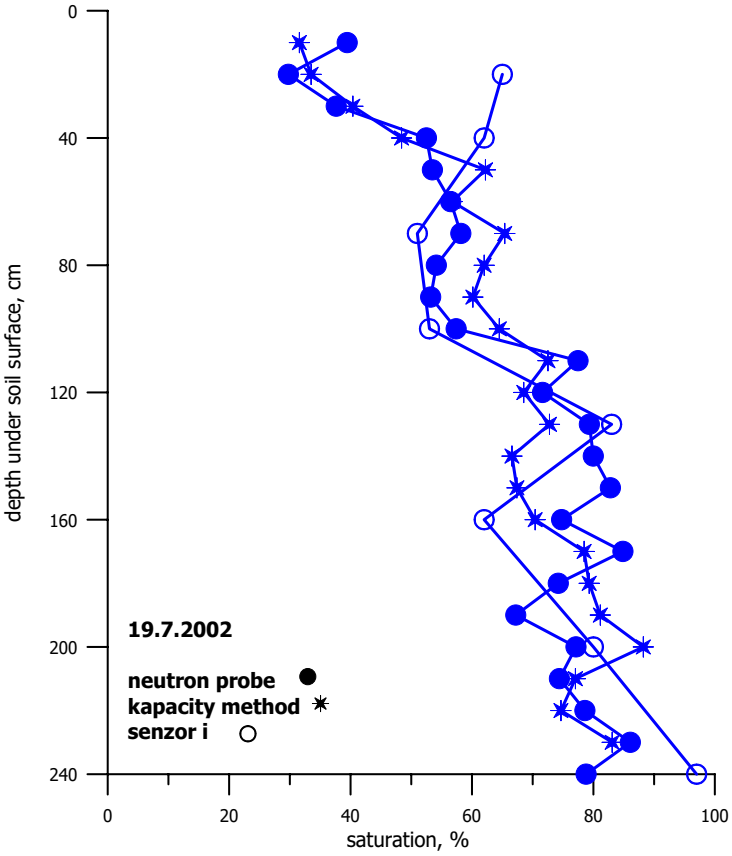
Obr.1 Mapa oblasti kde boli situované odberné miesta na Slovensku(Žitný Ostrov).
Fig. 1 Map of area where localities of Slovakia (Žitný Ostrov) were located.



Obr..2 Mapa oblasti kde boli situované odberné miesta v Maďarsku(Szigetköz).
Fig. 2. Map of area where localities of Hungary (Szigetköz) were located.



Obr. 3. Stupeň nasýtenosti pôdy vodou meraný neutrónovou sondou a kapacitnou metódou
Fig. 3. Saturation of soil measured by capacite method and neutron probe.



Obr. 4. Stupeň nasýtenosti pôdy vodou meraný neutrónovou sondou, kapacitnou metódou a senzorom I
Fig. 4. Saturation of soil measured by capacite method, neutron probe and senzor I.

Po štatistickom spracovaní a porovnaní nameraných hodnôt obidvomi metódami sme dospeli k záveru, že koeficient korelácie sa pohybuje okolo 0,82-0,91 čo je podobné, ako uvádzajú zdroje v súčastnej literatúre (MTA – TAKI 2003-2004 083-090, Barcelona 1990-1995 085-090).

Hodnoty korelačných koeficientov sú uvedené v tabuľke 1 a grafické zobrazenie nameraných vlhkostných profilov je na obrázku 4..

Tab. 1. Koeficient korelácie pre hodnoty namerané v roku 2002 neutrónovou sondou a kapacitnou metódou
Tab. 1. Correlation coefficient of soil moisture measured in yaer 2002 by capacite method and neutron probe.

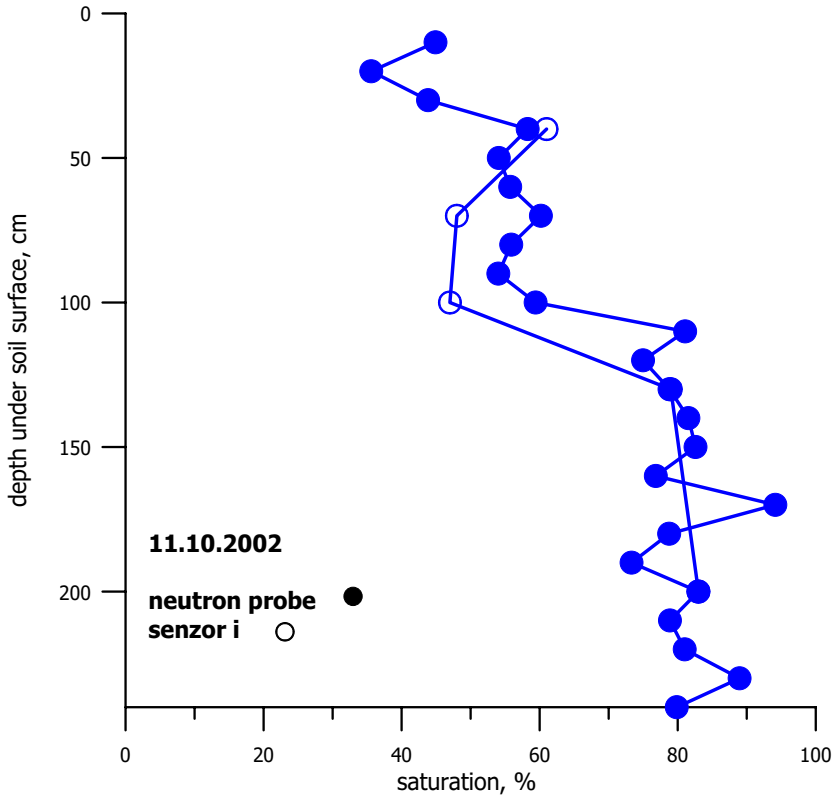
Dátum	**Neutronova sonda Kapacitná metoda**
	Koeficient kolerácie „r“
24. 05. 2002	0, 826594
06. 06. 2002	0. 850506
20. 06. 2002	0. 859911
04. 07. 2002	0. 894080
19. 07. 2002	0. 909511
03. 08. 2002	0. 909127
16. 08. 2002	0. 906805
30. 08. 2002	-
18. 09. 2002	-
11. 10. 2002	0. 892831
26. 10. 2002	-
15. 11. 2002	0.837918

Na obr.5 sú zobrazené hodnoty nasýtenosti pôdy vodou, ktoré boli vypočítané z nameraných hodnôt vlhkosti pôdy metodou neutrónovej sondy NS senzorom I.

Porovnaním vlhkostných profilov nameraných neutrónovou sondou a I senzorom bola zistená tiež úzka súvislosť čo vzjadrujú koeficienty kolerácie, ktorých hodnota bola v intervale hodnôt 0,85-0,94, tab. 2.

Tab. 2. Koeficient korelácie pre hodnoty namerané neutrónovou sondou a senzorom I
Tab. 2. Correlation coefficient of soil moisture measured by capacite method and senzor I

dátum	**Neutrónová sonda I senzor**	**Neutrónová sonda I senzor**
	r^2	koeficien r
24. 5. 2002	0, 891114	0, 943988
6. 6. 2002	0, 910078	0, 935980
20. 6. 2002	0, 748203	0, 864987
19. 7. 2002	0, 805232	0, 897347
3. 8. 2002	0, 722822	0, 850189
11. 10. 2002	0, 857483	0, 926600
15. 11. 2002	0, 878511	0, 937290



Obr. 5. Stupeň nasýtenosti pôdy vodou meraný neutrónovou sondou a senzorom I
Fig. 5. Saturation of soil measured by neutron probe and senzor I.

ZÁVER

Boli porovnané tri metódy merania vlhkosti pôdy v poľných podmienkach: kapacitná metóda, neutrónová sonda a senzor I. Senzor I (ako najnovšia metóda) bol porovnaný s uvedenými dvomi metódami.

1. Senzor I, ktorý pracuje na základe hydromolekulárnej polarizácie je vyhovujúci pre meranie pôdnej vlhkosti.
2. Při porovnaní s meraniami vlhjkosti pôdy neutronovou sondou a kapacitnou metodou sa koeficienty korelácie pohzbujú rozmedzí 0,85 až 0,94, čo vyjadruje veľkú tesnosť výsledkov.
3. Početnosť merania senzorom I je nastaviteľná a namerané hodnoty sú archivované priamo prístrojom po dobu jedného roka.
4. Senzor I môže merať nepretržite a namerané hodnoty je možné vyhľadať spätne.
5. Namerané hodnoty možno získať pomocou vysielača alebo ak modul je napojený na počítač pomocou príkazu vyhladať požadovaný údaj v databáze.
6. Namerané hodnoty su vyjadrené v percentách hodnoty nasýtenej vlhkosti pôdy, čo je neobvyklé (je nutné pre každý pôdny horizont v ktorom prebieha meranie túto hodnotu poznať).
7. Pristroj je schopný pomocou programu cez modul riadiť závlahový systém a na sledovanom území udržiavať vlhkosť pôdy v dopredu dohodnutom intervale.
8. Merania sú po počiatočnej inštalácií automatické, nepožadujú obsluhujúci personál čím sú náklady nižšie ako u ostatných meracích metód.
9. Metódy neutrónovej sondy a kapacitnej metódy majú svoje nevýhody v tom, že vyžadujú obsluhujúci presonal pri meraniach a namerané hodnoty treba spracovať a načítať do počítača.
10. U neutrónovej sondy je nebezpečná rádioaktivita, žiarenie ktoré u obsluhujúcého personálu treba stále kontrolovať a sú potrebné kontroly tesnosti prístroja.

11. Výhodou kapacitnej metódy a neutrónovej sondy oproti senzoru I je, že meracie sondy možno prenášať, to znamená, možno operatívnejšie meniť miesta merania, ďalej na meranie je potrebný 1 kus y týchto meracích metód. Pri použití senzora I treba v každom meracom bode použiť samostatný prístroj. Tieto pristroje potom potrebné chrániť proti odcudzeniu a poškodeniu.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu vedy a techniky na základe Zmluvy č. APVT-51-019804 a Zmluvy č. APVT-51-044802 a agenturou VEGA č.2/5018/5.

Literatura:

Štekauerová V., Nagy V., Maniak S.: (2004) Vlhkostné pomerý pôd na obydvoch stranach Dunaja. Acta Hydrologica Slovaca, No 2. 168-186 s.

Nagy V.: (2004) Hydropedologické základy pestovania rastlín na poľnohospodárskych pôdach zo zvlástným zreteľom na Žytný Ostrov a Szigetköz. PhD Mosonmagyaróvár,

Rajkai K.: (2004) A víz mennyisége, eloszlása és áramlása a talajban. MTA-TAKI, Budapest

Šútor J., Štekauerová V.: (2000) Hydrofyzikálne characteristiky pôd Žytneho Ostrova. UHSAV, Bratislava

Štekauerová V.: (1988) Simulácia pohybu vody v polnohospodársky využívánej pôde. J. Hydrol. Hidromech., 1988, 6, 417-429 s.

Kordik D., Lichner L.: (1996) Metrológia vlhkosty tuhých látok. UHSAV, Bratislava

Štekauerová V.: (2002) Vplyv globálných zmnien na zásobý vody v zone aeracie pôdy. Acta Hydrologica Slovaca, No 2, 276-280 s.

Velebný V, Novák V., Skalová J., Štekauerová V., Majerčák J.: (2000) Vodný režim pôd edičné stredisko STU, Bratislava

Štekauerová V., Nagy. V.: Vplyv klimatických podmienok zabezpečenosť porastu vodou v lokalitách Báč a Bodíky. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, Bratislava, 2001, 2/1, p. 58-63

Štekauerová V., Nagy. V.: Dynamika zásob vody nenasýtenej oblasti pôdy v lokalitách Žitného ostrova v rokoch 1999-2000. IV. Vedecká konferencia v Michalovciach, ÚH SAV, Bratislava, VHZ ÚH SAV Michalovce, 2001, p. 243-247.

Štekauerová V., Nagy. V.: Hodnotenie vodného režimu zóny aerácie pôdy v lokalitách Žitného ostrova. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, 2003, 1, p. 65-73.

Štekauerová V., Nagy. V.: Zabezpečenosť zóny aerácie pôdy vodou v lokalitách Bodíky (Žitný ostrov) a Dunasziget (Szigetköz) 2002, Poster, ÚH SAV, 2003, x.

Štekauerová V., Nagy. V.: Zabezpečenosť zóny aerácie pôdy vodou v lokalitách Bodíky (Žitný ostrov) a Dunasziget (Szigetköz) 2002,

Štekauerová V., Nagy. V.: Hodnotenie vodného režimu zóny aerácie pôdy v lokalitách Žitného ostrova. Konferencia s medzinárodnou účasťou " Hydrológia na prahu 21. Storočia – Vízie a realita", CD-ROM, ÚH SAV, 2003,p. 233-242.

Štekauerová V., Nagy. V.: Vplyv klimatických podmienok na zabezpečenosť porastu vodou v lokalitách Báč a Bodíky. Acta Hydrologica Slovaca, 2000 no.1.

Štekauerová V., Nagy. V.: Hydrofyzikálne charakteristiky pôd v lokalite Gabčíkovo. VII. Poster Day Bratislava, 2001.

Ing. Viliam Nagy, PhD., Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 83102 Bratislava, tel: 49268325, e-mail: nagy@uh.savba.sk

RNDr. Vlasta Štekauerová, CSc. Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 83102 Bratislava, tel: 49268302, e-mail: stekauer@uh.savba.sk

VPLYV BIOLOGICKÝCH FAKTOROV NA INFILTRÁCIU VODY DO PÔDY

Zuzana Nižnanská, Ľubomír Lichner, Miloslav Šír, Miroslav Tesař

V príspevku prezentujeme vplyv biopórov a vodoodpudivosti povrchovej a podložnej vrstvy pôdy na priebeh infiltračnej krivky. Infiltráciu do vodoodpudivej pôdy na lokalite Most a infiltráciu do zmáčavej pôdy s biopórmi a bez nich na lokalite Macov sme merali dvojvalcovým infiltrometrom. Rýchlosť infiltrácie do pôdy s biopórmi bola omnoho vyššia ako do pôdy bez biopórov a vodoodpudivej pôdy. U vodoodpudivej pôdy došlo k zániku vodoodpudivosti po 139 minútach od začiatku infiltrácie, čo sa prejavilo nárastom infiltračnej rýchlosti.

Kľúčové slová: infiltrácia, biopóry, vodoodpudivosť

Effect of biological factors on infiltration of water into the soil. *An influence of biopores and soil water repellency on infiltration of water into the soil is presented. Infiltration into water repellent soil (locality Most), and into wettable soil with and without biopores (locality Macov) was measured with double-ring infiltrometer. The infiltration rate measured in the soil with biopores was much higher than that measured in the soil without biopores and in the water repellent soil. Breakdown of water repellency was observed in the water repellent soil for 139 min. after the beginning of infiltration, resulting in an increase in infiltration rate.*

Key words: infiltration, biopores, water repellency

ÚVOD

V mnohých prípadoch voda a v nej rozpustené látky pri svojom pohybe cez pôdu neprechádzajú celým jej objemom, ale využívajú preferované cesty, čo sú také vertikálne orientované dráhy prúdenia, ktoré sú počas prívalovej zrážky vlhkejšie a vedú viac vody cez jednotkovú plochu prierezu ako okolitá pôda (Steenhuis et al. 1996). Preferované prúdenie môže byť vyvolané heterogenitou alebo nestabilitou. Heterogenitou podmienené preferované prúdenie sa vyskytuje napríklad v pôdach s makropórmi, keď sú makropóry otvorené na povrchu pôdy a intenzita závlahy alebo dažďa je vyššia ako rýchlosť infiltrácie do pôdnej matrice (Beven, Germann 1982). Nestabilitou podmienené preferované prúdenie (prúdenie prstami) sa vyskytuje v podmienkach, ktoré navodzujú vratkú rovnováhu medzi kapilaritou a gravitačnou silou pôsobiacou na vodu v pôde. Sú to prípady, keď kapilárna sila, ktorá v pôde púta (stabilizuje) vodu, je porovnateľná s gravitačnou výškou, ktorá vodu uvádza do pohybu (destabilizuje). Nestabilitou hnané prúdenie nastáva v situácii, keď množstvo vody v niektorej časti pôdy spôsobí, že dôjde k hydraulickému prepojeniu pórov v takej výške, že tiaž takto vzniknutého vodného telesa prekoná stabilizujúce kapilárne sily. Potom dôjde k rýchlemu prúdeniu vody do hlbších partií pôdy. K prúdeniu prstami dochádza aj u vodoodpudivej pôdy, kde nastáva účinné zmenšenie prípadne až úplnému odstránenie stabilizujúcich kapilárnych síl.

Biopóry (makropóry vytvorené pôdnou faunou alebo priestorom po odumretých koreňoch vyšších rastlín) ako aj biologickými faktormi spôsobená vodoodpudivosť povrchovej a podložnej vrstvy pôdy spôsobujú zmenu rýchlosti infiltrácie vody do pôdy a s tým spojenú zmenu povrchového odtoku, prúdenie prstami, ako aj zmenu trojrozmerného rozdelenia a dynamiky pôdnej vlhkosti. Hĺbka a tvar biopórov môže závisieť nielen od spôsobu ich vzniku, t.j. od živočíšneho prípadne rastlinného druhu a jeho životného cyklu, ale aj od typu pôdy, či iných abiotických podmienok (Wang et al. 1994). Hydrologicky efektívne (= na povrchu pôdy otvorené) biopóry značne ovplyvňujú infiltráciu a pohyb vody v pôde. Beven a Germann (1982) uvádzajú, že po otvorení jediného makropóru na parcele s plochou 1,35 m^2 sa skoro dvojnásobne zvýšila rýchlosť infiltrácie (z $1{,}7.10^{-5}$ m s^{-1} na $2{,}8.10^{-5}$ m s^{-1}).

Vodoodpudivosť pôdy (hydrofóbnosť) je dôsledkom malého povrchového napätia pôdy (menšieho než povrchové napätie vody, ktoré sa rovná $72{,}75.10^{-3}$ N m^{-1}) vyplývajúceho z pokrytia minerálnych častíc pôdy amfifilickými uhľovodíkmi. Zdrojom týchto uhľovodíkov môže byť rozpadajúca sa organická hmota, pôdna fauna, mikroorganizmy, sliz z koreňov rastlín, vosky erodované mechanicky z listov

rastlín, lipidy uvoľnené z rozkladajúceho sa rastlinného opadu a pod. (Dlapa et al. 2004). Vodoodpudivé látky v povrchovej vrstve pôdy veľmi spomaľujú infiltráciu vody do pôdy (DeBano 1971) a spôsobujú tvorbu výtopy. Voda neinfiltruje do vodoodpudivej pôdy, ak výška výtopy neprekročí vstupný tlak vody h_p. Feng et al. (2001) zistili, že časová závislosť infiltračnej rýchlosti je funkciou výšky výtopy h_0. Zatiaľ čo pri menších výškach výtopy ($h_0 = 1{,}8 – 2{,}4\ h_p$) infiltračná rýchlosť rástla s časom, pri väčších výškach výtopy ($h_0 = 2{,}9 – 3{,}6\ h_p$) infiltračná rýchlosť klesala s časom tak, ako je to typické pre zmáčavé pôdy. Vodoodpudivosť ovplyvňuje trojrozmerné rozdelenie pôdnej vlhkosti tak, že môže spôsobiť rozdiel vlhkosti až 28 % (obj.) vo vzorkách organozeme, odobratých tesne vedľa seba (Dekker, Ritsema 1996a). Priestorová variabilita vodoodpudivosti povrchovej vrstvy pôdy má za následok aj priestorovú variabilitu evapotranspirácie, lebo vodoodpudivá vrstva na povrchu pôdy zabraňuje kapilárnemu pohybu vody z nižších horizontov smerom k povrchu a tak eliminuje vyparovanie (Novák 1995). Priestorová variabilita vlhkosti pod dlhodobo neobrábaným trávnikom je vysoká v dôsledku prúdenia prstami, v prípade obrábanej pôdy treba brať do úvahy, že priestorová variabilita pôdnej vlhkosti nie je len dôsledkom priestorovej variability vodoodpudivosti, ale je spôsobená aj stokom po kmeni rastlín, intercepciou a mikrodepresiami medzi riadkami poľnohospodárskych plodín (Dekker, Ritsema 1996b; 1997).

Nepravidelné rozdelenie pôdnej vlhkosti, spôsobené vodoodpudivosťou, môže mať za následok nerovnomerné klíčenie a rast poľnohospodárskych plodín, ako aj rýchle vylúhovanie povrchovo aplikovaných agrochemikálií a zvýšené riziko kontaminácie povrchovej a podzemnej vody (Ritsema et al. 1993). Počas dažďa s dostatočnou intenzitou možno preto pozorovať Hortonovské povrchové prúdenie, ktoré vzniká vtedy, keď intenzita zrážky prekročí rýchlosť infiltrácie do pôdy (Hlavčová et al. 2001). Lokalizácia a frekvencia hydrologicky efektívnych preferovaných ciest (makropórov otvorených na povrchu pôdy) a plôch zmáčavej alebo menej vodoodpudivej pôdy (priestorová variabilita vodoodpudivosti povrchovej vrstvy pôdy) určuje plošný rozsah povrchového prúdenia. Vplyv hydrofóbnosti pôdy na časový priebeh infiltračnej rýchlosti je zanedbateľný, ak dráhy preferovaného prúdenia prechádzajú cez vodoodpudivú vrstvu pôdy a spájajú povrch pôdy so zmáčavou podpovrchovou vrstvou, ktorá má vysokú hodnotu nasýtenej hydraulickej vodivosti. Vodoodpudivosť môže mať za následok buď zníženie rýchlosti prúdenia vody v pôdnej matrici a nasmerovanie časti vody do makropórov alebo prúdenie prstami (fingering) vo vodoodpudivej pôdnej matrici. Makropórové prúdenie má však aj nepriaznivé účinky, lebo znižuje efektívnosť zavlažovania a hnojenia, keď časť závlahovej vody a a časť rozpustených agrochemikálií obtekajú pôdnu matricu a dostávajú sa do podkoreňovej oblasti bez úžitku pre poľnohospodárske plodiny. Veľká rýchlosť pohybu vody a prenosu rozpustených látok v makropóroch spôsobuje, že aj veľmi reaktívne rozpustené látky sa prakticky bez adsorpcie dostanú do veľkých hĺbok a predstavujú reálne nebezpečenstvo pre plytké podzemné vody (Lichner 1998, Nováková et al. 2000). Nepriaznivým dôsledkom makropórového prúdenia možno zabrániť napr. plytkou orbou, ktorou sa zničia vyústenia makropórov na povrchu pôdy a tým sa anuluje ich schopnosť viesť gravitačnú vodu z povrchu pôdy do podložia. Rýchlemu prenosu agrochemikálií do podložia možno zabrániť ich podpovrchovou aplikáciou.

Cieľom štúdie bolo stanoviť vplyv biopórov a vodoodpudivosti pôdy na priebeh infiltračnej krivky (= závislosti infiltračnej rýchlosti od času).

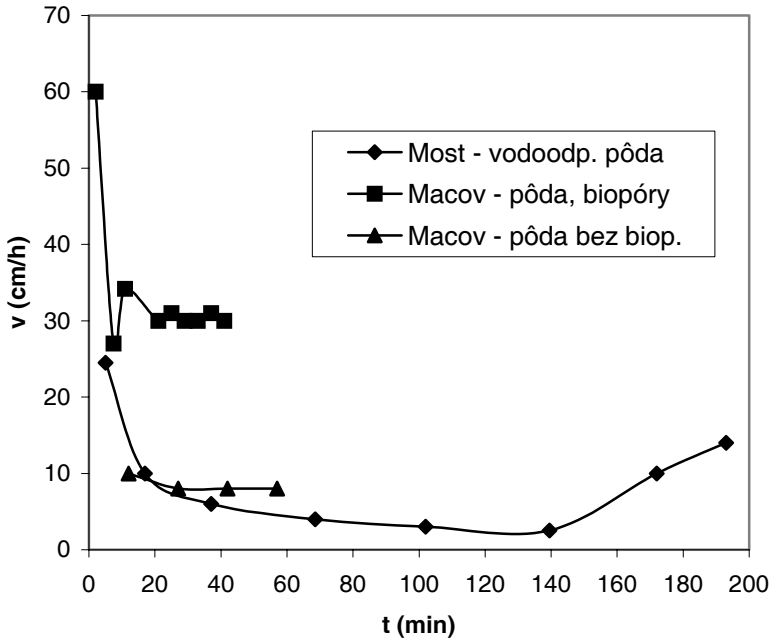
MATERIÁL A METÓDY

Infiltráciu vody do pôdy sme merali v Moste a v Macove. V Macove sa jedná o stredne ťažkú hlinitú pôdu, pôdny typ černozem kultizemná čiernicová karbonátová – $ČMač^c$ (MKSPS 2000). Pôda bola poľnohospodársky využívaná, pestovaná bola na nej striedavo kukurica a ozimná pšenica. Substrátom je karbonátový sprašoidný aluviálny náplav, podzemná voda sa nachádza v hĺbke 320 cm. V Moste ide o dlhodobo neobrábanú, zatrávnenú hlinitú pôdu, černozem modálnu karbonátovú $ČM^C$ (MKSPS 2000). Merania boli uskutočňované v teplom období bez zrážok.

Infiltračný test sme vykonávali pomocou dvojvalcového infiltrometra podľa Krejču a Kutílka (1988). Vnútorný valec mal priemer 30 cm, vonkajší 55 cm. Infiltrácia bola vykonávaná pod malou tlakovou výškou h_0 = 3 – 5 cm. Merali sme čas potrebný na infiltráciu 2 cm (pre t = 0 – 139 min) alebo 5 cm vody v prípade, keď infiltračná rýchlosť náhle rástla. V Moste sme pred meraním odstránili vegetačný kryt. V Macove sme merania robili na pôde s biopórmi a na pôde, kde sme vstup do biopórov mechanicky porušili, čím sme znemožnili ich účasť na infiltrácii.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledky meraní závislosti infiltračnej rýchlosti od času na vodoodpudivej pôde na lokalite Most a na pôde s biopórmi a bez biopórov na lokalite Macov sú na obr. 1.



Obr. 1 Časový priebeh infiltrácie do vodoodpudivej pôdy v Moste, ako aj do pôdy s biopórmi a pôdy bez biopórov v Macove

Fig. 1 The time course of infiltration rate in the water repellent soil in Most, and in the soil with and without biopores in Macov

U vodoodpudivej pôdy v prvej fáze časového priebehu (0 – 37 min) klesla infiltračná rýchlosť v z 24 cm h^{-1} na 6 cm h^{-1}. V druhej fáze časového priebehu (37 – 139 min) mala infiltračná rýchlosť v skoro ustálenú hodnotu 3 – 5 cm h^{-1}. V tretej fáze časového priebehu (139 – 191 min) sa infiltračná rýchlosť v zvýšila z 3,3 cm h^{-1} na 13,6 cm h^{-1}. Podobný časový priebeh nenasýtenej infiltračnej rýchlosti pri tlakovej výške h_0 = –40 mm pozorovali Clothier et al. (2000). Prvú fázu časového priebehu títo autori interpretovali ako proces tvorby distribučnej zóny v niekoľko cm hrubej povrchovej vrstve pôdy. V druhej fáze časového priebehu vo vodoodpudivej pôde rástol prst (fingering) a v tretej fáze časového priebehu tento prst dosiahol zmáčavú podložnú pôdu a prúdenie z neho divergovalo. Výsledky nášho infiltračného experimentu ukázali zánik vodoodpudivosti po 139 minútach od začiatku infiltrácie. Aby sa takéto výsledky získali, infiltračný experiment sa nesmie skončiť hneď po dosiahnutí ustáleného stavu. Clothier et al. (2000) uzatvárajú, že podobné výsledky sú zriedkavé práve preto, že infiltračné experimenty bežne končia hneď po dosiahnutí ustáleného stavu..

U pôdy s biopórmi dosahovala infiltračná rýchlosť na začiatku infiltrácie hodnotu 60 cm h^{-1}, potom prudko klesla a asi po dvadsiatich minútach sa ustálila na hodnote 30 – 31 cm h^{-1}. U pôdy bez

biopórov dosahovala infiltračná rýchlosť na začiatku infiltrácie hodnotu 10 cm h^{-1}, potom sa ustálila na hodnote 8 cm h^{-1}. Ako vidno, prítomnosť hydrologicky efektívnych ciest preferovaného prúdenia mala za následok vyššiu rýchlosť infiltrácie do pôdy s biopórmi. Infiltračná rýchlosť u pôdy s biopórmi bola podstatne vyššia ako u pôdy bez hydrologicky efektívnych biopórov a u vodoodpudivej pôdy. Na začiatku infiltrácie dochádzalo k rýchlemu vtekaniu vody do makropórov. Hodnota infiltračnej rýchlosti sa ustálila, keď sa makropóry naplnili vodou. Infiltračná rýchlosť však ostávala väčšia ako u pôdy bez hydrologicky efektívnych makropórov, pretože k vsakovaniu vody do matrice nedochádzalo len cez povrch pôdy, ale aj laterárnym prúdením cez steny makropórov.

ZÁVER

Z prezentovaných výsledkov závislosti infiltračnej rýchlosti od času pre pôdu s hydrologicky efektívnymi biopórmi, pôdu bez hydrologicky efektívnych biopórov a vodoodpudivú pôdu je vidieť, že infiltračná krivka dobre vystihuje nielen odlišnosti v pôdnej textúre, ale aj vplyv biologických faktorov na infiltráciu a prúdenie vody v pôde.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu vedy a techniky prostredníctvom finančnej podpory č. APVT-51-006502, grantovou agentúrou VEGA (projekty č. 2/3032/23) a Akadémiou vied Českej republiky v rámci projektu S2060104 Programu na podporu cieleného vývoja a výskumu.

Literatúra

Beven, K., Germann, P. (1982): Macropores and water flow in soils. Water Resour. Res., 18: 1311–1325.

Clothier, B.E., Vogeler, I., Magesan G.N. (2000): The breakdown of water repellency and solute transport through a hydrophobic soil. J. Hydrol. 231–232: 255–264.

DeBano, L.F. (1971): The effect of hydrophobic substances on water movement in soil during infiltration. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 340–343.

Dekker, L.W., Ritsema, C.J. (1996a): Variation in water content and wetting patterns in Dutch water repellent peaty clay and clayey peat soils. Catena 28: 89–105.

Dekker, L.W., Ritsema, C.J. (1996b): Uneven moisture patterns in water repellent soils. Geoderma 70: 87–99.

Dekker, L.W., Ritsema, C.J. (1997): Effect of maize canopy and water repellency on moisture patterns in a Dutch black plaggen soil. Plant & Soil, 195: 339–350.

Dlapa, P., Doerr, S.H., Lichner, Ľ., Šír, M., Tesař, M. (2004): Alleviation of soil water repellency: effect of kaolinite and Ca-montmorillonite. Plant, Soil Environ. 50: 358–363.

Feng, G.L., Letey, J., Wu, L. (2001): Water ponding depths affect temporal infiltration rates in a water-repellent sand. Soil Sci. Soc. Am. J. 65(2): 315–320.

Hlavčová, K., Holko, L., Szolgay, J. (2001): Tvorba a modelovanie odtoku na svahoch a z malých povodí. Životné prostredie 35: 126–132.

Krejča, M., Kutílek, M., 1988: Vyhodnocení terénního měření infiltrace výtopou (dvouválcová metoda). Vodní hospodářství 38: 123–129.

Lichner, Ľ. (1998): Vplyv makropórového prúdenia na prenos kadmia v pôde. J. Hydrol. Hydromech. 46: 207–217.

MKSPS (2000): Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia. VÚPOP, Bratislava, 76 s.

Novák, V. (1995): Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania. Veda, Bratislava, 260 s.

Nováková, K., Píš, V., Kazda, R. (2000): Prenos iónov kadmia v zóne aerácie pôdy. In: Majerčák, J., Hurtalová, T. (eds.): VIII. posterový deň Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda – rastlina – atmosféra. Zborník plných textov na CD, Bratislava, 5 s.

Ritsema, C.J., Dekker, L.W., Hendrickx, J.H.M., Hamminga, W. (1993): Preferential flow mechanism in a water repellent sandy soil. Water Resour. Res. 29: 2183–2193.

Steenhuis, T.S., Ritsema, C.J., Dekker, L.W. (1996): Introduction to Special Issue: Fingered flow in unsaturated soil: from nature to model. Geoderma 70: 83–85.

Wang, D., Normann, J.M, Lowery, B., McSweeney, K. (1994): Nondestructive determination of hydrogeometrical characteristics of soil macropores. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 294–303.

Autori

Mgr. Zuzana Nižnanská, Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 83102 Bratislava, niznanska@uh.savba.sk

Ing. Ľubomír Lichner, CSc., Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 83102 Bratislava, lichner@uh.savba.sk

Ing. Miloslav Šír, CSc., Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Pod Paťankou 5, 166 12 Praha 6, msir@mereni.cz

Ing. Miroslav Tesař, CSc, Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Pod Paťankou 5, 166 12 Praha 6, miroslav.tesar@iol.cz

VYUŽITÍ METEOROLOGICKÝCH RADIOLOKÁTORŮ PRO ODHAD A NOWCASTING SRÁŽEK V ČHMÚ

Milan Šálek, Petr Novák

Největší výhodou meteorologických radiolokátorů je plošné pokrytí a poskytování naměřených údajů v téměř reálném čase. Z hodnot radiolokační odrazivosti je možné vypočítat intenzitu srážek a jejich akumulaci na delší časové období, nicméně výsledný odhad srážek může být zatížený nezanedbatelnými chybami, které jsou způsobeny mnoha činiteli a jejich vzájemnou kombinací. Proto je užitečné opravovat radarový odhad srážek pomocí vhodných algoritmů, mezi nimiž jsou nejznámější korekce pomocí vertikálních profilů a různé metody adjustace radarového odhadu pomocí vztahu srážkoměrných měření a územně příslušných radarových odhadů. U Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) je v provozu procedura adjustace radarových odhadů a kombinace adjustovaných radarových odhadů se srážkoměrnými měřeními. Výsledky kombinované analýzy se již využívají jako srážkové vstupy v některých hydrologických modelech, zároveň se v některých aplikacích testují i výsledky extrapolace srážkových intenzit (nowcasting srážek). V příspěvku je uveden stručný popis zpracování radarových odhadů srážek u ČHMÚ a využití v hydrologii a varovné protipovodňové službě.

Klíčová slova: Meteorologický radar, odhad srážek, varovná protipovodňová služba, hydrologické modelování

The use of weather radars for the estimation and nowcasting of precipitation at the CHMI. *The best advantage of weather radar is the areal coverage and prompt quasi-real-time availability of the data. Radar reflectivity can be recalculated to precipitation rate and then to precipitation accumulation for longer time period but the resulting estimate can be accompanied by non-negligible errors stemming from many factors and their combinations. Therefore it is useful to correct the radar quantitative precipitation estimate (QPE) by suitable algorithms, among which vertical profile of reflectivity and raingauge adjustment methods are the best known. At the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) there is a running procedure of adjustment of the radar precipitation estimates and the combination of the adjusted radar estimate with available raingauge measurements. The resulting combined precipitation estimates are being used as inputs in some hydrological models. Moreover, some tests of using extrapolated ("nowcasted") precipitation intensities have been performed. The contribution briefly describes the radar-based and combined QPE at and presents examples of its use in hydrology and flood warning system.*

Key words: Weather radar, precipitation estimation, flood warning system, hydrological modelling

---

ÚVOD

Meteorologický radar poskytuje v současné době hojně používané informace o aktuálním stavu a vývoji počasí. Výsledkem měření radaru jsou především údaje o srážkově významné oblačnosti, ale je možné jej využít i pro odhad vertikálního profilu proudění. Stále více je používán k detekci nebezpečných povětrnostních jevů spojených se srážkami, zejména s konvektivními bouřemi, a může poskytovat též operativní odhady plošných srážek.

Tradiční metoda odhadu plošných srážek spočívá ve využívání srážkoměrných měření a následném přepočtu na plochu pomocí známých algoritmů, mezi nimiž můžeme jmenovat Thiessenovy polygony či krigování. Výhodou tohoto postupu je sice relativně vysoká přesnost vstupních srážkoměrných měření, ale mezi nevýhody je nutné uvést zejména problematickou reprezentativnost měření pro okolí srážkoměrné stanice, zejména při konvektivních srážkách. Naproti tomu je hlavní výhodou radarových odhadů plošné pokrytí území až v řádu stovek tisíc km^2 s věrně zachycenou prostorovou proměnlivostí a rychlá dostupnost naměřených dat, nicméně radarová měření jsou poměrně složitá a výsledný odhad srážek může být zatížen mnoha chybami.

Základem odhadů srážek konvenčními meteorologickými radary pracujícími pouze s jednou polarizací je přepočet radarové odrazivost z na intenzitu srážek R [mm/h] pomocí vztahu z-R (též známý jako Marshall-Palmerův vztah) :

$$z = aR^b \qquad [1]$$

V Evropě (včetně ČHMÚ) je nejčastěji používán s konstantami a=200, b=1,6, které byly odvozené pro vrstevnaté srážky ve středních zeměpisných šířkách.

Z hodnot radarové odrazivosti, která by měla být co nejreprezentativnější pro zemský povrch, se vypočítá intenzita deště a integrací se získá akumulace srážek pro příslušný časový interval.

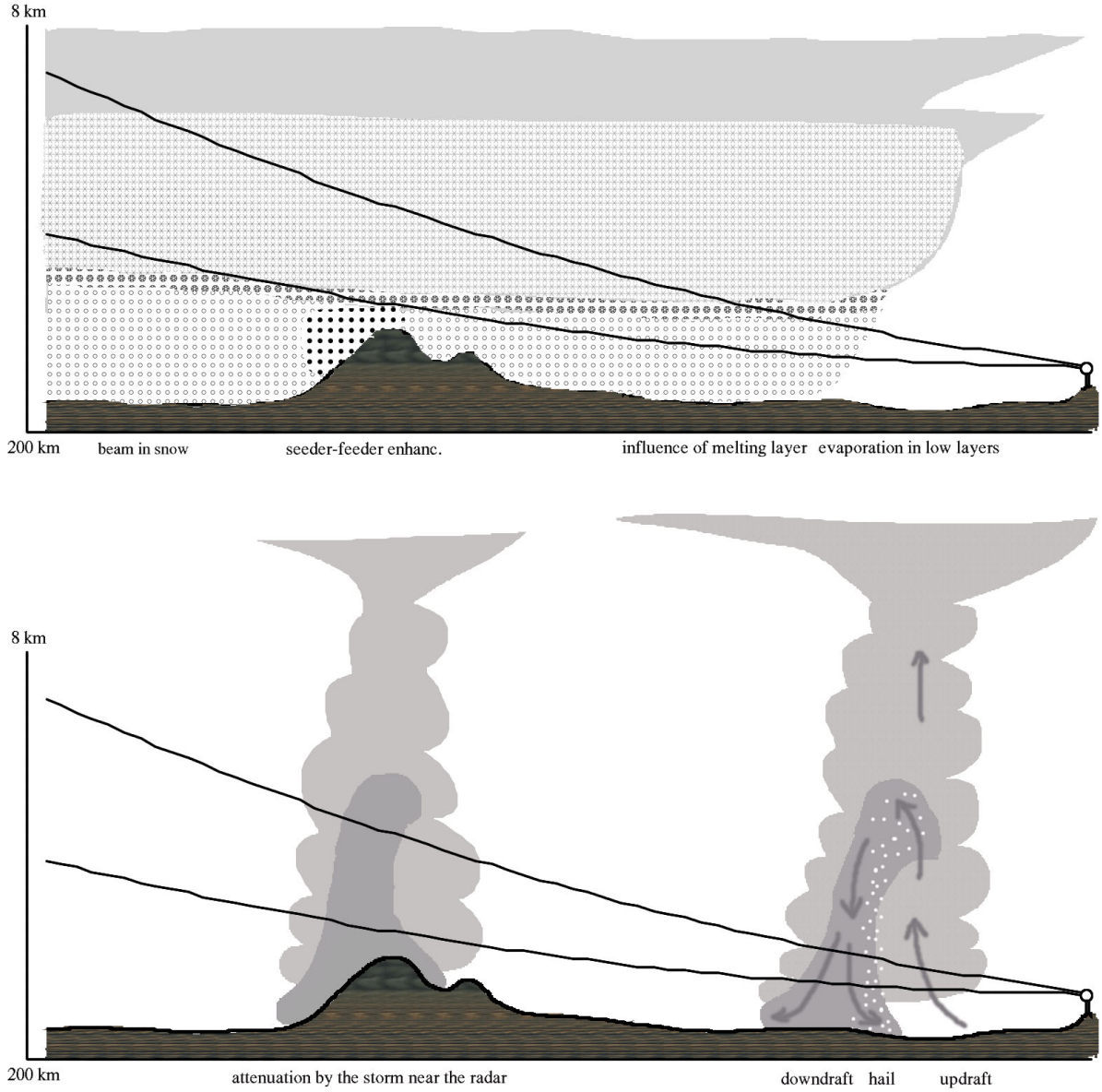
Digitalizace radarových měření v 90. letech a zejména instalace nového dopplerovského radiolokátoru na kótě Skalky na střední Moravě v letech 1995-1996 významně iniciovaly zájem českých odborníků o využívání radarových odhadů srážek [Šálek a Kráčmar, 1996]. Již při prvních testech, které srovnávaly denní radarové odhady srážek radaru Skalky s korespondujícími srážkoměrnými měřeními, se ukázaly mnohé chyby a problémy. Mezi nejdůležitější vlivy patří proměnlivá šířka radarového paprsku a jeho výška nad zemí, které rostou se zvětšující se vzdáleností od radaru a způsobují systematické podceňování srážek v závislosti na vzdálenosti od radaru. Dále je nutné brát do úvahy možné blokování radarového paprsku terénními či jinými překážkami, mezi které patří stožáry, stromy či v poslední době stále častěji vztyčované větrné elektrárny. Při vlnových délkách radarového signálu blízkých 5 cm není také možné zanedbat útlum ve srážkách. V úvahu je nutné brát též efekt rozdílné fáze srážek, zejména pak v chladné polovině roku. Ve vzdálenosti několika desítek kilometrů od radaru se při velkoprostorových deštích často projevuje tzv. „bright band“, což je nadměrně zesílená odrazivost v zóně tání pevných srážek pod nulovou izotermou.

Poněkud překvapujícím zjištěním byla velikost odchylek radarových odhadů a korespondujících srážkoměrných měření v horských oblastech, především při velkoprostorových srážkách (krajinných deštích) a silnějším větru. Jak např. uvádí Grey a Seed [2000], dokonce kopce o výšce 50 m mohou při vhodných podmínkách způsobit zesílení srážek o 10-40%, přičemž uvedené zesílení nastává především ve výšce do 500 m nad terénní vyvýšeninou. Tento druh orografického zesílení je v literatuře známé jako „seeder-feeder“ a nastává při velkoprostorových deštích a silnějším větru, kdy se na návětrných svazích tvoří vlivem orograficky podmíněných výstupných pohybů mlha, která je „vymývána“ srážkami vznikajícími většinou ve střední troposféře. Při extrémních situacích může uvedené orografické zesílení dosáhnout až stovek procent, což se následně projevuje příslušnou chybou radarových odhadů [např. Šálek et al., 1997, 2002]. Odchylky radarového měření od údajů srážkoměrů jsou v horských oblastech navíc ovlivněny terénními překážkami, které omezují radarovou „viditelnost“ nižších hladin, a specifickým rozdělením velikosti kapek, které přispívá k podcenění radarových odhadů. Tyto chyby se špatně korigují; možným řešením je vhodnější místo radarové stanice, což je málokdy proveditelné, případně korekce založené na klimatologii orografického zesílení [Collier, 1996, Šálek et al., 2004].

Orografické zesílení srážek mechanismem „seeder-feeder“ je nutné odlišit od orografií vyvolané konvekce („triggered convection“), viz Grey a Seed [2000]. Pro detekci i kvantitativní odhad *konvektivních* srážek (nejenom vyvolaných orografií) je radar relativně nejlepším nástrojem, a to především z důvodu velké časoprostorové proměnlivosti tohoto druhu srážek a též vlivem podstatně většího vertikálního rozměru konvektivní oblačnosti a tudíž její lepší radarové viditelnosti.

Stručný souhrn meteorologických chyb radarových odhadů srážek je na obr. 1. Z běžných problémů můžeme ještě zmínit vypařování srážkových částic v suchých níže ležících vrstvách vzduchu, což má za následek mírné přecenění srážkových úhrnů, které ale většinou nabývá malých absolutních hodnot. Přecenění srážkových úhrnů je někdy pozorovatelné u konvektivních srážek při výskytu krup, či obecně při větším výskytu větších srážkových částic, a to z důvodu závislosti odrazivosti na šesté mocnině průměru částic. V případě detailního zkoumání konvektivních srážek je důležité si uvědomit, že v místech intenzivních sestupných proudů dochází k podcenění intenzity srážek, zatímco vzestupné pohyby mají za následek menší tok srážek k zemskému povrchu, tudíž přecenění srážkové intenzity. Proto je vhodnější integrovat (průměrovat) srážkové úhrny pro větší oblast (od 5 km^2 výše, spíše desítky km^2), kde se oba vlivy alespoň částečně kompenzují.

Při porovnávání radarových odhadů se srážkoměrnými měřeními je potřeba jisté opatrnosti, neboť srovnáváme „bodová“ měření srážkoměrů s radarovým odhadem reprezentujícím plochu typicky 1 km^2, přičemž i denní úhrny zejména konvektivních srážek mohou vykazovat až řádové rozdíly na vzdálenost jednoho kilometru.



Obr. 1. Schématický obrázek meteorologických příčin chyb radarových odhadů srážek ve velkoprostorových (nahoře) a konvektivních (dole) srážkách. Horizontální rozsah konvektivních buněk je uměle zvětšen pro lepší zobrazení.

Fig. 1. Diagram of typical meteorological errors of radar-based QPE of stratiform (top) and convective (bottom) precipitation. The horizontal extent of the storm cells (bottom) is artificially amplified for better depiction.

TVORBA OPTIMÁLNÍHO OPERATIVNÍHO ODHADU SRÁŽEK V ČHMÚ

Digitalizace radarových měření a možnost rychlého zpracování dat pomocí stále dostupnější a rychlejší výpočetní techniky vedlo v posledních deseti letech k lepšími využití radarových dat a k vývoji algoritmů, které alespoň částečně chyby radarového měření korigovaly. Radarové odhady je možné korigovat buď statistickými korekcemi [Kráčmar et al., 1998, Sokol, 2003, Sokol a Řezáčová, 2001] nebo pomocí vertikálních profilů odrazivosti [Novák, 2000, Novák a Kráčmar, 2000], případně je možné radarové odhady adjustovat pomocí měření srážkoměrů [Gjersen et al, 2004]. Stále více se objevují kombinace radarových odhadů srážek se srážkoměrnými měřeními [Fulton et al, 1998, Seo, 1998, Šálek et al., 2004], které zřejmě vytvářejí nejúplnější operativní obraz rozložení atmosférický srážek z dostupných informačních zdrojů.

V Českém hydrometeorologickém ústavu je již několik let v provozu procedura, adjustace radarových odhadů srážek a kombinace adjustovaných odhadů s dostupnými srážkoměrnými měřeními. Radarové odhady se počítají z hodnot odrazivosti nejbližší hladině 2 km (pseudoCAPPI 2km) pomocí standardního Marshall-Palmerova vzorce a s možností využít korekce pomocí vertikálních profilů odrazivosti.

Dalším krokem zpracování radarových odhadů srážek je adjustace. Podobně jako v proceduře popsané Fultonem et al. [1998] se pro adjustaci používá jeden adjustační koeficient pro celou radarovou doménu. U výpočtu adjustačního koeficientu však vyvstává následující problém. Srážkoměrná měření a korespondující radarové odhady nemusejí vždy přesně odpovídat vztahu „skutečných“ spadlých srážek a radarových odhadů pro celé území, a to z důvodu výše zmíněného problému reprezentativnosti srážkoměrných měření a reprezentativnosti poměru „radar/srážkoměr“ pro celou radarovou doménu. Jestliže však sčítáme tyto odhady pro delší časové období, pak se nám výpočet adjustačního koeficientu stabilizuje a jeho fluktuace jsou menší. Proto se u většiny podobných adjustačních procedur bere v úvahu několikadenní až několikatýdenní klouzavé časové „okno“ [Gjertsen et al., 2004]. Po určitém testování délky časového okna bylo jako optimální určeno pružné klouzavé období, které musí obsahovat srážkové údaje alespoň tří dnů, ve kterých byl příslušný radar v provozu alespoň 90% času a celkový průměrný úhrn srážek za toto období činil alespoň 5 mm, přičemž se nemusí jednat o spojité období. Zároveň musí být počet srážkoměrných stanic vykazujících naměřené úhrny srážek větší než pět. K sumám srážek posledního dne se přičítají i srážky za aktuální hodinová období od konce posledních „denních“ srážek, tj. období 07-07 SEČ, takže se adjustační koeficient může slabě měnit i každou hodinu v závislosti na aktuálně naměřených srážkách a příslušných radarových odhadech. Adjustační koeficient (bias) se v popisované proceduře počítá podle následujícího vzorce:

$$bias = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \left(\sum_{j=1}^{m} G_j \right)_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i \left(\sum_{j=1}^{m} R_j \right)_i} \quad , \qquad (2)$$

kde G_j, resp. R_j, jsou denní úhrny srážkoměrných měření, resp radarových odhadů na místě srážkoměrných stanic, zatímco w_i jsou váhy určené tak, aby byl jejich součet 1 a zároveň poslední (časově nejvíce vzdálené) použité denní srážkové sumy měly váhu 0.05, přičemž „pokles“ vah je dán negativně exponenciálním vztahem $w_i = \exp(-\lambda i)$, kde parametr λ se počítá pomocí výše uvedené podmínky $w_n = 0.05$. Členy v závorce odpovídají územním sumám příslušných srážkových úhrnů. Započítávají se pouze stanice do 150 km od radaru a do výšky 700 m nad hladinou moře, protože příliš vzdálené či horské stanice nejsou pro radarovou doménu reprezentativní.

Adjustovaný radarový odhad se poté kombinuje s operativně dostupnými srážkoměrnými měřeními pomocí zjednodušené metody optimálního odhadu autora D.-J. Seo [1998]. U této metody se předpokládá, že srážkoměrné měření je reprezentativní pro daný radarový územní element (1x1 km) a že zde platí údaj srážkoměru. V ostatních pixelech je výsledný optimální odhad počítán jako lineární

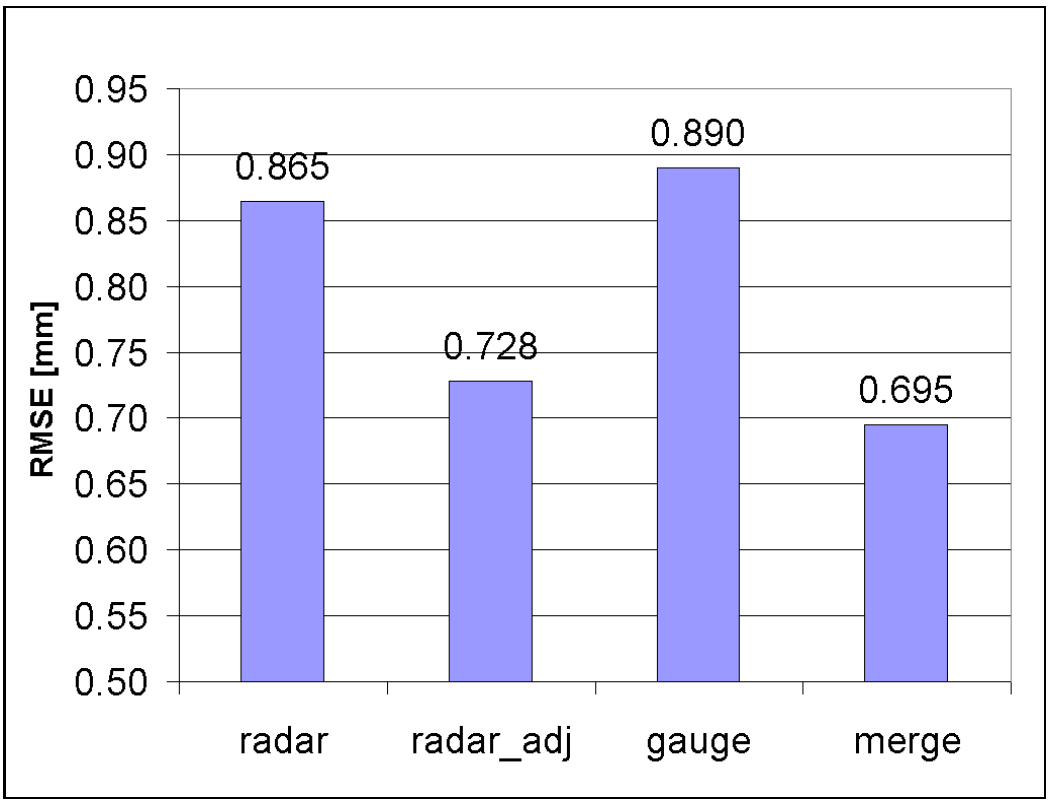
kombinace srážkoměrných měření a radarových odhadů, přičemž váhy srážkoměrných měření klesají s rostoucí vzdáleností od srážkoměrných stanic podle negativně exponenciální funkce. Zjednodušeně to vyjadřují rovnice (3):

$$R_m = a \cdot G + (1-a) \cdot R, \qquad a = \exp(-d / konst.), \tag{3}$$

kde R_m je výsledný „kombinovaný“ odhad v daném územním elementu, G nejbližší srážkoměrné měření či odhad z nejbližších měření, R radarový odhad a d vzdálenost od nejbližšího srážkoměru.

VERIFIKACE POČÍTANÝCH ODHADŮ SRÁŽEK

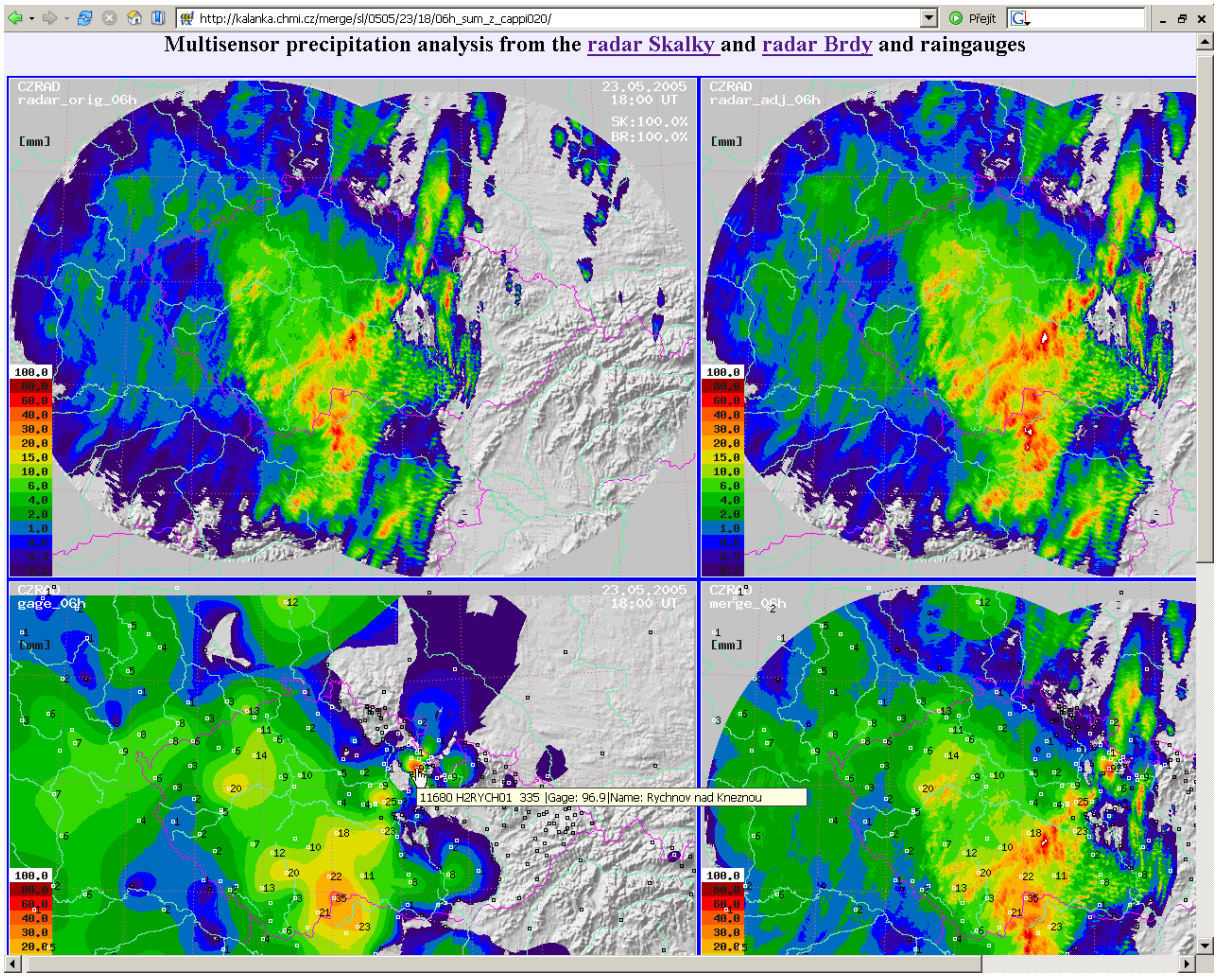
Pro zhodnocení relativní přesnosti hodinových odhadů byly pro období 6. –16. srpna 2002 vypočteny všechny odhady pro lokality (územní elementy 1x1 km) stanic, u kterých byly zjištěny hodinové úhrny digitalizací „klasických“ ombrogramů. Tato data z ombrografů pak sloužily jako verifikační údaje a vůči nim byla vypočtena střední směrodatná odchylka (Root Mean Square Error, RMSE) všech odhadů v doméně radaru Brdy. Z uvedeného srovnání (viz obr. 2) vyplývá, že pro radar Brdy relativně nejmenší průměrnou chybu vykazuje kombinace, jen o málo je horší adjustovaný radarový odhad, přičemž neadjustovaný radarový odhad a operativně dostupné srážkoměrné údaje zaznamenávají odchylku největší.



Obr. 2. Střední směrodatná odchylka (Root Mean Square Error, RMSE) hodinových radarových odhadů, adjustovaných radarových odhadů, srážkoměrných odhadů a kombinovaných odhadů pro lokality (územní elementy 1x1 km) ombrografických stanic za období 6. - 16. 8. 2002. V operativních analýzách byla použita data 40 srážkoměrů, přičemž použitá doména byla omezena na kruh o průměru 150 km od radaru Brdy. Pro verifikaci bylo využito 74 ombrografických stanic.
Fig. 2. Root Mean Square Error of hourly radar estimates, adjusted radar estimates, raingauge-only estimates and merged estimates for pixels of pluviograph stations for 6-16 August 2002. In the analyses 40 raingauges were used, the domain reached up to 150 km far from radar Brdy. For the verification 74 pluviograph station were used.

VIZUALIZACE ODHADŮ SRÁŽEK

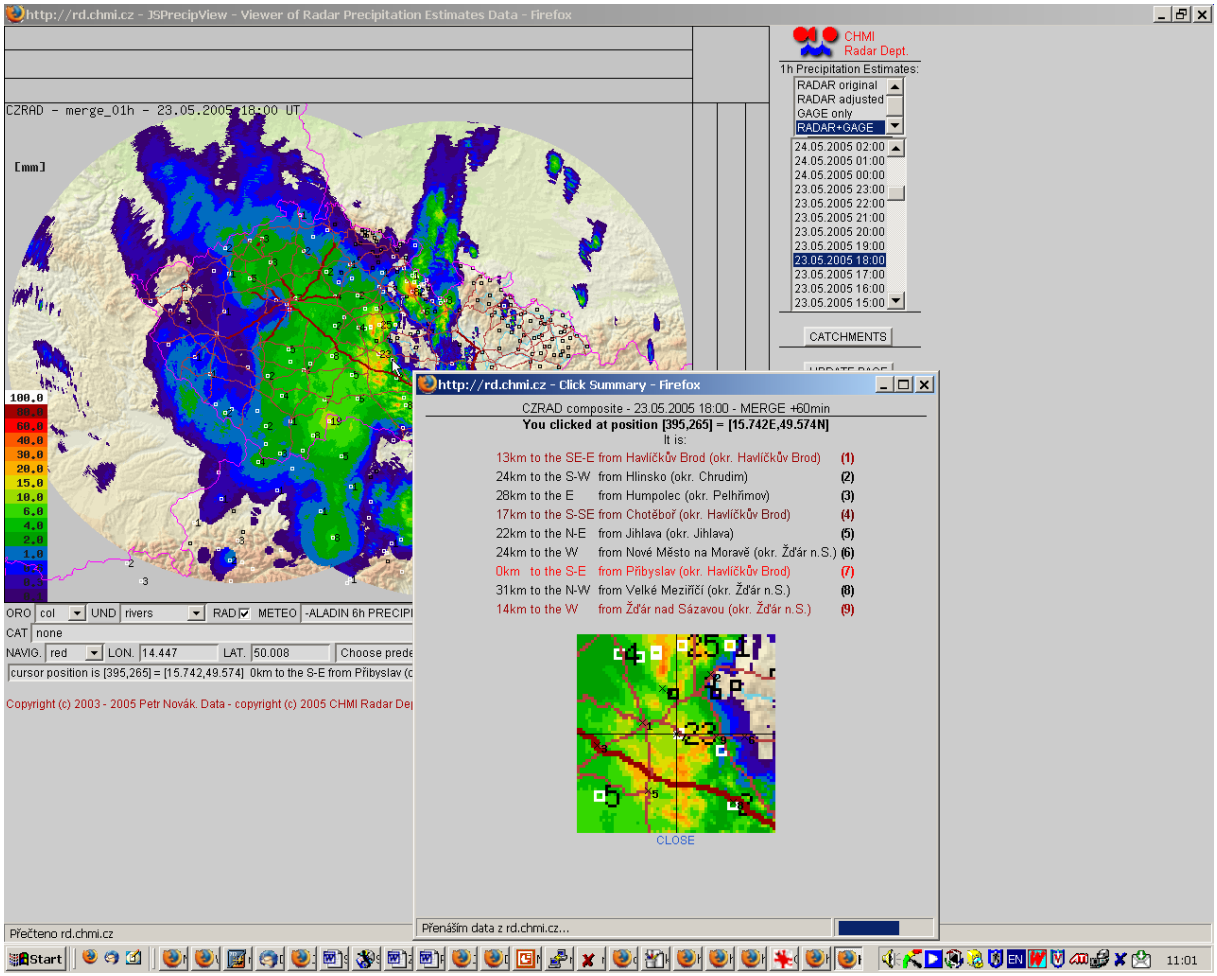
Pro zobrazování a porovnávání všech typů odhadu (původní radarový odhad, adjustovaný radarový odhad, odhad srážek pouze s využitím srážkoměrů a výsledná kombinace) se využívají dvě internetové aplikace (využívající technologie DHTML, JavaScript a PHP). Obě ukazují všechny možnosti odhadu plošného rozložení srážek v doméně radarů Skalky a Brdy: původní radarový odhad, radarový odhad adjustovaný pomocí srážkoměrů, odhad pouze s využitím srážkoměrných údajů a kombinaci adjustovaného radarového odhadu se srážkoměrnými měřeními. Pro detailnější rozbor vztahů srážkoměrných měření a příslušných radarových odhadů slouží diagnostická verze, která poskytuje podrobnější statistické údaje srážkoměrných a radarových údajů a kde je možné snáze identifikovat příslušné stanice (obr. 3). Součástí každého odhadu je i korelační pole ukazující těsnost vztahu srážkoměrných měření a příslušných radarových odhadů a výpis „podezřelých“ a chybných měření srážkoměrů.



Obr. 3. Ukázka diagnostické verze kombinované analýzy srážek ve formě sloučené informace z obou radarů české meteoradarové sítě CZRAD. Vlevo nahoře je původní radarový odhad, vpravo nahoře je adjustovaný radarový odhad, vlevo dole srážkoměrné pole a vpravo dole výsledná kombinace. Na všech obrázcích je možné zjistit jména srážkoměrných stanic přesunutím kurzoru nad příslušnou lokalitu, což je demonstrováno na srážkoměrném poli.

Fig. 3. Example of diagnostic version of the combined precipitation analysis in a form of composite of both radars of the Czech weather radar network CZRAD. Top left is original radar estimate, top right is adjusted radar estimate, bottom left is raingauge-only field and bottom right is the merged estimate. At all the pictures you can find the raingauge name by pointing of the cursor to the station location as shown at the gauge-only estimate.

Pro rutinní přehled o spadlých srážkách a též pro účely varovné protipovodňové služby je v ČHMÚ v provozu systém JSPrecipView, který přehledně ukazuje všechny možnosti odhadů srážek, přičemž jen vybaven poměrně kvalitními možnostmi navigace (lokalizace na mapě, viz obr. 4) i dalšími vlastnostmi geografických informačních systémů. Aplikace navíc počítá plošné odhady srážek na předdefinovaná povodí třetího řádu s volitelným zobrazením časového vývoje do 21 dnů od aktuálního data (obr. 5).



Obr. 4. Aplikace JSPrecipView zobrazující kombinaci radarových odhadů srážek a srážkoměrných měření. Zde je ukázáno přiblížení a navigace.
Fig. 4. Application JSPrecipView showing the merged precipitation estimate with the zooming and geographical navigation.

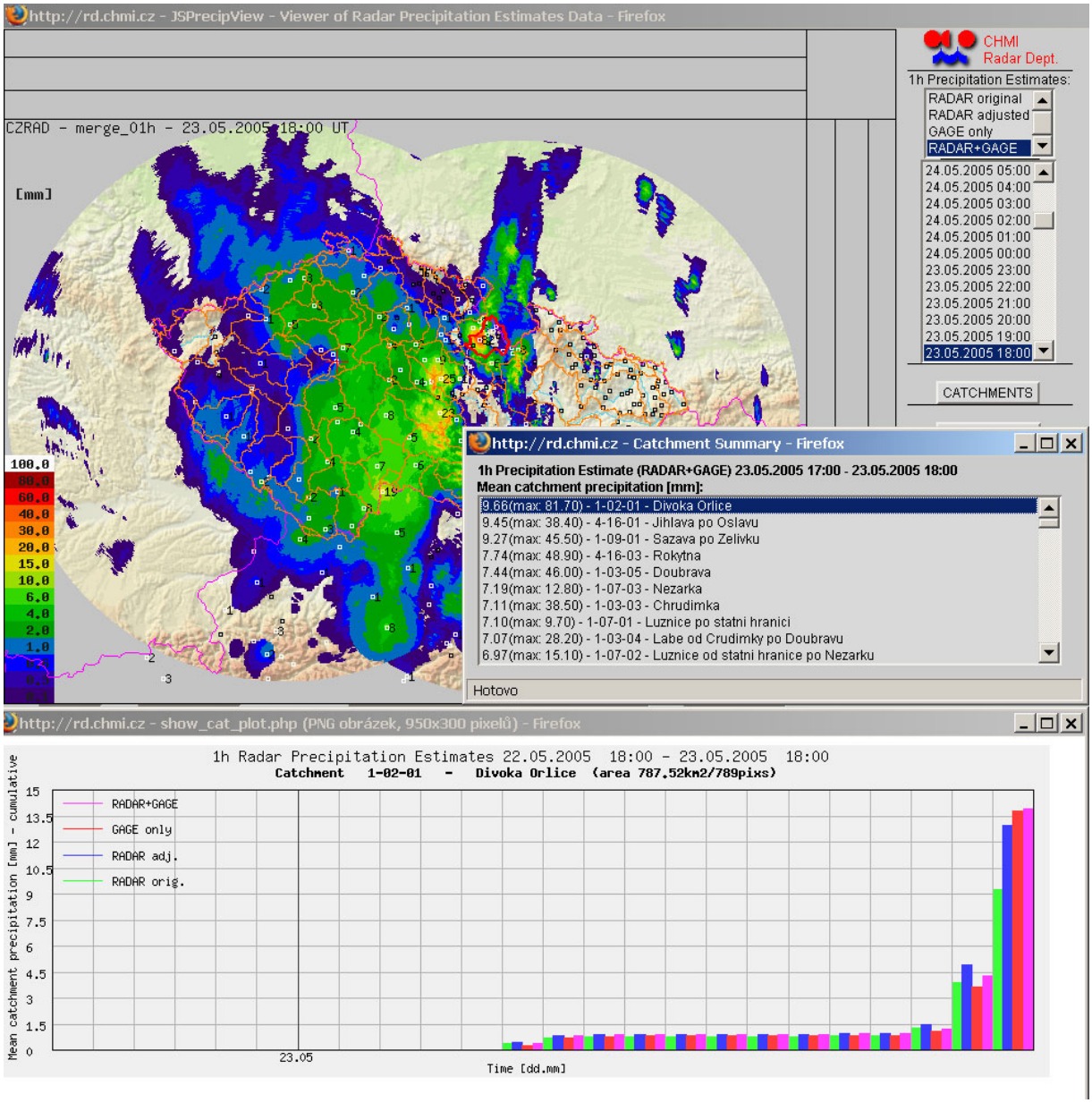
U těchto odhadů se též obrazují důležité relativní údaje o dostupnosti radarových měření, tj. podíl uskutečněných měření k plánovaným, a dále hodnoty adjustačních koeficientů, jejichž neobvyklé hodnoty mohou indikovat problémy s technickým zařízením radaru. Na počátku roku 2004 byla též vyvinuta aplikace, která vykresluje časový vývoj srážkoměrných měření a korespondujících radarových odhadů, což mj. velmi napomáhá při vyhledávání chyb srážkoměrů.

VYUŽITÍ KOMBINOVANÉ ANALÝZY V HYDROLOGICKÝCH MODELECH

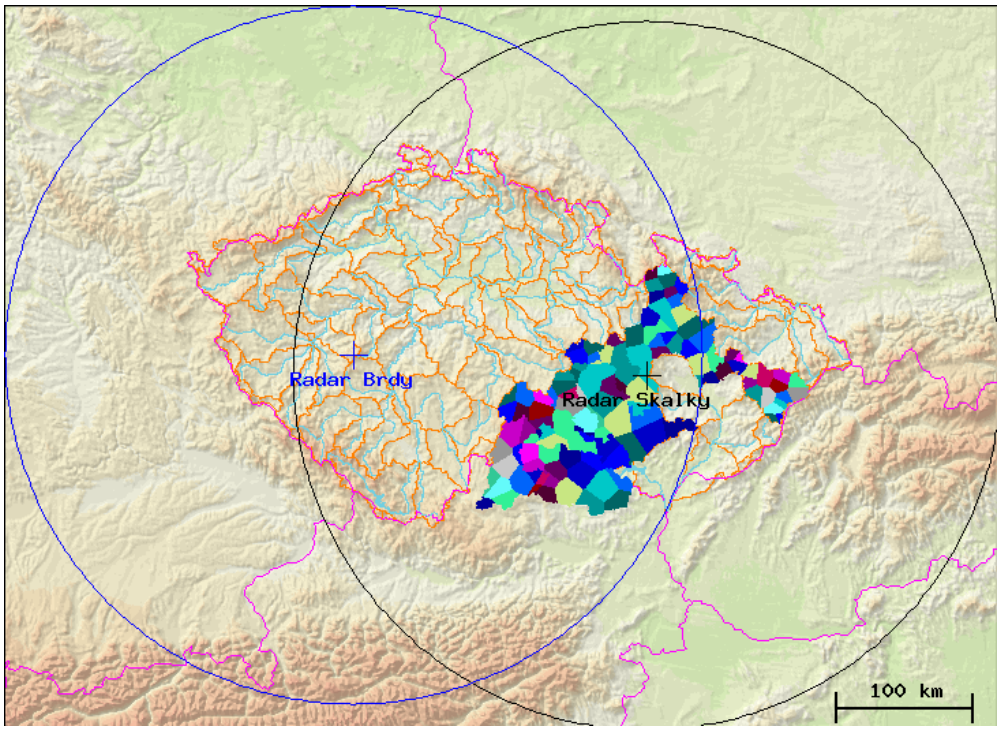
Na brněnském a ostravském Regionálním předpovědním pracovišti ČHMÚ se kromě těchto aplikací využívají výsledné kombinace adjustovaných radarových odhadů a srážkoměrných měření jako alternativní vstupní údaj do hydrologického modelu HYDROG. V současné době (léto 2005) se rutinně počítají plošné odhady kombinovaného odhadu pro Thiessenovy polygony příslušné

instalovaným nebo předpokládaným stanicím, přičemž proběhly první případové studie s modelováním významných epizod a zejména silných konvektivních srážek [Šálek et al., 2004]. Případy silné konvekce ukazují, že rozdělení povodí na Thiessenovy polygony je velmi hrubé a že pro věrnější modelování těchto případů je nutné podstatně jemnější dělení až do velikosti dílčích povodí kolem 10 km^2. Z důvodu jednoduchého alternativního využití kombinovaných odhadů srážek se však budou kombinované odhady i nadále rozpočítávat na Thiessenovy polygony.

O hydrologickém modelu Hydrog a též o využívání zmíněných odhadů srážek pojednává též práce Soukalové a Březkové [2005], která je uvedena v tomto sborníku.



Obr.5. Výpočet hodinových průměrných srážek na povodí aplikace JSPrecipView s vykreslením časového vývoje všech uvažovaných typů odhadů. Na mapě je zobrazena výsledná kombinace.
Fig. 5 Calculation of the hourly mean areal precipitation for given catchment provided by the application JSPrecipView with the time series of all the considered estimates. The maps shows the merged estimate.



Obr. 6. Thiessenovy polygony, pro které se v r. 2005 operativně počítají kombinované radaro-srážkoměrné odhady srážek, využívané v hydrologickém modelu Hydrog.
Fig. 6. Thiessens polygons used for the calculation of mean areal precipitation of the merged radar-raingauge estimates which are used in hydrological model Hydrog. Situation dates to 2005.

VYUŽITÍ KOMBINOVANÉHO ODHADU VE VAROVNÉ PROTIPOVODŇOVÉ SLUŽBĚ ČHMÚ

Uvedený systém kombinovaného odhadu srážek se též využívá pro proceduru detekce nadlimitních srážkových úhrnů. Algoritmus detekce spočívá v hledání nejvyšších srážkových úhrnů všech typů odhadů a v případě, že je překročena předdefinovaná hodnota, je v interním komunikačním systému ČHMÚ vydán varovný bulletin WGCZ61. V něm jsou pro danou lokalitu vypsány všechny odhady včetně interpolace ze srážkoměrů, což slouží pro porovnání a pro případné odhalení chyb příslušných měřících systémů. Ukázka bulletinu je zde:

```
WGCZ61 OKTB 231510

Termin: 23.5.2005 15 UTC.     Akumulace: 1 h.
Vydano: 23.5.2005 15.10 UTC.

   39.6      43.8 *     0.1      43.8     Vysocina              15.282 49.390
   37.6      41.6 *     0.3      33.9     Jihocesky             14.714 48.970

   80.9      89.6 *     0.1      89.6     Mimo CR               15.022 48.440

-------------------------------------------------------------------------------
Rad. orig. Rad. adj. Srazkom.  Kombinace   Kraj                  Delka  Sirka

-------------------------------------------------------------------------------
    Vypis vyznamnych srazek (v mm) z oblasti CR a okoli z meteorologickych
          radiolokatoru site CZRAD a dostupnych mereni srazkomeru.

            UPOZORNENI: Tato informace musi byt vizualne proverena
          na http://rd.chmi.cz/rad/ nebo http://kalanka.chmi.cz/merge.
             Vysoke hodnoty mohou vzniknout tez chybou systemu.
-------------------------------------------------------------------------------
                    Pripravil: Milan Salek, salek@chmi.cz
-------------------------------------------------------------------------------
```

Součástí výpisu je uvedení kraje, kde k překročení došlo, dále zeměpisná délka a šířka ve tvaru, který je možné okamžitě použít pro lokalizaci v systému JSPrecipView. Jak je uvedeno v ukázce bulletinu,

po obdržení bulletinu je nutné vizuálně prověřit, zda vydání bulletinu skutečně odpovídá nebezpečnosti vývoje nebo zda nejde o planý poplach způsobený nějakou chybou systému nebo čidel.

NOWCASTING SRÁŽEK

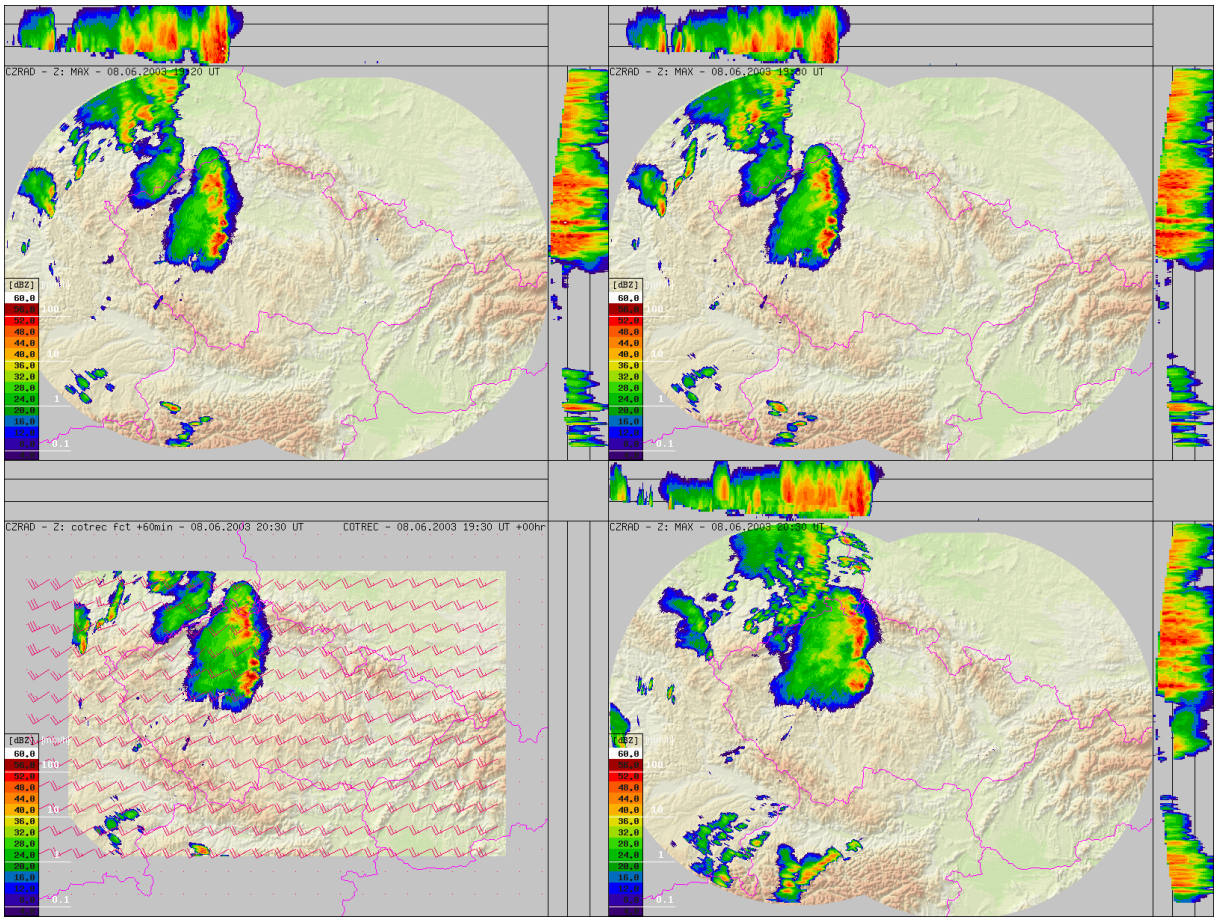
Po testování několika různých procedur [Novák et al., 2002] byly v roce 2003 do operativního provozu ČHMÚ zavedeny dvě metody předpovědi radarového echa či nowcastingu srážek [Novák, 2004]. Obě metody, označené COTREC a ALADIN, se neomezují pouze na identifikaci a předpověď konvektivních buněk, ale slouží k předpovědi radarového echa v celé radarové doméně,. Pro předpovědi je využito produktu maximálních odrazivostí s prostorovým rozlišením 1x1km generovaným každých 10 minut z plných objemových měření.

Metody se liší v způsobu získání pohybového pole použitého v druhém kroku k extrapolaci aktuálního radarového produktu pomocí metody zpětných trajektorií. Metoda COTREC využívá pro určení pohybového pole zkoumání podobnosti mezi aktuálním radarovým snímkem a různě posunutým předchozím snímkem. Z posun, při kterém byla nalezena nejlepší podobností, je poté určen vektor posunutí. Algoritmus probíhá v několika krocích s postupně se zmenšujícími oblastmi ve kterých je hledána podobnost. Je použito několik metod, které zajišťují konzistenci a hladkost výsledného pohybového pole. V druhé metodě ALADIN je využito předpovědní pole hladiny AT 700hPa (zobrazující tlakové pole v přibližné výšce 3 km) z lokálního předpovědního modelu ALADIN, které je pomocí geostrofické aproximace, tj. předpokladu geostrofického proudění v dané hladině, přepočteno na pohybového pole.

Obě metody předpovídají rozložení radiolokační odrazivosti až na 90 minut dopředu s krokem 10 minut. Během předpovědní doby se předpokládá neměnnost pohybového pole, zároveň není uvažováno zesilování či zeslabování radarového echa. Standardně je předpovídáno pole maximálních odrazivostí, ale lze použít například i pole pseudoCAPPI 2km využívané pro odhady srážek.

Vyhodnocení kvality předpovědi provedené porovnáním se skutečně naměřenýma hodnotami ukázalo výrazné zkvalitnění v porovnání s perzistentní předpovědí. Výsledky metody ALADIN a COTREC jsou hodně podobné, COTREC však ukazuje přeci jen trochu lepší výsledky. Kvalita předpovědi s časem klesá u obou metod obdobně. Využitelnost předpovědí závisí na typu srážek. Pro izolovanou konvekci je většinou využitelnost pouze do cca 30 minut, v případě stratiformních srážek či frontální oblačnosti (i konvektivní) je často možné využít i plných 90 minut. Při interpretaci výsledků předpovědí je vždy třeba zkušeného meteorologa.

Předpovědi jsou v ČHMÚ zatím operativně využívá pouze kvalitativně. Hydrologické aplikace nowcastingu intenzit srážek byly prozatím zkoušeny pouze pro případové studie přívalových povodní na Hodonínce (Blanensko, červenec 2002) a ve Sloupu (opět Blanensko, květen 2003). První studie ukázaly, že přes zřejmá omezení daná nelinearitou vývoje konvektivní oblačnosti jsou tyto extrapolační procedury částečně využitelné a mohly by se v budoucnu stát součástí srážkového vstupu do modelových hydrologických výpočtů.



Obr. 7.Ukázka předpovědi radarového echa metodou COTREC. Horní dva obrázky zobrazují vstupní data pro předpověď (z nich je počítáno pohybové pole), vlevo dole je znázorněna 60ti minutová předpověď společně s vypočteným pohybovým polem, vpravo dole je znázorněn skutečně naměřený radarový snímek pro dobu předpovědi.

Fig. 7. Example of COTREC radar echo prediction. Top figures show input data for COTREC method (measurements used for motion wind field calculation), left bottom figure show 60-min prediction of radar echo and calculated motion wind field, right bottom figure show true measured radar image for time of prediction.

ZÁVĚR

Meteorologické radary mohou značně přispět k věrnějšímu zobrazení územního rozdělení srážek, ale pro jejich optimální využití je vhodné znát nebo kvalifikovaně odhadovat procesy tvorby srážek, případně další vlivy ovlivňující přesnost radarového měření. Rozhodně není možné doporučit využívání radarových (nebo kombinovaných) odhadů v hydrologii bez alespoň vizuální kontroly výsledků nebo bez srovnání radarových odhadů srážek s dostupnými údaji srážkoměrů. Také by mělo platit, že oba druhy měření či odhadů srážek jsou komplementární a nikoliv konkurenční.

Literatura

Collier, C.G. (1996): Applications of weather radar systems: a guide to uses of radar data in meteorology and hydrology. Ellis Horwood Limited Publishers. Chichester UK, 408 pp.

Fulton, R., Breidenbach, J., Seo., D.-J., Miller., D., and O'Bannon., T. (1998): The WSR-88D rainfall algorithm,Wea. Forecasting, 13, 377–395.

Gjertsen, U., Šálek, M., Michelson, D. B. (2004): Gauge adjustment of radar-based precipitation estimates. COST Action 717, Use of radar observation in hydrological and NWP models. Review. COST Office, Brussels.

Gray, W.R. and A.W. Seed (2000): The characterisation of orographic rainfall. Meteorol. Appl., **7**, 105-119.

Novák P. (2000): Meteorological Interpretation of Doppler Weather Radar Measurements, Ph.D. Thesis, the Faculty of Mathematics and Physics of the Charles University, Prague, p.89

Novák P., Kráčmar J. (2000): Exploiting 3D volume data from the Czech weather radar networks. 1st European Conference on radar meteorology (ERAD), Bologna, Italy, September 2000, Phys. Chemistry of the Earth, 2000, vol. 25, 1163-1168.

Novák P., Walder J., Kráčmar J. (2002): The First Attempts At The Radar Echo Prediction In The Czech Weather Radar Network, ERAD Publication Series, Vol 1, Delft University of Technology, 18-22 November 2002, ISBN 3-936586-04-7, 55-58

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

Seo., D.-J.: Real-time estimation of rainfall fields using radar rainfall and rain gage data, J. Hydrol., 208, 37–52, 1998b.

Sokol, Z (2003): Utilization of Regression Models for Rainfall Estimates Using Radar-Derived Rainfall Data and Rain Gauge Data. Journal of Hydrology, Vol. 208, p. 37-52.

Sokol, Z, Řezáčová, D. (2001): Statistická korekce denních srážkových úhrnů stanovených radarem s využitím klasifikované regrese. Meteorol. Zpr., 54, č. 6, s. 46-56.

Soukalová, E., Březková, L. (2005). Předpovědní hydrologická služba na ČHMÚ Brno. Sborník Hydrologických dnů 2005.

Šálek M., Kráčmar, J. (1997): Odhady srážek z meteorologického radiolokátoru Skalky. Meteorolog. Zpr., 50, č.4, s. 99–109.

Šálek, M., Kráčmar, J., Novák, P., Setvák, M (1997): Využití metod dálkové detekce při povodňových událostech v červenci 1997. Meteorol. Zpr., 50, č. 6, s. 177–178.

Šálek, M, Novák, P., Kráčmar, J. (2002): Údaje metod dálkové detekce během povodní v srpnu roku 2002. Meteorolog. Zpr., 55, č. 6, s. 177–179.

Šálek, M., Cheze J.-L., Handwerker J., Delobbe, L., Uijlenhoet, R. (2004): Radar techniques for identifying precipitation type and estimating quantity of precipitation. Review. COST Office, Brussels.

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

Autoři:

Milan Šálek, ČHMÚ, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno, Česká republika, salek@chmi.cz

Petr Novák, ČHMÚ, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4, Česká republika, petr_novak@chmi.cz