

Stanovenie zásob vody v snehovej pokrývke v prostredí GIS

K. HRUŠKOVÁ ⁽¹⁾, D. KYSELOVÁ ⁽¹⁾, P. FAŠKO ⁽²⁾ and J. PECHO ⁽²⁾

⁽¹⁾ Slovenský hydrometeorologický ústav, Regionálne stredisko Banská Bystrica (e-mail: katerina.hruskova@shmu.sk)

⁽²⁾ Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

Abstract The SHMI's obligation to provide the information about the water content in the snow cover to state authorities and administrators of river basins with the aim of protecting from floods is resulting from the Act No 666/2004 Collection of Articles. This information has been provided by the operational hydrology since the beginning of the 1970s. The basis of the information is the characteristics of snow cover in selected points of the SHMI rain gauge station network. Due to the increasing demand related to the quality of provided data, as well as the number of profiles, and the increasing possibilities offered by the geographic information systems, the SHMI started to issue the maps showing spatial distribution of snow depths and snow water equivalents. The subject of spatial distribution of snow cover characteristics resulting from the point measurements is very extensive. In our paper we would like to point out some of the main aspects of this problem.

Key words: *snow-water equivalent, basin's snow water supply, snow cover network, GIS*

Úvod

Zo Zákona o ochrane pred povodňami č. 666/2004 Zb. vyplýva pre SHMÚ povinnosť poskytovať orgánom štátnej správy a správcom tokov pre vybrané profily informácie o zásobách vody v snehovej pokrývke. Tieto vydáva nepravidelne operatívna hydrologia už od začiatku 70-tych rokov. Základom sú údaje o charakteristikách snehovej pokrývky z vybraných zrážkomerných staníc SHMÚ. S ohľadom na rastúce požiadavky, týkajúce sa nielen kvality poskytovaných dát, ale aj počtu profilov, a možnosti, ktoré ponúkajú prostriedky geografických informačných systémov, SHMÚ začalo uverejňovať aj informácie o priestorovom rozložení celkovej výšky snehovej pokrývky a vodnej hodnoty snehu. V príspevku predstavíme výsledky vyhodnocovania zásob vody v snehu a poukážeme na niektoré aspekty problematiky spracovania priestorového rozloženia charakteristík snehovej pokrývky, vychádzajúceho z bodových meraní.

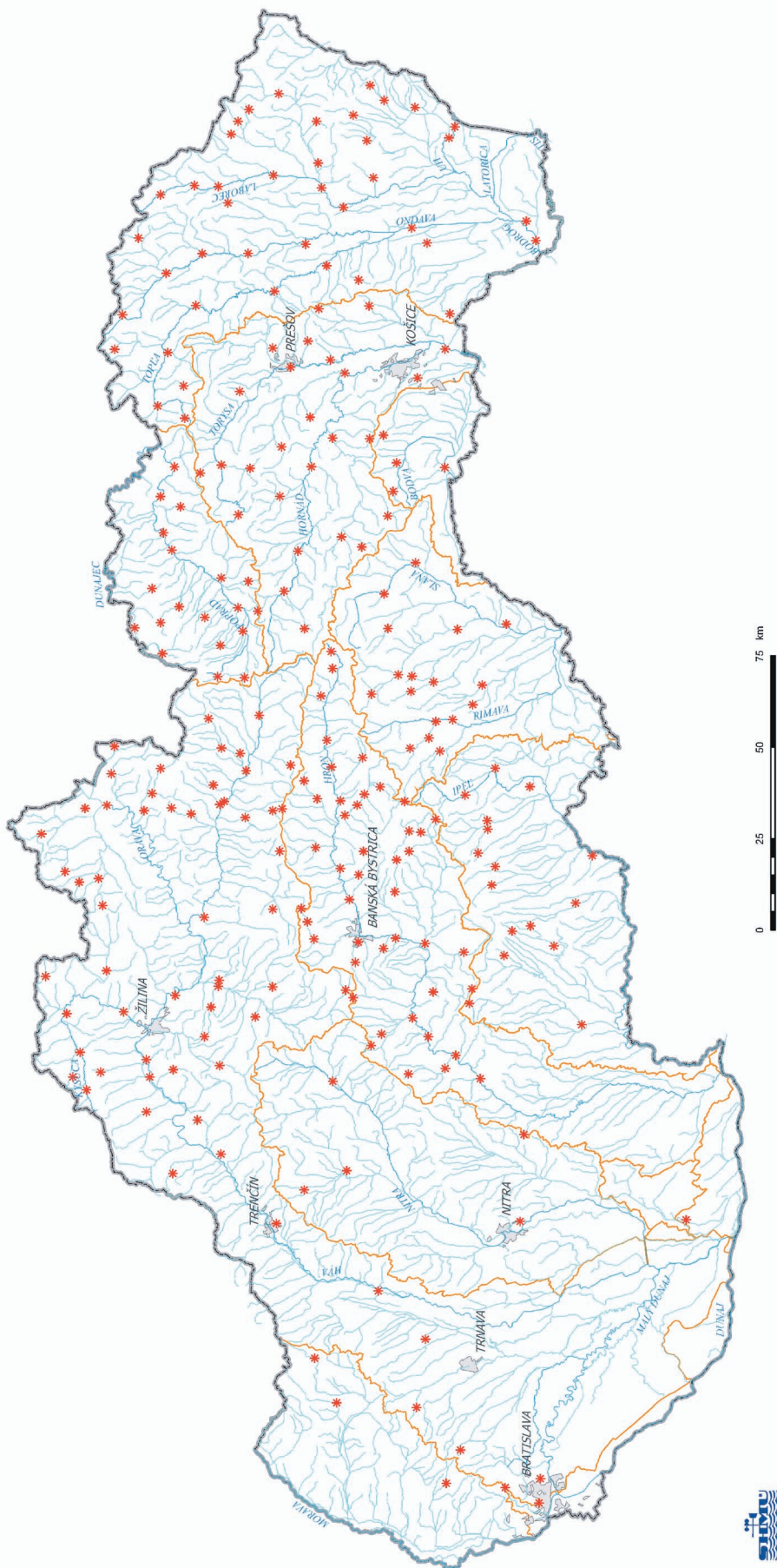
Vodná hodnota snehovej pokrývky je klimatologickým prvkom, ktorý v sebe spája priemet sumárneho úhrnu zrážok v reálnych teplotných a vlhkostných podmienkach danej zimy. Je dôležitým vstupným údajom pre bilanciu zásob vody v povodiach pred jarným topením snehu. Jej nenápadná pozícia medzi charakteristikami zrážok vyplývavo sezónneho výskytu snehovej pokrývky v našich prírodných podmienkach a určite aj preto, že vodná hodnota snehovej pokrývky sa meria v sieti meteorologických staníc SHMÚ iba raz týždenne, v pondelok ráno, ak sa v tomto termíne nachádza v priestore stanice súvislá snehová pokrývka.

Problematika operatívneho stanovenia zásob vody v snehovej pokrývke

Zásoby vody v snehovej pokrývke sa na SHMÚ začali pravidelne vyhodnocovať v zime 1982/1983 a to pre vodné diela v povodí Váhu. V súčasnosti sa počítajú celkom pre 35 profilov (tab.1) v povodiach Váhu, Hrona, Ipľa, Slanej, Popradu, Hornádu, Bodvy a Bodrogu. Pre výpočet sa používajú údaje o celkovej výške snehovej pokrývky a jej vodnej hodnote v reálnom čase z 238 snehomerných staníc. Ich rozloženie na území SR je na obr. 1.

Aj keď ich rozmiestnenie v záujmových povodiach sa zdá byť rovnomerné, je často s ohľadom na členitý reliéf územia SR nereprezentatívne a limitované dostupnosťou v teréne a ľudským faktorom. Až 95 % snehomerných staníc sa nachádza do nadmorskej výšky 1000 m. Napr. v povodí horného Hrona po Brezno s plochou 582,1 km² sa tretina celkových snehových zásob tvorí v nadmorských výškach 1000 až 1400 m, ktoré sa podieľajú 26,1 % na celkovej ploche povodia, pričom v týchto výškach nie lokalizovaná ani jedna snehomerná stanica (obr. 2).

Tiež samotné meranie vodnej hodnoty snehovej pokrývky v základnej sieti snehomerných staníc pomocou zrážkomernej nádoby alebo váhového snehomera môže byť zdrojom nepresností – problémy pri odbere snehu do nádoby a jeho následnom rozpúšťaní. Analýza ČHMÚ (Bercha et al., 2006) ukázala, že údaje o vodnej hodnote, namerané v staničnej sieti, sú väčšinou mierne podhodnotené, obzvlášť v stredných a vyšších nadmorských výškach.

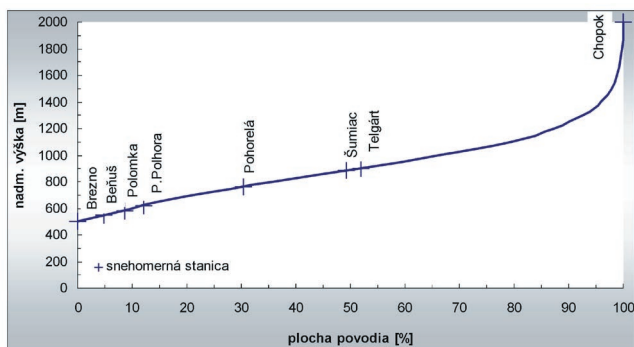


Obr. 1 Snehomerná sieť SHMÚ

Tab. 1 Zoznam profilov, pre ktoré SHMÚ pravidelne vyhodnocuje zásoby vody v snehovej pokrývke

RS SHMÚ	názov profilu	plocha km ²	RS SHMÚ	názov profilu	plocha km ²
Banská Bystrica	Hron po Brezno	582,1	Košice	Poprad	1889,2
	Hron po B. Bystricu	1766,5		Hornád po Margecany	1141,2
	VN Hriňová	52,0		Hnilec po Margecany	654,9
	VN Rozgrund	3,3		Torysa	1298,3
	VN Veľké Kozmálovce	4008,2		Hornád	4346,3
	Hron	5464,6		Bodva	893,8
	VN Ružiná	53,7		Ondava po Stropkov	573,8
	Ipeľ	4838,4		Ondava po Domašu	821,6
	VN Málinec	54,2		Topľa po Hanušovce	1050,8
	VN Teplý Vrch	79,4		Ondava po Horovce	965,7
	VN Klenovec	88,8		Ondava	3382,4
	Slaná	3217,0		Laborec po Humenné	1266,8
Žilina	VD Liptovská Mara	1493,2	Laborec po Vihorlat	1540,1	
	VD Orava	1182,0	Bodrog	1931,7	
	VD Krpeľany	1629,8	Bodrog bez Ukrajiny	6854,1	
	VD Hričov	1432,4	Latorica (ukr. územie)	2870,0	
	VD Nosice	747,8	Uh (ukr. územie)	1970,0	
	VD Žilina	1412,6			

Preto je dôležité venovať pozornosť tomu, aby údaje o snehovej pokrývke zo staníc základnej snehomernej siete reprezentovali aj snehové pomery širšieho okolia a mali tak výpovednú hodnotu pre stanovenie zásob vody v záujmovej oblasti predovšetkým v čase tvorby maximálnych zásob, ale aj pred predpokladaným odtokom. Pre overenie správnosti týchto meraní v základnej sieti, ako aj získanie údajov v lokalitách, kde nie je dostatočne hustá sieť (predovšetkým v horskom teréne), slúžia expedičné merania priemernej výšky a vodnej hodnoty snehovej pokrývky.



Obr. 2 Hypsografická krivka povodia horného Hrona po Brezno

V súčasnej dobe sa na určenie zásob vody v snehovej pokrývke štandardne používa metóda čiar vodnej hodnoty. Jej princíp rozpracoval Turčan (1973). Spočíva v analytickom vyjadrení závislosti vodnej hodnoty snehu od nadmorskej výšky. Na SHMÚ sa používa lineárna aproximácia bodových meraní metódou najmenších štvorcov. Vyrovnávajúcou čiarou vodnej hodnoty je priamka, podľa ktorej rovnice sa pre každú výškovú zónu odvodí vodná hodnota snehu, vzťahujúca sa na stred výškového intervalu konkrétnej

zóny. Priemerná vodná hodnota snehovej pokrývky na povodie sa vypočíta váženým priemerom s podielom plôch jednotlivých zón ako váhami. Táto metóda dáva vyrovnanú vodnú hodnotu snehu pre každú výškovú zónu. Nie je preto nutné mať merania vo všetkých výškových triedach. Z údajov o priemernej plošnej vodnej hodnote snehovej pokrývky a ploche povodia sa následne určia zásoby vody v snehu pre daný profil.

Metóda je vo svojej podstate veľmi jednoduchá a pokiaľ sú splnené podmienky pre rovnomerné rozloženie snehovej pokrývky na povodí, aj presná. Problém nastáva v čase, kedy sa snehová pokrývka vyskytuje iba vo vyšších nadmorských výškach. Potom sú vypočítané snehové zásoby podhodnocované.

Metodika tvorby máp priestorového rozloženia charakteristík snehovej pokrývky

Nakoľko stúpajú nároky na vodu, stúpajú aj nároky na informácie o zásobách vody v snehu. Využívanie geografických informačných systémov umožňuje získanie nielen informácií o priestorovom rozložení celkovej výšky a vodnej hodnoty snehovej pokrývky, ale aj výpočet snehových zásob pre rôzne profily podľa požiadaviek zákazníka. Na druhej strane oveľa citlivejšie reaguje na kvalitu dát, ako aj výber vhodnej interpolačnej techniky.

V priebehu posledných dvoch zimných období, 2005/2006 a 2006/2007, boli v rámci operatívnej prevádzky klimatologickej služby Slovenského hydrometeorologického ústavu vykonané prvé pokusy s priestorovou analýzou vodnej hodnoty snehovej pokrývky, pričom sa do úvahy brali operatívne údaje zo siete meteorologických staníc, merajúcich vodnú hodnotu snehovej pokrývky pravidelne každý týždeň v pondelok ráno. Nakoľko počet staníc,

ktoré nielen merajú, ale aj pre potreby operatívnej prevádzky posielajú údaje o vodnej hodnote snehovej pokrývky takmer okamžite na pracoviská SHMÚ (Bratislava, Banská Bystrica a Košice), nie je celkom dostatočný (reálne ich je niečo vyše 200 staníc) pre vykonanie dôslednejšej a priestorovo korektnejšej klimatologickej analýzy, v rámci predbežnej operatívnej analýzy bola použitá len jednoduchá 2D interpolácia bez zakomponovania vplyvu georeliéfu (metóda GIS2D). Ku komplexnejšej a z klimatologického hľadiska korektnejšej priestorovej analýze bolo možné pristúpiť až v momente, kedy boli k dispozícii údaje o vodnej hodnote snehovej pokrývky z takmer všetkých zrážkomerných staníc na území Slovenska, ktorých počet je v súčasnosti okolo 650. I napriek tejto, zdanlivo hustej pozorovacej staničnej sieti, sa na území Slovenska vyskytujú pomerne rozsiahle oblasti, z ktorých údaje o snehových pomeroch absentujú. Ide najmä o stredohorské a vysokohorské oblasti Malých a Bielych Karpát, Javorníkov, Malej a Veľkej Fatry, Moravských a Oravských Beskyd, Nízkyh, Vysokých a Západných Tatier ako aj niektorých ďalších, najmä pohraničných pohorí. Pre potreby komplexnejšej priestorovej analýzy bolo nevyhnutné údaje o vodnej hodnote snehovej pokrývky pre uvedené oblasti doplniť prostredníctvom tzv. „virtuálnych staníc“, ktorých priestorové rozloženie v konkrétnych horských regiónoch bolo expertne navrhnuté s ohľadom na klimatické špecifiká akumulácie a časového vývoja snehovej pokrývky v prírodnom prostredí Slovenska. Celkový počet virtuálnych staníc, ktorý sa momentálne v operatívnej klimatologickej praxi používa (a to nielen pre potreby priestorovej analýzy vybraných charakteristík snehovej pokrývky) presahuje hodnotu 100. Ich počet ako aj priestorová lokalizácia sa ukazuje byť pre tento typ analýzy dostatočne vyhovujúci, čomu zodpovedajú aj výsledky publikované v niektorých predošlých prácach venovaných priestorovým analýzám teploty vzduchu a atmosférických zrážok na území Slovenska. Hodnoty vodného obsahu snehu (vodná hodnota snehovej pokrývky) sa pre virtuálne body odhadujú buď prostredníctvom dostatočne presného regresného modelu, pre ktorého konštrukciu je potrebné do štatistickej analýzy zahrnúť merania vodnej hodnoty snehovej pokrývky z celého územia Slovenska, alebo expertným odhadom (a to v prípade, že prvá uvedená metóda nie je dostatočne presná).

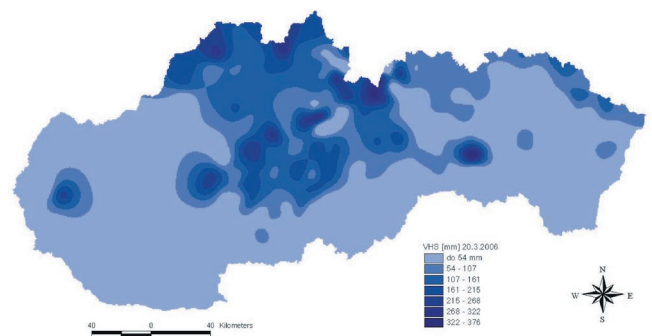
Zložitejšia (komplexnejšia) 3D analýza so zohľadnením doplnkových „virtuálnych staníc“ bola vykonaná v prostredí GIS-GRASS 6.0.2 pomocou regularizovaného splajnu s tenziou s možnosťou nastavenia (odvodenia) vstupných parametrov tenzie (tension), zhladzovania (smoothing) a pod. (metóda GIS3D). Matematická formulácia regularizovaného splajnu s tenziou umožňuje pri interpolácii zahrnúť aj informácie o priestorovom rozložení doplňujúcej premennej, napr. pri interpolácii atmosférických zrážok a teploty vzduchu využiť informácie o topografii územia (georeliéf). Najlepšie výsledky dosahuje pri interpolácii veľmi hladkých povrchov znázorňujúcich napr. klimatické javy. Keďže metóda splajnov využíva matematicky definované krivky, ktoré po častiach interpolujú jednotlivé časti povrchu, výsledný povrch má minimálnu krivosť.

Interpoláčnna metóda regularizovaný splajn s tenziou patrí k veľmi presným a flexibilným interpoláčnym metódam.

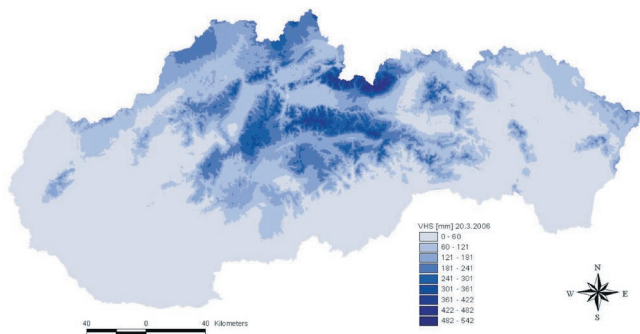
Analýza máp priestorového rozloženia vodnej hodnoty snehovej pokrývky v povodiach Hrona, Iplá a Slanej

Mapy priestorového rozloženia vodnej hodnoty snehovej pokrývky boli zostrojené pre vybrané dátumy zimy 2005/2006. Táto zima bola z hľadiska tvorby snehových zásob extrémna. Na viacerých profiloch boli zistené jedny z najvyšších maximálnych zásob od začiatku ich vyhodnocovania. Snehová pokrývka bola počas celého obdobia akumulácie snehu rozložená rovnomerne. Súvislá snehová pokrývka sa nachádzala aj v najnižších nadmorských výškach. Vplyvom teplého a vlhkého cyklonálneho charakteru počasia, sprevádzaného výdatnými tekutými, v horských oblastiach prechodne aj tuhými zrážkami, sa začala postupne roztápať až koncom marca 2006. Následný intenzívny odtok podmienil vznik povodňovej situácie na celom území Slovenska.

Pre hodnotenie zásob vody v snehovej pokrývke boli k dispozícii mapy k 13. a 20. marcu 2006 pre obdobie maximálnej akumulácie a dozrievania snehovej pokrývky a k 27. marcu a 3. aprílu 2006 pre obdobie topenia sa a následného odtoku zo snehu, vždy skonštruované jednoduchou 2D (metóda GIS2D, obr. 3) ako aj 3D interpoláciou (metóda GIS3D, obr. 4). Priemerná vodná hodnota snehovej pokrývky na povodie, ktorá je základom pre stanovenie snehových zásob, bola z máp vypočítaná mapovou algebrou. V nasledujúcom kroku boli tieto hodnoty analyzované pre profily v povodiach Hrona, Iplá a Slanej.



Obr. 3 Priestorové rozloženie vodnej hodnoty snehovej pokrývky k 20. marcu 2006 (metóda GIS2D)



Obr. 4 Priestorové rozloženie vodnej hodnoty snehovej pokrývky k 20. marcu 2006 (metóda GIS3D)

Výsledky porovnania priemerných vodných hodnôt snehovej pokrývky vo vybraných povodiach

Porovnanie priemerných vodných hodnôt snehovej pokrývky, odvodených pre jednotlivé profily z máp, skonštruovaných rôznymi interpolačnými metódami, s hodnotami vypočítanými pomocou čiary vodnej hodnoty je obsahom tab. 2.

Priemerná vodná hodnota snehovej pokrývky stanovená z máp, zostrojených metódou GIS2D bola v porovnaní s hodnotou vypočítanou metódou čiary vodnej hodnoty takmer vo všetkých profiloch a termínoch nižšia. Výnimkou boli výrazne nadhodnotené hodnoty pre VD Ružiná. V priemere sa rozdiel pre obdobie maximálnej akumulácie a dozrievania snehovej pokrývky pohyboval okolo 20 %. Na začiatku topenia snehu sa zvyšoval na 30 % a 3. apríla, kedy polohy v nižších nadmorských výškach boli už bez snehovej pokrývky, dokonca na viac ako 40 %.

Pre profily VD Ružiná, VD Teplý vrch a Slaná - ústie boli v termíne 27. marec alebo 3. apríl stanovené metódou HIPS takmer nulové alebo aj žiadne snehové zásoby, zatiaľ čo v prostredí GIS boli tieto hodnoty vypočítané. V profiloch VD Hriňová, VD Klenovec a Ipeľ - ústie bola 3. apríla zaznamenaná opačná situácia, tzn. na rozdiel od metódy HIPS dávala rastrová mapa nulové zásoby.

V prostredí GIS, z máp zostrojených metódou GIS3D, boli odvodené priemerné vodné hodnoty snehovej pokrývky pre dátumy 13., 20. a 27. marca vo všetkých profiloch s výnimkou Slanej - ústie porovnateľné s hodnotami, vypočítanými metódou HIPS. Priemerný rozdiel pre vyššie uvedené dátumy dosahoval 2 %. K 3. aprílu sa rozdiel medzi mapovými a operatívnymi hodnotami podstatne zväčšil. Mapové výstupy dávali až o polovicu väčšie zásoby. Dôvodom môže byť aj samotná podstata metodiky výpočtu operatívnych snehových zásob čiarou vodnej hodnoty.

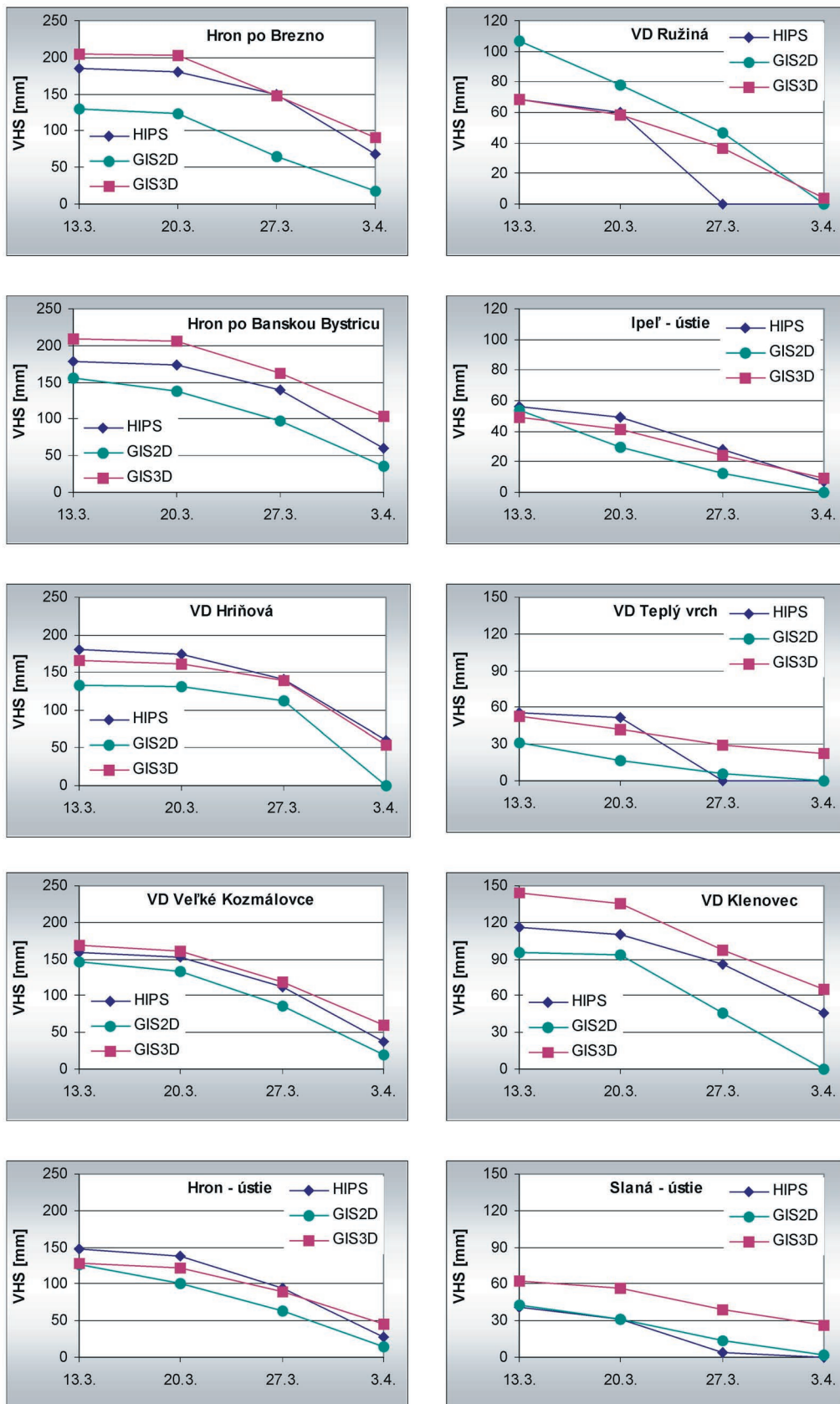
Najväčšie rozdiely medzi metódami čiary vodnej hodnoty a GIS3D boli zistené pre uzáverový profil povodia Slanej. V hydrologickej operatívnej službe používaná metóda čiary vodnej hodnoty dávala neporovnateľne nižšie hodnoty, predovšetkým v období topenia sa snehu a následného odtoku. V tomto povodí bude preto potrebné prehodnotiť používanú metodiku, ako aj optimalizovať snehomernú sieť. Z celkového počtu 18 zrážkomerných staníc ich 15 leží v pásme do 400 m n.m., pričom maximálne nadmorské výšky dosahujú nad 1400 m n.m.

Časovázmenapriemernejvodnejhodnotysnehunapovodie, stanovenej metódou čiary vodnej hodnoty a v prostredí GIS (metódy GIS2D, GIS3D) je na obr. 5. Na jednotlivých grafov sú dobre vidieť rozdiely vo vývoji snehových zásob v rôznych fázach genézy snehovej pokrývky, ktoré sú ovplyvnené typom použitej metódy na ich určenie.

Tab. 2 Porovnanie priemerných vodných hodnôt snehovej pokrývky, odvodených z máp, skonštruovaných rôznymi interpolačnými metódami s hodnotami vypočítanými podľa čiary vodnej hodnoty (GIS2D je interpolačná metóda nezohľadňujúca reliéf, GIS3D zohľadňuje reliéf, HIPS je metóda čiary vodnej hodnoty)

snehomerný profil	GIS2D /HIPS				GIS3D /HIPS			
	13.3. 2006	20.3. 2006	27.3. 2006	3.4. 2006	13.3. 2006	20.3. 2006	27.3. 2006	3.4. 2006
Hron po Brezno	0,70	0,69	0,44	0,27	1,10	1,13	0,99	1,33
Hron po B. Bystricu	0,87	0,79	0,70	0,60	1,16	1,19	1,16	1,71
VD Hriňová	0,74	0,76	0,80	0,01	0,93	0,93	0,99	0,90
VD V. Kozmálovce	0,92	0,88	0,77	0,52	1,05	1,05	1,06	1,59
Hron - ústie	0,86	0,73	0,67	0,52	0,87	0,88	0,94	1,63
VD Ružiná	1,55	1,30	-	-	0,99	0,98	-	-
Ipeľ - ústie	0,95	0,60	0,44	-	0,88	0,84	0,88	1,30
VD Teplý vrch	0,56	0,32	-	-	0,96	0,81	-	-
VD Klenovec	0,83	0,84	0,54	-	1,24	1,22	1,13	1,44
Slaná - ústie	1,06	1,00	3,06	-	1,53	1,82	9,04	-

- metódou čiary vodnej hodnoty alebo v prostredí GIS sú stanovené nulové zásoby vody v snehu na povodie



Obr. 5 Priemerná vodná hodnota snehovej pokrývky na povodie v marci a apríli 2006, stanovená metódou čiary vodnej hodnoty (HIPS) a v prostredí GIS (GIS2D - nezohľadňuje reliéf, GIS3D - zohľadňuje reliéf)

Záver

Aj počas trvania súvislej snehovej pokrývky metóda GIS2D dáva takmer o 30% nižšie zásoby vody v snehovej pokrývke v porovnaní s metódou čiary vodnej hodnoty a to najmä v horných častiach povodí, kde je dominantný vplyv reliéfu na procesy akumulácie a dozrievania snehu. Rozdiely sa zväčšujú pri topení sa snehu.

Z výsledkov analýzy vyplýva, že komplexnejšia 3D analýza so zohľadnením doplnkových „virtuálnych staníc“ a georeliéfu poskytuje najreálnejšie hodnoty snehovej pokrývky ako počas akumulácie, tak aj v čase topenia sa snehu. Najmä počas odtoku, keď je v nižších nadmorských výškach už len nesúvislá snehová pokrývka, metóda HIPS podhodnocuje zásoby vody v snehovej pokrývke, čo vyplýva z metodiky samotného výpočtu, vychádzajúceho len zo staničnej siete.

Aj keď výsledky preukázali rozdiely, je nesporné, že spracovanie charakteristík snehovej pokrývky v prostredí GIS poskytuje komplexnejšiu informáciu o jej priestorovom rozložení. Je však treba mať stále na zreteli, že presnosť interpolácie bodových meraní do priestoru je veľmi citlivá na kvalitu a priestorové rozloženie týchto vstupných údajov. Napríklad v prípade nesúvislej snehovej pokrývky a nízkych hodnotách vodnej hodnoty snehu, vzrastá význam relatívnej chyby práve v spojení s interpoláciou bodových meraní do priestoru. Pre skvalitnenie poskytovaných operatívnych údajov by bolo preto potrebné prehodnotiť reprezentatívnosť siete, posúdiť vhodnosť používaných interpolačných metód, ako aj nastavených parametrov.

Literatúra

[1] Bercha, Š., Řičicová, P., Němec, L. (2006): Posouzení reprezentativnosti měření vodní hodnoty sněhu při jarní povodni 2006. In: Workshop Adolfa Patery 2006 – Extrémní hydrologické jevy v povodích. Praha, s. 45-53.

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