K METÓDAM HODNOTENIA ZÁSOB VODY V SNEHOVEJ POKRÝVKE

Kateřina Hrušková, Daniela Kyselová

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

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

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

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

---

Úvod

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

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

Metódy hodnotenia zásob vody v snehovej pokrývke na SHMÚ

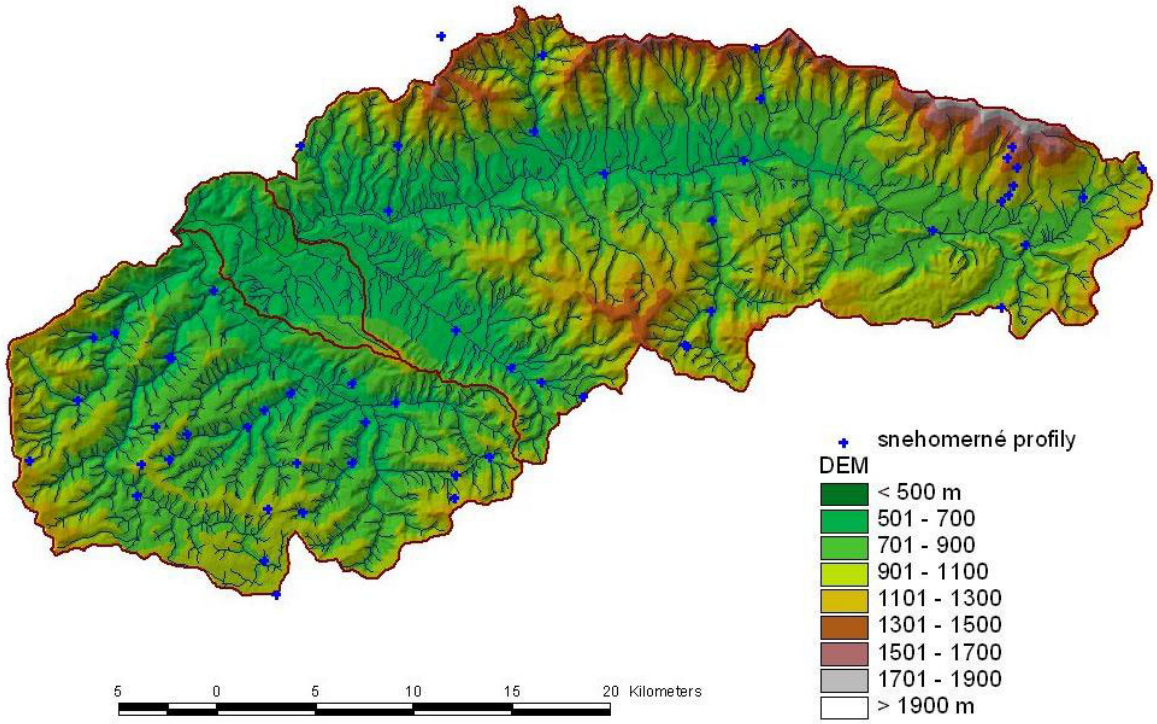
Na hodnotenie zásob vody v snehovej pokrývke sa na SHMÚ v operatíve používajú dve metódy. Obidve vychádzajú z bodových meraní.

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

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

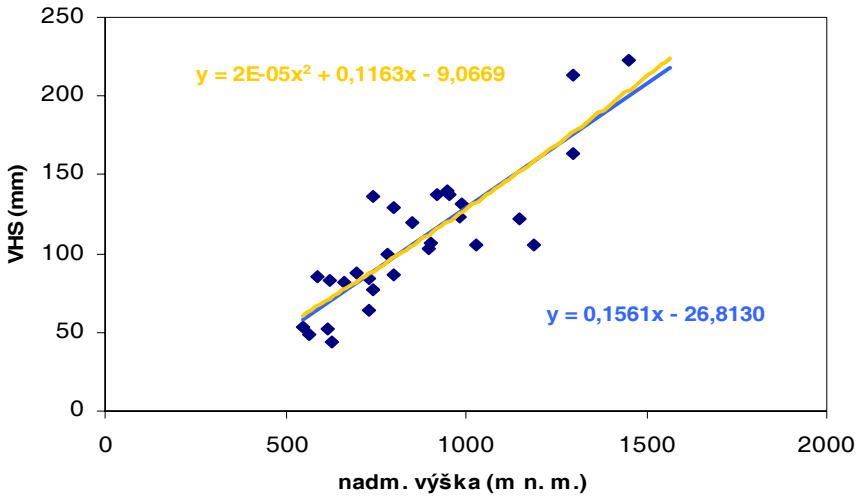
Na Slovensku sa týmto spôsobom hodnotia zásoby vody raz týždenne pre všetky významné vodné nádrže a pre väčšinu uzáverových profilov hlavných povodí.

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



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

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



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

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

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

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

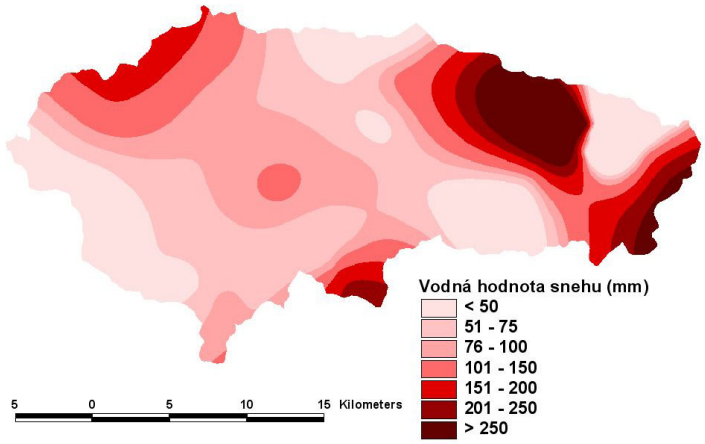
výšk. pásma	**stred**	**plocha**	**VHS[1]**	**VHS[2]**
m	m	km^2	mm	mm
401-600	500	58.9	51.2	54.3
601-800	700	179.2	82.5	82.6
801-1000	900	175.3	113.7	112.6
1001-1200	1100	114.4	144.9	144.2
1201-1400	1300	37.8	176.1	177.6
1401-1600	1500	10.2	207.3	212.6
1601-1800	1700	5.3	238.6	249.3
1801-2000	1900	1.0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

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

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

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

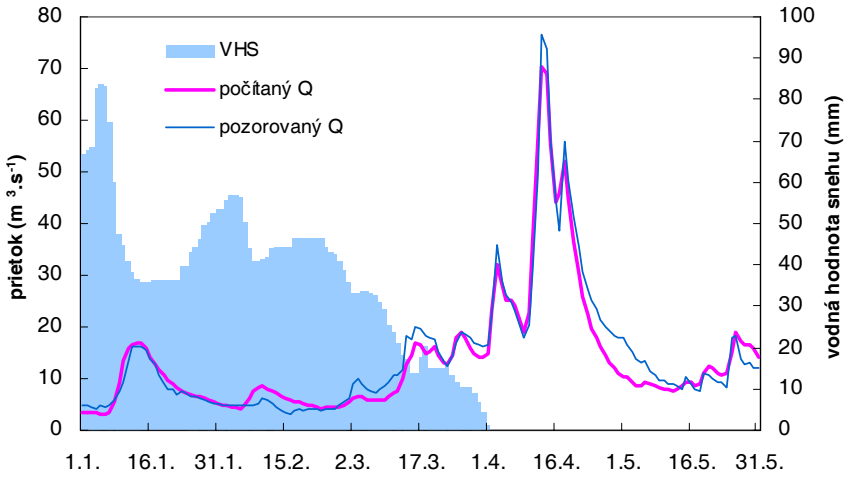
lineárna regresia:		
priemerná vodná hodnota snehu na povodie:	111.0	mm
zásoba vody v snehu:	64.60	mil. m^3
polynomická regresia:		
priemerná vodná hodnota snehu na povodie:	111.2	mm
zásoba vody v snehu:	64.73	mil. m^3
operatívne údaje:		
priemerná vodná hodnota snehu na povodie:	105.9	mm
zásoba vody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



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

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

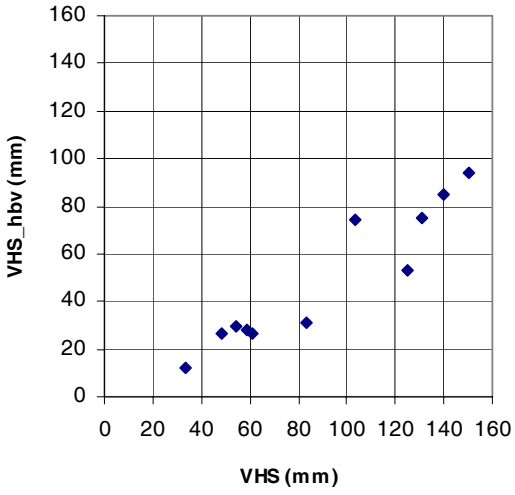
Pri modelovaní vodnej hodnoty snehu v povodí horného Hrona pre profil Brezno bol použitý aj zrážkovo-odtokový model HBV. Model bol kalibrovaný manuálne pre obdobie hydrologických rokov 1992-1997 s ohľadom na zhodu prietokov. Priebeh namodelovaných a nameraných priemerných denných prietokov v zimnej sezóne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



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

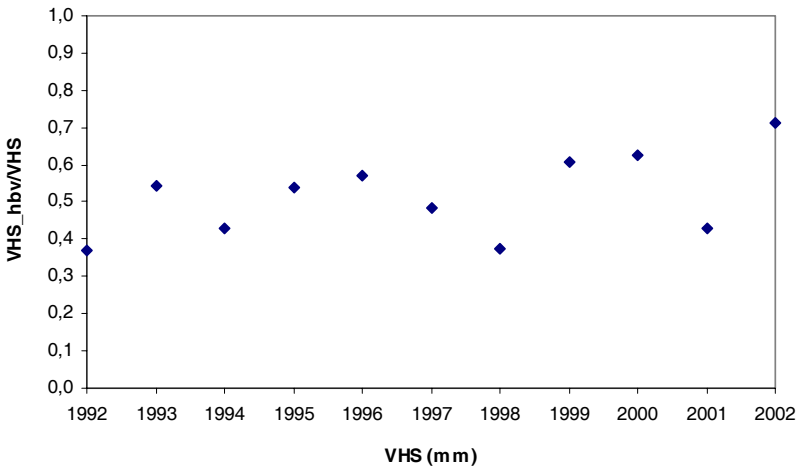
Fig. 4 Curve of computed and observed average daily discharges and snow water equivalent in winter season 1994 at station Brezno

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



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

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



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

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

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

Porovnanie snehomerných váh

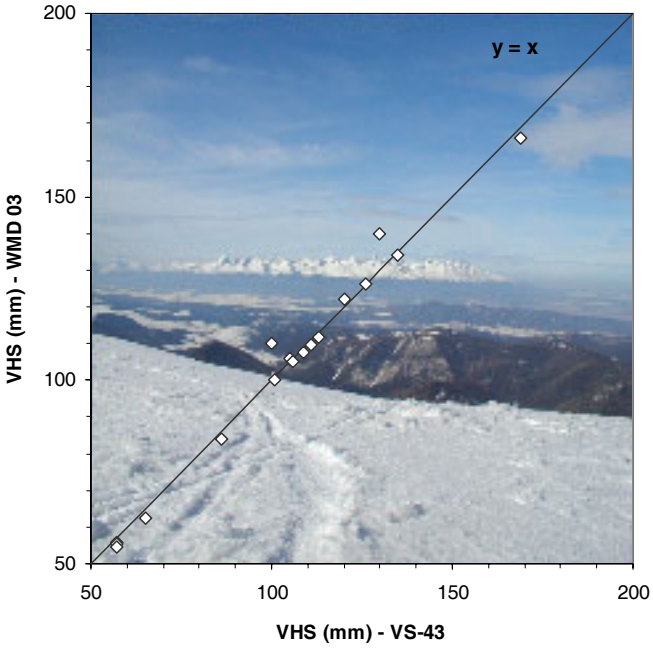
V rámci expedičných meraní sa overujú nielen metodiky, ale aj prístroje. Počas februárových expedičných meraní sa porovnával jeden zo základných typov snehomera, VS-43 s novým typom elektronických závesných váh, WMD 03.



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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

Záver

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

Literatúra

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

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

Autori

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

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