ACTA HYDROLOGICA
SLOVACA

Ročník 16, Tematické číslo, 2015, 235 - 244

MODELOVANIE VODNEJ HODNOTY SNEHU V ZÁVISLOSTI OD PRIESTOROVÉHO DELENIA POVODIA V MODELI

Roman Výleta, Katarína Kotríková, Peter Valent, Ján Szolgay, Viliam Szász

Snehová pokrývka je v našich zemepisných podmienkach významným vodohospodárskym faktorom. Zrážky sa vo vyšších polohách zimného obdobia v priemere od prvého až piateho mesiaca zimy akumulujú v povodiach a potom sa v relatívne krátkom čase uvoľňujú, čo má významný vplyv nielen na kvantitatívne, ale aj na kvalitatívne procesy vodného cyklu. Z vodohospodárskeho hľadiska sa vplyv snehovej pokrývky uplatňuje najmä na jar a topenie snehu spôsobuje, že z hľadiska ročného rozdelenia odtoku sa maximá na časti našich tokoch vyskytujú práve v jarnom období. Modelovanie časového priebehu vodnej hodnoty snehu v povodiach je preto dôležitou súčasťou zrážkovo-odtokových modelov. Cieľom príspevku je skúmať vplyv priestorového diferencovania vstupov zrážkovo-odtokového modelu na kvalitu simulácie vodnej hodnoty snehu a celkového odtoku z povodia. Na modelovanie vodnej hodnoty snehu bol použitý koncepčný zrážkovo-odtokový model s polo-rozčlenenými parametrami. Pri kalibrácii a validácii modelu akumulácie a topenia snehu boli použité metódy multiobjektívnej kalibrácie modelu na prietoky v záverečnom profile povodia, ako aj na pozorované vodné hodnoty snehu vo výškových zónach a vegetačných pásmach.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: vodná hodnota snehu, semi-distribuované modelovanie, multiobjetívna kalibrácia

THE MODELLING OF SNOW WATER EQUIVALENT USING A SPATIALLY SEMI-DISTRIBUTED MODEL OF THE CATCHMENT. The snow cover is in our latitude an important water management factor. The winter precipitations are accumulated in the catchment throughout the first to the fifth winter months and are subsequently in a very short time released back to the catchment which has a significant impact on the quantity but also quality of the water cycle process. From the water management point of view the impact of the snow cover is significant mainly during the spring season when it's melting causes that in the terms of the interannual distribution of flows most our catchments have their maximums during this period. That is why the modelling of the snow water equivalent is an inseparable part of rainfall-runoff models. The main objective of this work is to study the impact of the distribution of the inputs of the rainfall-runoff model on the quality of the simulation of snow water equivalent and catchment runoff. A conceptual semi-distributed rainfall-runoff model was used in order to model the snow water equivalent in a daily time step. In order to calibrate and validate the model a multi-calibration techniques were used taking into account both runoff from the catchment and the observed values of the snow water equivalents in elevation and vegetation zones.

KEY WORDS: snow water equivalent, semi-distributed modelling, multi-objective calibration

Úvod

Snehová pokrývka v našich zemepisných šírkach obsahuje v zimno-jarnom období veľké zásoby vody v horských povodiach. Zásadnou otázkou je schopnosť popísať priestorovú a časovú variabilitu parametrov snehovej pokrývky, ako aj jej meniace sa fyzikálne vlastnosti a z vodohospodárskeho hľadiska aj veľkosť a časovo-priestorové rozloženie zásob vody v snehu na povodiach. Tvorbu snehovej pokrývky výrazne ovplyvňujú dve fázy, resp. procesy akumulácie a topenia snehu. V zimnom období sa v čase niekoľkých mesiacov postupne akumuluje snehová pokrývka v horských povodiach. Dôležitým faktorom pri tomto procese je nadmorská výška, kedy zvyčajne narastá výška snehovej pokrývky s jej zvyšovaním. Topenie snehu sa vyskytuje hlavne v jarnom období, pričom z hľadiska ročného rozdelenia odtoku dochádza v tomto období

v horských oblastiach aj k významným extrémnym hydrologickým situáciám (Holko a kol., 2001).
Snehová pokrývka je definovaná množstvom charakteristík, jednou z najvýznamnejších z pohľadu vodohospodárov je vodná hodnota snehu (Brown a Goodison, 2006).
Analýza množstva vody vzniknutej roztopením snehu, modelovanie vodnej hodnoty snehu je súčasťou zrážkovo-odtokového modelovania. V súčasnosti poznáme veľké množstvo zrážkovo-odtokových modelov a metód modelovania tejto charakteristiky, pričom záujem odbornej verejnosti na Slovensku o túto problematiku priniesol aj množstvo vedeckých štúdií, ako (Parajka, 2001), (Holko a kol., 2001), (Holko a Parajka, 2004), (Kostka a kol., 2005) a (Halmová a kol., 2006).
V príspevku sa zaoberáme skúmaním vplyvu priestorového diferencovania meteorologických vstupov zrážkovo-odtokového modelu s polo-rozčlenenými parametrami na kvalitu simulácie vodnej hodnoty snehu v povodí. Povodie je v modeli rozdelené na čiastkové plochy, podľa typu vegetácie a intervalu nadmorských výšok. V rámci kalibrácie a validácie modelu akumulácie a topenia snehu je použitý princíp multiobjetívnej kalibrácie modelu na prietoky v záverečnom profile povodia, ako aj na pozorované vodné hodnoty snehu vo výškových zónach a vegetačných pásmach. Vyvinutý metodický postup bol overovaný pre povodie horného Hrona po Banskú Bystricu.

Použitý semi-distribuovaný zrážkovo-odtokový model HRON

Jedná sa o deterministický, koncepčný zrážkovo-odtokový model pracujúci s denným krokom, pričom podľa priestorovej diskretizácie ho môžeme pre dané povodie zostaviť ako celistvý, resp. semi-distribuovaný model. Bol vyvinutý na katedre vodného hospodárstva krajiny Stavebnej fakulty STU v Bratislave (Kubeš, 2007), pričom vychádza z pôvodného modelu HBV (Bergström, 1976). Vychádza z modelu hydrologickej bilancie, kde základnú bilančnú rovnicu modelu možno zapísať v tvare (Valent, 2014):

$$S_i - S_{i-1} = P_i - \left(AET_i + qSn_i + qF_i + qSl_i + qB_i\right) \qquad (1)$$

kde
S_i, S_{i-1} je aktuálna zásoba vody na povodí na konci dňa i a $i-1$, i je časový krok (deň), P_i *je* úhrn zrážok na povodie v dni i, AET_i *je* aktuálna evapotranspirácia z povodia v dni i, qSn_i *je* odtok spôsobený topením snehovej pokrývky v dni i, qF_i *je* rýchly odtok (povrchový a podpovrchový) v dni i, qSl_i *je* oneskorený odtok (podpovrchový) v dni i a qB_i *je* základný odtok v dni i.

Model sa skladá z komponentov, ktorými sú: i) *snehový submodel* (simulácia akumulácie a topenia snehu); ii) *pôdny submodel* (simulácia hydrologických procesov prebiehajúcich v pôdnom profile – infiltrácia zrážok a topenie snehu, evapotranspirácia z pôdy a vegetácie, akumulácia a distribúcia vody v pôdnych vrstvách); iii) *odtokový model* (stanovenie odozvy povodia na zásoby vody a transformácia odtoku v rámci subpovodí) a iv) *submodel pre transformáciu prietoku* v koryte toku.
Dôležitou súčasťou rovníc modelu sú ich parametre, ktoré nám umožňujú kontrolovať a upravovať vlastnosti simulovaných javov a stavy zásob vody. Zvyčajne je ich potrebné spresniť v rámci kalibrácie modelu. Podrobný opis modelu, ako aj schému semi-distribuovaného zrážkovo-odtokového modelu obsahuje literatúra (Valent a kol., 2011).

Charakteristika predmetného územia

Povodie rieky Hron so záverečným profilom v Banskej Bystrici (vodomerná stanica č. 7160) je situované v strednej časti Slovenskej republiky a odvodňuje plochu o rozlohe 1768,2 km^2. Rieka Hron preteká úzkym údolím, ktoré je z obidvoch strán obklopené vysokým pohorím. Severnú hranicu povodia tvoria hrebene Nízkych Tatier a južnú najmä pohoria Slovenského Rudohoria. Nachádza sa v nadmorských výškach od 260 m n. m. do 2040 m n. m. a priemerná nadmorská výška povodia je 845 m n. m. Väčšia časť povodia je tvorená rozľahlými listnatými a ihličnatými lesmi, pričom najvyššie položené miesta povodia možno zaradiť do stupňa kosodreviny a alpínskych lúk.
Odtokový režim v stanici Banská Bystrica je charakteristický silnou sezónnosťou, keď mesiac s najväčšími priemernými prietokmi sú apríl, najsuchším je január, resp. február. Vysokohorský charakter povodia výrazne vplýva aj na výskyt povodní v roku, keď väčšina povodní sa vyskytuje na jar ako následok rýchleho topenia snehu v kombinácii so zrážkovou činnosťou (Valent, 2014).

Spracovanie vstupných údajov a rozdelenie povodia na čiastkové plochy

V rámci semi-distribuovaného zrážkovo-odtokového modelovania vodnej hodnoty snehu sme zvolili metodický postup rozdelenia povodia na čiastkové plochy podľa vegetačných pásiem a nadmorských výšok. Vstupné údaje pre modelovanie vodnej hodnoty snehu na povodí za obdobie r. 1991-2009 tvorili priemerné denné úhrny zrážok z 21 zrážkomerných staníc, denné hodnoty teploty vzduchu zo 6 klimatologických staníc, denné vodné hodnoty snehu z 22 staníc pozorované raz týždenne, denné výšky snehovej pokrývky pre 20 staníc na povodí a priemerné denné prietoky v profile Banská Bystrica (Tabuľka 1).
Pre výpočet zrážkového úhrnu na povodie v rámci čiastkových plôch bola použitá metóda inverznej váženej vzdialenosti. Priemerné denné teploty vzduchu pozorované v jednotlivých staniciach boli transformované na teploty vzduchu reprezentujúce denné priemerné hodnoty na povodie v rámci čiastkových plôch pomocou metódy teplotného gradientu, resp. lineárneho

regresného modelu, podľa závislosti nadmorskej výšky stanice a teploty vzduchu v danom dni. Denné hodnoty potenciálnej evapotranspirácie boli vypočítané metódou Blaney-Criddle na základe priemernej dennej teploty vzduchu a indexu oslnenia na čiastkovej ploche povodia (Valent, 2014).

Merania vodnej hodnoty snehu vo všeobecnosti prebiehajú v sieti meteorologických staníc SHMÚ raz týždenne, v pondelok ráno, avšak iba ak sa v priestore stanice nachádza súvislá snehová pokrývka. Pozorované vodné hodnoty snehu z jednotlivých staníc boli spracované interpoláciou pre priemerné nadmorské výšky čiastkových plôch povodia rovnakým metodickým postupom ako teploty vzduchu, avšak v prerušovanom týždennom kroku, keďže neboli kontinuálne pozorované. Hodnoty boli ešte kontrolované na možné chyby, nakoľko sa v údajoch vyskytovali dni s nameranou vodnou hodnotou snehu, avšak bez pozorovanej výšky snehovej pokrývky. Pracovali sme so štyrmi scenármi: i) Ak sa v údajoch vyskytovala pozorovaná vodná hodnota snehu, ale bez údaja o výške snehovej pokrývky, bola nameraná vodná hodnota snehu vymazaná; ii) Ak bola nameraná výška snehovej pokrývky a nebola v danom dni pozorovaná vodná hodnota snehu, údaje sa neupravovali; iii) Ak boli merané vodná hodnota snehu, ako aj výška snehovej pokrývky, údaje vodnej hodnoty sa upravili iba v prípade, že nameraná hodnota výšky snehu bola veľmi nízka (blízka k nule). V tomto prípade bola za pozorovanú vodnú hodnotu snehu dosadená nula; iv) Ak neboli namerané ani výška snehovej pokrývky ani vodná hodnota snehu, údaje ostali v pôvodnom tvare.

Tabuľka 1. Zoznam zrážkomerných a klimatologických staníc v povodí rieky Hron po Banskú Bystricu (✔ - stanice s pozorovanými údajmi, ✖ - stanice s nepozorovanými údajmi)

Table 1. A list of precipitation and climatological stations in the River Hron catchment at Banská Bystrica (✔ - stations with observed data, ✖ - stations without observed data)

P. č.	Názov stanice	Pozorované charakteristiky			
		P [mm]	T [°C]	VHS [mm]	CSP [mm]
1	Banská Bystrica -Úľanka	✔	✔	✔	✔
2	Beňuš	✔	✖	✔	✔
3	Brezno	✔	✔	✔	✔
4	Brusno	✔	✖	✔	✔
5	Čierny Balog - Krám	✔	✖	✔	✔
6	Dolný Harmanec	✔	✖	✔	✔
7	Heľpa	✖	✖	✔	✖
8	Chopok	✔	✔	✖	✔
9	Jarabá	✔	✖	✔	✖
10	Jasenie	✔	✖	✔	✔
11	Jasenie, Na Kyslej	✔	✖	✔	✔
12	Krížna	✖	✔	✔	✖
13	Lom nad Rimavicou	✔	✔	✔	✔
14	Motyčky	✔	✖	✔	✔
15	Môlča	✔	✖	✔	✔
16	Mýto pod Ďumbierom	✔	✖	✔	✔
17	Pohorelá	✔	✖	✔	✔
18	Pohronská Polhora	✔	✖	✔	✔
19	Polomka	✔	✖	✔	✔
20	Slovenská Ľupča	✔	✖	✔	✔
21	Staré Hory	✔	✖	✔	✔
22	Šumiac	✔	✖	✔	✔
23	Telgárt	✔	✔	✔	✔

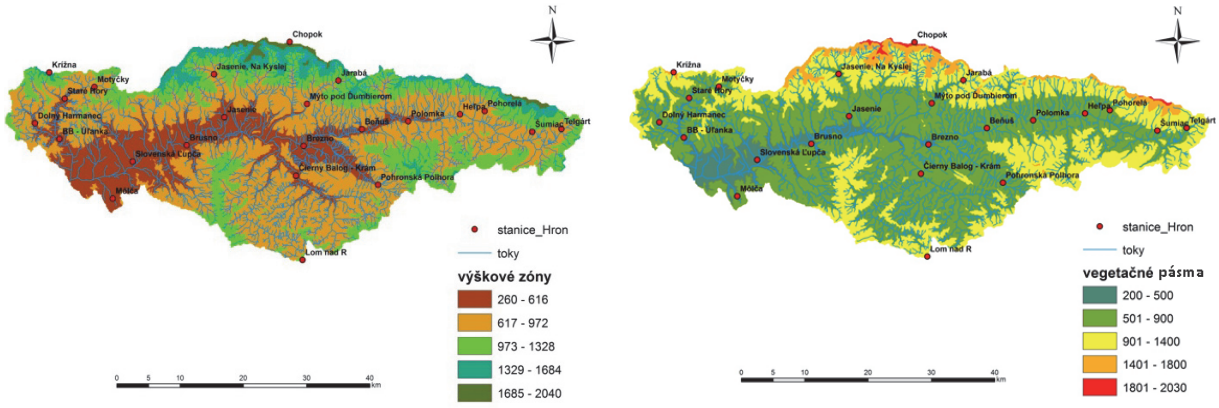
Pre potrebu rozdelenia vstupných údajov do modelu v snahe lepšie interpretovať zmeny vodnej hodnoty snehu, ako aj trvania snehovej pokrývky v priestore, sme použili dve priestorové delenia povodia na čiastkové plochy. V prvom prípade sme povodie rozdelili do 5 výškových pásiem (Obr. 1a, Tabuľka.2) a v druhom sa zohľadňuje prirodzená rozdielnosť vegetácie spôsobená rozdielnymi klimatickými podmienkami s narastajúcou nadmorskou výškou. Zvolili sme 5 vegetačných zón, pričom vymedzenie hraníc výškového rozpätia jednotlivých stupňov (v m n. m.) má orientačný charakter a prechod medzi jednotlivými stupňami je plynulý (Obr. 1b, Tabuľka 2).
Botanický ústav SAV vypracoval rozdelenie vegetačných pásiem na Slovensku do 8 vegetačných pásiem (Botanický ústav SAV, 2015), v našej práci sme použili 5 z nich. Ich popis preberáme do tohto príspevku, pričom ich možno vzostupne podľa nadmorských výšok charakterizovať ako *Pahorkatinové*, *Podhorské*, *Horské*, *Subalpínske* a *Alpínske* pásmo.

Spresnenie modelovania vodnej hodnoty snehu v čiastkových plochách povodia princípom multiobjetívnej kalibrácie zrážkovo-odtokového modelu

Pozorované rady vstupných údajov (modelovacie obdobie) sme rozdelili na dve časové obdobia, a to na kalibračné (1991-2000) a validačné (2001-2009) obdobie pre zhodnotenie kvality simulácie vodnej hodnoty snehu a celkového odtoku z povodia.
Kalibrácia bola realizovaná za pomoci genetického algoritmu s dôrazom na odtok (prietok v záverečnom profile povodia) a vodnú hodnotu snehu vo váhovom pomere 0,60 a 0,40 (Szász, 2015), pričom hodnotiacim kritériom oboch premenných bol Nash-Sutccliffov koeficient (Nash a Sutcliffe, 1970). Kombinovaný (výsledný) koeficient zhody Nash-Sutcliffe bol definovaný ako vážený súčet koeficientov získaných pri kalibrácii. Pomocou neho sme odhadli optimálny súbor parametrov modelu.
Hodnoty kritéria zhody Nash-Sutcliffe (NS) pre kalibračné a validačné časové obdobie, ako aj parametre modelu sú prezentované v Tabuľke 3a,b,c.

Zhodnotenie modelovania vodnej hodnoty snehu a stavu snehovej pokrývky

Zhodnotenie kvality modelovania vodnej hodnoty snehu vo viacerých tabuľkových a grafických porovnaniach bolo realizované pre každú výškovú zónu a vegetačné pásmo osobitne. V Tabuľke 4 uvádzame základné štatistické charakteristiky simulovaných vodných hodnôt snehu za obdobie 1991-2009 pre výškové zóny a vegetačné pásma.
Na Obr. 2a-j sú porovnania pozorovaných a simulovaných vodných hodnôt snehu v rámci jednotlivých výškových zón a vegetačných pásiem, kde na *x*-ovej osi sú znázornené časové obdobia, *y*-ová os na ľavej strane charakterizuje vodné hodnoty snehu (VHS) a *y*-ová os na pravej zobrazuje odchýlky pozorovaných od simulovaných vodných hodnôt snehu (rad chýb). Možno tvrdiť, že zmenou typu rozdelenia povodia na čiastkové plochy sme nespozorovali takmer žiadne rozdiely. Semi-distribuovaný zrážkovo-odtokový model zachováva vodné hodnoty snehu v II. a III. pásme, avšak v I. pásme sú tieto hodnoty podhodnocované, v IV. a V. prichádza k jej výraznejšiemu nadhodnocovaniu. Môže to byť spôsobené metodickým princípom odvodenia priemernej hodnoty tejto charakteristiky na čiastkové plochy povodia, pričom v prípade výpadku pozorovaní vodnej hodnoty snehu vo viacerých staniciach môžeme hovoriť o dôsledku slabiny zvolenej interpolačnej metódy.



a) ***b)***

Obr. 1a,b. Modelované povodie rieky Hron po Banskú Bystricu a jeho rozdelenie na čiastkové plochy podľa výškových zón a vegetačných pasiem.
Fig. 1a, b. The River Hron catchment with an outlet at Banská Bystrica station distributed into elevation and vegetation zones.

Tabuľka 2. **Rozdelenie povodia rieky Hron po Banskú Bystricu na čiastkové plochy podľa výškových zón a vegetačných pásiem**
Table 2. **The distribution of the River Hron catchment at Banská Bystrica station into elevation and vegetation zones**

Rozdelenie	Výškové zóny			Vegetačné pásma		
	Plocha [km^2]	Hranice [m n. m.]	Priem. výška [m n. m.]	Plocha [km^2]	Hranice [m n. m.]	Priem. výška [m n. m.]
I	380,04	260-616	438,0	125,96	200-500	439,0
II	906,16	617-972	794,0	989,82	501-900	709,0
III	373,38	973-1328	1150,0	571,80	901-1400	1072,0
IV	92,48	1329-1684	1506,0	71,24	1401-1800	1550,0
V	16,14	1685-2040	1862,0	27,38	1801-2300	1726,0

Tabuľka 3a,b,c **Optimalizované parametre semi-distribuovaného zrážkovo-odtokového modelu a hodnoty NS pre kalibračné a validačné časové obdobie vo výškových zónach a vegetačných pásmach povodia rieky Hron po Banskú Bystricu**
Table 3a,b,c **Optimised parameters of the semi-distributed rainfall-runoff model together with the values of the NS criterion calculated for the calibration and validation period for both elevation and vegetation zonation**

Parameter/Typ	Výškové zóny	Vegetačné pásma
fc	127,56	110,15
rc	1,83	2,05
uzl	15,09	14,10
tempRain	2,40	2,56
tempMelt	0,40	0,26
tempSnow	-1,24	-1,08
ddf	2,33	2,41
perc	2,23	3,16
lpe	0,97	0,96
k0	8,48	18,06
k1	7,42	6,44
k2	24,41	21,87
scf	1,00	1,00
maxbass	2,44	2,02

a)

Kritérium	Výškové zóny	
	Kalibrácia	Validácia
NS (Q)	0,888	0,751
NS (SWE)	0,701	0,782
Kombinovaný NS	0,813	0,764

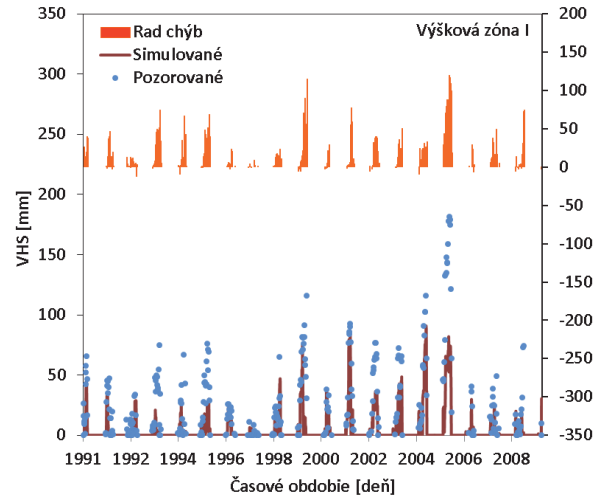
b)

Kritérium	Vegetačné pásma	
	Kalibrácia	Validácia
NS (Q)	0,877	0,679
NS (SWE)	0,731	0,816
Kombinovaný NS	0,819	0,734

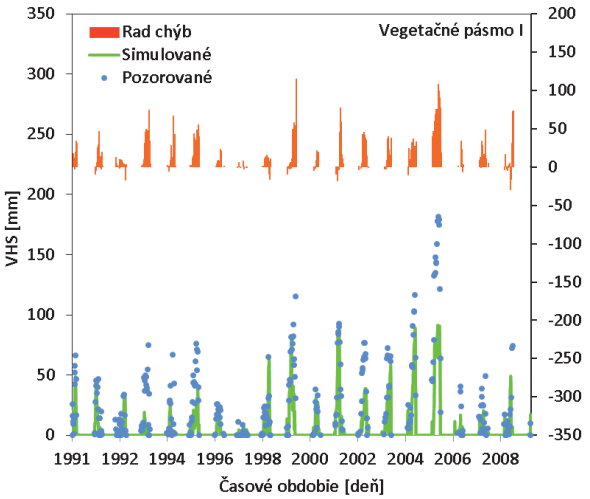
c)

Tabuľka 4. **Základné štatistické charakteristiky simulovanej vodnej hodnoty snehu vo výškových zónach a vegetačných pásmach povodia rieky Hron po Banskú Bystricu**
Table 4. **Basic statistical characteristics of the simulated values of snow water equivalent in the elevation and vegetation zones in the River Hron at Banská Bystrica catchment**

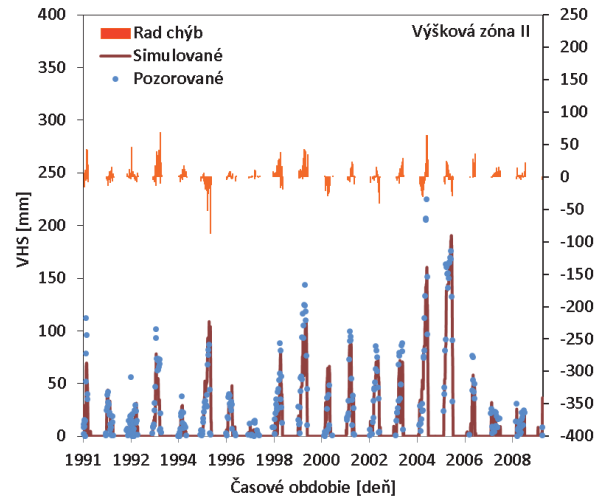
Štatis. veličina/Typ	Výškové zóny					Vegetačné pásma				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
Priemer [mm]	11.7	33.8	66.5	100.0	136.5	13.8	26.6	70.7	107.9	120.8
Štand. odchýlka [mm]	18.8	38.6	50.6	62.1	79.8	21.1	32.4	57.0	64.1	70.2
Maximum [mm]	89.7	190.3	220.1	302.8	420.3	90.3	155.2	269.1	269.7	362.8
Suma [mm]	3952	11462	22554	33887	46259	4687	9031	23981	36582	40949


Rad chýb
Simulované
Pozorované
Výšková zóna I
VHS [mm]
Časové obdobie [deň]

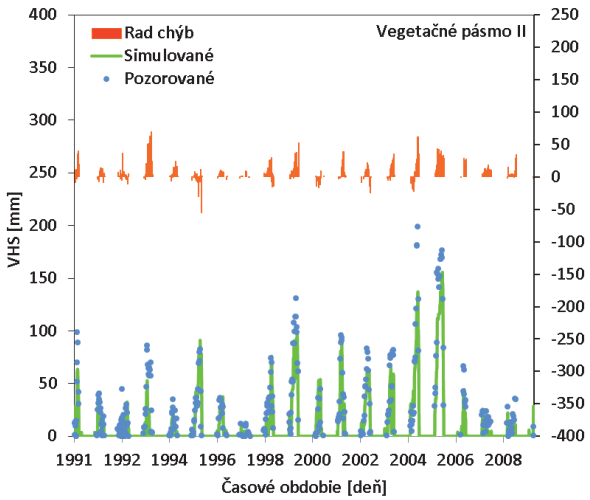
a)


Rad chýb
Simulované
Pozorované
Vegetačné pásmo I
VHS [mm]
Časové obdobie [deň]

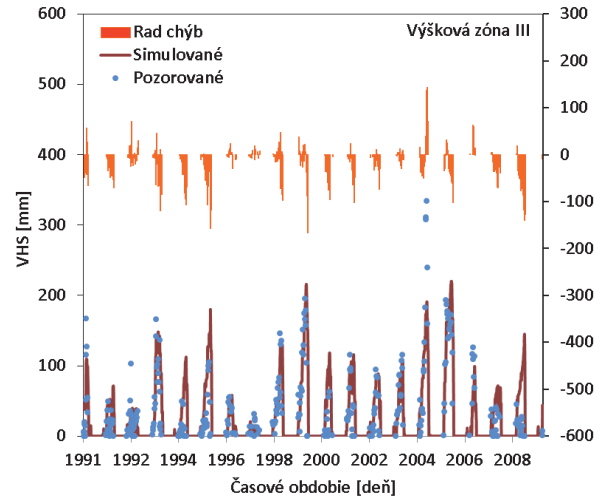
b)


Rad chýb
Simulované
Pozorované
Výšková zóna II
VHS [mm]
Časové obdobie [deň]

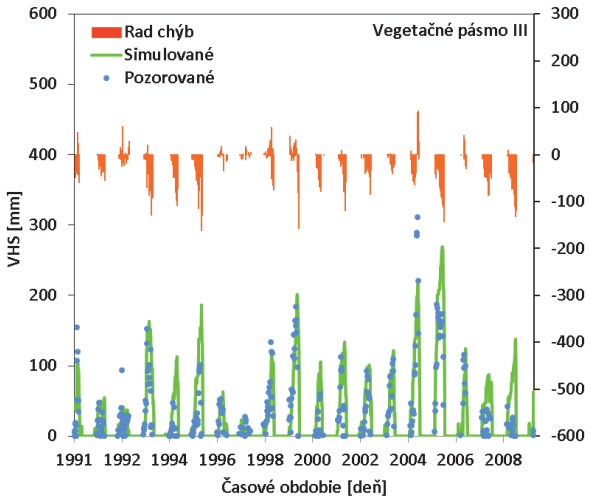
c)


Rad chýb
Simulované
Pozorované
Vegetačné pásmo II
VHS [mm]
Časové obdobie [deň]

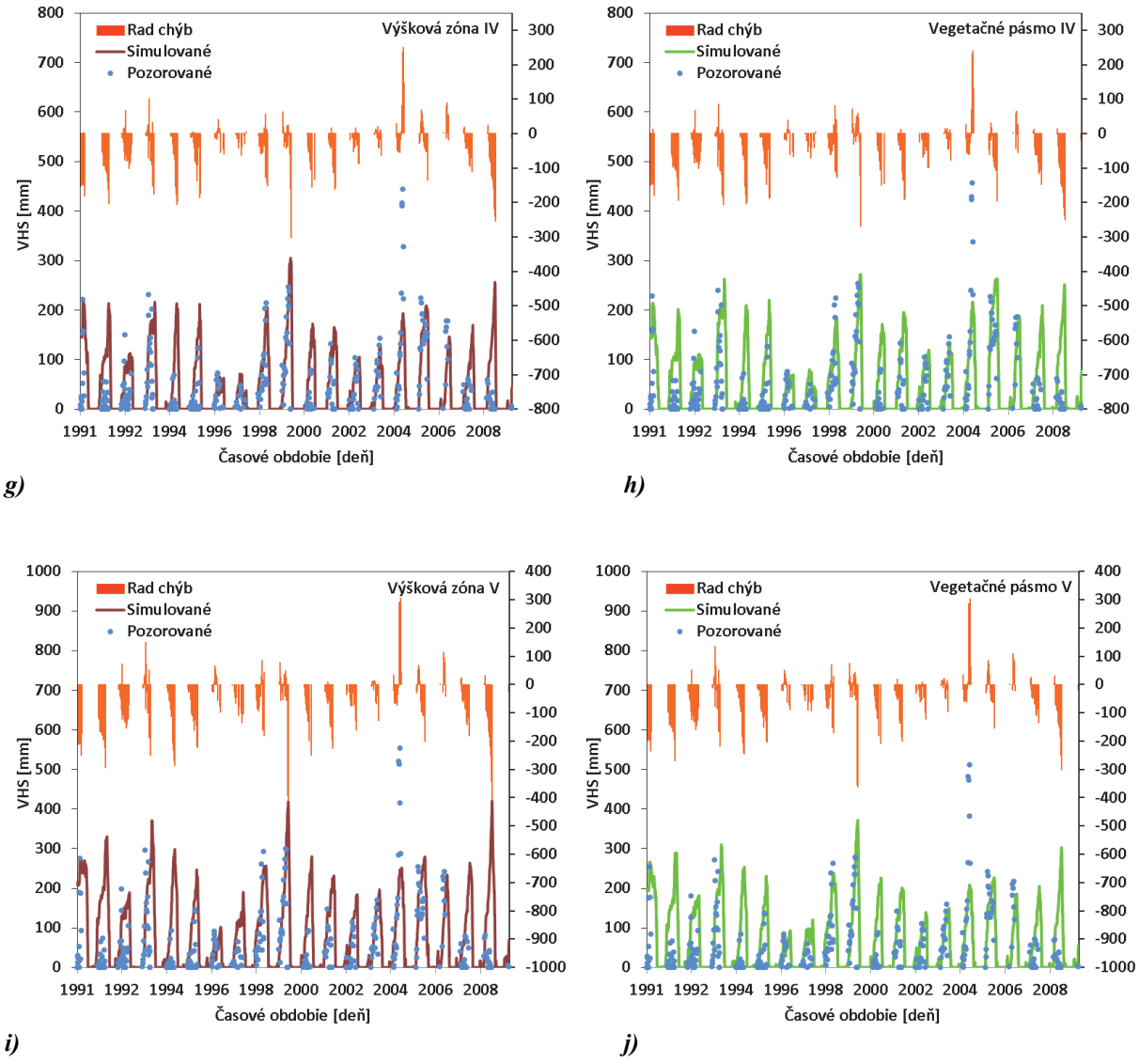
d)


Rad chýb
Simulované
Pozorované
Výšková zóna III
VHS [mm]
Časové obdobie [deň]

e)


Rad chýb
Simulované
Pozorované
Vegetačné pásmo III
VHS [mm]
Časové obdobie [deň]

f)



Obr. 2a-j. Porovnanie pozorovaných a simulovaných vodných hodnôt snehu v rámci I., II., III., IV. a V. výškovej zóny a I., II., III., IV. a V. vegetačného pásma.
Fig. 2a-f. The comparison of the observed and simulated snow water equivalents in the 1st, 2nd, 3rd, 4th and 5th elevation and vegetation zones.

Ďalej sme porovnávali trvania obdobia so snehovou pokrývkou určených zo simulovaných vodných hodnôt snehu pre výškové zóny a vegetačné pásma a z pozorovaných hodnôt snehovej pokrývky pre vybrané reprezentatívne stanice každého pásma za obdobie r. 1991-2009. Tieto stanice sme zvolili podľa priemernej nadmorskej výšky, pričom ako reprezentatívne boli určené: I. pásmo: Brusno; II. pásmo: Pohorelá; III. pásmo: Telgárt; IV. pásmo: Lom nad Rimavicou a V. pásmo: Chopok. Boli totožné pre oba typy rozdelenia povodia na čiastkové plochy (výškové aj vegetačné), nakoľko ich priemerná nadmorská výška sa výrazne nelíšila. Trvania zimného obdobia sú znázornené pomocou prstencových grafov na Obr. 3 v priemere za rok pre obdobie r. 1991-2009. Možno z nich konštatovať, že model dobre zachováva dĺžku obdobia so snehovou pokrývkou v simulovaných radoch vodných hodnôt snehu vo všetkých výškových zónach a vegetačných pásmach, okrem IV. zóny, kedy predlžuje dĺžku tohto obdobia.

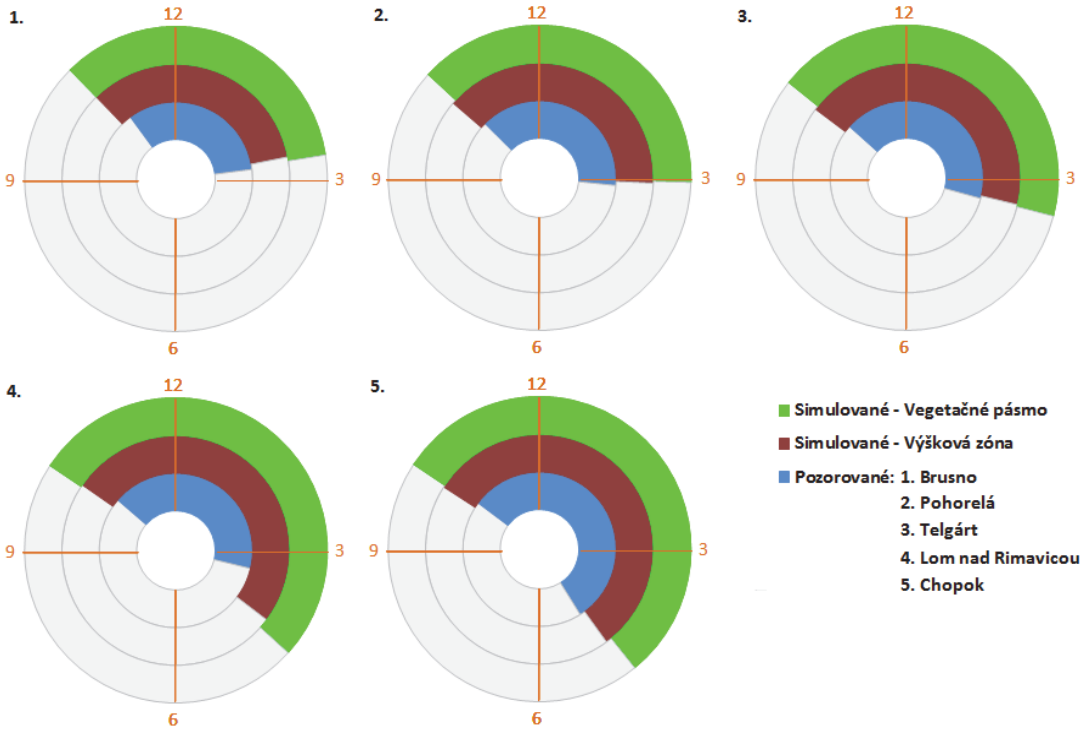
Pre zhodnotenie kvality modelovania skúmanej charakteristiky uvádzame v Tabuľke 5 aj porovnanie dlhodobých priemerných ročných výskytov počtu dní so snehovou pokrývkou za modelované obdobie r. 1991-2009.

Z tohto porovnania možno usúdiť, že model zohľadňuje tieto výskyty a simuláciou sa priblížil k reálne meraným hodnotám trvania snehovej pokrývky s výnimkou 4 zóny, čím sa potvrdil len fakt z prechádzajúceho porovnania, pričom výraznejšie rozdiely medzi čiastkovými plochami povodia nenastali.

Tabuľka 5. Porovnanie počtu dní so snehom za rok v pozorovaných radoch reprezentatívnych staníc zón a simulovaných radoch vodných hodnôt snehu oboch čiastkových plôch povodia v období 1991-2009

Table 5. The comparison of the number of days with snow cover in a year in observed time series of represented stations of individual zones and simulated time series of snow water equivalents in the period 1991-2009

Typ údajov/poradové číslo zóny	Priemerný počet dní za rok [-]				
	I	II	III	IV	V
Pozorované	78	118	140	132	207
Simulované VHS – Výšková zóna	77	117	146	173	199
Simulované VHS – Vegetačné pásmo	81	110	146	179	193



Obr. 3. Porovnanie trvania zimného obdobia v priemere za rok výškových zón, vegetačných pásiem so zodpovedajúcimi reprezentatívnymi stanicami v jednotlivých pásmach pre obdobie 1991-2009 .

Fig. 3. The duration of the winter season in the average per year of individual elevation and vegetation zones compared with the observed winter durations in selected meteorological stations of the period 1991-2009.

Záver

Vplyvom klimatickej zmeny sa môže meniť redistribúcia zrážok, ako aj zásoby vody v snehovej pokrývke. Výkyvy počasia dokážu najmä v jarných mesiacoch spolupôsobením výdatných zrážok a topenia snehu spôsobovať rozsiahle povodne. Schopnosť popísať množstvo vody zadržanej v snehovej pokrývke tvorí dôležitú vodohospodársku úlohu.

V príspevku sme sa venovali problematike modelovania vodnej hodnoty snehu, jej tvorbe a odtoku množstva vody vzniknutého roztopením snehu v horskom povodí. Skúmali sme vplyv priestorového diferencovania vstupov zrážkovo-odtokového modelu na kvalitu simulácie vodnej hodnoty a celkového odtoku z povodia. V rámci metodického postupu bola využitá metóda matematického modelovania pomocou semi-distribuovaného zrážkovo-odtokového modelu s polorozčlenenými parametrami spolu s princípom multiobjektívnej kalibrácie modelu na prietoky v záverečnom profile povodia, ako aj na pozorované vodné hodnoty snehu vo výškových zónach a vegetačných pásmach v určitom váhovom pomere. Vstupnou informáciou do modelu boli pozorované denné klimatologické charakteristiky za obdobie od 1.1.1991 do 31.12.2009 pre povodie horného Hrona po Banskú Bystricu.

V hodnotení sme sa zamerali vodnú hodnotu snehu a trvanie snehovej pokrývky, pričom overenie kvality simulácie modelu bolo zabezpečené pomocou rôznych tabuľkových a grafických porovnaní. Semi-distribuovaný zrážkovo-odtokový model zohľadňoval v uspokojivej zhode vodné hodnoty snehu v II. a III. pásme. V I. pásme boli tieto hodnoty podhodnocované, v IV. a V. dochádzalo k výraznejšiemu nadhodnocovaniu v čiastkových plochách výškových zón, ako aj vegetačných pásiem. Z hodnotenia ďalej vyplynulo, že zmenou typu rozdelenia povodia na čiastkové plochy sme spozorovali len zanedbateľné rozdiely tejto charakteristiky. V neposlednom rade bolo hodnotené aj trvanie zimného obdobia, ktoré model zachoval vo všetkých výškových zónach a vegetačných pásmach s výnimkou IV. zóny. Toto tvrdenie bolo potvrdené aj pri porovnaní trvania snehovej pokrývky, ktoré sa hodnotilo na základe počtu dní s výskytom snehu v priemere za rok. Všetky neuspokojivé výsledky mohli byť ovplyvnené usporiadaním staníc v skúmanom povodí, nakoľko väčšina staníc je umiestnená v nižších nadmorských výškach do 1000 m n. m. (v našom rozdelení v II. a III. pásme), a naopak vo vyšších nadmorských výškach (nad 1500 m n. m.) sa nachádzali iba dve merné stanice, ktoré v prípade výpadku merania neposkytovali údaje.

Na záver možno konštatovať, že treba venovať väčšiu pozornosť úprave vstupných údajov, ako aj rozdeleniu pásiem vstupujúcich do modelu, pri ktorých treba prihliadať či už na rozmiestnenie staníc, vegetačné pomery, nakoľko vegetácia významne vplýva na topenie snehovej pokrývky, geografické ale aj klimatické podmienky pozorovaného územia.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV- 0303-11 a Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR v rámci projektu č. VEGA 1/0776/13.

Literatúra

Bergström, S. (1976): Development and application of conceptual runoff model for Scandinavian catchments. Norrköping: SMHI Reports RHO.

Botanický ústav SAV (2015): Cit. 15. 5 2015. Dostupné na Internete: Botanický ústav SAV: http://ibot.sav.sk/Id_Key/Priloha%203%20-%20Vyskove%20stupne.pdf

Brown, R.D., Goodison, B.E. (2006): Snow cover. In Encyclopedia of Hydrological Sciences (s. 14:159). John Wiley and Sons.

Halmová, D., Meszároš, I., Miklánek, P., Mitková, V., Pekárová, P (2006): Simulácia vodnej hodnoty snehu v experimentálnom mikropovodí Rybárik semi-distribuovaným zrážkovo-odtokovým modelom. Acta Hydrologica Slovaca. 2006, Ročník 7,č.1, 76-85.

Holko, L., Kostka, Z., Parajka, J. (2001): Snow Cover. Život. Prostr.2001, Vol.35, No.3, 138-141.

Holko, L., Parajka, J. (2004): Využitie merania teploty snehu pri modelovaní akumulácie topenia snehovej pokrývky. Acta Hydrologica Slovaca. 2004, Ročník 5, č.1, 70-77.

Kostka, Z., Holko, L., Babiaková, G., Lešková, D. (2005): Simulácia vodnej hodnoty snehu v povodí Popradu v hydrologických rokoch 199-2005 – Vplyv zmeny vegetačných pomerov a predpoveď odtoku počas jarného obdobia. 2005, Acta Hydrologica Slovaca. Ročník 6,č.1, 149-160.

Kubeš, R. (2007): Návrh koncepčného zrážkovo-odtokového modelu pre hydrologické predpovede. Dizertačná práca, STU v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra vodného hospodárstva krajiny, Bratislava.

Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. (1970): River flow forecasting through conceptual model, part 1 – a discussion of principles. Journal of Hydrology. 1970s No.10, p. 282-290.

Parajka, J. (2001): UEB EHZ – Distribuovaný energeticky založený model. Acta Hydrologica Slovaca(2), 58-63.

Szász, V. (2015): Modelovanie a hodnotenie stavu snehovej pokrývky vo vybranom povodí. Diplomová práca, STU v Bratislave, Stavebná fakulta, KVHK, SvF-5378-67729.

Valent, P. (2014): Zrážkovo-odtokové modelovanie pre frekvenčnú analýzu prietokov. Dizertačná práca, STU v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra vodného hospodárstva krajiny, Bratislava.

Valent, P., Daneková, J., Riverso, C. (2011): Neistoty pri kalibrácii zrážkovo-odtokového modelu HBV. Acta Hydrologica Slovaca, 2(12).

THE MODELLING OF SNOW WATER EQUIVALENT USING A SPATIALLY SEMI-DISTRIBUTED MODEL OF THE CATCHMENT

The presented work focuses on the problem of snow water equivalent modelling, its creation and the amount of water which it can hold. We have studied the impact of the space distribution of the inputs of a rainfall-runoff model on the quality of snow water equivalent and catchment runoff simulation. In order to simulate the hydrological processes in the catchment a semi-distributed rainfall-runoff model was used which utilized a multi-criteria calibration approach taking into account both flows in the catchment outlet and observed values of snow water equivalent. Daily data from climatic and meteorological stations from within the boundaries of the Upper Hron catchment at Banská Bystrica were used in the period between 1.1.1991 – 31.12.2009.

In the study the main focus was put on the assessment of the snow cover duration, when the quality of the simulation was verified from various tabular and graphical comparisons. The performance of the semi-distributed rainfall-runoff model was outstanding in the simulation of the snow water equivalent values in the II. and III. elevation and vegetation zones into which the catchment was divided. In the I. zone the values were in most of the years underestimated and in the IV. and V. zones overestimation of the values of snow water equivalent could be observed. The analysis also showed that the distribution of the catchment into elevation and vegetation zones brought only a minor improvements in the simulation quality comparing to the case when a lumped model was used. The analysis also comprised the assessment of the snow cover duration. In this case the model showed very good results in all the elevation and vegetation zones with an exception of the IV. zone. The unsatisfactory results could be explained by the fact that most of the stations are situated in the lower parts of the catchments until 1000 m a.s.l. which are mostly represented by the II. and III. zones. In the higher parts of the catchment above 1500 m a.s.l. only two measurement stations were situated with common measurement drop-outs.

The analysis showed that a higher attention should be put on the data pre-processing as well as the distribution of the catchment into various zones, where one should take into account the distribution of the measurement stations in the catchment and the spatial distribution of vegetation which plays a significant role in the process of snow cover melting.

Ing. Roman Výleta, PhD.
Ing. Kotríková Katarína
Ing. Peter Valent, PhD., MSc.
Prof. Ing. Ján Szolgay, PhD.
Ing. Viliam Szász
Katedra vodného hospodárstva krajiny
Stavebná fakulta STU
Radlinského 11
810 05 Bratislava
Tel.: +4212 59274 498
Fax: +4212 52923 575
E-mail: roman.vyleta@stuba.sk
katarina.kotrikova@stuba.sk
peter_valent@stuba.sk
jan.szolgay@stuba.sk
szasz.viliam@gmail.com