ACTA HYDROLOGICA
SLOVACA

Ročník 16, Tematické číslo, 2015, 227 - 234

DLHODOBÁ SIMULÁCIA VODNEJ HODNOTY SNEHU V HORSKOM POVODÍ MODELOM MIKE SHE / MIKE 11

Michal Danko, Ladislav Holko, Zdeněk Kostka, Pavel Krajčí, Jozef Hlavčo

Príspevok prezentuje výsledky priestorovej simulácie vodnej hodnoty snehu pre horské povodie Jaloveckého potoka pomocou distribuovaného hydrologického modelu MIKE SHE/MIKE 11. Kalibrácia modelu bola zameraná na prietok v záverečnom profile a na vodnú hodnotu snehu na otvorenom priestranstve ako aj v zalesnenej časti územia. Pre simuláciu bolo vybrané 26-ročné obdobie (1989-2014) v dennom kroku. Model dobre simuloval vodnú hodnotu snehu na desiatich meraných lokalitách v rôznych nadmorských výškach. Celková simulovaná dávka vody z topiaceho snehu na povrch terénu sa v jednotlivých zimách pohybovala od 358 mm (zima 1991) do 850 mm (zima 2005). Simulovaný výpar zo snehu sa pohyboval od 41 mm do 117 mm za zimu. Simulovaný podiel snehových zrážok tvoril v priemere až 45% celkových zrážok. Celková simulovaná evapotranspirácia z povodia sa pohybovala v priemere okolo 39 %.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: MIKE SHE, distribuovaný hydrologický model, sneh, dlhodobé obdobie, horské povodie

LONG-TERM SIMULATION OF SNOW WATER EQUIVALENT IN MOUNTAIN CATCHMENT USING MIKE SHE / MIKE 11. The paper presents the results of spatial simulation snow water equivalent for mountainous Jalovecký creek basin using a distributed hydrological model MIKE SHE / MIKE 11. Model calibration was focused on the discharge in outlet profile and the snow water equivalent for 10 locations where the measurements of snow cover in the open area as well as in forested sites were performed. 26-year period (1989-2014) was chosen for simulation in daily step. The model sufficiently simulates snow water equivalent measured at locations at different altitudes. Simulated snowmelt rate ranged from 358 mm (Winter 1991) to 850 mm (Winter 2005). The simulated evaporation of snow ranged from 41 mm to 117 mm for the winter. Simulated snowfall was on average about 45% of total precipitation. Simulated total evapotranspiration of the basin ranged on average around 39%.

KEY WORDS: MIKE SHE, distributed hydrological model, snow, long-term, mountain catchment

Úvod

V povodí Jaloveckého potoka sa v minulosti na modelovanie hydrologických procesov najčastejšie používal distribuovaný, fyzikálne založený zrážkovo-odtokový matematický model WaSiM-ETH (Schulla a Jasper, 1999) s denným krokom simulácie. Výsledkom boli práce Kostka et al. (2000a, 2000b), Kostka (2001), Holko et al. (2003). V tomto príspevku sme na modelovanie použili distribuovaný, fyzikálne založený zrážkovo-odtokový matematický model MIKE SHE v spolupráci s hydraulickým modelom riečnej siete MIKE 11. MIKE SHE je hydrologický model, ktorý bol vyvinutý Dánskym Hydraulickým Inštitútom DHI (Dannish Hydraulic Institute). Je to model, ktorým je možné simulovať interakciu podzemnej a povrchovej vody. Vyžaduje informácie o klimatických charakteristikách, topológii, vegetácii, pôdnom systéme a geologických vlastnostiach skúmaného povodia. Simuluje základné procesy hydrologického cyklu ako je evapotranspirácia, topenie snehu, povrchový odtok, odtok v nenasýtenej zóne, podzemný odtok, dopĺňanie podzemných vôd, ich vzájomné prepojenie a mnohé ďalšie procesy. Bol aplikovaný v mnohých svetových štúdiách a projektoch zameraných na interakciu povrchovej a podzemnej vody, závlahy, procesy v mokraďových systémoch, štúdie o kvalite vody v súvislosti so znečistením. Do simulácie v MIKE 11 môže vstupovať celý rad stavieb (priehrady, hate, priepusty, atď). MIKE 11 je schopný simulovať celý rad parametrov kvality vody. Model sa

dá použiť na analyzovanie celého povodia toku, ale aj na analýzu konkrétneho problému na malom území.

Materiál a metódy

V tomto príspevku sme sa zamerali na počiatočné nastavenie modelu MIKE SHE/MIKE 11, ich kalibráciu a validáciu na prietok v záverečnom profile (Limnigraf) počas 26 ročného obdobia (1989-2014) v dennom kroku. Simulácie boli zároveň porovnávané s meranou vodnou hodnotou snehu a vlhkosťou pôdy na rôznych profiloch. Prepojenie MIKE 11 a MIKE SHE je vytvorené cez odkazy v riekach, v takzvaných H-bodoch, kde modul MIKE 11 simuluje výšku hladiny v danom priečnom profile koryta toku. Topografiu určuje digitálny model reliéfu s rozlíšením 25x25 metrov. Záujmové územie sme simulovali s rozlíšením 100x100 metrov, čo značne zrýchlilo výpočtový čas. Medzi hlavné vstupy do modelu patria údaje o zrážkach, údaje o teplote vzduchu, potenciálna evapotranspirácia a parametre topenia snehu, vegetácie, korýt tokov, povrchového odtoku, nenasýtenej zóny, nasýtenej zóny. Do modelu vstupovali zrážky z troch staníc v nadmorských výškach Priemstav - 750 m n.m. (PR_{750}), Červenec - 1500 m n.m. (CE_{1500}) a Salatín - 1900 m n.m. (S_{1900}). Pre priestorové rozloženie zrážok bol použitý zrážkový gradient so 7% nárastom o každých 100 výškových metrov. Počas modelovania sme zistili, že údaje s takýmto nastavením nezodpovedajú realite, lebo vo vyšších nadmorských výškach spôsobujú nereálny nárast zrážok. Naopak práve v týchto polohách (nad 1700 m n.m.) sa prejavuje vplyv vetra. Na hrebeňoch a vrcholoch hôr vietor spôsobuje, že zrážky (kvapalné aj tuhé) sa skôr sústreďujú do dolín a depresií okolo nadmorskej výšky 1700 m. Namiesto konštantného 7%-ného zrážkového gradientu sme vytvorili priestorovo rozčlenenú mapu nárastu zrážok. Vychádzali sme z priestorovo rozčlenených máp vodnej hodnoty snehu v povodí Jaloveckého potoka Danko et al. (2014). Teploty vzduchu sú k dispozícii v hodinovom kroku z rovnomenných staníc ako zrážky (PR_{750}, CE_{1500}, S_{1900}). Na rozloženie teplôt bol použitý teplotný gradient (-1°C/100 výškových metrov). Potenciálna evapotranspirácia je vypočítaná v dennom kroku (DPET). Na jej odhad sme použili empirickú metódu Blaney-Criddleho (Schrödter, 1985). Modul topenia snehu obsahuje hraničnú teplotu topenia, teplotný koeficient (degree-day factor - DDF), maximálny obsah vody v snehu, počiatočnú zásobu vodnej hodnoty snehu (SWE). Hraničná teplota topenia snehu sa pri najlepších kalibráciách modelu pohybovala v rozmedzí od -0.5°C do 0.5°C. Maximálny obsah vody v snehu je percentuálne zastúpenie tekutej vody v snehu, ktorú je ešte sneh schopný zadržať. V modeloch je často používaná hodnota okolo 10%. Pre potreby modelovania je postačujúce, aby sme jednotlivé vegetačné stupne spojili do 3 skupín (otvorená plocha, les a kosodrevina). Pre dané skupiny sme v modeli zadefinovali index listovej pokryvnosti a hĺbku koreňovej zóny, ktoré sme neskôr kalibrovali. V module MIKE 11 je potrebné presne zadefinovať riečnu sieť. Riečna sieť je vytvorená z digitálneho modelu reliéfu v údolniciach dolín, aby priečne profily na tokoch presne zapadali do digitálneho modelu reliéfu. Z rozboru povodňovej vlny Danko (2014) poznáme tvar záverečného priečneho profilu koryta. Tento profil sme vložili aj do hydraulického modelu MIKE 11. Zvyšné profily sú prevažne lichobežníkového tvaru. V modeli môžeme však vychádzať iba z jednej zadefinovanej (priemernej) konzumčnej krivky, čo môže spôsobovať určitú neistotu vo výsledkoch. Povrchový odtok sa môže v povodí Jaloveckého potoka vyskytnúť iba za veľmi špecifických podmienok, napríklad pri veľkej intenzite dažďa. Modul nasýtenej zóny pozostáva hlavne z parametrov horizontálnej a vertikálnej hydraulickej vodivosti pôdy.

Dlhodobé merania v povodí Jaloveckého potoka sú zamerané na výšku a vodnú hodnotu snehu, smerodajné sú pre nás hodnoty z desiatich profilov v povodí. Najhlavnejšie profily sú v Červenci na otvorenej ploche CE_{1500} a v lese CE_{1420}, kde sa výšky a vodné hodnoty snehu merajú každé dva týždne a počas topenia snehu sa merania uskutočňujú každý týždeň poprípade častejšie.

Výsledky a diskusia

Model bol na začiatku kalibrovaný na 13 ročné obdobie (1.11.2001 – 31.10.2014) a otestovali sme ho na 13 ročnom validačnom období (1.11. 1989 – 31.10. 2001). Výsledky simulácii sú porovnávané objektívnymi funkciami ME, MAE, RMSE, STDres, R(Correlation), R^2 (Nash_Sutcliffe) priamo v modeli. Kontrola kalibrácií spočívala v porovnaní:

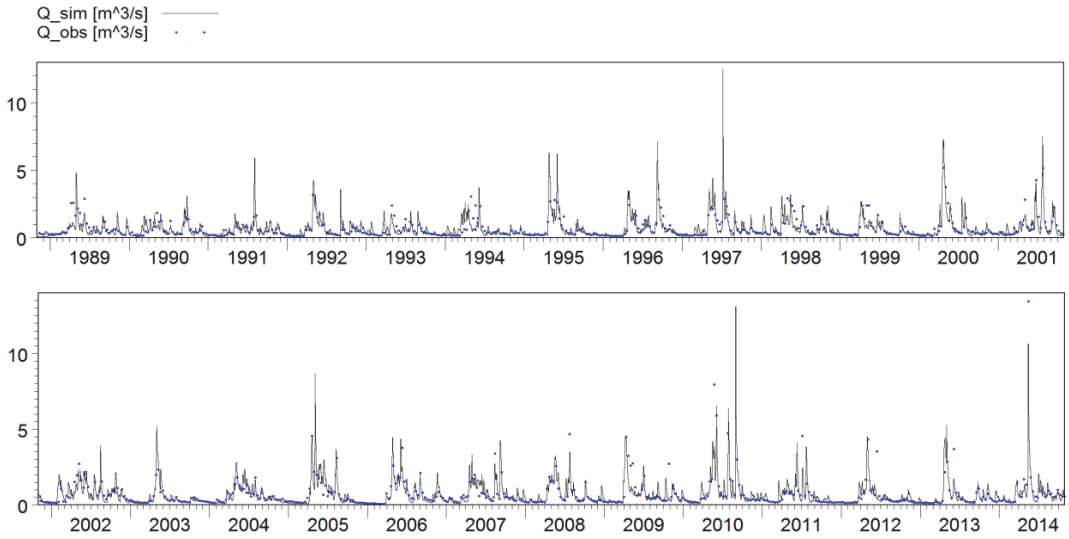
a. meraných (Q_{obs}) a simulovaných (Q_{sim}) prietokov v záverečnom profile Limnigraf - 820 m n. m. (L_{820}) Jaloveckého potoka - horská časť
b. meranej (SWE_{obs}) a simulovanej (SWE_{sim}) vodnej hodnoty snehu v profiloch:
- CE_{1500} (Červenec, voľná plocha, 1500 m n.m.)
- CE_{1420} (Červenec, les, 1420 m n.m.)
- M_{1010} (Medvedzie, les, 1010 m n.m.)
- P_{1100} (Parichvost, les, 1100 m n.m.)
- B_{1100} (Bobrovecká dolina, les, 1500 m n.m.)
- H_{1300} (Hlboká dolina, les, 1300 m n.m.)
- H_{1400} (Hlboká dolina, voľná plocha, 1400 m n.m.)
- B_{1500} (Bobrovecká dolina, voľná plocha, 1500 m n.m.)
- H_{1775} (Hlboká dolina, voľná plocha, 1775 m n.m.)
- S_{1900} (Salatín, voľná plocha, hrebene a vrcholy, 1900 m n.m.)

c. meranej a simulovanej vlhkosti pôdy na profiloch
- CE_{1500} (hĺbky 5, 10 a 20 cm)
- CE_{1420} (hĺbky 10 a 40 cm)
- M_{1010} (hĺbky 10 a 40 cm)
- priemer pôdneho profilu

Hraničné podmienky sú zadefinované:

1. v záverečnom profile konzumčnou krivkou
2. v začiatočných profiloch hlavného toku a jeho prítokoch zanedbateľným prítokom, ktorý zabezpečuje stabilitu simulácií.

Prietok



Obr. 1. Kalibrácia (2002-2014) a validácia modelu (1989-2001).
Fig. 1. Calibration period (2002-2014) and validation period (1989-2001).

Tabuľka 4. Výsledky kalibrácie a validácie modelu
Table 1. The results of calibration and model validation

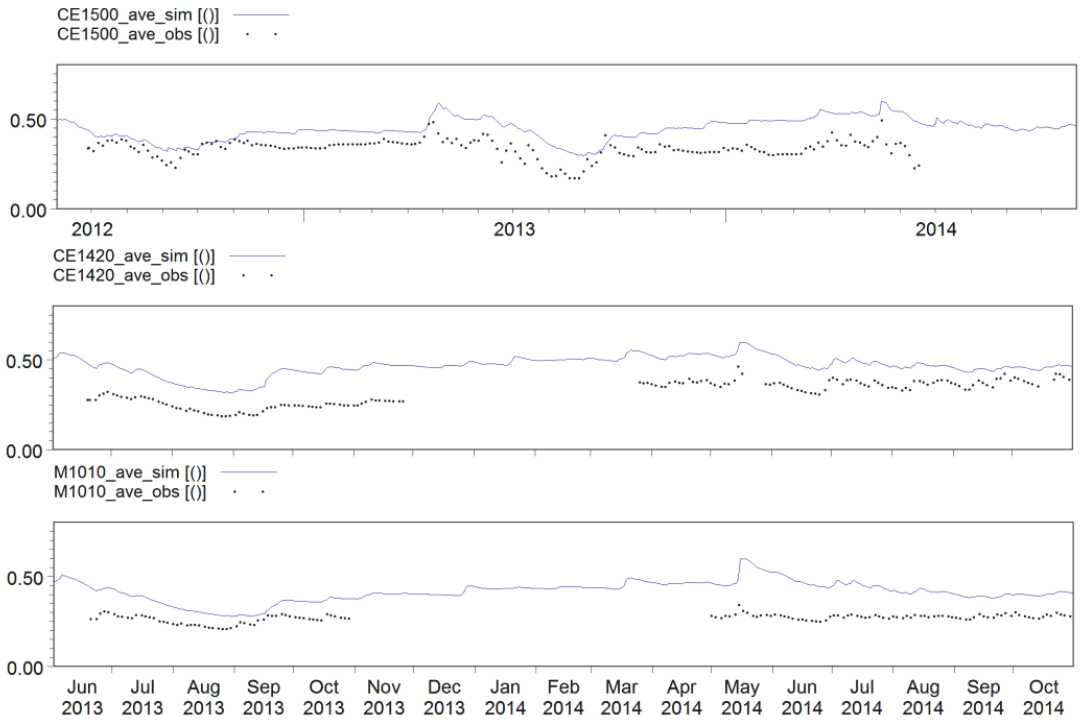
Obdobie		R(Correlation)	R2(Nash_Sutcliffe)	RMSE (m^3/s)	Q_{sim} (mm)	Q_{obs} (mm)	Q_{obs} - Q_{sim} (%)
Kalibrácia	1.11.2001-31.10.2014	0.82	0.67	0.58	12491	12856	2.8%
Validácia	1.11.1988-31.10.2001	0.81	0.62	0.49	12072	12920	6.6%
Simulácia	1.11.1988-31.10.2014	0.82	0.65	0.54	24563	25776	4.7%

Vlhkosť pôdy

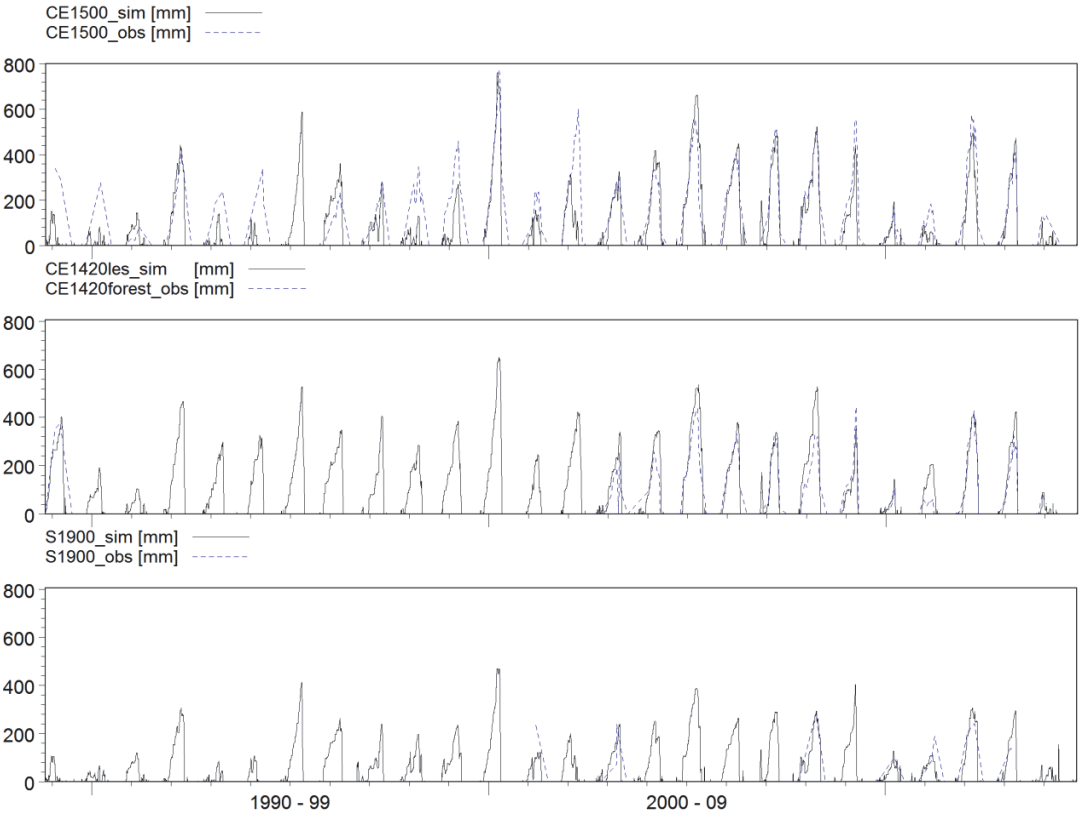
Pri modelovaní prietoku dbáme aj na pôdne charakteristiky. Jednou z nich je vlhkosť pôdy. V tomto príspevku nám vlhkosť pôdy slúži na spresnenie pôdnych charakteristík. Jednotlivé parametre pôd, ktoré vstupujú do modelu, sú použité na základe terénnych meraní v povodí Jaloveckého potoka podrobnejšie popísaných v prácach Hlaváčikovej et al. (2014) a Dôšu et al. (2012). Na obr. 2 sú znázornené simulované a merané vlhkosti pôdy v priemernej hĺbke pôdneho horizontu. CE_{1500} (R – 0,55), CE_{1420} (R – 0,80), M_{1010} (R – 0,68).
Simulované výsledky vlhkosti pôdy sú pre naše účely uspokojivé. Z obr. 2 je zrejmé, že simulovaná vlhkosť pôdy koreluje s meracími zariadeniami vlhkosti pôdy. Pre presnejšie definovanie parametrov pôdneho profilu sú potrebné nové detailnejšie merania pôd a ich interpretácia do modelu.

Sneh

Množstvo meraní vodnej hodnoty snehu (SWE) a ďalších charakteristík snehovej pokrývky v rôznych nadmorských výškach dostupných pre povodie Jaloveckého potoka je na Slovensku unikátne. V tomto príspevku bolo porovnaných 5 profilov na otvorenej ploche R(Correlation) – 0,73 a 5 profilov v zalesnenej časti povodia (R – 0,79). Najhoršie model simuloval SWE pre profil B_{1500} na otvorenej ploche (R – 0,27) a lesný profil H_{1300} (R – 0,53). Najlepšie simulácie SWE pre otvorenú plochu boli na profile H_{1400} (R – 0,92) a pre lesný profil P_{1100} (R – 0,90). Iba na dvoch profiloch boli simulácie SWE horšie ako (R – 0,78).
Podľa výsledkov a porovnania simulovanej a meranej vodnej hodnoty snehu na rôznych profiloch považujeme nastavenie parametrov modelu v module topenie snehu za vyhovujúce. V simulácii na profile S_{1900} pred kalibráciou s nastavením konštantného zrážkového gradientu vychádzali hodnoty 5 až 6 násobne vyššie. Po aplikovaní priestorovej mapy rozloženia zrážok namiesto lineárneho gradientu nárastu zrážok vychádza aj profil S_{1900} hodnovernejšie. Pre vizuálne porovnanie uvádzame na obr. 3 profily CE_{1500}, $CE_{1420LES}$ a spomínaný profil S_{1900}. Snehovo najchudobnejšia zima za obdobie 1989-2014 bola v roku 2014, maximum vodnej hodnoty snehu (SWE) bolo dosiahnuté 10.12.2013 - 97 mm (priemer na povodie) i keď 19.3.2014 bola SWE simulovaná okolo 90 mm pre povodie (maximum 432 mm).



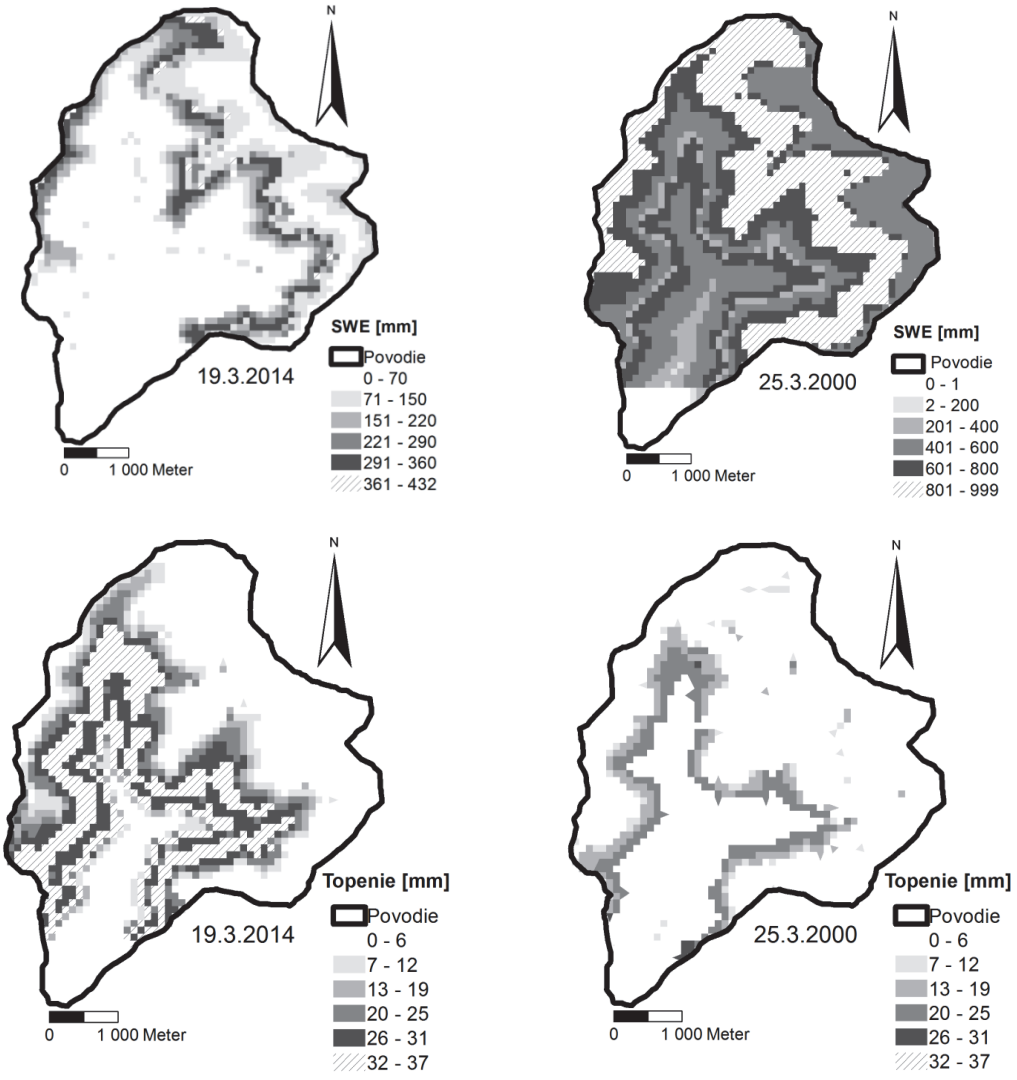
Obr. 2. *Simulovaná a meraná vlhkosť pôdy na rôznych profiloch.*
Fig. 2. *The simulated and measured soil moisture at different profiles.*



Obr. 3. *Simulovaná a meraná vodná hodnota snehu (SWE) na rôznych profiloch.*
Fig. 3. *The simulated and measured SWE at different profiles.*

Naopak snehovo najbohatšia zima za pozorované obdobie bola v roku 2000 a maximum SWE bolo dosiahnuté 25.3.2000. Priemerná hodnota SWE v povodí dosahovala v tento deň 648 mm (maximum 999 mm). Po tomto termíne nastúpilo súvislé topenie snehovej pokrývky.

Podľa simulácií je vidieť, že model lepšie simuluje snehovo bohaté zimy ako tie snehovo chudobnejšie. Simulované maximá SWE za skúmané obdobie 1989 – 2014 sa pohybujú pre povodie v rozmedzí od 97 – 648 mm (priemer 303 mm). Je zaujímavé, že minimálne, maximálne a priemerné merané maximá SWE na profile CE_{1500} vychádzajú približne o 100 mm nižšie 170 – 773 mm (priemer 404 mm) ako simulované pre celé povodie. Najvyššie zo zaznamenaných maxím SWE v povodí Jaloveckého potoka bolo v roku 2000 na profile H_{1700} SWE dosiahla hodnotu 1182 mm.



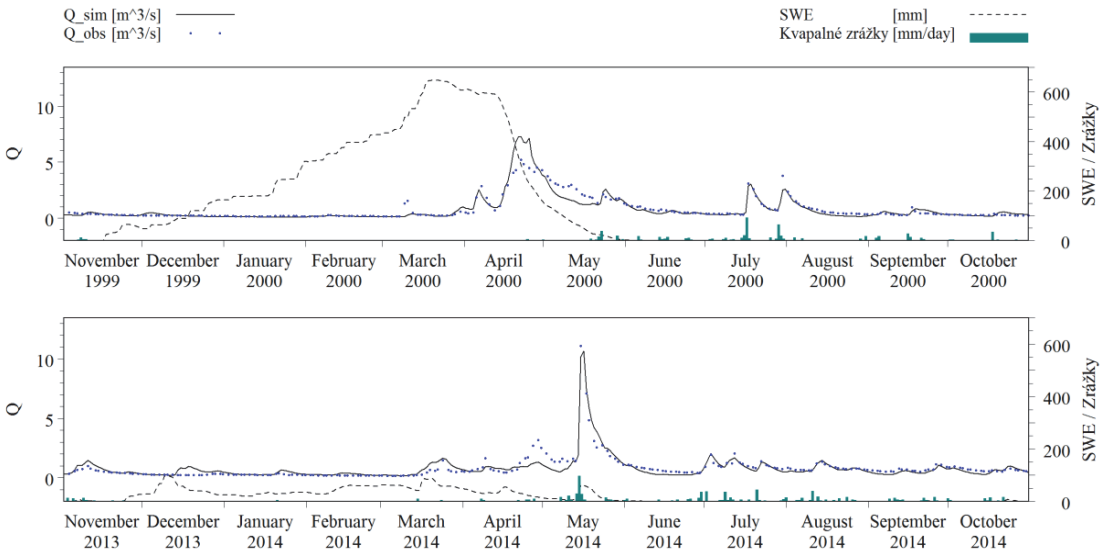
Obr. 4. Priestorové rozloženie simulovanej SWE a dávky vody zo snehu v maxime SWE - snehovo chudobná (vľavo) a snehovo bohatá zima (vpravo).
Fig. 4. Spatial distribution of simulated SWE and snowmelt rate at the maximum SWE - snow-poor winter (left) and snow-rich winter (right).

Z obr. 5 je vidieť, že snehovo najbohatšia zima (max SWE 25.3.2000 - 648 mm pre celé povodie) počas pozorovaného obdobia mala klasický nástup od novembra s maximom SWE na konci marca. Akumulácia snehovej pokrývky nebola prerušovaná ani topením ani kvapalnými zrážkami. Na druhej strane v snehovo najchudobnejšej zime (max SWE 19.3.2014 - 97 mm pre celé povodie) bola akumulácia prerušovaná topením snehovej pokrývky a výskytom kvapalných zrážok, to znamená, že v zimnom období sa prejavili viaceré obdobia s kladnými teplotami vzduchu. Je vidieť, že v roku 2014 model správne nasimuloval podmienky aké boli počas extrémnej povodne 16.5.2014. Na nasýtené povodie, deň pred kulmináciou povodňovej vlny, spadlo až 124,3 mm zrážok a priemerný denný prietok dosiahol 13 m^3/s a narobil veľké škody v povodí. Prudké ochladenie akumulovalo časť zrážok vo forme snehovej pokrývky (vo vyšších polohách aj jeden meter snehu), čo zabránilo ešte extrémnejšej povodni a následným škodám. Potvrdila to aj simulácia modelu, ktorá pre celé povodie nasimulovala maximum SWE 15.5.2014 - 62 mm. Akumulovaný sneh sa nachádzal v povodí už od výšky približne 1500 m n. m.

Do štatistík sme nezahŕňali prvý rok simulácie, počas ktorého sa model takzvane „zahrieval“. Rozdiel medzi simulovaným a meraným prietokom vychádza v jednotlivých rokoch v rozmedzí od 1 % do 21%. Ale iba v troch rokoch bol rozdiel väčší ako 15 % (2013 – 21%, 2010 – 21 %, 2006 – 16%). Odtok z povodia sa pohyboval medzi 60 % (1994) – 73 % (1997) zo spadnutých zrážok na povodie. Najviac zrážok spadlo v roku 2010 (1952 mm) a boli zaznamenané až tri povodňové vlny.

V tomto roku bol simulovaný aj maximálny odtok z povodia (1385 mm) i keď meraný prietok bol až 1752 mm. Zima v roku 2010 bola jedna z najchudobnejších za celé skúmané obdobie. V tomto roku bola dosiahnutá aj najnižšia aktuálna evapotranspirácia 30 %, čo mohlo byť z časti závislé na veľkom množstve zrážok a z časti na rýchlom odtoku z povodia. Najmenej zrážok spadlo na povodie v roku 2003 (1021 mm) a zaznamenaná bola v tomto roku aj najvyššia evapotranspirácia (50 %). Najviac zrážok sa zmenilo na sneh v roku 2005 (967 mm – čo je 63 % z celkových zrážok), ale maximum SWE sa v tomto roku vyšplhalo „iba“ na 574 mm pre povodie (maximum SWE 648 mm – 2010). Výpar zo snehu cez hydrologický rok sa pohyboval v rozmedzí 9 až 15 % a nebol závislý od množstva snehu v povodí (snehovo najbohatšia zima 2000 – výpar zo snehu 10 % a snehovo najchudobnejšia zima 2014 – výpar zo snehu 9 %). Dĺžka topenia snehovej pokrývky závisí hlavne od priebehu teplôt počas celého zimného obdobia. Počas skúmaného obdobia sa vyskytli zimy, kedy bolo maximum SWE dosiahnuté už na začiatku zimného obdobia a kladné teploty v ďalšom období neumožnili ďalšiu akumuláciu snehovej pokrývky. V našich podmienkach je súvislá doba topenia snehovej pokrývky približne 2 týždne.

V roku 2012 boli uskutočnené aj merania topenia snehovej pokrývky na viacerých snehových lyzimetroch. V tomto prípade vychádzala simulovaná dávka vody z topiaceho sa snehu za dlhšie obdobie blízko meraným hodnotám. Pri kratších časových úsekoch boli medzi meranými a simulovanými hodnotami väčšie rozdiely (Danko et al. 2015).



Obr. 5. Prietok, SWE a kvapalné zrážky počas snehovo bohatej (hore) a snehovo chudobnej zimy (dole).

Fig. 5. Discharge, SWE and the liquid precipitation during a snow-rich winter (up) and snow-poor winter (down).

Tabuľka 5. Základná vodná bilancia simulovaná modelom
Table 2. The results of water balance simulation

1.11.-31.10.	P_{sim} (mm)	Q_{sim} (mm)	Q_{obs} (mm)	R2 (-)	ET_{sim} (%)	P_{ToSnow} (mm)	P_{ToSnow} (%)	E_{snow} (mm)	E_{snow} (%)	SWE_{max} (mm)	SMR_{sim} (mm)
1989	1427	729	1125	0.51	39%	521	37%	50	10%	172	469
1990	1350	860	883	0.55	40%	497	37%	46	9%	106	452
1991	1272	798	787	0.70	43%	435	34%	57	13%	140	358
1992	1346	892	798	0.83	39%	742	55%	92	12%	368	665
1993	1234	786	818	0.33	45%	466	38%	44	9%	145	426
1994	1357	817	902	0.33	43%	450	33%	41	9%	155	406
1995	1441	994	1007	0.50	37%	776	54%	83	11%	503	696
1996	1537	1004	1033	0.80	34%	638	42%	72	11%	316	547
1997	1591	1158	1112	0.51	34%	604	38%	69	11%	308	525
1998	1581	1057	1244	0.41	36%	674	43%	64	10%	179	623
1999	1228	818	927	0.49	45%	565	46%	69	12%	307	512
2000	1560	1054	1119	0.78	38%	854	55%	88	10%	648	766
2001	1689	1106	1165	0.81	35%	438	26%	55	13%	182	383
2002	1678	1123	1169	0.58	34%	765	46%	76	10%	260	671
2003	1021	674	686	0.86	50%	607	59%	71	12%	300	524
2004	1318	846	852	0.74	39%	709	54%	104	15%	330	634
2005	1542	1097	1133	0.74	34%	967	63%	117	12%	574	850
2006	1328	849	1013	0.68	41%	705	53%	93	13%	370	610
2007	1665	1123	1044	0.61	34%	887	53%	96	11%	447	792
2008	1440	984	908	0.78	38%	756	53%	101	13%	438	655
2009	1450	940	1018	0.57	39%	675	47%	68	10%	410	606
2010	1952	1385	1752	0.66	30%	573	29%	56	10%	168	517
2011	1343	899	813	0.11	43%	457	34%	45	10%	141	411
2012	1138	701	738	0.78	49%	591	52%	68	12%	430	509
2013	1247	808	638	0.38	42%	627	50%	64	10%	393	577
2014	1592	1061	1092	0.71	36%	552	35%	49	9%	97	504
Priemer	1436	945	986	0.65	39%	636	45%	71	11%	303	565

** P_{sim} – zrážky na povodie, $Q_{sim,\ obs}$ – prietok, R2 - Nash_Sutcliffe koeficient, ET_{sim} – simulovaná aktuálna evapotranspirácia, P_{ToSnow} – zrážky vo forme snehu, E_{snow} – výpar zo snehu, SWE_{max} – maximálna vodná hodnota snehu, SMR_{sim} - simulovaná dávka vody z roztopeného snehu*

Záver

Simulácie hydrologických procesov pomocou modelu s rozčlenenými parametrami majú svoje špecifiká. Najdôležitejšie na celom modelovaní je správna príprava vstupných údajov a kontrola výstupov nielen jedného hydrologického procesu, ale kontrola viacerých hydrologických procesov súčasne. Pre presnejšie definovanie parametrov pôdneho profilu sú potrebné nové detailnejšie merania pôd na viacerých profiloch v povodí. Pri simulácii vodnej hodnoty snehu (SWE) model lepšie simuluje snehovo bohatšie zimy ako tie snehovo chudobnejšie zimy. S narastajúcou nadmorskou výškou sa zvyšuje vodná hodnota snehu (v závislosti umiestnenia meraného profilu) do výšky približne 1700 m n.m., čo potvrdzujú aj merania. Nad touto hranicou (1700 m n.m.), čo je približne horná hranica pásma kosodreviny, sa vplyvom vetra prejavuje pokles vodnej hodnoty snehu. Tieto simulácie môžu byť v budúcnosti využité na určenie počiatočných vstupov do modelu a konkrétny problém (historický) je však treba riešiť novými kalibráciami pre kratšie skúmané obdobie. Poprípade pre nové klimatické scenáre predpokladané v budúcnosti.

Poďakovanie

Táto práca vznikla v rámci projektu VEGA 2/0055/15. Matematický model MIKE SHE bol získaný vďaka podpore projektu 26220120062 ''Centrum excelencie pre integrovaný manažment povodí v meniacich sa podmienkach prostredia (CEIMP), financovaného Európskym fondom regionálneho rozvoja v rámci operačného programu Výskum a vývoj.

Literatúra

Danko, M. (2014): Rekonštrukcia extrémnej povodňovej vlny 16. máj 2014, Jalovecký potok. Acta Hydrologica Slovaca, 15, 2, 298-307.

Danko, M., Holko, L., Kostka, Z., Tachecí, P. (2015): Simulácia vodnej hodnoty snehu, dávky vody z topiaceho sa snehu a odtoku počas zimného obdobia v horskom povodí. Acta Hydrologica Slovaca, 15, 1, 42-50.

Danko, M., Krajčí, P., Hlavčo, J. (2014): Vzťah výšky snehovej pokrývky a vodnej hodnoty snehu v lese a na voľnej ploche v povodí Jaloveckého potoka. Acta Hydrologica Slovaca, 15, 1, 116-128.

Dóša, M., Holko, L., Martincová, M., Danko, M., Kostka, Z., Gomboš, M. (2012): Určenie koeficientu hydraulickej vodivosti pôdy v horskom povodí pomocou zrnitostných rozborov a terénnych meraní. Acta Hydrologica Slovaca, roč. 13, č. 2, 350-357.

Hlaváčiková, H., Novák, V., Orfánus, T., Danko, M., Hlavčo, J. (2014): Hydrofyzikálne charakteristiky skeletnatých pôd. I. Hydraulické vodivosti. Acta Hydrologica Slovaca, 15, 1, 24-34.

Holko, L., Parajka, J., Kostka, Z. (2003) Použitie optimalizačných metód pri modelovaní akumulácie a topenia snehu, Acta Hydrologica Slovaca, Acta Hydrologica Slovaca, 4, 1, 183-189.

Kostka, Z. (2001): Akumulácia, topenie a transport snehu v povodí s členitým reliéfom, Acta Hydrologica Slovaca, 2, 1, 113-121.

Kostka Z., Holko L. (2000a): Národný klimatický program Slovenskej republiky, zv. 8, Bratislava, 2000, 91-109.

Kostka, Z., Parajka, J. (2000b): Určovanie pokrytia povodia snehovou pokrývkou pre povodie horného Hrona. Hydrologické dny. Nové podněty a vize pro příští století., ČVH, SVH, ČHMÚ a ČVTVHS, 389-396.

Schrödter, H. (1985): Verdunstung - Anwendungsorientierte Meßverfahren und Bestimmungsmethoden, Springer Verlag.

Schulla, J., Jasper, K. (1999): Model Description WaSiM-ETH (Water Balance Simulation Model ETH). Institute of Geography ETH, Zürich, 166 s.

LONG-TERM SIMULATION OF SNOW WATER EQUIVALENT IN MOUNTAINUOUS CATCHMENT USING MIKE SHE / MIKE 11

The paper presents the results of spatial simulation snow water equivalent for mountainous Jalovecký creek basin using a distributed hydrological model MIKE SHE / MIKE 11. Model was calibrated on 13 years long period 1.11.2001 – 31.10.2014 (Q_{sim}=12491 mm, Q_{obs}=12856 mm, Q_{obs} - Q_{sim} =2.8%, R2=0.67) in the begining and tested on 13 years long period 1.11. 1989 – 31.10. 2001 (Q_{sim}=12072 mm, Q_{obs}=12920 mm, Q_{obs} - Q_{sim} =6.6%, R2=0.62). For whole period (Q_{sim}=24563 mm, Q_{obs}=25776 mm, Q_{obs} - Q_{sim} =4.7%, R2=0.65). It is necessary to add new more detailed measurements of soils to reach more accurate parameters of soil profile. Snow water equivalent measurements and other parameters of snow cover in experimental Jalovecký creek catchment are unique in Slovakia. Model simulates snow rich winters better than snow poor winters. Snow poorest winter in period 1989 – 2014 was winter 2014. Maximum of SWE was reached on 19.3.2014 and simulated SWE was 97 mm for whole catchment. On the other side, the snow richest winter was winter 2000. Maximum of SWE was reached on 25.3.2000 and simulated SWE was 648 mm for whole catchment. Highest value of SWE was measured in winter 2000 in profile H_{1700} (1700 m a.s.l.), SWE was 1182 mm. Differences between measured and simulated values of discharge varies in range from 1 % to 21%. Only in three years is difference greater than 15 % (2013 – 21%, 2010 – 21 %, 2006 – 16%). Runoff from the catchment ranges from 60 % (1994) to 73 % (1997) of total precipitation. The lowest evapotranspiration 30 % was achieved in 2010 (maximum 50 % - 2003), that can be caused by amount of precipitation and partly by a fast outflow from catchment. The lowest precipitation were measured in 2003 (1021 mm) the highest evapotranspiration was measured also in 2003 (50 %). Highest snowfall value was in 2005 (967 mm – 63 % of total precipitation), but maximum of SWE was only 574 mm of whole catchment. Evaporation from snow ranges from 9 to 15 % and is not dependent on amount of snow (snow richest winter 2000 – 10 %, snow poorest winter 2014 – 9%). Snowmelt duration is dependent on air temperatures and lasts usually about two weeks. These simulations can be used for estimation of the model inputs, but for specific problem it is necessary to use shorter study period, eventually, new climatic scenarios for the future.

Ing. Michal Danko, PhD.
RNDr. Ladislav Holko, PhD.
RNDR. Zdeněk Kostka, PhD.
Mgr. Pavel Krajčí
Ing. Jozef Hlavčo
Ústav hydrológie SAV
Experimentálna hydrologická základňa
Ondrašovecká 16
03105 Liptovský Mikuláš
Tel: +421445522522
E-mail: danko@uh.savba.sk
holko@uh.savba.sk
kostka@uh.savba.sk
krajci@uh.savba.sk
hlavco@uh.savba.sk