

Possibilities of snowmelt runoff modelling in beskydy Mts. catchments

Peter BOBÁL, Jozef RICHNAVSKÝ, Martin ĎURICHA, Boris ŠÍR, Michal PODHORÁNYI, Michaela HOŘÍNKOVÁ

Vysoká škola Báňská Technická Univerzita Ostrava, petr.bobal@vsb.cz, jozef.richnavsky@vsb.cz, martin.duricha@vsb.cz, boris.sir@vsb.cz, michal.podhoranyi@vsb.cz, michaela.horinkova@vsb.cz

Abstract

Snow as a solid phase of atmospheric precipitation represents important source of water storage in the catchment. Especially during the episodes of quick melting it can cause serious problems like floods. Snow cover changes during its lifetime, from settling on surface to melting down. It is a very complex process as well as its modelling. Several modelling methods were created and then implemented in wide range of rainfall-runoff models (e.g. HEC HMS, MIKE SHE, HYDROG,...). Purpose of this paper is to determine the possibilities of selected models for modelling of runoff caused by snowmelt using point-based data of snow cover.

Keywords: snowmelt, HEC-MS, HYDROG, model, Ostravica
Kľúčové slová: topenie snehu, HEC-MS, HYDROG, model, Ostravica

1. Úvod

Sneh predstavuje druh pevných atmosférických zrážok, ktoré dopadajú na zemský povrch z oblakov väčšinou vo forme rozvetvených ľadových kryštálikov. Pri teplote povrchu nižšej ako 0 °C vytvára snehovú pokrývku. Je významným zdrojom povrchovej i podpovrchovej vody v rôznych častiach sveta, napr. pre: zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou, poľnohospodárstvo, priemysel, energetiku, atď. (Hrádek 2008) Snehová pokrývka s vysokým obsahom vody môže výrazným spôsobom ovplyvniť nárast prietoku vo vodných tokoch. To sa prejavuje hlavne v jarnom období s oneskorením sa smerom do vyšších nadmorských výšok. V Beskydských povodiach predstavuje odtok v jarných mesiacoch 30 – 40 % z celkového ročného odtoku. Preto je potrebné pri modelovaní odtokových pomerov v týchto oblastiach brať do úvahy aj odtok vody zo snehovej pokrývky.

Hlavným cieľom tohto príspevku bol výber vhodných modelov a testovanie ich možností pri modelovaní jarného odtoku zo snehovej pokrývky vo vybranom Beskydskom povodí. Využitie pri tom boli bodové merania charakteristík snehu.

2. Charakteristika záujmového územia

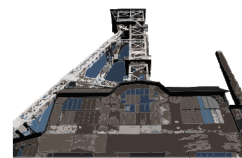
V našej štúdií sme sa zamerali na modelovanie odtoku zo snehovej pokrývky v záujmovom povodí rieky Ostravica, ktoré sme si vybrali na základe dostupnosti vstupných dát. Povodie je situované v severovýchodnom cípe Českej republiky. Rieka Ostravica je pravostranným prítokom rieky Odry, jedná sa teda o tok druhého rádu a rozloha jeho povodia je 816 km². Ostravica, spolu so svojimi hornými prítokmi Čeladénka a Morávka

s Mohelnicou, má vo svojej hornej časti charakter horského toku odvodňujúceho centrálnu časť Moravskoslezských Beskyd. Dynamika odtoku je v týchto častiach povodia daná značne členitým reliéfom na beskydskom flyši. Zhruba po 15 km od svojho vzniku sútokom Čiernej a Bielej sa priečne údolie Ostravice pretínajúce hlavný chrbát Moravskoslezských Beskyd otvára a prechádza do rovinatejšieho beskydského predpolia. Tok ďalej smeruje na sever do Ostravskej panvy, kde sa na území mesta Ostrava vlieva do rieky Odry. Z klimatického hľadiska sa horná časť povodia zaraďuje medzi chladné klimatické oblasti s priemernou ročnou teplotou 5-6 °C a pomerne vysokým úhrnom zrážok (1000-1200 mm za rok). Počet dní so snehovou pokrývkou je v týchto oblastiach 100 – 160, pričom najhrubšia snehová pokrývka sa tu vyskytuje behom mesiaca marec. Stredná a dolná časť povodia patrí medzi mierne teplé oblasti s priemernými ročnými teplotami pohybujúcimi sa v rozmedzí 7-9 °C a s priemerným ročným úhrnom zrážok 700 – 1000 mm. Počet dní so snehovou pokrývkou sa pohybuje v rozmedzí 50 – 80. Maximálne hodnoty v týchto oblastiach dosahuje snehová pokrývka väčšinou v mesiaci február.

3. Modelovanie odtoku vody zo snehovej pokrývky

Odtok vody zo snehovej pokrývky je zložitým procesom, ktorý vyžaduje porozumenie charakteristikám povodia a rôznym procesom, ktoré sú spojené s akumuláciou snehu, vlastnosťami snehovej pokrývky, rozložením snehovej pokrývky v povodí, zadržiavaním a pohybom vody cez snehovú pokrývku, interakciou medzi pôdou a snehom atď. (Singh 2001)

Jedná sa teda o pomerne zložitý proces, čiže aj jeho modelovanie bude pomerne náročné. Z tohto dôvodu sa



pri riešení topenia snehu v rôznych zrážkoodtokových modeloch využívajú metódy, ktoré zjednodušujú celkový proces topenia snehovej pokrývky, čím klesá aj náročnosť týchto modelov na vstupné dáta.

Existujú dva základné prístupy k modelovaniu odtoku vody z topiaceho sa snehu. Prvou je zložitejšia, ale fyzikálne korektnejšia metóda energetickej bilancie, ktorá je však značne náročná na vstupné parametre. Preto sa často v praxi nahrádza jednoduchšiu a rozšírenejšou metódou teplotného indexu, ktorú sme sa rozhodli na základe dostupnosti vstupných dát pri vypracovávaní tohto príspevku využiť aj my (Bedient 2007). Jej základný tvar je nasledovný:

$$M = DDF (T_i - T_B)$$

kde:

M - denný úhrn topenia [mm.d⁻¹]

DDF - (degree-day factor) faktor topenia snehu [mm.d⁻¹]

T_i - indexová teplota vzduchu [°C]

T_B - kritická teplota topenia snehu [°C]

Mnohé modely používajú upravený tvar tejto rovnice tým, že ju rozširujú zavádzaním ďalších vstupných premenných s cieľom lepšie napodobniť samotný proces topenia. Medzi tieto vstupné premenné najčastejšie patria veterné charakteristiky, charakteristiky žiarenia, atď. Aj keď je táto rovnica určená pre výpočet v dennom časovom kroku, môže byť použitá aj na predikciu topenia počas dlhšieho časového obdobia. Pre časové obdobia kratšie ako jeden deň je jej použitie obtiažnejšie, pretože nemusí uspokojivo napodobniť jednotlivé zmeny topenia v tomto časovom kroku. V týchto prípadoch sa pri predikcii topenia snehovej pokrývky väčšinou doporučuje použitie upravenej formy tejto rovnice rozšírenej o ďalšie parametre (čo vedie k lepšiemu napodobneniu podmienok topenia), alebo prechod z metódy teplotného indexu na metódu energetickej bilancie. (USACE 2005)

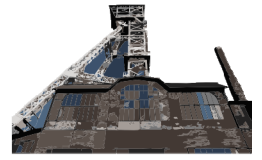
4. Výber modelu

Výber vhodného modelu pre predikciu odtoku vody zo snehovej pokrývky závisí na mnohých faktoroch zahrňujúcich predovšetkým ciele samotného modelovania, dostupnosť a povahu vstupných dát, charakteristiky skúmaného povodia a časové a priestorové merítko modelovania (Dewalle 2008). Cieľom je nielen vybrať model, ktorý poskytne požadované výsledky, ale aj model ktorý bude vyhovujúci z hľadiska dostupnosti vstupných údajov a nárokov na prácu s ním. Použitie modelov odtoku vody zo snehu v operatívnej praxi vyžaduje jednoduchšie modely s menšou náročnosťou na vstupné dáta a s jednoduchou štruktúrou. Z tohto dôvodu sa v praxi častejšie používa semidistribované riešenie rozdeľujúce územie na niekoľko subpovodií s homogénnymi

parametrami. Tento prístup je naproti plne distribuovanému riešeniu rozdeľujúcemu povodie na sieť buniek aj menej náročný na celkovú dobu výpočtu. Ciele modelov odtoku vody zo snehovej pokrývky sú zamerané predovšetkým na predpoveď prietoku počas jarného obdobia k určitému profilu (Holko a kol. 2001). Preto v týchto prípadoch nie je plne distribuované riešenie potrebné. Dôležitým faktorom výberu modelu je povaha vstupných dát o snehovej pokrývke. Množstvo v súčasnosti využívaných modelov vyžaduje vstupné dáta týkajúce sa charakteristik snehovej pokrývky získaných pomocou metód DPZ. Tie umožňujú zber veľkého množstva informácií v pomerne krátkych časových intervaloch. Avšak stále existuje množstvo skutočností, ktoré využitie údajov z DPZ pri monitorovaní snehovej pokrývky obmedzujú, ako napr. geometria povrchu, možná zámerna snehu a oblačnosti, náročnosť ich spracovania, dostupnosť, atď. Ďalším dôležitým kritériom je časový krok výpočtu. Ten závisí značne na dostupnosti vstupných dát. V prípade potreby modelovania v časovom kroku menšom ako jeden deň je vhodnejšie voliť rozšírený tvar metódy teplotného indexu, alebo modely založené na metóde energetickej bilancie, ktorá je však veľmi náročná na vstupné dáta. Voľba časového kroku však závisí hlavne od cieľov samotného modelovania (Maidment 2007). Na základe vyššie spomenutých skutočností sme sa v tomto príspevku rozhodli využiť semidistribované modely HEC-HMS a HYDROG, ktoré pri modelovaní odtoku vody zo snehovej pokrývky využívajú metódu teplotného indexu.

HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) je produktom hydrologického inžinierskeho centra americkej armády a je pokračovateľom známeho modelu HEC-1. Ten bol vytvorený už v roku 1967 na generovanie hydrogramov pre povodňové situácie. Rozdiel medzi HEC-1 a HEC-HMS spočíva predovšetkým v tom, že HEC-HMS disponuje grafickým užívateľským rozhraním a taktiež zahŕňa pokročilé metódy hydrologickej a hydraulikkej transformácie zrážkoodtokového procesu. Je to software na riešenie zrážkoodtokových vzťahov v povodí disponujúci širokou paletou metódik, z ktorých si užívateľ môže vybrať. V minulosti nebol voľne dostupný, ale v súčasnosti je to už freeware, ktorý si je možné voľne stiahnuť z internetovej stránky <http://www.hec.usace.army.mil/>.

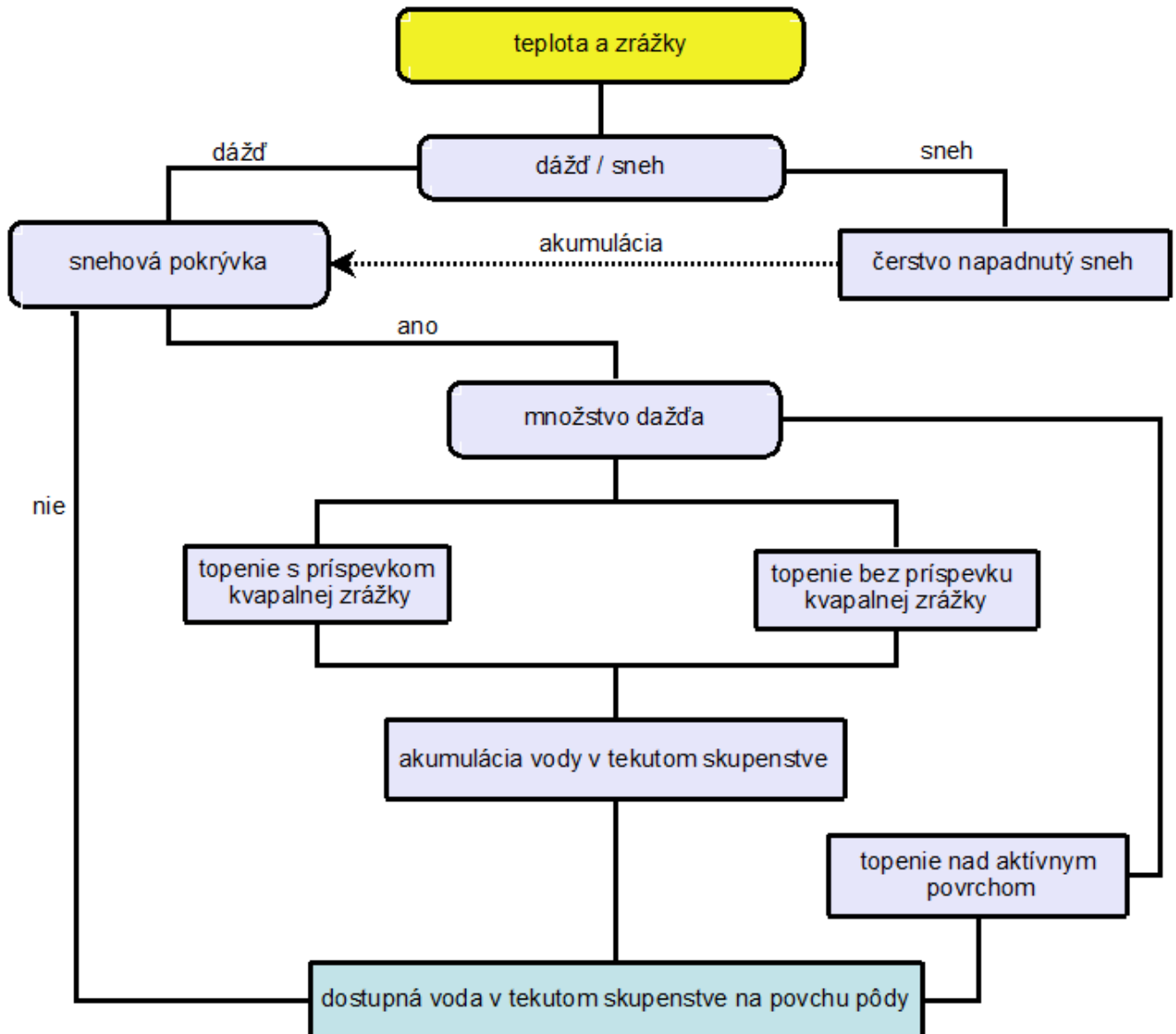
Model HYDROG je primárne navrhnutý pre potreby operatívnej praxe. Bol vytvorený za účelom simulácie, operatívnej predpovede a operatívneho riadenia odtoku vody z povodia z príčinnej privalovej alebo regionálnej zrážky resp. odtoku spôsobeného topením snehovej pokrývky. (Starý 2001) Jeho tvorcom je profesor Miloš Starý z VUT v Brne (jeho vývoj prebieha od roku 1991). Model nie je voľne dostupný. Je ho možné použiť len s licencovaným hardwarovým kľúčom.



5. Popis metod a vstupných dát použitých v modeloch

Pri obidvoch vybraných modeloch bola použitá pre modelovanie odtoku vody zo snehovej pokrývky metóda teplotného indexu (*degree/day*). Model HYDROG využíva v podstate štandardnú implementáciu tejto metódy, kým v modeli HEC-HMS sa nachádza jej upravená verzia najmä z hľadiska širokej palety

vstupných parametrov, ako sú napr. hraničná teplota stanovujúca druh zrážok, hraničná teplota stanovujúca spôsob topenia snehu a iné (viď obrázok 2a). To umožňuje pomocou modelu HEC-HMS lepšie popísať samotný proces akumulácie a topenia snehu (viď obrázok 1), čo však vyžaduje aj vyššie nároky na znalosti užívateľa z oblasti hydrológie snehu.



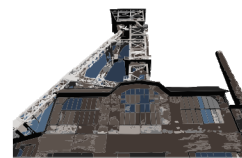
Obrázok 1 Schematické znázornenie procesu akumulácie a topenia snehu v HEC-HMS

Zdroj: upravené podľa manuál HEC-HMS, 2006

Model HEC-HMS poskytuje aj možnosť rozčlenenia každého naschematizovaného subpovodia na viacero výškových pásiem (*elevation band*). Každému z týchto pásiem sa naďefinuje priemerná nadmorská výška, v ktorej sa dané pásmo nachádza a percentuálny podiel plochy zo subpovodia, ktorú zaberá. Ďalej je možné naďefinovať pre tieto pásma aj parametre ako sú:

počiatočná vodná hodnota snehu, množstvo vody v tekutom skupenstve vyskytujúce sa na začiatku simulácie v snehovej pokrývke, atď. (viď obrázok 2b).

Medzi vstupné údaje potrebné pre modelovanie odtoku zo snehovej pokrývky v modeli HYDROG patria údaje o množstve zrážok v mm, teplote vzduchu v °C, vodnej



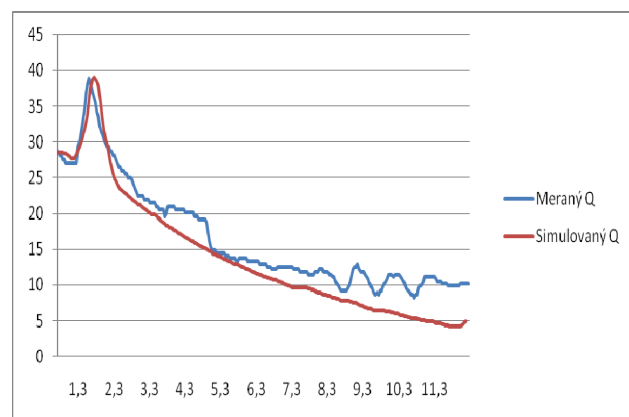
hodnote snehu a výške snehu v mm. Model HEC - HMS vyžaduje rovnaké vstupné údaje, avšak informácie o výške snehovej pokrývky nie sú potrebné. Vyššie

spomenuté údaje pre klimatické stanice v sledovanom území nám boli poskytnuté z ČHMÚ.

Obrázok 2(a) Vstupné parametre metódy Degree Day pre HEC-HMS, **2(b)** Rozčlenenie subpovia do výškových pásiem

6. Epizóda 28.2.2010 - 12.3.2010 v HEC HMS

Výsledný hydrogram po kalibrácii v porovnaní s pozorovaným prietokom pre záverový profil Ostravice je vidieť na obrázku 3. Zvolená epizóda má dĺžku 12 dní a ako krok jej výpočtu bola stanovená 1 hodina.



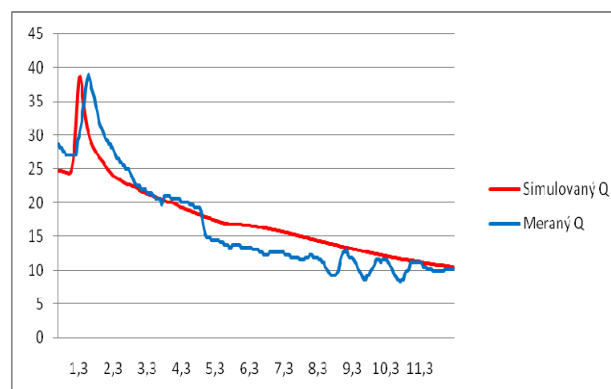
Obrázok 3 Porovnanie simulovaného a pozorovaného prietoku v HEC - HMS

Výška kulminácie pre danú epizódu sa podarila zachytiť so značnou presnosťou, kde namodelovaný prietok $39,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ v porovnaní s pozorovaným $39 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ znamená rozdiel len $0,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, čo je percentuálny rozdiel rovnajúci sa hodnote 0,2%.

Čas kulminácie je však v porovnaní s jej výškou pomerne dosť nepresný. Rozdiel medzi realitou (kulminácia v čase 1.3.2010 o 7 hodine ráno) v porovnaní s modelom (kulminácia v čase 1.3.2010 o 12 hodine) predstavuje 5 hodín, čo nemožno považovať za najlepší výsledok. Celkový tvar modelovaného hydrogramu, v porovnaní s hydrogramom pozorovaným,

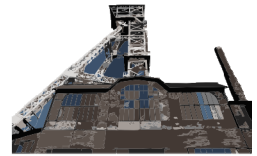
je však uspokojivý. Nástupná vetva modelovaného hydrogramu zodpovedá nástupnej vetve pozorovaného hydrogramu s tým, že je ovplyvnená hodnotou neskoršej kulminácie v porovnaní s realitou. V zostupnej vetve hydrogramu model podhodnocuje prietok voči realite, čím bližšie ku konci epizódy, tým väčšie rozdiely možno pozorovať. Najväčšie rozdiely dosiahli rádovo výšku $5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Takisto sa na zostupnej vetve nachádzajú rôzne menšie lokálne kulminácie, ktoré model zachytil veľmi slabou alebo dokonca vôbec.

7. Epizóda 28.2.2010 - 12.3.2010 v HYDROG-u

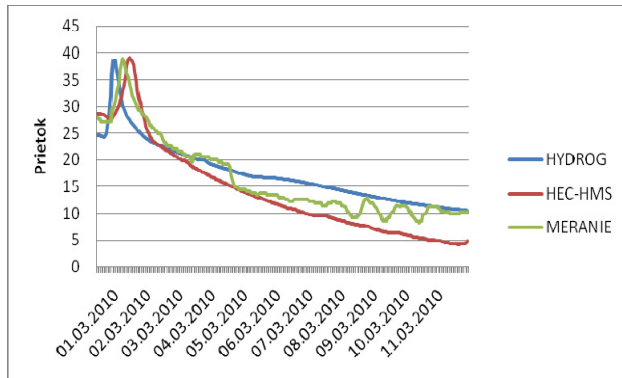


Obrázok 4 Porovnanie simulovaného a pozorovaného prietoku v HYDROG-u

Po simulácii a kalibrácii tej istej epizódy v HYDROGU, vyzerá hydrogram modelovaného a pozorovaného prietoku nasledovne (viď. obr. 4). Model približne o 4 hodiny predbieha realitu v čase kulminácie, opäť však svojou výškou kulminácie výborne zodpovedá realite podobne ako tomu bolo pri HEC -HMS. V zostupnej vetve rovnako ako HEC - HMS nezachycuje lokálne kulminácie, na rozdiel od HEC - HMS však model



miernie nadhodnocuje výsledky. Od 2.3 do 4.3.2010 a k samotnému záveru sú rozdiely medzi modelom a realitou takmer nulové. Porovnanie výsledných hydrogramov obidvoch testovaných modelov s nameraným prietokom je možné vidieť na obrázku 5.



Obrázok 5 Porovnanie výsledkov

8. Záver

Výsledky modelovania ukázali, že jednoduchšia metóda teplotného indexu použitá v modeli HYDROG poskytla výsledky porovnateľné, ak nie lepšie, ako upravená a na množstvo vstupných parametrov náročnejšia metóda teplotného indexu použitá v HEC – HMS. V oboch prípadoch sa podarilo pomerne dobre zachytiť hodnotu kulminácie a celkový objem prietoku v danej epizóde. Lokálne kulminácie vyskytujúce sa v závere sledovanej epizódy sa nepodarilo zachytiť ani jednému z modelov. Táto skutočnosť môže byť ovplyvnená tým že metóda teplotného indexu sa odporúča využiť pre modelovanie v dennom kroku a pre kratšie časové úseky nie je ideálna. Avšak pre využitie sofistikovanejšej metódy energetickej bilancie neboli dostupné vstupné dáta. Ďalším dôvodom je aj to, že pri modelovaní v dôsledku nedostupnosti dát nebol braný do úvahy vplyv vodných nádrží nachádzajúcich sa v sledovanom povodí Ostravice.

V ďalšej práci na tomto projekte plánujeme vyskúšať dané modely na iných epizódach, zahrnúť do procesu vplyv vodných nádrží a taktiež otestovať možnosti modelov zahŕňajúcich do procesu akumulácie a topenia snehu ďalšie vstupné parametre (ako napríklad vplyv vetra).

Použité zdroje:

- STARÝ, M. (1998): *HYDROG-S. Popis programu*. Brno, Hysoft. Nepochikované. 112 s.
- DEWALLE, D., R. a kol. (2008): *Principles of snow hydrology*. Cambridge University Press, New York, 403 s.
- SINGH, P. a kol. (2001): *Snow and Glacier Hydrology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 756 s.
- HEC-HMS: user's manual [online]. (2006). Dostupný na WWW:
<<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms>>
- HRÁDEK, F.; KURÍK, P. (2008) *Hydrologie*. Praha: CZU, 280 s.
- HOLKO L., KOSTKA Z., PARAJKA J.: *Snow Cover*. Život. Prostr., Vol. 35, No.3, 138-141,2001
- BEDIENT, P.,C., HUBER, W.,C., VIEUX, B.,C. (2007): *Hydrology and floodplain analysis*, 4th edition: Prentice Hall, London. 795 s.
- MAIDMENT, D.,R. (Ed.) (2007): *Handbook of Hydrology. User Manual, Edition 2004: DHI Software*. 516 s.
- U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS (2005): *Runoff from snowmelt*, Universal press of Pacific, 164 s.

Adresa autora:

Ing. Peter Bobál
Vysoká škola Báňská Technická univerzita Ostrava
Hornicko – geologická fakulta
Institút geoinformatiky
17. listopadu 15
70833 Ostrava – Poruba
peter.bobal@vsb.cz