

Sborník příspěvků ze semináře

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov

Hrubý Jeseník, Rejvíz

7. 3 – 9. 3. 2012



Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie
Listopad 2012

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov

Hrubý Jeseník, Rejvív

7. 3. – 9. 3. 2012

Sborník příspěvků

Editoři: Michal Jeníček, Dana Kučerová

Praha 2012

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

Název publikace: XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov
Druh publikace: Sborník příspěvků
Editoři: Michal Jeníček, Dana Kučerová
Vydal: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 43 Praha 2
Počet stran: 79
Rok vydání: 2012
Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Úvod

Již posedmnácté se březnu roku 2012 konal seminář s názvem Stretnutie Snehárov. Místem setkání byla malá osada Rejvíz uprostřed Jeseníků a jeho pořádání se vůbec poprvé ujala Katedra fyzické geografie a geokologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze.

Na Rejvíz se sjelo celkem 36 účastníků z České a Slovenské republiky, kteří zastupovali 7 institucí jak z výzkumné a akademické sféry, tak ze sféry soukromé. Hlavním bodem třídního programu byly prezentace a diskuze hlavních výsledků výzkumu jednotlivých pracovišť zabývajících se z nejrůznějších úhlů pohledu problematikou akumulace a tání sněhu a to jak z hlediska kvantity a celkové bilance, tak po kvalitativní stránce. Celkem bylo předneseno 15 příspěvků, ve kterých byl zhodnocen pokrok ve využití nových metod a přístupů jak v terénním monitoringu sněhu a jeho vlastností, tak v analýze a kvantifikaci procesů akumulace, transformace a tání sněhu. Diskutovány byly především následující tematické okruhy:

- nové zkušenosti a poznatky monitoringu sněhové pokrývky a pokrok ve využití nových automatických přístrojů a metod dálkového průzkumu Země
- měření hydrofyzikálních a mikrobiologických vlastností přírodního i umělého sněhu
- hodnocení geostatistických metod počítající prostorové rozložení sněhu v povodí
- použití metod hydrologického modelování k výpočtu akumulace a tání sněhu
- využití stabilních izotopů kyslíku pro stanovení podílu vody ze sněhu na odtoku
- simulace dešťových srážek na sněhovou pokrývku a kvantifikace energetických toků na rozhraních atmosféra-sníh-půda

Důležitost řešení uvedených témat dokládají stále přítomná rizika a následné škody spojené s akumulací a táním sněhu, který za určitých podmínek může způsobit různé hydrologické extrémy, jako jsou povodně, sucho a problémy spojené se zámrzem vodních toků a následnými ledochody a ledovými průvaly. Z uvedených důvodů mají podobná setkání stále velký význam a umožňují na jedné straně výměnu a propojení nových poznatků základního i aplikovaného výzkumu a na druhé straně vzájemnou spolupráci mezi výzkumnými pracovišti a soukromou sférou.

Letošní setkání se bohužel stalo posledním pro Jozefa Turčana, zakladatele Stretnutie a mimořádného člověka, pro nějž byla hydrologie sněhu celoživotním odborným tématem a také koníčkem. Nezapomeneme!

Michal Jeníček

Za Jozefom Turčanom

Len tri týždne po snehárskom stretnutí nás zaskočila smutná správa o smrti nestora našich stretnutí Jozefa Turčana. Prvé snehárske stretnutie zorganizoval Jozef už v roku 1996 a aj na tom poslednom v Jeseníkoch v roku 2012 bol, ako sme boli zvyknutí, plný energie. O to nečakanejšia bola preto informácia o jeho odchode.

Jozef sa narodil v roku 1936 v Užhorode, maturoval v Košiciach na Priemyselnej škole stavebnej v odbore vodné hospodárstvo a vysokoškolské štúdium ukončil v tom istom odbore v roku 1960 na Stavebnej fakulte SVŠT v Bratislave. Pre väčšinu z nás sa jeho práca spája najmä s rozvojom hydrológie snehu, ktorej sa venoval na Ústave hydrológie a hydrauliky SAV od roku 1968. Bol jedným zo zakladateľov expedičných meraní výšky a vodnej hodnoty snehu v povodiach, podieľal sa na vypracovaní metodík merania charakteristík snehu, vývoji matematických modelov akumulácie a topenia snehu aj využití metód diaľkového prieskumu pri skúmaní snehovej pokrývky. Bol zodpovedným riešiteľom kolektívu, ktorý už v roku 1978 vypracoval koncepciu komplexného matematického modelu akumulácie a topenia snehu. Jeho zjednodušená verzia bola dlho využívaná vo výskume. Na začiatku 80. rokov minulého storočia bol Jozef autorom prvého u nás vyvinutého a dlhé roky v praxi používaného predpovedného modelu odtoku zo snehu ERM. Tento model sa neskôr zúčastnil v známej porovnávačej štúdií Svetovej meteorologickej organizácie. V roku 1981 začal pracovať Hydroconsulte, kde postupne zmenil svoje odborné zameranie na hydrológiu urbanizovaného územia. Aj po odchode do dôchodku na začiatku 90. rokov zostal odborne aktívny a pracoval na rôznych projektoch doma aj v zahraničí.

Okrem záverečných správ výskumných projektov a množstva odborných článkov, najmä vo Vodohodpodárskom časopise, nám Jozef v zborníkoch zo snehárskeho stretnutia zanechal aj dva vzácne osobné príspevky so „spomienkami snehára“ a „históriou snehárskeho stretnutia“.

Posledná rozlúčka s Jozefom Turčanom sa konala 27. 3. 2012. Nevieme presný dátum jeho narodenia a nepoznáme ani presný dátum jeho smrti. Budeme si ale pamätať jeho pôsobenie medzi nami. Ďakujeme Ti Jozef za Tvoju prácu, fundované odborné pripomienky a šarm, ktorým si obohacoval naše stretnutia. Budeš nám chýbať.

Čeť Tvojej pamiatke.

Ladislav Holko

Ústav hydrológie SAV, Liptovský Mikuláš

Seznam přednesených příspěvků

1. Kučerová, D., Jeníček, M.: Prostorové rozložení sněhu v experimentálních povodích Krušných hor
2. Lešková, D., Babiaková, G.: Zima - indikátor sucha?
3. Liová, S., Matoková, K., Smrtník, P., Wendlová, V., Zvolenský, M.: Vyhodnotenie zásob vody v snehovej pokrývke v povodí Váhu - zima 2011/2012, porovnanie zím od roku 2004 do 2012
4. Liová, S.: Zima v povodí Váhu 2011/2012 - ľady a ľadové povodne
5. Hančarová, E., Vajskebr, V., Ducháček, L.: Využití dat sněhoměrného polštáře pro stanovení vodní bilance
6. Šanda M., Šmídl J., Jankovec J.: Využití stabilních izotopů kyslíku pro stanovení podílu vody ze sněhu na odtoku
7. Šmídl J., Šanda, M.: Modelování tání sněhové pokrývky v horském povodí Uhlířská
8. Tučková, K., Bercha, Š., Ducháček, L., Jiráček, J., Brodský, L.: Detekce nulové izochiony pomocí družicových snímků MODIS v rámci České republiky
9. Tučková, K., Brodský, L., Vobora, V., Bartaloš, T.: Operační monitoring sněhové pokrývky z dat DPZ v zimní sezóně 2011-2012
10. Beitlerová, H., Fliegl, O., Jelínek, J., Jeníček, M., Kocum, J.: Akumulace a tání sněhu v experimentálních povodích PřF UK na Šumavě
11. Juras, R., Pavlásek, J.: Simulace dešťových srážek na sněhovou pokrývku
12. Kloze, Z., Pavlásek, J.: Porovnání vývoje a tání sněhové pokrývky na lokalitách s různým lesním managementem v NP Šumava
13. Hříbik, M. a kol.: 8 rokov meraní hydrofyzikálnych vlastností snehu na Polane
14. Hanzelová, M., Hříbik, M., Škvarenina, J., Perháčová, Z.: Mikrobiológia snehu pod Chopkom
15. Hříbik, M., Mikloš, M., Vida, T., Škvarenina, J.: Hydrofyzikálne vlastnosti umelého snehu

Obsah

PROSTOROVÉ ROZLOŽENÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY V EXPERIMENTÁLNÍM POVODÍ KRUŠNÝCH HOR <i>Dana Kučerová, Michal Jeníček</i>	8
VYUŽITÍ SNĚHOMĚRNÉHO POLŠTÁŘE PRO STANOVENÍ VODNÍ BILANCE A ZPŘESNĚNÍ ODTOKU V POVODÍ <i>Vajskebr Václav, Hančarová Eugenie, Ducháček Libor</i>	14
VYUŽITÍ STABILNÍCH IZOTOPŮ KYSLÍKU PRO STANOVENÍ PODÍLU VODY ZE SNĚHU NA ODTOKU <i>Martin Šanda, Jan Šmídl, Jakub Jankovec</i>	17
MODELOVÁNÍ TÁNÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY V HORSKÉM POVODÍ <i>Jan Šmídl, Martin Šanda</i>	23
DETEKCE NULOVÉ IZOCHIONY POMOCÍ DRUŽICOVÝCH SNÍMKŮ MODIS V RÁMCI ČESKÉ REPUBLIKY <i>Kateřina Tučková, Šimon Bercha, Libor Ducháček, Jan Jirák, Lukáš Brodský</i>	30
OPERAČNÍ MONITORING SNĚHOVÉ POKRÝVKY Z DAT DPZ V ZIMNÍ SEZÓNĚ 2011 – 2012 <i>Kateřina Tučková, Lukáš Brodský, Václav Vobora, Tomáš Bartaloš</i>	39
MONITORING AKUMULACE A TÁNÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY V PRAMENNÉ OBLASTI OTAVY <i>Hana Beitlerová, Ondřej Fliegl, Jan Jelínek, Michal Jeníček, Jan Kocum</i>	47
SIMULACE DEŠŤOVÝCH SRÁŽEK NA SNĚHOVOU POKRÝVKU <i>Roman Juras, Jiří Pavlásek</i>	56
HYDROFYZIKÁLNE VLASTNOSTI UMELEJ SNEHOVEJ POKRÝVKY V LYŽIARSKÝCH STREDISKÁCH <i>Matúš Hríbik, Michal Mikloš, Tomáš Vida, Jaroslav Škvarenina</i>	63
MIKROBIOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA SNEHOVEJ POKRÝVKY V OBLASTI CHOPKU V NÍZKYCH TATRÁCH <i>Miriám Hanzelová, Matúš Hríbik, Jaroslav Škvarenina, Zuzana Perháčová</i>	72

Prostorové rozložení sněhové pokrývky v experimentálním povodí Krušných hor

Dana Kučerová, Michal Jeníček

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie
e-mail: kucdan@seznam.cz, michal.jenicek@natur.cuni.cz

Úvod

V oblasti Krušných hor se Katedra fyzické geografie a geoekologie věnuje výzkumu vlivu sněhové pokrývky na odtok z povodí ve dvou experimentálních povodích – Bystřice a Zlatý potok. Povodí Bystřice je rozděleno na 2 experimentální povodí - menší povodí se závěrovým profilem vymezeným hladinoměrem v Abertamech a větší povodí, jehož závěrový profil je stanoven hladinoměrem v Ostrově. V daných experimentálních povodí je každoročně během zimní sezóny prováděn monitoring výšky a vodní hodnoty sněhu, který na Zlatém potoce a Bystřici po závěrový profil Abertamy započal již na konci roku 2008, v povodí Bystřice po Ostrov až v lednu 2010.

Velké výškové rozpětí povodí Bystřice po závěrový profil Ostrov umožňuje studium vlivu nadmořské výšky na akumulaci a tání sněhové pokrývky, a proto bylo uvedené povodí vybráno pro následující práci. Jelikož je však proces akumulace a tání sněhu ovlivněn celou řadou fyzicko-geografických faktorů, mezi které se řadí sklonitost, expozice, vegetace aj. (Bercha, Řičicová, 2009; DeWalle, Rango, 2008; Hrbík, Škvarenina, 2007; Kocum et al., 2009), provádí se v místě odběru výšky a vodní hodnoty sněhu detekce nejen nadmořské výšky, ale i uvedených parametrů. Při proložení lineární regresní přímky body zachycujícími na ose x nadmořskou výšku a na ose y vodní hodnoty sněhu (VHS) či výšku sněhu, lze díky těmto parametrům vysvětlit polohu výrazně odlehklých bodů. Tedy například případ, kdy ve stejné nadmořské výšce lze v závislosti na krajinném pokryvu pozorovat rozdílnou VHS.

Z důvodu odhadu množství vody akumulované ve sněhové pokrývce ležící v povodí je třeba převést bodová data VHS do plochy, k čemuž je využíváno celé řady interpolačních metod (Erxleben et al., 2002; Lloyd, 2005; Vicente-Serrano et al., 2003).

Cílem předkládané studie je zvolit interpolační metodu, která by v neznámých bodech poskytla co nejlepší předpovědní schopnost VHS. Tedy odhad blízký skutečnosti. Je zřejmé, že kvalita predikce jednotlivých interpolačních metod bude ovlivněna reprezentativností bodů vybraných v povodí, jejich množstvím a využitím nezávislých proměnných, mezi které se řadí např. nadmořská výška.

Data a metody

V povodí Bystřice (127,6 km²) po závěrový profil Ostrov byla vytipována sněhoměrná síť 100 metrových profilů. Ty byly rovnoměrně rozděleny 3 body, na kterých se provádí měření VHS. Pro každý profil je pak pomocí aritmetického průměru odvozena právě jedna VHS. Sněhoměrná síť byla přitom sestavena s cílem zachytit významné fyzicko-geografické charakteristiky povodí Bystřice při zohlednění omezených časových možností pro změření všech profilů během jednoho dne. Celkem bylo vybráno 14 profilů, kdy každé výškové pásmo vymezené sto metry obsahuje minimálně jeden profil a množství profilů nacházející se v lese odpovídá zhruba poměru v jakém je lesní porost v povodí zastoupen.

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

Bodová data VHS byla převedena do plochy s velikostí gridu 60 x 60 m pomocí devíti vybraných interpolačních metod (tab. 1), k čemuž byl využit program ArcGIS 9.3 (extenze Geostatistical Analyst). Celkem byla zpracována čtyři sněhoměrná měření – jedno měření ze zimní sezóny 2009/2010: 17. 1. a tři měření ze zimní sezóny 2010/2011: 27. 1., 22. 2., 13. 3.

Tab. 1 Interpolační metody využité v práci s uvedením nezávislé proměnné, kterou zvažují při výpočtu VHS

Tab. 1 Interpolation methods used in the work with introduction of independent variable using in calculation of SWE

Interpolační metody		Nezávislá proměnná
Deterministické (lokální)	Thiessenovy polygony	
	Inverse distance weighting (IDW)	
	Globální polynom	
	Lokální polynom	
	Radial basis function (RBF)	
Geostatistické	Ordinary kriging (OK)	Nadmořská výška
	Cokriging	
	Residual kriging (RK)	
Globální	Lineární regrese	Nadmořská výška

K hodnocení předpovědní schopnosti interpolačních metod v neznámých bodech byla použita křížová validace, která spočívá v postupném vynechání jednotlivých vstupních bodů, kdy hodnota v místě vynechaného bodu je vypočtena ze zbylých dat (Erxleben et al., 2002). Originální a křížovou validací odvozený soubor dat byl následně hodnocen pomocí vybraných parametrů. Parametry MAE, MSE a RMSE by v ideálním modelu měly být co nejmenší, parametr ME by měl být roven nule (Erxleben et al., 2002). Čím více se výsledná hodnota indexu shody (index of agreement) blíží jedné, tím přesněji model předpovídá (Willmott, 1981). Hodnota koeficientu detraminace (R^2) rovna jedné vypovídá o schopnosti modelu vysvětlit zcela variabilitu závislé proměnné (Zvára, 2003).

Interpolační metody obsažené v extenzi Geostatistical Analyst mají v sobě zabudovaný i výpočet křížové validace. Pro zbylé metody byla křížová validace vypočtena manuálně (Thiessen polygony, RK a lineární regrese).

Výsledky

Pomocí lineární regrese byla odvozena závislost VHS na nadmořské výšce pro data ze čtyř sněhoměrných kampaní. Rovněž byl vypočten koeficient determinace (R^2), který udává, z kolika procent lze variabilitu VHS popsat pomocí regresní rovnice.

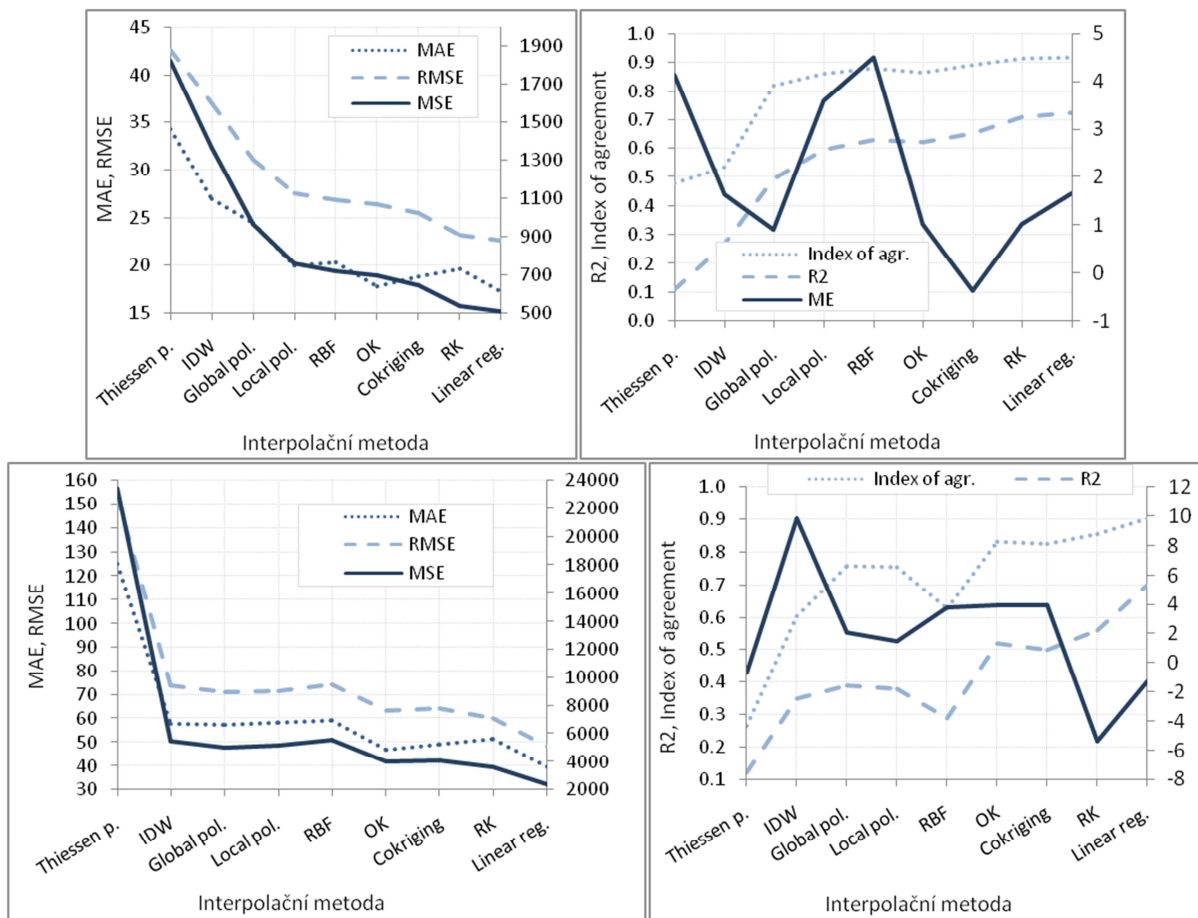
Nejlepšího výsledku bylo dosaženo 17. 1. 2010, kdy R^2 byl roven 0,82. V období akumulace v roce 2011 (27. 1. a 22. 2.) nebylo dosaženo již tak velkého R^2 , kdy se jeho hodnota pohyboval kolem 0.74. Během prvního měření dané sezóny však nebyl změřen jeden vrcholový bod a regresní rovnice byla sestavena jen na základě 13 bodů. Během terénních kampaní se navíc ukázalo, že ne všechny body byly vybrány zcela reprezentativně. Jeden z problematických bodů ležící na západně exponovaném odlesněném svahu vykazoval nulové hodnoty VHS v brzkém počátku jara, ač se v daném výškovém pásmu i v nižších polohách nacházelo ještě nemalé množství sněhu. S ohledem na zjištěné skutečnosti byla sněhoměrná síť v zimní sezóně 2011/2012 mírně poupravena. Navíc byl při zpracování dat z období tání (únor, březen) pomocí interpolačních metod využívajících nadmořskou výšku jako nezávislou

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvív, Hrubý Jeseník

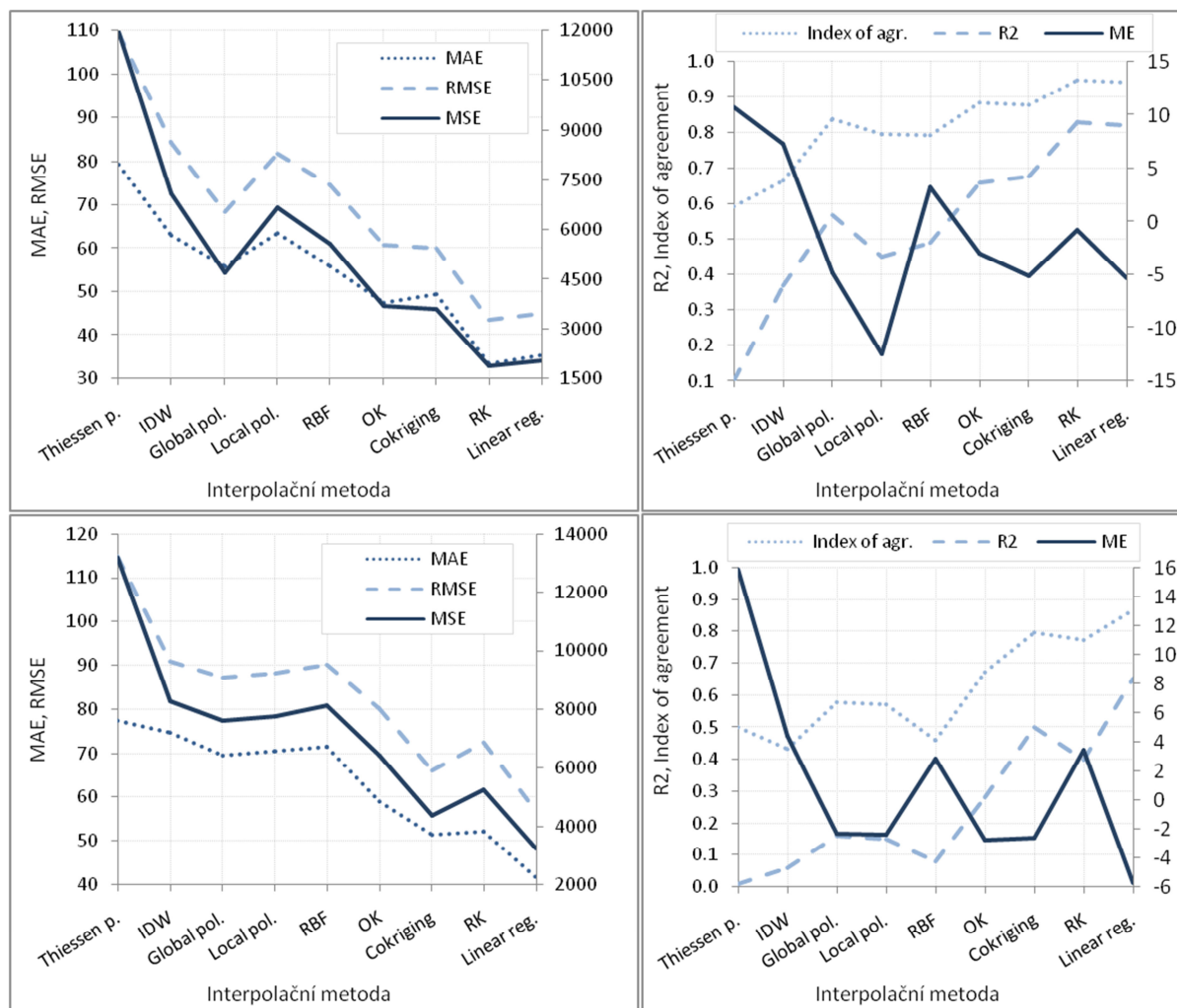
proměnnou daný bod vynechán, aby byl co nejvíce zvýrazněn vliv nadmořské výšky na rozložení VHS a potlačeny ostatní faktory, které nelze do vybraných interpolačních metod zahrnout.

Nejmenších hodnot R^2 (0.64) bylo dosaženo u měření, které se konalo v polovině března. Lze proto předpokládat, že v období akumulace má na rozložení VHS v povodí Bystřice vliv zejména nadmořská výška, zatímco během tání dochází k zesílení ostatních faktorů.

Z grafů na obr. 1 vyplývá, že nejlepší předpovědi VHS v neznámých bodech bylo dosaženo pomocí geostatistických interpolačních metod (OK, cokriging a RK) a metody lineární regrese. S výjimkou únorového měření se pak jako nejvhodnější pro interpolaci bodových dat VHS do plochy jeví metoda lineární regrese. Její využití je však limitováno existencí vztahu mezi VHS a nadmořskou výškou. V případě neexistence daného vztahu by vhodnou alternativou bylo využití geostatistické metody ordinary kriging.



XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

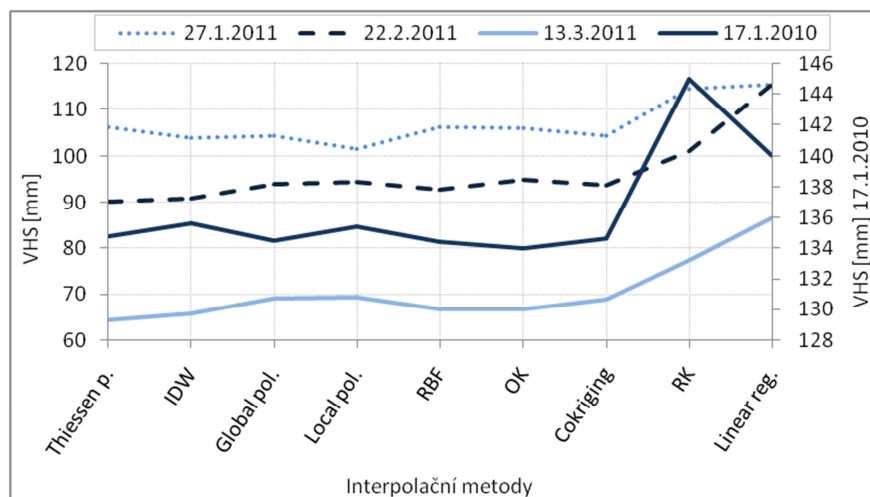


Obr. 1 Parametry hodnotící interpolační metody z hlediska kvality jejich předpovědi závislé proměnné (VHS) v neznámých bodech (zpracováno postupně pro dny 17. 1. 2010, 27. 1. 2011, 22. 2. 2011, 13. 3. 2011)

Fig. 1 Parameters evaluating interpolation methods in terms of quality of their prediction of dependent variable (SWE) in unknown points (for dataset 17. 1. 2010, 27. 1. 2011, 22. 2. 2011, 13. 3. 2011 respectively)

Na základě prostorového rozložení VHS odvozené vybranými interpolačními metodami v experimentálním povodí Bystřice byla vypočtena průměrná VHS na povodí (obr. 2), pomocí které je možné odhadnout množství vody akumulované ve sněhové pokrývce ležící v povodí. S výjimkou RK a lineární regrese poskytla většina metod velmi podobnou průměrnou VHS. Uvedené dvě metody predikovaly vyšší průměrnou VHS, což může být způsobeno tím, že ve vrcholových partiích není sněhoměrná síť dostatečně hustá a ostatní metody zde VHS podhodnocují.

VII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník



Obr. 2 Průměrná SWE v povodí Bystřice v závislosti na využití interpolační metodě

Fig. 2 Average SWE in the Bystřice River basin in dependence on used interpolation methods

Rozdíl mezi minimální a maximální průměrnou VHS predikovanou v daném termínu se zvyšuje směrem do období tání (tab. 2), kdy se zvyšuje celková variabilita VHS i výšky sněhu v povodí, což má za následek zvýraznění rozdílu mezi použitými metodami.

Tab. 2 Rozdíl mezi minimální a maximální průměrnou VHS v povodí Bystřice vypočtenou pomocí rozdílných interpolačních metod

Tab. 2 Difference between a minimal and a maximal average SWE in Bystřice River basin determined by means of different interpolation methods

Datum	Rozdíl (%)
17. 1. 2010	7.6
27. 1. 2011	12.0
22. 2. 2011	21.9
13. 3. 2011	25.7

Shrnutí a závěry

I přes množství faktorů ovlivňujících rozložení výšky a vodní hodnoty sněhu v povodí lze prokázat, že v členitém horském terénu je nadmořská výška jedním z nejvýznamnějších parametrů determinující proces akumulace sněhové pokrývky. V období tání však již tak těsný vztah mezi nadmořskou výškou a charakteristikami sněhové pokrývky nebyl prokázán a ukazuje se, že se zde začíná významně uplatňovat vliv vegetace a expozice.

Jelikož je variabilita VHS v povodí podmíněna celou řadou sekundárních proměnných lze pro interpolaci bodových dat VHS doporučit použití interpolačních metod, které při výpočtu závislé proměnné (VHS) využívají jedné či více nezávislých proměnných. Při srovnání vybraných interpolačních metod poskytly metody zahrnující do výpočtu VHS nadmořskou výšku výrazně lepší předpovědní schopnost v neznámých bodech.

Získané výsledky jsou ovlivněny celou řadou faktorů, mezi které se řadí velikost a fyzicko-geografické charakteristiky experimentálního povodí, množství sněhoměrných profilů, jejich rozložení, způsob měření VHS, zpracování dat aj. Přesto lze předpokládat, že některé z vybraných metod budou obecně poskytovat horší výsledky při predikci rozložení VHS (Thiessenovy polygony, IDW) oproti metodám geostatistickým a metodám využívajících nezávislých proměnných.

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

Poděkování

Vytvořeno za podpory Výzkumného záměru MSM 0021620831 "Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace" a projektu GA UK 112110 "Modelování odtoku ze sněhové pokrývky pro potřeby zpřesnění předpovědi povodní".

Resumé

Bystřice River basin with junction in Ostrov (127.6 km²) was selected as an experimental catchment for studying of the rainfall runoff process influenced by snow cover. It is situated in the NW of the Czech Republic and it is dominant by a big height difference (394 – 1244 m a. s. l.). There has been carrying out a collection of snow characteristic (snow water equivalent and snow depth) since January 2010. Datasets obtained by these field surveys were processed in this paper. Namely it is measurement of snow water equivalent (SWE) from days: 17. 1. 2010, 27. 1. 2011, 22. 2. 2011 and 13. 3. 2011.

It was proved a good relationship between altitude and SWE by means of a coefficient of determination (R^2). The relationship was the best at the beginning of a winter season where an accumulation of snow predominates. At the end of a winter the coefficient of determination went down as more factors have been getting more important in a process of SWE spatial distribution in this time. Several interpolation methods were used to convert a point measurement of SWE into a surface. Then a prediction of SWE in unknown points was assessed by means of the cross validation to find out the best and the poorest interpolation method for converting SWE into a surface. Conclusion of the evaluation was that the best is to use geostatistical interpolation methods and/or interpolation method using an independent variable in prediction of dependent one. The resulting spatial distribution of SWE influences an average SWE determined for river basin as well as an amount of water stored in a snow pack covering the river basin. The biggest difference between the minimal and the maximal average SWE was achieved at the end of a winter season. While at the beginning of the winter season a prediction of the average SWE did not differ so much regarding of used methods.

Literatura

- Bercha Š., Řiřicová P., 2009: Vyhodnocení sněhových zásob v ČHMÚ. In Hanková R., Klose Z., Pavlásek J. (eds.): XIV. Medzinárodné stretnutie snehárov, ČZÚ, Praha, 61-68.
- DeWalle D., Rango A., 2008: Principles of snow hydrology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Erxleben J., Elder k., Davis R., 2002: Comparison of spatial interpolation methods for estimating snow distribution in the Colorado Rocky Mountains. Hydrological Processes, 16, 3627-3649.
- Hříbik m., Škvarenina J., 2007: Vplyv ihličnatého a listnatého lesa v rastovej faze žrd'oviny na vytváranie sněhových zásob. In Hříbik M., Holko J., Škvarenina J. (eds.): XII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Technická univerzita vo Zvolene, 88-98.
- Kocum J., Jelínek J., Jeníček M., 2009: Monitoring sněhové pokrývky a vyhodnocení sněhových zásob na Šumavě a v Krušných horách. In Hanková R., Klose Z., Pavlásek J. (eds.): XIV. Medzinárodné stretnutie snehárov, ČZÚ, Praha, 105-113.
- Willmott C. J., 1981: On the validation of models. Physical Geography, 2, 184-194.
- Zvára K., 2003: Biostatistika. Karolinum, Praha, 213.

Využití sněhoměrného polštáře pro stanovení vodní bilance a zpřesnění odtoku v povodí

Vajskebr Václav¹⁾, Hančarová Eugenie²⁾, Ducháček Libor³⁾

ČHMÚ, Oddělení hydrologického výzkumu, Želivského 5, 46605 Jablonec nad Nisou^{1), 3)}

ČHMÚ, Regionální předpovědní pracoviště, Dvorská 410/102, 50311 Hradec Králové²⁾

Práce se zabývá zpracováním a využitím dat z automatického sněhoměrného polštáře v hydrologii. Data jsou využitelná jak pro prognózní hydrologii při hledání závislostí odtoku na ostatních meteorologických prvcích, tak v hydrologii sněhu při sledování vývoje sněhové pokrývky během zimy (akumulace, transformace, tání). Polštář je situován v lokalitě Luisino údolí cca 3 km jv. od Deštného v Orlických horách, v sedle na rozvodnici mezi povodími Bělé a Zdobnice ve výšce 870 m n. m.

Přístroj slouží především k měření vodního hodnoty a výšky sněhové pokrývky a odtoku z plochy polštáře. V dataloggeru s on-line přenosem jsou kontinuálně (v intervalu 10 minut) zaznamenávány následující veličiny: vodní hodnota sněhu (SVH) [mm vodního sloupce]; výška sněhu (SCE) [cm]; odtok z polštáře [dm³] teplota vzduchu ve 2 metrech [°C]; teplota ve svodových žlabech, měřicí šachtě, pod i nad polštářem [°C]; teplota sněhu ve hloubce 20 a 50 cm od zemského povrchu [°C]; rychlost větru [m.s⁻¹]; směr větru [°]. Měření vodní hodnoty sněhové pokrývky funguje na základě měření změny tlaku kapaliny v uzavřeném gumovém polštáři o ploše 10m². Výška sněhové pokrývky se měří ultrazvukovým čidlem. Odtok je sveden pomocí žlabů po obvodu polštáře do měřicí šachty, kde je umístěn překlopný člunek o objemu 1 litr. Přesnost měření je tudíž 0,1 mm vodního sloupce.

Práce byla zaměřena na posouzení tání během března 2011 (Obr. 1.), kdy se vyskytlo dlouhé období s nízkým úhrnem srážek, a tudíž bylo možno sledovat samostatný vliv teploty na změnu SVH a odtoku. Při porovnání dat výšky a vodní hodnoty sněhové pokrývky byla vypočtena korelace $r=0,99$, proto bylo nadále pracováno jen s hodnotou SVH. Zřejmá je závislost vodní hodnoty sněhu a odtoku na teplotě ($r=0,52$, resp. $r=0,68$). Ještě lépe koreluje mezidenní úbytek vodní hodnoty sněhu s odtokem a teplotou ($r=0,80$, resp. $r=0,70$). Vzhledem k časovému zpoždění při transformaci sněhu se ukázalo za vhodnější porovnávat denní řady prvků než hodinové či desetiminutové, kdy reakce změny SVH a odtoku není okamžitá. Odpovídající byly i hodnoty korelací úbytku SVH a odtoku z polštáře s průtokem ve stanici Jedlová (vzdálené cca 5 km po toku) s dvoudenním zpožděním (obě $r=76$).

Data byla též zpracována z pohledu upřesnění vodní bilance sněhové pokrývky. Bilanční rovnice ve tvaru:

$$P \pm R = ET + Q \quad [\text{mm}]$$

[srážky \pm zásoba = evapotranspirace + odtok]

byla pro situaci na polštáři pozměněna na:

$$P + \text{SVH} = E + Q_p \quad [\text{mm}]$$

[srážky + SVH na počátku období = výpar + suma odtoku z polštáře do roztátí sněhu]

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

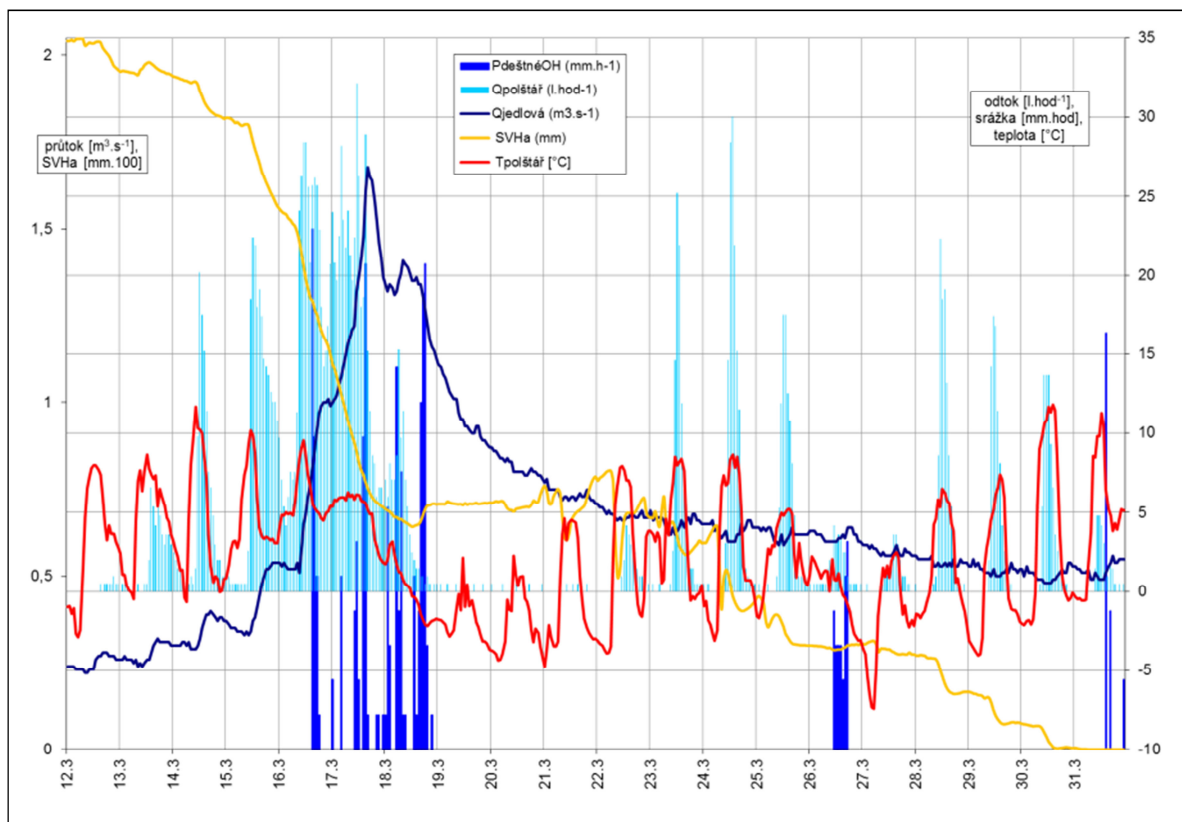
Předpokladem bylo, že nedochází k žádné infiltraci vody do podloží a že teoretické ztráty vody ve sněhovém profilu v horizontálním směru odpovídají stejným přírůstkům. Číselně vyjádřeno za sledované období 12. - 30. 3. 2012:

$$19 + 203 = E + 201 \quad [\text{mm}]$$

$$E = 21 \text{ mm}$$

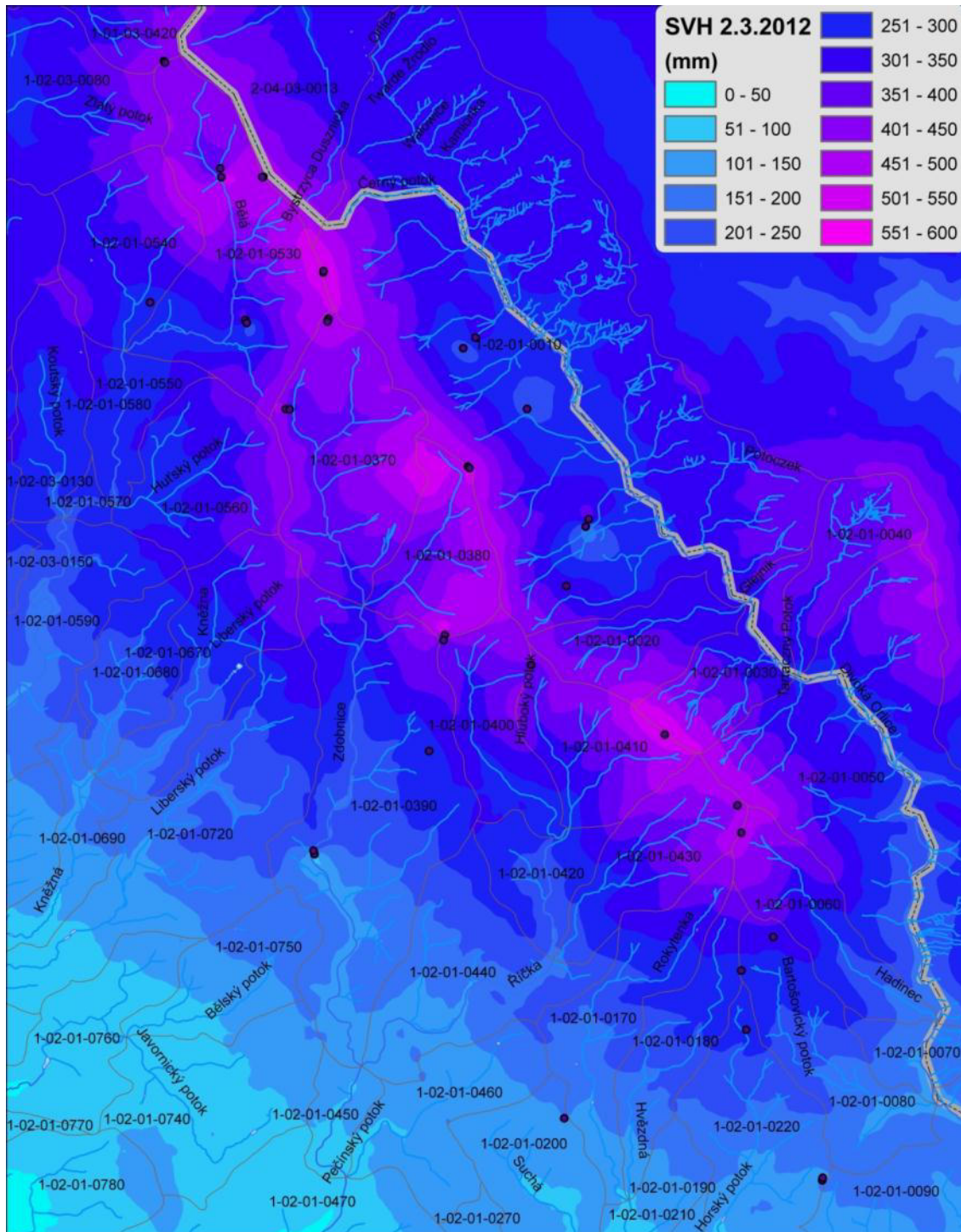
Výsledná hodnota výparu se pohybuje v intencích uváděných v literatuře ($E = 15\text{-}50$ mm/měsíc) vypočtených např. pomocí metody energetické bilance (1) či dlouhodobých průměrů (2). Zdánlivě přesný výsledek je však nutno posuzovat kriticky vzhledem k řadě faktorů ovlivňujících měření, kde např. přijatelná přesnost měření parametrů sněhové pokrývky může mít stejnou relativní chybu, jako výsledek vypočteného výparu. Dosažené výsledky bude vhodné doplnit obdobnými analýzami pro jiná časová období. Zároveň nelze opomenout vliv teploty, parametrů vlhkosti, rychlosti větru a atmosférického tlaku na velikost výparu, která se tak může řádově lišit.

Jednou ročně v období maxima sněhové pokrývky je v Orlických horách provedeno expediční měření, které mapuje její rozsah, mocnost a vodní hodnotu (Obr. 2). Data slouží jako podklad pro předpovědní pracoviště v Hradci Králové. V Luisině údolí se provádějí kontrolní měření na polštáři a jeho okolí. Výsledky srovnávacích měření jsou dobré, proto lze data z polštáře využívat i v operativní hydrologii a dle trendů akumulace či tání predikovat vývoj sněhové pokrývky v celém pohoří.



Obr. 1 Průběh parametrů sněhové pokrývky, odtoku a teploty v Luisině údolí v březnu 2011

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník



Obr. 2 Mapa expedičného měření sněhové pokrývky v Orlických horách interpolovaná metodou orografické interpolace

Literatura:

Křeček, J.: *Evapotranspiration from forested basin in the Jizera Mountains*. In: Hydrology of Mountainous Areas (Proceedings of the Štrbské Pleso Workshop, Czechoslovakia, June, 1988. IAHS Publ no. 190, 1990.

WATCH Water and Global Change: <http://www.waterandclimatechange.eu/evaporation/average-monthly-1985-1999>.

Využití stabilních izotopů kyslíku pro stanovení podílu vody ze sněhu na odtoku

Martin Šanda, Jan Šmídl, Jakub Jankovec

České vysoké učení technické v Praze, F. stavební

Úvod

Detekce přirozených stopovačů je jednou z metod, jak doplnit chybějící informaci v hydrologických pozorováních tvorby odtoku v povodí a to nejen v období tání. Tyto metody využívají odlišného chování malého množství molekul vody během výparu a kondenzace. Studium dynamiky vody pomocí přírodních stopovačů se typicky zaměřuje na využití izotopů kyslíku ^{18}O a vodíku ^2H (Kendall a McDonnell, 1999). Stabilní izotopy vodíku a kyslíku jsou jedněmi z forem těchto prvků nacházející se v přírodním hydrologickém cyklu v proměnlivých koncentracích. To poskytuje unikátní informaci o vodě, která do povodí vstupuje ve formě srážek, v povodí se zdržuje (např. v půdní a podzemní vodě, nasycených plochách, nebo řekách a jezerech či ve sněhové pokrývce) a vystupuje z něj ve formě odtoku. (Šanda, 2010).

Izotop $\delta^{18}\text{O}$ jako přirozený stopovač

Kyslík existuje v řadě stabilních izotopů, mezi než patří nejběžnější trojice ^{16}O , ^{17}O a ^{18}O . V hydrologii je především využíván poměr pro izotopy $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ blízký hodnotě 0.00204. Izotopy mohou tvořit alternativní molekuly k běžné vodě ($^1\text{H}_2^{16}\text{O}$), která tvoří přibližně 99.75% veškerých vodních molekul. I přesto tento zanedbatelný podíl ostatních kombinací izotopů tvořících molekulu vody, lze moderními metodami detekovat zbývající 0.25% molekul, mezi nimiž převažují dvě kombinace: $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$; $^2\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$ (tzv. HDO). Tato stopovací metoda využívá faktu, že poměr těžších a lehčích izotopů se mění na fázových rozhraních (nejčastěji kapalná a plynná fáze). Pro přestup do plynné fáze je pro molekuly s těžšími izotopy potřeba více energie. To způsobuje relativní nedostatek molekul s těžšími izotopy ve vodní páře než ve vodě, v měřítku Země se jedná především o vodní masy v oceánech a vodní páry v atmosféře (Kendall, a McDonnell, 1999). Fluktuace obsahu izotopů vodíku a kyslíku ve vodách závisí na teplotě atmosféry, kde k přestupu přes fázové rozhraní dochází. Při kondenzaci vodní páry dochází rychleji k přechodu molekul s těžšími izotopy (^{18}O nebo ^2H) do srážek a zbývající vodní pára se dále o tyto těžší izotopy ochuzuje.

Proměnlivost množství ^2H a ^{18}O ve vodě je popsána jako relativní úbytek těžších izotopů vůči standardu pomocí tzv. delta hodnot ($\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$). Zvoleným standardem je Standard Mean Ocean Water (V-SMOW) určený Mezinárodní agenturou pro atomovou energii ve Vídni. Přepočítání koncentrace izotopu ve vodě na hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ je prováděn podle rovnice 1 z důvodu velmi malé fluktuace vlastních koncentrací těžších izotopů tj. pro lepší názornost probíhajících procesů. Analogicky lze pracovat s koncentracemi ^2H a ^1H v molekulách vody. (Šanda, 2010).

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{vzorek}} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{vzorek}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{V-SMOW}}} - 1 \right) * 1000 [\text{‰}] \quad (1)$$

Sledování ukládání a tání sněhové pokrývky

Ke sledování ukládání a tání sněhové pokrývky lze využít sledování koncentrací $\delta^{18}\text{O}$ vedle tradičních metod jako je sledování výšky, hustoty a vodní hodnoty sněhu či pozorování odtoku z povodí.

Na základě stanovení obsahu stabilních izotopů vodíku nebo kyslíku se často voda nacházející se v povodí (nazývána jako “stará” či “předsrážková”) uvolňuje do odtoku na základě vytlačování z pórovitého prostředí vodou srážkovou. Při známé koncentraci izotopů v půdní a podzemní vodě a v příčinné srážce je pak možné stanovit poměr těchto vod v povodňovém odtoku na základě koncentrace izotopů v odtékající vodě. Procesy způsobující tuto výměnu nejsou však zcela známy. (Šanda, 2010).

V zimním období dochází ke srážkám s nedostatkem molekul s těžšími izotopy, jelikož je v zimě méně energie k přenosu molekul s těžšími izotopy. Obecně tedy platí, že sněhová srážka je zpravidla izotopově lehčí než srážka dešťová. Množství izotopů ^{18}O je závislé na teplotě kondenzace v mracích. Lze tedy předpokládat, že srážka s nižším obsahem těžších izotopů vypadla z mraku s nízkou teplotou kondenzace. Lze pozorovat určitou souvislost izotopového obsahu i s teplotou a nadmořskou výškou.

Sledování vlivu koncentrace $\delta^{18}\text{O}$ ve sněhové pokrývce na bilanci odtoku z povodí Uhlířská

Z pozorování koncentrací $\delta^{18}\text{O}$ ve srážkách na povodí Uhlířská za období 2006 – 2011 (obr. 1) jsou zřejmé rozdíly mezi letními a zimními srážkami. Z obr. 2 lze pozorovat, do jaké míry koncentrace $\delta^{18}\text{O}$ ve sněhových srážkách ovlivňuje koncentraci $\delta^{18}\text{O}$ odtoku z povodí. Je patrné, že v toku není přímá odezva na koncentrace $\delta^{18}\text{O}$ ve srážkách, ale jedná se o určité zpoždění. Koncentrace $\delta^{18}\text{O}$ v odtoku z povodí není tolik závislá na koncentraci $\delta^{18}\text{O}$ ve srážce, ale především na celkovém toku ^{18}O . V případě sněhové pokrývky dochází k ovlivnění toku až v období tání. Množství izotopu ^{18}O za určité období je vyjádřeno v případě odtoku z povodí rovnicí 2 a v případě srážky rovnicí 3.

$$\text{množství}^{18}\text{O} = \delta^{18}\text{O} \times Q \quad (2)$$

kde:

$\delta^{18}\text{O}$ – průměrná koncentrace $\delta^{18}\text{O}$ za dané období [‰]

Q – odtoku z povodí za dané období [mm]

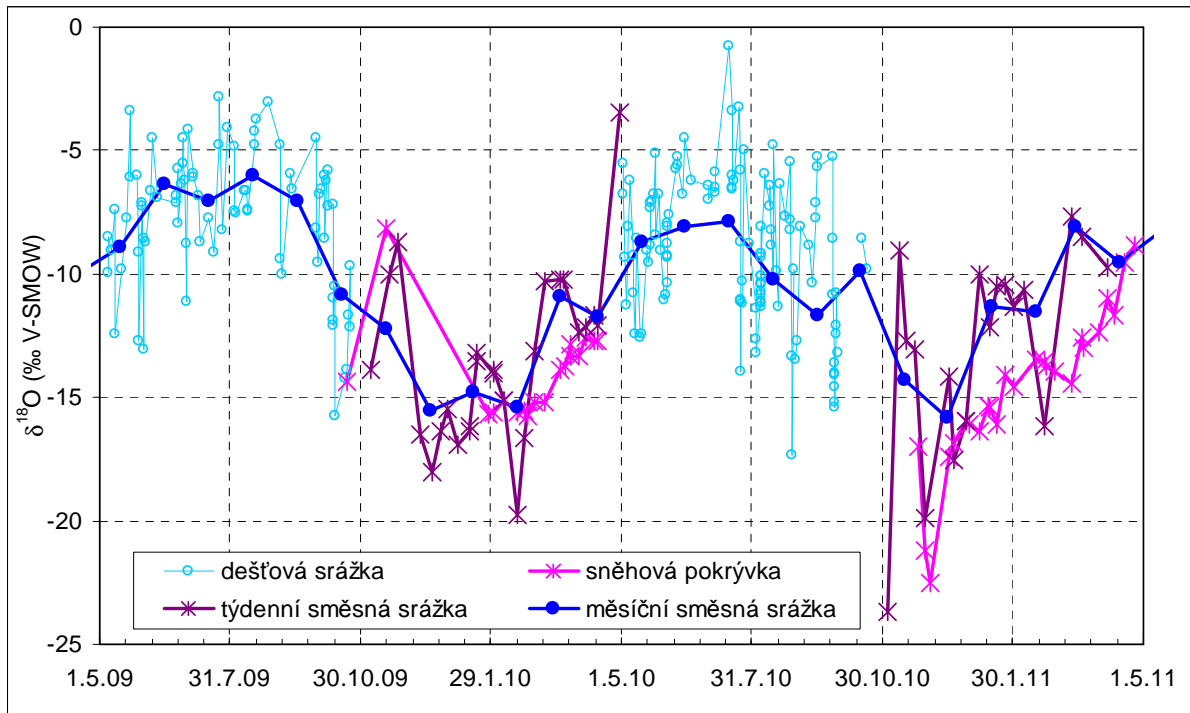
$$\text{množství}^{18}\text{O} = \delta^{18}\text{O} \times P \quad (3)$$

kde:

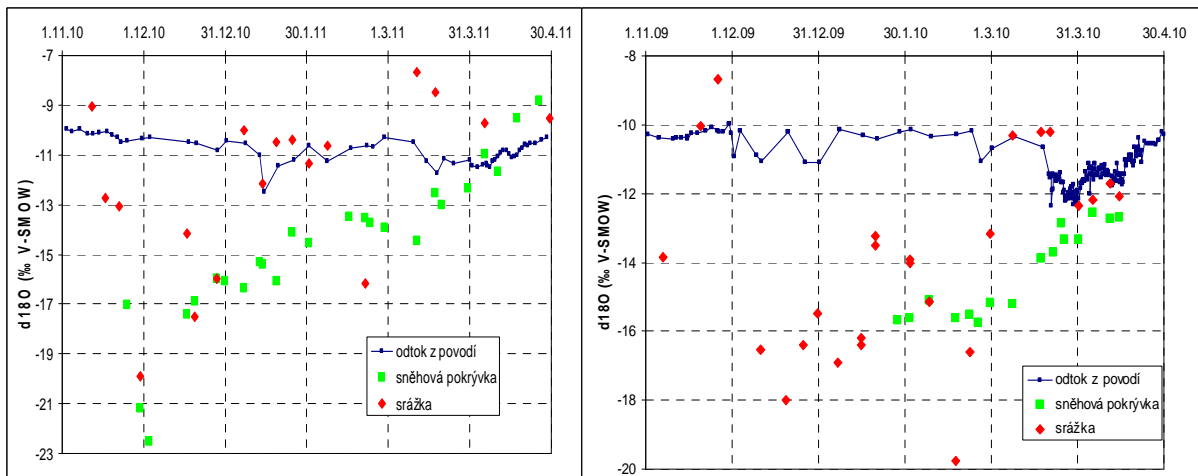
$\delta^{18}\text{O}$ – průměrná koncentrace $\delta^{18}\text{O}$ za dané období [‰]

P – srážkový úhrn za dané období [mm]

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník



Obr. 1 Vývoj koncentrací $\delta^{18}O$ na povodí Uhlířská ve srážkách za období 2009-2011

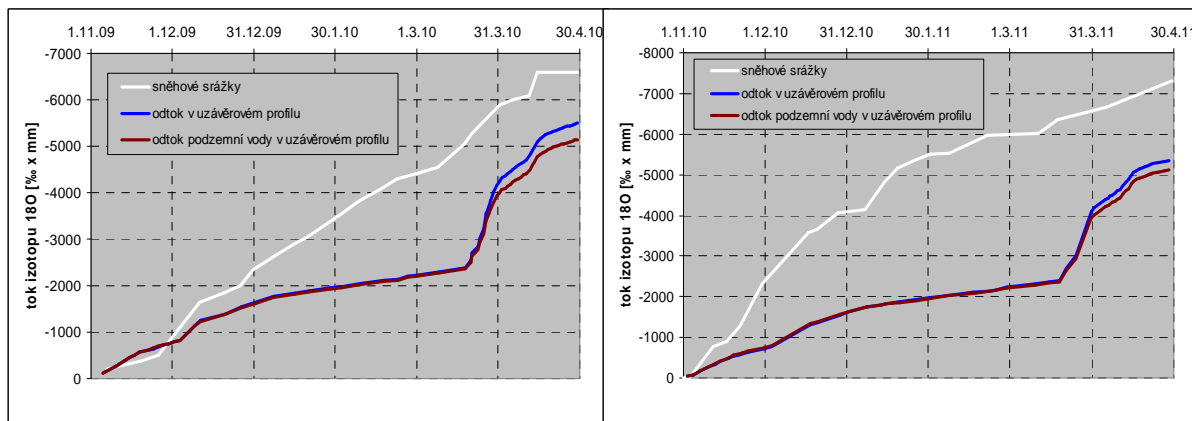


Obr. 2 Vývoj koncentrací $\delta^{18}O$ na povodí Uhlířská ve srážkách za období 2009-2011 (vlevo) a 2010/2011 (vpravo)

Hodnoty $\delta^{18}O$ ve sněhových srážkách stanovené během zimního období se pohybují v rozmezí -10‰ až -20‰ . Dlouhodobě pozorovaná hodnota $\delta^{18}O$ v základním odtoku z podzemní vody je $-10,4\text{‰}$. Z porovnání kumulativního množství koncentrace $\delta^{18}O$ ve sněhové pokrývce a v odtoku z povodí (obr. 3) je zřejmé, že se voda ze sněhové pokrývky vyskytuje přímo v odtoku pouze z menší části. Za předpokladu tvorby pouze přímého odtoku z tání by se měl celkový odtok ^{18}O v uzávěrovém profilu rovnat celkovému množství izotopu ve sněhových srážkách. Tento předpoklad není potvrzen. Naopak se ukazuje, že při odtoku z povodí v období tání dochází převážně k vytlačování „předsrážkové“ izotopově těžší vody a jen částečnému podílu přímé tající sněhové vody v odtoku. Ten je z větší části tvořen podzemní vodou. Pro názornost je do grafu přidána syntetická řada průběhu, množství izotopu ^{18}O v hypotetickém případě, kdyby veškerý odtok v tání byl dotován pouze podzemní vodou. Lze pozorovat jen malé odchýlení skutečného průběhu množství $\delta^{18}O$ v odtoku z povodí od

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

tohoto modelového případu. Odchylení skutečného zjištěného celkového množství $\delta^{18}\text{O}$ v odtoku z povodí od hodnoty celkového izotopového množství tvořeného pouze podzemní vodou činí 11 - 24 % z celkového rozdílu množství $\delta^{18}\text{O}$ mezi podzemní vodou a sněhovou pokrývkou.



Obr. 3 Porovnání kumulativního množství $\delta^{18}\text{O}$ ve sněhové pokrývce, odtoku z povodí a odtoku z povodí za předpokladu pouze podzemní vody za zimní období 2009/2010 (vlevo) a 2010/2011 (vpravo)

Sledování sněhových vrstev pomocí $\delta^{18}\text{O}$ na povodí Uhlířská

Každá srážková epizoda má zpravidla jinou koncentraci izotopu $\delta^{18}\text{O}$, a proto lze v případě sněhové pokrývky pozorovat ukládání rozdílných srážek do vrstev. Pomocí stabilních izotopů vodíku a kyslíku ve sněhu lze potom sledovat ukládání, sesedání a odtávání jednotlivých vrstev. Od zimy 2009/2010 jsou na povodí Uhlířská odebrány izotopové profily sněhové pokrývky. K odběru vzorků se využívaly kopeckého válečky, od zimy 2011/2012 se k odběru používá speciálně navržený odběrák (obr. 4). Z obr. 5 je patrný vývoj ukládání koncentrací izotopu $\delta^{18}\text{O}$ do vrstev.



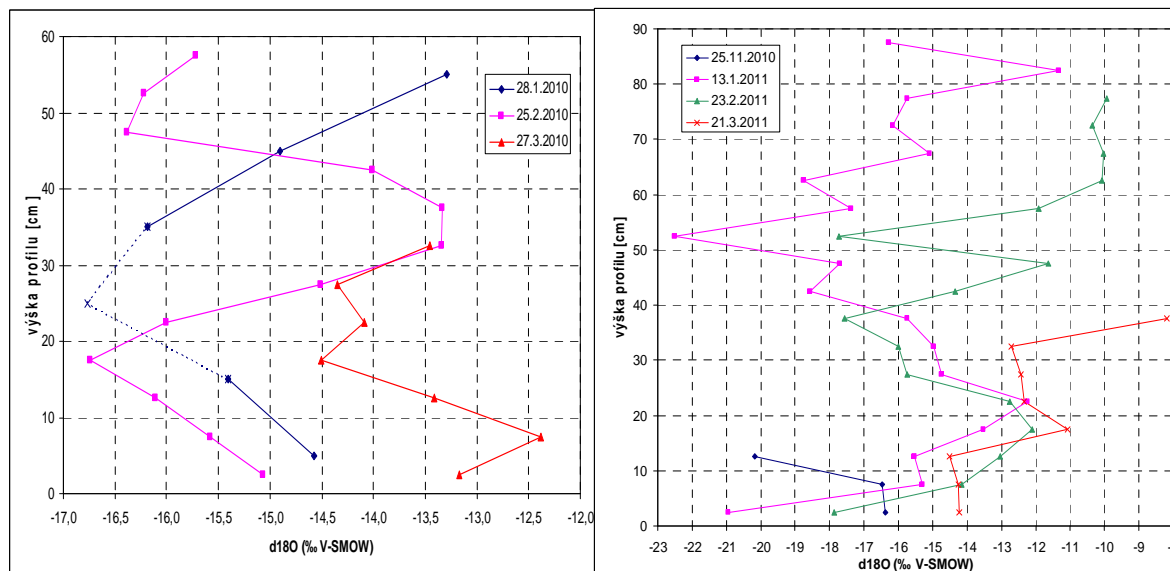
Obr. 4 Pomůcky pro odběr izotopového profilu. Kopeckého válečky (vlevo) a speciálně navržený odběrák (vpravo)

V zimní sezóně 2009/2010 byly odebrány 3 výškové profily. Z obr. 5 lze z profilu pro 25.2.2010 pozorovat sesednutí profilu z 28.1.2010 přibližně o 20 cm. Ve spodních vrstvách je možno sledovat menší sesedání vrstev než ve vrstvách vyšších. Následně je možné 25.2.2010 sledovat nově uložené vrstvy. Z profilu 27.3.2010 se lze domnívat, že se jedná o období tání. Smícháním odtáté vody s nižšími vrstvami sněhu a vniknutím dešťové srážky došlo ke zvýšení izotopových hodnot jednotlivých vrstev.

V zimní sezóně 2010/2011 (obr. 5) byly odebrány 4 výškové profily. V případě profilu

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

z 25.11.2011 se jedná o sněhovou pokrývku, která následně celá odtála, a proto nelze pozorovat závislost mezi dalšími profily. Z porovnání profilů 13.1.2011 a 23.2.2011 lze pozorovat shodu vrstev ve spodní polovině výšky profilů. V těchto vrstvách nedošlo ke změně izotopového složení. A v horní polovině v případě profilu z 23.2.2011 lze pozorovat izotopové ztěžnutí oproti profilu 13.1.2011. Nejspíše je tento jev způsoben dešťovou srážkou, která byla zachycena pouze vrchními vrstvami sněhové pokrývky.



Obr. 5 Vývoj koncentrací izotopu $\delta^{18}\text{O}$ ve výškovém profilu sněhové pokrývky za zimní období 2009/2010 (vlevo) a za zimní období 2010/2011 (vpravo)

Závěr

Při sledování koncentrací izotopu $\delta^{18}\text{O}$ se ukázala možnost sledovat sněhovou pokrývku nejen jako celek, ale i jako vrstevnatou hmotu. Je umožněno sledování a lepší pochopení chování jednotlivých vrstev, jejich odtávání, sesedání a následné míchání odtáté vody do spodních vrstev. S odtáváním je spojen odtok z povodí. Pomocí $\delta^{18}\text{O}$ lze odhalit, zda se jedná o přímý odtok nebo zda se tající voda vsákne do půdy a „vytlačuje“ tak vodu, která je již pod povrchem v půdě a zvodni podzemní vody obsažena. Tento předpoklad se potvrdil za zimní období 2009/2010 a 2010/2011, kdy se ukázalo, že se sníh podílí na přímém odtoku na tomto povodí přibližně 10 – 25 %. Sledování, pochopení a důsledné popsání tohoto jevu pomocí $\delta^{18}\text{O}$ má do budoucna velké předpoklady uplatnění.

Literatura

Craig, H. and Gordon, L., 1965. Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere. In Ed. Tongiorgio, E. Stable isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures, Spoleto 1965: 9-130.

IAEA. 2006. Isotope Hydrology Information System. The ISOHIS Database. Accessible at: <http://isohis.iaea.org>

Kendall, C. and McDonnell, J.J. (Eds.), 1999. Isotope Tracers in Catchment

Hydrology, Elsevier Science B.V., Amsterdam. ISBN 13: 978-0-444-50155-4 Šanda, M. 2010 *Vyhodnocení vodního režimu horského povodí*. Praha, 2010.

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

Habilitační práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Šanda, M. 2010. Přirozené stabilní izotopy kyslíku a vodíku v hydrologii experimentálního povodí. In. *Hydrologické dny 2010*.

Modelování tání sněhové pokrývky v horském povodí

Jan Šmídl, Martin Šanda

České vysoké učení technické v Praze, F. stavební

Úvod

V Jizerských horách se nachází několik experimentálních povodí provozovaných experimentálním oddělením ČHMÚ. Výzkumné povodí Uhlířská se nachází v západní části Jizerských hor, severně nedaleko vodní nádrže Bedřichov. Se svou rozlohou 1,78 km² se jedná o nejmenší výzkumné povodí. Hydrologická měření zde probíhají od roku 1982. Modelování ukládání a tání sněhové pokrývky a následné simulace odtoku je zde provedena pouze za poslední roky. Správnou kalibrací modelu lze získat představu o průběhu vodní hodnoty sněhu po celé zimní období. Například lze získat informaci o průběhu vodní hodnoty mezi jednotlivými týdenními ručními měřeními. Nebo v případě měření sněhové pokrývky pomocí automatických sněhoměrů nám může sloužit model jako kontrolní informace o správnosti měření. Modely pak mohou být pomůckou při odhadu průběhu tání sněhu.

Modelování tání sněhové pokrývky

Výraz modelování sněhové pokrývky se používá pro simulace změn vodní hodnoty sněhu. Jde o simulaci srážkoodtokových poměrů. K tomu se používají dva základní druhy modelů. Jedná se o modely založené na indexu změny vodní hodnoty sněhu za zvolené období a o energetické modely. Oba způsoby vyjadřují úbytek vodní hodnoty sněhu v čase. Pro model je velmi důležité, aby dobře simuloval maximální vodní hodnotu sněhu a správné načasování tání sněhu, protože tyto dvě charakteristiky jsou nejdůležitější v hydrologii pro prognózu povodňového odtoku. (DeWalle a Rango, 2008)

Pro vyhodnocení sněhové pokrývky na povodí Uhlířská byly použity pouze indexové modely. Indexy v modelu sněhové pokrývky využívají závislost změny vodní hodnoty sněhu na teplotě popřípadě i rychlosti větru. Tyto modely jsou sdružené, tj. neberou v úvahu vrstvení sněhu a sněhová pokrývky je reprezentována jako jedna vrstva. Při použití této metody jde o proces, kdy je popsán velmi složitý děj tání sněhu zjednodušeně a sjednoceně pomocí indexu vyjadřujícího úbytek množství vodní hodnoty za jednotkový čas. Tato metoda se používá často zejména kvůli malé náročnosti na měření vstupních hodnot. Vstupními hodnotami zde jsou teplota vzduchu, srážky a případně rychlost a směr větru, které jsou snadno dostupné na hydrometeorologických stanicích. (DeWalle a Rango, 2008)

Degree day model - DDM

Jedná se o model využívající metodu teplotního indexu. Sleduje úbytek vodní hodnoty sněhu v závislosti na teplotě vzduchu. Úbytek vodní hodnoty za den M je vyjádřen rov. 1. Průběh vodní hodnoty sněhu za celé období je pak vyjádřen rov. 2.

$$M = DDF(T - T_c) \quad (1)$$

kde:

M – úbytek vodní hodnoty sněhu za den [mm.den⁻¹]

DDF – degree-day faktor [mm. °C. den⁻¹]

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

T - teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]

Tc - kritická teplota [$^{\circ}\text{C}$]

$$\text{SVH}_{n+1} = \text{SVH}_n (+P) - M \quad (2)$$

kde:

SVH – vodní hodnota sněhu [mm]

P – srážky [mm]

M – denní úbytek SVH [mm]

Pro použití tohoto modelu musí být stanoveny okrajové podmínky. Jde především o určení hodnoty kritické teploty vzduchu umožňující tání sněhu a hodnotu degree-day faktoru. Úbytek vodní hodnoty sněhu je uvažován jen tehdy, když je teplota vzduchu vyšší než kritická teplota. Pokud tomu tak není, je denní úbytek uvažován jako 0 mm.den^{-1} .

Snowmelt Runoff Model – SRM

Jedná se o model určený k simulaci a předpovědi odtoků v horských povodí, kde je odtok tvořen především táním sněhu. Model využívá hodnotu teplotního indexu a pokryvnost povodí sněhem. Též lze model využít k simulaci sněhové vodní hodnoty. Lze simulovat odtok z povodí po celý rok i sezónní průtoky v období ukládání a tání sněhové pokrývky. Struktura modelu je zřejmá z rov. 3. V modelu lze zahrnout vliv nadmořské výšky rozdělením na výškové zóny.

$$Q_{n+1} = [c_{sn} \times a_n (T_n + \Delta T) \times S_n + c_{Rn} \times P_n] \frac{A \times 10000}{86400} (1 - k_{n+1}) + Q_n \times k_{n+1} \quad (3)$$

Kde:

Q – průměrný denní průtok [m^3/s]

c – odtokový koeficient vyjadřující poměr mezi odtokem a srážkou, c_{Rn} pro dešťové srážky a c_{sn} pro sněhové srážky

a – degree day faktor [$\text{cm } ^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$]

T – průměrná denní teplota [$^{\circ}\text{C}$]

ΔT – rozdíl teplot s výškovou zónou [$^{\circ}\text{C}$]

S – pokryvnost sněhem [-]

P – srážka [cm]

A – plocha povodí [km^2]

k - recesní koeficient [-]

Aplikace modelů na povodí Uhlířská

Povodí Uhlířská bylo vybráno z důvodu dostatku hydrologických dat potřebných pro modelování sněhové pokrývky, konkrétně sněhové vodní hodnoty (SVH). Na povodí provádí výzkum ČHMÚ, ČVUT v Praze F. stavební, VÚV T.G.M. v.v.i, ČGS, AV ČR a další organizace, avšak doposud nebyly naměřené údaje využívány k modelování ukládání a

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

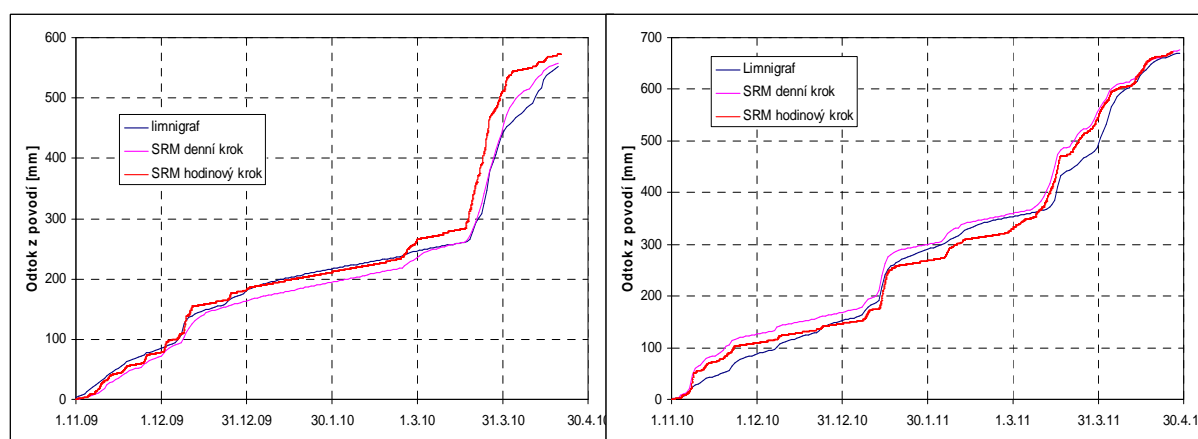
následnému tání sněhové pokrývky. Jelikož se jedná o malé horské povodí, je zde předpoklad pro vznik významného odtoku při jarním tání.

Za pomoci DDM byl simulován průběh sněhové vodní hodnoty za zimní období 2009/2010 a 2010/2011 v denním kroku simulace. Za pomoci SRM byla simulována nejen vodní hodnota sněhu, ale i odtok z povodí a jednotlivé průtoky taktéž za zimní období 2009/2010 a 2010/2011. V případě SRM byl použit denní krok a hodinový krok simulace.

Simulace průtoků a odtoku z povodí

Model SRM byl použit především pro simulaci odtoku z povodí a průtoků uzávěrovým profilem. Z obr. 1 lze pozorovat shodu modelu se záznamem z limnigrafické stanice na uzávěrovém profilu. Je vidět, že v období zimy 2009/2010 model vykazuje dobrou shodu v simulaci a reálném záznamu průběhu odtoku z povodí. Správně simuluje i celkové hodnoty odtoku. Lze vidět dobu počátku tání 20.3.2010. Tato doba je shodná i s modelem sněhové vodní hodnoty. V případě modelování v hodinovém kroku zpočátku model velmi vystihuje měřené hodnoty, ale v poslední třetině období dochází k nadhodnocování odtoku o 20 mm.

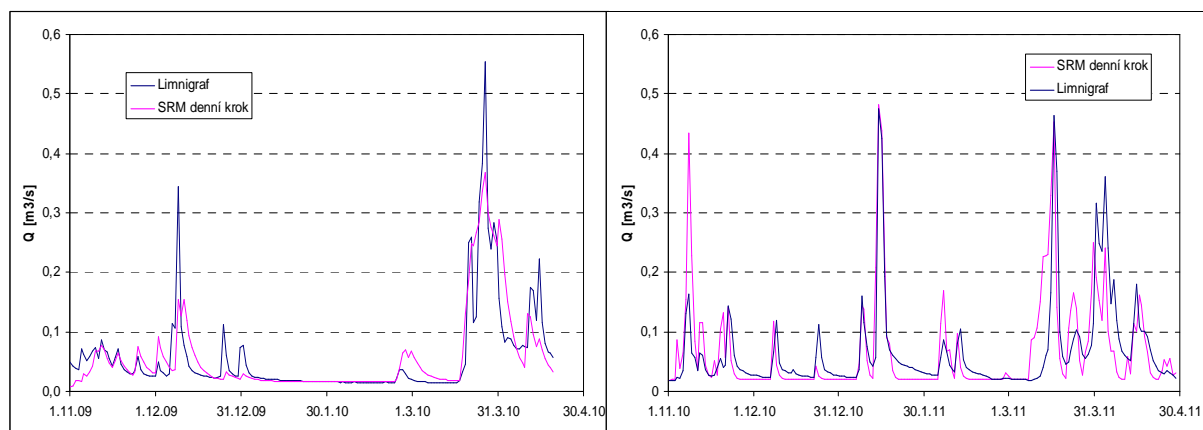
V zimní období 2010/2011 lze pozorovat nárůst modelovaného odtoku 8.-9. 11.2011. A to jak v případě denního, tak i hodinového kroku. Model tuto dobu vyhodnotil jako odtok z povodí způsobený táním sněhové pokrývky, které ve skutečnosti nenastalo. Je ale vidět, že celková bilance modelovaného a skutečného odtoku je shodná. Model vystihuje i epizody částečného odtávání v průběhu zimy.



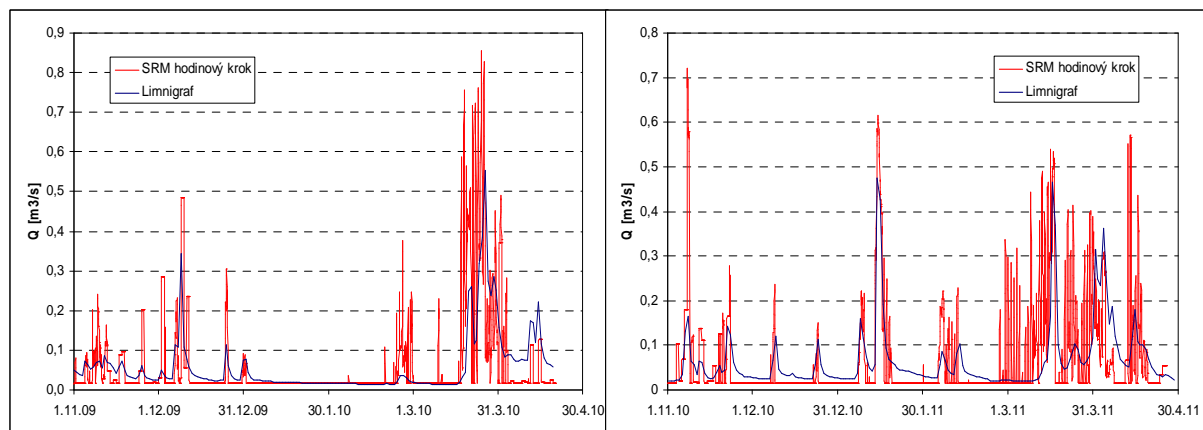
Obr. 1 Porovnání celkového měřeného a modelovaného odtoku z povodí Uhlířská pomocí Snowmelt runoff modelu v denním a hodinovém kroku za zimní období 2009/2010 (vlevo) a 2010/2011 (vpravo)

Při porovnání průměrných denních průtoků (obr. 2) lze pozorovat, do jaké míry je model schopný nasimulovat jednotlivé denní průtoky. Je patrné, že model vystihne období zvýšených průtoků, ale ne vždy přesnou hodnotu průtoku. V modelu není uvažována doba dotoku, a proto se hodnota modelovaného průtoku po zvýšení způsobeném táním rychle vrací na hodnotu základního odtoku. Tento jev je patrnější v modelovaném období 2010/2011. Při porovnání průměrných hodinových průtoků (obr. 3) lze pozorovat maximální namodelované průtoky. I zde je možné pozorovat absenci efektu doby dotoku. Model předpokládá okamžité uvolnění vody z povodí.

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník



Obr. 2 Porovnaní měřených a modelovaných průtoků pomocí Snowmelt runoff modelu v denním kroku uzávěrovým profilem povodí Uhlířská za zimní období 2009/2010 (vlevo) a 2010/2011 (vpravo)



Obr. 3 Porovnaní měřených a modelovaných průtoků pomocí Snowmelt runoff modelu v hodinovém kroku uzávěrovým profilem povodí Uhlířská u za zimní období 2009/2010 (vlevo) a 2010/2011 (vpravo)

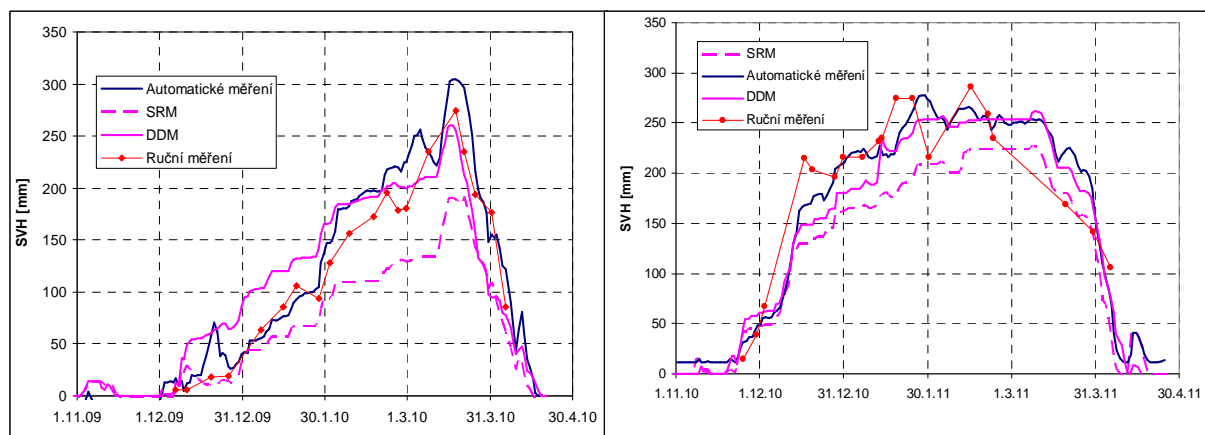
Porovnaní Degree day a Snowmelt runoff modelu při simulaci vodní hodnoty sněhu

I přesto, že je model SRM primárně určen na simulaci odtoku z povodí, byl vyzkoušen na simulaci ukládání a tání sněhové pokrývky.

Degree day model a Snowmelt runoff model lze srovnávat pouze z hlediska ukládání a tání sněhové pokrývky. Z obr. 4 je vidět, jak oba modely popisují skutečně naměřené hodnoty.

Degree day model se jeví jako lepší pro popis změn průběhu sněhové vodní hodnoty. Avšak za předpokladu, že Snowmelt runoff model je určen primárně k modelování odtoku z celého povodí, které popisuje správně viz obr.2, se můžeme domnívat, že se jedná o průměrný průběh vodní hodnoty sněhu pro celé povodí Uhlířská. Na rozdíl od Degree day modelu, který popisuje pouze jednu lokalitu, ve které je prováděno ruční i kontinuální měření (obr. 5). Toto může být jedním z důvodů neshody těchto dvou modelů.

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník



Obr. 4 Porovnání modelované a měřené sněžové vodní hodnoty pro povodí Uhlířská za období 2009/2010 (vlevo) a 2010/2011 (vpravo)



Obr. 5 Váhový sněhoměr na lokalitě Uhlířská - Tomšovka, ČVUT v Praze

Závěr

Sledování ukládání a tání sněžové pokrývky v horských povodích má z hydrologického hlediska veliký význam nejen pro predikci povodňových epizod, ale i pro představu o zásobě vody vhodné pro úpravu na pitnou vodu. Z těchto důvodů je nejdůležitější hodnotou při vyhodnocování sněžová vodní hodnota. V horských oblastech pramení většina našich řek a voda obsažená ve sněhu v horských oblastech má v období tání významný vliv na tvorbu povodňových průtoků v níže položených oblastech.

V práci jsou použity dva indexové modely pro simulaci vodní hodnoty sněhu. Degree day model je často používán především pro jednoduchost získání vstupních hodnot. Komplexnější

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

Snowmelt runoff model je sice náročnejší na vstupní data, ale už uvažuje na rozdíl od Degree day modelu celé povodí. Pomocí modelů pro určení průběhu vodní hodnoty sněhu během zimních období použitých v této práci lze získat představu o průběhu vodní hodnoty sněhu. Například lze získat představu o průběhu vodní hodnoty sněhu mezi jednotlivými ručními měřeními. Degree day model ani Snowmelt runoff model zdaleka nenahrazují ruční či automatické měření vodní hodnoty anebo mnohem přesnější energetické modely.

Při porovnání obou modelů použitých v této práci k simulaci vodní hodnoty sněhu a naměřených hodnot se jeví, že Degree day model popisuje naměřenou skutečnost lépe než Snowmelt runoff model. Jde ale pouze o simulaci v místě sněhoměrné stanice. Jak již bylo zmíněno, Snowmelt runoff model uvažuje celé povodí, z tohoto důvodu model simuluje průměrné hodnoty pro celé povodí. To platí za předpokladu, že správně simuluje i odtok z povodí. Neshoda mezi simulací sněhové vodní hodnoty pomocí Snowmelt runoff modelu a měřenými hodnotami na lokalitě Uhlířská-Tomšovka vede k zamyšlení, zda je tato lokalita dostatečně reprezentativní pro celé povodí.

Jelikož jsou oba modely založeny na indexové metodě, je jejich velkou slabinou správné stanovení velikosti degree day faktoru a kritické teploty. Oba modely vykazují nestabilitu v období, kdy se denní průměrné teploty pohybují okolo teploty kritické. Model pak může špatně vyhodnotit druh případné srážky. Při snaze tento problém modelu odstranit zmenšením denního kroku na krok hodinový se ukázalo, jak moc je pro model důležité, kdy a za jaké teploty srážka vypadla. Při lineárním rozložení denního úhrnu srážek na hodinové úhrny se ukázalo špatné vyhodnocování modelem především v období tání, kdy jsou změřeny teploty ve dne nad a v noci pod kritickou teplotou. V případě modelování v hodinovém kroku je tedy nutné měřit i vstupní veličiny ve stejném intervalu.

Pro modelování odtoku z povodí a průtoků byl použit model Snowmelt runoff. Ukázalo se, že model správně simuluje průběh a velikost odtoku. Model však uvažuje okamžitý odtok veškeré uvolněné vody při tání z povodí. To má za následek nepřesnosti v simulaci průměrných denních průtoků po období tání.

Literatura

- Bercha, Š. 2007. Zásoby vody ve sněhové pokrývce a charakteristiky odtoku v experimentálních povodích v Jizerských horách. Sborník konference mladých hydrologů. 2007.
- DeWalle, D.R. a Rango, A. 2008. Principles of snow hydrology. Cambridge University Press.
- Holko, L., Sokratov S.A., Shmakin, A.B. a Kostka, Z. 2009. Simulation of snow water equivalent by mathematical models of different complexity. Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovanií [Data of Glaciological Studies], 107, 72-80.
- Martinec, J. 1960. The degree-day factor for snowmelt-runoff forecasting.
- Šanda, M. 2009, Uhlířská, poster 33. Status and Perspectives of Hydrology in Small Basins. On the occasion of 60 years of hydrological measurements in the Bramke research basins in the Upper Harz Mountains, Germany Goslar-Hahnenklee, Federal Republic of Germany, 30 March-2 April 2009
- Šanda, M. 2010. Vyhodnocení vodního režimu horského povodí. Praha, 86 s. Habilitační práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební.
- Šmídl, J. 2010. Vyhodnocení hydrologického vlivu sněhové pokrývky na odtok z povodí Uhlířská. 77 s. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební.

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

Tachecí, P. Hydrologický režim malého horského povodí a odhad účinků změny porostu. Praha, 2002. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze.

Detekce nulové izochiony pomocí družicových snímků MODIS v rámci České republiky

Kateřina Tučková, Šimon Bercha, Libor Ducháček, Jan Jiráček, Lukáš Brodský

Gisat s.r.o., Milady Horákové 57, 170 00 Praha 7

Český hydrometeorologický ústav, Oddělení hydrologického výzkumu

katerina.tuckova@gisat.cz, bercha@chmi.cz, duchacek@chmi.cz,
jirak@chmi.cz, lukas.brodsky@gisat.cz

Úvod

Poloha sněhové linie v jednotlivých pohořích České republiky je v průběhu roku značně variabilní a její určení vyžaduje rozsáhlý soubor vstupních dat. Využití časové řady družicových snímků zachycujících výskyt sněhové pokrývky v průběhu zimní sezóny přináší nezbytné informace umožňující analýzu trendu a variability nadmořské výšky sněhové linie. Vedle toho jsou nezastupitelným zdrojem informací pozemní měření vodní hodnoty a výšky sněhové pokrývky z meteorologických stanic ČHMÚ.

Cílem předkládaného příspěvku bylo ověřit možnost využití časové řady družicových snímků Terra a Aqua MODIS pro určení trendu a variability nadmořské výšky sněhové linie v jednotlivých pohořích České republiky. Dále také srovnání získaných výsledků s výstupy Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) vytvářených orografickou interpolací pozemních měření výšky a vodní hodnoty sněhu. Analyzovány byly satelitní snímky ze zimní sezóny 2010/2011 a 2011/2012, volené na základě časového a kvalitativního ukazatele. Stanovená metoda byla aplikována na 35 scén, které dále vstupovaly do kvantitativního srovnání.

Detekce sněhové linie z družicových dat

Z využití satelitních snímků pro detekci polohy sněhové linie plyne řada výhod. Družicová data přináší informace z celého území České republiky v jeden okamžik, v jediný okamžik můžeme určit místa pokrytá sněhovou pokrývkou a bez sněhu. Když si uvědomíme, že na území České republiky se nachází cca 420 meteorologických stanic a na druhou stranu data DPZ se skládají z více jak 1 200 000 obrazových bodů obsahujících spektrální informaci, je jejich využití pro sledování sněhové pokrývky na tak rozsáhlém území nezastupitelné. Další důležitou předností těchto dat je aktuálnost a časová dostupnost. Každý den jsou k dispozici dva satelitní snímky pokrývající celé naše území několik hodin po jejich pořízení, což umožňuje zpracování v reálném čase. Jelikož pracujeme s optickými daty DPZ jistá omezení s sebou přináší oblačnost, kterou je však možné nahrazovat informacemi z radarových dat, která jí nejsou ovlivňována. V současné době nachází sněhová linie detekovaná z dat DPZ své hlavní využití ve zpřesňování interpolací pozemních měření ČHMÚ.

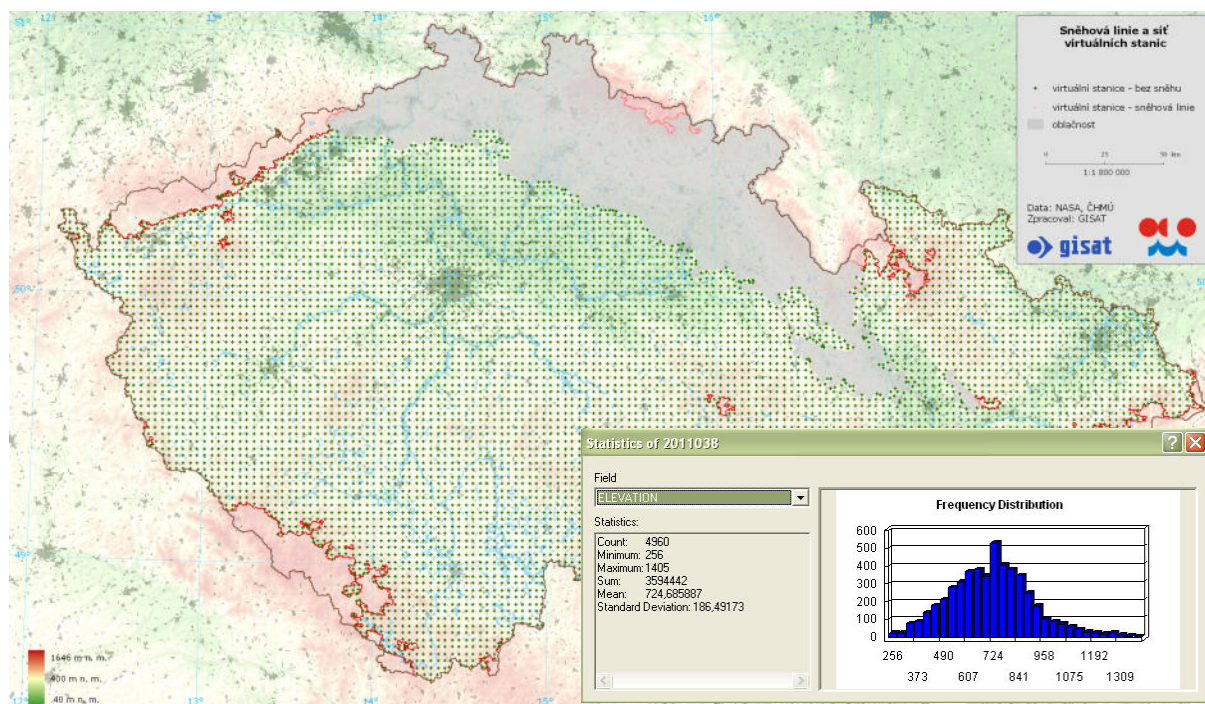
Zpracování družicových scén Terra a Aqua MODIS

Výběr družicových snímků pro analýzu polohy sněhové linie byl založen zejména na datu jejich pořízení a množství oblačnosti. Pro každý týden sledovaného období byl volen jeden reprezentativní snímek. Vzhledem k rozsáhlé pondělní datové základně pozemních měření ČHMÚ byly vybírány scény přímo pořízené v tento den nebo v nejbližším možném termínu.

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

Zohľadnený bol taký vývoj stavu snehovej pokrývky. Pokiaľ v priebehu monitorovaného týždňa nedošlo k výrazným zmenám snehu, tání alebo naopak sněžení, bolo možné využiť i scény z priebehu celého týždňa popř. vytvoriť jejich kompozity. Zároveň byly z analýzy vyloučeny snímky, na nichž sníh pokrýval celé území České republiky.

Následné zpracování vybraných scén se skládalo z několika kroků. V první řadě bylo nutné vytvořit klasifikaci snehové pokrývky jednotlivých scén resp. stanovit masku sněhu. Masku sněhu vyjadřuje místa s výskytom snehové pokrývky a bez sněhu. Poté byla na okraji masky sněhu vygenerována snehová linie tvořená sítí virtuálních stanic. Každému bodu snehové linie byla na základě SRTM DEMu v rozlišení 250 m přiřazena nadmořská výška sloužící k dalším výpočtům. Výsledná snehová linie byla prezentována v několika podobách – ve formě SHP, mapy a histogramu. Ukázkou vizualizace snehové linie a histogramu nadmořských výšek priebehu príslušné nulové snehové linie uvádí následující obrázek 1.



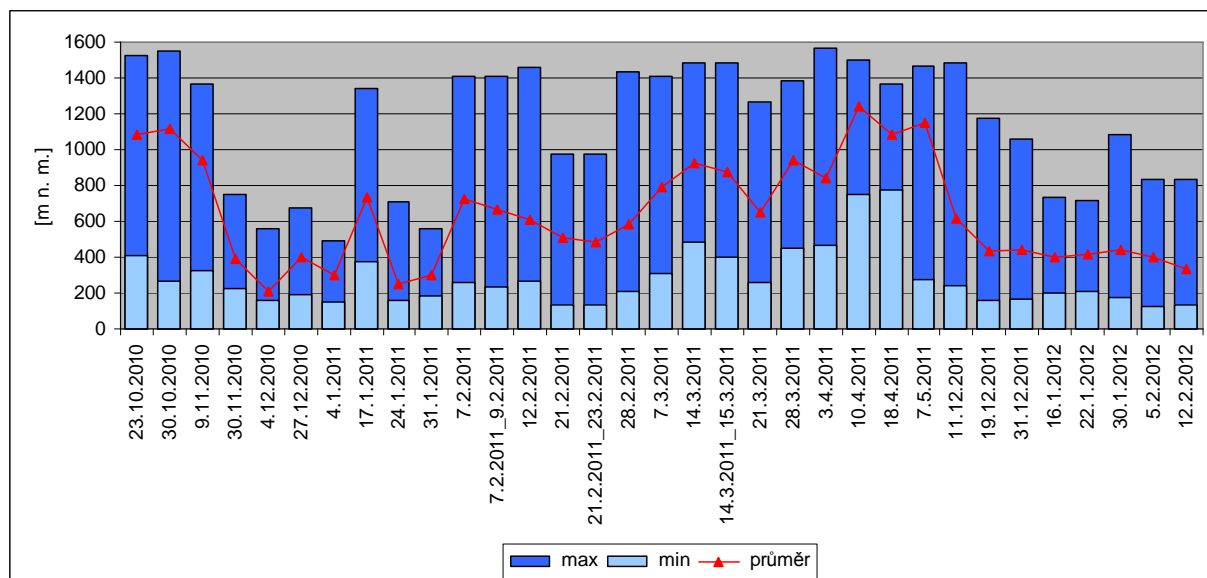
Obr. 1 Ukázka snehové linie 7. 2. 2011

Fig. 1 Example of snow line from 7. 2. 2011

Variabilita snehové linie dle dat DPZ

Na základě snehových linií stanovených dle DPZ bylo zjištěno, že variabilita nadmořské výšky snehové linie je v rámci celé České republiky velmi vysoká. Také trend její polohy nelze jednoznačně určit, jelikož s časem a meteorologickými podmínkami dochází k výrazným výkyvům. Toto tvrzení dokládá následující graf 1, vyjadřující maximální, minimální a průměrnou nadmořskou výšku polohy snehové linie v jednotlivých dnech.

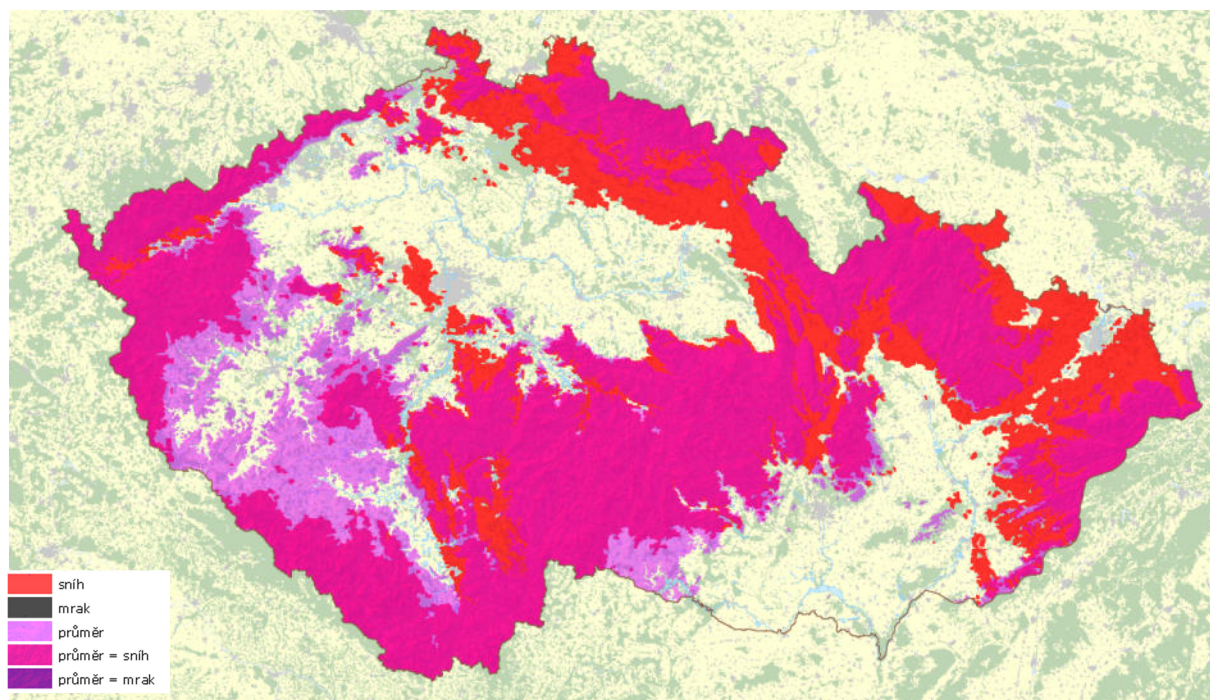
XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník



Graf 1 Variabilita snehové línie z dat DPZ

Graph 1 Variability of snow line detected from DPZ data

Jak je z grafu 1 patrné rozdíl mezi minimální a maximální hodnotou nadmořské výšky v jeden den může dosahovat až stovek metrů. Pokud by se pro stanovení polohy snehové línie použila pouze průměrná nadmořská výška, tedy jediná hodnota, došlo by v některých částech ČR k nadhodnocení a v jiných k podhodnocení rozsahu snehové pokrývky. Následující obrázek 2 přináší vizualizaci průměrné hodnoty nadmořské výšky stanovené z histogramu. Můžeme zde vidět masku snehové pokrývky zjištěnou ze satelitních snímků překrytou maskou sněhu vytvořenou na základě průměrné polohy snehové línie v ČR. Za předpokladu, že všechny oblasti s nadmořskou výškou větší než je průměrná hodnota jsou pokryty sněhem, je výsledek následující: tmavě růžové oblasti vyjadřují shodu obou masek, tj. v obou maskách je sníh; červeně jsou oblasti, kde by došlo vlivem využití průměrné hodnoty k podhodnocení rozsahu snehové pokrývky a světle fialově jsou místa, kde by došlo naopak k jejímu nadhodnocení.



XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

Obr. 2 Vztah reálné sněžové linie a průměrné nulové izochiony určené z DEMu

Fig. 2 Relationship of the real snow line with the average zero isochion detected from DEM

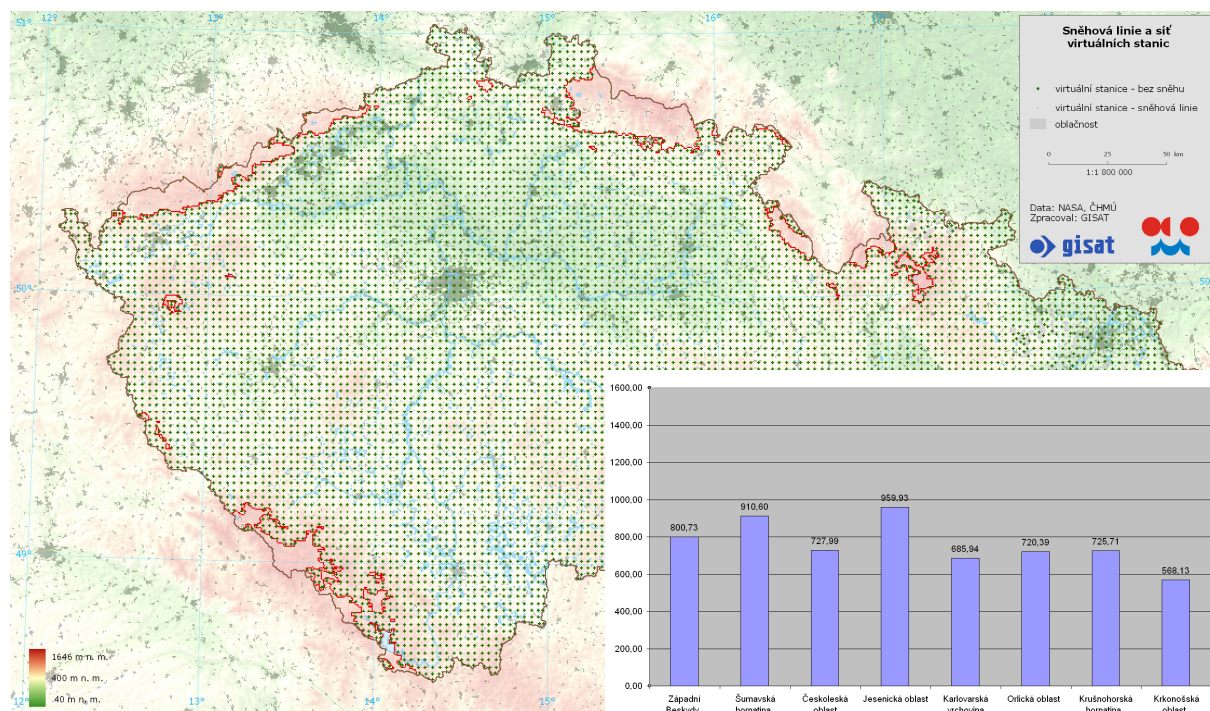
Vzhledem k vysoké variabilitě polohy sněžové linie v rámci celé České republiky byly provedeny testy také dle jednotlivých pohoří. K tomuto účelu bylo využito geomorfologického členění ČR, konkrétně vybraných geomorfologických oblastí – viz. obrázek 3.



Obr. 3 Testované geomorfologické oblasti ČR

Fig. 3 Tasted geomorphological unit of the Czech Republic

Variabilita polohy sněžové linie je značně vysoká i v rámci jednotlivých pohoří a nelze tak ani v tomto případě usuzovat na jednoznačném trendu. Na základě výsledků však můžeme konstatovat několik poznatků, které jsou ovšem silně ovlivněny aktuálním stavem sněžové pokrývky. Z tohoto důvodu je potřeba zimní sezónu rozdělit na několik období dle stavu sněhu. Pokud se sněžová pokrývka nachází pouze v horských oblastech, jako je tomu například v ukázce na obrázku 4, lze stanovit pořadí jednotlivých pohoří dle polohy sněžové linie následovně: v nejvyšších polohách se sněžová linie nachází v Jesenické oblasti, Šumavské hornatině, Západních Beskydách a Krušnohorské hornatině. Na posledních místech je pak Orlická a Krkonošská oblast v nichž je linie prakticky ve stejné nadmořské výšce a jejich pořadí je proměnné. V případech, kdy je sněžová pokrývka i v nižších nadmořských výškách není možné stanovit jednoznačné pořadí pohoří, jelikož je poloha sněžové linie značně proměnlivá. Na závěr jsou zde období na počátku a konci zimy, kde bylo vypořazováno, že sníh se nachází v nejvyšších polohách v Krkonošské a Jesenické oblasti.



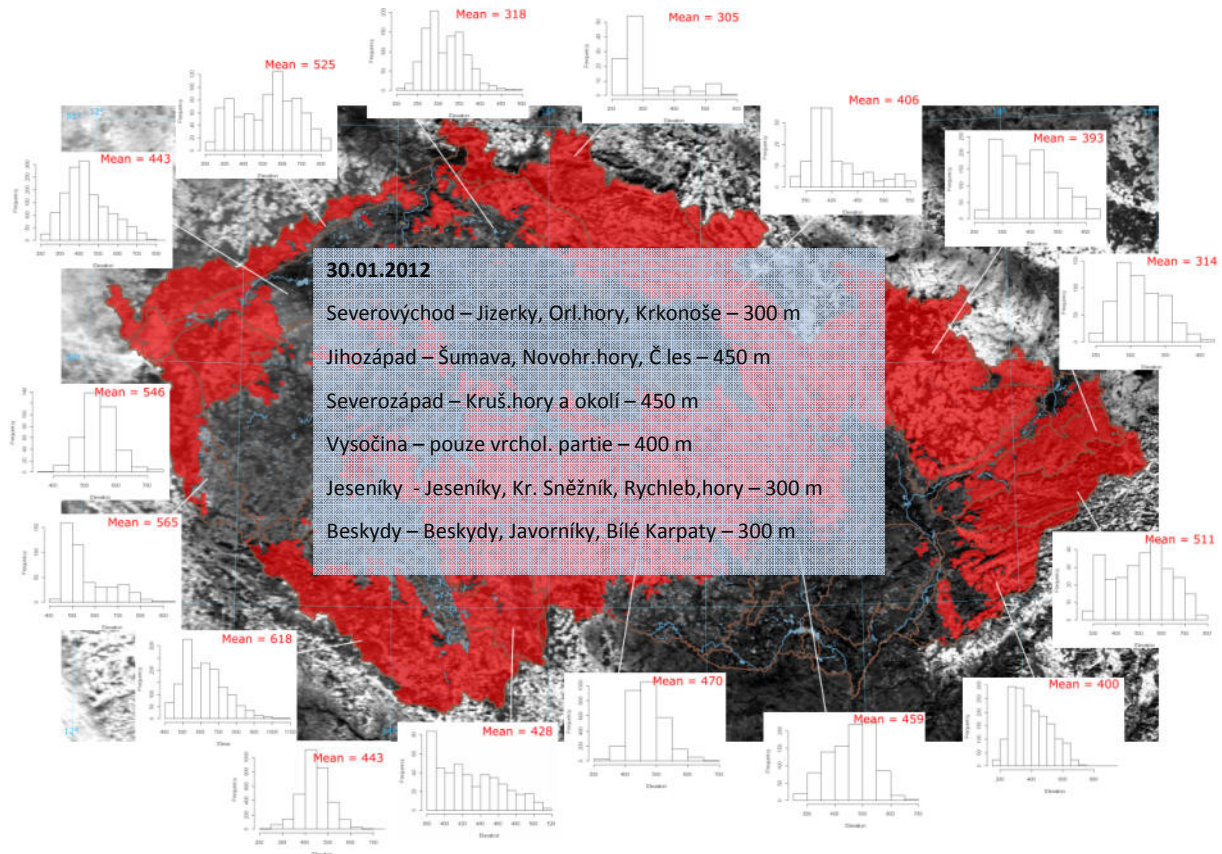
Obr. 4 Variabilita sněžové linie dle pohoří ČR

Fig. 4 Variability of snow line according to Czech mountains

Detekce sněžové linie z pozemních měření

Stanovení rozsahu sněžové pokrývky z pozemních měření meteorologických stanic ČHMÚ je založeno na orografické interpolaci naměřených hodnot SVH. Základ představuje cca 420 bodových měření a dle expertních znalostí stanovená jednotná nulová izochiona. Vzhledem k výrazné variabilitě polohy sněžové linie v jednotlivých pohoří ČR vede využití jediné průměrné hodnoty nadmořské výšky k nepřesnostem v prováděné interpolaci, která může probíhat i mimo skutečný výskyt sněžové pokrývky. Využití informací z dat DPZ pro stanovení nulové izochiony by mohlo zvýšit přesnost jejího určení jak ukazuje následující obrázek 5. Jednotlivé histogramy uvádějí hodnoty nadmořské výšky polohy nulové izochiony v dané geomorfologické oblasti. Výpis uprostřed poté postup stanovování nulové izochiony a její generalizaci. Ukázkou výsledné orografické interpolace z 30. 1. 2012 uvádí následující obrázek 6.

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník



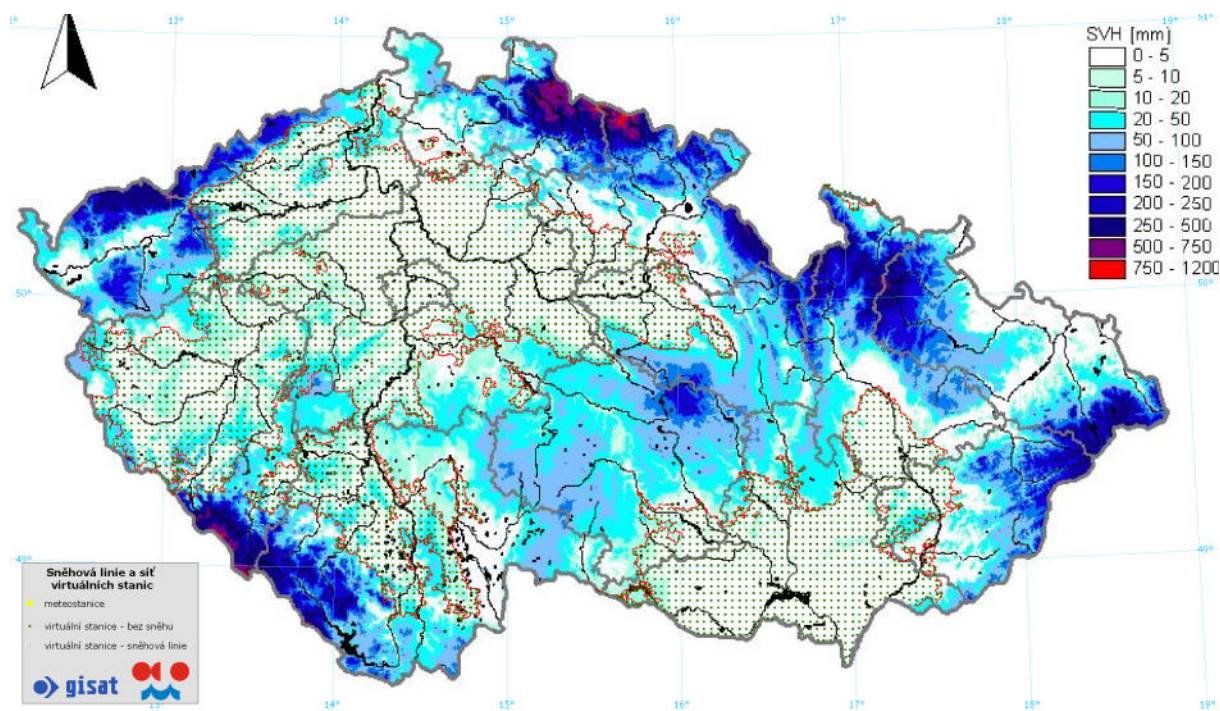
Obr. 5 Stanovení nulové izochiony pro orografickou interpolaci
 Fig. 5 Determination of zero isochion for orographic interpolation



Obr. 6 Orografická interpolace SVH 30. 1. 2012 (tm. modrá – nejvyšší hodnota SVH, červené body – použité meteostanice)
 Fig. 6 Orographic interpolation SVH 30. 1. 2012 (dark blue – the highest value of SVH, red points – used weather stations)

Srovnání stanovených sněhových linií

Hlavním cílem předkládaného příspěvku byla analýza možností využití dat DPZ ke zlepšení interpolací pozemních měření vodní hodnoty a výšky sněhu ČHMÚ. Následující obrázek 7 ukazuje jaký rozdíl může nastat mezi rozsahem sněhové pokrývky interpolované výšky sněhu a sněhovou linií detekovanou z dat DPZ. V obrázku je uvedena výška sněhové pokrývky ČHMÚ ze dne 21.2.2012 a sněhová linie z dat DPZ ze stejného dne. Jak můžeme vidět v některých místech proběhla interpolace výšky sněhu mimo sněhovou pokrývku a došlo tedy k jejímu nadhodnocení, např. na jižní Moravě, v jižních Čechách. V jiných místech naopak k jejímu podhodnocení, např. na severní Moravě. K odstranění těchto nepřesností by měla pomoci úprava interpolačního procesu zahrnující rovněž informace o sněhové pokrývce z družicových dat.



Obr. 7 Srovnání sněhové linie z DPZ a interpolace výšky sněhu ČHMÚ

Fig. 7 Comparison of snow cover detected from satellite data and snow depth interpolation CHMI

Závěr

Sněhová linie na území České republiky má vysokou variabilitu nadmořských výšek, která je významná i v rámci jednotlivých pohoří. Nelze tak usuzovat na jednoznačném vývoji její polohy, ale v některých obdobích lze sledovat jistý trend, a to pokud je sníh pouze v horských oblastech. Důležité je připomenout, že analýza probíhala pouze na datech z letošní a loňské zimní sezóny a pro potvrzení zjištěných závěrů by bylo vhodné ve sledování pokračovat i nadále. Dalším z poznatků plynoucích z provedených analýz je fakt, že využití modelu terénu pro určení nulové sněhové linie je problematické a pro zpřesnění interpolace je vhodné využít sněhovou linii přímo v interpolačním procesu a ne pouze určit její průměrnou polohu v modelu terénu. Zjištěné poznatky otvírají další otázky týkající se především doladění využití dat DPZ pro zlepšení interpolací ČHMÚ. Nabízí se řada možností jak interpolace zpřesnit:

- Interpretovat pouze pod maskou sněhové pokrývky zjištěné z DPZ?

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

- Využití masky sněhové pokrývky pro ořez interpolace?
 - o Ošetřeno pouze nadhodnocování, opačný případ nikoliv
 - o Sněhová pokrývka bude náhle končit např. výškou 20 cm a ne blízkou nule
- Využití histogramu sněhové pokrývky k určení průměrné hodnoty nulové izochiony vstupující do interpolačního procesu?
 - o Dle testů prokázána vysoká variabilita polohy sněhové linie
 - o Využití více nulových izochion dle pohoří ČR? – Lokální X Globální interpolace?
- Vytvoření virtuálních stanic také na sněhové pokrývce s interpolovanou výškou sněhu (vyrovnání počtu stanic s a bez sněhu)?
- Využití kombinace výše uvedených možností?

Resumé

The position of the snow line in the Czech Republic is very variable and its determination requires a robust set of input data. The time series of satellite images contains important information about presence of snow cover. Their use provides a trends analysis or variability of snow line elevation. Important source of information is in-situ data of snow depth and snow water equivalent from the weather station of CHMI. The aim of this article was to test the use of the satellite images Terra and Aqua MODIS for an analysis of the snow line in the Czech mountains. The next goal was to compare the results with CHMI outputs that are based on orographic interpolation of in-situ data only. The important part of the performed test was also definition of interpolation improvements. The satellite data were selected base on time and qualitative indicator. In total there were processed 35 satellite images from the winter season 2010/2011 and 2011/2012. The most important advantage of the satellite data in comparison with in-situ data is Near Real Time availability of the data and full sampling coverage. In the Czech Republic there are about 420 weather stations on the other hand the satellite images include spectral information from more than 1 200 000 pixels at the same time. Every day there are two satellite images, Aqua and Terra MODIS with the spatial resolution 250 m, available several hours after their acquisition.

According to the results there was found that variability of the snow line position is very high also in the each Czech mountains. The development of snow line position is not trivial. Also it is not possible to determine trend in snow line elevation. The most important conclusion of the test is fact that combination of in-situ and Remote Sensing data is beneficial and interpolation is greatly enhanced.

Literatura

- Bartsch, A. et al. (2007): Monitoring of spring snow melt with ENVISAt ASAR WS in the Eastern Alps by combination of ascending and descending orbits, in Proceedings “ENVISAT Symposium 2007”, Montreux, Switzerland, pp. 23-27 April 2007.
- Brodský, L., Kodešová, R., Spazierová, K. (2010): Synergy of earth observation and in-situ monitoring data for flood hazard early warning system. The 2010 European Space Agency Living Planet Symposium. Bergen, Norway, 28 June - 2 July 2010.
- Brodský, L., Kodešová, R., Spazierová, K. (2010): Synergie dat dálkového průzkumu Země a in-situ dat pro systém monitoringu a předpovědi vzniku povodňového jevu. Hydrologické dny 2010, Voda v měnícím se prostředí, Hradec Králové, 25.-27.10.2010.

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

- Salomonson, V.V., Appel, I. (2003): Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index, *Remote Sensing of Environment*, vol. 89, pp. 351–360.
- Sirguey, P., Mathieu, R., Arnaud, Y. (2008): Subpixel monitoring of the seasonal snow cover with MODIS at 250 m spatial resolution in the Southern Alps of New Zealand: Methodology and accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, vol. 113, pp. 160–181.
- Vermote, E. F., Kotchenova, S. Y., Ray, J. P. (2008): MODIS Surface Reflectance User's Guide Version 1.2, MODIS Land Surface Reflectance Science Computing Facility (<http://modis-sr.ltdri.org>)

Operační monitoring sněhové pokrývky z dat dpz v zimní sezóně 2011 – 2012

Kateřina Tučková, Lukáš Brodský, Václav Vobora, Tomáš Bartaloš

Gisat s.r.o., Milady Horákové 57, 170 00 Praha 7

katerina.spazierova@gisat.cz, lukas.brodsky@gisat.cz, vaclav.vobora@gisat.cz,
tomas.bartalos@gisat.cz

Úvod

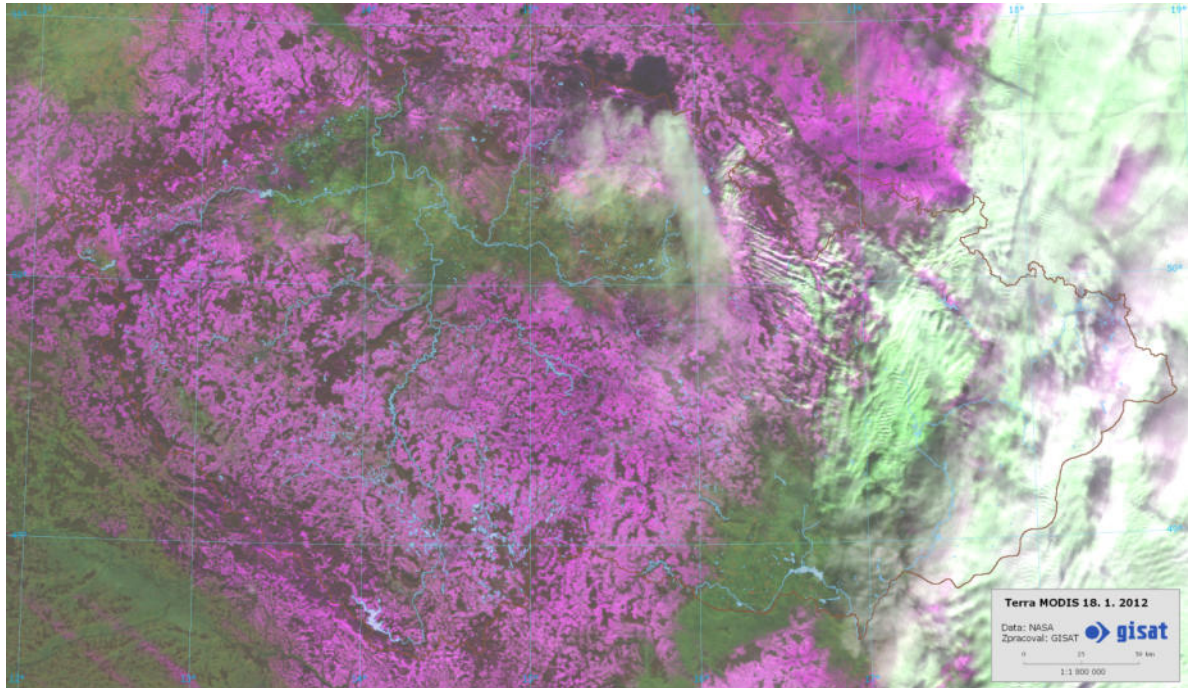
Monitoring sněhové pokrývky z dat dálkového průzkumu Země (DPZ) vstoupil do operačního režimu počátkem roku 2011. Systém založený na družicových scénách Terra a Aqua MODIS s prostorovým rozlišením 250 m je určen pro podporu stávajících předpovědních a monitorovacích aktivit Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Vzhledem k vyvíjejícím se požadavkům uživatele dochází k rozšiřování poskytovaných produktů a změnám monitorovacího systému. Předkládaný článek je proto věnován zejména novinkám letošní zimní sezóny 2011/2012 a jejich kompatibilitě s výpočty ČHMÚ.

Operační monitoring sněhové pokrývky z dat DPZ je systém navazující na výzkumný projekt FLOREO (Demonstration of ESA Environments in support to FLOod Risk Earth Observation monitoring), který byl ukončen v prosinci roku 2010. Jeho hlavním cílem bylo vyvinutí systému spojujícího data DPZ s daty pozemního měření z meteostanic.

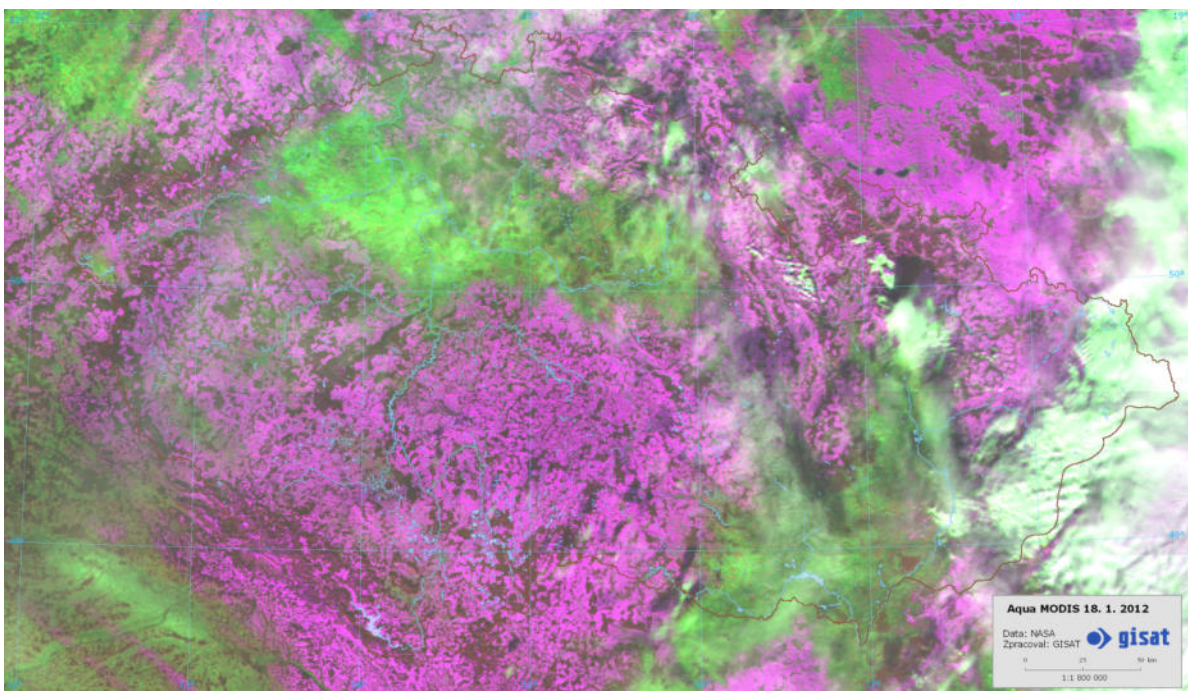
Základ celého operačního systému monitoringu sněhové pokrývky představují družicová data Terra a Aqua MODIS s prostorovým rozlišením 250 m. Jejich každodenní zpracování a interpretace v průběhu zimní sezóny přináší ucelený pohled na rozsah sněhové pokrývky na území České republiky. Dle masky sněhu vycházející ze satelitních snímků jsou vytvářeny další produkty směřující k hlavnímu poskytovanému produktu, kterým je sněhová linie a síť virtuálních stanic.

Rozšíření datové základy družicových scén

Systém původně založený na družicových scénách Terra MODIS v letošní zimní sezóně 2011/2012 využívá také dat z družice Aqua rovněž se senzorem MODIS. Monitoring pomocí dvojice družic přináší několik výhod. Optická data pokrývající celé území České republiky jsou dostupná dvakrát za den. Družicové scény jsou pořizovány v dopoledních (Terra) i odpoledních hodinách (Aqua) a jsou k dispozici několik hodin po jejich nasnímání, což umožňuje zpracování v reálném čase. Využití dat z rozličné denní doby do jisté míry eliminuje vliv oblačnosti, která se mezi pořízením scén může významně posunout a tedy odhalit původně zatažené oblasti. Výsledná klasifikace sněhové pokrývky je tvořena kombinací scén Terra a Aqua MODIS a zachycuje tak maximální možnou viditelnou plochu České republiky. Další změnou úzce související s družicovými daty je v letošní zimní sezóně přechod ze souřadného systému S-JTSK do S42. Důvodem je dosažení lepší kompatibility s podklady ČHMÚ. Jelikož se nejedná o standard NASA je potřeba veškeré družicové scény do tohoto souřadného systému reprojektovat. Ukázky družicových scén Aqua a Terra MODIS z 18. 1. 2012 přináší následující obrázky 1 a 2.



Obr. 1 Terra MODIS 18. 1. 2012 10:30
Fig. 1 Terra MODIS 18. 1. 2012 10:30



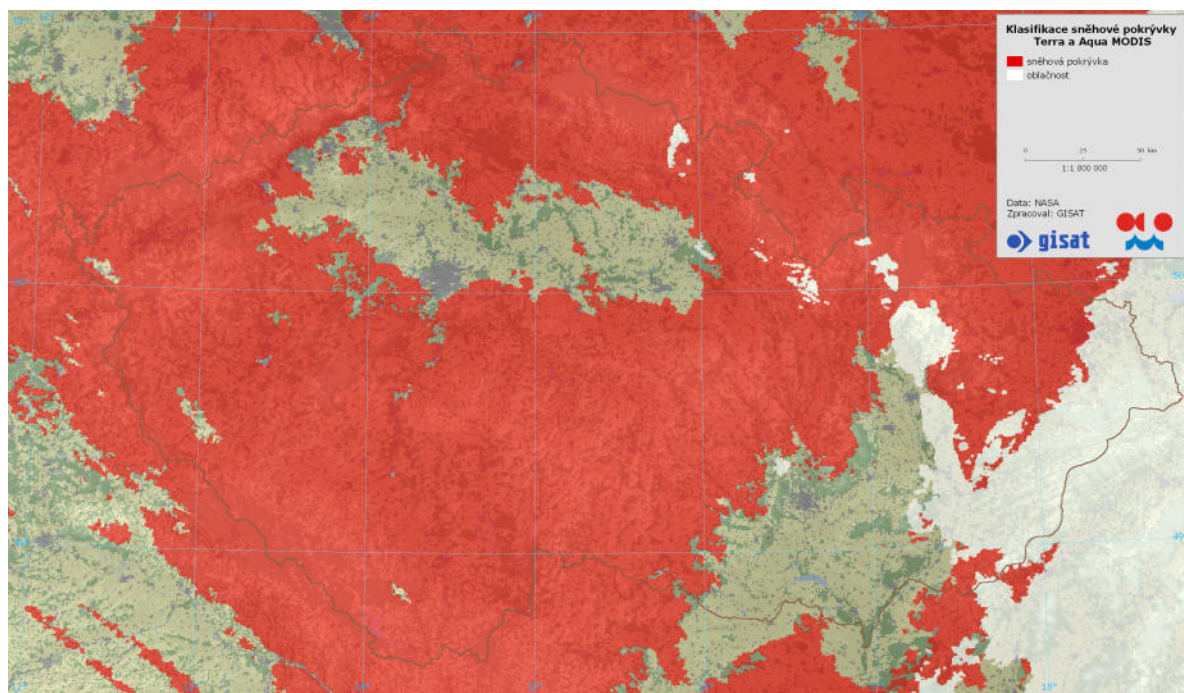
Obr. 2 Aqua MODIS 18. 1. 2012 12:15
Fig. 2 Aqua MODIS 18. 1. 2012 12:15

Sněhová linie a síť virtuálních stanic bez sněhové pokrývky

Zcela novým produktem letošní zimní sezóny je sněhová linie a síť virtuálních stanic bez sněhové pokrývky. Klasifikace sněhové pokrývky získaná z družicových dat slouží jako základní podklad pro vytvoření sněhové linie. Pokud je část České republiky zahalena oblačností jsou tato místa nahrazována vypočtenou pravděpodobností výskytu sněhové pokrývky z pozemních měření 80ti meteostanic ČHMÚ. Výsledkem je tzv. kombinovaná

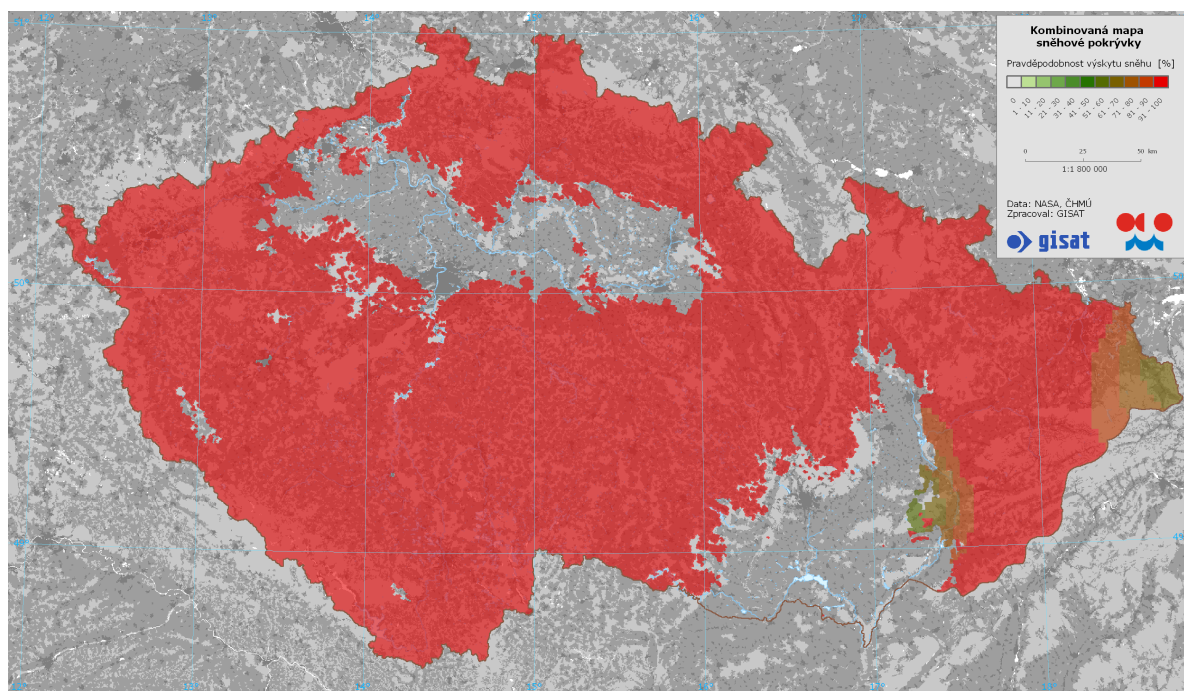
XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

mapa sněhu z níž je generována sněhová linie ve formě bodové vrstvy. Každému bodu sněhové linie je přiřazena nadmořská výška, hodnota výšky sněhu (SCE) 0.1 a vodní hodnota sněhu (SVH) rovněž rovna 0.1. V místech bez sněhové pokrývky je vytvořena pravidelná síť virtuálních stanic s hodnotou SCE a SVH rovnou 0. Tyto dva produkty slouží ke zlepšení interpolací výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhu z pozemních měření, kde fungují jako bariéry omezující probíhající interpolaci. Výsledná sněhová linie je poskytována ve formě txt, shp a jako mapa ve formátu png. Ukázky jednotlivých produktů uvádí obrázky 3 až 6.



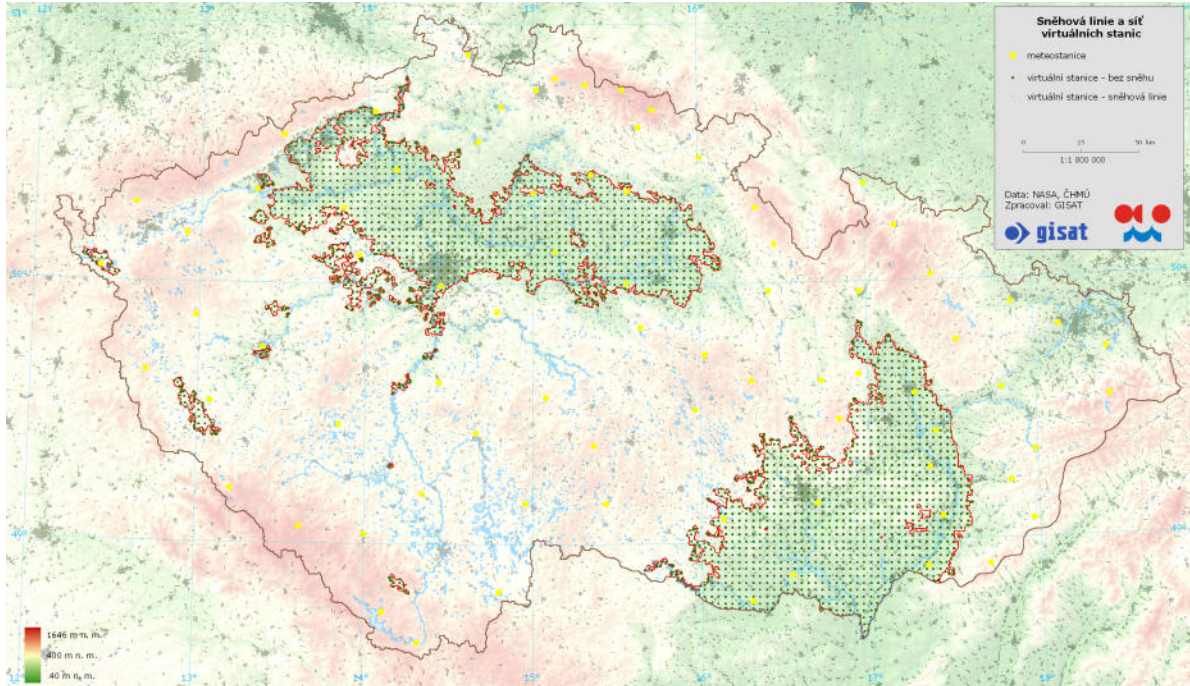
Obr. 3 Klasifikace sněhové pokrývky Terra a Aqua MODIS

Fig. 3 Snow cover classification according to scene Aqua and Terra MODIS



XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

Obr. 4 Kombinovaná mapa sněhu
Fig. 4 Combined snow map



Obr. 5 Sněhová línie a síť virtuálních stanic ve formě mapy
Fig. 5 Snow line and virtual network of stations in the map

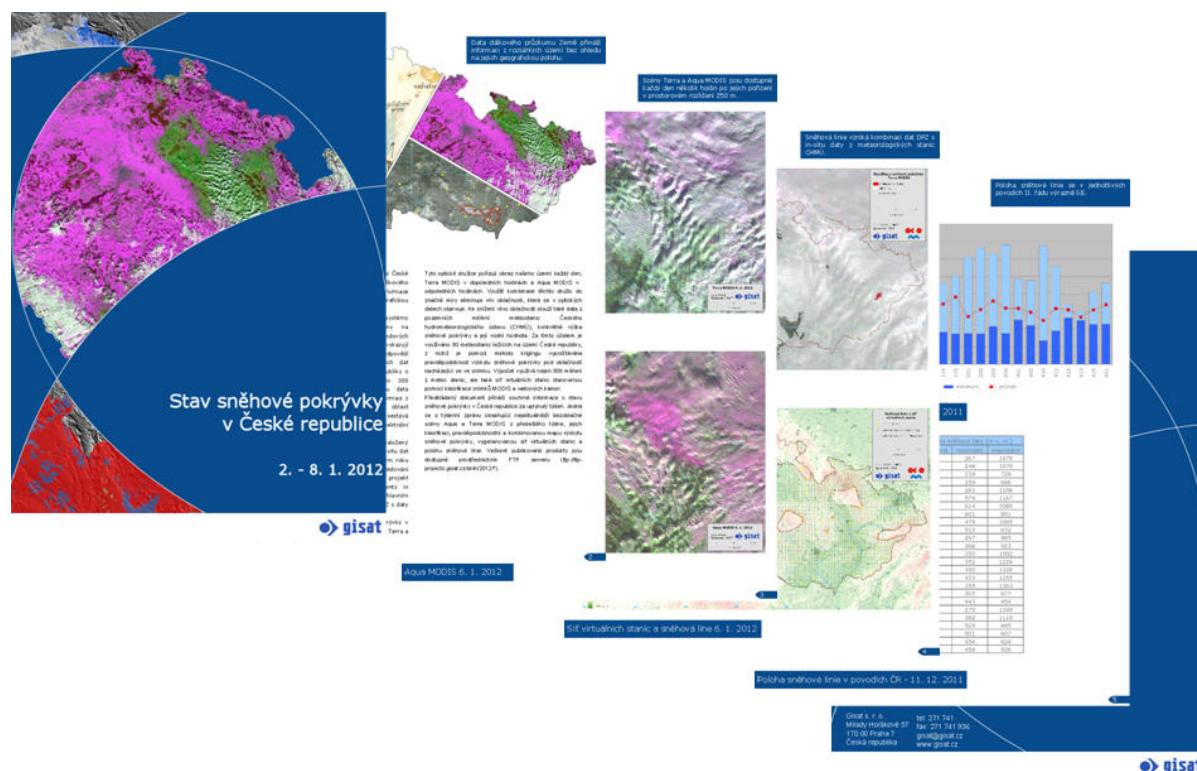
EG_GH_ID	XORIG	YORIG	ELEVATION	SCE	SVH
B1KROM01	3672203	5464119	233	0	0
B1PROT01	3632817	5484520	675	16	0
B1STIT01	3717193	5442110	315	25	0
B1STME01	3677755	5442789	221	2	0
B1STRN01	3698632	5422500	383	14	0
B1STRZ01	3671422	5421082	176	0	0
B1VIZO01	3707257	5458455	313	17	0
B2BROD01	3612784	5416813	177	0	0
B2BTUR01	3623325	5448172	241	2	0
B2DUKO01	3582846	5440931	400	3	0
B2DYJA01	3595608	5405383	201	0	0
B2KMYSO1	3532034	5447544	569	16	0
B2NEDV01	3594610	5501036	722	25	0
B2VATI01	3570217	5488387	558	17	0
C1CERP01	3434409	5400826	739	10	0
C1HUSI01	3426600	5434700	536	0	0
C1CHUR01	3398657	5438246	1118	73	0
C1KOCE01	3415974	5482296	519	0	0
C1TEME01	3452020	5451808	503	0	0
C2BYNO01	3485334	5409235	475	0	0
C2JHRA01	3496776	5447552	525	0	0
C2TABO01	3475462	5478190	461	6	0
C2VBRO01	3449616	5387319	559	0	0
H1LBOU01	3538450	5626638	1315	195	0
H1PECS01	3551486	5618128	816	136	0
H1LUPIC01	3571772	5597695	413	28	0
H1VRCH01	3545348	5610507	482	47	0
H2DEST01	3596308	5575866	635	65	0
H2ROKY01	3604340	5560184	564	40	0
H2USTI01	3602007	5539655	402	8	0
H3HOL001	3541062	5582716	321	15	0
H3HRAD01	3559906	5560802	278	0	0
H3JICI01	3525065	5589813	283	10	0
H3MOKO01	3540596	5542855	255	0	0
H3PODE01	3509531	5556525	189	0	0
H3SECA01	3546617	5523805	529	10	0
H3SVRA01	3574512	5511915	737	39	0
L1LHOJS01	3368774	5454951	867	25	0

12522	3445625	5635375	336	1	1
12523	3445625	5635125	349	1	1
12524	3445625	5634875	329	1	1
12525	3445875	5634625	307	1	1
12526	3446125	5634625	359	1	1
12527	3446125	5636375	301	1	1
12528	3449375	5636625	306	1	1
12529	3447125	5636875	291	1	1
12530	3446375	5636625	276	1	1
12531	3446625	5636625	266	1	1
12532	3446875	5636625	297	1	1
12533	3447375	5637125	303	1	1
12534	3447625	5637125	308	1	1
12535	3448125	5637125	310	1	1
12536	3448375	5637125	331	1	1
12537	3447875	5636875	316	1	1
12538	3448625	5636875	338	1	1
12539	3448875	5636875	330	1	1
12540	3449125	5636875	323	1	1
12541	3445420	5626414	195	0	0
12542	3445500	5623500	396	0	0
12543	3442652	5620657	231	0	0
12544	3448250	5621182	401	0	0
12545	3439714	5629519	398	0	0
12546	3442500	5632500	471	0	0
12547	3458000	5639542	369	0	0
12548	3457671	5641409	323	0	0
12549	3460183	5642002	434	0	0
12550	3458464	5644185	346	0	0
12551	3462125	5641875	381	0	0
12552	3459918	5644461	382	0	0
12553	3452583	5640208	401	0	0
12554	3456625	5639875	334	0	0
12555	3454833	5640658	276	0	0
12556	3453964	5639544	335	0	0
12557	3444795	5633602	367	0	0
12558	3442558	5635048	439	0	0

Obr. 6 Sněhová línie a síť virtuálních stanic ve formě textového souboru
Fig. 6 Snow line and virtual network of stations in the TXT file

Dostupnosť jednotlivých produktů

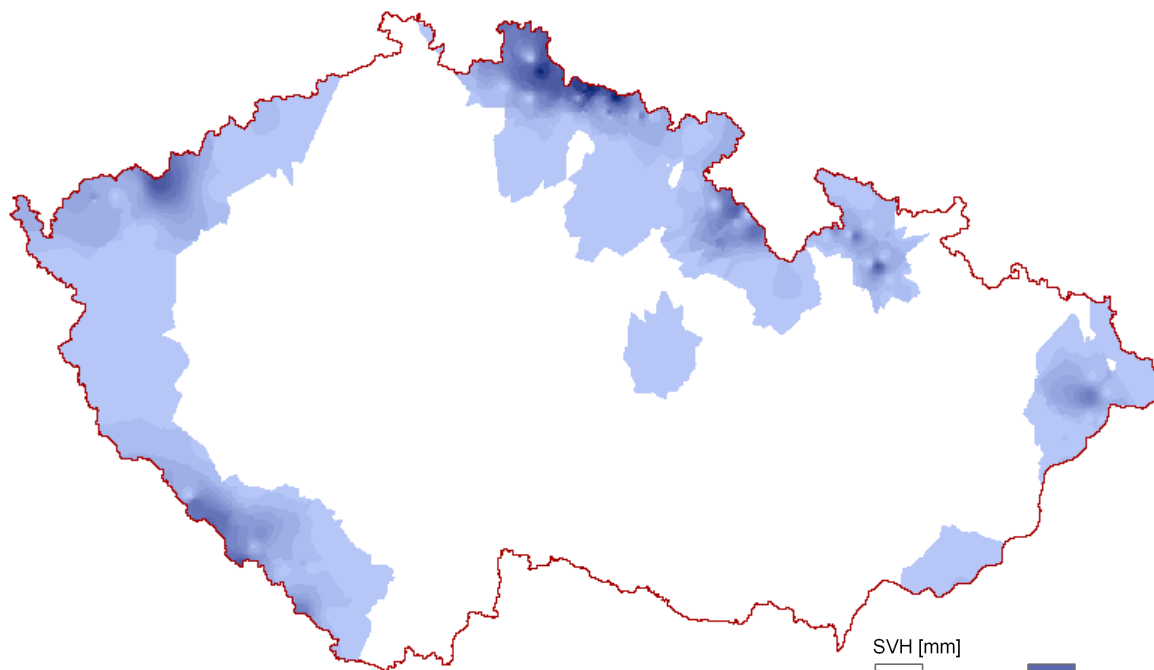
V súčasnej dobe jsou všechny uvedené produkty distribuovány prostredníctvom FTP serveru (<ftp://ftp-projects.gisat.cz/snih/2012>). Server obsahuje každodenné snímky Terra a Aqua MODIS a kompletně zpracovaný nejaktuálnější snímek z uplynulého týdne. Klasifikace sněhové pokrývky, sněhová linie a síť virtuálních stanic jsou k dispozici jednou týdně v pondělí. O přítomnosti nových produktů jsou pracovníci ČHMÚ informováni pomocí e-mailu, který obsahuje jednotlivé produkty ve formě map, sněhovou linku jako txt soubor a aktuální odkaz na FTP server. V nejbližší době bude e-mail zahrnovat také souhrnný PDF soubor obsahující mapy a statistiky sněhové pokrývky. Ukázka PDF souboru je uvedena v obrázku 7. Nadále funguje také mapový server FLOREO (<http://mapserver.floreo.cz>) na němž jsou však aktualizovány pouze scény Terra MODIS.



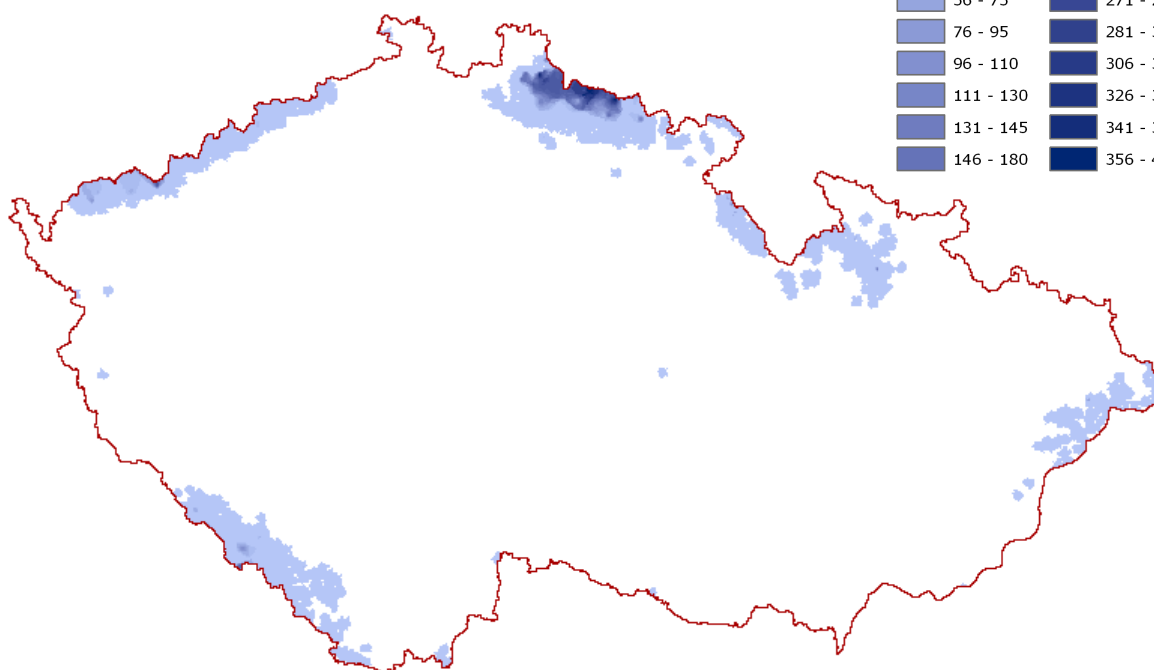
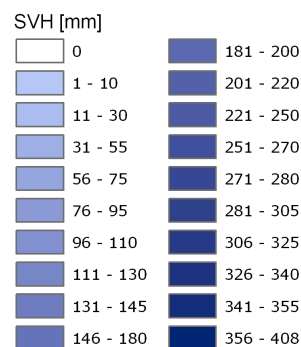
Obr. 7 Ukázka PDF souboru
Fig. 7 Example of PDF file

Vliv virtuálních stanic na interpolaci SVH

V rámci předkládaného příspěvku byl testován vliv virtuálních stanic určených z dat DPZ na výsledné interpolace vodní hodnoty sněhu. K tomuto účelu byl vybrán 14. březen 2011. Výsledkem byly dvě interpolace vytvořené pomocí R skriptu metodou IDW (Inverse Distance Weighted Interpolation). První využívající pouze měření z 343 meteostanic ČHMÚ a druhá založená na kombinaci pozemních měření z meteostanic a více jak 40ti tisíc virtuálních stanic. Z výsledných interpolací uvedených v obrázku 8 a 9 je patrné, že síť virtuálních stanic opravdu může fungovat jako pomyslná bariéra zabraňující interpolovat SVH mimo sněhovou pokrývky. Dále můžeme pozorovat, že v interpolaci pouze z meteostanic interpolátor v některých místech rozsah sněhové pokrývky značně nadhodnocuje a jinde naopak podhodnocuje.



Obr. 8 Interpolace SVH 14. 3. 2011 pouze z meteostanic
 Fig. 8 SWE interpolation from 14. 3. 2011 – only weather stations



Obr. 9 Interpolace SVH 14. 3. 2011 z meteostanic a virtuálních stanic z DPZ
 Fig. 9 SWE interpolation from 14. 3. 2011 – weather stations and virtual network of stations from Earth Observation

Závěr

Struktura a obsah produktů operačního monitoringu sněhové pokrývky jsou dynamicky přizpůsobovány s ohledem na vývoj potřeb uživatele. Získávání informací o sněhové pokrývce každý den z jakéhokoliv místa České republiky přináší nepostradatelné podklady pro zpřesnění interpolačních metod pozemních měření vodní hodnoty nebo výšky sněhu. Informace jsou z družicových dat převáděny do sítě virtuálních stanic, tvořené sněhovou linií

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

a stanicemi bez sněhové pokrývky. Interpolace lze tak zpřesnit přímo využitím sítě virtuálních stanic a nebo masky sněhové pokrývky, která vymezuje oblast interpolace. Kromě toho sněhová linie může sloužit také ke zlepšení odhadu průměrné nadmořské výšky polohy aktuální sněhové linie, který rovněž vstupuje do interpolačního procesu.

Vedle novinek v oblasti produktů je důležitou změnou letošní zimní sezóny vyšší frekvence pozorování. Doplnění pozorování z družice Terra MODIS o informace z družice Aqua MODIS přináší pokrytí celé České republiky dvakrát denně. Dostupnost dat několik hodin po jejich pořízení díky speciálnímu přístupu do NASA přijímací stanice umožňuje zpracování v reálném čase.

Budoucí vývoj celého operačního monitoringu bude soustředěn na doladění kombinace interpolací ČHMÚ s daty DPZ. Vzhledem k využívání optických dat, zůstává i nadále důležitou otázkou problematika oblačnosti a jejího nahrazování informacemi z radarových dat, které nejsou oblačností ovlivňovány.

Resumé

The snow cover monitoring system using Earth Observation data started in early 2011. The base for this system is the daily data from optical satellites Terra MODIS and Aqua MODIS with spatial resolution 250 m. The main objective of the operational system is support of existing forecasting and monitoring activities of the Czech Hydrometeorological Institute. The basic products of this system are snow cover mask, snow line and virtual network of stations in the Czech Republic. This paper focuses on innovations in operating system in the winter season 2011/2012.

The main novelty of this winter season is processing snow products from two satellites, Terra and Aqua. Satellite images are available twice a day, several hours after their acquisition, in the morning from Terra MODIS and in the afternoon from Aqua MODIS. The next innovation is reprojection of satellite images to the S42 projection instead of the previous S-JTSK projection. The new products are snow line and virtual network of stations. These products are processed to improve the interpolation methods of snow water equivalent and snow depth measured at the weather stations.

All products are available every Monday via FTP server or e-mail, which contains information about snow cover in the Czech Republic from last week and snow line with virtual network of stations.

Literatura

- Bartsch, A. et al. (2007): Monitoring of spring snow melt with ENVISAT ASAR WS in the Eastern Alps by combination of ascending and descending orbits, in Proceedings "ENVISAT Symposium 2007", Montreux, Switzerland, pp. 23-27 April 2007.
- Brodský, L., Kodešová, R., Spazierová, K. (2010): Synergy of earth observation and in-situ monitoring data for flood hazard early warning system. The 2010 European Space Agency Living Planet Symposium. Bergen, Norway, 28 June - 2 July 2010.
- Brodský, L., Kodešová, R., Spazierová, K. (2010): Synergie dat dálkového průzkumu Země a in-situ dat pro systém monitoringu a předpovědi vzniku povodňového jevu. Hydrologické dny 2010, Voda v měnícím se prostředí, Hradec Králové, 25.-27.10.2010.
- Salomonson, V.V., Appel, I. (2003): Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index, Remote Sensing of Environment, vol. 89, pp. 351–360.
- Sirguey, P., Mathieu, R., Arnaud, Y. (2008): Subpixel monitoring of the seasonal snow cover with MODIS at 250 m spatial resolution in the Southern Alps of New Zealand:

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

Methodology and accuracy assessment. Remote Sensing of Environment, vol. 113, pp. 160–181.

Vermote, E. F., Kotchenova, S. Y., Ray, J. P. (2008): MODIS Surface Reflectance User's Guide Version 1.2, MODIS Land Surface Reflectance Science Computing Facility (<http://modis-sr.ltdri.org>).

MONITORING AKUMULACE A TÁNÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY V PRAMENNÉ OBLASTI OTAVY

Hana Beitlerová, Ondřej Fliegl, Jan Jelínek, Michal Jeníček, Jan Kocum

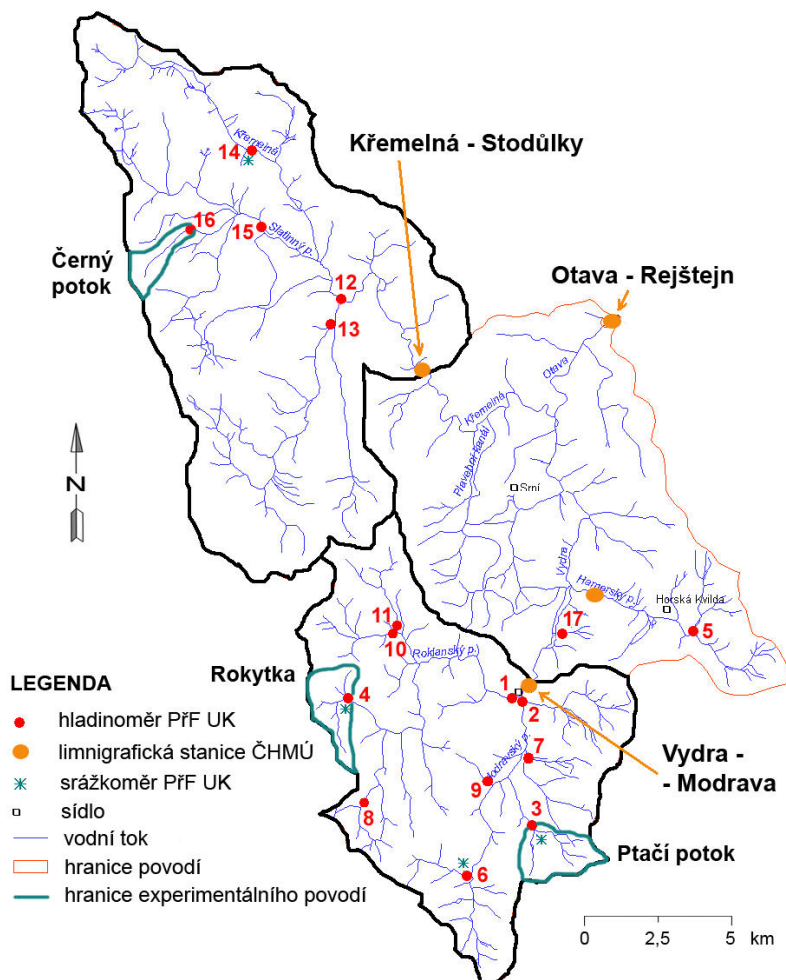
Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie

Úvod

Soustavný výzkum v pramenné oblasti Otavy začal na Katedře fyzické geografie a geoekologie v roce 2006, kdy byly na vybraných tocích instalovány první automatické hladinoměry, které měly sloužit k poskytnutí datové základny pro komplexní hydrologický výzkum odtokového režimu v oblasti zejména s ohledem na zhodnocení vlivu rašelinišť. Tato pozorovací síť čítá v současné době již 17 stanic měřících vodní stav a 5 klimatologických stanic měřících úhrn srážek, teplotu vzduchu, vlhkost vzduchu a další klimatologické charakteristiky (obr. 1).

V sezoně 2006/07 započal rovněž monitoring charakteristik sněhové pokrývky prováděný expedičním měřením zejména ve vybraných experimentálních povodích (Rokytky, Ptačí potok, Černý potok), které jsou situovány v oblasti hlavního šumavského hřebenu NP Šumava. Výsledky prací jsou průběžně vyhodnocovány v odborných člancích a v rámci bakalářských a diplomových prací (Kocum et al. 2008; Fliegl 2009; Beitlerová 2012; Jeníček et al. 2012). V zimní sezoně 2011/2012 probíhaly práce mimo jiné v povodí Ptačího potoka a nově na profilu Špičák. Cílem výzkumu je 1) měření sněhové pokrývky a analýza jejího prostorového a časového rozložení, 2) zhodnocení klíčových faktorů majících vliv na průběh akumulace a tání sněhu a 3) modelování akumulace a tání sněhu v lokálním a regionálním měřítku a testování různých metod, které se pro výpočet průběhu akumulace a tání sněhu používají.

Řada studií ukazuje na rozdílný efekt přírodních a antropogenních faktorů na formování odtoku (Jost et al. 2007; Váňová a Langhammer 2011), především na roli krajinného pokryvu. Řada těchto faktorů působí i v průběhu akumulace a tání sněhu v zimním a jarním období. Hlavním faktorem hrajícím roli na regionální a globální úrovni je nadmořská výška, která způsobuje změnu teploty vzduchu (Essery 2003; Jost et al. 2007). Na lokální úrovni malých povodí se ale více uplatňují jiné faktory, například typ vegetace, především přítomnost lesa a otevřených ploch (Jost et al. 2009; Tanasienko et al. 2009). Jeníček a Taufmannová (2010) například použili model HEC-HMS společně s metodou teplotního indexu pro výpočet rozdílné akumulace a tání sněhu v lese a na otevřených plochách. Výsledky ukázaly na vhodnost aplikace metody teplotního indexu především pro simulace průběhu zimních období bez výrazných oblev a zčásti také pro události typu „rain-on-snow“.



Obr. 1 Zájmové území a poloha hydrologických a klimatologických stanic
 Fig. 1 Study area and the location of hydrological and climatological stations

Data a metody

Experimentální sněhoměrný profil Špičák

Sněhoměrný profil Špičák na Železnou Rudou je letošní novinkou mezi lokalitami, kde Katedra Fyzické geografie a geoekologie PŘF UK provádí výzkum hydrologie sněhu. V uplynulých letech bylo expediční měření sněhu prováděnou pouze v malých uzavřených povodích, které jsou uzavřeny hladinoměrem. To skýtá velmi dobré podmínky pro výzkum srážko-odtokového režimu nejen během jarního tání. Předchozí měření ukázala, že dominantním faktorem majícím vliv na ukládání a tání sněhu je vegetace, zatímco vliv ostatních faktorů je ve sledovaných územích potlačen. Je to důsledek mimo jiné toho, že povodí mají ve své ploše velmi podobnou orientaci vůči světovým stranám, nízký vertikální gradient a liší se pouze rozdílným vegetačním pokryvem.

Na základě těchto poznatků a zkušeností bylo letos prvním rokem provedeno měření kvalitativních i kvantitativních charakteristik sněhové pokrývky na profilu, který se nenachází v povodí uzavřeném hladinoměrem, ale ve dvou různých povodích a bez možnosti kvantifikace odtoku vody z povodí. Tento profil byl vybrán pro potřeby:

- měření vodní hodnoty sněhu za účelem upřesnění zjištění vlivu expozice a nadmořské výšky na vodní hodnotu v kontextu české části Šumavy

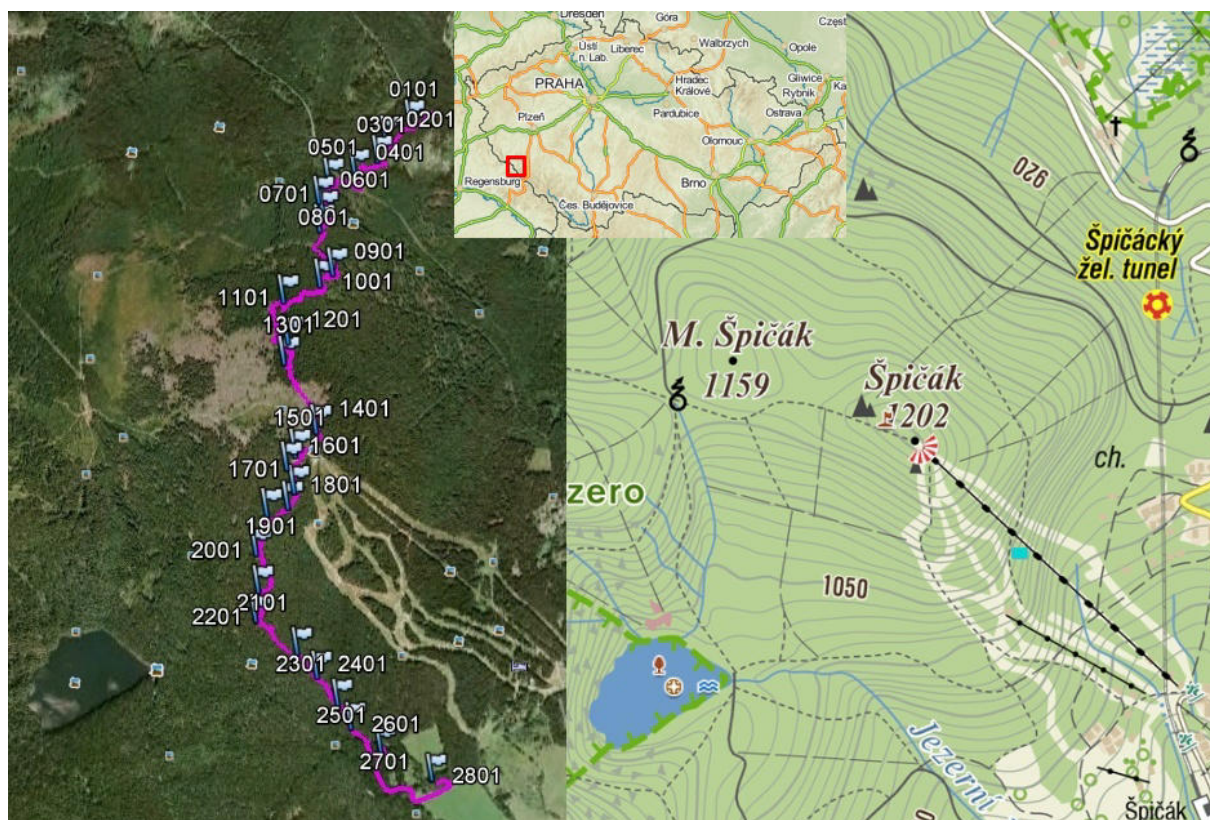
XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

- vyloučení některých ovlivňujících faktorů pro snadnou analýzu vlivu faktorů zbývajících
- zvolen severojižní profil přes horu Špičák (1202 m) nad Železnou Rudou

Data byla měřena pomocí laminátového váhového sněhoměru v daném měřicím místě, vypočtena hustota sněhu v odměrném profilu a ta následně vynásobena průměrem výšky sněhu z pěti měření v blízkém okolí. Měřicí místa byla pro příští měření zaznamenána pomocí ručního přístroje GPS, při dalších měřeních si často výzkumník odměrná místa přesně pamatoval.

U uvedeného profilu Špičák (obr. 2, tab. 1) byla v průběhu zimní sezóny shledána následující negativa a pozitiva:

- + velký vertikální gradient
- + až na výjimky velmi podobná věková a druhová struktura lesa
- + profil se nachází pouze v CHKO Šumava-volný pohyb osob
- + snadná přístupnost dopravní infrastrukturou
- nejedná se o povodí, není zakončeno hladinoměrem
- neúplné pokrytí pasekami, kde je sněhová pokrývka kryta před větrem
- některé části lesa ovlivněny větrem z přílehlé veliké paseky
- absence poškozeného lesa (například vlivem lýkožrouta smrkového)
- patrný vliv srážkového stínu na severním svahu



Obr. 2 Lokalizace profilu Špičák
Fig. 2 Location of Špičák profile

..

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

Tab. 1 Charakteristiky profilu Špičák
Table 1 Characteristics of the Špičák measure profile

Vertikální vzdálenost mezi body	25 metrů
Nejnižší bod svahu orientovaném na sever	850 m n. m.
Nejnižší bod svahu orientovaném na jih	875 m n. m.
Nejvyšší bod:	1200 m n. m.

Na každém bodu byla měřena vodní hodnota sněhu ve vzrostlém smrkovém lese. Na většině bodů (cca 60 %) byla měřena vodní hodnota sněhu na nedaleké mýtině (vyloučena intercepce a většinou i vliv větru). V místě byla měřena hustota sněhu a průměrná výška sněhu v blízkém okolí, což vedlo k přesnějšimu zjištění vodní hodnoty sněhu.

Experimentální povodí Ptačí Potok

Experimentální povodí Ptačího potoka je díky své poloze v centrální části Šumavy a dešťovo-sněhovému odtokovému režimu lokalita vhodná k výzkumu procesu akumulace a tání sněhové pokrývky a srážko-odtokového procesu během zimního období. Základní charakteristiky povodí jsou uvedeny v tabulce 2. Nejvyšším bodem rozvodnice je vrchol Malá Mokřůvka s výškou 1330 m n. m., závěrový profil povodí (1135 m n. m.) je opatřen ultrazvukovým hladinoměrem, meteorologickou stanicí s ultrazvukovým čidlem pro měření výšky sněhu, srážkoměrem, měřením teploty vzduchu a teploty sněhu. Hlavními cíli výzkumu je monitoring zásob vody v povodí, sledování vlivu fyzicko-geografických charakteristik na akumulaci a tání sněhové pokrývky a matematické modelování akumulace a tání sněhu a odtoku z povodí. V rámci příspěvku byly prezentovány předběžné výsledky diplomové práce „Aplikace degree-day modelu akumulace a tání sněhu v povodí Ptačího potoka“, které se týkají terénního měření vodní hodnoty sněhu (SWE) a základní metodiky pro odvození Degree day faktoru DDF (Beitlerová, 2012).

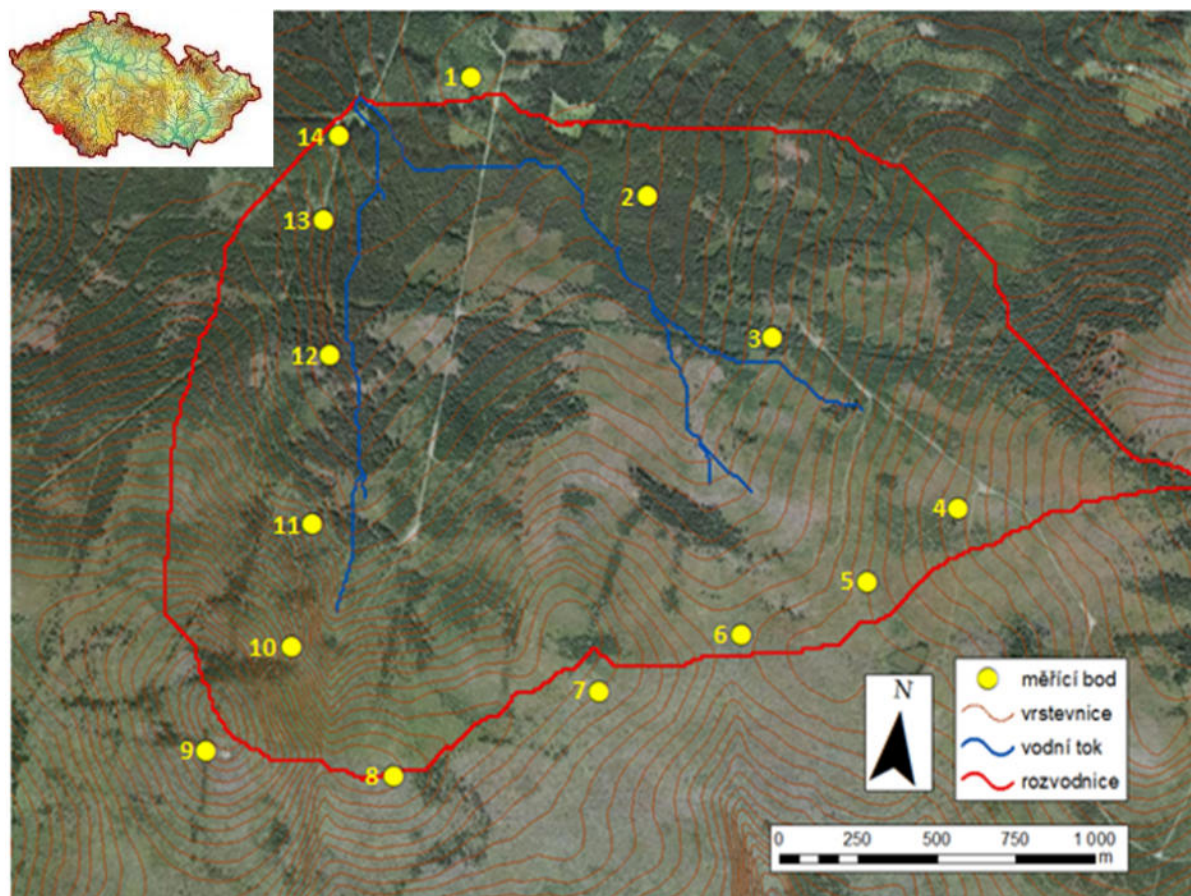
Tab. 2 Základní charakteristiky povodí Ptačího Potoka
Table 2 Basic characteristics of the Ptačí Brook basin

Plocha povodí	4,09 km ²
Délka rozvodnice	8,46 km
Nejvyšší kóta povodí	1330 m n. m.
Nejnižší kóta povodí	1135 m n. m.
Průměrná výška povodí	1242 m n. m.
Maximální sklon povodí	17°
Průměrný sklon povodí	9°
Úhrnná délka toků	7,99 km
Hustota říční sítě	1,95 km.km ⁻²

Pro terénní monitoring bylo vytyčeno 14 bodů, v nichž byla měřena vodní hodnota sněhu během období tání 2011 a 2012 (obr. 3). DDF byl odvozen pro období mezi sněhoměrnými měřeními 19. 3. 2011 a 16. 3. 2011 na základě rovnice 1.

$$DDF = \frac{M}{T - T_c} \quad (1)$$

kde DDF je degree day faktor [$\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$], M je úbytek sněhové pokrývky [mm], T je průměrná denní teplota vzduchu [$^\circ\text{C}$] a T_c je kritická teplota vzduchu [$^\circ\text{C}$], tedy teplota, při níž může docházet k tání sněhu (Singh a Singh, 2001).



Obr. 3 Povodí Ptačího potoka s vyznačenými body pro měření vodní hodnoty sněhu
 Fig. 3 Ptačí Brook basin with location of points for measurements of the SWE

Úbytek sněhové pokrývky za den byl vypočítán dvěma různými způsoby. Prvním způsobem bylo odvození na základě změny vodní hodnoty sněhu na povodí zjištěné měřením v terénu (DeWalle a Rango, 2008). Druhá metoda využívá velmi zjednodušeného předpokladu, že veškerá voda odtékající v období tání z povodí je tvořená roztátou vodou ze sněhové pokrývky a počítá tedy výšku roztáté vody jako odtokovou výšku H_o [mm]. Data teploty vzduchu byla získána z teploměru umístěném v závěrové profilu povodí, průtoky byly zjištěny z časové řady výšky hladiny pomocí konsumpční křivky.

Výsledky

Experimentální sněhoměrný profil Špičák

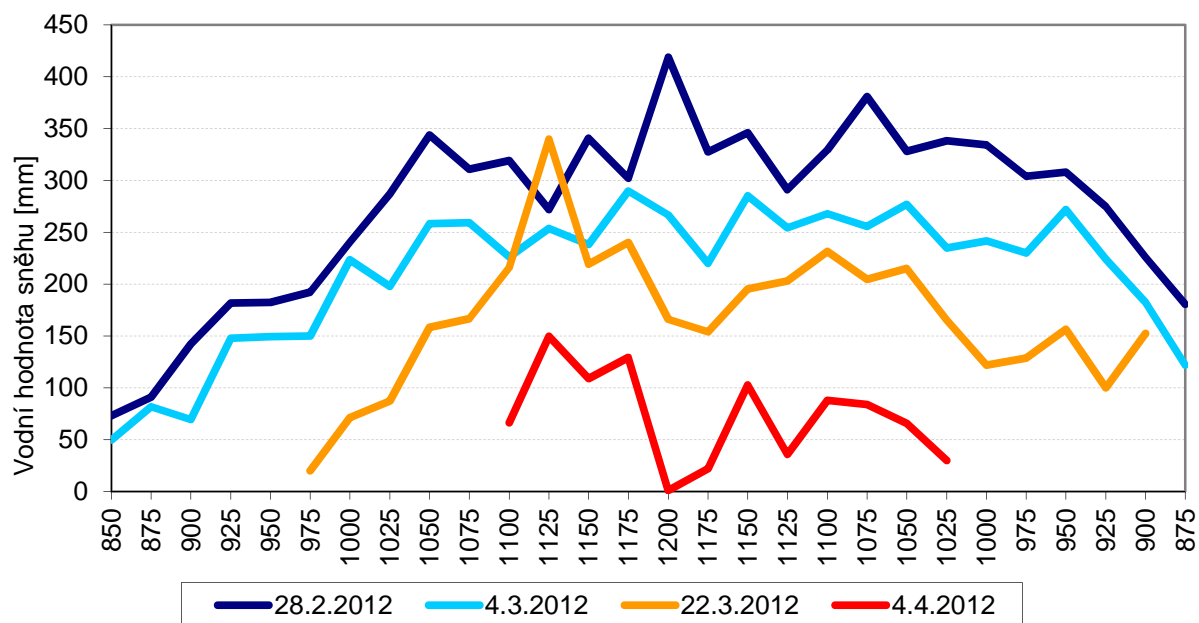
Do současné doby bylo provedeno v profilu pět měření, z toho jedno bylo provedeno během akumulace sněhu a čtyři zbývající následně při odtávání sněhové pokrývky. Nejen z tohoto důvodu nejsou výsledky měření signifikantní a pro vyvození závěrů bude třeba pokračovat v měřeních během další zimní sezóny tak, aby bylo shromážděno dostatečné množství dat pro relevantní statistickou analýzu. Dalšími příčinnými důvody jsou také negativa profilu uvedená výše (patrný vliv srážkového stínu na severním svahu; některé části lesa ovlivněny větrem z

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

přílehlé veliké paseky; neúplné pokrytí pasekami, kde je sněhová pokrývka kryta před větrem).

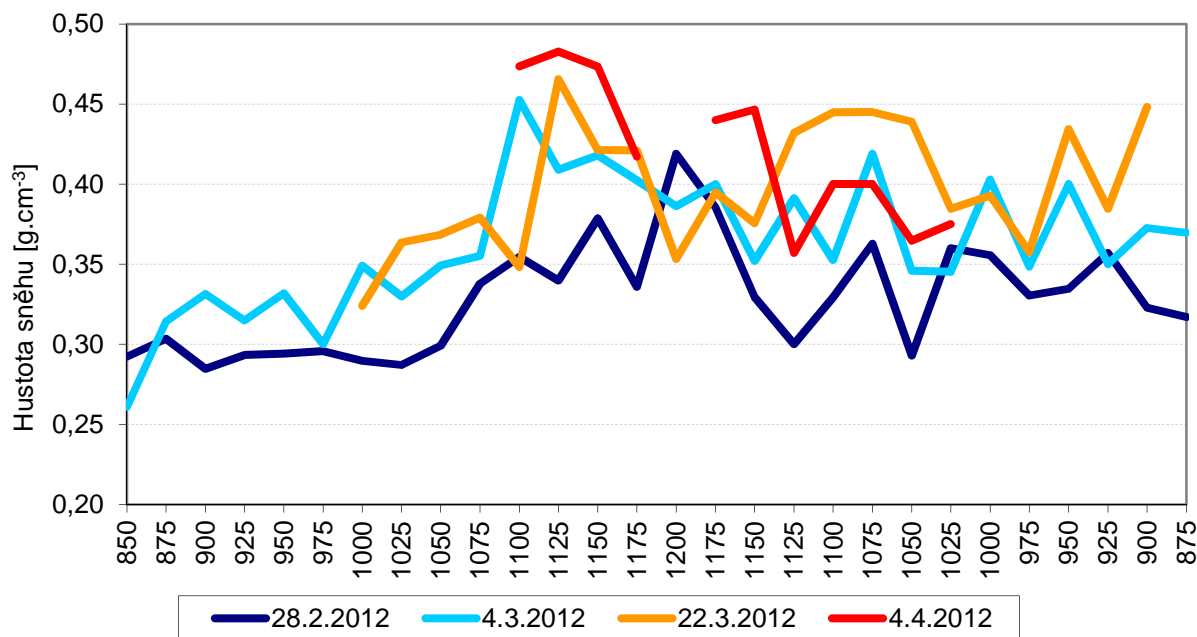
Na obrázku 4 je zřetelně vidět závětrný efekt na hoře Špičák, kdy severní svahy mají ve stejných nadmořských výškách jako svahy jižní znatelně menší vodní hodnotu sněhu. Poněkud zvláštní je také vyšší rychlost odtávání sněhu na severním (zastíněném) svahu než na svahu jižním (osluněném). Bohužel však již před třetím měřením došlo k úplnému odtátí sněhové pokrývky ve spodních partiích severní části profilu, a tak je toto konstatování v těchto místech založeno na porovnání jen dvou měření. Při čtvrtém měření byla sněhová pokrývka zaznamenána jen ve vrcholových partiích. Jistě nelze přehlédnout (poněkud zvláštní) naměřenou vodní hodnotu sněhu v termínu 22. 3. 2012 ve výšce 1125 m n. m. Toto bude způsobeno chybou v měření, která byla způsobena pravděpodobně lehce odlišným místem odběru sněhu do váhového sněhoměru. Vyvarování se těchto chyb je jedním z úkolů do příští zimní sezóny.

Na obrázku 5 je vidět zvyšování hustoty sněhové pokrývky v průběhu jarního tání. Je také možno zpozorovat vyšší hodnoty hustoty sněhu na jižních svazích, a to v průběhu celé zimy (ještě před příchodem jarního tání) a nejen v průběhu jara. Opět zde však narážíme na nedostatečnou datovou základnu, kdy na níže položených partiích severního svahu došlo již před termínem 22. 3. 2012 k úplnému odtátí veškeré sněhové pokrývky.



Obr. 4 Vodní hodnota sněhu ve vzrostlém lese, vlevo severní expozice, vpravo jižní expozice
Fig. 4 Snow water equivalent in the mature forest; north exposure on the left side, south exposure on the right side

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník



Obr. 5 Hustota sněhu ve vzrostlém lese, vlevo severní expozice, vpravo jižní expozice
 Fig. 5 Density of the snowpack in mature forest; north exposure on the left, south exposure on the right

Experimentální povodí Ptačí Potok

Pro výpočet DDF bylo nejprve nutné zjistit součet kladných průměrných denních teplot za zkoumané období a určit kritickou teplotu vzduchu. Dále byla dvěma uvedenými způsoby vypočtena výška roztavené vody. Hodnoty jednotlivých parametrů pro obě metody jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 Hodnoty parametrů pro výpočet DDF
 Table 3 Parameters of DDF equation

parametr	1. metoda	2. metoda
T [°C]	11,4	
T _c [°C]	0	
SWE 19. 3. 2011 [mm]	179,3	
SWE 26. 3. 2011 [mm]	147,7	
M/H ₀ [mm]	31,6	37,3
DDF [mm.°C⁻¹.d⁻¹]	2,77	3,28

Diskuse a závěry

Bohužel ani při největší snaze není zcela možné vyloučit zkreslení naměřených dat vedlejšími či neočekávaným faktory, ať je to například efekt srážkového stínu, přemístění sněhu větrem i uprostřed vzrostlého lesa nebo lokální mikroklima. Je však možné se vyvarovat chyb v důsledku ne zcela přesného odběru sněhu váhovým sněhoměrem.

Na základě těchto zkušeností je plánována realizace expedičních měření sněhové pokrývky na jiných/dalších profilech v průběhu zimní sezóny 2012/2013 tak, aby bylo možno na základě

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

statistické analýzy uspokojivě vyjádřit míru vlivu fyzicko-geografických faktorů na tání sněhové pokrývky na konci zimního období. Snahou je nejen analyzovat faktory posuzované v letošním měření na profilu Špičák, ale i další vybrané faktory. Proto je třeba na základě letošních zkušeností použít případně i nové profily, vytipované ještě před zimní sezónou 2012/2013.

V předložené práci byl odvozen DDF pro experimentální povodí Ptačího potoka v termínu 19-26. 3. 2011. Byly použity dva způsoby výpočtu, které se lišily metodikou odvození výšky roztavené vody: 1) na základě terénního měření SWE, hodnota DDF je $2,77 \text{ mm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 2) na základě objemu odtoku, hodnota DDF je $3,28 \text{ mm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

Obě metody jsou zatíženy nejistotami. U první metody jde především o chyby, které mohou vzniknout při terénním měření SWE a při výběru vhodné interpolační metody. U druhé metody vzniká nejistota možným zpožděním odtoku roztavené vody do závěrového profilu. To znamená, že voda, která během měřeného intervalu odteče, může částečně pocházet z předcházejícího časového období. Tato metoda dále zanedbává základní odtok a lze tedy předpokládat, že hodnota DDF bude nadhodnocená. S tímto předpokladem koresponduje výsledek výpočtů, kdy druhou metodou byl zjištěn vyšší DDF než první metodou.

Předkládané výsledky jsou pouze předběžné výsledky diplomové práce a nelze z nich vyvozovat směrodatné závěry. Během období tání 2012 jsou plánovány další sněhoměrné kampaně po jednom až dvou týdnech. Bude tedy možné zjistit hodnotu DDF na základě více měření a případně odvodit jeho sezónní vývoj. Důležitou součástí práce bude analýza fyzicko-geografických faktorů, které mají dominantní vliv na akumulaci a tání sněhové pokrývky a budou zohledněny při interpolaci bodových hodnot SWH do plochy. Na základě terénních měření a analýz v prostředí ArcGIS budou odvozeny parametry modelu HEC-HMS a jeho kalibrace a simulace akumulace a tání sněhové pokrývky a odtoku z povodí v zimních sezónách 2011 a 2012.

Resume

The field monitoring of snow characteristics (snow depth, snow water equivalent) continued in the Otava River basin headwater part, especially in experimental catchments of the Ptačí Brook basin and Rokytká Brook basin during the winter 2011/2012. Experimental monitoring has started in the 2006 as a part of hydrological research of the Department of Physical Geography and Geocology. The Otava River basin (headwater part) is covered by the monitoring network observing hydrological and climatological characteristic (precipitation, air temperature, snow temperature, snow depth etc.).

The new measurement of snow characteristics has begun in the Špičák profile during the season 2011/2012. Mentioned profile is not situated in the basin with the discharge gauge. This profile enables to observe and assess different physical-geographical factors which have the impact on the snow accumulation and snow melt. New information and results has been gained during the season which could be used in the next research.

The degree-day factor was observed in the Ptačí Brook basin during 19-26. 3. 2011. Two different methods were used to measure the snow decrease. First method used terrain observation of the snow water equivalent at the beginning and at the end of the time interval. Second method used the runoff volume computation from the basin. Both methods were compared and their uncertainties were discussed.

Literatura

Beitlerová, H. (2012): Aplikace degree-day modelu akumulace a tání sněhu v povodí Ptačího potoka. Diplomová práce, PŘF UK, Praha.

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

- DeWalle, D.R., Rango, A. (2008): Principles of snow hydrology. Cambridge University Press, 410 s.
- Essery, R. (2003): Aggregated and distributed modelling of snow cover for a high-latitude basin. *Global and Planetary Change*, 38, 115-120.
- Fliegl, O. (2009): Vliv fyzicko-geografických faktorů na vývoj sněhové pokrývky: případová studie povodí horní Otavy. Bakalářská práce. PřF UK v Praze, Praha.
- Jeníček, M., Beitlerová, H., Hasa, M., Kučerová, D., Pevná, H., Podzimek, S. (2012). Modelling snow accumulation and snowmelt runoff – present approaches and results. *AUC Geographica*, 47 (2), 15-24. In print.
- Jeníček, M., Taufmannová, A. (2010): Vliv vegetace na akumulaci a tání sněhu – výběr z výsledků výzkumu Katedry fyzické geografie a geoekologie PřF UK v letech 2009 a 2010. In: JIRÁK, J. et al. (eds.): XV. Medzinárodné stretnutie snehárov (43-51). Praha, ČHMÚ.
- Jost, G., Moore, R. D., Weiler, M., Gluns, D. R., Alila, Y. (2009): Use of distributed snow measurements to test and improve a snowmelt model for predicting the effect of forest clear-cutting. *Journal of Hydrology*, 376 (1-2), 94-106.
- Jost, G., Weiler, M., Gluns, D. R., Alila, Y. (2007): The influence of forest and topography on snow accumulation and melt at the watershed-scale. *Journal of Hydrology*, 347 (1-2), 101-115.
- Kocum, J., Jelínek, J., Jeníček, M. (2009): Monitoring sněhové pokrývky a vyhodnocení sněhových zásob na Šumavě a v Krušných horách. In Hanková, R., Klose, Z., Pavlásek, J. (eds.). XIV. Medzinárodné stretnutie snehárov. Praha: Česká zemědělská univerzita, 105-113.
- Singh, P, Singh, V. (2001): *Snow and Glacier Hydrology*. Dordrecht : Kluwert Academic Publishers, 742 s.
- Tanasienko, A. A., Yakutina, O.P., Chumbaev, A. S. (2009): Snowmelt runoff parameters and geochemical migration of elements in the dissected forest-steppe of West Siberia. *Catena*, 78 (2), 122-128.
- Váňová, V., Langhammer, J. (2011): Modeling the impact of land cover changes in flood mitigation in the upper Lužnice basin. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 59 (4), 262-274.

Simulace dešťových srážek na sněhovou pokrývku

Roman Juras, Jiří Pavlásek

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Resumé

For study of rain-on-snow events was employed special rainfall simulator constructed for these kinds of experiments. The main aim of these experiments was to investigate influence of precipitation to snow cover within the various degree of metamorphosis. Snow cover causes time lag of water discharge and amount of stored water inside the snow matrix. Both of these snow properties are crucial for hydrological cycle. Six simulations of precipitation with various intensity, duration and various frequency of repetition were carried out during the melting period 2011. Temperature was measured in several places of the system, which means that temperatures of snow, incoming/outcoming water and air were recorded. Hydrologic response of snow cover was always very quick and amount of stored water in the snow matrix was approximately from 0.8 to 5 % volumetric. The experiments showed that simulation of rain-on-snow events is very suitable tool for investigating of liquid water behaviour in snow.

Úvod

Sněhová pokrývka hraje klíčovou roli především v období tání, kdy dochází k přeměně tuhých srážek na odtok a zvyšují se průtoky vodních toků. Odtok ze sněhové pokrývky není tvořen jen tavnou vodou, ale často může být zvětšen o vodu z tekutých atmosférických srážek. Dopadne-li déšť na sněhovou pokrývku (rain-on-snow event), chová se voda v zásadě následovně. Déšť se infiltruje do sněhové pokrývky, kde se částečně akumuluje (a tím do určité míry ovlivňuje sněhovou metamorfózu) a zbylý objem odteče. Můžeme zde vidět jistou analogii při infiltraci do půdy, s tím rozdílem, že sníh a voda jsou ta samá látka pouze v jiném skupenství. Sněhová pokrývka tak významně přispívá k transformaci deště při odtoku a stává se důležitým faktorem, který ovlivňuje předpovídání průtoků. Při těchto predikcích je velmi důležitá doba zdržení vody ve sněhové pokrývce. Obecně platí, že nový (nevyzrálý) sníh zpožďuje odtok vody při dešťové události více, než sníh vyzrálý (Singh & Singh 2001). Podobně jako u půdy můžeme i u sněhu definovat retenční kapacitu sněhu (storage potential). Jednoduchými pokusy bylo zjištěno, že tato retenční kapacita se mění v závislosti na stáří sněhu (viz výše), jeho vyzrálosti, hustotě, stratifikaci a tvrdosti jednotlivých vrstev. Singh & al. (1997) studoval hydrologickou odpověď různých typů sněhové pokrývky na uměle vyvolanou dešťovou událost a udává retenční kapacitu středně vyzrálého sněhu cca 6 % objemových. Tato kapacita se zvyšuje nad ledovými vrstvami. Akumulovaná voda může zapříčinit svahové pohyby, jako jsou břečkotoky – „slushflows“ (Nobles 1966, Fountain 1996 in Smart & al. 2000) nebo mokré sněhové laviny (Conway 1994, Conway & Raymond 1993, Singh & Singh 2001). Naopak zvýšený odtok ze sněhové pokrývky, který je výsledkem nezadržené srážky a tání může zapříčinit povodňové události (Kattelmann 1997, Singh & al. 1997), neboť dešťová voda se v pokrývce pohybuje několikanásobně rychleji, než voda tavná (Singh & Singh 2001).

Pokud je mocnost sněhové pokrývky dostatečná a intenzita srážky není příliš velká, tak může sněhová pokrývka přímý odtok výrazně zpomalit, či dokonce zastavit. Sníh tak může mít při

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

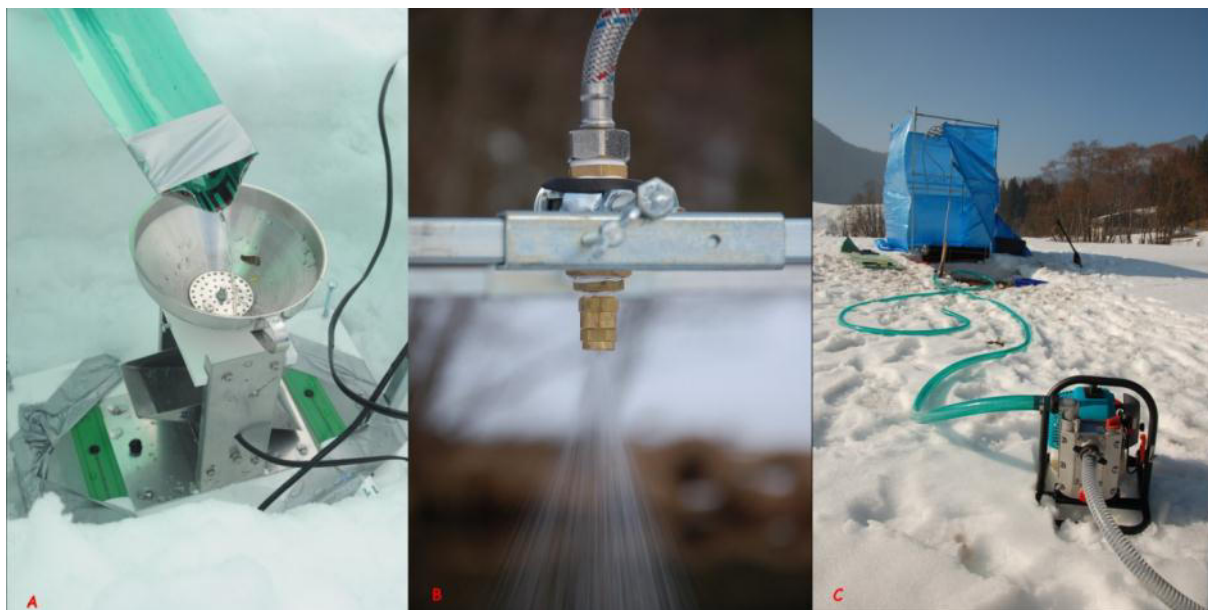
odtoku z povodí destruktivní, ale i ochranou funkci. Hranice mezi těmito vlastnosti sněhové pokrývky je velmi tenká, a proto je jedním z cílů této studie snaha o lepší pochopení chování vody ve sněhové pokrývce při dešti. Autoři si kladou několik klíčových otázek: za jak dlouho proteče srážková voda sněhovou pokrývkou, jak dlouho trvá saturace sněhu a kolik vody se ve sněhové pokrývce zadrží. Všechny tyto parametry jsou vyšetřovány pomocí uměle vyvolané srážky, různé intenzity a doby trvání.

Metodika

Pomocí speciálně navrženého simulátoru deště byla sledována hydrologická odezva sněhové pokrývky. Ze sněhu byl izolován kvádr, tak že byly obnaženy čtyři stěny. Nad povrchem terénu se do sněhu vsunul nerezový plech představující hydraulickou bariéru, která zabraňovala infiltraci dešťové vody do půdy. Tím se sice zjednodušil model přirozeného odtokového systému, ale na druhou stranu bylo možné lépe sledovat pouze interakci mezi sněhovou pokrývkou a dešťovou vodou. Tento přístup také umožňuje přesnější vyhodnocení hmotnostní bilance, což by se zahrnutím infiltrace do půdy bylo mnohem složitější a náročnější na měřící techniku.

Sněhový vzorek byl vždy před pokusem a po pokusu podroben detailní analýze hustoty, tvrdosti a teploty pro zjištění změn těchto parametrů během srážky. Celková zasažená plocha sněhu byla 100 x 100 cm, tedy stejná jako plocha hydraulické bariéry. Intenzita srážky se pohybovala od 40 do 70 mm h⁻¹ s délkou trvání od 13 do 61 min. Intenzita i doba trvání deště byla proměnlivá, kvůli simulaci variabilních přírodních podmínek. Pro generování umělé srážky byla použita jedna kalibrovaná tryska FullJet 1/8 GG3 6SQ (Obr. 1B). Intenzita a rozstřík byli regulovány pomocí tlaku v systému a výškou trysky nad sněhovou pokrývkou. Voda byla vháněna do systému pod tlakem pomocí motorového čerpadla (Obr. 1C).

Během každého pokusu se měřil odtok pomocí překlopného průtokoměru speciálně zkonstruovaného pro účely experimentu (Obr. 1A). Data z průtokoměru se kontinuálně nahrávala do dataloggeru. Kromě průtoku byla také měřena teplota vstupní a výstupní vody, teplota vzduchu a teploty ve sněhové matici v různých výškách.



Obr. 1 – A: překlopný průtokoměr, B: tryska, C: celkový design pokusu s motorovým čerpadlem

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

Množství vody zadržené ve sněhu bylo určeno z rozdílu hustoty před a po pokusu. Tato metoda je sice velmi jednoduchá, zato nevyžaduje speciální drahé vybavení a snadno a rychle se provádí. Celková změna vlhkosti sněhu se následně vypočte dle rovnice:

$$\Delta\theta_s = \Delta V_w / V_s$$

kde $\Delta\theta_s$ je změna vlhkosti sněhu, ΔV_w je změna objemu tekuté vody ve sněhu a konečně V_s představuje objem sněhového vzorku. Měření změny vlhkosti sněhu je pro tento druh experimentu vhodnější, než měření absolutní vlhkosti, což se velmi obtížně provádí a navíc není tak směrodatná, jako změna tohoto parametru. Zadržovaný objem vody se vypočítá ze změny hmotnosti sněhového vzorku před a po pokusu. Při výpočtu vycházíme ze zákona zachování hmoty, tzn. z předpokladu, že se hmotnost sněhového vzorku se může zvýšit pouze zadržením vody ze sněhové srážky. Tento předpoklad je velmi zjednodušený a mimo jiné zanedbává množství zadržené vody, které zůstane ve sněhové pokrývce vlivem tání (měření množství této tavné vody je však velmi obtížné). Zároveň uvažujeme hustotu vody $\rho_w = 1000 \text{ kg m}^{-3}$, z čehož plyne, že $V_w = m_w$. Jelikož známe rozdíl hustoty sněhu a objem sněhového vzorku, tak se procentuelní množství zadržené vody ($V_{w\text{-zad}}$) vypočte dle vzorce:

$$\Delta V_w = \Delta m_w = m_{s2} - m_{s1}$$

$$\Delta V_w = V_{s2} \rho_{s2} - V_{s1} \rho_{s1}$$

$$V_{w\text{-zad}} [\%] = 100 (\Delta V_w / V_{s2})$$

kde symboly V představují objem, m je hmotnost a ρ reprezentuje hustotu. Indexy w a s jsou vyhrazeny pro tekutou vodu ve sněhové pokrývce, respektive pro sníh.

Pro detailnější informaci o transformaci deště na odtok bylo měřeno několik parametrů, konkrétně: doba nasycení sněhové pokrývky, zpoždění odtoku (počátek výtoku srážkové vody) a celková doba výtoku.

Výsledky

V této kapitole jsou ukázány některé výsledky ze simulací dešťových událostí na sněhovou pokrývku (rain-on-snow). Celkem bylo provedeno šest simulací, ale při dvou bohužel došlo k výpadku dataloggeru, přesto i neúplné výsledky jsou velmi cenné pro další měření a modelování.

V tabulce 1 jsou uvedeny základní parametry jednotlivých pokusů. Všechny pokusy byly prováděny na vyzrálém firnu, neboť tento druh sněhu se většinou vyskytuje v jarním období tání, kdy je zvýšená pravděpodobnost výskytu dešťových srážek. Výška sněhu se pohybovala od 15 do 38.5 cm, což můžeme považovat za poměrně nízkou sněhovou pokrývku. Tento parametr zároveň nejvíce ovlivňuje režim odtoku ze sněhu. Základní odtokové ukazatele jsou uvedeny na obr. 3. Tyto parametry je však nutno posuzovat v souvislosti s daty uvedené v tab. 1.

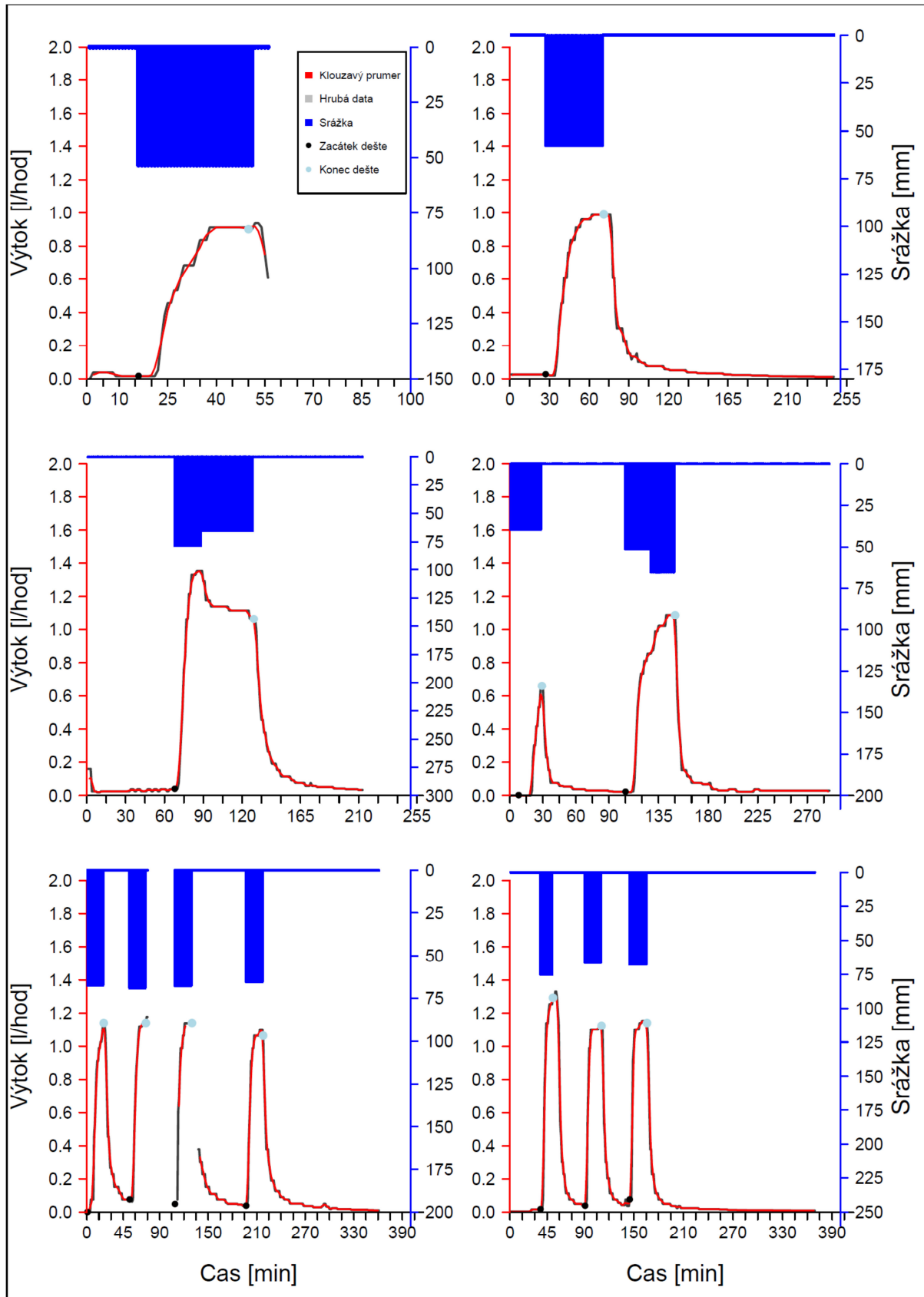
Na obr. 2 jsou znázorněny jednotlivé hydrogramy odtoku, ze kterých můžeme vyčíst, že hydrologická odpověď takto vyzrálé sněhové pokrývky je velmi rychlá, přesto je doba výtoku poměrně dlouhá. Za povšimnutí stojí graf měření 3 a 4, kdy se skokově snížila, respektive zvýšila intenzita deště. Reakce na výtoku byla téměř okamžitá.

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

Tab. 1 – Základní parametry sněhové pokrývky a simulované srážky při prováděných experimentech

číslo měření	Místo měření	Datum	Doba trvání deště [min]	Intenzita deště [mm h ⁻¹]	Výška sněhu [cm]	Počáteční hustota [kg m ⁻³]	Konečná hustota [kg m ⁻³]	Zadržovaný objem vody [%]
1	Spitzingsee - louka	8.3.2011	34	46	34	487	526	3.89
2	Šumava - louka	21.3.2011	45	55	29.5	443	452	0.77
3	Šumava - louka	22.3.2011	61	69	29	459	498	3.92
4	Šumava - les	24.3.2011	21/45	40/51/65	38.9	424	450	2.66
5	Šumava - les	31.3.2011	20/20/ 21/21	64/66/ 64/62	33	446	480	4.21
6	Šumava - les	2.4.2011	15/ 20/ 21	71/63/65	15	438	488	5.00

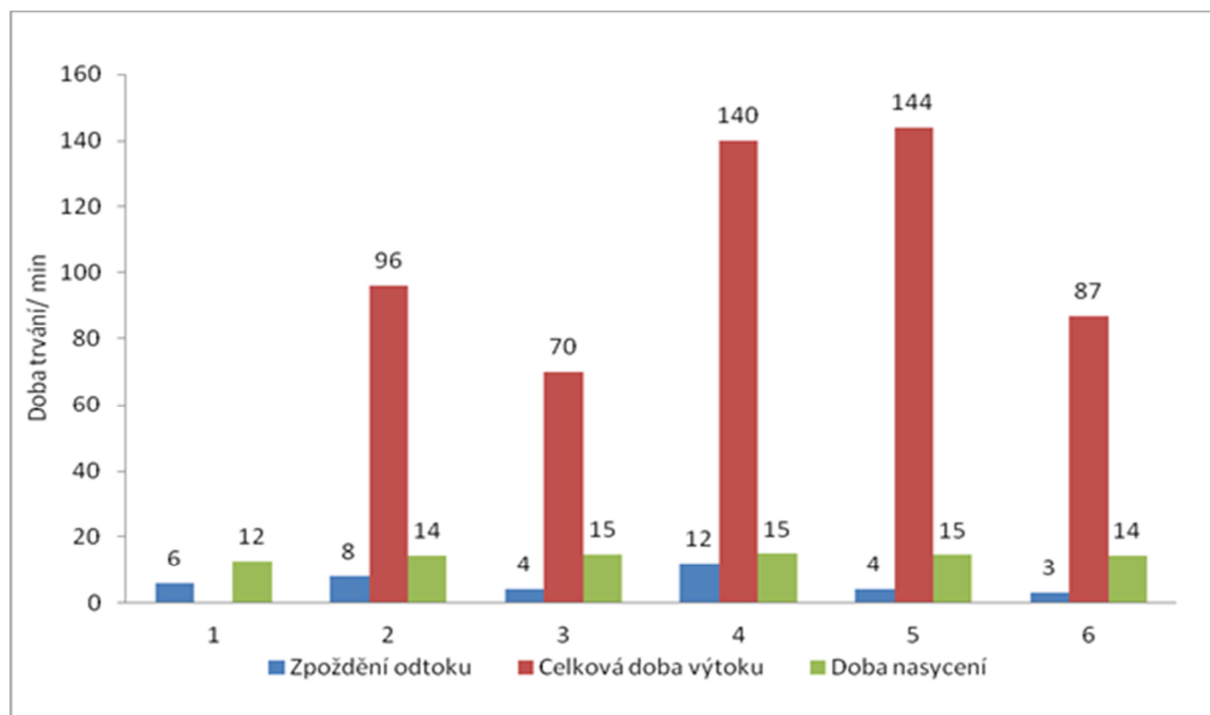
XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvív, Hrubý Jeseník



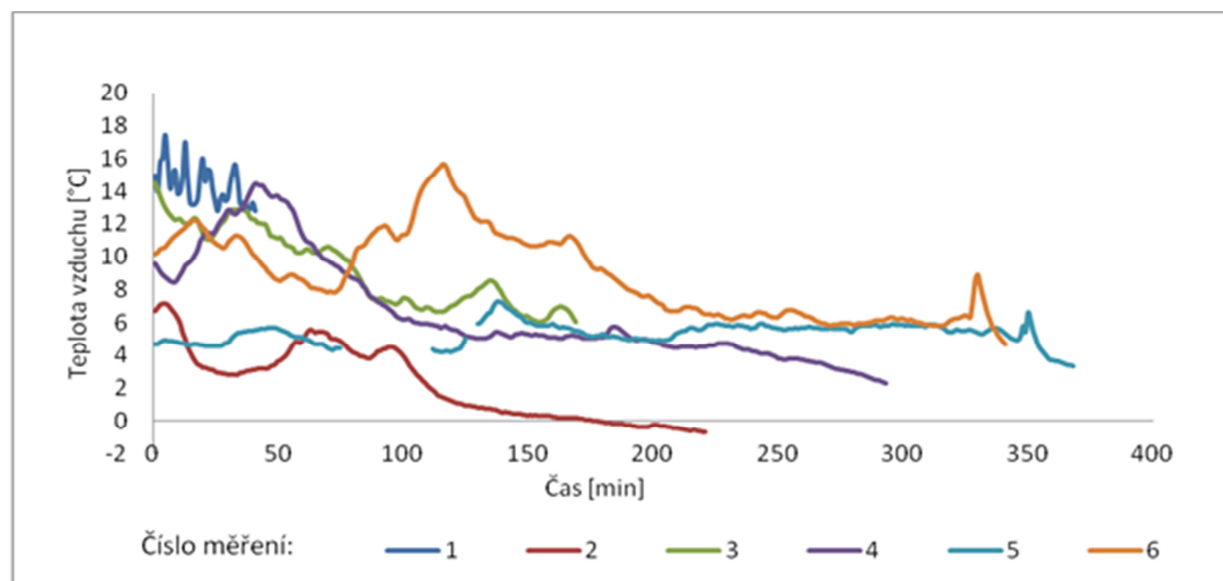
Obr. 2 - Hydrogramy odtoku během jednotlivých experimentů

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

Dále stojí za pozornost měření 4 – 6, kdy se několikrát za sebou opakovala dešťová událost. Sněhová pokrývka během čtvrtého měření měla nejpomalejší odezvu, kdy od konce první události do začátku další vyteklo 65 % srážky za 76 min. Odezva u dalších dvou měření byla mnohem rychlejší, konkrétně 91 % za 32 min při pokusu č. 5 (vzhledem k výpadku datalogeru nebylo možné stanovit další časy) a 125 % a 142 % za 38 min, respektive za 33 min při pokusu č. 6. U posledního pokusu byl výtok velmi zesílen táním a pravděpodobně hrála velkou roli malá výška sněhové pokrývky. Průběh teploty vzduchu je znázorněn na obr. 4, kde je vidět velký nárůst teploty při měření č. 6 od 73. min.



Obr. 3 – Základní odtokové parametry ze sněhové pokrývky



Obr. 4 – Teplota vzduchu během jednotlivých experimentů

Diskuse a záver

Jarní povodne často vznikajú kvôli dešťovej srážke na snehovou pokrývkou, kde sníh hraje významnou rolu pri transformácii odtoku. Simulácie týchto srážek pomocou fyzikálneho experimentu sa osvedčila ako vhodný nástroj na zisťovanie hydrologickej odpovedi snehu. Výsledky experimentu ukazujú, že odtok z vyzrálého snehovej pokrývky je veľmi rýchly a zároveň v ňom zostane pomerne malé množstvo vody. Rýchlosť reakcie srážkovej vody ovplyvňovala predovšetkým výška snehovej pokrývky, intenzita srážky, ale tiež teplota vzduchu, ktorá spôsobovala zvýšené tání.

Prováděním pokusů byly však zjištěny jisté limity a úskalí podobných simulací. Jde především o separaci odtoku, neboť presentované nastavení experimentu neumožňovalo tuto separaci provést, ale do budoucna se může vyřešit buď modelováním pomocí vhodného modelu tání nebo přidáním vybraného stopovače do srážkové vody. Znalost poměru tavné a srážkové vody na výstupu se ukázala být jako velmi důležitá.

Další limitace v poznání chování vody ve snehové pokrývce je jistě malý počet měření s podobným typem snehové pokrývky. Autoři jsou si tohoto nedostatku vědomí a v budoucnu by bylo jistě vhodné vyzkoušet více typů snehové pokrývky, především v různém stádiu zrání a s různou hustotou.

Přes všechny nedostatky v měření bylo zjištěno, že simulace srážek pomocí speciálně sestaveného simulátoru je možná a poskytuje velmi cenné výsledky. Tento pilotní projekt položil základy pro další podobná měření a nastavil směr pro další možnou modernizaci simulátoru a měřících postupů.

Literatura

- Conway, H. & Raymond, C. F., 1993: Snow stability during rain. *Journal of glaciology*, Vol. 39: s. 635-642.
- Conway, H., 1994: Physical processes in snowpacks during melt or melt events. University of Washington Seattle: s. 3 – 19.
- Kattelmann, R., 1997: Flooding from rain-on-snow events in the Sierra Nevada. – *Destructive Water: Water-Caused Natural Disasters, their Abatement and Control (Proceedings of the Conference held at Anaheim, California, June 1996)*. IAHS Publication 239: 59-65.
- Nobles, L. H., 1966: Slush avalanches in northern Greenland and the classification of rapid mass movement. *International Association Science Hydrology*, publ. 69: s. 267-272.
- Singh, P., Spitzbart, G., Hübl, H. & Weinmeister, H.W., 1997: Hydrological response of snowpack under rain-on-snow events: a field study, *Journal of Hydrology*, 202, s: 1-20.
- Singh, P. & Singh, V.P. 2001: *Snow and Glacier Hydrology*. Kluwer Academic Publisher Group (Netherlands), s. 764, ISBN: 9780792367673
- Smart, C. C., Owens, I. F., Lawson, W. & Morfia, A. L., 2000: Exceptional ablation arising from rainfall-induced slush flows: Brewster Glacier, New Zealand. *Hydrol. Process.* 14: s. 1045-1052.

Hydrofyzikálne vlastnosti umelej snehovej pokrývky v lyžiarskych strediskách

Matúš Hrbík, Michal Mikloš, Tomáš Vida, Jaroslav Škvarenina

Technická univerzita Zvolen

Úvod

V roku 1970 boli po Majstrovstvách sveta v klasických lyžiarskych disciplínach prvé pokusy, na území Slovenska vôbec, o zasnežovanie a to na Štrbskom plese (ŠVAJDA, 2006). Teda prvé zmienky, ohľadom skvalitnenia lyžiarskych tratí technickým snehom, sa objavili pred cca 40 rokmi. Skracovanie zimnej sezóny a jej zníženej výdatnosti na snehové zrážky, prípadne ich kvalitu, však pociťujeme z roka na rok. Na základe modelových scenárov zmien klímy do roku 2075 sa predpokladá, že v oblasti horských lesov Západných Tatier sa skrúti dĺžka trvania snehovej pokrývky o mesiac a viac (HOLKO a KOSTKA), (in ŠKVARENINA, 2007). Aktuálnosť riešenia otázky zasnežovania, tak prichádzala v posledných rokoch do úvahy, najmä v nižšie položených strediskách, kde sa jedná o ich samotnú záchranu. Stredisko Košútka (500-720 m n. m.), na ktorom prebehol výskum, pritom vzniklo v roku 2007 a jeho lyžiarska sezóna trvá maximálne 3 mesiace a to len vďaka zasnežovaniu. Bez technického snehu by sa trvanie sezóny skrútilo minimálne o mesiac, čo potvrdzujú i merania v tejto práci.

Môžeme teda konštatovať, že intenzívnejšie zasnežovanie lyžiarskych tratí, je v našej krajine pomerne novým fenoménom. V tejto práci sa preto venujeme snehovej pokrývke, ktorá vznikla kombináciou technického a prírodného snehu na svahu zjazdovky. Zaoberáme sa tiež kvantifikovaním snehovej pokrývky a jej vlastnosťami. Problematikou zisťovania zásob vody v technickej snehovej pokrývke, jej rozložením na svahu, zmenou hustoty alebo monitoringom počas topenia sa doposiaľ, podľa dostupných zdrojov, nezaoberal žiadny autor.

Zistením zásob vody, konzervovanej v technickej snehovej pokrývke, jej rozložením na ploche zjazdovky a monitoringom, budeme v ďalších výskumoch schopný nielen konštatovať to, (i) akým spôsobom a akou formou ovplyvňuje zasnežovanie fytoocenózy, prípadne pôdno-vegetačné pomery zjazdoviek, ale aj to, (ii) aká masa vody mení hydrické pomery, čiže výšku podpovrchových vôd a množstvo vody v pôde. Výsledky je ďalej možné použiť pri skúmaní vplyvu technickej snehovej pokrývky na edafón, hydrické pomery, pôdnu štruktúru, eróziu atď. Taktiež možno priamo využiť výsledné modely, monitoringu výšky snehovej pokrývky, pre potreby manažovania snehových diel jednotlivých častí zjazdovky a tým pomôcť majiteľovi rezortu, vytvoriť čo najhomogénnejšiu snehovú pokrývku vzhľadom na reliéf.

Materiál a metódy

Meranie charakteristík snehu

Merania charakteristík snehovej pokrývky, ako sú jej výška a vodná hodnota, prebiehali v týždenných intervaloch a to 22.03. 2011, 29.03.2011, 05.04.2011 a 12.04.2011. Jej fyzikálne vlastnosti sme zisťovali hmotnostnou metódou pomocou váhového snehomeru VS-43 (HRÍBIK a ŠKVARENINA, 2007). Hustotu snehu sme následne vypočítali zo získanej výšky a vodnej hodnoty. Za účelom terénneho odberu takýchto údajov, bolo nutné vyhlíbiť sondy až na pôdny povrch, skrz striedavo sa vyskytujúce vrstvy snehu, firnu a ľadu. Voda na svahu, tak bola konzervovaná v troch merateľných, pevných formách. Okrem snehu (firnu) sa z tohto dôvodu merala aj hrúbka ľadu na pôdnom povrchu. Ich výška sa odčítavala zo stupnice

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

lavínovej sondy Stubai, ktorej dĺžka je 265 cm. Na zisťovanie vodnej hodnoty snehu sa použil ruský snehomerný valec VS-43 a na váženie snehomerné váhy WMD 03. Samotné hĺbenie sond bolo robené pomocou lopatky Stubai TBLOOP a cepínu Stubai SIERRA.

Stála sieť meraní bola natiahnutá na svah zjazdovky, pričom súvisle pokrývala plochu s výrazným výskytom, zväčša technického snehu a to v porovnaní s okolitou krajinou v jarných termínoch. Vznikla terénnym mapovaním za pomoci GPS prijímača Leica GS05 (GS10), ktorý ďalej slúžil na opakované zameriavanie jednotlivých bodov siete v teréne a na zapisovanie nameraných hodnôt. Merané údaje o polohe, ploche a obvode z GPS prijímača boli spracované v programe LeicaGeo Office a vyhodnocované v prostredí GIS. Miesta meraní, boli vyberané zároveň drevených stĺpov osvetlenia, pričom vznikali “rady meraní”, kolmé na samotnú líniu stĺpov. Tie, v severo – južnom smere, vytvárali “zástupy meraní”. Prvý zástup meraní tvorili sondy na východnom okraji zjazdovky a postupovali smerom na západ. Z dôvodu rozličnej expozície, sklonu a šírky zjazdovky sme ju rozdelili na tri časti a to hornú, strednú a spodnú. Jej časti boli pokryté rôzne širokou snehovou pokrývkou, preto obsahovali rôzny počet bodov meraní, pričom sa zadali jednorázovo a nemenne, priamo v teréne.

Analýza údajov z meraní snehu

Sieť meraní bola z prostredia softvéru GPS (LeicaGeo Office) vyexportovaná ako shape-súbor (*Shapefile*), s definovaným typom elementu (*Feature type*) ako bod (*Point*), s ktorým bolo možné ďalej pracovať v programe ArcGIS 9.3. Jednalo sa tak o bodovú vrstvu ktorej sme priradzovali jednotlivé atribúty, čiže namerané výšky snehu, ľadu a celkovej snehovej pokrývky za jednotlivé dni meraní.

Aby sme namodelovali realite blízku výšku snehovej pokrývky zjazdovky, museli sme využiť nástroj GISu na interpoláciu hodnôt, v našom prípade výšok snehu a ľadu dokopy. Z ArcToolboxu sme vybrali nasledovné: 3D AnalystTools / Raster Interpolation / Spline. Pomocou ďalších nástrojov balíka SpatialAnalystTools sme upravili model tak, aby sme dostali obraz o celkovom rozložení snehu a ľadu na zjazdovke, ale hlavne o ich výške.

Na výpočet zásoby vody, ktorá je konzervovaná vo forme snehu a ľadu na ploche zjazdovky, bolo nutné použiť niekoľko rovnakých operácií v prostredí GIS samostatne pre sneh a ľad, nakoľko majú rozdielne hustoty. Vytvorili sme si pre ne dva rastre s údajmi o ich objemoch, ktoré sme vynásobili štatisticky ošetrovanou hodnotou hustoty. Sčítaním takto získaných, dvoch objemov vody sme napokon zistili celkovú zásobu vody v snehovej pokrývke. Platí teda, že:

$$V_{SP} = ((V_S \cdot \rho_S) + (V_L \cdot 0,917))$$

V_{SP} : Objem vody v celkovej snehovej pokrývke [cm^3]

V_S : Objem snehu [cm^3]

ρ_S : Priemerná hustota snehovej pokrývky [$g \cdot cm^{-3}$]

V_L : Objem ľadu na povrchu svahu [cm^3]

0,917 : Konštantná hustota ľadu v g / cm^3 , podľa (Trizna, 2004)

Pri spracovaní údajov o hustote snehu sme ako finálne hodnoty, pre výpočet objemu vody v snehu, brali do úvahy priemerné hodnoty medzi priemerom a mediánom, zaokrúhlené na dve desatinné miesta. Prihliadali sme tak na odľahlé hodnoty, ktoré boli správne a nevznikli chybou merania a súčasne i na ich mediány. Pre tento účel, sme na výpočet hustoty použili vodné hodnoty snehu merané v strede plôch siete meraní. Samotná hustota snehu bola počítaná z jej vodnej hodnoty a výšky pomocou nasledovného vzorca:

$$\rho_S = (50 \cdot H) / (50 \cdot v_S)$$

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

ρ_s : Hustota snehu [g / cm^3]

50 : Konštantná plocha prierezu snehomeru VS-43 [cm^2]

H: Vodná hodnota snehu

v_s : Výška snehu

Výsledky a diskusia

Výška snehu

Výsledky meraní výšok snehovej pokrývky sú spracované v programe R. Ich charakteristiky, sú uvádzané v cm (obr. 1), pričom grafické vyjadrenie (obr. 3) dokumentujú krabicové grafy (obr. 2)

22.03.11			29.03.11		
horná	stredná	spodná	horná	stredná	spodná
Min. : 0.00	Min. : 14.00	Min. : 5.00	Min. : 0.00	Min. : 0.00	Min. : 0.00
1st Qu.: 9.50	1st Qu.: 26.00	1st Qu.: 13.50	1st Qu.: 0.00	1st Qu.: 3.00	1st Qu.: 6.75
Median : 36.00	Median : 36.00	Median : 21.00	Median : 18.00	Median : 10.00	Median : 13.00
Mean : 48.88	Mean : 47.76	Mean : 45.87	Mean : 33.31	Mean : 26.24	Mean : 29.47
3rd Qu.: 72.00	3rd Qu.: 55.00	3rd Qu.: 77.75	3rd Qu.: 55.50	3rd Qu.: 46.00	3rd Qu.: 24.50
Max. : 181.00	Max. : 126.00	Max. : 170.00	Max. : 134.00	Max. : 104.00	Max. : 152.00

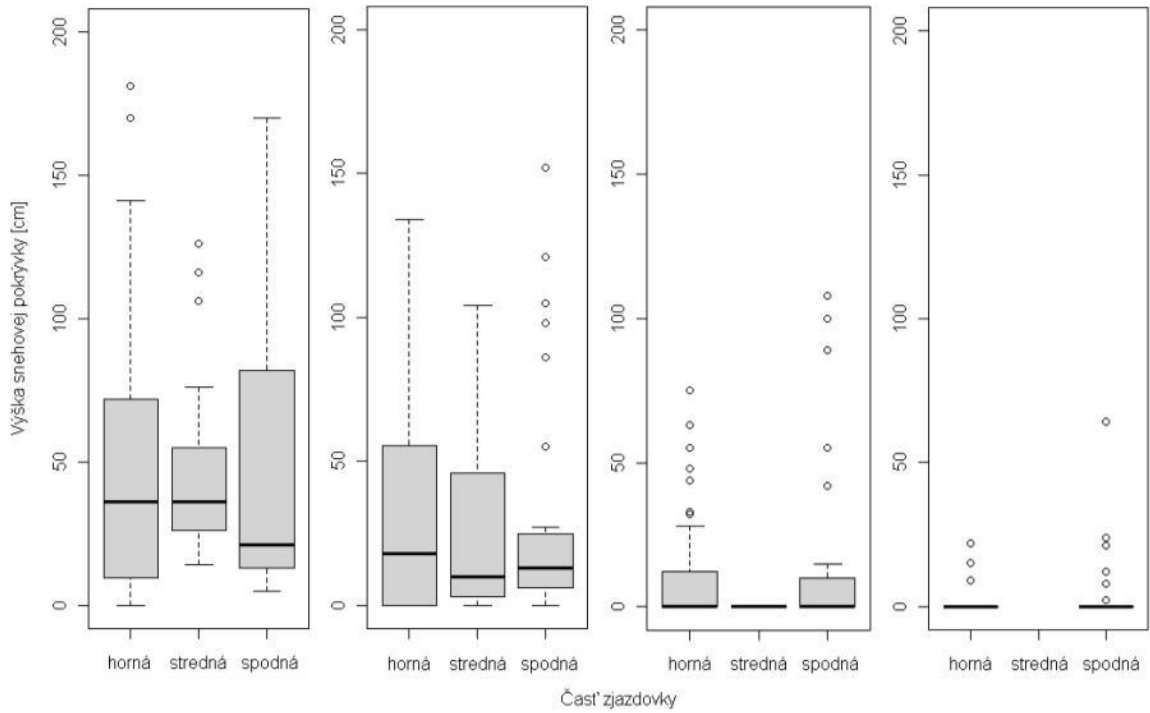
05.04.11		12.04.11	
horná	spodná	horná	spodná
Min. : 0.00	Min. : 0.0	Min. : 0.000	Min. : 0.000
1st Qu.: 0.00	1st Qu.: 0.0	1st Qu.: 0.000	1st Qu.: 0.000
Median : 0.00	Median : 0.0	Median : 0.000	Median : 0.000
Mean : 10.86	Mean : 15.2	Mean : 0.902	Mean : 4.367
3rd Qu.: 12.00	3rd Qu.: 10.0	3rd Qu.: 0.000	3rd Qu.: 0.000
Max. : 75.00	Max. : 108.0	Max. : 22.000	Max. : 64.000

Obr. 1 Charakteristiky výšok snehovej pokrývky pre jednotlivé časti zjazdovky

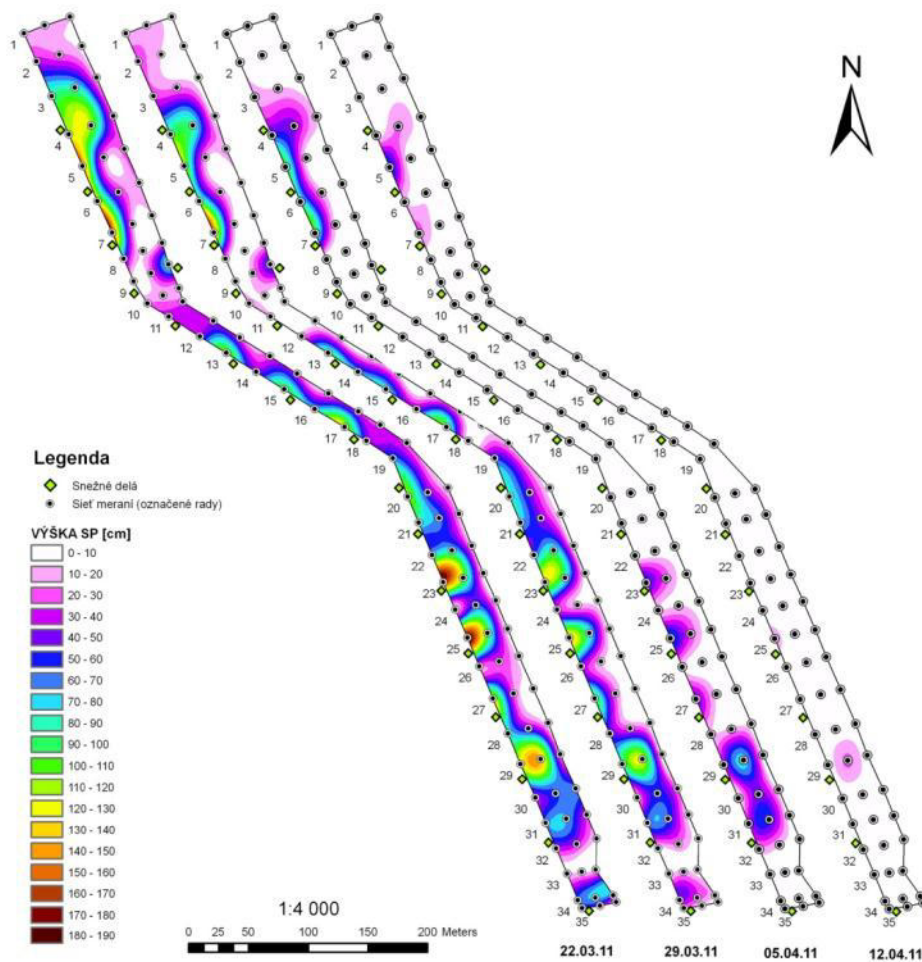
Merania výšky snehovej pokrývky sme následne, podľa uvedenej metodiky, spracovali v prostredí GIS. Namodelovali sme tak reálne rozmiestnenie snehovej pokrývky v závislosti od jej výšky a to v priebehu času (obr. 3). Ako výšku snehovej pokrývky sme použili sumu výšky snehu, firnu a ľadu. Výsledný model pritom nezohľadňuje druh snehu ani jeho metamorfované formy, pretože všetky vplyvajú na zásobu vody, na zjazdovke. Tá vznikla prevažne z technického snehu, čo jednoznačne dokumentuje model, na ktorom vidno výrazný vplyv zasnežovania (obr. 3). V okolí zjazdovky sa pritom už vyše týždňa, od prvého merania, nenachádzal prírodný sneh, pričom sezóna bola ukončená 20.03.

Dňa 22.03. bola maximálna výška pokrývky vyše 180 cm (obr. 1). Pritom podľa meraní, na južných svahoch Poľany (v rovnakej nadmorskej výške), bola priemerná výška prirodzene vzniknutej snehovej pokrývky nulová už od konca januára (Hříbik, 2011). Môžeme tak potvrdiť informáciu, že umelý sneh má veľmi dobrú odolnosť voči teplému počasiu a dažďu (BOCHNÍČEK, 2003), nakoľko sa takéto, pre sneh nepriaznivé podmienky vyskytovali od februára (obr. 5 a 6). Z výsledkov je tiež zrejmé, že najvyššie hodnoty dosahovala výška pokrývky na miestach výskytu snehových diel, pričom maximá boli zaznamenané zhruba 10 m od nich, smerom nadol po svahu. Naopak na plochách medzi zasnežovacími delami výška pokrývky výrazne klesala, čo vidno na radoch meraní s číslom 1, 2, 8, 12, 14, 16, 18, 19, 22, 24, 26, 28, 30, 32 a 33. Snežné delá tak vytvárali akési polkruhy, s maximami v stredoch a pozvoľným klesaním výšok snehu smerom na okraje polkruhových (obr. 3).

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník



Obr. 2 Charakteristiky polohy a variability snehovej pokrývky



Obr. 3 Meniaca sa snehová pokrývka počas topenia, po lyžiarskej sezóne

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

Dňa 29.03. sa v strednej časti nachádzali podobné výšky pokrývky ako v spodnej časti (obr. 3). Stredná časť, má ale ako jediná západnú expozíciu preto sa do 05.04. úplne roztopila, no miesta s rovnako vysokou pokrývkou v spodne a hornej časti zostali pokryté.

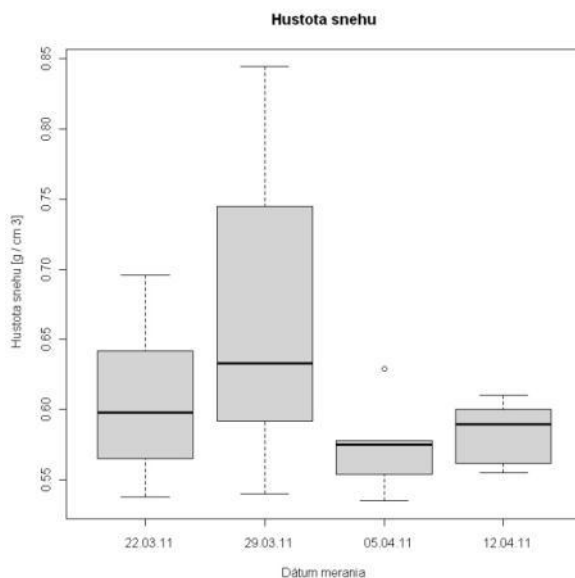
Z uvedených výsledkov teda vyplýva, že výška snehovej pokrývky sa počas topenia mení nerovnomerne pre jednotlivé časti svahu. Má na to vplyv najmä (i) zasnežovanie ale i (ii) reliéf, (iii) zimné rekreačné aktivity a (iv) úpravy svahu.

Hustota snehu

Hustota snehu, ktorá je počítaná z meranej vodnej hodnoty, je uvádzaná v $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Pre jednotlivé dni meraní má nasledovné charakteristiky:

	22.03.11	29.03.11	05.04.11	12.04.11
Min. :	0.5380	0.5400	0.5350	0.5550
1st Qu. :	0.5675	0.5925	0.5540	0.5683
Median :	0.5980	0.6330	0.5750	0.5895
Mean :	0.6054	0.6641	0.5742	0.5843
3rd Qu. :	0.6378	0.7425	0.5780	0.5980
Max. :	0.6960	0.8440	0.6290	0.6100

Na výpočet zásob vody v snehu sme použili hodnoty $0,60 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (22.03.11), $0,65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (29.03.11), $0,57 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (05.04.11) a $0,58 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (12.04.11). Grafické vyjadrenie, vývoja charakteristík polohy a variability meraní hustoty snehu na zjazdovke, interpretujú krabicové grafy (obr. 4).



Obr. 4 Charakteristiky polohy a variability hustoty snehu vyjadrené graficky

Čiže, z meranej vodnej hodnoty snehu sme vypočítali jeho hustotu. Podľa Hříbika (2005), meniace sa vlastnosti snehu (napr. v dôsledku teplotných a vlhkostných zmien) veľmi dobre charakterizuje práve hustota snehu. Počas topenia sa snehové kryštály menia na ľadové zrníčka, pričom s ich vzrastajúcou hrúbkou rastie aj hustota. Napríklad čerstvý sneh má hustotu $0,01 - 0,2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, starý sneh $0,25 - 0,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ a firn s hustotou nad $0,58 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. (KŇAZOVICKÝ, 1967).

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

V našom prípade bola maximálna hustota snehu zistená 29.03. a to $0,84 \text{ g.cm}^{-3}$. Pravdepodobne sa nejednalo o chybu pri meraní, nakoľko sa 50 % hodnôt nachádzalo v intervale medzi $0,59\text{--}0,74 \text{ g.cm}^{-3}$, čo bol maximálny rozsah zistených hodnôt hustoty (obr. 4). Takisto 22.03 bol rozsah hustôt vysoký, pričom dosahoval vyššie hodnoty ako 05. a 12.04. Podľa klasifikácie TRIZNU (2004) a KŇAZOVICKÉHO (1967) sa však, počas meraní na zjazdovke, vždy jednalo o firm.

Meraním a pohybom v teréne bolo zistené, že 22.03 a 29.03 sa v profile snehovej pokrývky nachádzalo oveľa viac vrstiev ľadu, ktorý prechádzal až na pôdny kryt ako počas neskorších dvoch termínov. O tomto svedčia aj zistené hodnoty konzervovanej vody vo forme povrchového ľadu (tab. 1). Zistili sme teda, že hustota snehu sa za určitých podmienok teploty vzduchu zvyšuje a pri intenzívnom topení klesá. Pritom podľa BOCHNÍČKA (2003) prebieha topenie snehu zhora na dol a firmovanie naopak. Každý z týchto procesov však prebieha v odlišných podmienkach, čo potvrdzujú naše závery

Z výsledkov vyplýva, že na meniacu sa hustotu majú vplyv najmä faktory ako (i) teplota vzduchu, zrážky a (ii) vrstvy ľadu. Pritom, ak porovnáme nami zistené hodnoty hustoty snehovej pokrývky na zjazdovke v marcových a aprílových termínoch, s typickými hodnotami hustoty staršieho snehu v horských povodiach, ktoré kolíšu od $0,2 \text{ g.cm}^{-3}$ v januári, do $0,4\text{--}0,5 \text{ g.cm}^{-3}$ v apríli (ŠKVARENINA, 2007), zistíme značne vyššie hodnoty na zasnežovanom svahu.

Zásoba vody a vodná hodnota snehu

Výsledné modely zásob vody, ktorá bola konzervovaná v snehovej pokrývke, sme vytvorili pomocou GISu. Ich číselné vyjadrenie prináša tabuľka č. 2 (obr. 8). Obsahuje i medzivýpočty objemov snehu a ľadu.

Tab. 1 Výsledné objemy snehu a ľadu na zjazdovke počas štyroch týždňov a ich zásoby vody

	22.03.11	29.03.11	05.04.11	12.04.11
objem snehu [l]	13 332 596,54	9 429 314,17	3 449 166,69	737 405,93
objem vody v snehu [l]	7 999 557,73	6 129 054,50	1 966 025,02	427 695,44
objem ľadu [l]	831 973,88	1 019 710,60	0,00	607 467,38
objem vody v ľade [l]	762 920,09	935 074,61	0,00	36 667,62
objem snehovej pokrývky [l]	14 164 570,41	10 449 024,78	3 449 166,69	1 344 873,31
objem vody v snehovej pokr. [l]	8 762 477,82	7 064 129,12	1 966 025,02	464 363,05

Podľa HRÍBIKA (2005) je vodná hodnota jedna z najdôležitejších charakteristík, ktorá podáva informáciu o množstve vody akumulovanej na sledovanom území počas zimného obdobia. Stanovenie zásob vody v snehovej pokrývke poskytuje zaujímavé údaje pre ochranu povodia pred povodňami, ako aj pre zistenie jarných zásob vody v pôde.

Za jeden týždeň, od prvého merania, klesla zásoba vody viazaná vo forme snehu a ľadu o cca 1,7 mil. litrov vody, čo predstavuje cca 19,4 % (obr. 12). Ďalší týždeň, z 29.03 na 05.04., to bolo o vyše 5 mil. litrov vody, čo je pokles o 72,17 %. Tento radikálny úbytok zásob pripisujeme (i) výraznému otepleniu, (ii) dažďu v kombinácii s kladnými nočnými teplotami nad $5 \text{ }^\circ\text{C}$, (iii) poklesu hustoty snehu a (iv) totálnemu roztopeniu snehu v strednej časti. Táto časť má totiž ako jediná západnú expozíciu. Pritom trend topenia sa vo všeobecnosti mierne zvyšoval, keďže sa pokrývka naďalej znižovala a to z 05.04 na 12.04. o 76,38 % (cca 1,5 mil. l).

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

HRÍBIK (2005) uvádza, že sa v snehovej pokrývke v zimnom období akumuluje značná časť (20–30%) z celoročného úhrnu zrážok. Preto stanovenie zásob vody v snehovej pokrývke poskytuje zaujímavé údaje pre ochranu povodia pred povodňami, ako aj pre zistenie jarných zásob vody v pôde, využiteľných napr. pri zasnežovaní. Po zistení takýchto zásob, konzervovaných prevažne v technickej snehovej pokrývke, budeme schopný konštatovať, aké množstvo vody pri topení ovplyvňuje a mení (i) bilanciú vody v pôde, (ii) výšku podpovrchových vôd, (iii) pôdnu štruktúru, (iv) pričom má zákonitý vplyv na lesnú i nelesnú vegetáciu a tiež edafón.

Záver

Meraniu charakteristík prírodnej snehovej pokrývky sa venovalo viacero kvalitných prác. Snehová pokrývka lyžiarskych svahov, má však výrazne odlišné vlastnosti ako prirodzene vzniknutá a to najmä z dôvodu zasnežovania. Tento fenomén sme potvrdili v našej štúdií. Výskumu s podobným zameraním sa však doposiaľ venovala minimálna pozornosť. My sme sa v práci zamerali hlavne na túto časť problematiky. Samotný výskum pritom prebiehal v stredisku Košútka. Tu sme zistili, že technický sneh (produkt zasnežovania) do značnej miery zvyšuje výšku, vodnú hodnotu a hustotu snehovej pokrývky, pričom týmto spôsobom predlžuje dobu jej trvania. Napríklad v sezóne 2010 / 2011, bol v stredisku Košútka zaznamenaný výskyt snehovej pokrývky vyše mesiaca po roztopení prírodného snehu. I keď majiteľ strediska môže podľa výsledkov tejto práce do značnej miery vylepšiť manažment zasnežovania a tým ešte viac predĺžiť sezónu, musíme brať do úvahy aj fakt, že v jarných termínoch je kvalita snehu vplyvom vyšších denných teplôt často nevyhovujúca. Na analýzu snehovej pokrývky, po lyžiarskej sezóne, sme použili jedinečnú metodiku, ktorej výstupom sú zaujímavé modely rozmiestnenie snehu na zjazdovke a presné hodnoty vodných zásob, ktoré sme monitorovali v týždenných intervaloch až po jej úplné roztopenie. Bežne používaná metodika na meranie prírodného snehu sa dala využiť len čiastočne, nakoľko sa v profile pokrývky nachádzali hrubé vrstvy ľadu a tým zvyšovali jej hustotu a vodnú hodnotu. Samotná výška snehovej pokrývky a jej rozmiestnenie pritom záviselo najmä od vzdialenosti voči snehovým delám. Namerané maximum pritom bolo týždeň po roztopení prírodného snehu 181 cm. Čo sa týka hustoty, bolo namerané maximum $0,84 \text{ g.cm}^{-3}$ zaznamenané v priebehu topenia, pričom väčšina hodnôt hustoty sa vždy nachádzala v intervale cca $0,55\text{--}0,60 \text{ g.cm}^{-3}$. Vysokou hustotou navýšená vodná hodnota snehu spôsobila, že zásoby vody predstavovali v deň prvého merania až 8,76 mil. litrov vody na ploche cca 2,8 ha. Toto obrovské množstvo vody musí výrazne ovplyvňovať (počas topenia) nielen hydrické pomery mikropovodia, pôdnu štruktúru či živočíšstvo, ale hlavne mačinu ktorá tvorí prechodnú vrstvu medzi snehovou pokrývkou a pôdnym povrchom, čím zabraňuje erózii pôdy.

Resumé

The main purpose of this thesis is to determine and monitor water reading and height of artificial snow that was left on the slope of Košútka ski centre (k. ú. Hriňová) in March and April after winter season 2010 / 2011. The aim of this thesis is also to determine the amount of water supply in form of snow left on the slope and the way it changes after the natural snow melted. It describes methodology of exigent monitoring of such mantle's hydrophysical properties and evaluative methodology of water supply measures using the GIS programme and additional GPS measurement used to determine exact area of the slope. Thesis also discovers interesting properties of water conserved in snow that can explain some processes and changes of vegetable species structure in this area. The results showed that the content of water in amount of 8,7 mil. litres, calculated from precisely created model of snow mantle of the Košútka ski centre, had been decreasing irregularly over time. Similarly, the progress of

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

snow density was irregular and dependent on unevenly distributed ice layers in snow mantle. The minimal ($0,54 \text{ g.cm}^{-3}$) and maximal ($0,84 \text{ g.cm}^{-3}$) were determined. Research results bring us invaluable information not only about state, but also about development of snow mantle properties. Thanks to these results we are able to precisely determine the change in species structure of fytocenoses, living component of soil, time change in fenophases, etc. This thesis is important not only from the point of view of ecology, but also can be useful for the owner of the slope because based on the models he could improve of change his way of creating more homogenous artificial snow mantle.

Pod'akovanie

Autori ďakujú za podporu projektom VEGA MŠ SR č. 1/1130/12 (30%) a č. 1/0257/11 (30%), a projektu "Centrum excelentnosti pre podporu rozhodovania v lese a krajine.", na základe podpory OP Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja na základe zmluvy č. 26220120120 (20%). **Tento príspevok je tiež výsledkom realizácie projektu:** Centrum excelentnosti pre integrovaný manažment povodí v meniacich sa podmienkach prostredia, **ITMS kód 26220120062; podporovaný výskumným a vývojovým operačným programom financovaným z ERDF (20%).**



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

Literatúra

- BOCHNÍČEK, O., 2003: Snehové pomery Vysokých a Nízkyh Tatier z hľadiska vhodnosti pre zimné športy: dizertačná práca, Bratislava: UK, 112 s.
- HRÍBIK, M., 2011: Modelovanie časového a priestorového rozloženia snehovej pokrývky v rokoch 2004-2011 v malom horskom povodí Hučavy. In Transport of water, chemicals and energy in the soil-plant-atmosphere system. Bratislava: Ústav hydrologie SAV. ISBN 978-80-89139-26-2, s. 190-201.
- HRÍBIK, M., ŠKVARENINA, J., 2007: Vplyv bukového a smrekového lesa v rastovej fáze žrdoviny na vytváranie snehových zásob. In Klima lesa. Brno - Křtiny, ISBN 978-80-86690-40-7, 10 s.
- HRÍBIK, M., 2005: Vplyv nadmorskej výšky na hydrofyzikálne vlastnosti snehovej pokrývky horských lesných ekosystémov Biosferickej rezervácie Poľana: diplomová práca, Zvolen: TUZVO, 77 s.
- KŇAZOVICKÝ, L., 1967: Lavíny. Bratislava: Slovenskej akadémie vied, 264 s.
- ŠKVARENINA, J., HRÍBIK, M., MINĎÁŠ, J., 2007: Snehové pomery a zásoby vody v snehovej pokrývke v jarnom období. In Les / Slovenské lesokruhy, ISSN 13377-088X, roč. 63, č. 1-2, s. 34-35.
- ŠVAJDA, J., 2006: Vplyv lyžovania na prírodné prostredie chránených území. In Lavexinfo. ISSN 1336-1953, č. 3, s. 8-12.

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíc, Hrubý Jeseník

TRIZNA, M., 2004: Klimageografia a hydrogeografia. Bratislava: UK, Geografika, ISBN 80-968146-7-2, 154s.

Mikrobiologická charakteristika snehovej pokrývky v oblasti Chopku v Nízkych Tatrách

Miriam Hanzelová¹, Matúš Hríbik², Jaroslav Škvarenina², Zuzana Perháčová¹

¹ Katedra biológie a všeobecnej ekológie, Fakulta ekológie a environmentalistiky, Technická univerzita vo Zvolene, Masarykova 24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika

² Katedra prírodného prostredia, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, Masarykova 24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika

Úvod a ciele

Sneh je významná súčasť kryosféry, ktorá nemalou mierou ovplyvňuje našu planétu, od globálneho meradla až po samotné populácie mikroorganizmov. Vytvára veľmi nehostinné prostredie pre život, podmienky pri ktorých teplota vzduchu kolíše okolo nuly, voda je väčšinu času v tuhej forme, silná slnečná radiácia, striedanie zamŕzania a roztápania povrchu snehovej pokrývky a mnohých ďalších súčasne pôsobiacich stresových faktoroch. No aj napriek tomuto faktu, sa vyvinuli organizmy schopné v ňom prežiť, baktérie, riasy, sinice a niektoré mikroskopické druhy húb tvoria spoločenstvo organizmov nazývané kryosestón. V prírode sú všade prítomné a významne zasahujú do kolobehu látok prostredia, v ktorom žijú. Riasy a sinice predstavujú pionierov života na stanovištiach s extrémnymi životnými podmienkami. Sú nenápadné a preto väčšinou unikajú ľudskej pozornosti (FOTT, 1967, LHOTSKÝ - ROSA - HINDÁK, 1974). V dnešnej dobe sa tejto problematike na Slovensku nevenuje takmer žiadna pozornosť.

Psychrofilné organizmy predstavujú stále zdroj nových ešte nepoznaných druhov. Pri dnešných klimatických zmenách a rapídnom ústupe ľadovcov a snehovej pokrývky sa niektoré druhy časom môžu stať ohrozenými. Pritom je ešte mnoho nezodpovedaných otázok ohľadom ich výskytu, životných cyklov a adaptácií v extrémnych podmienkach. Kryoseston je potenciálne cenný pre človeka (napr. biotechnológie, modelové situácie). Pretože tieto organizmy sa dokázali prispôsobiť životu na hranici fyziologických možností, ktoré sú podobné podmienkam vyskytujúcich sa napríklad na Marse. (HOHAM – DUVAL, 2001, NEDBALOVÁ - LUKAVSKÝ, 2007).

V tejto práci sa venujeme problematike výskytu mikroorganizmov v snehovej pokrývke v Nízkych Tatrách v okolí Chopku a vplyvu faktorov ako sú nadmorská výška, priebeh zimného obdobia a vplyv lesného porastu.

Rozbor problematiky

Ľudia si od nepamäti všímali svoje okolie, extrémne alebo nezvyčajné úkazy si zaznamenávali. Za prvú písomnú zmienku o farebnom snehu pokladáme dielo Meteorologica od Aristotelesa. Objaviteľské cesty počas novoveku priniesli veľa nových záznamov o výskyte sfarbeného snehu (NOVIS, 2002, SEGAWA et al., 2005, NEDBALOVÁ - LUKAVSKÝ, 2007, NEDBALOVÁ – SKLENÁŘ, 2008, UETAKE et al., 2010, LUKAVSKÝ – CEPÁK, 2010).

Farebná škála snehových polí je dosť široká, od žltej, zelenej, cez červenú, ružovú až po modrú, hnedú a čiernu. Spočiatku si ľudia sfarbenie vysvetľovali rôzne, no až časom, keď sa zdokonalil mikroskop, mohli vedci určiť pravú príčinu farby snehu (JANZA, 1956). V roku 1896 švajčiarsky algológ R. Chodat mikroskopovaním prišiel na to, že červené sfarbenie je spôsobené intenzívnym rastom mikroorganizmov. Nórsky bádateľ N. Wille v roku 1903 identifikoval, prvý a najčastejšie sa vyskytujúci druh, bičkovca *Chlamydomonas nivalis*

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

(NEDBALOVÁ – LUKAVSKÝ, 2007). Farba snehu a jej intenzita je závislá od druhu kryosestonu a od jeho veku. Najznámejšia je červená forma snehu, ktorá je spôsobená prítomnosťou červených karotenoidov najmä xantofylom astaxantínom. (KOMÁREK – NEDBALOVÁ, 2007). Dnes je fenomén červeného snehu vo svete známy ako „red snow“ alebo „melónový sneh“. Mikroorganizmy môžu taktiež spôsobiť oranžové, zelené alebo hnedé sfarbenie snehu.

Kryoseston

Mikroskopické organizmy žijúce v snehu a na povrchu ľadu nazývame kryofyta. Dneska by sme ich mohli definovať ako organizmy schopné rásť pri nízkych až mínusových teplotách a neschopnosť rastu s absenciou metabolickej aktivity pri teplotách vyšších ako 15°C. Sú to najmä baktérie, sinice, riasy. Ich výskyt bežný vo vysokých horách ako sú Alpy, Tatry, kde sneh pretrváva na určitých lokalitách po celý rok (LEDERER - LUKAVSKÝ, 2003). Starý sneh býva väčšinou špinavý, počas zimy sa na povrchu snehovej pokrývky zachytávajú zrážky, prach, ktorý obsahuje baktérie, vírusy, huby, prvoky, peľové zrná, semená rastlín, časti rastlín a hmyzu, ktoré sú vetrom prenášané na veľké vzdialenosti z miest ich vzniku. Tieto látky sú významným zdrojom živín pre mikroorganizmy.

Premnoženie kryofilných organizmov následne vedie k zafarbeniu snehu. V červenom snehu riasy dosahujú až 700 krát väčšej hojnosti v porovnaní s bielym snehom. (MARGESIN – MITEVA, 2011, KOMÁREK – NEDBALOVÁ, 2007). Na snehovej pokrývke nájdeme aj sprievodné psychrotolerantné druhy, pre ktoré sneh nepredstavuje ideálne prostredie k rastu, ale dokážu tu prežiť (KOMÁREK - NEDBALOVÁ, 2007). Okrem siníc, rias, rozsievok, húb tu žijú zástupcovia baktérií, vírusov, vírnikov, a pomaliiek, hlíst, hmyzu, pavúkov, roztočov, vtákov a väčších cicavcov. (BARRY et al. 2007, HOHAM, 1989). Kryoseston sa v skrytej forme vyskytuje pomerne hojne (kozmpolitné druhy), zreteľne viditeľné prejavy sa vyskytujú menej často (LEDERER - LUKAVSKÝ, 1993).

Jednou z účinných životných stratégií ako prežiť nepriaznivé podmienky je komplikovanosť životných cyklov týchto organizmov, ktorá sa však nemusí byť vyvinutá pre všetky druhy kryosestonu.

Riasy majú mnoho adaptačných mechanizmov vďaka ktorým dokážu úspešne prežiť jednotlivé fázy ich životného cyklu počas relatívne krátkeho času topenia snehu. Teplota v roztápajúcom sa snehu dosahuje hodnoty okolo 0-10°C. Ak teplota klesne pod nulu, kryofilné riasy reagujú a prechádzajú do kludových štádií. Sú pomerne dobre adaptované na život pri nízkych teplotách (LEDERER - LUKAVSKÝ, 2003). S teplotou súvisí aj obsah tekutej vody v snehovej pokrývke, čo ako sa zdá, predstavuje jeden z kľúčových faktorov vplyvujúcich na rast snežných rias (NEDBALOVÁ – KOCIÁNOVÁ - LUKAVSKÝ, 2008, SEGAWA et al., 2005). Obsah vody v snehu je dôležitý ako prostredie pre transport živín, rast rias a ich pohyblivosť (JONES, 1999).

Mnohé zo snežných rias majú bičiky, ktorými sa môžu pohybovať za živinami a vyhľadávať miesta s optimálnym slnečným žiarením (HOHAM, 1989, NEDBALOVÁ - LUKAVSKÝ, 2007). Fyziologické zmeny rias zahŕňajú ďalšie účinné adaptácie napríklad prítomnosť enzýmov, ktoré povoľujú optimálny rast aj pri nízkych teplotách, odolnosť voči neustálemu striedaniu topenia a zamŕzania snehovej pokrývky najmä na nezatičených lokalitách. Bola taktiež zistená zvýšená koncentrácia nenasýtených mastných kyselín, ktoré zabezpečujú fluiditu membránových lipidov počas nízkych teplôt (NEDBALOVÁ - LUKAVSKÝ, 2007).

Nápadná je akumulácia karotenoidov (najmä astaxantínu) v bunkách. Toto je príčinou silného červeného sfarbenia snehu. Astaxantín má viacero funkcií ochranných funkcií v bunke. Pôsobí ako pasívny filter, čím chráni bunku pred následkom nadmernej intenzity krátkovlnného viditeľného a ultrafialového žiarenia. Je taktiež antioxidantom, čiže chráni pred

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

nepriaznivými účinkami voľných radikálov, ktoré môžu vznikáť pri strese vystavenia sa nadmernému žiareniu. A do tretice zvyšuje odolnosť buniek voči mrazom. Keď je obsah astaxantínu v bunke vyšší, znižuje sa obsah vody, čím sa znižuje pravdepodobnosť vzniku ľadových kryštálov, ktoré by mohli bunku poškodiť (HOHAM, 1993, NEDBALOVÁ - LIKAVSKÝ, 2007)

Metodika práce a metódy skúmania

Odber vzoriek a mikrobiologická analýza snehu

Vzorky určené na mikrobiologickú analýzu sme odoberali z vrchných častí snehovej pokrývky (z hĺbky maximálne do 20 cm) do sterilných fliaš s objemom 100 ml. Vzorky z Nízkych Tatier z oblasti Chopku sme odoberali taktiež v mesačnom intervale (december – apríl) každých 100 výškových metroch transektu ako na voľnej ploche tak aj v lese. Na porovnanie vzoriek les-voľná plocha sme odoberali vzorky z voľných plôch s rovnakou nadmorskou výškou a expozíciou.

Vzorky sme odoberali aj vo Vysokých Tatrách, ale na rozdiel od Nízkych Tatier vzorky boli odoberané len jednorázovo v letných mesiacoch z viacerých dolín (Zlomiskovej, Bielovodskej, Velickej, Veľkej a Malej Studenej doliny

Odobrané vzorky sme čo najskôr transportovali do laboratória a uchovali v chladničke pri teplote 4°C. Analýzy sme vykonávali najneskôr do 24 hodín od zberu v mikrobiologickom laboratóriu KBVE Technickej univerzity vo Zvolene. Ak to nebolo možné, vzorky sme fixovali Lugolovým roztokom. Cieľom mikrobiologického rozboru snehu bolo získanie kvalitatívnych a kvantitatívnych údajov o prítomnosti mikroorganizmov. Využívali sme pritom mikroskopické a kultivačné metódy.

Pri mikroskopických metódach sme vzorky roztopeného snehu najprv zcentrifugovali. Počet otáčok a dobu centrifugácie sme stanovili na základe normy STN 75 7711 (2000) na 10 ml vzorky po 5 min x 2000 otáčok pri polomere rotora 0,08 m) (HLÚBIKOVÁ, 2007), tým sme zvýšili koncentráciu mikroorganizmov, vytvorili sme preparáty a pozorovali pomocou mikroskopu Olympus BX40. Pomocou softwaru Quick Photo Micro 2.2 sme vytvárali obrazovú dokumentáciu zaznamenaných mikroorganizmov.

Výsledky a diskusia

V práci sme dokázali prítomnosť rôznych skupín mikroorganizmov vo vzorkách snehu. Tento fakt potvrdzuje aj mnoho ďalších prác zaoberajúcich sa touto problematikou (viď kap. Rozbor problematiky). Pre názornejšie zobrazenie problematiky sme jednotlivé merania rozdelili na zimné a jarné obdobie, ktoré sa vyznačujú rôznym priebehom počasia a snehových charakteristík. Kultivačnými metódami vzoriek snehu sme zisťovali kvantitatívne zastúpenie psychrofilných baktérií.

Vplyv nadmorskej výšky

Z doteraz uskutočnených kultivačných analýz vykonaným počas 3 zimných sezón sa nám nepotvrdila hypotéza závislosti početnosti kolónií baktérií od rastúcej nadmorskej výšky. Zahraniczne štúdie však potvrdzujú opak (MARGESIN - MITEVA, 2011, TAKEUCHI, 2001). Pováčšine ide ale o výskumy na ľadovcoch pri ktorých výškové rozdiely dosahujú oveľa väčšie výškové rozpätie ako tomu bolo pri našich analýzach (od 1000 m n. m. po 2000 m n. m.).

S narastajúcou nadmorskou výškou sa menia podmienky prostredia (najmä teplota, množstvo snehovej pokrývky, intenzita slnečného žiarenia, množstvo minerálnych častíc). Výskum SEGAWA et al. (2010) potvrdil závislosť medzi početnosťou baktérií a nadmorskou výškou (s narastajúcou nadmorskou výškou klesala početnosť baktérií, pričom v stredných polohách

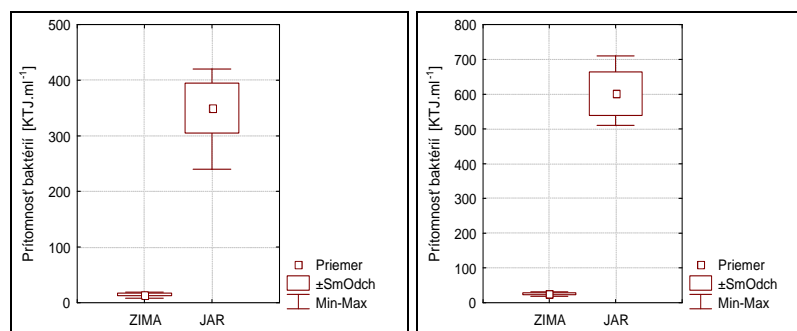
XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

bol zaznamenaný mierny nárast). Autori sa domnievajú, že v nižších polohách je väčší prísun organického materiálu, ktorý sem bol doviaty vetrom a splavený z vyšších častí ľadovca. Pripúšťajú však aj možnosť, že zistená zvýšená početnosť baktérií v stredných polohách mohla byť ovplyvnená väčšou početnosť snežných rias (staršie štúdie potvrdzujú vzťah medzi prítomnosťou snežných rias a baktérií) (THOMAS, 1994). Kľúčové faktory, ktoré vplývajú na početnosť rias sú intenzita svetla a množstvo snehovej pokrývky. Početnosť baktérií je závislá najmä od prísunu organického materiálu.

O vplyve nadmorskej výšky na výskyt snežných rias svedčia aj ich adaptačné mechanizmy. Bol zistený vyšší obsah astaxantínu u *Chlamydomonas nivalis*, ktorý sa vyskytuje vo vyšších nadmorských výškach pri porovnaní s druhom *Chloromonas nivalis*, čo mu umožňuje lepšiu ochranu proti ničivým účinkom vyššej intenzity slnečného žiarenia. Sfarbenie snehu, spôsobené týmto druhom, je tmavo červené, zatiaľ čo druh *Chloromonas nivalis* sfarbuje sneh skôr do oranžova (REMIAS et al., 2010). Preferencia vyšších nadmorských výšok druhom *Chlamydomonas nivalis* v porovnaní s inými druhmi potvrdzujú aj ďalšie práce NEDBALOVÁ – KOCIÁNOVÁ – LUKAVSKÝ (2008), TAKEUCHI (2001).

Vplyv priebehu času

Z Obr.č.1. je taktiež zreteľne jasná rádovo rozdielna početnosť baktérií v zimnom a jarnom období ako na voľnej ploche tak aj v lesnom poraste. Údaje z výsledkov kultivačných analýz baktérií pre zobrazenie rozdielnej početnosti baktérií medzi obdobiami boli spracované párovým T-testom pre závislé vzorky a na hladine významnosti 5% sa signifikantne odlišujú ($p < 0,001$).

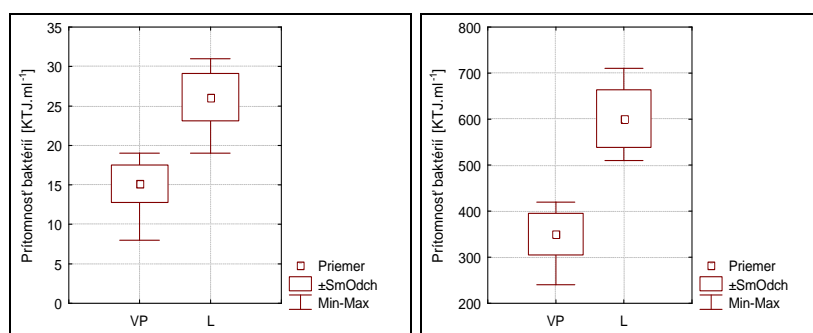


Obr. 1 Zobrazenie rozdielnej početnosti baktérií zo snehu v Nízkych Tatrách v zimnom a jarnom období VP (vľavo), Les (vpravo)

Domnievame sa, že kľúčovú rolu rozdielnej početnosti kolónií baktérií v zimnom a jarnom snehu zohráva vyšší obsah tekutej vody v snehu a taktiež väčšia dostupnosť živín potrebných pre rast baktérií. Potvrdzuje to aj viacero zahraničných prác (AMATO et al., 2007, SEGAWA et al., 2005, HOHAM – DUVAL, 2001). Voda (v kvapalnom skupenstve) ovplyvňuje rast a rozmnožovanie mikroorganizmov. Jarné zvýšenie teplôt vzduchu spôsobuje roztápanie snehu, následne na čo sa živiny stávajú dostupnejšími pre mikroorganizmy. AMATO et al. (2007) pri výskume snehu pokrývajúceho ľadovec na Svalbarde zistili, že v celom profile snehovej pokrývky z jednej sezóny je početnosť baktérií s malými odchýlkami konštantná. Ak sa však pod takýmto snehom vyskytuje snehová pokrývka ešte z predchádzajúcej sezóny, je viditeľná oveľa vyššia koncentrácia baktérií v jej povrchovej vrstve, v porovnaní s dolnou vrstvou snehu z tohtoročnej sezóny. Čo svedčí o fakte, že v jarnom a letnom období dochádza k hojnejšiemu zastúpeniu baktérií v povrchových vrstvách snehových polí.

Vplyv lesného porastu

Porovnanie počtu kolónií baktérií medzi lesným porastom a voľnou plochou je zobrazené na Obr.č.3. Údaje z kultivačných analýz použité na zobrazenie rozdielnej početnosti baktérií v snehu z Nízkych Tatier boli testované T-testom pre dva nezávislé výbery na hladine významnosti 5% a signifikantne sa medzi sebou odlišujú ($p < 0,001$). Z Obr č.2 vyplýva, že na voľných plochách sa nachádza zhruba o polovicu menej baktérií ako v lese či už v zimnom alebo jarnom období. Les vytvára pravdepodobnejšie vhodnejšie podmienky pre prežitie mikroorganizmov. Intenzita slnečného žiarenia je menšia, čím dochádza k menším denným teplotným výkyvom, čím sa v lesnom poraste vytvára stabilnejšie prostredie (HRÍBIK – ŠKVARENINA – KYSELOVÁ, 2008, HRÍBIK – ŠKVARENINA, 2006, PECUŠOVÁ - HOLKO, 2002, HOHAM – DUVAL, 2001). Taktiež je tu vyšší prísun živín, zabezpečený opadom stromov, alebo efektívnym vyčesávaním elementov z ovzdušia korunami stromov (HRÍBIK, 2006).



Obr. 2 Zobrazenie rozdielnej početnosti baktérií zo snehu v Nízkych Tatrách na voľnej ploche a v lesnom poraste pre zimné obdobie (vľavo), pre jarné obdobie (vpravo)

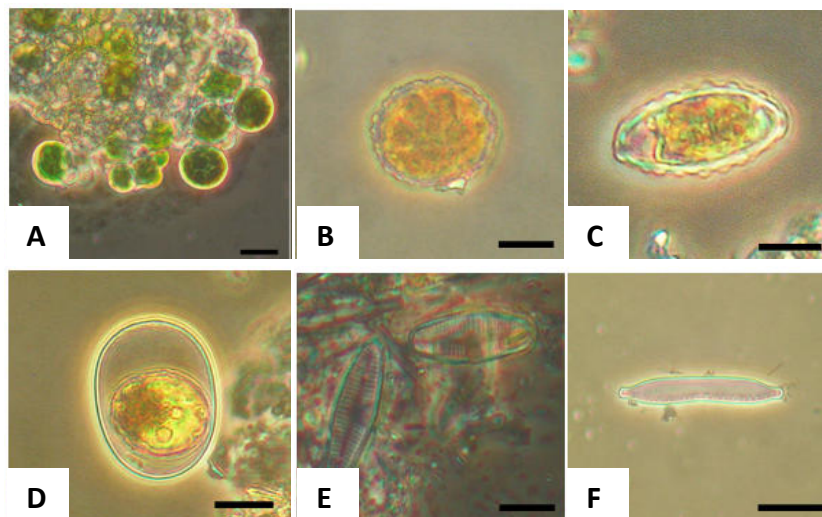
Výsledky mikroskopických analýz

Všetky odobrané vzorky či už z Nízkych Tatier, ale aj Vysokých Tatier, boli analyzované pre nás dostupnou mikroskopickou metódou, použitím mikroskopu Olympus BX40 pri zväčšení 15x40. Zaradenie jedincov do druhov je však obtiažne, pretože ich životný cyklus je veľmi zložitý. Jeden druh prechádza viacerými životnými fázami. Z toho dôvodu boli v minulosti niektoré zo štádií považované za samostatné druhy. V dnešnej dobe sa vo svete takmer všetky analýzy uskutočňujú na základe genetických analýz.

Prevažná časť pozorovaných mikroorganizmov boli zástupcovia zelených rias (viď Obr.č.3), baktérií, siníc a húb. Domnievame sa, že zistené jedince nami najčastejšie zistených rias patrili do rodov *Chlamydomonas* a *Chloromonas*. Väčšina zistených mikroorganizmov pochádzala zo vzoriek snehu z Vysokých Tatier, najmä preto, že boli odoberané v letnom období, kde pôsobili vhodnejšie podmienky pre ich rast. Boli taktiež druhovo rôznorodnejšie v porovnaní so vzorkami z Nízkych Tatier.

Pri analýzach zimných vzoriek snehu z Nízkych Tatier dominovali baktérie, v menšej miere boli zastúpené riasy a sinice. Vo vzorkách snehu z jari z Nízkych Tatier a z leta z Vysokých Tatier bola početnosť rias výrazne väčšia v porovnaní so zimným obdobím, no neprevýšila početnosť baktérií.

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník



Obr. 3 A-*Chlamydomonas* sp. (mierka 25 μ m), B-*Chlamydomonas nivalis* (mierka 10 μ m), C-*Chloromonas* sp. (mierka 10 μ m), D-*Chlamydomonas* sp. (mierka 10 μ m), E-*Navicula* sp. (mierka 20 μ m), F-*Hantzchia amphioxys* (mierka 20 μ m)

Záver

Cieľom našej práce bola analýza mikrobiologického zloženia snehovej pokrývky. Expedičnými meraniami uskutočňujúcimi sa v pravidelných mesačných intervaloch sme odoberali vzorky snehu z povrchových vrstiev a merali základné hydrofyzikálne vlastnosti v oblasti Chopku v Nízkych Tatrách na výškovom tranzekte od 1000 m n. m. do 2000 m n. m. Naším výskumom sme potvrdili výskyt mikroskopických rias, siníc, baktérií, húb a roztočov vo vrchných vrstvách snehovej pokrývky.

- Mikroskopicky sme analyzovali povrchové vrstvy snehu z Nízkych Tatier od zimných po jarne obdobia (od decembra do apríla), a zvyšky snehovej pokrývky nachádzajúcich sa v letnom období vo Vysokých Tatrách. mesiacoch (vo Vysokých Tatrách). Dokázali sme výskyt baktérií, rias, siníc a mikroskopických húb. V letnom snehu z Vysokých Tatier bola zistená väčšia prítomnosť snežných rias v porovnaní so vzorkami z Nízkych Tatier s jarným a zimným snehom. Nepodarilo sa nám však všetky nájdené jedince zatriediť do druhov. Jedným z príčin sú komplikované životné cykly mikroorganizmov žijúcich v snehu.
- Z kultivačných analýz snehu odobratého v Nízkych Tatrách vyplýva, že v jarnom snehu sa nachádza výrazne väčšie množstvo baktérií ako v zimnom snehu. Pri porovnaní vzoriek z lesného porastu a voľnej plochy bola zaznamenaná väčšia početnosť v lese. Zdá sa preto, že lesný porast poskytuje vhodnejšie podmienky pre život mikroorganizmov. Na rozdiel od zahraničných štúdií sa nám nepotvrdila závislosť medzi početnosťou baktérií a nadmorskou výškou.

Pod'akovanie:

Autori ďakujú za podporu projektom VEGA MŠ SR č. 1/1130/12 (30%) a č. 1/0257/11 (30%), a projektu "Centrum excelentnosti pre podporu rozhodovania v lese a krajine.", na základe podpory OP Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja na základe zmluvy č. 26220120120 (20%). **Tento príspevok je tiež výsledkom realizácie projektu:** Centrum excelentnosti pre integrovaný manažment povodí v meniacich sa podmienkach prostredia, ITMS kód 26220120062; podporovaný výskumným a vývojovým operačným programom financovaným z ERDF (20%).

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník



Agentúra
Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR
pre štrukturálne fondy EÚ



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

Použitá literatúra

BARRY, R. G. et al. 2007. Snow. In. *Global Outlook for Ice and Snow*. Norway: Birkeland Trykkeri, 2007. p. 39-60.

FOTT, B. 1967. *Sinice a řasy*. 2.vyd. Praha: Academia, 1967. 520 s. ISBN 21-078-67.

HLÚBIKOVÁ, D. 2007. Počítanie cyanobaktérií a rias na komôrke. In *Zborník z hydrobiologického kurzu 2007*. Bratislava: Slovenská vodohospodárska spoločnosť ZSVTS pri VÚVH, 2007. ISBN 978-80-89062-52-2, s. 4-10.

HOHAM, R.W. 1989. Snow microorganisms and their interaction with the environment . In *Western Snow Conference*, Ft. Collins, Colorado. 1989. online] [cit. 2012-04-03]. Dostupné na <http://www.westernsnowconference.org/proceedings/pdf_Proceedings/1989%20WEB/HohamSnowMicroorganismsEnvironment.pdf>.

HOHAM, R.W. – DUVAL, B. 2001. Microbial ecology of snow and freshwater ice with emphasis on snow algae. In *Snow ecology: An Interdisciplinary Examination of Snow-Covered Ecosystems*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. ISBN 0-521-584883-3, p. 168-228.

<http://ivu.nlcsk.org/lgis/>

<http://maps.google.com/>

JANZA, L. 1956. Farebné snehy vo Vysokých Tatrách. In *Krásy Slovenska* (Bratislava). 1956, roč. 33, č. 6, s. 209-210.

JONES, H.G. 1999. The ecology of snow-covered systems: a brief overview of nutrient cycling and life in the cold. In *Hydrological processes*. 1999, vol. 13, p. 2135-2147.

KOMÁREK, J. - NEDBALOVÁ, L. 2007. Green cryosestic algae. In *Algae and Cyanobacteria in extreme environment*. Netherlands: Springer, 2007. ISBN 978-1-4020-6111-0, p. 321-342.

LEDERER, F. – LUKAVSKÝ, J. 2003. *Řasy Šumavy*. [online] [cit.2012-04-02]. Dostupné na <http://www.sinicearasy.cz/files/Lederer_Lukavsky_2003.pdf>.

LHOTSKÝ, O. – ROSA, K.-HINDÁK, F.1974. *Súpis siníc a rias Slovenska*. Bratislava:Veda, 1974. 202 s.

LUKAVSKÝ, J. – CEPÁK, V. 2010. Cryoseston in Stara Planina (Balkan) Mountains, Bulgaria. In *Acta Bot. Croat.* ISSN 0365-0588, 2010, vol. 69, no. 2, p. 163-171.

MARGESIN, R. – MITEVA, V. 2011. Diversity of psychrophilic microorganisms. In *Research in Microbiology*. [online]. 2011. [cit.2012-04-06]. Dostupné na <<http://php.scripts.psu.edu/users/v/i/vim1/MargesinMitevaReview2011.pdf>>.

NEDBALOVÁ, L. – LUKAVSKÝ, J. 2007. Když sníh zčervená, aneb co (ne)víme o snežných řasách. In *Živa*. 2007, č.3, s. 104-107.

XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov, Rejvíz, Hrubý Jeseník

- NEDBALOVÁ, L. – KOCIÁNOVÁ, M. – LUKAVSKÝ, J. 2008. Ecology of snow algae in the Giant Mts. In *Opera Corcontica*. 2008, vol. 45, p. 59-68.
- NEDBALOVÁ, L. – SKLENÁŘ, P. 2008. New records of snow algae from the Andes of Ecuador. In *Arnaldoa*. ISSN 1815-8242, 2008, vol. 15, no. 1, p. 17-20.
- NOVIS, P. M. 2002. New records of snow algae for New Zealand, from Mt Philistine, Arthur's Pass National Park. In *New Zealand Journal of Botany*. [online]. 2002, vol. 40, p. 297/312. [cit. 2012-04-05]. Dostupné na <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/0028825X.2002.9512789>>.
- STN 75 7711: 2000: Kvalita vody. Biologický rozbor. Stanovenie biosestónu
- STN ISO 83 0531: 1978: Mikrobiologický rozbor povrchovej vody.
- SEGAWA, T. et al. 2005. Seasonal change in bacterial flora and biomass in mountain snow from the Tateyama Mountains, Japan, analyzed by 16S rRNA gene sequence and real-time PCR. In *Applied and environmental microbiology*. [online]. 2005, vol 71, no 1, p. 123-130 [cit. 2012/04-04]. Dostupné na <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC544271/>>
- UETAKE, J. et al. 2010. Communities of algae and cyanobacteria on glaciers in west Greenland. In *Polar Science*. [online]. 2010, vol. 4, p. 71-80. [cit. 2012-04-04]. Dostupné na <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1873965210000101>>.
- TAKEUCHI, N. 2001. The Altitudinal distribution of snow algae on an Alaska Glacier (Gulkana Glacier in the Alaska Range). In 58th Eastern Snow Conference, Ottawa, Ontario, Canada. 2001.
- THOMAS, W.H. 1994. Tioga pass revisited: interrelationships between snow algae and bacteria. In *Western Snow Conference*, Santa Fe, New Mexico, 1994. [online] [cit. 2012-04-02]. Dostupné na <http://www.westernsnowconference.org/proceedings/pdf_Proceedings/1994%20WEB/Thomas,TiogaPassRevisited.pdf>