

Zborník príspevkov zo seminára

XVIII. Medzinárodné stretnutie snehárov

Javorníky, Horná Mariková

12. 3. – 14. 3. 2013



Slovenský hydrometeorologický ústav Bratislava

November 2013

XVIII. Medzinárodné stretnutie snehárov

Javorníky, Horná Mariková

12. 3. – 14. 3. 2013

Zborník príspevkov

Editori: Katarína Matoková, Daniela Kyselová, Soňa Liová

Slovenský hydrometeorologický ústav Bratislava
November 2013

Názov publikácie: XVIII. Medzinárodné stretnutie snehárov
Druh publikácie: Zborník príspevkov
Editori: Katarína Matoková, Daniela Kyselová, Soňa Liová
Vydal: Slovenský hydrometeorologický ústav v Bratislave, Jeséniova 17,
833 15 Bratislava
Počet strán: 43
Rok vydania: 2013
Publikácia neprešla jazykovou ani redakčnou úpravou

Úvod

Každoročné Stretnutie snehárov sa aj tento rok konalo na konci zimy, čiže v marci, pričom sa „snehoví zánietenci“ z oblasti vedy, výskumu a praxe stretli už po osemnásty krát.

Za miesto konania tohoročného seminára bola vybraná slovenská obec Horná Mariková nachádzajúca sa v nádhernom prostredí Javorníkov a o jeho usporiadanie sa po piatich rokoch opäť postarali pracovníci Slovenského hydrometeorologického ústavu, tento krát z regionálneho pracoviska v Žiline.

V Hornej Maríkovej sa stretlo 22 účastníkov zo Slovenska a z Českej republiky, pričom bolo zastúpených 5 inštitúcií z rôznych sfér (veda, výskum, prax).

Ako každoročne, aj v tomto roku odzneli na seminári prezentácie, zaoberajúce sa problematikou hydrológie snehu, ako sú nové metódy merania charakteristík snehovej pokrývky snehovými vankúšmi, vyhodnocovanie zásob vody v snehu, vplyv poveternostných podmienok na odtok zo snehu, modelovanie odtoku zo snehu. Nechýbali ani prezentácie, týkajúce sa vplyvu lesa a lesných porastov na priebeh akumulácie a odtoku zo zalesnených povodí. Po dlhšej dobe odznela aj problematika lavín - modelovanie ohrozenosti územia lavínami. Novinkou tohoročného stretnutia bola mikrobiálna aktivita snehu v Škandinávskych horách, na monitorovaní ktorej sa aktívne podieľali aj „snehári“ z Technickej univerzity zo Zvolena. Celkovo bolo prednesených 13 príspevkov.

Súčasťou stretnutia bolo aj spoločné tradičné expedičné meranie charakteristík snehovej pokrývky na hrebeni Javorníkov.

Zoznam prednesených príspevkov

1. Bartík, M.: Simulácia ohrozenosti horského prostredia lavínami v okolí Magurky použitím modelu ELBA+
2. Bercha, Š.: Vyhodnocování snehových zásob v ČHMÚ
3. Fliegl, O.: Aktuální stav monitoringu sněhové pokrývky na Šumavě
4. Hanzelová, M.: Výška a vodná hodnota snehu pod Chopkom
5. Hříbik, M.: Analýza maximalnych snehových zásob v poslednej dekáde na Poľane
6. Hříbik, M.: Mikrobionálna aktivita snehu v Škandinávskych vrchoch (Kebnekaise 2 104 m. n. m.) v júli 2012
7. Hrušková, K.: Variabilita jarného odtoku
8. Jiráček, J.: Provoz automatických sněhoměrných stanic v síti ČHMÚ
9. Juras, R.: Využití stabilných izotopů k separaci odtoku ze sněhové pokrývky
10. Pavlásek, J. – Rezníčková: Vliv okrajů lesních porostů na distribuci pokrývky snehu
11. Pevná, H.: Vliv fyzickogeografických faktorů na průběh akumulace a tání sněhové pokrývky
12. Roubínek, J.: Sníh a les
13. Vajskebr, V.: Využití sněhoměrného polštáře pro stanovení vodní bilance a zpřesnění odtoku v povodí

OBSAH

REKONŠTRUKCIA HISTORICKEJ LAVÍNY MODELOM ELBA+ NA PRÍPADOVEJ ŠTÚDIÍ DOLINY ĎURKOVÁ (NÍZKE TATRY) <i>Martin Bartík, Matúš Hríbik, Jaroslav Škvarenina</i>	7
ZHODNOTENIE MONITOROVANÝCH HYDROFYZIKÁLNYCH VLASTNOSTÍ SNEHOVEJ POKRÝVKY ZIMNÝCH SEZÓN 2009/10, 2010/11, 2011/12, 2012/13 NA VÝŠKOVOM TRANZEKTE V OBLASTI CHOPKU <i>Miriám Hanzelová, Matúš Hríbik</i>	15
VLIV VYBRANÝCH FYZICKOGEOGRAFICKÝCH FAKTORŮ NA PRŮBĚH AKUMULACE A TÁNÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY <i>Hana Pevná</i>	22
SNÍH A LES – VÝZKUM VZTAHU DISTRIBUCE SNĚHU A VLASTNOSTÍ LESA S VYUŽITÍM HEMISFÉRICKÝCH SNÍMKŮ <i>Jiří Roubínek</i>	30
10 ROČNÝ MONITORING SNEHOVÝCH POMEROV NA POĽANE <i>Tomáš Šatala, Matúš Hríbik</i>	36
VYUŽITÍ SNĚHOMĚRNÉHO POLŠTÁŘE PRO STANOVENÍ VODNÍ BILANCE A ZPŘESNĚNÍ ODTOKU V POVODÍ <i>Václav Vajskebr</i>	42

REKONŠTRUKCIA HISTORICKEJ LAVÍNY MODELOM ELBA+ NA PRÍPADOVEJ ŠTÚDII DOLINY ĎURKOVÁ (NÍZKE TATRY)

Martin Bartík, Matúš Hríbik, Jaroslav Škvarenina

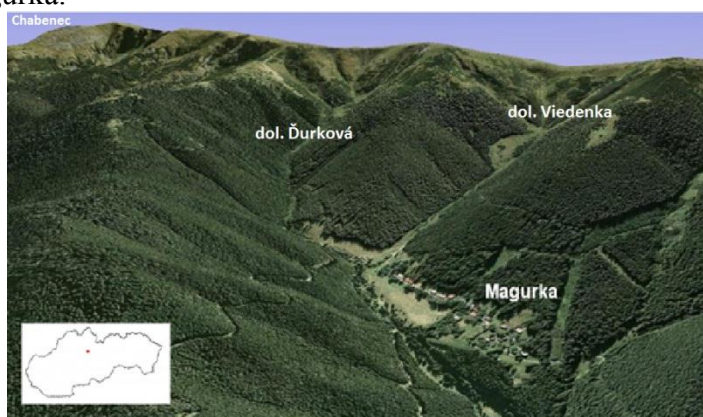
Katedra prírodného prostredia, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene

Úvod

Lavíny patria k bežným úkazom našich hôr počas zimného obdobia. Pre obyvateľov horských osád, ako aj pre návštevníkov z radov športovcov a turistov predstavujú úkaz, ktorý si už nie raz vyžiadal obeť v podobe ľudských životov. Ľudia už v minulosti hľadali spôsoby ako sa pred lavínami brániť. V snahe zabrániť vzniku lavín, alebo zmierniť ich ničivé následky sú používané rôzne opatrenia, či už vo forme preventívnych, technických, biologických alebo organizačných (BUKOVČAN 1960). Pri rozhodovaní o preventívnych, ako aj o technických protilavínových opatreniach nám v dnešnej dobe môžu pomôcť softvérové aplikácie, hlavne vo forme simulačných programov. Ich cieľom je čo najvernejšie popísať pohyb lavíny územím. Umožňujú v danom teréne a pri konkrétnych podmienkach zistiť parametre potencionálnych lavín a tým napomáhajú hlavne pri odhade možného dosahu lavín. To nám môže pomôcť pri rozhodovaní o možnej evakuácii alebo uzávere lokality, ako aj pri územnom plánovaní. Zároveň sú vhodnými pomocníkmi aj pri návrhu a dimenzovaní technických opatrení. Je potrebné podotknúť, že sa jedná o simulačné modely, čiže sa realite len približujú. Miera ich podobnosti realite závisí aj od podrobnosti vstupných údajov. Modely môžeme rozdeliť podľa viacerých hľadísk, či už na jedno- alebo viacdimeznionálne, podľa druhu toku lavíny: modely tečúcej, prachovej lavíny alebo kombinované. Patria sem aplikácie ako RAMMS, ELBA+, Samos AT, AVAL 1D, Alfa-Beta.

Opis územia

Dolina Ďurková leží v závere Ľupčianskej doliny pod hlavným hrebeňom Nízkych Tatier v úseku Chabenec - Ďurková (Obr. 1). Je dlhá cca 2,5 km a na jej ústí sa nachádza stará banícka osada Magurka.



Obr.1 Osada Magurka a jej okolie (GOOGLE EARTH 2012)
Settlement Magurka and its surroundings (GOOGLE EARTH 2012)

Z geologického hľadiska je okolie doliny tvorené prevažne horninami kryštalinika tatrika (ŠGÚDŠ 2008), na ktorých sa vyskytujú podzoly kambizemné, vo vyšších polohách modálne a humusovo-železité (ŠÁLY, ŠURINA 2002). Na nich rastú prevažne smrekové lesy s prímiesou

jedle a buka, ktoré vo vyšších polohách striedajú jarabina vtáčia s jelšou zelenou, na ne nadväzuje pásma kosodreviny (NLC 2012).

Softvérové aplikácie slúžiace na simuláciu lavín

Slúžia na modelovanie základných charakteristík lavíny ako napr. dosah, maximálny tlak a rýchlosť, a tým na zistenie možného rozsahu ohrozenosti horského prostredia. Využívame ich aj pri optimálnom dimenzovaní a umiestnení protilavínových zábran. Je potrebné podotknúť, že sa jedná o simulačné modely, čiže sa realite len približujú. Miera ich podobnosti realite závisí aj od podrobnosti vstupných údajov. Modely môžeme rozdeliť podľa viacerých hľadísk, či už na jedno- alebo viacdimezióne, podľa druhu toku lavíny: modely tečúcej, prachovej lavíny alebo kombinované.

Alfa-Beta (Lied/Bakkehoi)

Empirický jednodimezióne model, ktorý zohľadňuje len topografické parametre a výsledkom je maximálny dosah lavíny. Je odvodený na základe 423 lavín v Nórsku. Ako vstupné údaje slúžia: priemerný sklon lavínovej dráhy, priemerný sklon od odtrhu po bod s 10° sklonom, sklon v odtrhovom pásme, výškové prevýšenie, profil lavínovej dráhy, najväčšia šírka odtrhu, najmenšie šírka lavínovej dráhy, najväčšia šírka nánosu. Ako kritiku by sme mohli uviesť pri tomto modeli, že je založený na Nórskech poznatkoch, čiže stavaný hlavne pre konvexné tvary výškového profilu lavínovej dráhy (PROKOP 2010).

AVAL 1D

Numerický model dynamiky lavíny z produkcie SLF v Davose. Obsahuje dva moduly, ktoré nám umožňujú modelovanie tečúcej (FL 1D) a prachovej (SL 1D) lavíny. Ako vstupné údaje nám slúžia topografia lavínovej dráhy, podmienky odtrhu, koeficient trenia. Model nám ponúka tieto výstupy: rýchlosť a tlak lavíny, hustotu, výšku, šírku a dĺžku lavíny. Pri modeli je niekedy ťažko alebo vôbec nie možné stanovenie vstupných parametrov. Pri modelovaní tečúcej lavíny nedokáže nasimulovať prachovú časť, pričom väčšina katastrofálnych lavín sú zmiešané. Konštantná hustota tiež neodpovedá realite (HEISER 2011).

ELBA +

Viacdimezióne model založený na rastrovej interpretácii, slúžiaci na modelovanie tečúcej lavíny. Pre výpočet používa Voellmyho a Mohr-Coulombovu schému trenia. Je plne integrovaná do ArcGis-u 10 a pracuje s bežne rozšírenými softvérovými aplikáciami ako Excel, Access, PDF. Ako vstupné údaje je potrebné dodať digitálny model reliéfu, pásma odtrhu, jeho výšku, ohraničenie územia a informácie oľhom vegetácie a vlastností snehovej pokrývky. Výstupom sú rýchlosť, maximálny tlak, dosah, výška lavíny (VOLK 2005). K jej slabým stránkam patrí vstupný digitálny model v rozlíšení 5 až 10 metrov, ktorý vedie k zahladeniu ostrých hrán na povrchu terénu alebo prehľadnutiu strmých lavínových priehrad. Nezohľadňuje nárast hustoty a nie je možná simulácia prachovej lavíny (HEISER 2011).

RAMMS

Dvojdimezióne numerický simulačný model slúžiaci pre výpočet geofyzikálnych pohybov hmoty (lavíny, zosuny skál, pády sutín...) z miesta odtrhu po miesto uloženia, po trojdimezióne povrchu terénu. Bol vyvinutý skupinou expertov na WSL Institute for Snow and avalanche research, SLF v Davose. Merania prebiehali vo Vallée de la Sionne a ku kalibrácii sa použili údaje so švajčiarskych historických lavínových udalostí. K vstupným údajom patrí digitálny model reliéfu, informácie o lese a uvoľnení lavíny. Výsledkami sú výška, rýchlosť, tlak lavíny, ako aj ich maximálne hodnoty a depozit (BARTELT et al. 2011).

Samos AT

Rakúsky dvoj- resp. trojdimenzionálny simulačný model pre tečúce aj prachové lavíny, vzťahujúci sa vo všeobecnosti na „suché“ lavíny. Za suché lavíny považuje také, pri prúdení ktorých medzi jednotlivými časticami nepôsobia žiadne kohézne sily. Kalibrácia interných a externých parametrov bola odvodená na základe 22 dobre zdokumentovaných lavínových udalostí (GRANIG, OBERDORFER 2008). Od svojho predchodcu Samos 99 sa líši viacerými vylepšeniami ako pohodlnejšie užívateľské prostredie, grafická stránka ale aj vlastný model, ktorý ponúka viacej modelov trenia pre tečúce lavíny (Voellmyho, Mohr-Coloumbov, Chezyho, kombinovaný Mohr-Columbov, Cheryho a Voellmyho, Samos99, logaritmickej, SamosAT) , dovoľuje aj sekundárne miesta odtrhov a prachová lavína sa prepočítava s dvojfázovým modelom (vzduch, snehové častice) (SAMPL 2006).

Metodika práce s modelom ELBA+

ELBA+ je plne integrovaná do ArcGIS 10, takže pri práci s geografickými dátami nie je potrebná žiadna konverzia pri vstupných a výstupných dátach. K správe dát je potrebné vytvorenie vlastnej databázy programu. Toto je možné priamo z prostredia ArcGIS - u. Ako vstupné údaje vkladáme záujmovú oblasť, miesto odtrhu a digitálny model terénu. Pri otvorení databázy sa automaticky zobrazili tieto vrstvy:

ELBA_CATCHMENT -vymedzenie územia

ELBA_CONTOURS -v tejto vrstve sú zobrazené výsledky, línie vybraných charakteristík (max. tlak, výška nánosu, max. výška toku, rýchlosť toku ...)

ELBA_PROFILES -umožňuje nám lokalizovať pre nás zaujímavé línie, na ktorých chceme sledovať vybrané vlastnosti lavíny (napr. okolo ciest, pri stavbe galérii a pod.)

ELBA_RELEASEZONES -miesta odtrhov

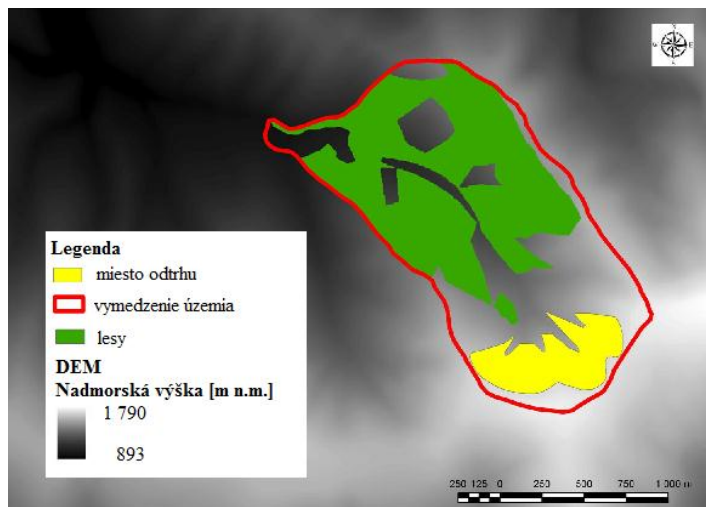
ELBA_SIMCLIPS -vrstva umožňujúca vkladanie doplňujúcich údajov, napr. o lesnatosti a pod.

Územie vymedzujeme pomocou príkazu Editor, či už digitalizovaním alebo importom polygónov. Pri miestach odtrhu cez digitalizovanie, kopírovaním alebo nahratím objektu. Totožný postup je aj pri stanovení profilov a doplňujúcich údajoch ako lesnatosť, drsnosť povrchu a pod. Ďalej nasleduje import digitálneho modelu terénu či už vo formáte DEM alebo TIN. Odporúčané rozlíšenie sa pohybuje od 5 do 10 metrov.

V nasledujúcom kroku zadávame parametre pre simuláciu. Na tomto mieste nám program umožňuje zadanie výšky snehu v odtrhovom pásme, výšku strhávania snehu v dráhe lavíny, drsnosť a výber DMT. Tieto vstupné parametre môžeme zadávať paušálne pre celú oblasť, prípadne ako raster alebo polygón. Umožní nám aj výber medzi tromi možnými modelmi schémami trenia a to Voellmyho, Mohr-Coulombovho a ich kombináciou. Ako aj nastavenie podrobnejších parametrov, ako napr. minimálna výška toku lavíny, hustota snehu, kritické napätie a pod. Program umožňuje aj štandardné nastavenie, kde sa tieto údaje automaticky naimportujú podľa zvolenej výšky snehu, typu hustoty a modelu.

V prvom kroku sme sa snažili priblížiť čo najviac udalosti zo 14. marca 1970 v Ďurkovej, pričom sa mali k dispozícii náčrt nánosu lavíny a údaje o jej objeme, približnú výšku odtrhu, ako aj ďalšie charakteristiky. Ako najviac realite sa približujúci model sa nám javil kombinovaný model pri zadaní priemernej výšky odtrhu 1,7 metra, koeficientu trenia pre les 1 a mimo neho 0,2, minimálnej výšky toku 1 m, s hĺbkou strhávania 0,5 m snehu v dráhe lavíny. Ďalej sme použili tieto údaje pri páde rozsahom zhodnej lavíny v súčasnosti, to znamená pri terajšej rozlohe lesov. Údaje pre simulácie sme získali s archívnych materiálov SLP v Jasnej, ďalej nám boli od pracovníkov SLP poskytnuté ortofotosnímky, DMT,

vektorizované miesta odtrhov, stav lesa v minulosti. Aktuálna rozloha lesa bola získaná vektorizáciou podľa ortofotosnímkov. Vstupné údaje pre simuláciu lavíny v roku 1970 a dnes môžeme vidieť na obrázkoch 2 a 3.



Obr. 2 Zobrazenie vstupných údajov pre simuláciu lavíny z roku 1970
Input data of avalanche simulation from year 1970



Obr. 3 Zobrazenie vstupných údajov pre simuláciu lavíny v súčasnosti
Input data of avalanche simulation at present

Rekonštrukcia lavíny z roku 1970

Pri hodnotení výsledkov našej simulácie sme tieto konfrontovali (Tab.1) s týmito dvoma zdrojmi: Milan a Kresák (1970) a Biskupič a kol.(2011). Prvým sú svedkovia následkov lavínovej udalosti, a to členovia SLP, ktorí rozsah a dráhu lavíny podrobne zmapovali. Dokumenty sú uložené v archíve SLP. Lavína bola toho času tretia najväčšia zaznamenaná na území Slovenska, čím vzbudila patričný záujem, vďaka ktorému máme dnes jej podrobné parametre, čo sa týka lokalizácie odtrhového pásma, lavínovej dráhy, ako aj veľkosti a rozloženia nánosu. S ich použitím sa pokúsili Biskupič a kol.(2011) o jej vernú rekonštrukciu pomocou simulačného modelu RAMMS.

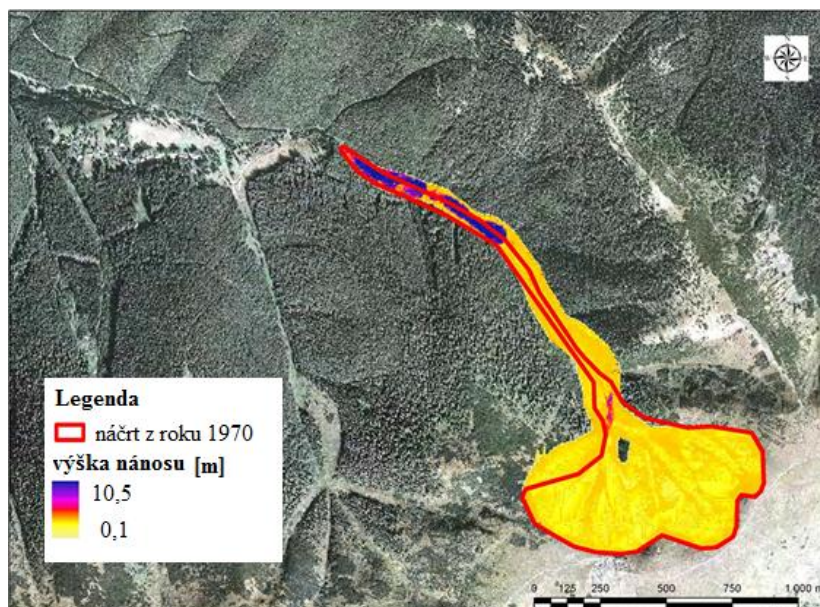
Simulácia lavíny s roku 1970 sa vyznačuje vysokou mierou zhody, najmä čo sa týka dosahu. Nami nasimulovaná lavína je o 8 m kratšia, ako bol svedkami uvádzaný dosah lavíny v roku 1970. Pri dĺžke 2 200 metrov to tvorí 0,4 %. Pripomíname, že výsledky sme odvodzovali z rastrového súboru s rozlíšením bunky rastra 5 metrov. Teda, čo sa týka dĺžky lavíny naším

výstupom sme sa verne priblížili hodnote skutočnej lavíny. Podobné výsledky zo simulácie RAMMS dosiahol aj Biskupič a kol.(2011).

Tab. 1 Porovnanie výsledkov modelu ELBA+, RAMMS so skutočnosťou
Comparison of model results ELBA +, RAMMS with reality

Parameter	Nameraná hodnota (MILAN, KRESÁK 1970)	Výsledok RAMMS (BISKUPIČ a kol. 2011)	Výsledok ELBA+	Rozdiel medzi skutočnosťou a ELBOU+	Relatívna odchýlka
Dĺžka lavíny [m]	2 200	2 221	2 192	8	-0,4%
Dĺžka nánosu [m]	1 800	1 725	1 800	0	0 %
Objem nánosu [m ³]	625 000	626 029	563 858	- 61 142	-9,8%
Výška čela lavíny [m]	20-25	4-5	4-5	-16-20	-80%
Plocha lavíny [ha]	39,1	51,4	51,2	12,1	+30,9 %

Pri zhodnotení objemu lavíny nám ju simulácia mierne podhodnotila a to o cca 10 %. Parametre, ktoré najvýraznejšie vplývali na daný výsledok boli najmä výška snehu v odtrhovom pásme ako aj strhávanie snehu v lavínovej dráhe. My sme použili výšku odtrhu paušálne 1,7 metra a hĺbku strhávania 0,5 m. Práve pri tomto parametre sa nám naskytuje veľa nejasností. Milan a Kresák (1970) v správe o lavíne uvádzajú, že výška tržnej steny predstavovala v žľaboch až 12 metrov, minimálne 1,8 metra a ako priemer 2,6 metra. Ako najpresnejšie sa nám zdá jej zadanie pre jednotlivú bunku rastra, teda podrobné rozloženie snehu v odtrhovom pásme, avšak k tomu by sme potrebovali podrobnejšie meteorologické údaje o smere a intenzite vetra v určitom časovom horizonte, najmä počas posledného intenzívneho sneženia a v období po ňom.



Obr. 4 Porovnanie výsledku simulácie lavíny so skutočnosťou
Comparison of ELBA + result with reality

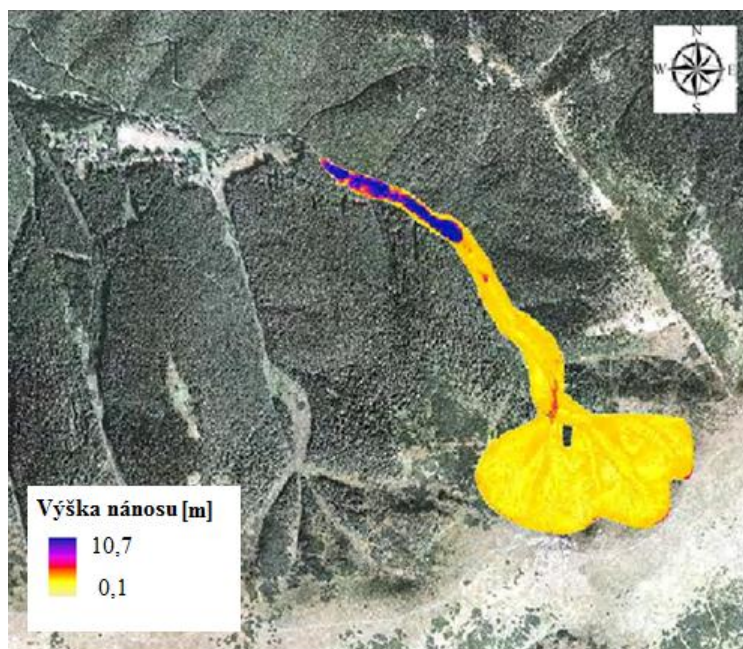
Výraznejšie podhodnotenie až o 80 % však sledujeme pri výške čela lavíny. K možným prameňom výraznej odchýlky na prvom mieste radíme neschopnosť modelu nasimulovať strhnutie cudzieho materiálu do toku lavíny. Les pokrýval spodnú časť lavínovej dráhy, ako aj

okrajové časti v hornej polovici (Obr.2). Pri takomto rozsahu lavíny došlo k jeho úplnému zničeniu. Materiál v podobe polámaných kmeňov, koreňov a vetiev sa dostáva do toku lavíny, čím sa mení jej vnútorné trenie. Nastáva spomaľovanie a tlak masy lavíny zo zadnej časti vyzdvihuje jej čelo vyššie. Pričom pri našej simulácii sa les podieľal len ako vonkajší spomaľovací faktor pri drsnosti povrchu, ktorý sa zmenil z hodnoty 0,2 v nelesnom prostredí na hodnotu 1 v lese. Ešte pripomenieme, že so zvyšujúcim sa obsahom cudzieho materiálu, ktorým lavína obohatí svoj tok počas pohybu terénom výrazne rastie jej škodlivý potenciál (BUKOVČAN 1960). Milan (2006) uvádza, že lavína zničila les o rozlohe 3,6 ha so 600 m³ drevnej hmoty.

Celková plocha lavíny je v našom prípade nadhodnotená o cca. 31 %. Nami nasimulovaná lavína sa viacej rozširuje do strán, viac „rozteká“. V skutočnosti bola lavína viac lokalizovaná v dolinke s menším postranným rozširovaním. Prvotný výstupy z modelu poukazovali na ešte väčšie rozširovanie lavíny avšak po úprave vstupného parametra minimálnej výšky toku z prvotných 0,1 m na 1 m sme dosiahli vyššiu zhodu s realitou. Problém prílišného rozširovania simulovaných lavín s modelom ELBA + uvádza aj Volk (2005). Na obrázku 4 vidíme rozdiely medzi nánosom a dráhou nami nasimulovanej lavíny a náčrtom lavíny z roku 1970.

Simulácia lavíny pri súčasných podmienkach

Pri simulácii sme použili tie isté vstupné parametre, dosiahnuté pri čo najvernejšom nasimulovaní lavíny z roku 1970. Zaujímalo nás, čo by sa stalo, ak by lavína z toho istého rozsahu padla dnes. Samozrejme stav lesa sa za viac ako 40 rokov zmenil, avšak nedosiahol svojím rozšírením do odtrhového pásma lavíny, ale je lokalizovaný len v jej dráhe. Na tomto scenári chceme poukázať brzdíaci vplyv lesa v lavínovej dráhe pri lavínach veľkého rozsahu. Margreth (2004) ako aj Kňazovický (1967) uvádzajú obmedzený retardačný vplyv lesa na priebeh lavíny.



Obr. 5 Výsledok simulácie lavíny v súčasnosti
Simulated avalanche at present

K podobným výsledkom sme dospeli aj my pri porovnaní výsledku simulácie lavíny z roku 1970 a dnes. Celkovo by sme mohli povedať, že les by dnes skrátil dosah lavíny o 50 metrov, čo predstavuje cca 2 % jej pôvodného dosahu. Čo sa týka ostatných parametrov oboch lavín sú približne v zhode. Z povšimnutie stojí maximálna výška nánosu, ktorá je v prípade

lavíny v súčasnosti vyššia o 0,2 m, čo predstavuje cca. 2 %. Toto by sme mohli odôvodniť práve brzdiacim účinkom lesa, pri ktorom došlo k miernemu nakopaniu snehových más. Pri zhodnotení vplyvu lesa by bolo vhodné pripomenúť, že model ho zohľadňuje len pri drsnosti povrchu. Nárast ničivej sily lavíny, ako aj zmena vnútorného trenia sa nezohľadňujú. Keďže sa nezmenila rozloha odtrhového pásma, lavína sa vyznačuje takmer zhodným objemom. Nepatrný rozdiel 0,3 % môžeme pripísať jej kratšiemu dosahu spôsobenému lesom, pričom sa znížil objem lavíny o sneh strhnutý na tejto dráhe. Výsledok simulácie pre možnú výšku nánosov lavíny v súčasnosti ako aj jej dosah môžeme vidieť na obr. 5.

Záver

V našej práci sme použili simulačný model ELBA+ na rekonštrukciu historickej lavíny v doline Ďurková z roku 1970. Následne sme naše výsledky porovnali s modelom RAMMS. Lavínu zo 14. marca 1970 sa nám podarilo relatívne presne rekonštruovať jej dĺžku (rozdiel 0,4 %) ako aj objem (rozdiel 10 %). Pri výške nánosov a ploche lavíny bola nami nasimulovaná lavína viac postranne rozšírená a tým aj plyššia. Pri výške čela došlo v výraznom podhodnotení a to až o 80 %. Ak by lavína daného rozsahu padla dnes, pri súčasnom rozšírení lesa, ktorý je oproti roku 1970 viac zastúpený v lavínovej dráhe, nesledujeme výrazný brzdiaci účinok (50 m, čo predstavuje 2,3 %). Jeho brzdiaci, eliminačný vplyv pri takto rozsiahlej lavíne je silne ohrozený. Pripomíname, že pri využití týchto simulačných programov je potrebné vykonať približnú kalibráciu modelovania alebo skúmať reálnosť danej situácie aj za pomoci historických údajov ako sú kroniky, fotky, maľby alebo stopy po lavínovej aktivite v prostredí.

Podakovanie

Tento príspevok je podporovaný grantmi na výskum VEGA 1/1130/12 (40%), VEGA 1/0281/11 (20%), VEGA 1/0257/11 (20%) zo Slovenskej grantovej agentúry pre vedu a Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci zmluvy č. APVV 0423-10 (20%).

RESUMÉ

In our thesis we focused on advanced software applications to enable simulation of an avalanche. We use these programs in assessing vulnerability of mountain environments by avalanche hits as well as in dimensioning technical measures against avalanches. Based on the selected input data, the majority of which are the terrain model, the shape and size of release zones as well as data of snow cover, these applications give us an image of the possible impact of avalanches, as well as their characteristics of process, maximum pressure, flow rate and height of the flow. The avalanche in the valley Ďurková from 14th March 1970 was written in history because it is still one of the largest avalanches recorded in Slovakia. Using archived data of Avalanche prevention Center HZS in Jasná, we tried its most faithful reconstruction. Then we tried to simulate the avalanche of identical size in the present state of the forest, which allowed us to quantify the retarding effect of the forest on the avalanche path.

LITERATÚRA

BARTELT, P., et al. 2011. *RAMMS-User Manual v1.4 Avalanche*. [online] 2011. [cit.02-04-2012] Dostupné na internete <http://ramms.slf.ch/ramms/downloads/RAMMS_AVAL_Manual.pdf >

BISKUPIČ, M., a kol. 2011. Rekonštrukcia historickej lavíny s využitím moderných nástrojov GIS. In *Životné prostredie*. 2011. 45. 2. s.83-88.

BUKOVČAN, V. 1960. *Lavíny a lesy*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry n. p. 1960. 196 s.

GOOGLE EARTH, 2012. [cit. 02-04-2012]

GRANIG, M., OBERDORFER, S. 2008. *Entwicklung und Kalibrierung des Fliess- und Staublawinenmodells SAMOS-AT*. INTERPRAEVENT 2008. Conference Proceedings, Vol.2

HEISER, M. 2011. *Schnee- und Lawinengefahren: Analyse und Bewertung*. [online] 2011. [cit.02-04-2012] Dostupné na internete <https://online.boku.ac.at/BOKUonline/LV_TX.wbDisplaySemplanDoc?pStpSplDspS=8908>

KŇAZOVICKÝ, L. 1967. *Lavíny*. Bratislava: Vydavateľstvo SAV. 1967. 264 s.

MARGRETH, S., 2004. Die Wirkung des Waldes bei Lawinen. In: *Forum für Wissen 2004*. [online] 2004. [cit. 02-04-2012]. Dostupné na internete: <<http://www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/pdf/6203.pdf>>

MIDRIAK, R. 1977. *Protilavínová ochrana lesa*. Bratislava: Príroda. 1977. 218 s.

MILAN, L., KRESÁK, K., 1970. *Správa o lavínovej udalosti zostavená dňa 10. 6. 1970*. Archív SLP HZS. Jasná.1970.15 s.

MILAN, L. 2006. *Lavíny v horstvách Slovenska*. Bratislava: Veda. 2006.152s. ISBN 80-224-0894-8

NLC., 2012. *Lesnícky informačný systém*. [online] 2012. [cit.02-04-2012] Dostupné na internete <<http://lvu.nlcsk.org/lgis/>>

PERZL, F., 2005. Beurteilung der Lawinen-Schutzwirkung des Waldes. In: *BFW-Praxisinformation*. [online] 2005. [cit. 02-04-2012] Dostupné na internete <http://www.waldwissen.net/wald/schutzfunktion/schnee/bfw_lawinenschutzwirkung_2005/index_DE>

PROKOP, A. 2010. *Praktische Schnee- und Lawinenkunde*. [online] 2010. [cit. 02-04-2012] Dostupné na internete <<https://moodle.boku.ac.at/file.php/180/PSLK2010-2.pdf>>

SAMPL, P., 2006. *SamosAT-Modelltheorie und Numerik*. AVL List GmbH. 2007. 37 s.

ŠÁLY, R., ŠURINA, B. 2002. Pôdy. In *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Bratislava: MŽP SR. 2002. ISBN 80-88833-27-2. 106-107s.

ŠGÚDŠ. 2008. *Geologická mapa SR*. [online] 2008. [cit.02-04-2012] Dostupné na internete <http://mapserver.geology.sk/pgm_sk/mapviewer.jsf?width=1368&height=808>

ZHODNOTENIE MONITOROVANÝCH HYDROFYZIKÁLNYCH VLASTNOSTÍ SNEHOVEJ POKRÝVKY ZIMNÝCH SEZÓN 2009/10, 2010/11, 2011/12, 2012/13 NA VÝŠKOVOM TRANZEKTE V OBLASTI CHOPKU

Miriam Hanzelová, Matúš Hríbik

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Katedra prírodného prostredia

1 Úvod a problematika

Sneh je významná súčasť kryosféry, jeho kryštalická povaha mizne, keď sa hromadí na zemi a splýva do jednej zrnitej vrstvy. Sneh, ktorý dopadne na zemský povrch a vytvorí vrstvu o výške minimálne 1 cm považujeme za snehovú pokrývku (OTN ŽP 3109:02,2002). Väčšina zrážok sa počas zimného obdobia akumuluje v snehovej pokrývke, čo znamená že, obsahuje veľké množstvo vody. Sneh je významným zdrojom vody horských tokov. Pri priaznivých podmienkach, čo je postupné otepľovanie bez zrážok, asi 1/3 objemu vody sublimuje, 1/3 objemu vsiakne do podzemných vôd a 1/3 odtečie. Za nepriaznivých podmienok v jarnom období (tj. prudké oteplenie s dažďami) predstavuje hrozbu povodní (SHMÚ, 2012). Preto je dôležité poznať údaje o tom koľko vody je obsiahnutej v snehovej pokrývke. Zo Zákona o ochrane pred povodňami č. 666/2004 Zb. vyplýva povinnosť pre SHMÚ poskytovať orgánom štátnej správy a správcom tokov pre vybrané profily informácie o zásobách vody v snehovej pokrývke (HRUŠKOVÁ et al., 2007)

Klimatologickým prvkom, ktorý v sebe spája priemet sumárneho úhrnu zrážok v reálnych teplotných a vlhkosťných podmienkach danej zimy, reprezentuje vodná hodnota snehu. Je to charakteristika snehovej pokrývky, ktorá predstavuje výšku vrstvy vody, ktorá vznikne roztopením snehovej pokrývky (OTN ŽP 3109:02,2002, DEWALLE-RANGO, 2008). Je meraná v milimetroch pričom platí vzťah: 1mm vzniknutej vody na m² plochy predstavuje 1 liter vody. Jej nenápadná pozícia medzi charakteristikami zrážok vyplýva zo sezónneho výskytu snehovej pokrývky v našich prírodných podmienkach. V sieti meteorologických staníc SHMÚ sa meria raz týždenne, v pondelok ráno, ak sa v tomto termíne nachádza v priestore stanice súvislá snehová pokrývka. Rozmiestnenie týchto staníc je však vzhľadom na členitý reliéf územia Slovenska nereprezentatívny a limitovaný dostupnosťou terénu a ľudským faktorom (HRUŠKOVÁ et al., 2007). Väčšina snehomerných staníc je umiestnených do nadmorskej výšky 1000m pričom snehové zásoby sa vytvárajú najmä v pohoriach. Tie potom pri jarnom topení snehu výrazné vplývajú na hydrologický režim našich vôd. Preto je potrebné tieto merania dopĺňať expedičnými meraniami v teréne.

V mnohých oblastiach sveta patrí akumulácia snehu a jeho následné topenie medzi najkritickejšie určujúce faktory pre zhodnotenie zodpovedajúcej zásoby vody (DEWALLE-RANGO, 2008). Kvantitatívne odhadnúť túto zásobu vody vrátane jej objemu, načasovania a kvality, je dôležité, najmä pre vodohospodárov na modelovanie jarného odtoku roztopeného snehu do povodia a následnej predpovede možného vzniku záplav. HOLKO et al., 2001 uvádza, že už v 50-tych rokoch 19. storočia sa hydrologický výskum na Slovensku venoval systematickým meraniam rozloženia snehovej pokrývky a neskôr modelovaniu odtoku zo snehu. Význam meraní charakteristík snehovej pokrývky je dôležitý z hľadiska využitia týchto údajov pri kalibrácii distribuovaných hydrologických modelov.

Vzhľadom k týmto uvedeným faktom, sme sa v našej práci venovali snehovej pokrývke a jej základným hydrofyzikálnym vlastnostiam (výške a vodnej hodnote snehu). Monitoring sme

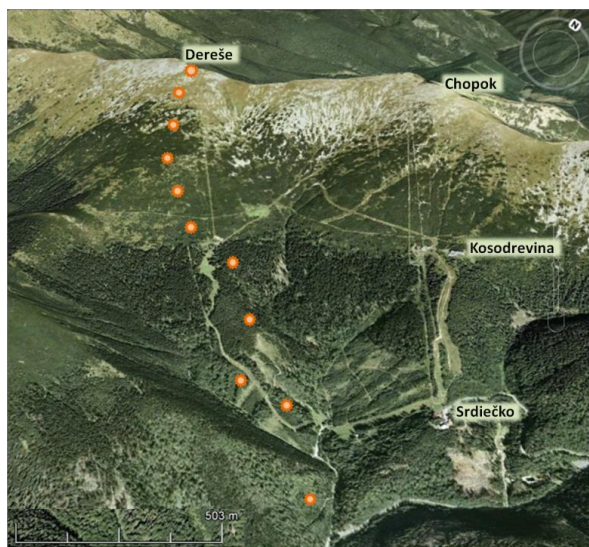
realizovali v Nízkych Tatrách v oblasti Chopku na výškovom tranzekte od 1000 do 2000 m n. m..

2 Materiál a metódy

2.1 Charakteristika územia

Nízke Tatry sú jedinečným fenoménom Slovenskej republiky, veľhornatina predstavuje výraznú prírodnú prekážku pre prúdenie vlhkého vzduchu. Táto oblasť patrí medzi najvlhšie a najchladnejšie miesta Slovenska kde dominuje drsné horské podnebie. Veľká časť zrážok preto padá vo forme snehu (POLČÁK – HLÁSNY, 2002). V Nízkych Tatrách prevládajú vetry západných a severozápadných smerov, no vyskytujú sa taktiež aj vetry opačného, juhovýchodného smeru, a to najmä počas zimného obdobia, čo súvisí s intenzívnou cyklónálnou činnosťou. Cyklóny prichádzajúce od Jadranského mora prinášajú veľmi výdatné zrážky na južných a juhovýchodných svahoch horstiev (KONČEK - BRIEDOŇ, 1964, LAPIN - TEKUŠOVÁ, 2002). V nadmorskej výške 2000 m sa snehová pokrývka vyššia ako 1 cm priemerne vyskytuje počas 60% z roka. (LAPIN et al., 2007). Priemerná rýchlosť vetra dosahuje v zime vyššie rýchlosti v porovnaní s letným obdobím, čo vedie k snežnému driftu na hrebeňoch pohorí.

Pravidelné expedičné merania uskutočňované na výškovom tranzekte od 1000 – 2000 m n. m. (Obr. 1) sa nachádzajú v rôznych vegetačných stupňoch. Súvislý les plynule prechádza do pásma kosodreviny v nadmorskej výške okolo 1500 m. (MIDRIAK, 1983). Väčšina lesných porastov v tranzekte meraní je ochranných.



Obr.1 Výškový tranzekt v Nízkych Tatrách s miestami meraní hydrofyzikálnych vlastností snehu (<http://maps.google.com>)

Fig.1 Transect in the Low Tatras with sites of measurements of hydrophysical properties of snow

2.2 Metódy merania hydrofyzikálnych vlastností snehovej pokrývky

Terénny monitoring hydrofyzikálnych vlastností snehovej pokrývky sme uskutočňovali raz do mesiaca v zimnej sezóne (podľa snehových podmienok zväčša od decembra do apríla) v Nízkych Tatrách na výškovom tranzekte od 1000 m n. m. do 2000 m n. m. Merania zamerané na zisťovanie výšky a vodnej hodnoty snehu sme robili každých 100 výškových metrov. Monitoring sme realizovali na voľnej ploche a v lesnom poraste. Tieto lokality boli situované na miestach s rovnakou nadmorskou výškou, expozíciou a sklonom a sú umiestnené tak, aby s dostatočnou presnosťou podali informáciu o rozložení snehových zásob v záujmovej oblasti. Merania hydrofyzikálnych vlastností snehovej pokrývky sme vykonávali v súlade s OTN ŽP 3109:02 (2002) a štandardne používanej metodiky SHMÚ.

3 Výsledky a diskusia

Počas štyroch zimných sezón sme expedičným monitoringom každomesačne zaznamenávali údaje o výške a vodnej hodnote snehu. Na Obr. 2 - 11 môžeme pozorovať dynamiku výšky a vodnej hodnoty snehu vykreslenú pre jednotlivé mesiace zimnej sezóny ako na voľnej ploche tak aj v lesnom poraste.

Môžeme konštatovať, že tohtoročné zimné obdobie 2012/2013 bolo najbohatšie čo sa na množstvo akumulovanej vody týka avšak aj minuloročná zima bola bohatá na zásobu vody v snehovej pokrývke. Maximálna hodnota za všetky sledované zimy bola 606 mm nameraná v tejto zime v mesiaci marec v nadmorskej výške 1800 m n. m., čo predstavuje 37% priemerného ročného úhrnu zrážok (Obr.11).

Expedičným monitoringom sa nám potvrdil významný vplyv nadmorskej výšky na akumuláciu snehovej pokrývky z priestorového hľadiska. Je známe, že s narastajúcou nadmorskou výškou sa znižuje priemerná teplota vzduchu, rastie celoročný úhrn zrážok, zvyšuje sa počet dní so snehovou pokrývkou a tiež výška snehovej pokrývky, ale výška snehu pribúda iba do určitej nadmorskej výšky. Na hrebeňoch pohorí totiž dochádza ku pôsobeniu prudkého vetra čo má za následok snežný drift. Uvedenú skutočnosť potvrdzuje aj práca HOLKO (2000). Na nami meranom tranzekte sa výška aj vodná hodnota snehu zvyšovala do pásma 1500 – 1800 m n. m. v závislosti od jednotlivých mesiacov. Dôležitou hranicou je nadmorská výška 1750-1800 m n. m., nad ktorou sa sledované hydrofyzikálne veličiny už len znižovali. Vo vyšších polohách sa začína výrazne prejavovať ústup kosodreviny, ktorá zadržiava sneh pred vplyvom vetra. Vietor spôsobuje výrazný snežný drift. Na južných svahoch pohoria vietor v týchto výškach vo svojom ročnom chode dosahuje najväčšiu rýchlosť v marci, dôsledkom čoho na voľných otvorených plochách dochádza k intenzívnemu odvíjaniu snehu. Maximálne hodnoty sa teda nevyskytujú na najvyšších miestach pohoria, ale v nižších polohách (HOLKO et al., 2001). HOLKO (2000) vo vyhodnotení dlhodobých meraní parametrov snehovej pokrývky v horskom povodí Bystrej v Nízkych Tatrách udáva výšku 1450 m. n. m., po ktorú výška snehu stúpa, do 1650 m. n. m. sa výrazne nemení a s ďalším nárastom nadmorskej výšky dochádza k poklesu výšky snehovej pokrývky.

Z časového hľadiska v nižších polohách tranzektu dosahuje výška snehu svoje maximum v decembri - januári niekedy až začiatkom februára, ale v horách a vo vyšších polohách vrcholí výška snehovej pokrývky práve až koncom februára a v marci ako si to môžeme všimnúť na Obr.8 v sezónach 2009/10 a 2011/12. Túto skutočnosť potvrdzuje aj publikácia KONČEK–BRIEDOŇ (1964). Zima 2010/11 v tomto smere daný fakt nevykresľuje až tak jednoznačne. Maximálna priemerná výška snehovej pokrývky bola nameraná v poslednom sledovanom období 2011/2012 a to vo februári v nadmorskej výške 1700m n. m. 198cm, ktorá zotrvala aj do nasledujúceho mesiaca 197cm. V ostatných zimách sa maximálne hodnoty výšky snehu predstavovali hodnoty pre zimu 2012/2013 190 cm, zima 2010/11 112 cm a 2009/10 152 cm. Z nameraných hodnôt môžeme povedať, že zima 2012/2013 a 2011/2012 boli bohatšie na snehovú pokrývku ako ostatné dve zimy.

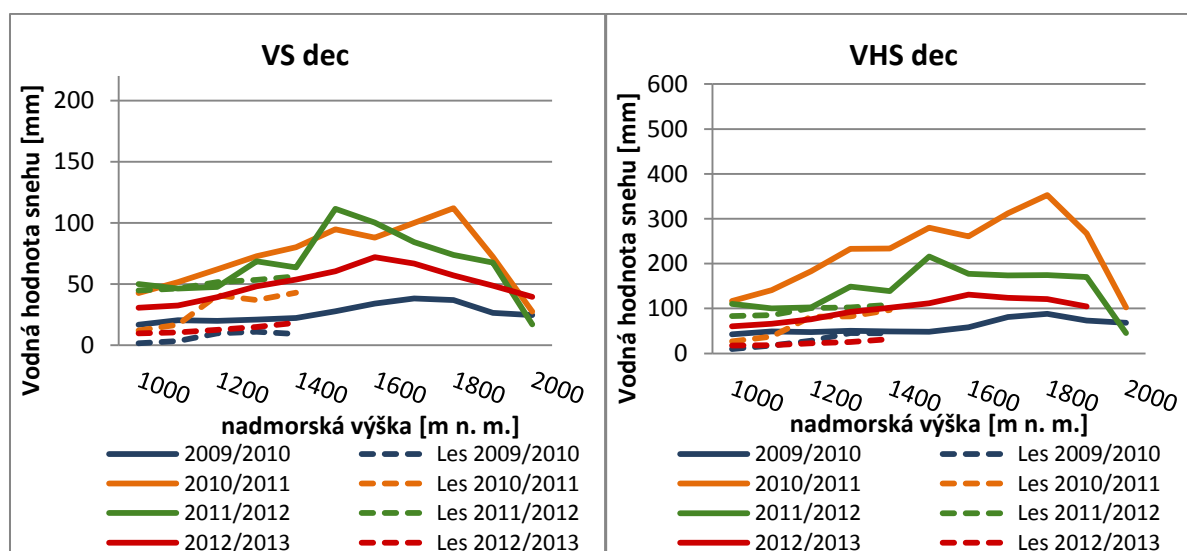
K výraznému ústupu snehovej pokrývky dochádza na prelome februára a marca kde v nižších polohách sa začína teplota vzduchu stúpať, no vo vyšších polohách pretrvávajú stále mrazivé teploty, čím sa udržuje ešte stále výrazná snehová pokrývka. K jej postupnému topeniu dochádza až v apríli (viď Obr.8,10). Výnimkou je však zima 2012/2013, kedy snehová pokrývka aj v nižších polohách dosahovala ešte koncom februára a marca výrazne nadpriemery v porovnaní s ostatnými zimami, čo bolo spôsobené najmä dlho pretrvávajúcimi nízkymi teplotami ovzdušia a bohatými snehovými zrážkami aj v neskoršom priebehu zimy.

Čo sa týka maximálnych vodných hodnôt snehovej pokrývky, tak tie sa vyskytovali v mesiacoch od februára do apríla v závislosti od nadmorskej výšky. V decembri bola

snehová pokrývka aj jej vodná hodnota nízka (okrem výnimky zimy 2010/2011), výdatné zrážky s význačnými zásobami vody prišli v januári (zima 2011/2012, 2012/2013) alebo až februári (zima 2009/2010). Podobný trend potvrdzuje aj práca HOLKO et al., 2001. Zima 2010/11 bola výrazne slabšia čo sa týka obsahu akumulovanej vody v snehu oproti ostatným meraným zimným obdobiam. Najlepšie viditeľný je rozdiel je v mesiaci apríl (Obr.11), kde dosahovala hodnotu 137 mm zatiaľ čo v tej istej nadmorskej výške ale v sezóne 2009/10 predstavovala 423 mm a v 2011/12 až 470 mm. Výnimkou je však mesiac december (Obr.3), kedy uvedené dve obdobia ani zďaleka nedosahovali hodnôt ako v decembri zime 2010/11.

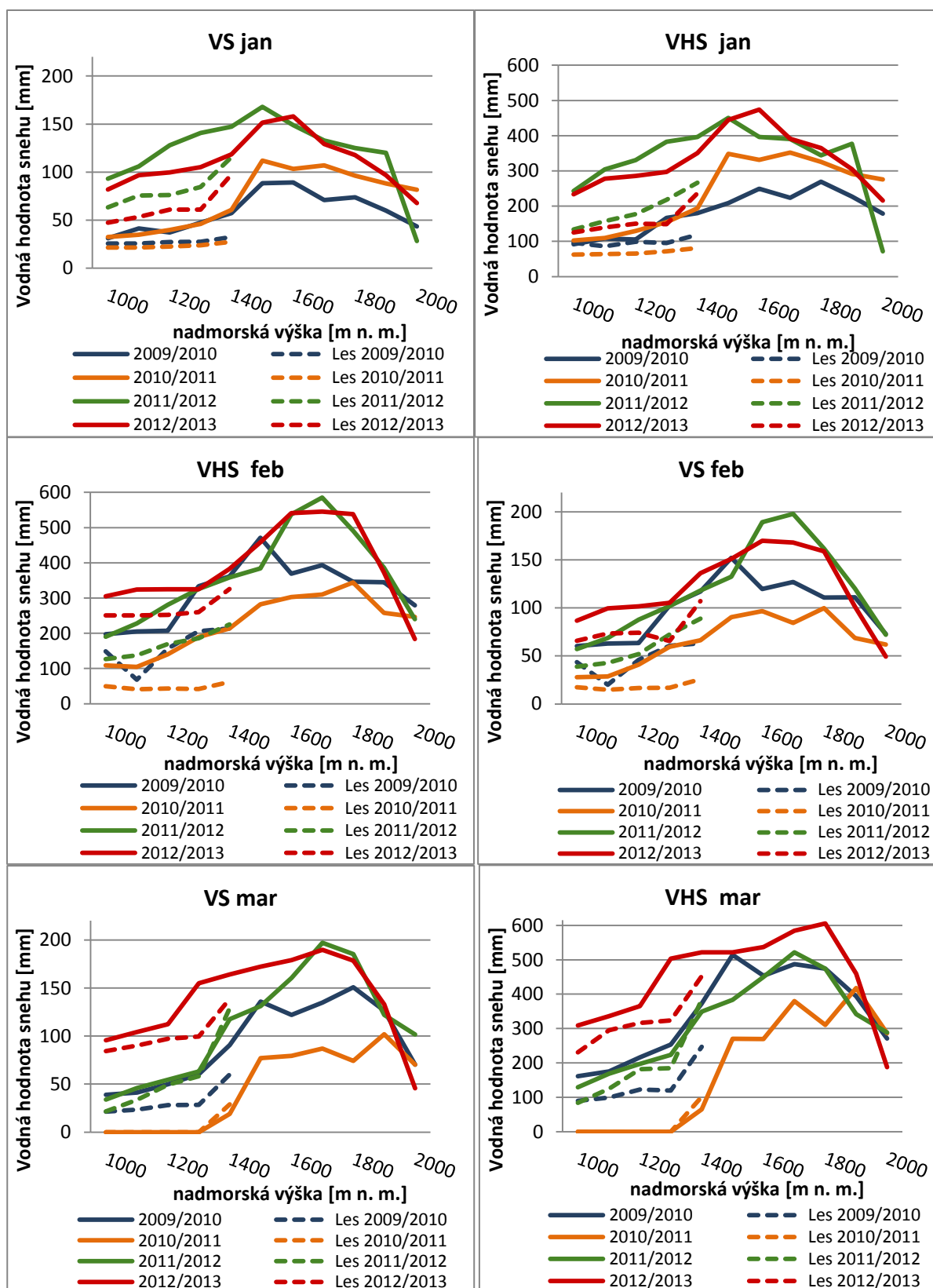
Z grafov je taktiež viditeľný rozdielny priebeh skúmaných charakteristík na voľnej ploche a v lesnom poraste. V zimnom období je v lese naakumulovanej približne o polovicu menej vody ako je tomu na voľnej ploche (viď Obr.4-7) január, február). Kvôli intercepcii korún stromov v období akumulácie snehu pôsobí les ako filter. POBEDINSKI-KREČMER (1984) uvádzajú, že vodná hodnota snehu v poraste môže byť až do 35 % nižšia ako na voľnej ploche, v dôsledku vysokej intercepcie snehu. Namerané výšky snehovej pokrývky v lese miestami dosahujú iba polovičné hodnoty oproti voľným plochám. Uvedená hodnota je však závislá od množstva snehových zrážok a druhovej skladby, zápoja a veku porastu (HRÍBIK-ŠKVARENINA, 2006).

Na jar pri topení snehu, vďaka špecifickým klimatickým vlastnostiam lesného porastu sa snehová pokrývka v lese topí pomalšie ako na voľnej ploche a pretrváva dlhší čas. Na Obr.11 v mesiaci apríl najlepšie vidíme, že vodná hodnota snehu v lese dosahuje (niekedy až presahuje) hodnoty namerané na voľnej ploche, pretože zatienené plochy snehovej pokrývky sú charakteristické stabilnejšími podmienkami. Klíma lesa sa vyznačuje menšou intenzitou slnečného žiarenia v poraste ako na voľnej ploche, tým je priebeh teplôt vzduchu počas dňa vyrovnanejší, čo zapríčiňuje zníženie intenzity topenia snehovej pokrývky, pomalšie prebiehajúcu metamorfózu snehu a taktiež nižšia intenzita vetra vylučuje odvíatie snehu z porastu na voľnú plochu (HOLKO-KOSTKA, 2008, HRÍBIK-ŠKVARENINA, 2006).



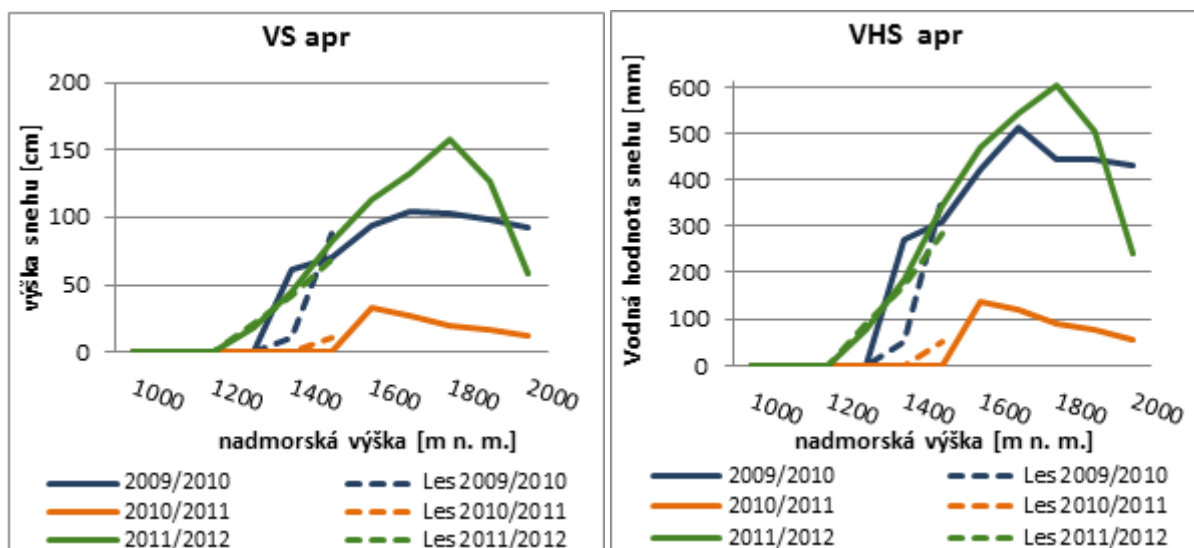
Obr.2 Priebeh výšky snehu (vľavo) a vodnej hodnoty snehu (vpravo) v priebehu sledovaných sezón zobrazený pre december

Fig.2 The snow depth (left) and snow water equivalent (right) from monitored winter seasons in December



Obr.3 Priebeh výšky snehu (vľavo) a vodnej hodnoty snehu (vpravo) v priebehu sledovaných sezón zobrazený pre jednotlivé mesiace (január, február, marec)

Fig.3 The snow depth (left) and snow water equivalent (right) from monitored winter seasons in January, February, March



Obr.4 *Priebeh výšky snehu (vľavo) a vodnej hodnoty snehu (vpravo) v priebehu sledovaných sezón zobrazený pre jednotlivé mesiace (apríl)*

Fig.4 *The snow depth (left) and snow water equivalent (right) from monitored winter seasons in April*

4 Záver

Prezentovaná práca sa zaoberá zhodnotením hydrofyzikálnych vlastností snehovej pokrývky vo vybraných zimných obdobiach v oblasti Chopku (Nízke Tatry). Zamerali sme sa na výšku a vodnú hodnotu snehovej pokrývky. Pravidelný monitoring sme uskutočnili počas zimných sezón 2009/10, 2010/11, 2011/12 a 2012/2013 v Nízkych Tatrách na výškovom tranzekte od 1000 do 2000 m n. m.. Sledovali sme vplyv nadmorskej výšky, časový priebeh a vplyv lesného porastu. Výsledky môžeme zhrnúť nasledovne:

- výška snehovej pokrývky a vodná hodnota snehu zákonite rastie do nadmorskej výšky 1500 - 1800 m n. m., potom sledujeme pokles spomínaných charakteristík v dôsledku snehového driftu
- výška a vodná hodnota snehovej pokrývky je na voľnej ploche vyššia ako v lesnom poraste v čase kulminácie snehu, pri topení snehu sme zistili opačný jav
- maximálne hodnoty hydrofyzikálnych vlastností snehu sa v nižších polohách vyskytujú v mesiacoch december-január, vo vyšších polohách sme zaznamenali časový posun na február-marec
- na začiatku zimy je nástup snehovej pokrývky vo všetkých nadmorských výškach vyrovnaný,
- vzhľadom na veľkú variabilitu snehových pomerov na voľných plochách nemusí byť vzťah s nadmorskou výškou vždy vhodnou charakteristikou priestorového rozloženia snehu a je potrebné zamerať sa na odhad redistribúcie snehu vplyvom vetra.

Podakovanie

Tento príspevok je výsledkom realizácie projektu: Centrum excelentnosti pre podporu rozhodovania v lese a krajine, ITMS: 26220120120, podporovaný Výskumným a vývojovým operačným programom financovaným z ERDF (20%).



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

Tento príspevok je tiež podporovaný grantmi na výskum VEGA 1/1130/12 (40%), VEGA 1/0281/11 (10%), VEGA 1/0257/11 (10%) zo Slovenskej grantovej agentúry pre vedu a Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci zmluvy č. APVV 0423-10 (20%).

VLIV VYBRANÝCH FYZICKOGEOGRAFICKÝCH FAKTORŮ NA PRŮBĚH AKUMULACE A TÁNÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY

Hana Pevná

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie –
Albertov 6, Praha 2 128 43

Úvod

Sněhová pokrývka je v našich zeměpisných šířkách velmi důležitou součástí hydrologického cyklu. Sníh však neovlivňuje jen hydrologický cyklus, ale i další složky fyzickogeografické sféry, např. klima a biosféru.

Na průběh akumulace a tání sněhové pokrývky mají vliv fyzickogeografické faktory: úhrn srážek, vegetace, nadmořská výška, sklon a expozice svahu, teplota vzduchu, směr a rychlost větru a geomorfologický charakter oblasti. Vliv fyzickogeografických faktorů na průběh akumulace a tání sněhové pokrývky je popisován na dvou povodích v západní části Krušných hor, na základě měření v zimách 2009/2010, 2010/2011 a 2011/2012.

Získaná data byla hodnocena pomocí statistických analýz. Vliv fyzickogeografických faktorů byl hodnocen na základě výsledků regresních rovnic a koeficientu determinace a vícerozměrné statistické analýzy – shlukové analýzy. Výsledky shlukové analýzy byly znázorněny pomocí dendrogramů. Z těchto grafů můžeme vyčíst podobnost mezi jednotlivými body a hodnotit tak míru vlivu jednotlivých faktorů v experimentálních povodích.

Materiál a metody

Měření sněhu probíhala v zimách 2009/2010, 2010/2011 a 2011/2012 v západních Krušných horách v horním povodí Bystřice a v povodí Zlatého potoka. Na povodí Bystřice bylo měřeno celkem 10 profilů a v povodí Zlatého potoka bylo měřeno 9 profilů (viz obrázky 1 a 2). V každém profilu bylo vždy změřeno celkem 10 bodů. Profily byly v povodích vybírány tak, aby, pokud to bylo možné, bylo vždy měřeno pět bodů na otevřené ploše a pět bodů v lese. V každém bodu měřeného profilu se měřila výška sněhové pokrývky a v 1., 5., 6. a 10. bodu se měřila vodní hodnota sněhu. U každého měřeného bodu byl dále vždy zjišťován typ vegetace, sklon a expozice. K měření sněhu byla používána sněhoměrná tyč a sněhoměrný válec o výšce 150 cm a průřezu válce 50 cm².

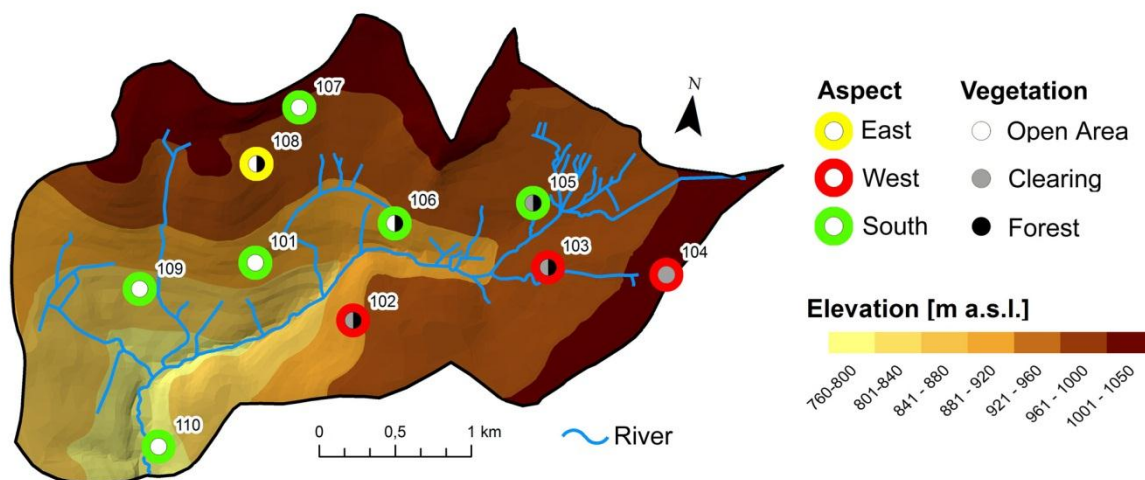
Data byla zpracovávána pomocí jednorozměrné statistické metody a vícerozměrné statistické analýzy. Tyto analýzy byly prováděny v programech MS Excel a Statistica. V případě hodnocení dat jednorozměrnou statistickou metody byla použita regrese. Pomocí regrese byla analyzována všechna data z každého měření. Celkem tak bylo analyzováno 13 měření prováděných v průběhu 3 let. Regrese byla využívána pro zkoumání vlivu nadmořské výšky na vodní hodnotu sněhu v experimentálních povodích. Jako vícerozměrná statistická metoda byla používána shluková analýza.

Pomocí shlukové analýzy bylo hodnoceno několik skupin dat. Data byla analyzována pro každou zimu zvlášť a pro všechny zimy dohromady. Zároveň byla hodnocena zvlášť data pro každé povodí a posléze i pro obě povodí dohromady. Rovněž byla hodnocena skupina dat s jedním typem vegetace (les nebo otevřená plocha) a s jednou expozicí (sever, jih a západ). Kromě konkrétních hodnot vodní hodnoty sněhu byl hodnocen i vývoj vodní hodnoty sněhu. Při zpracovávání dat byla využita jako míra podobnosti Euklidovská vzdálenosti. V rámci zpracovávání dat bylo testováno více nejčastěji používaných shlukovacích metod. Euklidovská metoda byla zvolena na základě rešerše literatury a na základě srovnání s výsledky ostatních testovaných metod. Výsledky shlukové analýzy byly znázorněny pomocí dendrogramů. Tyto grafy znázorňují strukturu objektů ve shlucích.

Výsledky

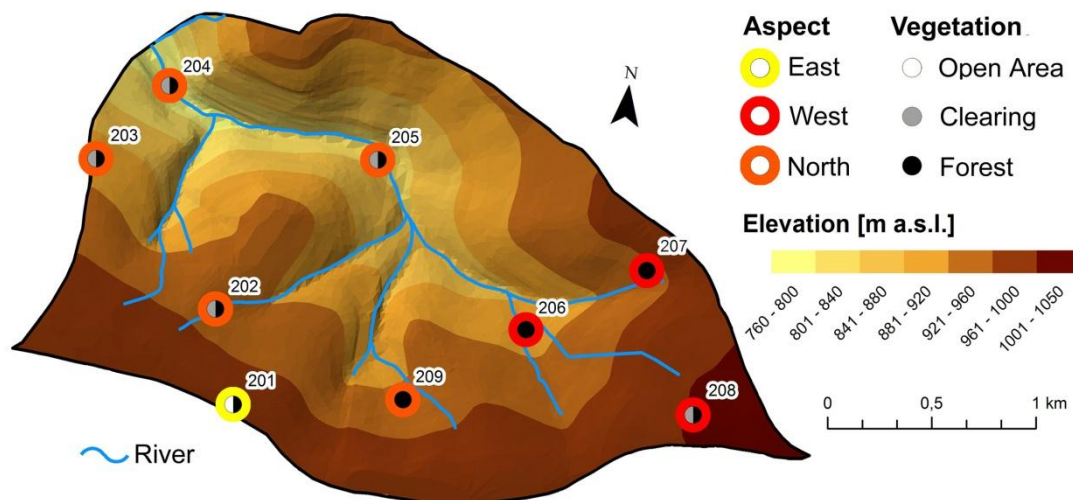
Přehled a charakteristika měřených bodů

Jednotlivé body jsou z hlediska polohy a charakteristik znázorněny na obrázcích 1 a 2.



Obrázek 1: Měřené profily v povodí Bystřice v zimách 2009/2010 – 2011/2012 a jejich charakteristika (DMÚ 25, vlastní)

Figure 1: Measured profile in catchment of Bystřice River in winters 2009/2010-2011/2012 and their characteristics



Obrázek 2: Měřené profily v povodí Zlatého potoka v zimách 2009/2010 – 2011/2012 a jejich charakteristika (DMÚ 25, vlastní)

Figure 2: Measured profile in catchments of Zlatý Brook in winters 2009/2010-2011/2012 and their characteristics

Vodní hodnota sněhu a její vývoj pro body s oddělenou vegetací

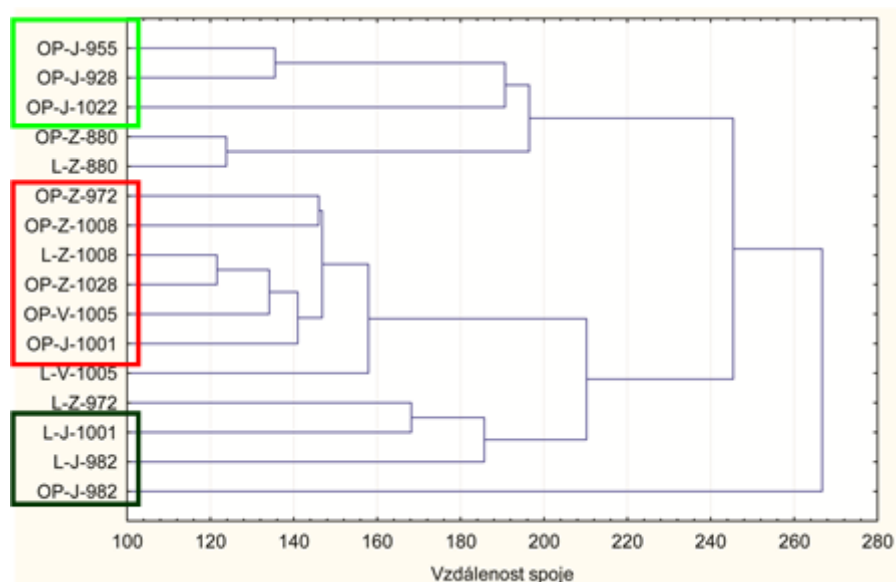
V této skupině jsou hodnoceny body měřené v jednotlivých profilech a to tak, že pokud to bylo možné, byl měřený profil rozdělen na část měřenou v lese a část měřenou na otevřené ploše.

V povodí Bystřice byla při takto rozdělených bodech pozorována tendence shlukování bodů měřených na velké otevřené ploše. Při tomto hodnocení se vytvořila ještě jedna skupina bodů s velmi silnými vazbami. Jedná se o body měřené v podobném typu lesa, které mají jižní a západní expozici a nachází se v podobné nadmořské výšce (rozdíl je 30 výškových metrů). Zároveň se

vyděljuje bod, u kterého je pozorován výrazný vliv větru. Bod je měřen na rozhraní lesa a otevřené plochy a v průběhu zimy dochází k výraznému navátí sněhu. Dendrogram vodních hodnot sněhu v povodí Bystřice je znázorněn na obrázku 3. Tento dendrogram názorně dokumentuje výrazný vliv vegetace na shlukování bodů v rámci povodí Bystřice.

V povodí Zlatého potoka se opět jako zcela dominantní faktor ovlivňující vodní hodnotu sněhu a její vývoj ukazuje vegetace. Při hodnocení vývoje vodní hodnoty sněhu se prokázala podobnost bodů měřených v podobném lese. V rámci této skupinky bodů jsou však v jednotlivých zimách různé vazby. Vegetace tedy bude dominantním faktorem. Naopak ostatní fyzickogeografické faktory nebudou mít na rozložení vodní hodnota sněhu v rámci povodí Zlatého potoka tak velký vliv.

Při analýze obou povodí se opět shlukují body měřené na Bystřici a Zlatém potoce zvlášť. Není to však tak jednoznačné, jako při analýze celých měřených profilů. Při této analýze se výrazněji projevuje typ vegetace. Body s podobným typem vegetace se shlukují i mezi jednotlivými povodími. Při analýze vývoje vodní hodnoty sněhu se velmi výrazně projevují především body, jejichž charakter je výrazně odlišný od ostatních bodů. Jedná se ve větším počtu o body měřené na východních svazích a body měřené na rozhraní otevřené plochy a lesa.



Obrázek 3: Dendrogram pro vodní hodnoty sněhu v povodí Bystřice v zimách 2009/2010 – 2011/2012 s oddělenými hodnotami vegetace (OP – otevřená plocha, L – les, J – jih, Z – západ, V – východ, číslo – nadmořská výška v metrech)

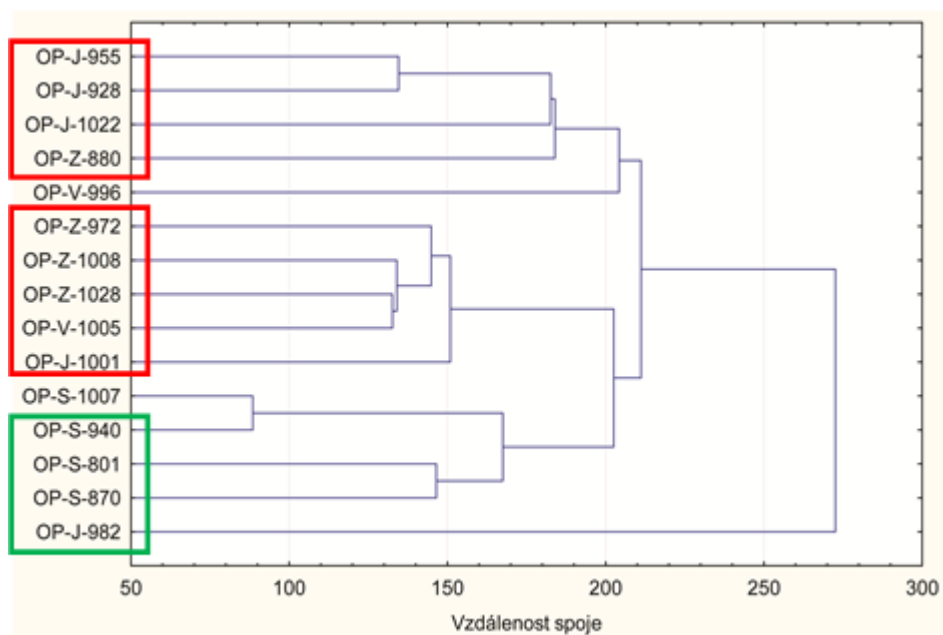
Figure 3: The dendrogram of snow water equivalent in catchment of Bytřice River in winter 2009/2010 – 2011/2012 (OP – open area, L – forest, J – south, Z – west, V – east, number – elevation [m a. s. l.])

Vodní hodnota sněhu a její vývoj pro body se stejnou vegetací

V této skupině bodů byly hodnoceny zvlášť body měřené v lese a body měřené na otevřených plochách. Důvodem analýzy takové skupiny bodů byla snaha o minimalizování vlivu vegetace.

U bodů měřených v lese se jako dominantní fyzickogeografický faktor prokázal charakter lesa. Nejprve se shlukovaly body měřené v povodí Zlatého potoka, tedy body ve velmi podobném lese. U některých bodů se však projevil jako důležitý fyzickogeografický faktor i nadmořská výška a expozice. Body měřené na otevřených plochách se při analýze konkrétních hodnot vodní hodnoty sněhu opět rozdělují podle povodí (viz obrázek 4). Zde se ukazuje jako dominantní faktor velikost otevřené plochy. Body, které jsou měřeny na velké otevřené ploše, se shlukují ve velmi těsné vazbě.

Body, ktoré jsou měřeny na větších mýtinách, jsou výrazněji ovlivňovány nadmořskou výškou. Na Zlatém potoce se u otevřených ploch výrazněji projevuje vliv nadmořské výšky.

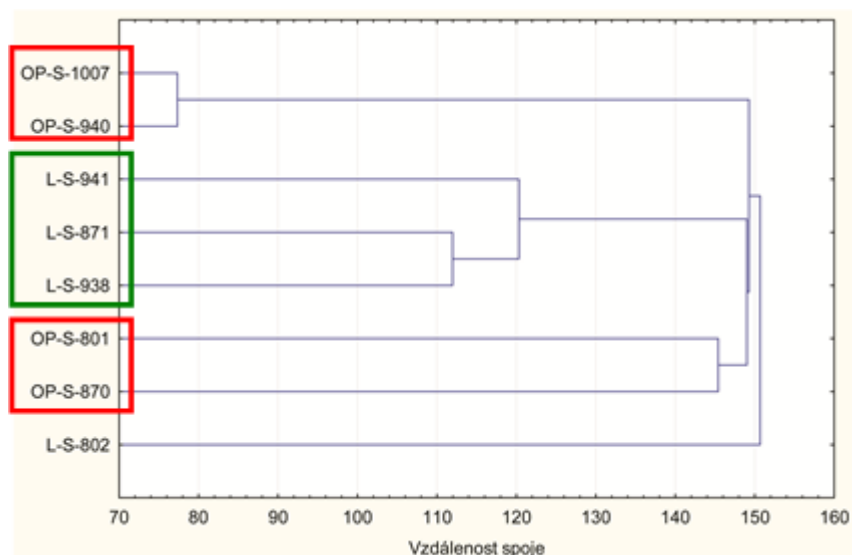


Obrázek 4: Dendrogram pro vodní hodnotu sněhu na otevřených plochách v povodí Bystřice a Zlatého potoka za zimy 2009/2010-2011/2012

Figure 4: The dendrogram of snow water equivalent on open area in catchments of Bytřice River and Zlatý Brook in winter 2009/2010 – 2011/2012

Vodní hodnota sněhu a její vývoj pro body se stejnou expozicí

Cílem analýzy tohoto souboru dat bylo minimalizovat vliv expozice. Hodnoceny byly pouze body měřené na jižních, severních a západních svazích. Na východních svazích se nachází pouze 2 měřené profily.



Obrázek 6: Dendrogram pro vodní hodnotu sněhu na svazích se severní expozicí v povodí Zlatého potoka za zimy 2009/2010-2011/2012

Figure 6: The dendrogram of snow water equivalent on north aspect in catchment of Zlatý Brook in winter 2009/2010 – 2011/2012

Body, které se vyskytují na jižním svahu, jsou pouze body z povodí Bystřice. Mezi analyzovanými body se vytváří 2 silnější skupiny. Jedna je tvořena body, které se vyskytují na velké otevřené ploše a druhou skupinku tvoří body, které jsou měřeny v lese. Mezi body, které se nachází na západních svazích, se neprojevují žádné užší vazby. Získané výsledky pouze podporují skutečnost, že body měřené na otevřených plochách jsou výrazněji ovlivňovány dalšími fyzickogeografickými faktory. Body se severní expozicí (viz obrázek 6) jsou pouze v povodí Zlatého potoka. Podobně jako při hodnocení vodní hodnoty sněhu a vývoje vodní hodnoty sněhu se zde ukazuje jako dominantní faktor vegetace. Mezi body měřenými na otevřených plochách se shlukují body podle nadmořské výšky. Ta je tedy také na tomto povodí důležitým faktorem.

Diskuze

Při hodnocení výsledků je třeba mít na paměti nedostatky, které mohly vzniknout při sběru dat i při jejich zpracování. Při sběru dat dochází k chybám instrumentálním a metodické. Instrumentální chyby jsou způsobeny konstrukcí měřicího přístroje. V případě této studie jde především o přesnost vah. Ta je výrobcem garantována na ± 2 g. Dalšími chybami, které mohou vzniknout při sběru dat, jsou chyby metodické. Při našich měřeních může docházet ke špatnému výběru místa odběru v terénu, špatnému odečtení výšky sněhové pokrývky ze sněhoměrné tyče, případně špatnému odběru sněhu (ztráta části sněhu při vážení apod.). Při zpracování dat může dojít k chybám numerickým (špatné zapsání dat, zaokrouhlování) nebo chybám způsobeným špatným použitím statistické metody (Meloun a Militký, 2004).

Zhodnocení vlivu faktorů bylo prováděno na základě výsledků shlukové analýzy a regrese. Ve všech analyzovaných obdobích byl zkoumán vliv vegetace, expozice a nadmořské výšky. Vliv těchto tří faktorů je velmi závislý i na ostatních dvou. V experimentálních povodích se jako zcela zásadní ukazuje vliv vegetace. Dominance vlivu vegetace byla očekávaná. K podobným závěrům dospěli i autoři, kteří prováděli studie ve střední Evropě (Hříbik a Škvarenina, 2007; Kantor a kol., 2007 a Pekárková a Halmová, 2009). Ostatní sledované faktory, nadmořská výška a expozice, se projevují pouze v některých sledovaných obdobích nebo pouze u některých bodů. Jejich vliv tedy není ve zkoumaných povodích dominantní. V povodích se také promítají fyzickogeografické faktory, které nebyly součástí výzkumu. Jedná se především o vliv větru. Vítr jako faktor, který ovlivňuje rozložení sněhové pokrývky v povodích, se projevil u několika bodů. I zde se tento vliv dal očekávat. Jednalo se o body na rozhraní otevřené plochy a lesa. Výrazný vliv větru na rozhraní otevřených ploch a lesa popisují ve svých studiích Cline (1999) a Vajda a kol. (2006).

Vegetace je v našich přírodních podmínkách jeden z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících vývoj sněhové pokrývky. To se ukazuje i řadě analýz prováděných v obou experimentálních povodích. V těchto případech je to dáno i celkovým charakterem obou povodí. Obě povodí jsou malá s malou relativní výškou členitostí. Průměrný sklon povodí Bystřice je $4,5^\circ$ a Zlatého potoka 11° . Vliv sklonu na rozložení sněhové pokrývky je však podle studií Hříbika a Škvareniny (2006) a Ehlera a kol. (1997) až od sklonu 60° . V případě hodnocení vegetace se ukazuje jako rozhodující faktor i charakter vegetace. U lesa je zcela rozhodující zápoj stromů a jeho stáří, dále např. i zdravotní stav (Bartůňková, 2011). U otevřených ploch hraje velmi významnou roli především velikost otevřené plochy. Výsledky shlukové analýzy jasně ukazují na velmi těsné vazby mezi body měřenými na velkých otevřených plochách. Body, které byly měřeny na mýtinách, se v experimentálních povodích shlukují odděleně. Vliv vegetace se také velmi dobře prokázal při analýze skupin bodů se stejnou expozicí. V těchto analýzách se nejprve zvláště shlukly body měřené na otevřené ploše a zvláště body, které byly měřeny v lese.

Vliv expozice se v povodích rovněž příliš neprojevuje. V případě povodí Bystřice je to dáno jeho rovinným charakterem. Navíc se většina měřených profilů nachází na jižních a západních svazích. Tyto svahy jsou některými autory hodnoceny dohromady. D'Eon (2004) tyto expozice označuje za teplé. Na povodí Zlatého potoka je vliv expozice pravděpodobně potlačen z důvodu velké zalesněnosti povodí. V době, kdy má expozice na vývoj sněhové pokrývky, resp. vodní hodnoty

sněhu, největší vliv je jeho vliv minimalizován zachytáváním slunečního záření v korunách stromů. D'Eon (2004) ve své studii prováděné v Britské Kolumbii srovnává vliv expozice s nadmořskou výškou a zápojem stromů v lese. Z výsledků této studie vyplývá, že rozdíl ve výšce sněhové pokrývky v bezlesé oblasti a v oblasti se 100% pokryvem korunami stromů a mezi různými expozicemi je maximálně 9 %. Rozdíl mezi stejně zalesněnými oblastmi, se stejnou expozicí, ale různou nadmořskou výškou může dosahovat až 15 %.

Vliv nadmořské výšky se v těchto povodích příliš neprojevuje. Je to dáno především tím, že jsou povodí malá s malou relativní výškovou členitostí. Stejnou skutečnost potvrzuje i výzkum prováděný na malém povodí s malou výškovou členitostí v oblasti centrální Šumavy (Jeníček a kol., 2008; Kocum a kol., 2009). Malý vliv nadmořské výšky v povodích je doložen nejen shlukovými analýzami, tak i regresními analýzami, při nichž byly porovnávány jednotlivé body v souvislosti s nadmořskou výškou. Vliv nadmořské výšky minimální. Korelační koeficienty ve sledovaných obdobích zpravidla nedosahovaly hodnot vyšších než 0,5. V případě hodnocení vlivu nadmořské výšky na vodní hodnotu sněhu v zalesněných územích dosahoval koeficient korelace dokonce hodnoty do 0,2. Podobné hodnoty korelačního koeficientu dosahují i body měřené pouze na otevřených plochách. Výrazněji se vliv nadmořské výšky projevuje u skupin bodů, kde se nachází jeden či dva body, u kterých je hodnota nadmořské výška výrazně odlišná od bodů ostatních.

Použití shlukové analýzy pro hodnocení variability sněhové pokrývky se ukázalo jako velmi vhodné. Je však třeba zohledňovat i nedostatky této metody, stejně tak i nedostatky používaných dat. Velkým problémem je relativně malé množství hodnocených bodů. V případě většího množství bodů by výsledky analýzy byly mnohem průkaznější. I přes tento nedostatek se však v povodích prokázaly jisté popsání závislosti. Při vyhodnocování výsledků shlukové analýzy se rovněž ukázaly nedostatky v rozmístění bodů v povodích, např. absence bodů, které by byly měřeny na místech s jedinečnou kombinací zkoumaných charakteristik. Sama metoda je rovněž velmi náročná na správné nastavení. Při správném nastavení shlukovací metody je možné získat výsledky, které prokáží vazby mezi body, které by bylo jinak velmi těžké nalézt. V případě chybného nastavení však mohou vzniknout vazby, které neodpovídají skutečnosti. Proto je dobré shlukovou analýzu doplnit o základní statistické analýzy. Při srovnání výsledků obou analýz by bylo možné odhalit případné špatné nastavení. Velkou výhodou je grafický výstup shlukové analýzy – dendrogram. Pro hodnocení výsledků je velmi názorný.

Shrnutí

Popisovaný výzkum se věnuje problematice vodní hodnoty sněhu v experimentálních povodích v západní části Krušných hor. Terénní data jsou zpracovávána pomocí statistických analýz – regrese a shluková analýza. Na základě výsledků analýz z měření v zimách 2009/2010, 2010/2011 a 2011/2012 bylo zjištěno, že na vývoj vodní hodnoty sněhu v povodí Bystřice a Zlatého potoka má dominantní vliv vegetace. Ostatní faktory zkoumané v rámci tohoto výzkumu, nadmořská výška a expozice mají na rozložení sněhové pokrývky také vliv. V některých částech experimentálních povodí se projevují i další fyzickogeografické faktory na vliv sněhové pokrývky, především vítr. Cílem výzkumu nebylo zjistit, jaký je konkrétní vliv jednotlivých faktorů na vodní hodnotu sněhu, ale který faktor je více dominantní a zda se některé faktory na tak malém území projeví.

Cílem tohoto výzkumu bylo také zjistit, zda je možné aplikovat shlukovou analýzu na měřená data a jaké budou výsledky. Shluková analýza se ukázala jako vhodný nástroj pro zpracování dat vodní hodnoty sněhu a následné hodnocení faktorů, které ovlivňují její prostorové rozložení. Shluková analýza je rovněž velmi vhodný nástroj, díky kterému můžeme zpřesňovat měření dat v terénu. Na základě výsledků ze zim 2009/2010 – 2011/2012 budou upraveny měřené profily tak, aby byla v experimentálních povodích lépe zachycena celková variabilita rozložení sněhové pokrývky, resp. vodní hodnoty sněhu.

Dosažené výsledky se však nedají aplikovat obecně. Míru vlivu jednotlivých fyzickogeografických faktorů na vodní hodnotu sněhu ovlivňuje fyzickogeografická charakteristika každého povodí a také

jejich veľkosť. Na jiných povodiach môže byť míra vlivu jednotlivých fyzickogeografických faktorů odlišná (Pevná, 2012).

Resumé

Hana Pevná: EFFECT OF SELECTED PHYSICAL-GEOGRAPHICAL FACTORS ON THE SNOW ACCUMULATION AND SNOW MELT

This article analyzes the influence of physical-geographical factors on spatial distribution of snow water equivalent, and its evolution. In this work, emphasis is placed on describing the influence of vegetation, aspect and elevation. Measurement was carried out in experimental catchments Zlatý Brook and Bystřice River in western part of the Ore Mountains in winters 2009/2010, 2010/2011 and 2011/2012. To evaluate the influence of these factors on value of snow water equivalent there was used one of the methods of multivariate statistical analysis - cluster analysis and the regression equation and the coefficient of determination. The research shows that the greatest influence on the distribution and evolution of snow water equivalent in the experimental basins has vegetation and some dependency was proved also between the points of southern exposure. The measurement results demonstrate the suitability of cluster analysis for analyzing the data of point values of snow water equivalent. On the other hand the results showed the main limits of this method, especially the need for a large number of points with different characteristics. The results of measurements and statistical analysis are compared with results published in technical literature.

Literatura

BARTUŠKOVÁ, K. *Vliv lesních disturbance na dynamiku odtoku v oblasti centrální Šumavy*. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie. 2011. 116 s.

CLINE, D. *Snow Hydrology* [online]. C 1999 [cit. 2012-30-7]. Dostupné z: http://www.comet.ucar.edu/class/hydromet/09_Oct13_1999/docs/cline/comet_snowhydro/index.htm .

D'EON, R. G. *Snow depth as a function of canopy cover and other site attributes in a forested ungulate winter range in southeast British Columbia*. In *Journal of Ecosystems and Management*. Volume 3, Issue 2, 2004. 1-9 s.

EHLER, C. SEIDEL, K., MARTINEC J. *Advanced Analysis of the Snow Cover based on Satellite Remote Sensing for the Assessment of Water Resources*. IAHS '97, Rabat, 1997. 9 s.

HRÍBIK, M., ŠKVARENINA, J. *Vplyv nadmorskej výšky, expozície, porastu a druhu porastu na hydrofyzikálne vlastnosti snehovej pokrývky v Biosférickej rezervácii Poľana, v zimách 2003/04, 2004/05*. In *11. stretnutie snehárov: Sborník ze semináře*. ČHMÚ. 2006. s. 30-40.

HRÍBIK, M., ŠKVARENINA, J. *Vplyv ihličnatého a listnatého lesa v rastovej fáze zrdoviny na vytváranie snehových zásob*. In Hříbik, M., Holko L., Škvarenina J. *12. Stretnutie snehárov: Zborník zo seminára*. 2007. s. 88-98.

JENÍČEK, M., KOCUM, J., JELÍNEK, J. *Monitoring sněhové pokrývky v povodí Rokytky v letech 2007 a 2008*. In *Workshop Adolfa Patery 2008 – Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Brno, 2008.

KANTOR, P., KARL, Z., ŠACH, F. *Ukládání a intenzita tání sněhu v mladém smrkovém a bukovém porostu v zimním období 2005/2006*. In Rožnovský, J., Litschmann, T., Vyskot, I. (ed): *Klima lesa*. Křtiny, 2007. 10 s. ISBN 978-80-86690-40-7

KOCUM, J., JELÍNEK, J., JENÍČEK, M. *Monitoring sněhové pokrývky a vyhodnocení sněhových zásob na Šumavě a v Krušných horách*. In Hanková, R., Klose, Z., Pavlásek, J. *XIV. Medzinárodné stretnutie snehárov: Sborník příspěvků*. Praha: ČZU v Praze. Fakulta životního prostředí, 2009. s. 105-113.

MELOUN, M., MILITKÝ, J. *Statistická analýza experimentálních dat*. Praha: Academia. 2004. 953 s.

PEKÁROVÁ, P., HALMOVÁ, D. *Snow water equivalent measurement and simulation in microbasins with different vegetation cover*. In *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, Volume 57, Issue 2. 2009. s. 88–99.

PEVNÁ, H. *Vliv vybraných fyzickogeografických faktorů na průběh akumulace a tání sněhové pokrývky*. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie. 2012. 73 s.

PEVNÁ, H. *Vliv vybraných fyzickogeografických faktorů na průběh akumulace a tání sněhové pokrývky*. In *Zborník súťažných prác mladých odborníkov 24. konferencie mladých hydroológov*. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav. 11 s.

VAJDA, A., VENÄLÄINEN, A., HÄNNINEN, P., SUTINEN, R.: *Effect of Vegetation on Snow Cover on the Northern Timberline: A Case Study in Finnish Lapland*. In *Silva Fennica*. Volume 40, Issue 2, 2006, s. 195-207.

DMÚ 25, Vojenský geografický a hydrometeorologický úrad (VGHMÚř), Geografická služba Armáda České republiky

SNÍH A LES – VÝZKUM VZTAHU DISTRIBUCE SNĚHU A VLASTNOSTÍ LESA S VYUŽITÍM HEMISFÉRICKÝCH SNÍMKŮ

Jiří Roubínek

WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF
Flüelastr. 11, CH-7260 Davos Dorf, Switzerland

a

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí
Kamýcká 1176, CZ-165 21 Praha 6 – Suchbátka, Česká republika

Úvod

Tuto zimní sezónu (2013/2014) byl na Švýcarském federálním institutu pro výzkum sněhu a lavin (WSL-SLF) zahájen nový projekt zaměřený na výzkum vztahu distribuce a dynamiky sněhové pokrývky a vlastností lesního porostu. Práce je založena na detailních terénních měřeních sněhové pokrývky a lesního porostu na několika lokalitách v okolí Davosu ve švýcarském kantonu Graubünden. Získaná data budou následně zpracována a analyzována. Jedním z cílů práce je vývoj a testování metodik pro určení charakteristik korunového zápoje lesního porostu s využitím hemisférické fotografie, manuální charakterizace a leteckého laserového skenování. Dalším cílem je pak porovnání těchto charakteristik s prostorovou a časovou distribucí sněhu a vytvoření modelu jejich závislosti.

Význam

Zalesněné plochy tvoří významnou část území se sezónní sněhovou pokrývkou. Konkrétně ve Švýcarsku pokrývají lesy 30% území. Tyto plochy hrají významnou roli jako obrovská vodní zásobárna (Jost et al. 2007; Rutter et al. 2009; Chang 2003). Výzkum této vodní zásobárny důležitý zejména z hlediska energetického a z hlediska ochrany proti přírodním rizikům (Jonas, et al. 2011). Interakce mezi lesním porostem a sněhovou pokrývkou a vliv porostu na vývoj sněhové pokrývky není stále zcela popsán. A to zejména v malém měřítku. Hustá měřicí síť na sledovaných lokalitách umožňuje výzkum těchto závislostí s vysokým prostorovým rozlišením, vylepšení existujících modelů a hledání nejlepšího způsobu zobecnění pro větší měřítko.

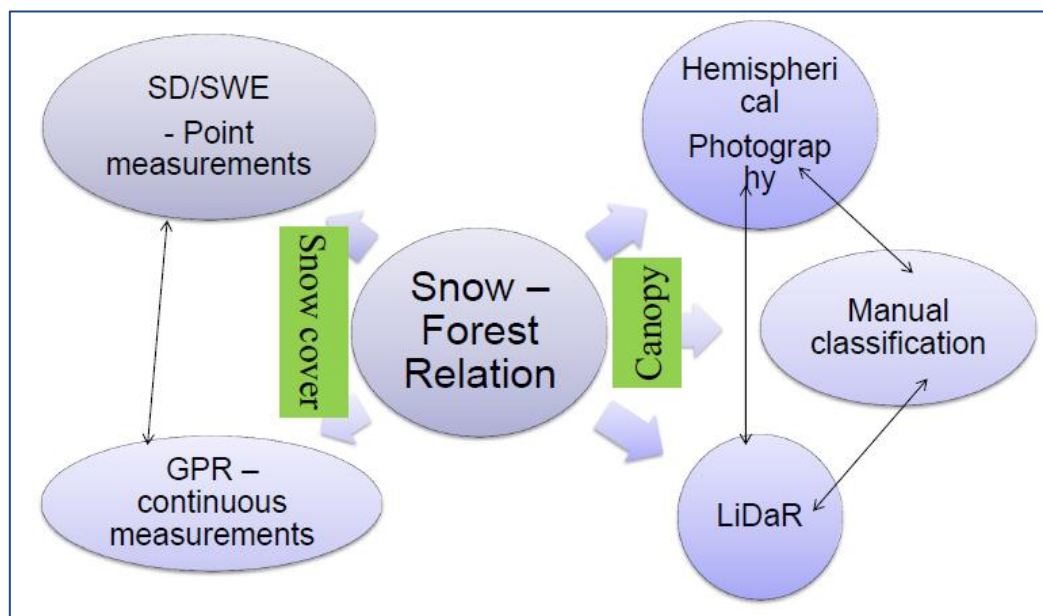
Výzkumné otázky a hypotézy

Cílem výzkumu je zejména ověření 3 základních hypotéz formulovaných v rámci projektu:

1. Existuje významná závislost mezi vlastnostmi korunového zápoje a vlastnostmi sněhové pokrývky. Tuto závislost lze kvantifikovat a využít k tvorbě modelu časoprostorové distribuce sněhu.
2. Je předpokládán vztah mezi charakteristikami korunového zápoje získanými z pozemních hemisférických snímků a získaných z leteckého laserového skenování porostu (LiDAR). Bude studována jejich závislost pro různá nastavení parametrů výpočtů těchto charakteristik ze zdrojových dat.
3. Použití fyzikálního modelu zahrnujícího informace o změnách výšky sněhu poskytuje přesnější výsledky než modelování pomocí přímé závislosti výšky sněhu na charakteristikách korunového zápoje.

S těmito hypotézami souvisí základní výzkumné otázky, které jsou v rámci projektu zkoumány:

1. Jaká je závislost mezi výškou sněhu a vlastnostmi korunového zápoje? Které charakteristiky korunového zápoje jsou nejlepší ukazatele pro určování výšky sněhu?
2. Jaká je korelace mezi charakteristikami porostu získanými z hemisférických snímků a z LiDARových dat pro různé nastavení jejich zpracování?
3. Je fyzikální model zahrnující informace o změnách výšky sněhové pokrývky přesnější než modelování pomocí přímé závislosti výšky sněhu na charakteristikách korunového zápoje?



Obr. 1: Schéma projektu
Fig. 1: Project scheme

Výzkumný plán

Nejprve bylo třeba vytýčit výzkumné plochy. Jedná se o 7 ploch na 3 rozdílných lokalitách v okolí Davosu. Každá výzkumná plocha je vybavena přesně zaměřenou měřicí sítí 276 bodů, v nichž jsou prováděna pozorování. (Podrobněji viz část věnovaná metodám.)

Následuje fáze získávání dat pomocí terénních pozorování. Důležitou částí jsou měření výšky a vodní hodnoty sněhu v průběhu celé zimní sezóny. Kromě klasických manuálních (mechanických) měření byla prováděna také radarová měření technologií GPR (Ground Penetration Radar). (Více viz část věnovaná metodám.) Získání informací o lesním porostu zahrnuje pořízení hemisférických snímků a provedení manuální klasifikace porostu. Pro manuální klasifikaci bylo třeba navrhnout vhodnou metodiku zahrnující mimo jiné i klasifikační škálu pro ohodnocení a zařazení daného bodu v terénu. Pro hemisférické snímkování bylo třeba kromě určení metodiky ještě navrhnout a zkonstruovat nástavbu na stativ pro upevnění kamery. LiDARová data jsou přebrána a nejsou pořizována v rámci projektu.

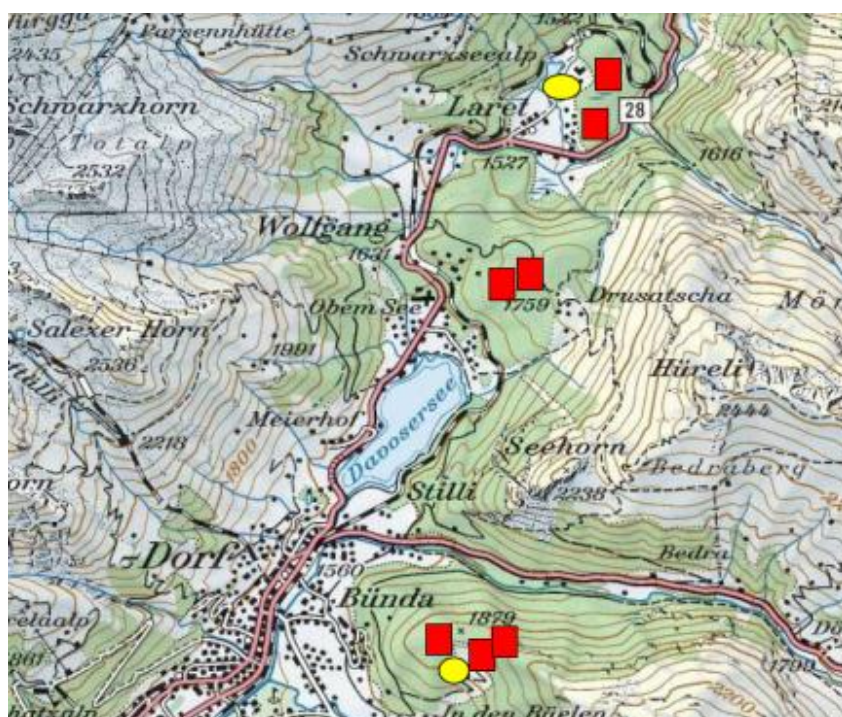
Poslední částí projektu je pak zpracování a vyhodnocení získaných dat. To zahrnuje zpracování a analýzu hemisférických snímků a analýzu dat o sněhové pokrývce. K zpracování hemisférických snímků je používán software Hemisphere vyvinutý na institutu WSL (Švýcarský federální institut pro výzkum lesa, sněhu a krajiny). K následným analýzám dat je využíván MS Excel a Matlab. Charakteristiky korunového zápoje získané z hemisférických snímků jsou porovnávány s manuální klasifikací porostu a s charakteristikami získanými z LiDARových dat. Charakteristiky korunového zápoje budou použity pro vývoj modelu výšky sněhové pokrývky v lesních oblastech.

Metody

Výzkumné plochy

Měření probíhají na 7 výzkumných plochách. Jedná se o čtvercové plochy 50x50 metrů. Na každé ploše je vyznačena měřicí síť, která se skládá z 6 linií v severo-j jižním směru a 6 linií ve východo-západním směru, které rozdělují území na 25 čtverců 10x10 metrů. Linie jsou vytyčeny pomocí provázků natažených mezi tyčemi a jsou na nich každé 2 metry označeny měřené body. Všechny průsečíky linií jsou zaměřeny diferenční GPS s přesností 0.1 metru.

Krom těchto ploch jsou měření prováděna na referenčních otevřených plochách, kde jsou vyznačeny a zaměřeny 50 metrů dlouhé přímé transekty. Tyto transekty jsou dva – jeden odpovídá níže a druhý výše položeným lesním výzkumným plochám.



Obr. 2: Mapa výzkumných ploch (červeně) a referenčních profilů (žlutě)
Fig. 2: Map of measuring sites (red) and referential transects (yellow)

Měření sněhu

Hodnoty výšky sněhu a vodní hodnoty sněhu jsou měřeny v průběhu celé zimní sezóny. V období akumulace sněhu jsou měřicí kampaně vždy před a po každé významné srážkové periodě. V období tání jsou pak kampaně pravidelné s týdenním intervalem. Výška sněhu (HS) je měřena manuálně pomocí lavinové sondy ve všech bodech měřicí sítě. Pokud jsou dobré podmínky a lze sondou jasně rozpoznat rozhraní mezi novým a starým sněhem, je pro každý bod zaznamenávána také výška nového sněhu. Vodní hodnota sněhu (SWE) je měřena pomocí amerického federálního standardního sněhoměru. A to pokaždé ve stejných 12 bodech měřicí sítě pro každou výzkumnou plochu. Odběr vzorku sněhoměrem není prováděn přímo v bodu sítě, ale bod odběru je při každém dalším měření posunut po spirále, která má počátek v daném bodě. Při vybraných kampaních jsou navíc prováděna měření pomocí GPR po celém obvodu každé plochy. Tato měření dávají spojitou informaci o HS a SWE.



Obr. 3: Měření sněhu

Fig. 3: Snow measurement

Hemisférické snímkování lesa

Hemisférické snímky jsou pořizovány za vhodných světelných podmínek pro všech 16 průsečíků linií uvnitř každé měřicí plochy. Je používán DSLR fotoaparát Canon s 8mm objektivem Sigma.

Manuální klasifikace lesa

Manuální klasifikace je prováděna pozorovatelem bez jakýchkoli přístrojů a spočívá v zařazení charakteru daného místa do některé z 6 navržených kategorií, které popisují charakter zastínění lesním porostem. Byl proveden test objektivnosti dané klasifikace srovnáním výsledků více nezávislých pozorovatelů pro stejné území. Poté byla provedena klasifikace všech měřených bodů.

Laserové skenování lesa

Pro oblast v níž se nachází výzkumné lokality jsou k dispozici data z leteckého laserového snímkování v roce 2010 od firmy TopoSys. A to ve dvou rozlišení – s velikostí pixelu 0.2 a 0.5 metru.



Obr. 4: Hemisférická fotografie – vybavení a příklad snímku

Fig. 4: Hemispherical photography – equipment and an example of picture

Analýza hemisférických snímku

Hemisférické snímky budú analyzované v programe Hemisphere vyvíjeném na WSL-SLF, ktorý počítá štandardní charakteristiky – fractional cover (FCO) a leaf area index (LAI). Bude zkoumán vliv různých nastavení a metodik na hodnoty těchto parametrů s ohledem na jejich použití jako sněhových prediktorů. A budou navrženy nové indexy zohledňující dráhu slunce na obloze, které by měli být lepšími sněhovými prediktory. Bude provedeno porovnání ohodnocení charakteru lesa pomocí 3 různých přístupů: hemisférické snímkování, laserové skenování a manuální klasifikace.

Analýza vztahů sněž-les

Budou provedeny statistické analýzy vztahu mezi výškou sněhu a charakteristikami lesa jakožto potenciálními sněhovými prediktory. Výsledky analýz budou použity k vyjádření vztahu pro rozdíly v odtávání a v intercepci mezi lesem a otevřenou krajinou. Je předpokládána závislost těchto rozdílů na přírůstku sněhu a na charakteristikách lesa. (Hellström et al. 2000; Pomeroy et al. 2002; DeWalle, Rango 2008)

Sněhový model

Model sněhové pokrývky v lese bude vyjadřovat závislost výšky sněhu na charakteristikách lesa a výšce sněhu ve volné krajině (1).).

$$(1) HS_f = f_{HS}(\{CN_i, i=1..m\}, \{SC_{o_i}, i=1..n\})$$

Kde HS_f je výška sněhu v daném bodě v lese, $\{CN_i\}$ je množina parametrů popisujících lesní porost v daném bodě a $\{SC_{o_i}\}$ je množina parametrů opisujících sněhovou pokrývku v otevřené krajině.

Množina použitých charakteristik lesa bude určena na základě korelačních analýz. Pro popis sněhové pokrývky budou použity úhrnné a diferenční hodnoty výšky sněhu. Sněhový model bude vytvořen jako fyzikální model využívající bilanční rovnici (2).

$$(1) HS_f = HS_o - I + DO + DD$$

Kde HS_f je výška sněhu v daném bodě v lese, HS_o je výška sněhu v otevřené krajině, I je intercepce, DO je opad sněhu ze stromů a DD je rozdíl v úbytku sněhu mezi lesem a otevřenou krajinou.

Funkce f_{HS} bude rozložena na složky – viz vztah (3).).

$$(1) f_{HS} = HS_o - f_i(\{CN_i\}, HN_o) + f_{DO}(l, CN_M, c) + f_{DD}(\{CN_i\}, HSD_o)$$

Kde CN_M je charakteristika (korunového zápoje) lesa, c je korekční koeficient, HS_o je úbytek výšky sněhu (nebo přírůstek, pokud je číslo záporné) mezi dvěma měřeními.

A obecný lineární model bude použit k určení parametrů pro složkové funkce f_I , f_{DO} , f_{DD} .

Závěr a výsledky

V době tvorby tohoto příspěvku je projekt v závěru fáze pořizování dat a na samém začátku etapy zpracování a analýz získaných informací. Nejsou tedy zatím k dispozici výsledky vztahující se k cílům projektu, ale lze prezentovat výsledky a stav dílčích etap.

Ve fázi příprav měření proběhlo přesné zaměření pozorovací sítě pomocí diferenční GPS. Výsledná přesnost 0.1m se ukázala ještě lepší než očekávaná. Nepřesnost však zvyšuje určitá nestabilita označení pozorovacích bodů v terénu způsobená zejména povětrnostními vlivy. Byly navrženy potřebné metodiky, které jsou stručně popsány v části věnované metodám. Na začátku terénních prací byly metody otestovány a podle výsledku testování mírně upraveny. V prezentované podobě pak byly používány při získávání dat.

Podářilo se také navrhnout a sestavit nastavbu na stativ pro hemisférickou kameru, která je velmi lehká, snadno transportovatelná a dobře ovladatelná. Při práci v terénu se naprosto osvědčila. Ve srovnání s jinými nastavbami oceňujeme zejména její nízkou hmotnost a snadnou ovladatelnost.

Ve fázi pořizování dat proběhlo intenzivní a detailní měření sněhové pokrývky. Proběhlo 16 měřicích kampaní. Celkové množství dat odpovídá 31712 bodovým měřením výšky sněhu a 1440 měřeními vodní hodnoty sněhu. Při některých kampaních byla navíc pořízena kontinuální měření

pomocí GPR. Byla provedena manuální klasifikace porostu pro všechny měřící body a pořízeny hemisférické snímky pro 16 vnitřních bodů každé měřící plochy.

Pro manuální klasifikaci porostu bylo provedeno testování míry subjektivity hodnocení. A to pomocí porovnání hodnocení pro jedno výzkumné území (276 bodů) třemi nezávislými pozorovateli. Výsledkem byla přibližně 80% shoda.

Výsledky analýz dat a modelování budou prezentovány po dokončení projektu. Pravděpodobně tedy i na příštím ročníku tohoto setkání.

Resumé

Great differences in snow distribution between open and forested areas are observed. The snow accumulation and ablation processes are strongly influenced by forest canopy. Depending on the canopy structure, both maximum and minimum snow melt rates can be found under the canopy in relation to surrounding open areas. This presentation introduce on-going research project that study relations between canopy characteristics and time and space snow distribution.

Hemispherical photography is used to acquire information about canopy structure. Hemispherical photography based data are compared with manual classification and with data from laser scanning. Hemispherical photography and SD and SWE measurements are taken at several research areas in eastern Switzerland. Sampling sites are at different altitudes and cover spots with different canopy density (including the reference measurements in the open areas). Fine resolution measuring grid at these sites allows us to determine relations in small scale and investigate new potential snow depth and SWE predictors. More accurately representation of the natural heterogeneity of forest systems can be used for finding the best ways of aggregation (up-scaling) and improving existing snow models for forested areas. 30% of area of Switzerland is covered by forests, which acts as vast snow and water storage. Investigation of this storage is important for energetics and natural hazard protection.

Literatura

DeWALLE, D. R., RANGO, A. (2008): *Principles of snow hydrology*. Cambridge University Press, 410 s.

CHANG, M. (2003): *Forest Hydrology: An Introduction to Water and Forests*. CRC Press, Boca Raton

HELLSTRÖM, R. (2000): *Forest cover algorithms for estimating meteorological forcing in a numerical snow model*. Hydrologic Processes 14: 3239-3256

JONAS, T., ESSERY, R. (2011): *Snow cover and snowmelt in forest regions*; In: Singh VP, Singh P, Haritashya UK,(eds) *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers*, Series Encyclopedia of Earth Sciences Series; Dordrecht Heidelberg, Springer, 1033-1036

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: 101-115

POMEROY, J., GRAY, D., HEDSTROM, N., JANOWICZ, J. (2002): *Prediction of seasonal snow accumulation in cold climate forests*. Hydrological Processes 16: 3543-3558

RUTTER, N. et. al. (2009): *Evaluation of forest snow processes models (Snow MIP2)*. J Geophys Res-Atmos 114: 18

10 ROČNÝ MONITORING SNEHOVÝCH POMEROV NA POĽANE

Tomáš Šatala, Matúš Hríbik

Katedra prírodného prostredia, Lesnícka fakulta, TUZVO, Ul. T. G. Masaryka 24,
960 53 Zvolen

1 VZŤAH LES - SNEH - VODA

Sneh hrá dôležitú rolu v globálnom energetickom a vodnom rozpočte, v dôsledku jeho vysokého albeda a schopnosti uskladnenia vody. Vo vysokých zemepisných šírkach pokrýva veľkú časť krajiny v roku a poznanie vodnej hodnoty snehovej pokrývky a jej priestorovej distribúcie je nevyhnutné pri prognóze odhadov jarných odtokov zo snehu [8].

Vplyv lesných porastov na snehové pomery je nesporne značný a jeho praktický význam z hľadiska hydrických účinkov rastie tak, ako sa v ročnom úhrne atmosférických zrážok zväčšuje podiel zrážok vo forme snehu. Vplyv lesa na sneh závisí predovšetkým od klimatických podmienok danej zimy. No na režim i množstvo odtoku vody pri topení, na utváraní snehových zásob, na hydrologický režim riek a krajiny, má nezanedbateľný vplyv aj drevinové zloženie, vek, hustota a iné charakteristiky porastov. Charakteristiky lesných porastov vytvárajú špecifickú porastovú klímu, ktorá je nezanedbateľným faktorom pri samotnom vzniku ako aj celej existencii snehovej pokrývky.



Obr. 1 Vplyv drevín (buk – smrek) na rozloženie snehovej pokrývky pod porastom

Fig. 1 Influence of trees (oak – spruce) to snow cower under stand

Ako súčasť kryosféry predstavuje snehová pokrývka, z pohľadu celkovej globálnej rozlohy, druhú najrozšírenejšiu formu vody a to v tuhom skupenstve. V priebehu roka dokáže sezónne pokryť plochu s rozlohou až 47 miliónov km², pričom až 98 % z tejto rozlohy pripadá na severnú pologuľu (max. 51,35 mil. km² vo februári 1978). Na porovnanie v auguste je v priemere pokryté územie severnej pologule na ploche 1,9 milióna km² [5]. V horských regiónoch strednej Európy je topenie snehu významným zdrojom vody. Súvislá snehová pokrývka pretrváva v týchto oblastiach dlhšie ako päť mesiacov a vodná hodnota snehovej pokrývky predstavuje okolo polovice ročného úhrnu zrážok [1]. V tejto mase snehových zásob sa zhromaždia obrovské zásoby vody. Tu teda vystupuje do popredia asi najdôležitejšia úloha snehovej pokrývky, a to vytváranie zásob vody v krajine.

2 METODIKA

2.1 Metodika terénneho monitoringu snehovej pokrývky

Monitoring charakteristík snehovej pokrývky vykonávame od zimnej sezóny 2003/04 až do súčasnosti v BR-CHKO Poľana v povodí Hučavy. Metodika monitoringu, ktorá je rozpracovaná pracovníkmi KPP na Technickej univerzite vo Zvolene, zodpovedá odvetvovej technickej norme MŽP 3109:02 a v tejto práci ju ďalej používame. Hydrofyzikálne vlastnosti snehovej pokrývky zisťujeme hmotnostnou metódou pomocou váhového snehomeru. Váhový snehomer má plochu prierezu 50 cm².

Monitorovanie hydrofyzikálnych vlastností snehu bolo vykonávané v mesačných intervaloch v čase kulminácie snehovej pokrývky to je v mesiacoch január, február marec a apríl. Vykonávali sme 5 meraní vodnej hodnoty snehu a hustoty. Zároveň sme vykonali 20 zistení výšok snehu. Charakteristiky snehovej pokrývky sme zisťovali na výškovom tranzekte od 600 do 1280 m n. m. v približne 100 metrových výškových intervaloch individuálne pre voľnú plochu a plochu lesa. Takto vytýčené stanoviská predstavovali 16 výskumných plôch, 320 meraní výšok snehu a 80 meraní vodnej hodnoty snehu v čase jedného merania.

Vychádzali sme z metodiky merania štandardne používanej SHMÚ. Po predchádzajúcich skúsenostiach konštatujeme, že viac odberov by bolo časovo neúnosných a štatisticky málo významných. Menej odberov by sa však už mohlo prejaviť na správnosti výsledkov [4].

2.2 Metodika spracovania dát

Celý proces spracovania výsledkov terénneho monitoringu sa vykonával v počítačovom prostredí. Štatistické výpočty boli vykonávané za pomoci štatistického programu STATISTICA a tabuľkového editora EXCEL. Analýzu zásob vody v snehovej pokrývke a jej časové a priestorové rozloženie na ploche povodia sme vykonali nástrojmi GIS a prostriedkami ponúkanými prostredím ArcGIS 10. Celý proces sa vykonával nad rastrovým digitálnym modelom terénu tretej generácie DMR-3 poskytnutý Topografickým ústavom v Banskej Bystrici (veľkosť bunky rastra 10 x 10 metrov).

Prvým krokom bolo vymedzenie povodia, ktoré sme určili na základe DMR a zvoleného uzatvárajúceho prietokového profilu (limnigrafická stanica Hrochotský mlyn). Pomocou modulu *Spatial Analyst Tools / Hydrology / Flow Direction* sme z DMR vytvorili smerový raster prúdenia, ktorý bol potrebný ako vstup do modulu *Spatial Analyst Tools / Hydrology / Watershed*. Druhým vstupom do modulu bola poloha limnigrafickej stanice reprezentovaná bodom. Poloha limnigrafickej stanice bola určená na podklade základnej mapy SR 1:10000 (WMS SAŽP). S takto zadanými parametrami nám modul vygeneroval samotné povodie. Ďalším postupom sme povodie rozdelili na plochu lesa a voľnú plochu modelom *Spatial Analyst Tools / Extraction / Extract by Mask*, kde maskou bola vektorová vrstva porastov z lesného hospodárskeho plánu z roku 2001 na podklade DMR povodia. Vznikol nám samostatný DMR pre les a podobným postupom aj samostatný DMR voľnej plochy.

Ďalším krokom bolo určenie závislosti medzi nadmorskou výškou (nezávislou premennou) a zmenou VHS a VS (závislé premenné), ktorú sme sa rozhodli vyjadriť lineárnou regresnou závislosťou (priemerné koeficienty determinácie 0,75-0,79). Táto závislosť je štandardne používaná SHMÚ a dobre interpretuje hydrofyzikálne vlastnosti snehovej pokrývky zistené tiež pri našich expedičných meraniach. Na základe vypočítaných regresných závislostí medzi hodnotami nadmorskej výšky a vodnej hodnoty a výšky snehovej pokrývky sme tieto údaje previedli do prostredia programu cez modul mapovej algebry *Spatial Analyst Tools / Map Algebra / Raster Calculator*. Týmto postupom sme vytvorili mapy rozloženia vodnej hodnoty a výšky snehovej pokrývky. Z odvodených máp sme odčítali štatistické ukazovatele pre výšku snehovej pokrývky a vodnú hodnotu snehovej pokrývky (v mm). Hodnoty sme extrahovali osobitne pre voľnú plochu a plochu porastenú lesom. Zásoba vody v snehovej pokrývke povodia (v miliónoch m³) bola zistená

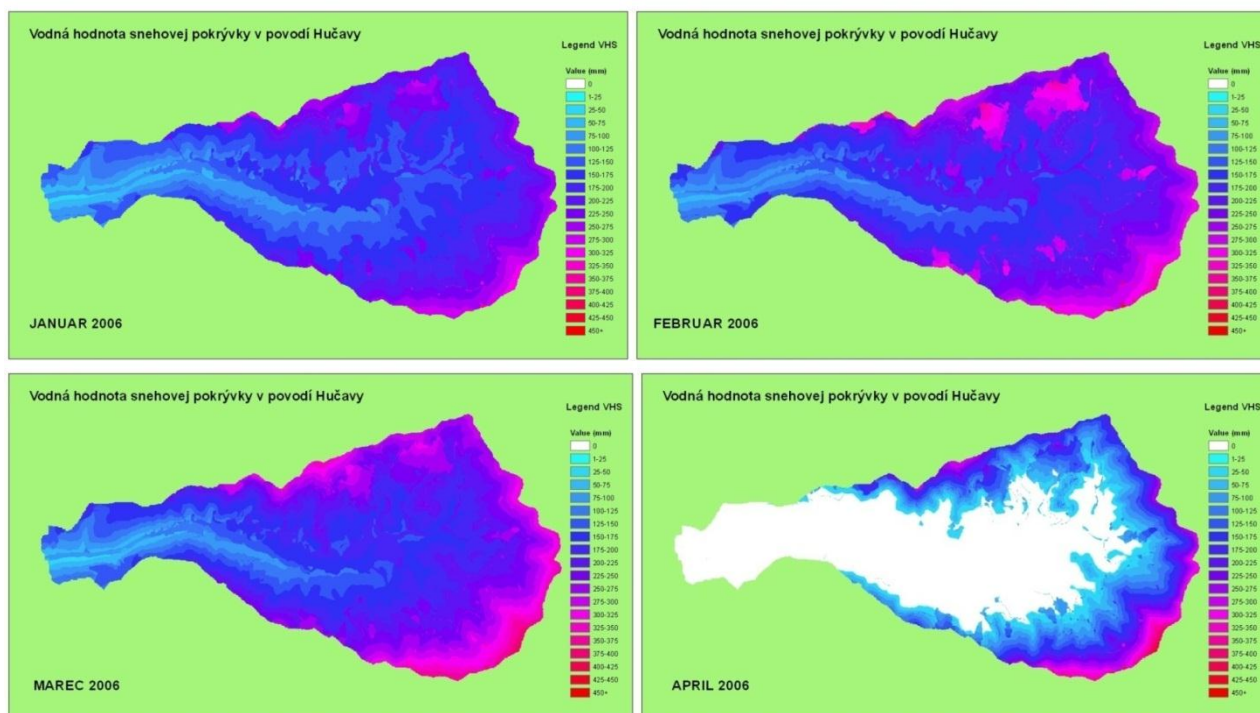
ako suma vodných hodnôt snehovej pokrývky na ploche lesa, voľnej ploche a spolu. Pre uľahčenie interpretácie a kontrolu správnosti boli vytvorené prehľadné mapové výstupy za jednotlivé zimné sezóny, ktoré vznikli rozklasifikovaným obrazom použitím modulu *Spatial Analyst Tools / Reclass / Reclassify*. Podobný postup bol použitý aj v práci : Zimné zásoby snehu v malom horskom povodí Studeného potoka v orografickom celku Západné Tatry [3].

3 VÝSLEDKY

3.1 Vodná hodnota snehovej pokrývky

Konštatujeme, že kulminácia vodnej hodnoty nastáva prevažne v mesiacoch február a marec. Podobne ako pri výške snehu čo dokazuje závislosť medzi týmito charakteristikami. V rokoch 2005 a 2006 bohatých na snehové zrážky, však kulminácia vodnej hodnoty snehu prichádza o jednu periódu merania neskôr, čo súvisí s veľkým objemom snehu, ktorý ďalej prechádza metamorfózou a jeho vodná hodnota ešte stúpa. Zaujímavý je fakt, že maximálna vodná hodnota je v čase jej kulminácie na úrovni hodnoty 495,4 mm (marec 2006,) čo predstavuje až 45 % priemerného ročného úhrnu zrážok na vrchole Poľany viazaných vo forme snehu. V minime je hodnota v čase kulminácie 125,7 mm (január 2011,) čo je skoro 4- krát menší údaj a zrážky viazané v snehovej pokrývke predstavujú 11 % z priemerných ročných zrážok.

V lese sledujeme všeobecne nižšie vodné hodnoty snehu oproti voľným plochám (obr 2. najlepšie viditeľné február 2006). Zo zistených údajov je možné konštatovať, že les pri veľkých množstvách snehu, tieto hodnoty v čase kulminácie znižuje. Jeho vplyv ešte rastie po kulminácii v čase topenia sa snehovej pokrývky, kedy porast pôsobí ako clona a spomaľuje topenie. Potvrdil sa tak vplyv lesa na spomalené uvoľňovanie vody viazanej v snehu do povrchového a podpovrchového odtoku, čo má značný vplyv, z hľadiska potenciálneho vzniku povodní pri topení sa snehu. Toto tvrdenie dokazujú predkladané výsledky a mapové podklady.



Obr. 2 Vodná hodnota snehovej pokrývky v čase a priestore roku 2006

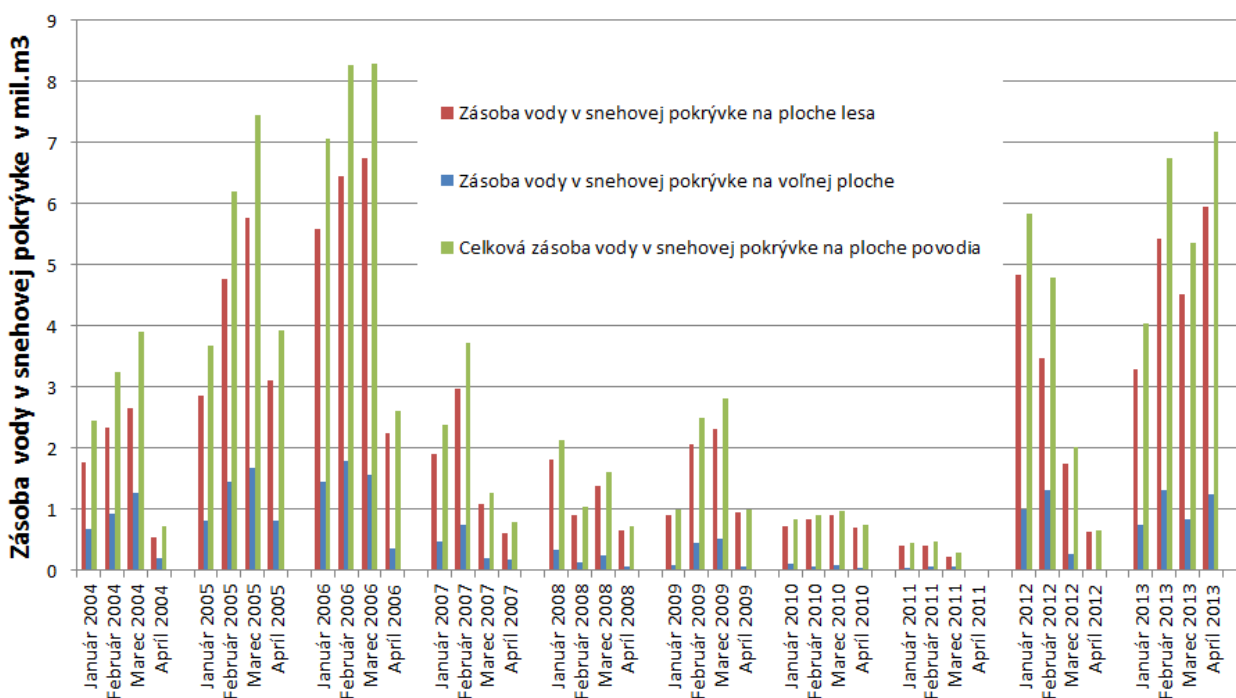
Fig.2 Snow water equivalent in time and space of year 2006

3.2 Zásoby vody v povodí

Analýzou zásob vody v snehovej pokrývke konštatujeme, že zásoby vody v snehovej pokrývke sú v rámci desať-ročných údajov premenlivé až do takej miery, že rozdiel medzi maximálnou vykalkulovanou zásobou vody v snehovej pokrývke a minimálnou zásobou vody v snehovej pokrývke v čase kulminácie je až 17-násobný. Pri maximálnej hodnote zaznamenávame zásoby vody viazanej v snehovej pokrývke v povodí, v čase ich kulminácie (marec) v zime 2005/2006 na úrovni 8,295 mil.m³ vody čo v priemere predstavuje až 202,2 mm vodného stĺpca. Pričom pri minime v čase kulminácie (február 2011) boli zásoby vody v snehu v povodí len 0,474 mil.m³ priemerný vodný stĺpec za povodie predstavuje 11,6 mm. Celkový prehľad zásob po jednotlivých časových periódach je dobre viditeľný na predkladanom grafe (Obr. 3).

Ako fakt uvádzame, apríl roku 2011, kedy sme na našich výskumných plochách zaznamenali absenciu snehu, čo je fenomén za celé monitorované obdobie. Je dobré si všimnúť kolísanie hodnôt grafu, ako aj to, aké boli z pohľadu zásob vody v snehovej pokrývke nízke hodnoty niektorých zím. Všeobecné klimatologické analýzy potvrdzujú úbytok trvania snehovej pokrývky, ako aj pokles podielu atmosférických zrážok dopadajúcich na zemský povrch v podobe tuhého skupenstva (okrem najvyšších horských polôh). Najvýraznejší úbytok tuhých zrážok bol zaznamenaný v nadmorských výškach od 1000 do 1500 m (možno sem zahrnúť aj kotliny stredného Slovenska). V oblastiach pod 1000 m n.m. začínajú výraznejšie dominovať tekuté zrážky, najmä na začiatku a konci zimy.

Tieto informácie sa dotýkajú celkového hydrického režimu krajiny. Keďže sneh je úzko závislý na teplote a zrážkach je výborným indikátorom zmeny klímy. Preto monitorovanie snehových pomerov a čo najpresnejšie stanovenie zásob vody viazanej v snehovej pokrývke má do budúcnosti veľký význam a je dôležité a prínosné v ňom pokračovať.



Obr. 3 Zásoba vody viazanej v snehovej pokrývke v rokoch 2004-2013 (v mil.m³)

Fig.3 Water supply in snow cover 2004-2013 (v mil.m³)

4 ZÁVER

Vzhľadom na veľkú rozmanitosť tak počasia ako aj prírodného prostredia je množstvo, rozloženie a trvanie snehovej pokrývky veľmi premenlivé. V tejto práci prinášame prehľad časového a priestorového rozloženia snehovej pokrývky v malom horskom povodí Hučavy. Taktiež prinášame výsledky výpočtu zásoby vody viazanej v snehovej pokrývke v povodí počas monitorovaného obdobia. Osobitne zohľadňujeme voľnú plochu a plochu lesa a charakterizujeme rozdiely medzi nimi. Zistené poznatky a dosiahnuté výsledky zhŕňame do nasledujúcich bodov:

- zistili sme, že výška aj vodná hodnota snehovej pokrývky s nadmorskou výškou prirodzene rastie (najväčšie hodnoty zaznamenávame v najvyšších polohách povodia Hučavy)
- vo všeobecnosti má les vplyv na charakteristiky snehovej pokrývky, ktoré vykazujú väčšiu rovnomernosť v čase aj priestore ako je tomu na voľných plochách
- maximálne hodnoty skúmaných charakteristík snehovej pokrývky zaznamenávame v mesiacoch február a marec
- stanovujeme maximálnu hodnotu zásob vody viazaných vo forme snehu v povodí na 8,3 mil.m³ vody v marci 2006, pričom na plochu povodia (41 km²) táto hodnota predstavuje v priemerne 202,2 mm vodného stĺpca
- naproti tomu minimálna hodnota zásob vody v snehovej pokrývke v čase jej kulminácie nedosahuje ani 0,5 mil.m³ čo predstavuje až 17-násobný rozdiel v porovnaní s maximom
- maximálna vodná hodnota snehu (495,4 mm) predstavuje až 45 % priemerných zrážok v danej lokalite viazaných vo forme snehu
- vyhotovenými grafickými podkladmi zachytávame priestorový rozsah charakteristík a konštatujeme, že mesiac apríl priestorovým rozsahom snehovej pokrývky je v priemere najmenší.
- fenoménom za monitorované obdobie zostáva fakt, že v apríli roku 2011 zaznamenávame na výskumných plochách úplnú absenciu snehovej pokrývky.

Na vyslovenie jednoznačných záverov nám však nepostačuje ani kvantum dát nameraných za periódu desiatich rokov. Keďže už samotný sneh ako veľmi variabilný prírodný prvok prostredia sa mení tak v čase ako v priestore a teda je náročne hodnotiť aj jeho interakciu s lesom, ktorý tiež podlieha vlastnej variabilite. Tu sa teda do budúca otvára cesta pre ďalší výskum problematiky hydrológie snehu vo vzťahu k lesu.

RESUME

This work is focused on mapping the temporal and spatial distribution of snow cover and its water supply in a small mountain basin Hučavy (the caldera of Poľana Mts.). The aim is to capture the impact of forest on snow accumulation and melt in comparison with the free surface. Data obtained terrain expeditious monitoring of winter seasons in years 2004 - 2013 were processed in ArcGIS software environment.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok je výsledkom realizácie projektu: Centrum excelentnosti pre podporu rozhodovania v lese a krajine, ITMS: 26220120120, podporovaný Výskumným a vývojovým operačným programom financovaným z ERDF (20%).

Tento príspevok je taktiež podporovaný VEGA 1/1130/12 (40%), VEGA 1/0281/11 (10%), VEGA 1/0257/11 (10%) zo Slovenskej grantovej agentúry pre vedu a Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci zmluvy č. APVV 0423-10 (20%).

LITERATÚRA

- [1] HANKOVÁ, R., KLOSE, Z., PAVLÁSEK, J., SKALSKÁ, P., 2008: *Kvantitatívni a kvalitatívni vývoj snehovej pokrývky na experimentálnom povodí Modrava 2*. In: Kyselová, D., Hrušková, K., Slivka, M. (eds.): XIII. medzinárodné stretnutie snehárov, chata Kosodrevina, marec 2008, s. 39-46..
- [2] HRIBIK M., ŠKVARENINA J., 2007: *Vplyv bukového a smrekového lesa v rastovej fáze žrdoviny na vytváranie snehových zásob*. In Rožnovský, J., Litschmann, T., Vyskot, I. (ed): „Klima lesa“, Křtiny 11. – 12.4.2007, CD nosič a zborník abstraktov 10 s
- [3] HRÍBIK, M., MAJLINGOVÁ, A., ŠKVARENINA, J., 2008: *Zimné zásoby snehu v malom horskom povodí Studeného potoka v orografickom celku Západné Tatry*. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): „Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině“, Mikulov 9. – 11.9.2008
- [4] HRÍBIK, M., ŠKVARENINA, J., 2005: *Príspevok k štúdiu mikroklimy snehovej pokrývky v bukovom a smrekovom lesnom poraste BR Poľana*. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): „Bioklimatologie současnosti a budoucnosti“, Křtiny 12. – 14.9.2005, CD nosič a zborník abstraktov 4 s
- [5] JUAN I. LÓPEZ-MORENO , STÄHLI M., 2007: *Statistical analysis of snow cover variability in subalpine watershed: Assessing the role of topography and forest interactions*. In Journal of Hydrology (2008) 348 p. 379-394
- [6] KANTOR, P., 1979: *Vliv druhové skladby lesných porostů na ukládání a tání snehu v horských podmínkách*, Lesnictví, č.3, s. 2
- [7] POBEDINSKIJ A., KREČMER V., 1984: *Funkce lesu v ochrane vod a půdy*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 256 s.
- [8] TABARI, H., MAROFI, D., ABYANEH, H. Z., SHARIFI, M.R., 2009: *Comparison of artificial neural network and combined models in estimating spatial distribution of snow depth and snow water equivalent in Samsami basin of Iran*. In: Neural Computing & Applications, Vol.19, No.4, p.625-635, Springer-Verlag London Limited
- [9] http://www.shmu.sk/sk/?page=1626&id=&clanok_id=32 dostupné dňa : september 2012

VYUŽITÍ SNĚHOMĚRNÉHO POLŠTÁŘE PRO STANOVENÍ VODNÍ BILANCE A ZPŘESNĚNÍ ODTOKU V POVODÍ

Vajskebr Václav

ČHMÚ, Oddělení hydrologického výzkumu; ul. Želivského 5, 46605 Jablonec nad Nisou

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).

Byly posuzovány a vzájemně porovnávány dvě lokality. První z nich je v Luisině 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 vody 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 [dm^3]; teplota vzduchu ve 2 metrech [$^{\circ}\text{C}$]; teplota ve svodových žlabech, měřicí šachtě, pod i nad polštářem [$^{\circ}\text{C}$]; teplota sněhu ve hloubce 20 a 50 cm od zemského povrchu [$^{\circ}\text{C}$]; rychlost větru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]; směr větru [$^{\circ}$]. Měření vodní hodnoty sněhové pokrývky funguje na základě měření změny tlaku kapaliny v uzavřeném gumovém polštáři o ploše 10m^2 . Výška sněhové pokrývky se měří ultrazvukovým čidlem. Odtok je sveden pomocí žlabů po obvodu polštáře do měřicí šachty, kde je umístěn mechanický překlopný člunek o objemu 0,58 litru při jednom překlopení (vylití).

Druhý sledovaný přístroj sleduje pouze odtok ze sněhové pokrývky a je doplněn týdenním pravidelným měřením jejích parametrů (výška, vodní hodnota, hustota) pracovníky Oddělení hydrologického výzkumu ČHMÚ v Jablonci nad Nisou. Měřič odtoku ze sněhové pokrývky ("MOSP") se nachází u zaniklé osady Kristiánov v Jizerských horách, cca 4 km sv. od obce Bedřichov v okrese Jablonec nad Nisou a leží na ploše experimentálního povodí "Kristiánov" o rozloze $6,4\text{ km}^2$.

V první etapě práce byly porovnány datové řady SCE a SVH ze zim 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013. Vybrány byly jarní období zim, kdy docházelo k oblevám a odtávání, pokud možno beze srážek, aby byl dobře patrný a vyhodnotitelný úbytek objemu vody v pokrývce i její konečný stav (hodnota = 0 po roztátí veškeré sněhové pokrývky). Všechny řady vykazují výbornou shodu, kdy korelace SCE a SVH dosahují 0,95-0,99. Nadále byly tedy využívány hlavně řady SVH, které se dají snáze zahrnout do rovnice vodní bilance, protože jsou vyjádřitelné jako výška [mm vodního sloupce] nebo jako objem [dm^3]. Odtok z polštáře dobře koreluje s úbytkem SVH a s teplotou ve 2 metrech ($r = 0,78$, resp. $r = 0,67$). Z počátku tání odtok reaguje se zpožděním, ale v pokročilejší fázi již bezprostředně po oteplení nastává odtok. Prvotní zpoždění může být způsobeno dostatečnou sorpční kapacitou pokrývky a jejími izolačními vlastnostmi.

V druhé etapě byly navázány výstupy z polštáře (odtok) na data z blízkých okolních limnigrafických stanic ze sítě ČHMÚ: Orlické záhoří na Divoké Orlici, Slatina nad Zdobnicí, Skuhrov nad Bělou a Jedlová v Orlických horách též na Bělé (s.p. Povodí Labe). Z uvedených stanic lze dobře odvodit iniciaci odtoku ze sněhové pokrývky, resp. postupové doby mezi horskými partiemi a podhorskými stanicemi. Dle intenzity odtoku z polštáře lze i dobře usuzovat na velikost odtoku na sledovaných stanicích (korelační koeficient $r = 0,30-0,59$). Řady průtoků však lépe korelují mezi sebou ($r = 0,64-0,92$), avšak i při použití nejvýše položené limnigrafické stanice (Orlické Záhoří) je zde čtyřhodinový posun oproti kulminacím odtoku z polštáře.

V třetí etapě byla data využita z pohledu zpřesnění vodní bilance. Díky měření většiny parametrů lze sestavit a vypočítat rovnici bilance:

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

$$[srážky \pm zásoba = \text{evapotranspirace} + \text{odtok}]$$

byla pro situaci na polštáři pozměněna na:

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

$$[srážky + SVH \text{ na počátku období} = \text{výpar} + \text{suma odtoku z polštáře do roztátí sněhu}]$$

Předpokladem bylo, že nedochází k žádné infiltraci vody do podloží a že teoretické ztráty vody ve sněhovém profilu v horizontálním směru odpovídají stejným přírůstkům. Výsledná hodnota výparu se pohybuje v intencích uváděných v literatuře ($E = 15 - 50$ 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 další časová období. Zároveň nelze opomenout vliv teploty, parametrů vlhkosti, rychlosti větru a atmosférického tlaku na velikost výparu, která se může i řádově lišit. V roce 2013 má být lokalita Luisina údolí doplněna váhovým srážkoměrem o ploše 500 cm^2 s celoročním provozem, čehož lze využít k opětovnému zpřesnění bilanční rovnice. Doposud byla přebírána data z Deštného.

Jednou ročně v období maxima sněhové pokrývky je v Orlických horách provedeno expediční měření, které mapuje její rozsah, mocnost a vodní hodnotu. Data slouží jako podklad pro předpovědní pracoviště ČHMÚ v Hradci Králové. V Luisině údolí se provádějí kontrolní měření na polštáři a jeho okolí (mýtina, les). 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.

Ve čtvrté etapě byly analyzovány řady s lokality Kristiánov, kde je instalován prototyp "Měřiče odtoku ze sněhové pokrývky", zkráceně "MOSP", který je ve správě Oddělení hydrologického výzkumu ČHMÚ v Jablonci nad Nisou. Pomocí mechanického překlápěcího člunu o objemu 1 litr se do dataloggeru zaznamenává velikost a intenzita odtoku. Pro zpracování vodní bilance však není dostatek dalších meteorologických údajů, resp. jsou k dispozici ze vzdálenějších stanic. Chování sněhové pokrývky v závislosti na měnících se meteorologických podmínkách však vykazuje obdobné vlastnosti jako na lokalitě Luisino údolí a je tudíž porovnatelné. Zařízení je též doplněno automatickým srážkoměrem o ploše 200 cm^2 , který během letního hydrologického půlroku umožňuje porovnání úhrnu srážek ze srážkoměru a z plochy 10 m^2 . Porovnání dat odtoku a ručního měření sněhu vykazuje dobrou shodu, nicméně potvrzuje velkou výhodu kontinuálního záznamu veličin, které postihují i okamžité změny probíhající ve sněhové pokrývce, což lze dobře využít v hydrologické prognóze, jako v případě sněhoměrného polštáře na Luisině údolí.

Literatura:

- [1] 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.
- [2] WATCH Water and Global Change:
<http://www.waterandclimatechange.eu/evaporation/average-monthly-1985-1999>