

XXI. Stretnutie sněhářov

**Sborník
příspěvků
ze semináře**

**Žitková
1.–3. 3. 2016**

Martina Kimlová, Pavla Řičicová, Šimon Bercha

Sborník příspěvků ze semináře

XXI. Stretnutie sněhářov

Žitková 1.–3. 3. 2016

+ vybrané nevydané příspěvky z předchozích setkání

Editoři:

Martina Kimlová, Pavla Řičicová, Šimon Bercha

PROGRAM

Úterý 1. 3. 16:00 – Organizační záležitosti, zahájení setkání.

Blok příspěvků 16:15–17:45

Michal DANKO (Ústav hydrologie SAV Liptovský Mikuláš)

– *Experimentálne meranie snehovej pokrývky v povodí Jaloveckého potoka*

Ondřej Matějka (PřF UK Praha)

– *Energeticky založený model akumulace a tání sněhu v jehličnatém lese a na otevřené ploše*

Michal Jeníček (PřF UK Praha)

– *Vliv sněhových podmínek na výskyt letních nízkých průtoků v horských povodích Švýcarska*

Jan Jiráček (ČHMÚ Jablonec nad Nisou)

– *Automatické měření výšky sněhu*

Rudolf Hancvencl

– *srovnávací měření*

18:00 Večeře

Blok příspěvků 19:30–21:00

Roman Juras (ČZÚ Praha)

– *Vytvoření automatického systému předpovědi lavinových rizik*

Jirka Pavlásek

– *Charakteristiky odtoku ze sněhové pokrývky během deště*

– *Distribuce sněhu na bílé louce v Krkonoších*

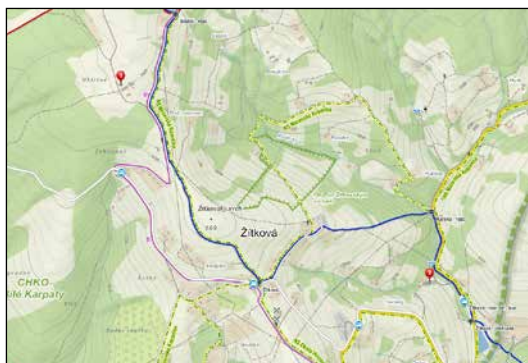
Jirka Roubínek

– *prezentace výsledků projektu o sněhu v lesích*

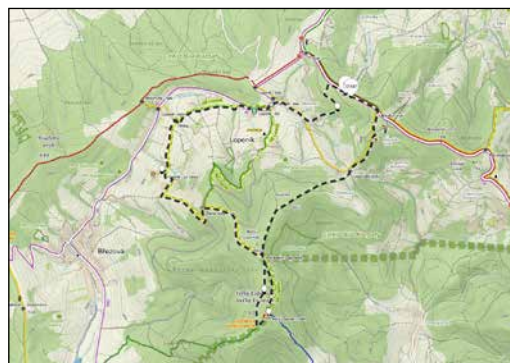
21:00 Diskuze – Program na další den.

Středa 2. 3. – Cca v 9 hodin (dle domluvy) odchod na:

1) Sněhoměr Žitková – <https://mapy.cz/s/t0uE>



2) Měření na Lopeníku – <https://mapy.cz/s/t0tf>



Blok příspěvků 16:00–17:45

Jaro Škvarenina (Technická univerzita Zvolen)

– *Vplyv snehovej pokrývky na jarné fenofázy liesky (Corylus avellana)*

Mirka Hanzelová

– *Mikroorganizmy v snehovej pokrývke*

Prezentace SHMÚ

Danka Kyselová, Katka Hrušková

– *Zmena hydrologického režimu v povodí Bystrianky*

Šimon Bercha (ČHMÚ)

– *Aktuální informace o vyhodnocování zásob vody ve sněhové pokrývce v ČHMÚ*

18:00 Večeře

Večerní blok: Diskuze

Čtvrtek 3. 3. – Individuální program v okolí Žitkové.

ODJEZD



OBSAH

Program.....	3
Vliv sezónní sněhové pokrývky na letní nízké průtoky: případová studie ze švýcarských povodí <i>Michal Jeníček, Jan Seibert, Massimiliano Zappa, Maria Staudinger, Tobias Jonas</i>	7
Rozloženie a simulácia snehovej pokrývkyv horskom mikropovodí <i>Michal Danko, Pavel Krajčí</i>	13
Energeticky založený model akumulace a tání sněhu v jehličnatém lese a na otevřené ploše <i>Ondřej Matějka, Michal Jeníček</i>	20
Mikrobiota sněhových polí <i>Miriam Hanzelová</i>	25
Hodnocení vlivu sněhových zásob na velikost průtoků <i>Pavla Řiřicová</i>	31
Hlavné výsledky dosiahnuté v oblasti hydrológie snehu na ústave hydrológie SAV od snehárskeho stretnutia v roku 2013 <i>Ladislav Holko</i>	37
Aplikace clusterové analýzy a vícenásobné lineární regrese pro výpočet vlivu vegetace a topografie na akumulaci a tání sněhu <i>Hana Pevná, Michal Jeníček, Ondřej Matějka</i>	40
Porovnanie charakteristík snehu v povodí jaloveckého potoka pomocou máp priestorového rozloženia <i>Michal Danko, Pavel Krajčí, Jozef Hlavčo</i>	45
Vývoj nového zařízení na kontinuální měření vodní hodnoty sněhu <i>Ondřej Špulák, Jiří Souček, Vladimír Černohous, Zdeněk Bagal, Alena Kulasová, Libor Daneš</i>	48
Možnosti využití měřené a vypočtené vodní hodnoty sněhu pro stanovení zásob vody v povodí <i>Pavla Řiřicová, Martina Kimlová</i>	51
Vyhodnocování zásob vody ve sněhové pokrývce v ČHMÚ <i>Šimon Bercha</i>	55
Automatické měření výšky sněhové pokrývky – rozšíření sítě sněhoměrných stanic ČHMÚ <i>Jan Jirák, Šimon Bercha</i>	57
Vyhodnocení lavinové aktivity v české části Krkonoš 1961–2013 <i>Roman Juras, Jirka Pavlásek, Jan Blahůt, Zbyněk Klose</i>	59

VLIV SEZÓNÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY NA LETNÍ NÍZKÉ PRŮTOKY: PŘÍPADOVÁ STUDIE ZE ŠVÝCARSKÝCH POVODÍ

Michal Jenicek¹, Jan Seibert^{2,3}, Massimiliano Zappa⁴, Maria Staudinger², Tobias Jonas⁵

¹Univerzita Karlova v Praze, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Česká republika, michal.jenicek@natur.cuni.cz

²University of Zurich, Department of Geography, Switzerland

³Uppsala University, Department of Earth Sciences, Sweden

⁴Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, Switzerland

⁵WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Switzerland

ÚVOD

Postupná změna sněhových srážek na kapalně srážky během chladného půlroku je považována za jeden z nejdůležitějších projevů současných a budoucích změn klimatu v mírných podnebních (Birsan et al. 2005; Laghari et al. 2012; Berghuijs et al. 2014). Tato změna se projevuje poklesem sněhových zásob v zimním období a to převážně v horských oblastech (Knowles et al. 2006; Pellicciotti et al. 2010; Speich et al. 2015). Tím je také ovlivněna dynamika doplňování zásob podpovrchové vody. Protože podpovrchová voda představuje hlavní zdroj vodnosti řek v období hydrologického sucha, můžou výše uvedené změny vést k poklesu minimálních letních průtoků (Jenicek et al. 2016; Godsey et al. 2014; Beaulieu et al. 2012; Van Loon et al. 2015).

Sezónní sněhová pokrývka ovlivňuje letní odtok především v oblastech s vysokým rozdílem srážek v zimním a letním období, jako je například jihozápadní část USA. Na základě přístrojových pozorování ve vybraných povodích v pohoří Sierra Nevada v Kalifornii se prokázalo, že každý pokles maximální vodní hodnoty sněhu (SWE) o 10 % se projevil 9–22 % poklesem minimálních průtoků v letních měsících a absolutní minimum se vyskytlo o 3–7 dní dříve (Godsey et al. 2014). Na druhou stranu situace je jiná v oblastech jako je střední Evropa, kde jsou srážky rozloženy rovnoměrně v průběhu celého roku a vliv sněhu tedy není na první pohled tak významný (Jenicek et al. 2016).

Uvedené studie ukazují, že téma vztahu sněhových zásob a odtoku v letním období je obecně diskutované. Ačkoliv tedy nejde o nové téma, stále neexistuje dostatečný počet studií, které by uvedené vliv kvantifikovaly a které by ukázaly, jak citlivě reagují různá povodí na změnu sněhových zásob. Proto byly cíle našeho výzkumu 1) kvantifikovat po jakou dobu voda vzniklá táním sezónní sněhové pokrývky ovlivňuje nízké průtoky v letním období a 2) charakterizovat citlivost studovaných povodí v různých nadmořských výškách na změnu SWE (přesněji její meziroční variabilitu).

V této studii jsme se zaměřili také na časově proměnný efekt sněhu a kapalných srážek v jarním a letním období, které letní nízké průtoky zásadně ovlivňují. Tento měnící se efekt je důležitý především v humidních klimatech (jako střední Evropa), ve kterých můžou kapalně srážky částečně nebo úplně překrýt efekt jarních sněhových zásob.

Výsledky uvedené v tomto článku byly publikovány v Jenicek et al. 2016. Z uvedené publikace byly také převzaty obrázky, interpretace výsledků a hlavní závěry. V případě použití zde uvedených výsledků, prosím, citujte původní článek (Jenicek et al. 2016).

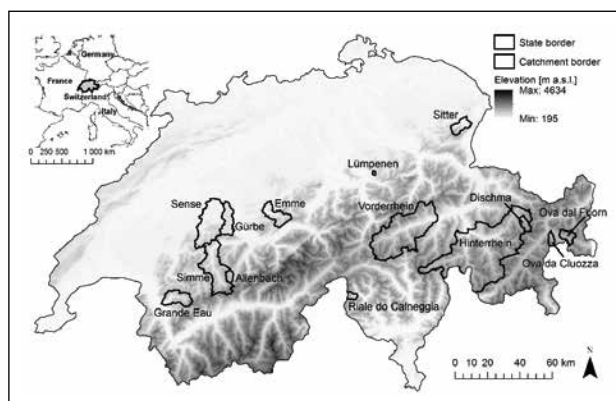
MATERIÁL A METODY

Studovaná povodí

Pro analýzu bylo vybráno 14 povodí nacházejících se ve Švýcarsku (obr. 1). Plocha vybraných povodí se pohybuje od 1 do 1 577 km². Vybraná povodí jsou pouze v malé míře ovlivněná činností člověka a také se jedná o povodí, která nejsou pokrytá ledovcem (s výjimkou Vorderhein a Simme, kde plocha ledovců tvoří 2–4 % z celkové plochy povodí).

Data

Pro analýzu byla použita data denního úhrnu srážek a denní teploty vzduchu ve formě gridových hod-



Obr. 1 Poloha vybraných povodí v rámci Švýcarska (Převzato z: Jenicek et al. 2016).

not reprezentující velikost 2×2 km. Tato data byla získána ze Švýcarské meteorologické služby (Swiss Federal Office of Meteorology and Climatology, MeteoSwiss; Frei and Schär, 1998; Frei, 2014). Pro analýzu byly využity plošné průměry spočtené pro každé povodí. Denní průměry SWE byly rovněž dostupné v gridové formě o velikosti pole 1×1 km. Tyto hodnoty byly vypočteny na základě pozorovaných hodnot výšky sněhu a modelu hustoty sněhu (Jonas et al. 2009) pomocí interpolačního mechanismu a post-processingu prvně publikované v práci Jörg-Hess et al. (2014).

Průměrné denní průtoky ze závěrových profilů povodí byly získány od Švýcarské služby pro životní prostředí (Swiss Federal Office for the Environment, BAFU). Všechna data pokrývala období od roku 1971 do roku 2012, tedy 42 let.

Statistická analýza a hodnocení

Pro analýzu bylo vybráno 9 prediktorů a 3 vysvětlované proměnné, které mají vztah k zimním a jarním meteorologickým a sněhovým podmínkám daných povodí (tab. 1). Výhoda použitých prediktorů spočívá v tom, že pro jejich výpočet jsou potřebné pouze data SWE, úhrnu srážek, teploty vzduchu a průtoku. Tato data jsou často dostupná, a proto je použitý postup jednoduše aplikovatelný na jiných povodích a v jiných klimatech.

Vybrané prediktory byly použity k vysvětlení tří parametrů popisující období nízkých odtoků: i) 7denní minimální průtok spočtený pro měsíce květen až září, ii) den výskytu tohoto minimálního průtoku a iii) počet dní s průtokem nižším než zvolená prahová hodnota (zde 25% percentil průtoku od května do října).

K hodnocení vztahů mezi prediktory a vysvětlovanými proměnnými byl použit Spearmanův koeficient pořadové korelace a lineární regresní model. Použití predikčních intervalů v rámci regresních modelů umožnilo odhad pravděpodobnosti budoucích pozorování. Data byla zpracována v programu R (R Core Team 2015).

Tab. 1 Vybrané prediktory a vysvětlované proměnné.

Prediktory	Vysvětlované proměnné
Maximální SWE (SWE_{max}) před začátkem tání	7denní minimální průtok
SWE_{max} před začátkem tání vypočtená jako průměr z výše položených 50% plochy povodí	Den výskytu 7denního minimálního průtoku
Den roztátí sněhu v povodí	Počet dní s průtokem nižším než zvolená prahová hodnota (25% percentil průtoku od května do října)
Suma zimních srážek od listopadu do dubna	
Podíl pevných srážek na celkových zimních srážkách (S/P)	
Suma přírůstků SWE od listopadu do dubna	
Suma kladných teplot vzduchu od listopadu do dubna	
Den v roce (day of year, DOY) výskytu SWE_{max}	
Srážkový index – Current precipitation index C_{pi} (Smakhtin and Masse, 2000); $C_{pi(t)} = C_{pi(t-1)} K + P_t$, kde $C_{pi(t)}$ [mm] je C_{pi} v den t , P [mm] je úhrn srážek v den t a K [-] je poklesová konstanta (použito 0,93)	

K hodnocení statistických modelů byla použita neparametrická metoda výpočtu směrnice (sklonu) regresní přímky pomocí metody Theil-Sen (Birsan et al. 2005; Pellicciotti et al. 2010). Směrnice přímky vypočtená pomocí uvedené metody je mediánem směrnic vypočtených pro každý pár pozorování. Čím vyšší hodnota směrnice přímky, tím je závislá veličina (např. minimální průtok v daném měsíci) více citlivá na změnu nezávislé veličiny (např. SWE_{max}). Metoda Theil-Sen je vhodná pro data, která nemají normální rozdělení a obsahují odlehlé hodnoty.

Podobně jako směrnice přímky, také index elasticity (rovnice 1) popisuje citlivost závislé veličiny na změně nezávislé veličiny. Elasticita popisuje, jak velkou procentuální změnu závislé veličiny vyvolá určitá procentuální změna nezávislé veličiny. Tento vztah nemusí být nutně lineární, citlivost povodí může být různá pro nízké a vysoké hodnoty nezávislé veličiny (zde SWE_{max}).

$$E = dQ_{rel}/dS_{rel}, \quad (1)$$

kde dQ_{rel} vyjadřuje procentuální změnu Q_{min} a dS_{rel} vyjadřuje procentuální změnu SWE_{max} .

V této studii byl kladen důraz na analýzu měnícího se vlivu sněhových zásob a následných kapalných srážek v průběhu jarního a letního období. Tento relativní efekt byl spočítán pro každé povodí a každý měsíc (červen–září) na základě rovnic 2 a 3. Rovnice 2 počítá relativní důležitost (skóre) sněhových zásob v povodí na velikost letních průtoků, rovnice 3 stejným způsobem popisuje relativní důležitost dešťových srážek (popsaných pomocí indexu C_{pi} , viz tab. 1) na velikost letních minimálních průtoků.

$$S_{score} = \sum_{i=1}^n (S_i \times Q_{min_i}/100)/n \quad (2)$$

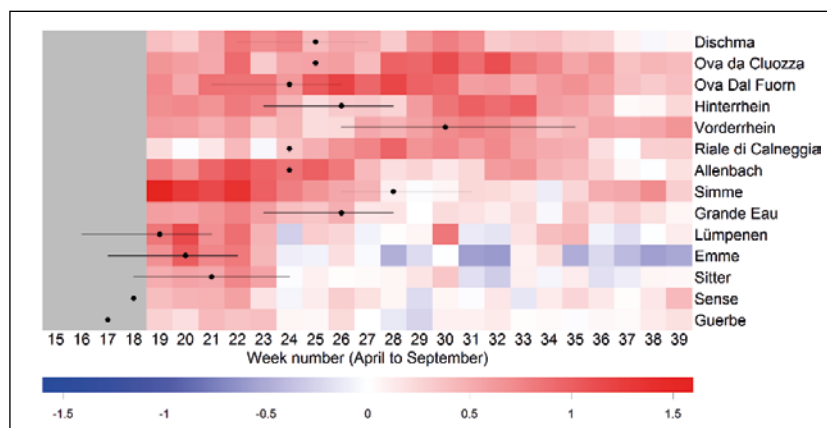
$$C_{Plscore} = \sum_{i=1}^n (C_{Pl(i)} \times Q_{min_i}/100)/n \quad (3)$$

kde S_i je SWE_{max} v roce i , Q_{min_i} je 7denní Q_{min} v daném měsíci v roce i a $C_{Pl(i)}$ je srážkový index v den výskytu Q_{min} . Čím vyšší je vypočtené skóre, tím silnější je příslušný efekt na velikost minimálních průtoků.

Všechny analýzy byly provedeny pro každé povodí zvlášť a pro měsíce květen až září. Tím bylo možné detailně popsat v čase se měnící efekt vlivu sněhových zásob na nízké průtoky.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Hodnoty směrnice regresní přímky vyjadřující míru vztahu mezi SWE_{max} a 7denním minimálním průtokem byly spočteny pro každé povodí a zvlášť pro každý týden od počátku května do konce září. To umožnilo vyjádření „paměťového efektu“ jednotlivých povodí. Tento efekt vyjadřuje, jestli v daném týdnu existuje statisticky významná závislost mezi SWE_{max} v daném roce a 7denní hodnotou minimálního průtoky v daném týdnu. Jinými slovy ukazuje, jestli v daném týdnu sněh ovlivňuje minimální průtoky (ale míru tohoto vlivu nekvantifikuje). Tento přístup ukázal, že v případech nejvýše položených povodí (nad 2 000 m n. m.) mají sněhové zásoby významný efekt po celé léto a v některých případech i v září (obr. 2). Naproti tomu se vliv logicky významně zkracuje u povodí v nižších nadmořských výškách (u povodí s průměrnou nadmořskou výškou nižší než 1 500 m n. m. je staticky významný pouze v květnu a červnu). Delší efekt je dán jednak pozdějším roztátím sněhové pokrývky ve vyšších nadmořských výškách (červen) a také obecně vyššími zásobami sněhu před začátkem tání (cca 500 mm) ve srovnání s nižšími nadmořskými výškami. Negativní korelace (modrá barva v obr. 2) jsou staticky nevýznamné a jsou zřejmě způsobeny výrazně vyšším vlivem jarních a letních dešťových srážek na nízké průtoky, které úplně překryly efekt sněhových zásob.



Obr. 2 Závislost 7denního minimálního průtoky na SWE_{max} pro všechna studovaná povodí (seřazeny od nejvyšší po nejnižší nadmořskou výšku) pro jednotlivé týdny od začátku května (týden 19) do konce září (týden 39). Barvy zobrazují hodnotu směrnice regresní přímky vypočtené dle metody Thei-Sen. Červená barva ukazuje na pozitivní závislost, modrá na negativní závislost. Černé body zobrazují týden, kdy v povodí průměrně roztaje sněh, chybové úsečky zobrazují 10% a 90% percentil této hodnoty (Převzato z: Jenicek et al. 2016).

Reakci povodí na změnu SWE_{max} lze popsat také pomocí indexu elasticity. Ta je většinou nižší než 1, což znamená, že daná procentuální změna maximální SWE vyvolá nižší procentuální změnu minimálních průtoků. Z analýzy plyne, že citlivost povodí na změnu SWE je vyšší u výše položených povodí nad 2 000 m n. m., než u níže položených povodí. U výše položených povodí dosahuje elasticita spočtená z predikčního intervalu (50% pravděpodobnosti výskytu hodnoty) pro červenec 0,5–0,9, což znamená, že při poklesu SWE_{max} v povodí o 10 %, nastal pokles 7denního minimálního průtoky o 5–9 % (s 50% pravděpodobností). U níže položených povodí lze očekávat nižší pokles (< 5 %). Elasticita je obecně nižší pro srpen a září než pro červen a červenec (podrobné výsledky jsou uvedeny Jenicek et al. 2016).

Vyšší citlivost na změny nízkých průtoků díky změnám SWE se projevila u výše položených povodí než u níže položených (pokud se zaměřujeme na relativní, nikoliv absolutní změny SWE). To je logické, protože stejná relativní změna SWE představuje ve výše položených povodí vyšší absolutní hodnotu SWE . Díky tomu jsou nízké průtoky ve výše položených povodí v současné době méně citlivé na meziroční variabilitu letních srážek a tedy na hydrologické sucho, což ukazuje např. Staudinger et al. (2015).

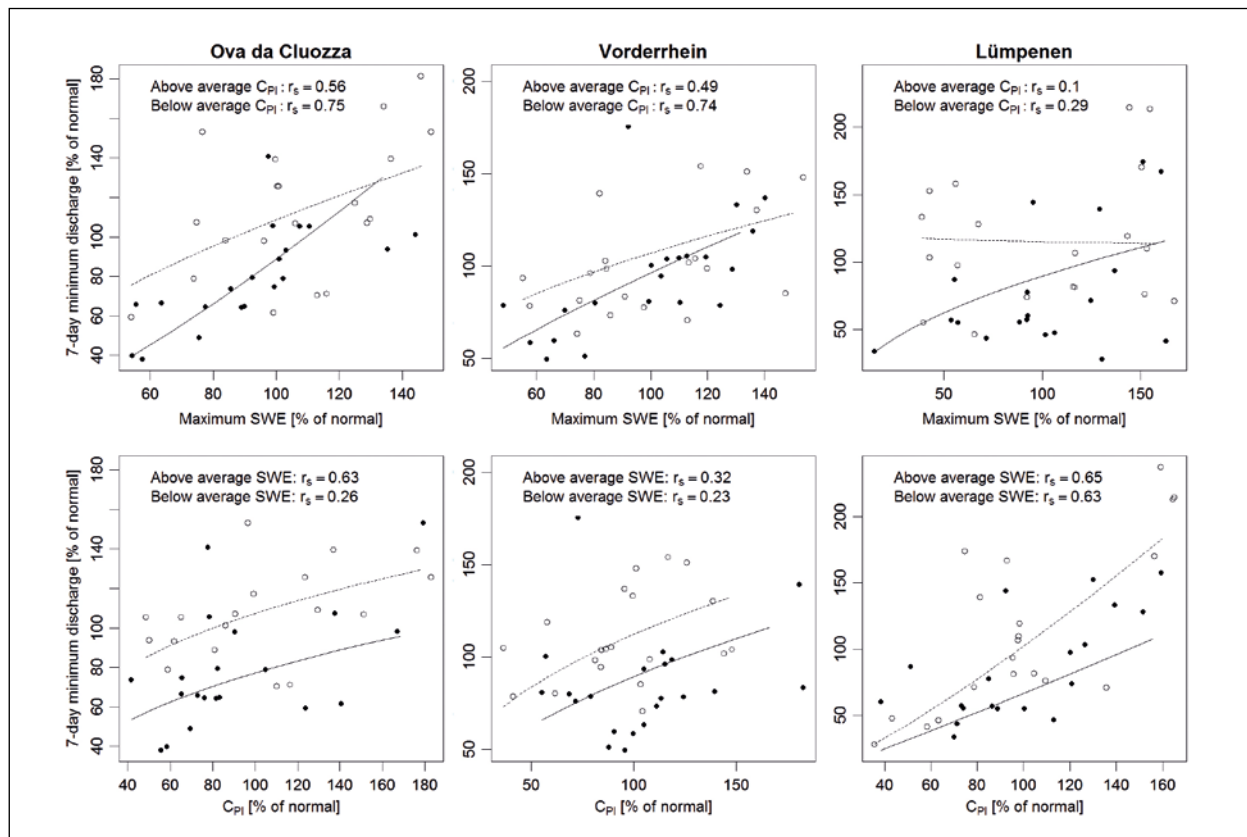
Vztah mezi sněhovými zásobami a minimálními letními průtoky není většinou jasně zřetelný a bývá zeslaben dalšími faktory, především kapalnými srážkami spadlými po úplném roztátí sněhové pokrývky. Kapalně srážky jsou většinou pro výskyt letních minim rozhodující a jejich efekt se zvyšuje v průběhu roku. Pro demonstraci měnícího se vlivu sněhu a kapalných srážek na letní nízké průtoky byly vybrány tři povodí s dominantním sněhovým nebo sněhovo-dešťovým režimem odtoku – Ova da Cluoza, Vorderrhein (obě kanton Graubünden) a Lümpenenbach (kanton Schwyz).

V letech s podprůměrnými kapalnými srážkami během jara a léta (vyjádřené pomocí indexu C_{pr} , viz tab. 1) byl sníh obecně lepší prediktor pro vysvětlení meziroční variability letních nízkých průtoků než v letech s nadprůměrnými srážkami během teplého půlroku. To ukazují vyšší hodnoty směrnice regresní přímky a také vyšší hodnoty Spearmanova koeficientu pořadové korelace (obr. 3, horní řada grafů). Minimální průtok poklesl méně v letech s nízkým SWE_{max} a vysokým C_{pr} (horní grafy na obr. 3, čárkovaná čára). Oproti tomu sněhové zásoby hrály důležitější roli v letech s nízkým C_{pr} , ve kterých je minimální průtok více citlivý na změny letních srážek (horní grafy na obr. 3, plná čára).

Minimální průtoky významně poklesly v letech s podprůměrnými zásobami sněhu a průměrnými srážkami ve srovnání s roky s nadprůměrnými zásobami sněhu při stejných letních srážkách (obr. 3, spodní řada grafů). V případě povodí Ova da Cluozza pro roky s nadprůměrnými sněhovými zásobami lze říci, že v případě průměrných srážek bude červencový minimální průtok 107% své normální hodnoty (s 50% pravděpodobností). Oproti tomu, v případě podprůměrných sněhových zásob průtok v červenci může poklesnout na 75% své průměrné hodnoty. Provedené analýzy ukázaly na podobné výsledky jako pro výše položená povodí, tak níže položená povodí, ačkoliv se zdá, že u níže položených povodí není výše popsaný efekt tak silný.

Kombinovaný vliv sněhových zásob a kapalných srážek byl také popsán pomocí tzv. skórovacích grafů (obr. 4). V těchto grafech je každé povodí vyjádřeno svou pozicí dle průměrného vlivu sněhových zásob a dešťových srážek v letním půlroce na 7denní minimální průtok spočtený zvlášť pro měsíce červen a září. Body ležící pod přímkou $y = x$ vyjadřují povodí se silnějším vlivem sněhových zásob než kapalných srážek. Příkladem jsou povodí ležící výše než 1 600 m n. m. během června a července. Pro povodí výše než 2 000 m n. m. platí uvedené i v srpnu. Naopak body ležící nad přímkou $y = x$ ukazují na povodí se silnějším efektem jarních a letních srážek než sněhových zásob (níže položená povodí v červnu, červenci a v srpnu a všechna povodí v září). Z grafů je patrný jasný posun všech povodí směrem do oblasti nad přímkou $y = x$ směrem od června do září ukazující na postupně se zvyšující se vliv srážek v teplém půlroce na letní minimální průtoky.

Kromě sněhových zásob a kapalných srážek samozřejmě existuje celá řada dalších faktorů, které ovlivňují meziroční variabilitu nízkých průtoků. Jedním z nich evapotranspirace, která se také mění v jednotlivých letech. Dlouhodobá pozorování ve Švýcarsku za posledních 100 let ale ukazují, že meziroční variabilita ročního úhrnu



Obr. 3 Horní řada grafů: Závislost 7denního Q_{min} na SWE_{max} pro roky s podprůměrným a nadprůměrným C_{pr} . Dolní řada grafů: Závislost 7denního Q_{min} na C_{pr} pro roky s podprůměrnými a nadprůměrným SWE_{max} . Linie reprezentují minimální průtok s 50% pravděpodobností, r_s vyjadřuje Spearmanův koeficient pořadové korelace. Průhledné body a čárkované čáry vyjadřují roky s nadprůměrnými hodnotami, plné body a plné čáry vyjadřují roky s podprůměrnými hodnotami (Převzato z: Jenicek et al. 2016).

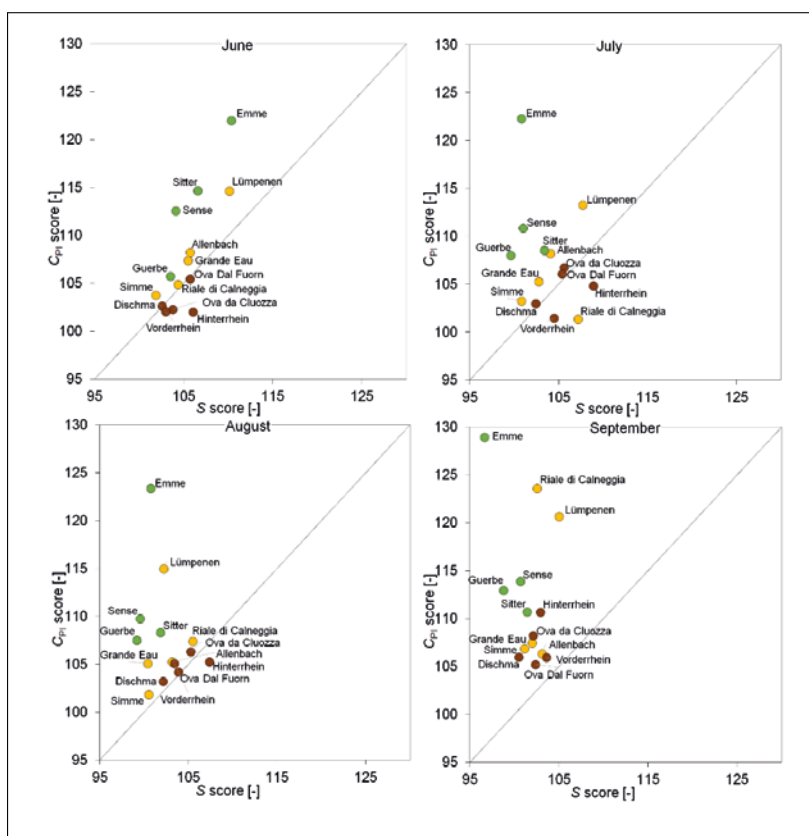
srážek je výrazně vyšší než variabilita evapotranspirace (Hubacher and Schädler 2010). Ke stejnému výsledku jsme došli i v této studii s použitím modelu PREVAH (více viz Jenicek et al. 2016). Z tohoto důvodu se evapotranspirace nejeví jako zásadní prediktor pro vystižení meziroční variability letních nízkých průtoků (pro celkovou bilanci a velikost minimálních průtoků je ale její role samozřejmě zásadní).

Naše studie neposkytuje obecnou odpověď na otázku, jestli jsou sněhové zásoby více důležité než letní srážky. Cílem této studie bylo pouze kvantifikovat jejich společný efekt, který se významně mění v průběhu roku. Situace ve Švýcarsku (a obecně ve střední Evropě) je z tohoto pohledu složitější než například v západní části USA, kde mají srážky jasně sezónní charakter a právě sněhové zásoby hrají pro následný odtok v létě zásadní roli (Godsey et al. 2014).

ZÁVĚRY

V této studii jsme popsali a kvantifikovali vliv zimních a jarních sněhových podmínek na letní nízké průtoky ve čtrnácti povodích Švýcarských Alp na základě 42 let dlouhých časových řad pozorování. Hlavní důraz jsme kladli na odvození „paměťového efektu“ povodí ve vztahu ke sněhovým zásobám a na výpočet citlivosti povodí z hlediska poklesu SWE a následně nízkých letních průtoků. Hlavní závěry plynoucí z naší studie jsou následující:

- Tání sněhu má statisticky významný vliv na nízké průtoky od května do září (s klesající důležitostí) v povodích s průměrnou nadmořskou výškou vyšší než 2 000 m n. m., od května do srpna v povodích s nadmořskou výškou 1 500–2 000 m n. m. a pouze do června v povodích ležících níže než 1 500 m n. m. Vyšší citlivost na změny nízkých průtoků díky změnám SWE_{max} se projevila u výše položených povodí než u níže položených (pokud se zaměřujeme na relativní, nikoliv absolutní změny SWE_{max}).
- SWE_{max} se z vybraných prediktorů popisujících zimní podmínky ukázal jako nejvhodnější prediktor především pro výše položená povodí. Dobrou korelaci ukázal také celkový úhrn zimních srážek. Použití tohoto prediktoru je ale zatíženo nejistotou, která vyplývá z jejího častého podhodnocení v době zimních srážek (sněhové srážky se vlivem větru nezachytí do srážkoměru, což platí více pro území nad hranicí lesa).
- Sněhové zásoby a letní srážky mají kombinovaný efekt na letní nízké průtoky a samotný sníh nemůže vysvětlit meziroční variabilitu nízkých průtoků ani v nejvýše položených povodích. Na druhou stranu se ale použitelnost sněhových zásob jako prediktoru výrazně zvyšuje během let s podprůměrnými kapalnými srážkami během teplého půlroku.
- Minimální letní průtoky jsou ve zkoumaných povodích staticky významně závislé na změnách sněhových zásob. Ačkoliv jsme se ve studii nezaměřovali na budoucí vývoj daný očekávanými klimatickými změnami, můžeme očekávat postupně snižující se roli sněhových zásob na letní průtoky (díky klesajícímu poměru pevných srážek na celkových srážkách a tedy klesajícímu SWE). Důsledkem toho může být rostoucí citlivost povodí na meteorologické sucho v letním období, obzvláště ve výše položených povodích, kde nyní hraje sníh důležitou roli.



Obr. 4 „Skórovací“ grafy vyjadřující společný vliv sněhových zásob a kapalných srážek v letním půlroce v červnu až září. Body ležící pod přímkou $y = x$ vyjadřují povodí se silnějším vlivem sněhových zásob než kapalných srážek na letní nízké průtoky a naopak. Barvy vyjadřují skupinu povodí dle nadmořské výšky (tmavohnědá: > 2 000 m n. m.; světlehnědá: 1 300–2 000 m n. m.; zelená: < 1 300 m n. m.) (Převzato z: Jenicek et al. 2016).

Poděkování

Projekt byl podpořen Swiss National Research Program Sustainable Water Management (NRP 61, projekt DROUGHT-CH) a Grantovou agenturou ČR (GACR 13-32133S, projekt Pramenné oblasti). Autoři také děkují programu SCIEX – Scientific Exchange Programme NMS.CH za podporu prvního autora publikace během jeho postdoktorského pobytu na University of Zurich.

Literatura:

- BEAULIEU, M., SCHREIER, H., JOST, G., 2012. A shifting hydrological regime: a field investigation of snowmelt runoff processes and their connection to summer base flow, Sunshine Coast, British Columbia. *Hydrol. Process.*, Vol. **26** (17), s. 2672–2682.
- BERGHUIJS, W. R., WOODS, R. A., HRACHOWITZ, M., 2014. A precipitation shift from snow towards rain leads to a decrease in streamflow. *Nat. Clim. Chang.* Vol. **4**, s. 583–586.
- BIRSAN, M. V., MOLNAR, P., BURLANDO, P., PFAUNDLER, M., 2005. Streamflow trends in Switzerland. *J. Hydrol.*, Vol. **314**, s. 312–329.
- FREI, C., 2014. Interpolation of temperature in a mountainous region using nonlinear profiles and non-Euclidean distances. *Int. J. Climatol.*, Vol. **34** (5), s. 1585–1605.
- FREI, C. AND SCHÄR, C., 1998. A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. *Int. J. Climatol.*, Vol. **18** (8), s. 873–900.
- GODSEY, S. E., KIRCHNER, J. W., TAGUE, C. L., 2014. Effects of changes in winter snowpacks on summer low flows: case studies in the Sierra Nevada, California, USA. *Hydrol. Process.*, Vol. **28** (19), s. 5048–5064.
- HUBACHER, R., SCHÄDLER, B., 2010. Wasserhaushalt grosser Einzugsgebiete im 20. Jahrhundert. Tafel 6.6. In: Weingartner R., Spreafico M. (Hrsg.): Hydrologischer Atlas der Schweiz (HADES). Bundesamt für Umwelt, Bern.
- JENICEK, M., SEIBERT, J., ZAPPA, M., STAUDINGER, M., JONAS, T., 2016. Importance of maximum snow accumulation for summer low flows in humid catchments. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, Vol. **20**, s. 859–874.
- JONAS, T., MARTY, C., MAGNUSSON, J., 2009. Estimating the snow water equivalent from snow depth measurements in the Swiss Alps. *J. Hydrol.*, Vol. **378**, s. 161–167.
- JÖRG-HESS, S., FUNDEL, F., JONAS, T., ZAPPA, M., 2014. Homogenisation of a gridded snow water equivalent climatology for Alpine terrain: methodology and applications. *Cryosph.*, Vol. **8** (2), s. 471–485.
- KNOWLES, N., DETTINGER, M. D., CAYAN, D. R., 2006. Trends in snowfall versus rainfall in the Western United States. *J. Clim.*, Vol. **19**, s. 4545–4559.
- LAGHARI, A. N., VANHAM, D., RAUCH, W., 2012. To what extent does climate change result in a shift in Alpine hydrology? A case study in the Austrian Alps. *Hydrol. Sci. J.*, Vol. **57** (1), s. 103–117.
- PELLICCIOTTI, F., BAUDER, A., PAROLA, M., 2010. Effect of glaciers on streamflow trends in the Swiss Alps. *Water Resour. Res.*, Vol. **46**, W10522.
- R CORE TEAM: R, 2015. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, last access: 28 June 2015.
- SMAKHTIN, V., MASSE, B., 2000. Continuous daily hydrograph simulation using duration curves of a precipitation index. *Hydrol. Process.*, Vol. **14** (6), s. 1083–1100.
- SPEICH, M. J. R., BERNHARD, L., TEULING, A. J., ZAPPA, M., 2015. Application of bivariate mapping for hydrological classification and analysis of temporal change and scale effects in Switzerland. *J. Hydrol.*, Vol. **523**, s. 804–821.
- STAUDINGER, M., WEILER, M., SEIBERT, J., 2015. Quantifying sensitivity to droughts – an experimental modeling approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, Vol. **19** (3), s. 1371–1384.
- VAN LOON, A. F., PLOUM, S. W., PARAJKA, J., FLEIG, A. K., GARNIER, E., LAAHA, G., VAN LANEN, H. A. J., 2015. Hydrological drought types in cold climates: quantitative analysis of causing factors and qualitative survey of impacts. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, Vol. **19** (4), s. 1993–2016.

ROZLOŽENIE A SIMULÁCIA SNEHOVEJ POKRÝVKY V HORSKOM MIKROPOVODÍ

Michal Danko, Pavel Krajčí

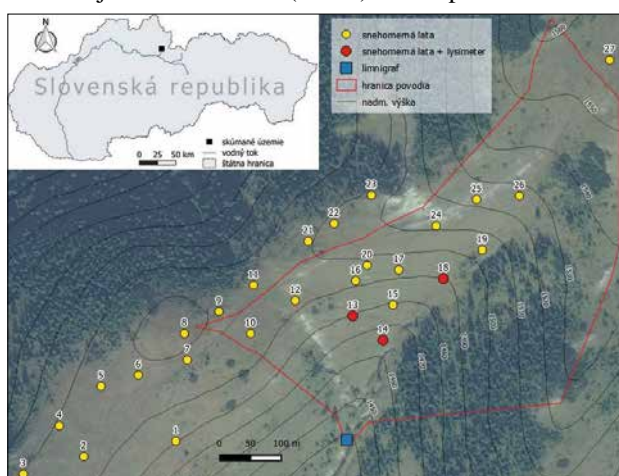
Experimentálna hydrologická základňa ÚH SAV, danko@uh.savba.sk, krajčí@uh.savba.sk

ÚVOD A CIELE

Snehová pokrývka je jednou z dôležitých zložiek vodnej bilancie, ktorá má veľký vplyv na povodňovú situáciu v jarnom období. Terénny výskum je často časovo a finančne náročný. Môže prinášať však veľmi podrobné údaje a v neposlednom rade umožňuje priamy kontakt s objektom výskumu (Vidon 2015). Prináša údaje, ktoré je nie vždy možné získať z iných zdrojov. Vďaka nim je možné lepšie pochopiť procesy v povodí, možné chyby meraní a hranice možností modelovania hydrologických procesov v krajine. Z tohto dôvodu je potrebné neustále vylepšovať meracie techniky a testovať dostupné nové prístupy pri priamych terénnych meraniach. V tomto príspevku sa venujeme procesom akumulácie a topenia snehovej pokrývky. Tieto procesy môžu podliehať veľmi rýchlym a výrazným zmenám v čase a priestore (Pomeroy a Brun 2001). Schopnosť presne predpovedať veľkosť a priebeh topenia snehovej pokrývky môže napomáhať varovaniu pred prípadnými povodňami (Weingartner et al. 2003) alebo pri plánovaní zásob vody vo vodných nádržiach (Blöschl a Kirnbauer 1991; DeWalle a Rango 2008). Procesom akumulácie snehovej pokrývky a jej priestorovému rozloženiu sa v minulosti venovala veľká pozornosť. V horských podmienkach nad hornou hranicou lesa hrá veľmi dôležitú úlohu vietor (Gray 1979; Kuusisto 1984; Lehning et al. 2008; Mott et al. 2010; Krajčí 2013; Winstral et al. 2013; Danko et al. 2014). Keďže vietor je veľmi premenlivý faktor a tieto procesy ovplyvňuje aj veľa ďalších procesov, je veľmi náročné vplyv vetra na variabilitu rozmiestnenia snehu kvantifikovať a modelovať. V našom prípade sme sa rozhodli použiť hustú sieť meracích bodov na malom území na ktorých sme expedične vykonávali merania vodnej hodnoty snehu. Merania sme vykonávali minimálne dva krát za mesiac. Na priame meranie časového priebehu topenia snehu možno použiť snehové lyzimetre. Snehové lyzimetre použili napr. Haupt (1969), Jones et al. (1976), Hermann (1978), Kattelmann (1984), Kirnbauer a Blöschl (1990), Tekeli et al. (2003), Holko et al. (2013). Prvým cieľom tohto príspevku bolo čo najlepšie zachytiť priestorovú variabilitu akumulácie snehovej pokrývky na základe terénnych meraní vodnej hodnoty snehu v malom území s minimálnym vplyvom vegetácie a otestovať použiteľnosť nami navrhnutého snehového lyzimetra pri meraní odtoku z topenia snehovej pokrývky. Druhým cieľom bolo aplikovať získané informácie o priestorovom rozložení snehovej pokrývky spolu s výstupmi z lyzimetra v distribuovanom, fyzikálne založenom zrážkovo-odtokovom matematickom modeli MIKE SHE. Tretím cieľom bolo otestovať možnosť merania výšky snehovej pokrývky pomocou GPS s diferenciálnymi korekciami pre fázové merania v reálnom čase (RTK) v koncepte virtuálnej referenčnej stanice (VRS).

MATERIÁL A METÓDY

Skúmané územie sa nachádza v Západných Tatrách v severnej časti Slovenska (obr. 1). Tvorí pramennú oblasť Sokolného jarka, ktorý je pravostranným prítokom Jaloreckého potoka. Má rozlohu približne 0,059 km². Nadmorské výšky sa pohybujú od 1 450 m n. m. do 1 560 m n. m. Geologické podložie tvoria väčšinou vápence. Z väčšej časti je porastené nízkou trávnatou vegetáciou. Menej je zastúpený mladý smrekový lesný porast. V povodí bol pred zimou 2015 nainštalovaný limnigraf (Thomsonov prepad) s kontinuálnym záznamom výšky vodnej hladiny, 27 snehomerných tyčí a 3 snehové lyzimetre (obr. 1). V rámci mikropovodia prebiehali expedičné merania vodnej hodnoty snehu, výšky snehu, hustoty snehu, vlhkosti snehu a teploty snehu. Detailné klimatické prvky sú pozorované na automatickej stanici, ktorá sa nachádza 500 metrov východne od skúmaného mikropovodia. Na meranie prietoku sme použili sme ostrohranný Thomsonov prepad s uhlom 90°. Merania výšky vodnej hladiny boli vykonávané au-



Obr. 1 Poloha skúmaného územia v rámci Slovenska (vľavo hore), meracia sieť v mikropovodí.

tomatickým tlakovým hladinomerom s korekciou voči atmosferickému tlaku. Merania prebiehali v hodinovom kroku. Na meranie odtoku z topenia snehovej pokrývky sme použili experimentálnu konštrukciu snehového lyzimetra zobrazenú na obr. 2. Hlavný dôraz pri našej konštrukcii bol kladený na jej jednoduchosť a aby ju bolo možné použiť na viacerých miestach a nebolo pritom potrebné robiť veľké zásahy v okolitom prostredí. Konštrukcia pozostávala z plechovej zbernej nádoby ktorej okraje boli ohnuté aby zabránili natekaniu vody z povrchu pôdy v okolí. Plocha nádoby bola 44 cm². Druhou časťou lyzimetra bol preklápací zrážkometer, ktorý bol uložený pod úrovňou terénu. Zrážkometer bol prekrytý polystyrénovou doskou, ktorá zabraňovala prítoku priamo do zrážkomera. V povodí boli rozmiestnené tri takéto meracie sústavy. Vodnú hodnotu snehu (VHS) sme merali na 27 bodoch. Trinásť z nich sa nachádzalo priamo v povodí. Ostatné sa nachádzali v okolí povodia, aby sme mali predstavu o akumulácii snehu aj v širšom priestore. Merania prebiehali približne v intervale raz za dva týždne klasickým váhovým snehomermom. Približne 500 metrov od skúmaného územia sa nachádza automatická meteorologická stanica ústavu Hydrológie SAV, Červenec 1 500 m n. m. (CE1 500) z ktorej sme použili údaje o zrážkach, teplote vzduchu, výške snehovej pokrývky, vetre, radiačnom žiarení a iné. Na modelovanie v hodinovom kroku sme použili distribuovaný, fyzikálne založený zrážkovo-odtokový matematický model MIKE SHE v spolupráci s hydraulickým modelom riečnej siete MIKE 11. MIKE SHE je hydrologický model, ktorý bol vyvinutý Dánskym Hydraulickým Inštitútom DHI (Danish Hydraulic Institute). Je to model, ktorým je možné simulovať interakciu podzemnej a povrchovej vody. Vyžaduje informácie o klimatických charakteristikách, topológii, vegetácii, pôdnom systéme a geologických vlastnostiach skúmaného povodia. Simuluje základné procesy hydrologického cyklu ako je evapotranspirácia, topenie snehu, povrchový odtok, odtok v nenasýtenej zóne, podzemný odtok, dopĺňanie podzemných vôd, ich vzájomné prepojenie a mnohé ďalšie procesy. Vstupmi do modelu sú hodinové údaje o zrážkach, teplote vzduchu, slnečnom žiarení (z klimatologickej stanice Červenec). Topografiu určuje DEM s gridom 5 × 5 m. Potenciálna evapotranspirácia (DPET) je vypočítaná v dennom kroku. Na jej odhad sme použili empirickú metódu Blaney-Criddeho (Schrödter 1985). Simulácia akumulácie a topenia snehu vychádza z metódy teplotného indexu. V horskom mikropovodí (590 m²), bez viacerých zrážkometerov umiestnených priamo v povodí, je zložité kalibrovať model na priestorové rozloženie zrážok v povodí. Výškové gradienty pre zrážky sú nepoužiteľné, keďže v takomto malom a málo zalesnenom povodí má, ako sme už spomínali oveľa väčší vplyv odnos a akumulácia snehu spôsobená vetrom ako nadmorská výška. Navyše rozdiel nadmorských výšok v tomto povodí je len niečo viac ako sto metrov čo by pri použití gradientu s nadmorskou výškou znamenalo, že na celé územie dopadajú prakticky rovnaké zrážky. To je nereálne keď si uvedomíme že rozdiely v nameraných hodnotách VHS medzi meranými bodmi v povodí boli aj viac ako 600 mm. Pre účely porovnania simulovaných a meraných hodnôt (VHS – snehomerné tyče, topenie snehovej pokrývky – lyzimetre) v bodoch je potrebné rozdistribuovať zrážky v mikropovodí. Na získanie, čo naj dôveryhodnejších výsledkov použijeme multiobjektívnu kalibráciu (prietok a VHS na 13 snehomerných tyčiach).



Obr. 2 Snehový lyzimeter.

Pre rozdelenie zrážok na mikropovodie sme vychádzali z týchto predpokladov:

1. Na mikropovodie celkovo spadne rovnaké množstvo zrážok ako v stanici CE₁₅₀₀
2. Možno použiť Thiessenove polygóny pre rozloženie VHS do priestoru
3. Počas skúmaného obdobia sú zrážky na mikropovodie priestorovo rozdelené podľa VHS na snehomerných tyčiach podľa dňa 5. 3. 2015, keď boli k dispozícii merania zo všetkých snehomerných tyčí.

Na meranie pomocou GPS sme použili ručný mapovací prístroj Ashtech mobilemapper 100 s anténou Stonex S9III GNSS s diferenciálnymi korekciami pre fázové merania v reálnom čase (RTK) v koncepte virtuálnej referenčnej stanice (VRS), ktoré ponúka na území Slovenska – Slovenská priestorová observačná služba (SKPOS). SKPOS je multifunkčný nástroj pre presné určovanie polohy objektov a javov pomocou globálnych družicových systémov. SKPOS pozostáva zo siete permanentných referenčných staníc Globálny družicový polohový systém (GNSS) pripojených pomocou privátnej virtuálnej siete do Národného servisného centra nachádzajúceho sa na Geodetickom a kartografickom ústave v Bratislave. Národné servisné centrum je vybavené riadiacim softvérom služby, ktorý spravuje namerané družicové observácie zo siete permanentných referenčných staníc a zároveň generuje tzv. sieťové korekcie pre používateľov využívajúcich službu v reálnom čase a údaje slúžiace na dodatočné spracovanie pre používateľov vybavených postprocesingovým softvérom. Infraštruktúra SKPOS pozostáva z troch základných segmentov: sieť per-

manentných staníc, národné servisné centrum a virtuálna privátna sieť. Permanentné stanice sú rovnomerne rozložené po celom území Slovenska. Dáta zo staníc sú odosielané v reálnom čase prostredníctvom virtuálnej privátnej siete do Národného servisného centra, kde sa zhromažďujú a pomocou pokročilých algoritmov sú použité na generovanie diferenciálnych korekcií. Tie sú poskytované používateľovi s cieľom zvýšiť presnosť merania GNSS v reálnom čase na 2 až 4 cm (SKPOS 2016).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Dlhodobu najnižšiu hodnotu VHS boli namerané na severozápadnej náveternej strane a v hrebeňových partiách okolo rozvodnice povodia (tab. 2, obr. 1). Obdobie, v ktorom jednotlivé merané body dosiahli maximum bolo tiež rôzne. Lokality 25, 26 dosiahli maximá až v neskorom jarnom období po výraznom snežení začiatkom apríla, dňa 5. 3. 2015 boli zaznamenané najväčšie rozdiely v rámci povodia, namerané hodnoty VHS sa pohybovali od 0–625 mm (tab. 1). Najvyššie hodnoty dosahovali body číslo 25, 26 pričom namerané maximá presiahli 500 mm. Na týchto dvoch lokalitách bola VHS ešte 23. 4. 2015 viac ako 300 mm. Na obr. 3 možno vidieť rozloženie snehu 23. 4. 2015 a približnú polohu bodov 25, 26. Tieto lokality sa nachádzajú na záveternej juhozápadnej strane hrebeňa, kde je predpoklad nižších rýchlostí vetra a teda aj väčšej akumulácie snehovej pokrývky (tab. 1). Na ostatných bodoch to bolo zväčša v polovici marca pred začiatkom prvej fázy topenia. Na meraných bodoch v hrebeňových častiach povodia predpokladáme najväčšie rýchlosti vetra a teda aj najväčší odnos snehu.

Merania odtoku z topenia snehu prebiehali na troch snehomerných lyzimetroch. Lyzimeter na profile č. 13 dosiahol sumu roztopenej vody zo snehu 750 mm, čo na danom profile nebolo reálne, pretože maximum VHS na tomto bode bolo len 240 mm. Predpokladáme, že lyzimeter zbieral roztopené množstvo vody aj z vedľajšej plochy lyzimetra. Podľa analýzy sme na ďalšie účely mohli použiť iba profil číslo 14, ktorý meral v súlade s meraniami vodnej hodnoty snehu. Lyzimeter na profile č. 18 dosahoval minimálne hodnoty roztopenej vody zo snehu (celkovo iba 25 mm), čo nebolo reálne, lebo dosiahnutá vodná hodnota snehu bola na tejto lokalite až okolo 250 mm. Príčinou bolo upchatie zrážkomera nečistotami. Pribeh hlavnej fázy topenia je zobrazený na obr. 4. Prvé topenie sa objavilo okolo ôsmeho marca kedy teplota vzduchu výraznejšie vystúpila nad bod mrazu. Množstvo roztopenej vody však bolo nízke. Výraznejšie topenie sa začalo sedemnásteho marca kedy teplota vzduchu dosiahla päť stupňov Celzia. Čas topenia zaznamenaný lyzimetrom kopíroval nárast prietokov na limnigrafe. Pribeh nárastu prietoku bol voči lyzimetrom jemne posunutý a nedosahoval také relatívne veľké denné amplitúdy ako tomu bolo u lyzimetrov. Pokles prietokov na začiatku apríla spôsobila chladná perióda počasie spojená s výdatným snežením. Stanica na Červenci zaznamenala nárast výšky snehu z 56 cm až na 116 cm. Vodná hodnota snehu na Červenci stúpila o 56 mm. Nasledovalo obdobie s nárastom teplôt vzduchu a hlavná fáza topenia spojená s nárastom prietokov. Maximálny prietok bol dosiahnutý 16. 4. 2015 o tretej hodine popoludní keď dosiahol hodnotu $9,7 \text{ l.s}^{-1}$. Podobne vysoké hodnoty boli zaznamenané aj 27. 4. 2015 okolo poludnia. Sneh na lyzimetry 14 bol vtedy však už úplne roztopený. Na priebehu prietokov možno sledovať typický tvar hydrogramu z topenia snehu. Maximum v rámci dňa je dosahované v popoludňajších hodinách a minimum je dosahované v nočných a ranných hodinách. Pribeh prietoku kopíruje priebeh teploty vzduchu, čo naznačuje správnosť priebehu topenia snehu.

Na základe predpokladov uvedených v metodike vznikla mapa priestorového rozloženia zrážok v mikropovodí, podľa ktorej sme kalibrovali model. Kalibrácie boli zamerané hlavne na modelovanie VHS pre 13 snehomerných profilov v mikropovodí. Výsledky šiestich z nich predstavujeme na obr. 4.

Na obr. 5 vľavo hore je porovnaná meraná so simulovanou VHS v mikropovodí na profile č. 14. Stredný a pravý horný graf ukazuje na veľmi presné simulácie VHS. V ľavej a strednej dolnej časti obrázka vychádzajú horšie vý-

Tab. 1 Snehomerné tyče v mikropovodí – VHS [mm].

č. tyče	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20	24	25	26
5. 3. 2015	111	330	240	128	339	625	91	216	290	198	65	545	543
19. 3. 2015	93	273	235	163	378	530	94	147	359	138	<10	467	616

Tab. 2 Snehomerné tyče mimo mikropovodia – VHS [mm].

č. tyče	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	21	22	23	27
5. 3. 2015	396	38	85	32	13	78	256	28	175	327	50	55	0	154
19. 3. 2015	398	<10	87	69	<10	<10	293	<10	190	359	28	<10	<10	157

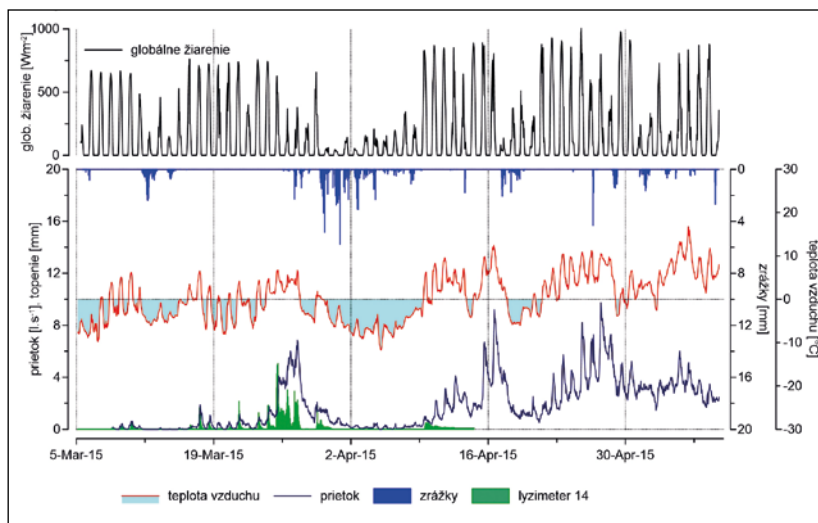
sledky na profiloch s vysokými hodnotami VHS (profily 25 a 26). Predpokladáme, že tieto výsledky môžu byť spôsobené silnejším vplyvom vetra hlavne počas zimných mesiacov január a február. Model v týchto mesiacoch nedokázal dobre nasimulovať VHS. Pri nižších hodnotách VHS model dobre simuloval VHS v porovnaní s meraniami. Najväčšie rozdiely (okolo 50 mm) medzi simulovanou a meranou VHS dosahovali profily č. 10 a 17. V týchto prípadoch model nadhodnocoval VHS.

Na obr. 6 vidieť nadhodnotenie simulovaných prietokov pričom VHS je simulovaná na rôznych profiloch pomerne dobre. Aj keď model simuloval menšie množstvo snehu v celom mikropovodí, nedokázal presnejšie simulovať i odtok z povodia. Vykreslený priebeh VHS na profile č. 14 a prietok v záverečnom profile mikropovodia poukazuje na reálnu reakciu prietoku na pokles VHS. Po viacerých multiobjektívnych kalibráciách (Q a VHS) sme usúdili, že jedna z príčin nadhodnotenia simulovaných prietokov oproti meraným prietokom môže byť z časti dopĺňanie podzemných vôd do vápencového podložia. Výsledky ukazujú, že model simuluje topenie snehu iba v čase keď teplota vzduchu vystúpila približne nad 2,5 °C. V marci model podhodnocuje množstvo roztopenej vody zo snehu oproti meraným údajom zo snehového lyzimetra, v apríli je to naopak a model množstvo roztopenej vody na skúmanom profile nadhodnocuje ale napriek tomu model simuluje množstvo VHS na meranom profile č. 14 pomerne presne celú zimu. Pri porovnaní súm meraných a simulovaných množstiev roztopenej vody za skúmané obdobie dosahujú odchýlky hodnôt iba 11 % (tab. 3). Maximum VHS nasimuloval model o 19 mm menšiu hodnotu v maxime VHS ako bola dosiahnutá hodnota na meranom profile č. 14 (tab. 3).

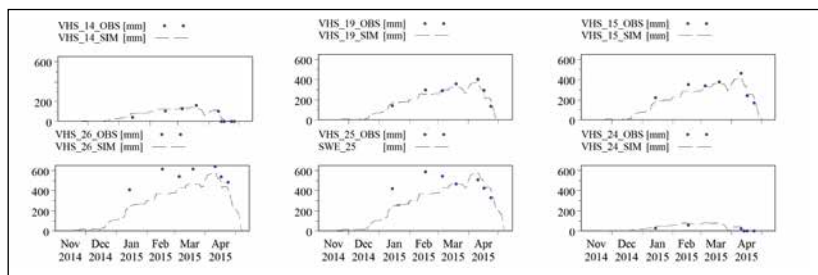
Na obr. 9 vidieť, že model simuluje približne dobre priestorové rozloženie snehovej pokrývky v mikropovodí na otvorenej ploche. Nedostatky je možno vidieť hlavne v zalesnenej časti povodia, čo súvisí s nedostatkom meraní v lesnom poraste.

Porovnanie manuálnych meraní výšky snehovej pokrývky s meraniami pomocou GPS

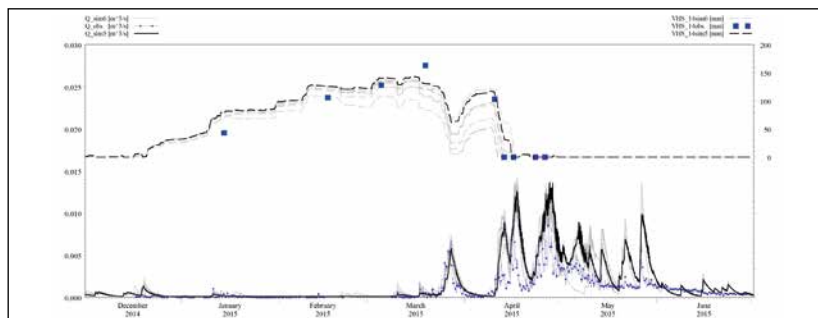
Na manuálne meranie výšok snehovej pokrývky na 27 miestach sme použili snehomernú rúru, ktorou sme merali VHS, po tomto meraní ostal vyrezaný otvor v snehovej pokrývke až po viditeľnú odkrytú pôdu. Následne v týchto otvoroch sme merali s prístrojom GPS najskôr výšku terénu (odkrytá pôda) a potom povrch snehovej pokrývky tesne vedľa vyrezaného otvoru. Merania boli uskutočnené 11. 2. 2016, pre zlé poveternostné podmienky iba na 13 bodoch a 17. 2. 2016 na všetkých 27 bodoch v mikropovodí. Spolu 40 totožných bodov. Podľa obrázka č. 8 vidieť, že priemerná hodnota medzi jednotlivými meraniami vychádza okolo 1,5 cm. Maximálny rozdiel bol zaznamenaný 8,4 cm. Pri meraniach, je potrebné sa sústrediť na správne umiestnenie meraného bodu. Treba brať do úvahy, že snehomerná rúra



Obr. 3 Časový priebeh meraných prvkov v skúmanom území na stanici Červenec v období hlavnej fázy topenia snehovej pokrývky.



Obr. 4 Simulovaná a meraná vodná hodnota snehu (SWE) na rôznych profiloch.



Obr. 5 Výber zo simulácií modelu – tmavou farbou je označená najlepšia simulácia vzhľadom na simulovanie VHS.

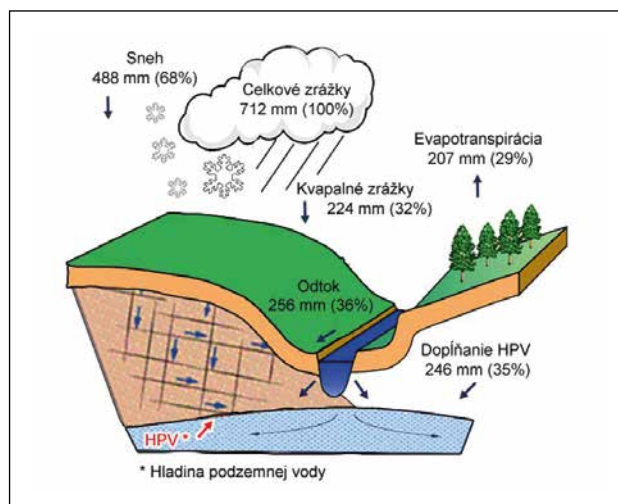
má priemer až 10 cm a naopak špička GPS má ostrý hrot, ktorý sa môže ľahko zapichnúť niekoľko centimetrov do pôdy alebo do snehu. Pri dodržaní týchto pravidiel môže byť prístroj GPS veľkým pomocníkom pri meraní výšky snehovej pokrývky.

DISKUSIA A ZÁVER

Priestorová variabilita akumulácie snehovej pokrývky bola v skúmanom území veľmi výrazná a dosahovala hodnôt až 600 mm. Rozdiely boli najmä medzi náveternou a zúveternou stranou hrebeňa, ktorý tvorí rozvodnicu povodia. Hrebeňové polohy boli na sneh najchudobnejšie. Na lepšie zachytenie a kvantifikáciu tejto variability bude do budúcnosti potrebné doplniť a upraviť sieť bodov, v ktorých sú vykonávané merania vodnej hodnoty snehu. Pri meraní odtoku z topenia snehu sme použili tri malé snehové lyzimetre. Použitá konštrukcia lyzimetra sa preukázala ako použiteľná hlavne pri získavaní predstavy o časovom priebehu topenia snehu. Topenie zaznamenané na lyzimetry časovo súhlasilo s nárastom teplôt vzduchu nad bod mrazu a s nárastom prietokov na mernom prepade. Pri údajoch získaných z lyzimetra je potrebné brať do úvahy možné neistoty a vždy je potrebné ich dať do súvisu s meraniami prietoku, teploty vzduchu a vodnej hodnoty snehu. Hodnoty namerané snehovým lyzimetrom bez merania aj ďalších charakteristík by bolo veľmi ťažko overiteľné. Simulácie modelom MIKE SHE preukázali použiteľnosť tohto nástroja na odhad topenia a odtoku zo snehovej pokrývky. Pre detailné simulácie je však potrebné mať aj detailné vstupné a merané údaje. Skutočnosť, že model simuluje nadhodnotený prietok netreba podceňovať. Priestorové rozloženie zrážok a vodnej hodnoty snehu do modelu vstupovali vypočítané na základe metódy Thiessenových polygónov. Túto metódu sme si zvolili pre jej jednoduchosť. Neistoty modelovania môžu mať rôzny pôvod, ale medzi tie najhlavnejšie patria vstupné údaje a ich časová ako aj priestorová distribúcia. Taktiež netreba zabúdať aj na veľký vplyv vápencového podložia na odtok. Podľa overenia, prístroj GPS s diferenciálnymi korekciami je možné používať aj na meranie výšky snehovej pokrývky. V pomerne krátkom čase vieme presne polohovo a výškovovo zamerať veľa bodov v teréne. Zároveň body terénu nám môžu poslúžiť na tvorbu presného digitálneho modelu reliéfu. Celkovo možno povedať, že predstavené metódy je možné použiť pri výskume a modelovaní hydrologických procesov v malom horskom experimentálnom povodí. Do budúcnosti považujeme za najdôležitejšie nahradiť Thiessenové polygóny inou metódou rozloženia zrážok vychádzajúcou z detailného digitálneho modelu reliéfu a GPS meraní.

Literatúra:

- DANKO, M., KRAJČÍ, P., HLAVČO, J., 2014. Vzťah výšky snehovej pokrývky a vodnej hodnoty snehu v lese a na voľnej ploche v povodí Jaloveckého potoka. *Acta Hydrologica Slovaca*. Vol. 5 (1), s. 116–128.
- DEWALLE, D.R., RANGO, A., 2008. Principles of snow hydrology. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- GRAY, D. M., 1979. Snow accumulation and distribution, in Proceedings, Modeling of Snow Cover Runoff, edited by S. C. Colbeck and M. Ray, J. S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, N.H., s. 3–33



Obr. 6 Simulovaná vodná bilancia mikropovodia 1. 11. 2014–21. 7. 2015.

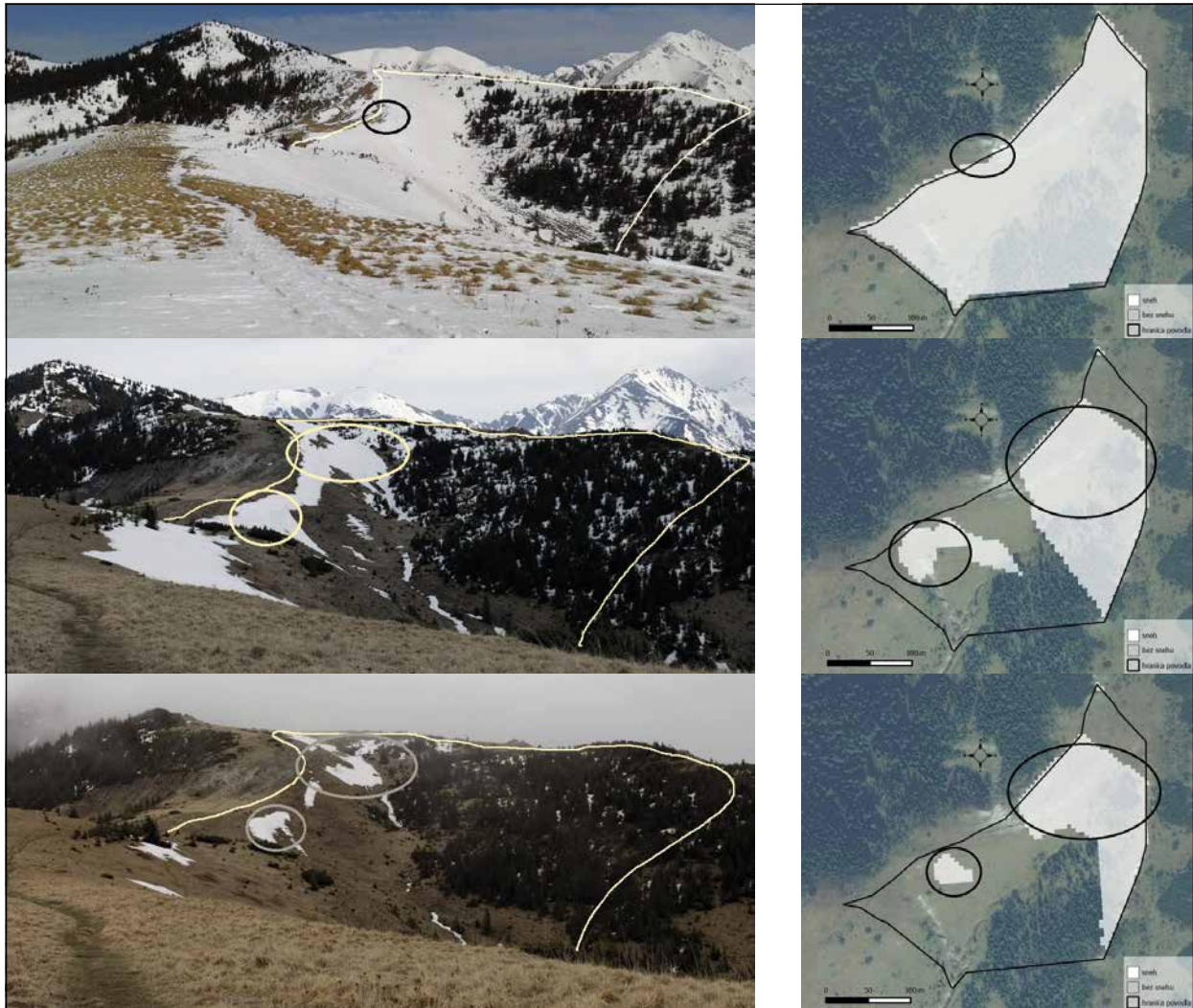
Tab. 3 Porovnanie simulovaných a meraných parametrov snehovej pokrývky 1. 2.–15. 4. 2015.

profil č. 14 (bod)	OBS [mm]	SIM [mm]	Rozdiel [%]
Zrážky (polygón 14)	-	283	-
Topenie (lyzimeter 14)	175	196	11
max. VHS (tyč č. 14)	163	144	13

Tab. 4 Simulovaná vodná bilancia 1. 11. 2014–2. 7. 2015.

Celé povodie	OBS [mm]	SIM [mm]	[%]
Zrážky	-	712	100
Zrážky vo forme snehu	-	488	
Topenie zo snehu	-	416	
Odtok z mikropovodia	256	502	36
Evapotranspirácia	-	207	29
Dopĺňanie podzemných vôd	-	246*	35

* určené ako rozdiel medzi simulovaným a meraným odtokom



Obr. 7 Porovnanie fotografií mikropovodia so simulovanou mapou VHS – hore 10. 4. 2015, v strede 26. 4. 2015, dole 2. 5. 2015.



Obr. 8 Porovnanie manuálnych meraní výšky snehovej pokrývky s meraniami pomocou GPS.

- HAUPT, H. F., 1969. A simple snowmelt lysimeter. *Water Resources Research* Vol. **5** (3), s. 714–718.
- HOLKO, L., DANKO, M., DÓŠA, M., KOSTKA, Z., ŠANDA, M., PFISTER, L., IFFLY, J. F., 2013. Spatial and temporal variability of stable water isotopes in snow related hydrological processes. In *Die Bodenkultur*. Vol. **64**, (3–4), s. 39–45.
- HOLKO, L., KOSTKA, Z., PARAJKA, J., 2001. Snehová pokrývka. *Životné prostredie* Vol. **3**, s. 138–141.
- KATTELMANN, R. C., 1984. Snowmelt lysimeters: design and use. In Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Western Snow Conference, Sun Valley, ID, s. 68–79.
- KIRNBAUER, R., BLÖSCHL, G., 1990. A lysimetric snow pillow station at Kühtai/Tyrol Hydrology in Mountainous Regions. J – Hydrological Measurements; the Water Cycle (Proceedings of two Lausanne Symposia, August 1990). *IAHS Publ.* Vol. **193**, 1990.
- KRAJČÍ, P., 2013. Závislosť rozloženia snehovej pokrývky od morfolórických parametrov reliéfu vo vybranej časti Žiarskej doliny. Diplomová práca. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoeológie. Bratislava.
- KUUSISTO, E., 1984. Snow accumulation and snowmelt in Finland. Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland, Vol. **55**, s. 149.
- LEHNING, M., LÖWE, H., RYSER, M., RADERSCHALL, N., 2008. Inhomogeneous precipitation distribution and snow transport in steep terrain. *Water Resour. Res.* Vol. **44**.
- MOTT, R., SCHIRMER, M., BAVAY, M., GRÜNEWALD, T., LEHNING, M., 2010. Understanding snow-transport processes shaping the mountain snow-cover. *Cryosphere* Vol. **4**, s. 545–559.
- POMEROY, J. W., BRUN, E., 2001. „Physical properties of snow“ In, (eds. H. G. Jones, J. W. Pomeroy, D. A. Walker and R. W. Hoham) *Snow Ecology: an Interdisciplinary Examination of Snow-covered Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, UK., s. 45–118.
- SCHRÖDTER, H., 1985. Verdunstung – Anwendungsorientierte Meßverfahren und Bestimmungsmethoden, Springer Verlag.
- TEKELI, A. E., ŞORMAN, A. A., ŞENSOY, A., ŞORMAN, A.Ü., 2003. Design, Installation of a Snowmelt Lysimeter and Analysis for an Energy Balance Model Studies in Turkey, In: 60th Eastern Snow Conference, 2003, Sherbrooke, Quebec, Canada.
- VIDON, P. G. F., 2015. Field Hydrologists Needed: A call for young hydrologists to (re)-focus on field studies, *Hydrol. Process.*, doi:10.1002/hyp.10614.
- WINSTRAL, A., MARKS D., GURNEY, R., 2013. Simulating wind affected snow accumulations at catchment to basin scales. *Advances in Water Resources*, Vol. **55**, s. 64–79.
- WEINGARTNER, R., BARBEN, M., SPREAFICO, M., 2003. Floods in mountain areas – an overview based on examples from Switzerland. *J. Hydrol.* Vol. **282** (1–4), s. 10–24.

ENERGETICKY ZALOŽENÝ MODEL AKUMULACE A TÁNÍ SNĚHU V JEHLIČNATÉM LESE A NA OTEVŘENÉ PLOŠE

Ondřej Matějka¹, Michal Jeníček²

¹Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, matejka@natur.cuni.cz

²Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, michal.jenicek@natur.cuni.cz

ÚVOD

Akumulace a tání sezónní sněhové pokrývky má dominantní vliv na hydrologický cyklus většiny vnitrozemských povodí v horských oblastech střední Evropy (Šípek, Tesař 2014; Jeníček et al. 2015). Z tohoto důvodu je kvantifikace zásob vody ve sněhu a jejich prostorová distribuce klíčová pro hydrologické předpovědi.

Na velkých plochách je akumulace a tání sněhu řízeno především změnami teploty vzduchu s nadmořskou výškou a zeměpisnou šířkou (Kučerová, Jeníček 2014). V menším prostorovém měřítku je akumulace a tání sněhu řízena především topografií a přítomností lesní vegetace (Jost et al. 2007). Význam lesní vegetace na akumulaci sněhu je značný, maximum vodní hodnoty sněhu na otevřených plochách může být až o 50% vyšší než pod lesní vegetací (Stähli a Gustafsson 2006).

Při výzkumu procesů akumulace a tání sněhové pokrývky a snaze o modelování těchto procesů je metoda energetické bilance vhodným a fyzikálně přesným nástrojem. Metoda energetické bilance kvantifikuje tepelné toky mezi prostředím nad sněhovou pokrývkou a sněhovou pokrývkou, uvnitř sněhové pokrývky a mezi bází sněhové pokrývky a půdním podložím.

Výsledné teplo dostupné pro tání (ať už kladné nebo záporné) je součtem všech tepelných toků mezi jednotlivými elementy prostředí.

Přítomnost lesa v povodí má podstatný vliv na radiační bilanci sněhové pokrývky, zejména z toho důvodu, že lesní vegetace nad sněhovou pokrývkou ovlivňuje radiační a konvektivní tepelnou výměnu mezi sněhem a atmosférou (USACE 1998). Na akumulaci a tání sněhové pokrývky v lesním prostředí má vliv množství faktorů, jako jsou expozice vůči světovým stranám, sklon svahu, půdní typ, expozice vůči větru, stáří vegetace, typ vegetace, hustota a struktura vegetace, hydrodynamické vlastnosti povodí, srážkové úhrny v povodí a také zásahy člověka. Člověk svým působením v lesních ekosystémech mění působení lesních porostů na tepelné toky tím, že vytváří mýtiny a provádí sběr opadaných částí stromů z lesního podloží (DeWalle a Rango 2008).

DATA A METODIKA

Pramenná oblast Bystřice je malé povodí o rozloze přibližně 9 km² v Krušných horách, nacházející se nad obcí Abertamy (obr. 2). Na území povodí jsou katedrou fyzické geografie PřF UK prováděna opakovaná terénní měření výšky a vodní hodnoty sněhu (SWE) na celkem deseti bodech. Umístění bodů je vybráno tak, aby pokrývalo rozsah krajinného pokryvu v povodí (obr. 2). Body 1010 a 1050 se nacházejí v blízkosti automatických měřicích stanic Hřebečná a Mrtvý rybník.

V zimním období 2011/2012 proběhlo celkem šest terénních výjezdů katedry fyzické geografie PřF UK. V následujícím zimním období 2012/2013 proběhly celkem čtyři výjezdy. V letním období 2014 probíhalo pořizování hemisférických fotografií vegetace na měřených lokalitách. Celkem bylo pořizováno 69 fotografií, z nichž bylo následně vybráno 32 tak, aby byla zachycena struktura vegetace nad každým bodem, kde dochází k měření SWE.

Výpočet modelovaného úbytku vodní hodnoty sněhu na jednotlivých lokalitách/měřených bodech byl proveden pomocí systému rovnic na výpočet energetické bilance sněhové pokrývky navržený (USACE 1998). Výběr této metodiky byl z hlediska dostupných meteorologických dat nejvhodnější.

Při výpočtu tepelných toků na lokalitách, které jsou ovlivněny vegetací, bylo nutné přepočíst vstupní parametry dopadající globální radiace, rychlosti větru a úhrnu srážek. Na hodnoty vstupních veličin byla apliko-



Obr. 1 Schematická mapa povodí s vyznačenými měřicími stanicemi a s polohou systematicky měřených bodů

vána útlumová funkce popsaná rovnicí 1 (Pomeroy et al. 2002). Hodnoty útlumových koeficientů byly hledány manuálně tak, aby se výsledný průběh funkce modelované SWE co nejlépe shodoval s měřenými hodnotami.

$$C_f = Ce^{(-\kappa \cdot LAI)} \quad (1)$$

Kde C_f značí hodnotu parametru pod vegetací, C je hodnota parametru mimo vegetaci, tedy měřená, κ je útlumový koeficient, LAI značí hodnotu leaf area indexu.

VÝSLEDKY

Simulace průběhu vodní hodnoty sněhu na měřených lokalitách

Pomocí dostupných meteorologických dat byla provedena simulace průběhu vodní hodnoty sněhu (SWE) pro všechny měřené lokality. Tato simulace byla provedena nejdříve pro zimní období 2011/2012. Vzhledem k tomu, že byla měřením zachycena fáze akumulace i tání, bylo toto zimní období zvoleno jako kalibrační. Poté, co byly vypočteny simulace pro otevřené plochy, proběhla simulace pro plochy lesa a mýtin. Tato simulace proběhla se zahrnutím vypočtených hodnot leaf area indexu podle upraveného Beer – Lambertova zákona a upraveného vztahu pro výpočet intercepce sněhových srážek. Vypočtené procentuální hodnoty útlumu pro jednotlivé body jsou znázorněny v tab. 1.

Tab. 1 Stanovené rozsahy procentuálního útlumu vegetací pro globální radiaci, rychlost větru a dopadající srážky za jednotlivé typy lokalit.

Typ lokality	LAI	Útlum globální radiace [%]	Útlum rychlosti větru [%]	Útlum srážkových úhrnů 11/12 [%]	Útlum srážkových úhrnů 12/13 [%]
Otevřená plocha	0,00–0,10	0,0–0,5	0,0–1,0	0,0–0,5	0,0–5,1
Les	1,42–2,39	66,4–89,6	65,0–90,0	14,4–60,4	26,9–60,2
Mýtina	0,03–0,46	0,1–18,5	1,0–30,0	0,1–6,2	0,1–6,2

Zimní období 2011/2012

V zimním období 2011/2012 dochází od 2. 12. 2011 k postupné akumulaci sněhu až do maxima připadajícího mezi 25. 2.–28. 2. 2012. Mezi těmito daty dochází ke dvěma výraznějším epizodám tání 2. 1. a 6. 2. 2012. Před datem, kdy byla na lokalitě maximální akumulace sněhu, se ještě vyskytují tři méně výrazné epizody tání – 25. 12. 2011, 18. 1. a 27. 1. 2012. První fáze hlavního tání přichází 28. 2. 2012, ale toto tání se zastavuje 4. 3. 2012. Počínaje dnem 10. 3. 2012 nastává druhá fáze hlavního tání, která bez ustání pokračuje až do úplného roztátí sněhové pokrývky na území povodí.

Zimní období 2012/2013

Průběh meteorologických veličin pro zimní období 2012/2013 byl naprosto odlišný od situace v předešlém roce. K akumulaci sněhu docházelo od 3. 12. 2012. Maximální akumulace sněhové pokrývky připadla na otevřených plochách na období mezi 25. 2.–28. 2. 2013. Datum maxima se tedy shodovalo s maximem předešlého zimního období. Mezi začátkem a maximem akumulace došlo ke třem výraznějším tajícím epizodám – 24. 12. 2012, 3. 1. a 29. 1. 2013. První fáze hlavního tání nastala na všech lokalitách v období mezi 5.–7. 3. 2013. Druhá a konečná fáze hlavního tání nastala na otevřených plochách a mýtinách v období mezi 22. 3.–24. 3. 2013. Na lesních bodech připadlo datum konečné fáze tání na dny mezi 11. a 13. 4. 2013.

HODNOCENÍ MODELU

Zimní období 2011/2012

V Tabulce 2 jsou vynesena vypočtená hodnotící kritéria Nash-Sutcliffe. Ve většině případů byla úspěšnost modelu s hodnotou N-S nad 0,7. Výjimku tvořily lesní body 1 060 a 1 100, u nichž hodnoty N-S kritéria vycházely nízké (0,46 a 0,56). V případě otevřených ploch se modelu podařilo vystihnout přes 88 % variability měřených dat.

Pro lesní lokality vycházely hodnoty N-S kritéria v poměrně širokém

Tab. 2 Kritéria hodnocení úspěšnosti výpočtu modelu pro jednotlivé typy měřených lokalit.

Typ lokality	Nash-Sutcliffe 11/12	R ² 11/12	Nash-Sutcliffe 12/13	R ² 12/13
Otevřená plocha	0,44–0,80	0,77–0,94	–0,58–0,99	0,77–1,00
Les	0,01–0,78	0,29–0,90	–1,87–0,84	0,32–1,00
Mýtina	–0,87–0,84	0,16–0,93	–3,09–0,98	0,81–0,99

rozpětí. Dobrá shoda, tedy hodnoty N-S nad 0,7, se týkala pouze bodů 1 020 a 1 080. Celkově se ovšem modelu podařilo vystihnout variabilitu měřených hodnot SWE z více jak 77 %.

Na mýtinách se setkávají řídicí faktory z obou skupin bodů. Přestože model celkem uspokojivě vystihl variabilitu měřených dat (koeficient determinace přes 67 %), rozptyl úspěšnosti modelu pro dané lokality byl celkem široký. Zde ukázalo, že pro bod 1030 nebyl model schopen přinést uspokojivé výsledky.

Zimní období 2012/2013

Obecně lze říci, že úspěšnost modelu v případě valdačního období je znatelně horší. V tab. 2 jsou vypsána vypočtená kritéria Nash-Sutcliffe pro jednotlivé body. U poloviny bodů je možné tvrdit, že průměrnými měřeními hodnotami SWE by byl průběh vodní hodnoty během zimního období vystižen lépe. U druhé poloviny se úspěšnost modelu pohybuje v hodnotách N-S kritéria mezi 0,60 a 0,99. Nejhůře si model vedl v případě mýtin.

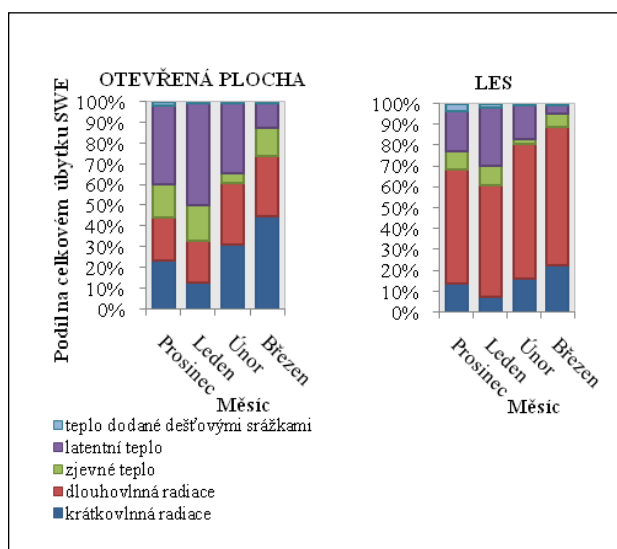
Na obr. 3 jsou znázorněny podíly dílčích tepelných toků na celkovém snížení SWE souhrnně pro měřené lokality. Tyto podíly vycházejí z výsledků modelu, a tudíž lze pouze předpokládat, že vyjádřené hodnoty postihují skutečné příčiny tání. Vzhledem k tomu, že hlavní fáze tání nastala na konci února 2012 a pokračovala v březnu 2012, je vhodné si na obr. 3 všimnout pouze těchto dvou měsíců. Od února do března rostla délka denní části dne a zároveň přibývalo zastoupení jasných a polojasných dní s vyššími průměrnými teplotami vzduchu. Tím rostl podíl krátkovlnné radiace na tání, což se projevilo na otevřených plochách a mýtinách. Na lesních bodech je vlivem stínění nárůst méně strmý. Pod lesní vegetací byly tlumeny vlivy globální radiace a větrného proudění, tudíž hlavní roli při tání zde nutně hraje dlouhovlnné záření.

Na obr. 4 jsou znázorněny podíly tepelných toků na tání v jednotlivých měsících. V zimním období 2012/2013 bylo celkové množství akumulovaného sněhu menší než v předcházejícím zimním období. Zároveň v zimě 2012/2013 došlo k úplnému roztátí sněhové pokrývky rychleji než v zimě 2011/2012. I přesto byla doba, kdy bylo povodí pokryté sněhem, delší v případě zimy 2012/2013. K akumulaci sněhu docházelo skokově, zatímco v zimním období 2011/2012 byl nárůst SWE pozvolný.

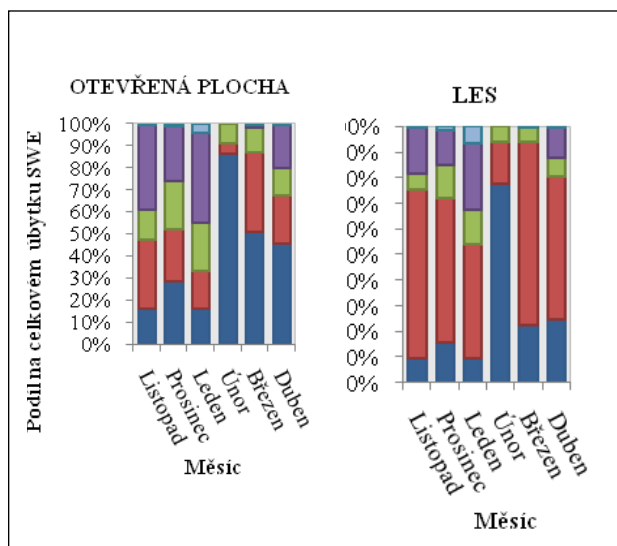
V zimním období 2012/2013 nízké teploty vzduchu a rosného bodu v počáteční fázi tání způsobily potlačení turbulentních toků tepla, i přes poměrně vysoké rychlosti větru. S nástupem jara stoupaly úhrny globální radiace a tím se v počáteční fázi tání vyskytovalo vysoké zastoupení tepla z krátkovlnného záření. V průběhu dubna 2013 náhle došlo k vzestupu teplot vzduchu a rosného bodu vysoko nad 0 °C, a tím se zvýšil podíl zastoupení turbulentních toků tepla a podíl tepla dostupného z krátkovlnného záření se zmenšil.

DISKUZE A ZÁVĚRY

V této práci bylo zjištěno, že hodnoty SWE v průběhu akumulací a raně ablační fáze na lesních lokalitách jsou nižší než na otevřených plochách, což je v souladu s výsledky jiných studií (Link a Marks 1999; Andreadis et al. 2009; Pomeroy a Harding 1996; Ishi a Fukushima 1994; Lopéz-Moreno a Stähli 2008; Hedström a Pomeroy 1998, Lundberg et al. 2004; Sicart et al. 2004; Jeníček a Taufmannová 2010). Nižší akumulace na lesních lokalitách je způsobena



Obr. 2 Podíly dílčích tepelných toků na celkovém úbytku vodní hodnoty ve sněhu za zimní období 2011–2012.



Obr. 3 Podíly dílčích tepelných toků na celkovém úbytku vodní hodnoty sněhu za zimní období 2012–2013.

intercepcí sněhových srážek na vegetaci (Link a Marks 1999). Použitý matematický model je poměrně jednoduchý ve srovnání s mnohem sofistikovanějšími nástroji, které jsou používány ostatními autory. Síla modelu ale vychází právě z jednoduchosti použitých rovnic a možnosti samostatné kalibrace všech členů energetické bilance.

V použitém modelu nebyl zahrnut tepelný tok ze zemského podloží z důvodu nehomogenity vstupních dat. Dále nebyl zahrnut vliv lesní vegetace na dlouhodobou radiaci z důvodu nedostupnosti měření dlouhodobé radiace v lesním prostředí.

Na základě vypočteného modelu byly vyvozeny následující závěry:

- Na lesních lokalitách docházelo vlivem vegetace ke stínění globální radiace na 10–34 % měřené hodnoty na stanici Hřebečná – otevřená plocha. Stínění lesní vegetací snížilo význam tepla dostupného z krátkovlnné radiace na polovinu.
- Rychlosti větru byly v lesní vegetaci tlumeny na 10–30 % hodnot rychlostí větru na otevřených plochách. Turbulentní toky tepla na otevřených lokalitách byly z hlediska významu příčinnosti na úbytku SWE na 2.–3. místě. V lesní vegetaci se jejich význam snížil o jednu třetinu.
- V závislosti na hustotě lesního porostu je na lesních lokalitách zachycováno korunami stromů 14–60 % dopadajících srážek.
- Maximum SWE na lesních lokalitách bylo v průměru o 12 % nižší než na otevřených plochách a mýtinách v zimním období 2011/2012 (při maximálních modelovaných hodnotách SWE v rozsahu od 142 do 425 v rámci lokalit). Pro zimní období 2012/2013 bylo na lesních lokalitách v průměru o 24 % nižší maximum SWE oproti otevřeným plochám a mýtinám (při maximálních modelovaných hodnotách SWE v rozsahu 64–279 mm).
- Lesní vegetace měla v řešeném území prokazatelný přímý vliv na ovlivnění množství zásob vody v podobě sněhu v povodí. Změny krajinného pokryvu jsou tedy způsobem, jak množství sněhem zadržené vody v povodí regulovat.

V současné době probíhá podobně zaměřený výzkum v povodí Ptačého potoka na Šumavě. Zájmové lokality jsou osazeny mikro-meteorologickými stanicemi v lesních lokalitách a na otevřené ploše. Zároveň je otevřená plocha osazena přístrojem Snow Pack Analyzer. Tím je zajištěno dobré zázemí měřených dat pro kalibrace a validace modelu i na šumavských lokalitách.

Tento příspěvek je zkrácenou a upravenou verzí příspěvku ze Sborníku konference Voda a krajina 2015 (Matějka, Jeníček, 2015).

Poděkování

Projekt byl podpořen Grantovou agenturou ČR (GACR 13-32133S, projekt Pramenné oblasti) a projektem MŠMT (SVV 260307).

Literatura:

- ANDREADIS, K. M., STORCK, P., LETTENMAIER, D. P., 2009. Modeling snow accumulation and ablation processes in forested environments. *Water Resources Research*. Vol. **45**, s. 1–13.
- DEWALLE, D. R., RANGO, A., 2008. Principles of snow hydrology. Cambridge University Press. Cambridge. 410.
- HEDSTROM, N. R., POMEROY, J. W., 1998. Measurements and modelling of snow interception in the boreal forest. *Hydrological Processes*, Vol. **12**, s. 1611–1625.
- ISHII, T., FUKUSHIMA, Y., 1994. Effects of forest coverage on snowmelt runoff, Snow and Ice Covers: Interactions with the Atmosphere and Ecosystems, Vol. **223**, s. 237–297.
- JENÍČEK, M., PEVNÁ, H., MATĚJKA, O., 2015. The effect of forest disturbance and topography on snow accumulation and snowmelt in small mountain catchments. *Hydrology Research* (v recenzním řízení).
- JENÍČEK, M., TAUFMANNOVÁ, A., 2010. Vliv vegetace na akumulaci a tání sněhu – výběr z výsledků výzkumu Katedry fyzické geografie a geoekologie PŘF UK v letech 2009 a 2010. In: Jiráček et al. (Ed.). XV. Mezinárodní stretnutie snehárrov. Praha: ČHMÚ.
- 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*, Vol. **347** (1–2), s. 101–115.
- KUČEROVÁ, D., JENÍČEK, M., 2014. Comparison of selected methods used for the calculation of the snowpack spatial distribution, Bystřice River basin, Czechia. *Geografie*, Vol. **119** (3), s. 199–217.
- LINK, T., MARKS, D., 1999. Distributed simulation of snowcover mass- and energy-balance in the boreal forest, Hydrological Processes. *Hydrological Processes*, Vol. **13**, s. 2439–2452.
- LÓPEZ-MORENO, J. I., STÄHLI, M., 2008. Statistical analysis of the snow cover Variability in a subalpine watershed: Assessing the role of topography and forest interactions. *Journal of Hydrology*, Vol. **348** (3–4), s. 379–394.

- LUNDBERG, A., NAKAI, Y., THUNEHED, H., HALLDIN, S., 2004. Snow accumulation in forests from ground and remote-sensing data. *Hydrological Processes*, Vol. **18**, s. 1941–1955.
- MATEJKA, O., JENÍČEK, M., 2015. Energeticky založený model akumulace a tání sněhu v jehličnatém lese a na otevřené ploše. In: Dočkal, M. et al. (Ed.) *Sborník příspěvků odborné konference Voda a krajina 2015*. Praha: ČVUT. s. 154.
- POMEROY, J. W., GRAY, D. M., HEDSTROM, N. R., JANOWICZ, J. R., 2002. Prediction of seasonal snow accumulation in cold climate forests. *Hydrological Processes*, Vol. **16**, s. 3543–3558.
- POMEROY, J. W., HARDING, R. J., 1996. The Energy Balance of the Winter Boreal Landscape. *Journal of Climate*, Vol. **9**, s. 2778–2787.
- STÄHLI, M., GUSTAFSSON, D., 2006. Long-term investigations of the snow cover in a subalpine semi-forested catchment. *Hydrological Processes*, Vol. **20** (2), s. 411–428.
- SICART, J. E., POMEROY, J. W., ESSERY, R. L. H., HARDY, J., LINK, T., MARKS, D., 2004. A sensitivity study of daytime net radiation during snowmelt to forest canopy and atmospheric conditions. *Journal of Hydrometeorology* Vol. **5**, s. 774–784.
- ŠÍPEK, V., TESAŘ, M., 2014. Seasonal snow accumulation in the mid-latitude forested catchment. *Biologia*, Vol. **69** (11), s. 1562–1569.
- USACE, 1998. Engineering and design: RUNOFF FROM SNOWMELT. US Army Corps of Engineers Manual no. 1110-2-1406. Washington. DC. USA. 100.

MIKROBIOTA SNEHOVÝCH POLÍ

Miriam Hanzelová

Katedra prírodného prostredia, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, mirowka@gmail.com

PROBLEMATIKA

Kryosestón

Snehová pokrývka zohráva dôležitú úlohu v klimatickom, hydrologickom a ekologickom systéme nie len v polárnych oblastiach, ale aj ostatných regiónoch prostredníctvom jej vplyvu na energetickú, vodnú a tepelnú bilanciu povrchu zeme, vegetáciu a výmenu plynov (Callaghan et al. 2011). Aj napriek tomu, že patrí medzi chladné a extrémne prostredie, a podlieha vplyvu klimatických zmien, poskytuje priestor pre rozvoj spoločenstva, prevažne mikroskopických organizmov. Mikroorganizmy ako baktérie, riasy, sinice a niektoré mikroskopické druhy húb žijúcich v snehovej pokrývke tvoria spoločenstvo organizmov nazývané kryosestón (Fott 1967). Známe sú tiež pod menom kryoflóra, alebo kryobionta (Hindák 1970). Trvalo pomerne dlho, kým bolo zistené, ako tieto organizmy vlastne žijú. V poslednej dobe sa však značne pokročilo s ich výskumom o čom svedčia viaceré publikácie Laybourn-Parry et al. 2012; Sigeo 2005; Komárek, Nedbalová 2007; Hoham, Duval 2001; Jones et al. 2001; Hoham, Ling 2000; KOL 1968. Dnes vieme, že kryosestón zasahuje do kolobehu látok prostredia, v ktorom žije a mení jeho fyzikálno-chemické parametre (Hoham, Duval 2001).

Snežné riasy za priaznivých podmienok tvoria nápadné, väčšinou červené, farebné škvrny na povrchoch snehových polí v polárnych a vysokohorských oblastiach. Vo svete je tento fenomén taktiež známy pod pojmom „water-melon snow“ a bol popísaný zo všetkých kontinentov (Seckbach 2007). Ide najmä o predstaviteľov rias z radu Chlamydomonadales (Chlorophyta) (Stibal, Elster 2005). Riasy sa vyskytujú na permanentných semipermanentných snehových poliach, povrchoch ľadovcov, vo vysokých nadmorských výškach a zemepisných šírkach. Hlavná sezóna výskytu a rozvoja spoločenstiev snežných rias prichádza na jar alebo v lete, v čase keď sa začína sneh topiť (Fott 1967; Kol 1968; Lederer, Lukavský 2003).

Viaceré práce potvrdili taktiež prítomnosť heterotrofných organizmov v snehu, napr. prítomnosť chvostoskokov (Collembola) (Takeuchi et al. 2006), vírnika *Philodina roseola* (Rotifera) (Vogt 1841) a pakomára *Diamesa* sp. (Diptera, Chironomidae) (Kohshima 1984). Prítomnosť heterotrofných organizmov je pravdepodobne podporovaná primárnou produkciou snežných rias (Takeuchi et al. 2006). Ich zastúpenie v ekosystéme snehu je menej časté a prevažne sú sústredené na okrajoch snehových polí, kde majú možnosť kontaktu s pôdou. Konzumenti snežných rias nedokážu významne ovplyvniť populáciu rias (Komárek, Nedbalová 2007). Fujii et al. (2010) taktiež potvrdzuje prítomnosť baktérií v červenom snehu, a považuje ich za druhotných kolonizátorov tohto prostredia. Mnohokrát ide o heterotrofné druhy zanesené z okolitých horských ale aj veľmi vzdialených habitatov, čo je vidieť aj z práce Chuvochina et al. (2011), ktorá analyzuje potenciálnu kolonizáciu alpského snehu bakteriálnym spoločenstvom pochádzajúceho z prachu zo Sahary.

Adaptácia rias na špecifické podmienky v snehu

Snehová pokrývka je habitatom pre jedinečný ekosystém sčasti aj preto, že samotný charakter snehu je dosť osobitý v porovnaní s inými typmi prostredia. Jeho špecifický charakter vytvára najmä spolupôsobenie nízkej teploty, silnej radiácie a UV žiarenia, obmedzenej dostupnosti živín, vysychania, striedania zamŕzania a topenia (Komárek, Nedbalová 2007).

Schopnosť snežných rias zabezpečiť fungovanie fotosyntézy aj pri nízkych teplotách je jedným z kľúčových faktorov pre ich prežitie v extrémnych podmienkach (Sigeo 2005). Z vedeckých publikácií sa javí obsah kvapalnej vody v snehu taktiež ako jeden z kľúčových faktorov vplývajúci na rast snežných rias a vývoj jednotlivých životných štádií (Nedbalová et al. 2008; Novis 2002; Segawa et al. 2005). Slnéčné žiarenie nie je iba nevyhnutný zdroj energie pre autotrofné organizmy, ale jeho intenzita, spektrálne zloženie a fotoperiodita ovplyvňujú životné cykly snežných rias (Hoham, Duval 2001). Organické a anorganické častice, ktoré sa akumulujú na povrchu snehu, a taktiež farebné škvrny spôsobené nadmernou koncentráciou snežných rias, znižujú albedo snehovej pokrývky až o 50 % (Hoham et al. 1998; Kohshima et al. 1994; Segawa et al. 2005; Thomas, Duval 1995; Uetake et al. 2010; Yoshimura et al. 2006). Znížením albeda snehovej pokrývky dochádza ku zvýšeniu pohlcovania tepla, takže sneh v tesnej blízkosti snežných rias a akumulovaného materiálu na povrchu snehového poľa sa topí rýchlejšie (až trojnásobne). Tým vznikajú depresie, kde sa lepšie zachytávajú ďalšie organické čiastočky priviate vetrom, a tým dochádza ku zvýšenej akumulácii materiálu a opätovnému zvýšeniu absorpcie žiarenia a ešte rýchlejšiemu roztápaniu snehu.

Jednou z hlavných adaptácií snežných rias na prežitie v nehostinných podmienkach je ich komplikovaný životný cyklus. Tvorba cýst s hrubou štruktúrovanou bunkovou stenou má fyziologickú výhodu pri redukcii vysychania, prenikania škodlivého UV žiarenia, spásania inými organizmami a pomáha bunke priľnúť na substrát, keď sa sneh roztopí (Hoham, Duval 2001). Tie druhy, ktoré majú vo svojich životných cykloch bičkaté štádiá, pomocou XXI. Snehárske stretnutie, aktívneho pohybu vertikálne migrujú a vyhľadávajú si tak vhodnejšie podmienky pre život. Ich konečná poloha závisí najmä od spektrálneho zloženia a intenzity žiarenia na povrchu snehového poľa (Hoham et al. 1979; Komárek, Nedbalová 2007). Bunky v kľudovom štádiu majú zvyčajne okolo seba slizový obal, ktorý môže spomaliť vymývanie buniek spolu s vodou z topiaceho sa snehu, no nezastaví ich pohyb úplne (Gorton et al. 2001; Stibal, Šabacká, Žárský 2012). Zafarbenie snehových polí spôsobené hojnou prítomnosťou snežných rias rodov *Chlamydomonas* a *Chloromonas* je dané akumuláciou karotenoidov vo vnútri ich buniek. Prítomnosť sekundárneho karotenoidu astaxanthinu zapríčiňuje červenú farbu a ako pasívny filter slúži na ochranu pred poškodením bunky v dôsledku intenzívneho žiarenia (Bidigare et al. 1993; Fujii et al. 2010; Gorton et al. 2001; Leya et al. 2009; Muller et al. 1998; Remias et al. 2005). Ďalšou adaptáciou na nepriaznivé podmienky prostredia pre život snežných rias je zmena v zložení mastných kyselín v membránach buniek, ktorá zabezpečuje ich fluiditu aj pri nízkych teplotách. Ide o zvýšenie koncentrácie mononenasýtených mastných kyselín, ktoré slúžia ako kryoprotektanty (Gorton et al. 2001, Seckbach 2007).

Psychrofilné organizmy predstavujú stále zdroj nových ešte nepoznaných druhov. Na Slovensku sa výskumu snežných rias v minulosti venovala značná pozornosť. Hindák (1970) dokonca tvrdí, že Vysoké Tatry patrili z hľadiska výskumu kryoflóry medzi najpreskúmanejšie horské oblasti v Európe. V súčasnosti však absentujú aktuálne poznatky o mikroorganizmoch adaptovaných na život v snehovej pokrývke v pohorí Slovenska. Domnievame sa, že pohoria Vysokých a Nízkych Tatier, Veľkej a Malej Fatry majú veľký potenciál pre výskyt kryosestónnych spoločenstiev. Cieľom práce je preskúmanie výskytu, vybraných vlastností a podmienok prostredia snežných rias v pohoriach Slovenska.

MATERIÁL A METODIKA

Výskum sme uskutočnili na vybraných lokalitách vyšších pohorí Slovenska: Vysoké Tatry, Nízke Tatry, Malá Fatra, Veľká Fatra. Odberové miesta sme nemali vopred presne stanovené, pretože tie sú závislé od aktuálneho výskytu snehových polí a ich dostupnosti. Sneh sme odoberali z povrchových častí snehového poľa (až do hĺbky 15–20 cm) v závislosti od výskytu farebných prejavov snežných rias. Použité boli sterilné odberné nádoby o objeme 100 ml. Časť vzoriek sme zafixovali Lugolovým roztokom priamo v teréne (zachováva bičičky prichytené k bunkám). Počas čo možno najrýchlejšieho transportu vzoriek do laboratória, sme nezafixované vzorky uchovali v tme a chlade (v termoskách vyplnených snehom).

Najdôležitejšie ekologické faktory pôsobiace na kryosestón sú teplota, žiarenie a koncentrácia živín (STIBAL, 2001). Z toho dôvodu sme na povrchu vybraných snehových polí zaznamenávali teplotu vzduchu pri povrchu snehovej pokrývky a fotosynteticky aktívne žiarenie (FAR). Na monitoring sme použili automatické datalogery Minikin QTHi (EMS Brno, Česká republika). Parametre boli merané každú minútu a ukladané v päťminútových intervaloch priemerných hodnôt od augusta 2014 do septembra 2014. Umiestnené boli v Spálenej doline pod Baníkovom v Západných tatrách v 2 078 m n. m. (severná expozícia) a v Zlomiskovej doline pod Železnou bránou vo Vysokých Tatrách v 1966 m n. m. (západná expozícia).

Roztopené vzorky snehu sme nechali na sedimentáciu materiálu, alebo sme ich scentrifugovali (5 min. na 3 000 otáčok). Vzorky sme mikroskopovali použitím mikroskopu Olympus BX40 (Olympus C&S, Japonsko) a fotografická dokumentácia bola vytvorená pomocou fotoaparátu Olympus (Olympus C&S, Japonsko) a softveru Quick Photo Micro 2.2 (Promicra, Česká republika).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Teplota vzduchu nad povrchom snehových polí

Zaznamenané hodnoty teploty vzduchu tesne nad povrchom snehových polí sa zhodujú s dlhodobými priemernými hodnotami teploty vzduchu pre mesiac august. Pre lokalitu pod Baníkovom je to 6–7 °C a pre lokalitu v Zlomiskovej doline menej ako 6 °C (Klimatický atlas Slovenska, 2015). Teplotné rozdiely v rámci jednotlivých dní sa na povrchu snehovej pokrývky pohybovali v rozmedzí od 2–10 °C, no väčšinou denná teplota kolísala v rámci 5 °C. V Zlomiskovej doline sme zaznamenali ku koncu augusta mrazivé teploty.

Intenzita fotosynteticky aktívneho žiarenia

Intenzita FAR dosahovala vyššie hodnoty v Zlomiskovej doline (max. 2 133 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), čo je spôsobené západnou expozíciou snehového poľa v porovnaní so snehovým poľom pod Baníkovom so severnou expozíciou (max.

tifikovali sme ich vo všetkých odberových pohoriach. Menej častí zástupcovia húb sú *Selenotila nivalis* a *Chionaster bicornis*.

Pri mikroskopovaní sme našli rôzne bližšie neidentifikované nálevníky (Ciliophora) a hlístice (Tylenchida). Vo väčšine prípadov nálevníkov išlo už len o mŕtve organizmy. Nálevníky spolu s vírnikmi (Rotifera), hlísticami (Nematoda) a pomalkami (Tardigrada) sú súčasťou potravinového reťazca kryosestónneho spoločenstva. Príležitostne sa nachádzajú v spoločenstve kryosestónu, no o ich prítomnosti v snehu je pomerne málo záznamov (Hoham, Duval 2001; Hoham et al. 1993; Hoham 1989). Vírnik *Philodina* sp. sme zaznamenali vo viacerých vzorkách snehu odobratých z vyšších nadmorských výšok pohorí Nízkych Tatier, Vysokých Tatier, Západných a Belianskych Tatier. Odbery boli uskutočnené v období neskoršej jari a priebehu leta. Za nepriaznivých podmienok sa stiahne a prečká na vhodné podmienky. Mierny nárast teploty spôsobuje prudké pohyby a plávanie (Hickernell, 1917), čo sme mali možnosť pozorovať pri mikroskopovaní. Pomalka *Hypsibius* sp. bola nájdená živá vo vzorkách snehu odobratých v auguste v Medenej doline a v septembri v závere Zlomiskovej doliny, v období kedy sa sneh intenzívne topil. Pomalky sa vyskytujú v rôznych extrémnych habitatoch nevynímajúc ľadovce a sneh (Dastyh 1993; Greven, Dastyh, Kraus 2005; Hoham et al. 1993; Hoham 1989; Sattler et al. 2010).

ZÁVER

V práci sme uviedli stručný rozbor problematiky zaoberajúci sa spoločenstvom snežných mikroorganizmov a adaptáciami snežných rias na špecifické podmienky snežných polí. Poznatky sme doplnili vlastným výskumom snežnej mikrobioty z rôznych pohorí Slovenska. Identifikácia jednotlivých taxónov je náročná a určite si vyžaduje ďalšie pozorovania jednotlivých životných štádií a detailné fylogenetické analýzy, pre správne taxonomické určenie.

Literatúra:

- BIDIGARE, R. R., ONDRUSEK, M. E., KENNICUTT, M. C. I., ITURRIAGA, R., HARVEY, H. R., HOHAM, R. W. & MACKO, S. A., 1993. Evidence for a photoprotective function for secondary carotenoids of snow algae. *J Phycol*, Vol. **29**, s. 427–434.
- CALLAGHAN, T. V., JOHANSSON, M., BROWN, R. D., GROISMAN, P. Y., LABBA, N., RADIONOV, V., ... WOOD, E. F., 2011. Multiple Effects of Changes in Arctic Snow Cover. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, Vol. **40** (1), s. 32–45. Dostupné z [www: http://doi.org/10.1007/s13280-011-0213-x](http://doi.org/10.1007/s13280-011-0213-x).
- DASTYCH, H., 1993. Redescription of the cryoconital tardigrade *Hypsibius klebelsbergi* Mihelčič, 1959, with notes on the microslide collection of the late Dr. F. Mihelčič (Tardigrada). *Veröffentlichungen Des Museum Ferdinandeum*, Vol. **73**, s. 5–12.
- FOTT, B., 1967. *Sinice a řasy*. Praha: Academia, s. 520.
- FUJII, M., TAKANO, Y., KOJIMA, H., HOSHINO, T., TANAKA, R. & FUKUI, M., 2010. Microbial community structure, pigment composition, and nitrogen source of red snow in Antarctica. *Microbial Ecology*, Vol. **59** (3), s. 466–475. Dostupné z [www: http://doi.org/10.1007/s00248-009-9594-9](http://doi.org/10.1007/s00248-009-9594-9).
- GORTON, H. L., VOGELMANN, T. C., 2003. Ultraviolet radiation and the snow alga *Chlamydomonas nivalis* (Bauer) Wille. *Photochemistry and Photobiology*, Vol. **77** (6), s. 608–15. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12870846> XXI. Snehárske stretnutie, Biele Karpaty, 1.–3. 3. 2016.
- GORTON, H. L., WILLIAMS, W. E., VOGELMANN, T. C., 2001. The Light Environment and Cellular Optics of the Snow Alga *Chlamydomonas nivalis* (Bauer) Wille. *Photochemistry and Photobiology*, Vol. **73** (6), s. 611–620.
- GREVEN, H., DASTYCH, H., KRAUS, H., 2005. Notes on the integument of the glacier-dwelling tardigrade *Hypsibius klebelsbergi* Mihelčič, 1959 (Tardigrada). *Mitt. Hamb. Zool. Mus. Inst.*, Vol. **102**, s. 11–20.
- HICKERNELL, L. M., 1917. A study of Desiccation in the Rotifer, *Philodina roseola*, with Special Reference to Cytological Changes Accompanying Desiccation. *Biological Bulletin*, Vol. **32** (6), s. 343–406. Dostupné z [www: http://doi.org/10.2307/1536209](http://doi.org/10.2307/1536209).
- HINDÁK, F., 1970. Kryoflóra Tatier. In *Zborn. predn. zjazdu Slov. bot. spol.*, s. 279–285. Tisovec.
- HOHAM, R. W., 1989. Snow as a habitat for microorganisms. In C. P. McKay & W. L. Davis (Eds.), *Exobiology and Future Mars Missions*, s. 32–33. NASA Conf. Publ. 10027. Ames Res Center, Moffett Field, CA. Retrieved from <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19890016983.pdf>.
- HOHAM, R. W., DUVAL, B., 2001. Microbial Ecology of Snow and Freshwater Ice with Emphasis on Snow Algae. In H. G. Jones, J. W. Pomeroy, D. A. Walker & R. W. Hoham (Eds.), *Snow ecology: An Interdisciplinary Examination of Snow-Covered Ecosystems*, s. 168–228. Cambridge: Cambridge University Press.
- HOHAM, R. W., LAURSEN, A. E., CLIVE, S. O., DUVAL, B., 1993. Snow Algae and other Microbes in Several Alpine Areas in New England. In: *50th Eastern Snow Conference 61st Western Snow Conference*, s. 165–173. Quebec City.

- HOHAM, R. W., LING, H. U., 2000. Snow algae: The Effects of Chemical and Physical Factors on Their Life Cycles and Populations. In J. Seckbach (Ed.), *Journey to diverse microbial worlds. Adaptation to exotic environments*, s. 133–145. Dordrecht The Netherlands. Kluwer Academic Publishers. Dostupné z WWW: http://doi.org/10.1007/978-94-011-4269-4_10.
- HOHAM, R. W., ROEMER, S. C., MULLET, J. E., 1979. The life history and ecology of the snow alga *Chloromonas brevispona* comb. nov. (Chlorophyta, Volvocales). *Phycologia*, Vol. **18** (1), s. 55–70.
- HOHAM, R. W., SCHLAG, E. M., KANG, J. Y., HASSELWANDER, A. J., BEHRSTOCK, A. F., BLACKBURN, I. R., ... ROEMER, S. C., 1998. The effects of irradiance levels and spectral composition on mating strategies in the snow alga, *Chloromonas* sp. -D, from the Tughill Plateau, New York State. *Hydrological Processes*, Vol. **12**, s. 1627–1639.
- CHUVOCHINA, M. S., MARIE, D., CHEVAILLIER, S., PETIT, J.-R., NORMAND, P., ALEKHINA, I. A. BULAT, S. A., 2011. Community variability of bacteria in alpine snow (mont blanc) containing saharan dust deposition and their snow colonisation potential. *Microbes and Environments / JSME*, Vol. **26** (3), s. 237–247. Dostupné z WWW: <http://doi.org/10.1264/jsme2.ME11116>.
- KAWECKA, B., 1983. Biology and ecology of snow algae – 3. Sexual reproduction in *Chloromonas rostafiński* (Starmach et Kawecka) Gerloff et Ettl (Chlorophyta, Volvocales). *Acta Hydrobiol.*, Vol. **25/26** (3/4), s. 281–285.
- KOHSHIMA, S., 1984. A novel cold-tolerant insect found in a Himalayan glacier. *Nature*, Vol. **310**, s. 225–227.
- KOHSHIMA, S., YOSHIMURA, Y., SEKO, K., OHATA, T., 1994. Albedo reduction by biotic impurities on a perennial snow patch in the Japan alps. In: H. G. Jones, T. D. Davies, A. Ohmura & E. Morris (Eds.), *Snow and Ice Covers: Interactions with the Atmosphere and Ecosystems*, Vol. **223**, s. 323–330. Wallingford, UK. IAHS Publications. Dostupné z WWW: http://iahs.info/redbooks/a223/iahs_223_0323.pdf.
- KOL, E., 1968. Kryobiologie Biologie und Limnologie des Schnees und Eises I. Kryovegetation. s. 216.
- KOMÁREK, J., NEDBALOVÁ, L., 2007. Green cryosestic algae. In: J. Seckbach (Ed.), *Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments*, s. 321–342. Springer.
- KVÍDEROVÁ, J., 2010. Characterization of the Community of Snow Algae and Their Photochemical Performance in situ in the Giant Mountains, Czech Republic. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, Vol. **42** (2), s. 210–218. Dostupné z WWW: <http://doi.org/10.1657/1938-4246-42.2.210>.
- LAYBOURN-PARRY, J., HODSON, A. J., TRANTER, M., 2012. The Ecology of Snow and Ice Environments. Oxford: Oxford university Press, s. 192.
- LEDERER, F., LUKAVSKÝ, J., 2003. Řasy Šumavy. In: *Šumava, příroda, historie, život*.
- LEYA, T., RAHN, A., LÜTZ, C., REMIAS, D., 2009. Response of arctic snow and permafrost algae to high light and nitrogen stress by changes in pigment composition and applied aspects for biotechnology. *FEMS Microbiology Ecology*, Vol. **67** (3), s. 432–43. Dostupné z WWW: <http://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2008.00641.x>.
- MULLER, T., BLEISS, W., MARTIN, C.-D., ROGASCHEWSKI, S., 1998. Snow algae from northwest Svalbard: their identification, distribution, pigment and nutrient content. *Polar Biol.*, Vol. **20**, s. 14–32.
- NEDBALOVÁ, L., KOCIÁNOVÁ, M., LUKAVSKÝ, J., 2007. Ecology of snow algae in the Giant Mountains and their relation to cryoseston in Europe. *Opera Corcontica*, Vol. **44**, s. 111–120.
- NEDBALOVÁ, L., KOCIÁNOVÁ, M., LUKAVSKÝ, J., 2008. Ecology of snow algae in the Giant Mts. *Opera Corcontica*, Vol. **45**, s. 59–68.
- NOVIS, P. M., 2002. New records of snow algae for New Zealand, from Mt Philistine, Arthur's Pass National Park. *New Zealand Journal of Botany*, Vol. **40**, s. 297–312.
- REMIAS, D., KARSTEN, U., LÜTZ, C., LEYA, T., 2010. Physiological and morphological processes in the Alpine snow alga *Chloromonas nivalis* (Chlorophyceae) during cyst formation. *Protoplasma*, **243** (1–4), 73–86. Dostupné z WWW: <http://doi.org/10.1007/s00709-010-0123-y>.
- REMIAS, D., LÜTZ-MEINDL, U., LÜTZ, C., 2005. Photosynthesis, pigments and ultrastructure of the alpine snow alga *Chlamydomonas nivalis*. *European Journal of Phycology*, Vol. **40** (3), s. 259–268. Dostupné z WWW: <http://doi.org/10.1080/09670260500202148>.
- SATTLER, B., REMIAS, D., LÜTZ, C., DASTYCH, H., PSENNER, R., 2010. Leben auf Schnee und Eis. In B. Erschbamer & E. M. Koch (Eds.), *Glaziale und periglaziale Lebensräume im Raum Obergurgl*, s. 229–250. Innsbruck university press.
- SECKBACH, J., 2007. Algae and cyanobacteria in extreme environments, s. 811. Dordrecht: Springer.
- SEGAWA, T., MIYAMOTO, K., USHIDA, K., AGATA, K., OKADA, N., KOHSHIMA, S., 2005. Seasonal Change in Bacterial Flora and Biomass in Mountain Snow from the Tateyama Mountains, Japan, Analyzed by 16S rRNA Gene Sequencing and Real-Time PCR, *71*(1), 123–130. Dostupné z WWW: <http://doi.org/10.1128/AEM.71.1.123>.
- SIGEE, D. C., 2005. Freshwater microbiology: Biodiversity and Dynamic Interactions of Microorganisms in the Aquatic Environment, s. 525. Chichester, West Sussex, England.: John Wiley & Sons Ltd.

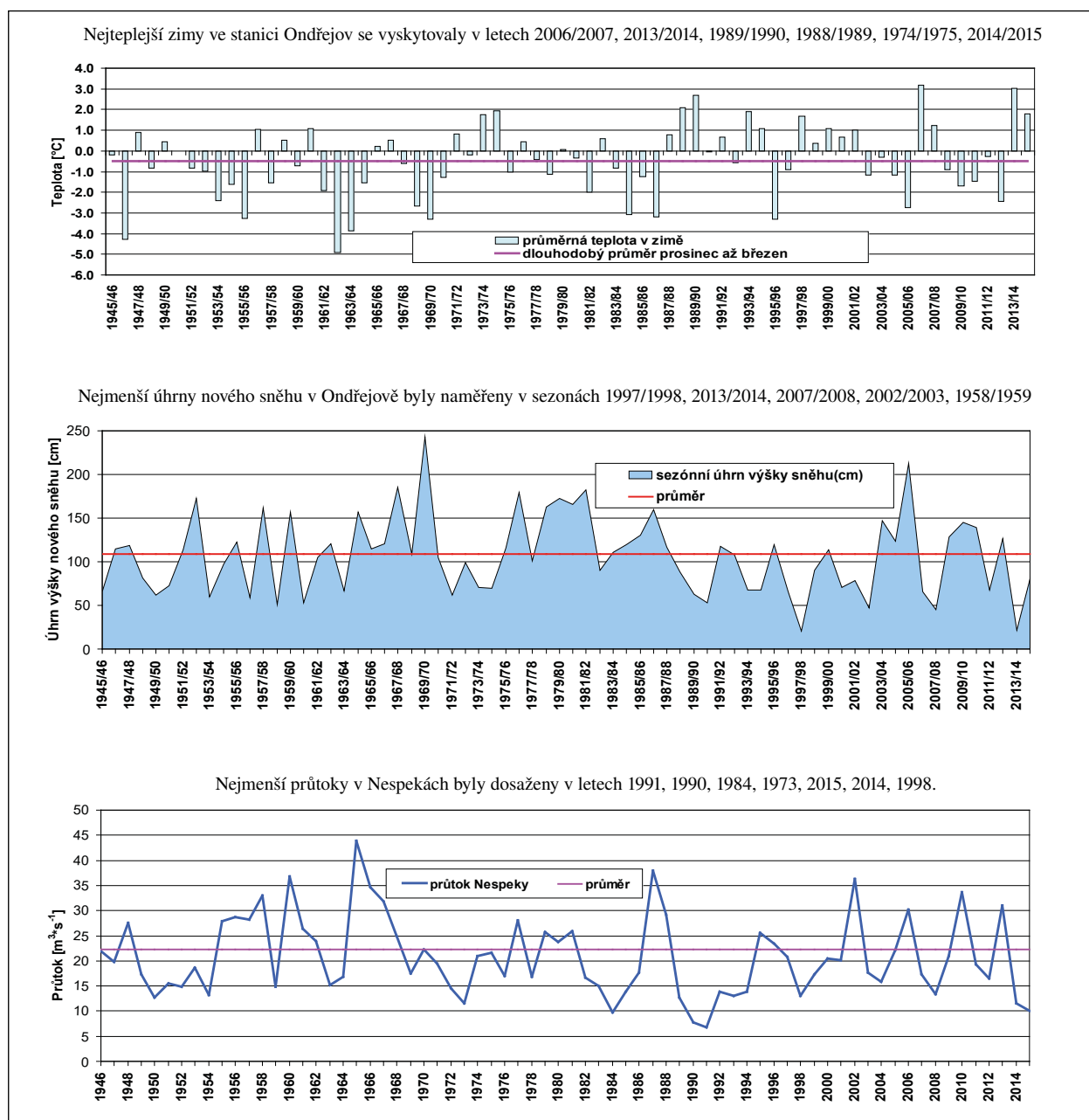
- STIBAL, M., 2001. Řasová společenstva sněhu: Jejich ekofyziologické nároky a životné cykly. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- STIBAL, M., ELSTER, J., 2005. Growth and morphology variation as a response to changing environmental factors in two Arctic species of Raphidonema (Trebouxiophyceae) from snow and soil. *Polar Biology*, Vol. **28** (7), s. 558–567. Dostupné z WWW: <http://doi.org/10.1007/s00300-004-0709-y>.
- STIBAL, M., ŠABACKÁ, M., ŽÁRSKÝ, J., 2012. Biological processes on glacier and ice sheet surfaces. *Nature Geoscience*, (October), 1–4. Dostupné z www: <http://doi.org/10.1038/NGEO1611>.
- TAKEUCHI, N., DIAL, R., KOHSHIMA, S., SEGAWA, T., UETAKE, J., 2006. Spatial distribution and abundance of red snow algae on the Harding Icefield, Alaska derived from a satellite XXI. image. *Geophysical Research Letters*, Vol. **33** (21), L21502. Dostupné z WWW: <http://doi.org/10.1029/2006GL027819>.
- THOMAS, W. H., DUVAL, B., 1995. Sierra Nevada, California, U.S.A., Snow Algae: Snow Albedo Changes, Algal-Bacterial Interrelationships, and Ultraviolet Radiation Effects. *Arctic and Alpine Research*, Vol. **27** (4), s. 389–399.
- UETAKE, J., NAGANUMA, T., HEBSGAARD, M. B., KANDA, H., KOHSHIMA, S., 2010. Communities of algae and cyanobacteria on glaciers in west Greenland. *Polar Science*, Vol. **4** (1), s. 71–80. Dostupné z WWW: <http://doi.org/10.1016/j.polar.2010.03.002>.
- VOGT, C., 1841. Notice of the animalcules of the snow. *Micro. J. Struct. Rec.*, Vol. **1**, s. 81–85.
- WILLIAMS, W. E., GORTON, H. L., VOGELMANN, T. C., 2003. Surface gas-exchange processes of snow algae. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. **100** (2), s. 562–6. Dostupné z WWW: <http://doi.org/10.1073/pnas.0235560100>.
- YOSHIMURA, Y., KOHSHIMA, S., TAKEUCHI, N., SEKO, K., FUJITA, K., 2006. Snow algae in a Himalayan ice core: new environmental markers for ice-core analyses and their correlation with summer mass balance. *Annals of Glaciology*, Vol. **43** (1), s. 148–153. Dostupné z WWW: <http://doi.org/10.3189/172756406781812276>.

HODNOCENÍ VLIVU SNĚHOVÝCH ZÁSOB NA VELIKOST PRŮTOKŮ

Pavla Řičicová

Český hydrometeorologický ústav, Praha, ríčov@chmi.cz

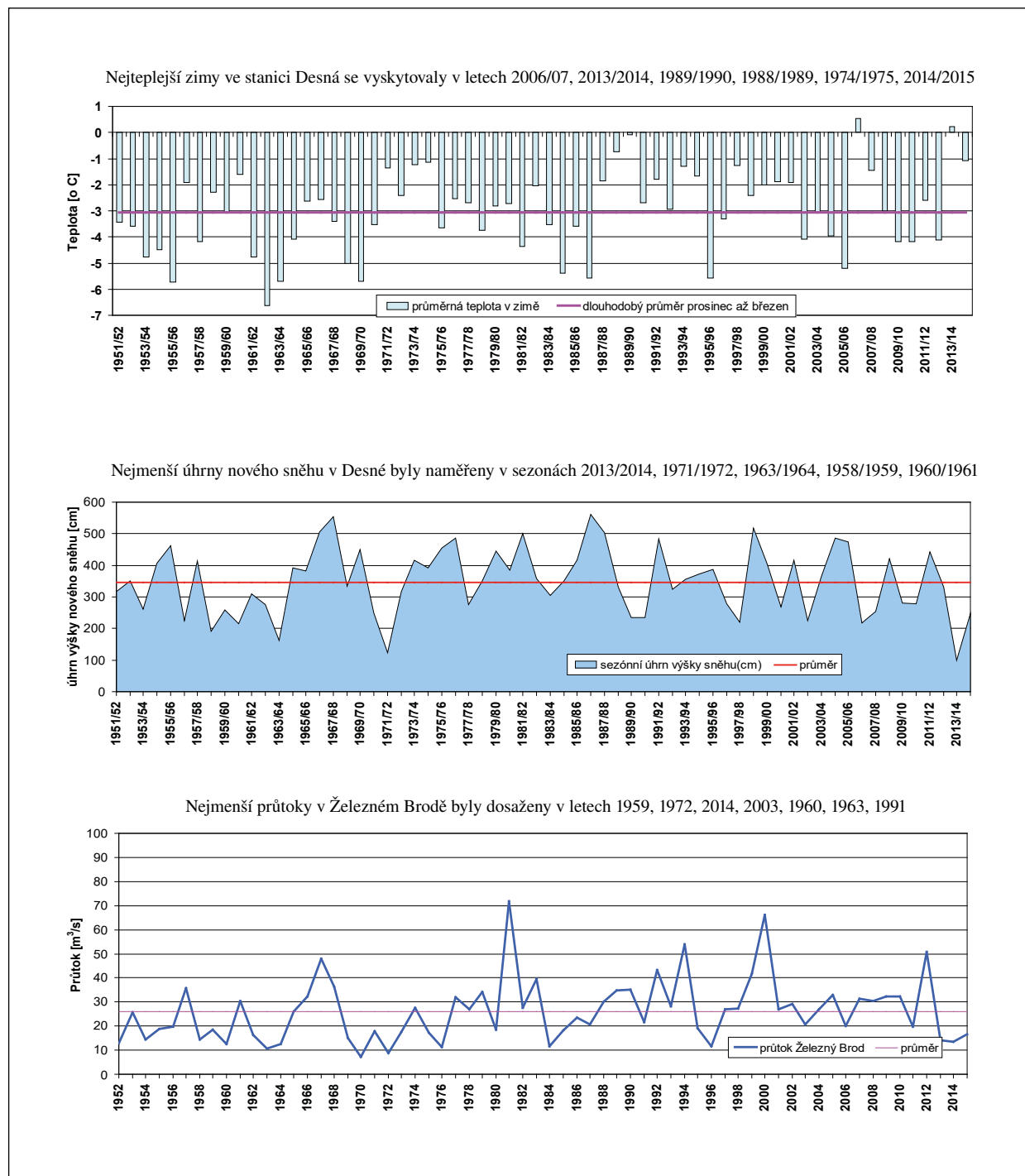
Pro hodnocení vlivu sněhové pokrývky na velikost průtoků v hydrologicky suchých obdobích jsme vybrali čtyři vzájemně odlišná povodí, v různých nadmořských výškách. Jedná se o tři horská povodí, a to v Jizerských horách, na Šumavě a v Jeseníkách, čtvrté povodí je pahorkatinná oblast dolního toku Sázavy. Všechny vybrané stanice, jak klimatologické, tak hydrologické jsou pro dané oblasti reprezentativní s relativně dlouhou dobou pozorování. Porovnávali jsme hodnoty průměrů teplot za zimní měsíce (prosinec až březen) s úhrnem nového sněhu ve stejném období a sledovali velikost průměrných ročních průtoků v daném roce. Zkoumali jsme rovněž, do jaké míry malé sněhové zásoby ovlivnily vývoj průtoků v následujících měsících.



Obr. 1 Průběhy průměrných teplot v zimním období, úhrnů nového sněhu a průměrných ročních průtoků v povodí Sázavy.

POVODÍ SÁZAVY

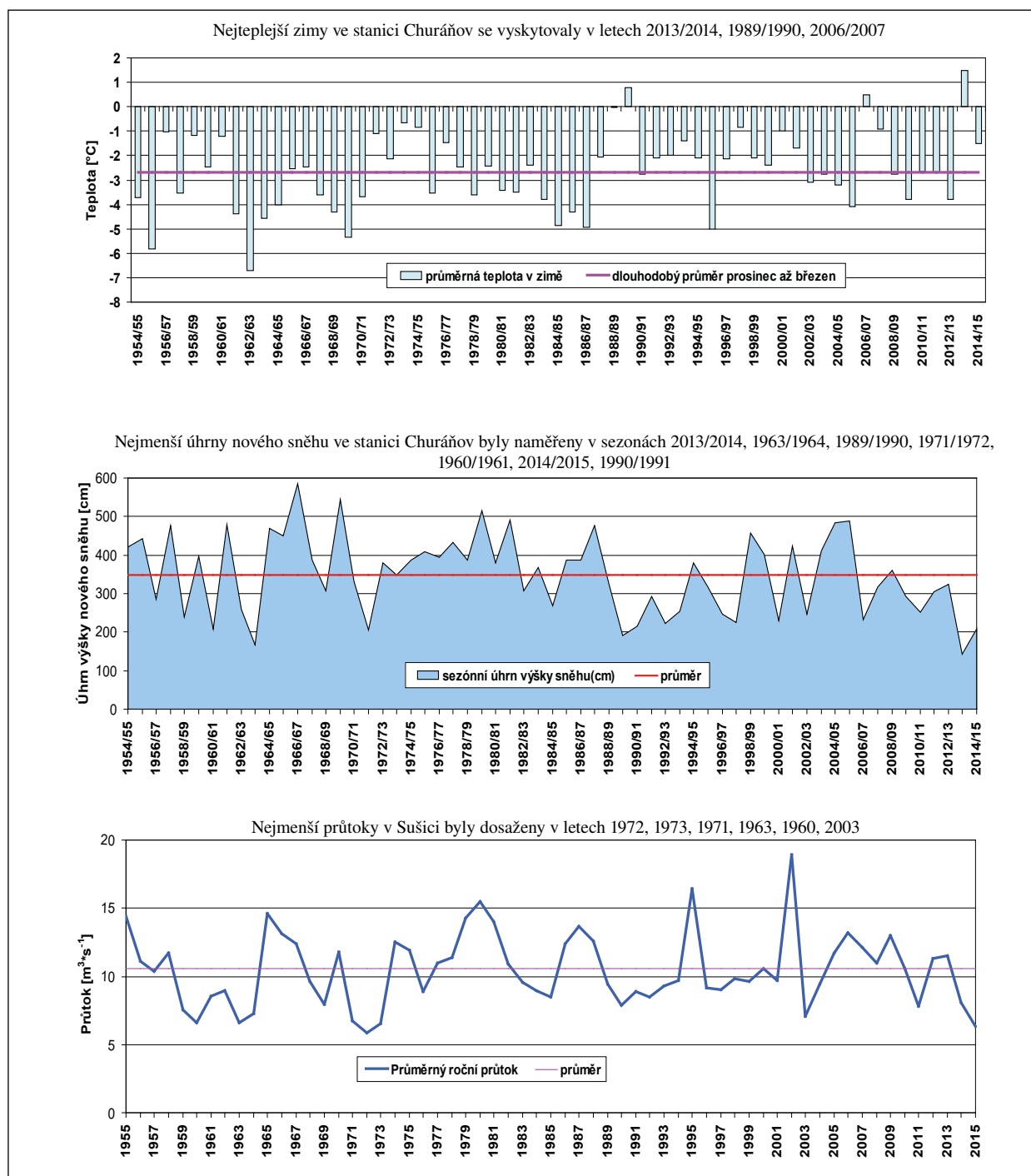
Pro povodí Sázavy se závěrovým profilem v Nespekách byla k dispozici 70letá řada měření výšky sněhu a teplot ve stanici Ondřejov (485 m n. m.), obr. 1. Nejmenší průtoky za celou dobu pozorování byly naměřeny v letech 1991 a 1990, čemuž odpovídalo v sezóně 1990/1991 jen 50 % úhrnu nového sněhu vzhledem k průměru a rovněž teplotně byla zima nad normálem o +2,2 °C (třetí v pořadí). Hodnotám průtoku málovodného roku 2014, šestého v pořadí, s 52 % Q_a , odpovídal druhý nejmenší naměřený úhrn sněhu (20 %) s nadnormální teplotou +2,5 °C (rovněž druhá v pořadí). I když následující rok 2015 byl o málo chladnější, přesto stále nadnormální (s teplotní odchylkou +1,3 °C) a sněhovými zásobami o málo bohatšími (73 %), došlo k mírnému poklesu průměrného průtoku na 50 % Q_a . Rok 2015 byl čtvrtý nejmenší za 70 let.



Obr. 2 Průběhy průměrných teplot v zimním období, úhrnů nového sněhu a průměrných ročních průtoků v povodí horní Jizery.

POVODÍ HORNÍ JIZERY

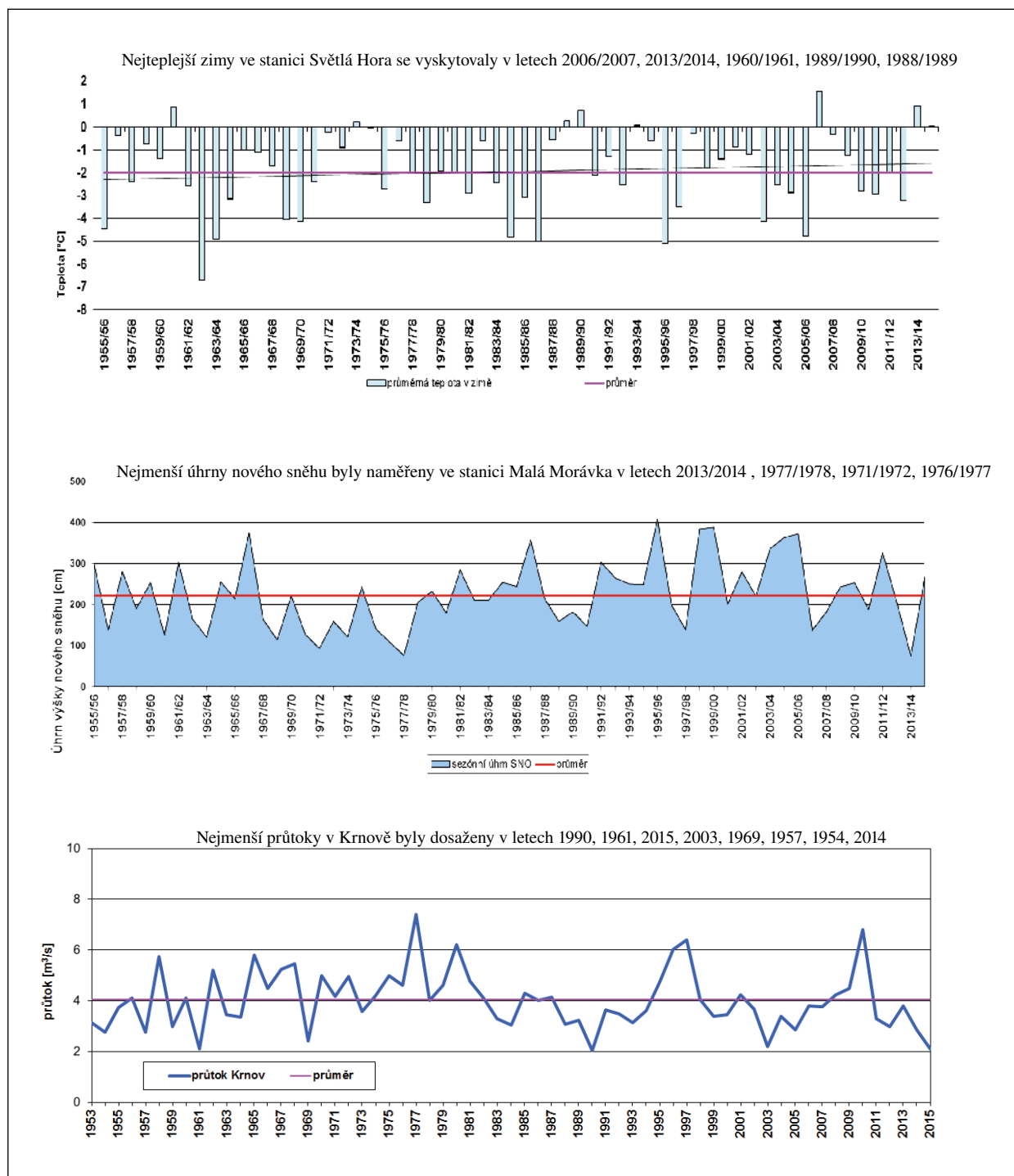
Pro posuzování více než 60leté řady průtoků v Železném Brodě na Jizeře byla vybrána klimatická stanice Desná v Jizerských horách (770 m n. m.), obr 2. Nejmenší průtoky za celou dobu pozorování byly naměřeny v letech 1959, 1972, 2014. Teplotně však pouze sezona 2013/14 byla výjimečná a zařadila se na druhé místo za období 2006/07. Tyto jediné dvě zimy měly kladnou hodnotu průměru, $+0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, s odchylkami od normálu $+2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zima 2013/14 byla tedy výjimečná malými sněhovými zásobami i teplotou, průtokově s $58\% Q_a$ se řadí na 3. místo. Rok 2015 byl vodnější, se $72\% Q_a$, rovněž sněhové zásoby byly mírně větší – představovaly 72% průměru a s odchylkou od teplotního normálu $+2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ byla tato zima 5. nejteplejší za celou dobu pozorování. Průtoky v roce 2003 představovaly $62\% Q_a$ (4. v pořadí) zásoby sněhu činily 65% průměru a teplotně byla zima podprůměrná.



Obr. 3 Průběhy průměrných teplot v zimním období, úhrnů nového sněhu a průměrných ročních průtoků v povodí Otavy.

POVODÍ HORNÍ OTAVY

Na Otavě v profilu Sušice (s klimatologickou stanicí Churáňov) byla významná suchá období v 70 a 60. letech (55 až 63 % Q_a), a tomu také odpovídaly podprůměrné zásoby sněhu (48 až 59 %), obr. 3. Tyto hodnoty ale nebyly v historii pozorování na Churáňově nejmenší zaznamenané. Nejmeně sněhu napadlo v sezoně 2013/2014 (41 %), to byla také nejteplejší zima s průměrnou teplotou 1,5 °C a odchylkou od normálu + 4,2 °C, průměrný průtok však nebyl nijak výjimečný 76 % Q_a . Další v pořadí teplé zimní období bylo v letech 1989/90 a tento rok také patřil ke sněhově velmi chudým, průtokové též podprůměrný, ale ne významně (74 % Q_a). Rok 2003 patřil mezi hydrologicky suché roky (66 % Q_a), sněhové zásoby byly asi třičtvrtinové oproti normálu, teploty však byly podprůměrné.



Obr. 4 Průběhy průměrných teplot v zimním období, úhrnů nového sněhu a průměrných ročních průtoků v povodí Otavy.

POVODÍ HORNÍ OPAVY

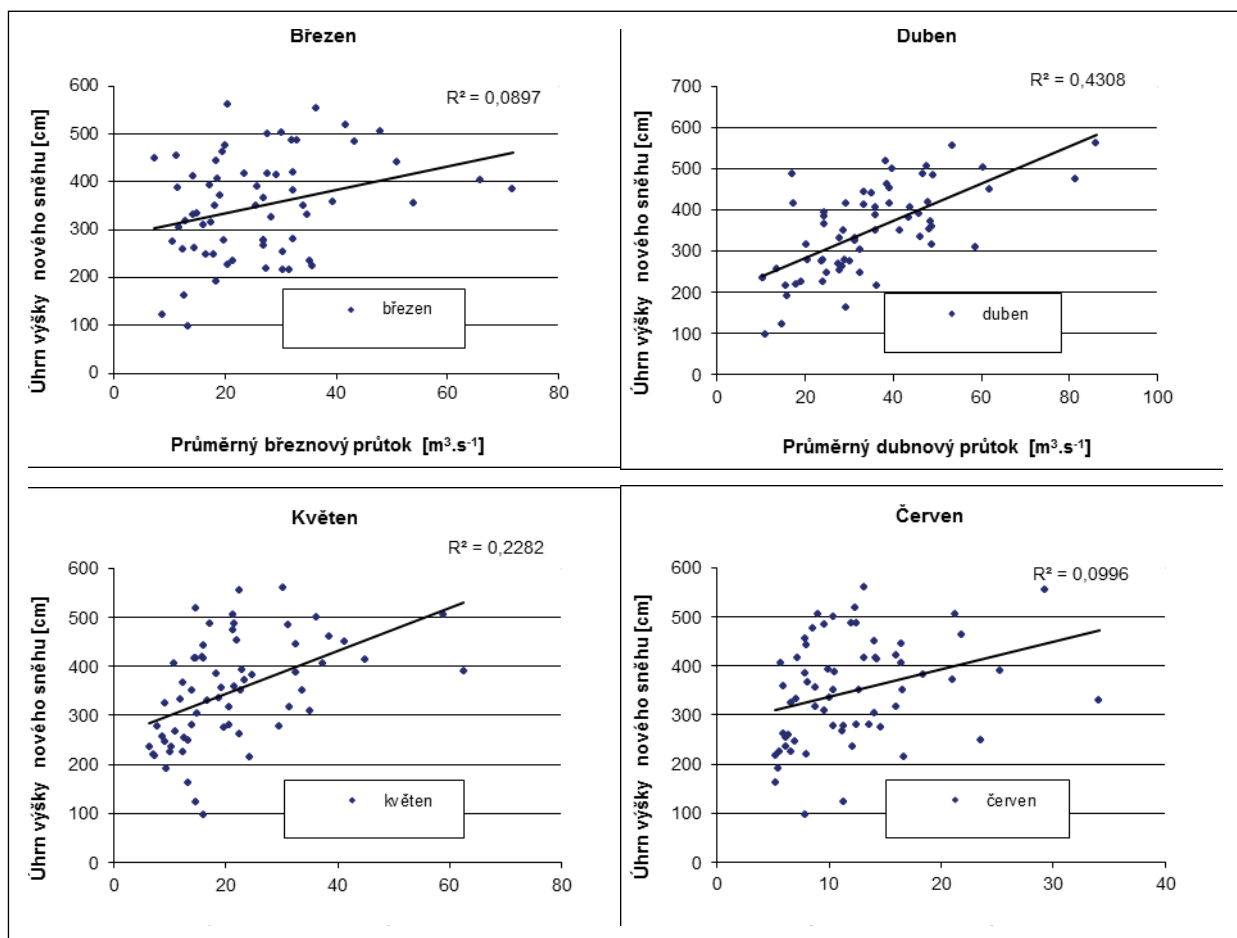
Pro povodí Opavy k hydrologickému profilu Krnov byla pro měření srážek vzata v úvahu stanice Malá Morávka (735 m n. m.), pro údaje teplot stanice Světlá Hora, která je v přibližně stejné nadmořské výšce, (kolem 750 m n. m.), obr. 4. Nejmenší průtok byl zaznamenán v roce 1990, tomu odpovídala podprůměrná sněhová zásoba (67 %) a čtvrtá nejteplejší zima od roku 1955 (odchylka od normálu +2,7 °C). Zimní sezona 2013/2014, která měla nejmenší sněhovou zásobou (34 %) za celou dobu pozorování, byla druhou nejteplejší v pořadí (odchylka od normálu +2,9 °C) za sezónou 2006/2007, kde odchylka od normálu činila +3,6 °C a průměrný roční průtok byl jen mírně podprůměrný se 70 % Q_a . V roce 2015 byl průměrný roční průtok třetí nejmenší (52 % Q_a), sněhové zásoby byly vcelku průměrné (120 %), ale teplotně byla zima nadprůměrná s odchylkou od normálu +2,1 °C.

SOUHRN HODNOCENÍ ROKŮ 2014 A 2015

Průtokovým hodnotám v roce 2014 na Sázavě v Nespekách odpovídal druhý nejmenší naměřený úhrn sněhu (20 %), průměrná teplota této zimní sezóny s odchylkou od normálu +2,5 °C, byla rovněž druhá v pořadí 70leté řady pozorování. Celkový úhrn nového sněhu v sezóně 2014/2015 v Ondřejově byl mírně podprůměrný (73 %) a zima byla teplotně nadprůměrná (+1,3 °C).

Zima 2013/2014 v povodí horní Jizery byla výjimečná nejmenšími sněhovými zásobami i teplotou (druhá v pořadí za zimou 2006/2007) a průtokově s 58 % Q_a se zařadila na 3. místo (za 1959 a 1972). Průměrný průtok za rok 2015 byl mírně větší než rok 2014 (72 % Q_a), stejně tak i zásoby sněhu byly mírně větší (71 %) a teplotně byl rok nadprůměrný s odchylkou +2 °C nad normálem (5. v pořadí).

V povodí Otavy v klimatologické stanici Churáňov, napadlo nejméně sněhu v sezóně 2013/2014 (41 %), to byla také nejteplejší zima s průměrnou teplotou +1,5 °C a odchylkou od normálu 4,2 °C. Průměrný průtok, 76 % Q_a , byl 14. v pořadí 60leté řady pozorování. Sněhové zásoby v roce 2015 byly v pořadí 6. nejmenší od roku 1955, teplotně byla zima nadnormální, avšak ne výjimečně. Průměrný průtok byl menší než v roce 2015 (65 % Q_a), na sedmém místě.



Obr. 5 Korelační závislost úhrnů výšek nového sněhu a průměrných průtoků v březnu až červnu v povodí horní Jizery.

I v povodí Opavy se rok 2013/2014 jeví klimatologicky mimořádný. Naměřený úhrn sněhu (34 % průměru), byl nejmenší od roku 1956, teplotně byl druhý v pořadí (odchylka je 2,9 °C) za nejteplejší zimní sezonou 2006/2007 (odchylka 3,6 °C). Průměrný roční průtok odpovídal cca 70 % Q_a . V roce 2015 byly sněhové zásoby vcelku průměrné, teplota 7. nejteplejší v pořadí, roční průtok byl menší než v roce 2014, činil jen 52 % Q_a .

HODNOCENÍ Vlivu SNĚHOVÝCH ZÁSOb NA VELIKOST JARNÍCH PRŮTOKŮ

Dále jsme hodnotili, jaký vliv mají sněhové zásoby na odtok v jarních, případně letních, měsících. Soustředili jsme se na roky s nejmenšími zaznamenanými zásobami (úhrn nového sněhu za zimní sezonu) v reprezentativní klimatologické nebo srážkoměrné stanici a sledovali velikost odtoku v tomto roce v březnu až červnu, případně i v červenci.

V povodí Sázavy prokazatelně malým sněhovým zásobám v letech 1989/1990, 1990/1991, 1997/1998, 2013/2014, 1949/1950 odpovídaly malé roční průtoky a dále i malé průtoky v jarních měsících, březen až květen, případně i v červnu (1990, 1991, 1950).

V povodí Jizery malé sněhové zásoby v letech 2014, 1972, 1964, 2007 a 1959 dostatečně nenavýšily březnové a hlavně ani dubnové průtoky, ty zůstaly v řadě pozorování rovněž jedny z nejmenších. V roce 1990, kdy bylo rovněž málo sněhu, se vyskytovaly mimořádně nízké průtoky až do léta a v roce 2015 byly relativně suché až letní měsíce.

V povodí Otavy, v letech se silně podnormálními sněhovými zásobami 2014, 1964 a 1990, byly značně podprůměrné průtoky od března až do července, stejně tak jako roční průtoky. V roce 2015, kdy byly zásoby rovněž mimořádně malé, se sucho projevovalo až od května.

V povodí Opavy v sněhově chudých letech se vyskytovaly v jarních měsících malé průtoky méně často než v ostatních povodí. Jistou závislost jsme mohli pozorovat v letech 1957, 1961 a 1964.

Pro všechna povodí byl sestaven korelační vztah mezi sněhovou pokrývkou v daném roce a příslušnými průměrnými měsíčními průtoky březen až červen. Nejtěsnější vztah většinou vykazovaly měsíce, kdy odtává sníh, tedy v dubnu, v povodí Sázavy, které má nejnižší nadmořskou výšku to byl březen. Výjimkou byla Otava v Sušici, kde byl pro květen korelační koeficient 0,65. Přesto však korelační koeficienty byly poměrně malé, od 0,2 do 0,65. V dalších měsících koeficient klesal, příkladem je průběh korelací pro povodí Jizery na obr. 5. Výsledky naznačují, že zkoumaný korelační vztah je poměrně volný. Je to způsobeno tím, že velikost odtoku ovlivňují další činitelé, zejména srážky, nasycenost půdy, teplota vzduchu i teplota půdy a její promrznutí.

ZÁVĚR

Všeobecně lze shrnout, že pro všechna testovaná povodí platilo, že v letech, kdy byly významněji podprůměrné průtoky, byly i sněhové zásoby podnormální, nanejvýše normální. Ale naopak není pravidlem, že v letech s malými zásobami sněhu musí vždy malé hodnoty ročních průtoků, které jsou závislé zejména na srážkové činnosti v ostatních obdobích roku.

HLAVNÉ VÝSLEDKY DOSIAHNUTÉ V OBLASTI HYDROLÓGIE SNEHU NA ÚSTAVE HYDROLÓGIE SAV OD SNEHÁRSKEHO STRETNUTIA V ROKU 2013

Ladislav Holko

Ústav hydrológie SAV, Liptovský Mikuláš, holko@uh.savba.sk

ÚVOD

Snehová pokrývka je v povodí Jaloveckého potoka v Západných Tatrách, v ktorom Ústav hydrológie SAV v roku 1986 začal vykonávať hydrologický výskum zložiek vodnej bilancie v horách, významným javom. Preto je sneh pravidelnou súčasťou našich meraní a projektov. V poslednom období sme sa venovali nasledujúcim otázkam hydrológie snehu:

- Využitie informácií zo satelitných snímok MODIS na určenie nadmorskej výšky snežnej čiary a pokrytia územia snehom (Krajčí et al. 2014a, 2014b). V tejto oblasti bola navrhnutá nová metodika určovania výšky snežnej čiary, ktorá môže pomôcť aj pri lepšom odstraňovaní vplyvu oblačnosti zo satelitných snímok.
- Vzťah výšky a vodnej hodnoty snehu v povodí Jaloveckého potoka (Danko et al. 2014). Okrem spracovania meraných údajov z obdobia 1987–2013 bolo jedným z hlavných výsledkov vytvorenie máp priestorového rozdelenia výšky, hustoty a vodnej hodnoty snehu.
- Úloha snehu v hydrologickom cykle povodia horného Váhu (Holko et al. 2013, Penna et al. 2014); výsledky sú stručne opísané nižšie.

Okrem vyššie uvedených úloh pokračujú pravidelné merania charakteristík snehu v povodí Jaloveckého potoka a postupne sa snažíme dopĺňať naše poznatky pomocou nových prístrojov. V tomto príspevku stručne predstavíme výsledky získané v rámci riešenia projektu venovaného úlohe snehu v povodí horného Váhu, prvé merania hustoty a obsahu vody v snehu zariadením Snow Fork a tradične ukážeme porovnanie vodnej hodnoty snehu v povodí Jaloveckého potoka v prebiehajúcej zime (2014) s predchádzajúcimi zimami.

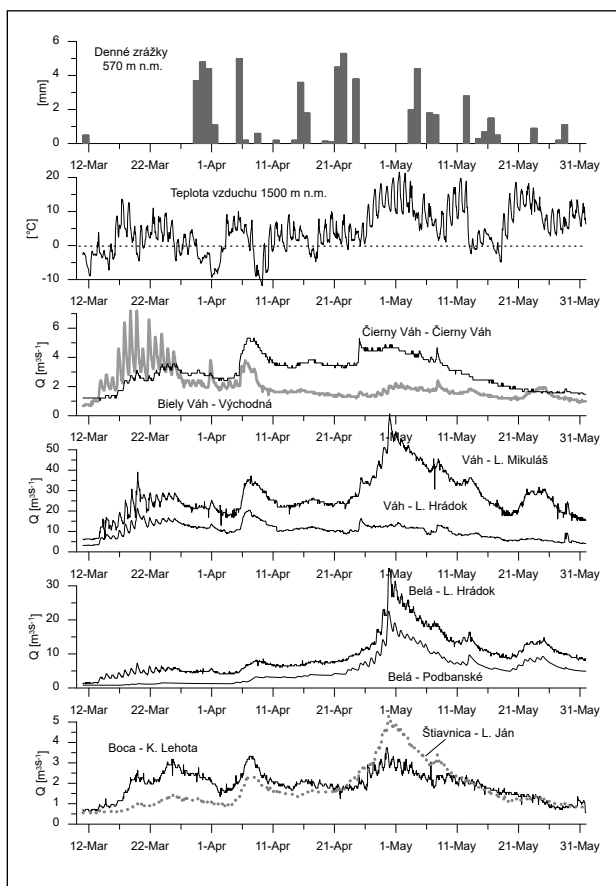
ÚLOHA SNEHU V POVODÍ HORNÉHO VÁHU PO L. MIKULÁŠ

V zimách 2010–2014 sme na základe množstva údajov o charakteristikách snehu, izotopickom zložení vody v rôznych častiach hydrologického cyklu spojených o snehom (sneženie, snehová pokrývka, voda z topiaceho sa snehu, pôdna voda, pramene a povrchové toky počas jarného obdobia), klimatických a hydrologických údajov, určovali príspevok vody zo snehu k celkovému odtoku z povodia rôznej veľkosti, príspevok snehu k podzemnej vode v troch prameňoch, dĺžku vplyvu vody z roztopeného snehu na odtok z povodia aj priemernú dobu prechodu vody zo snehu povodím. Tri z piatich skúmaných zím boli snehovo veľmi slabé (2010, 2011, 2014), jedna bola nadpriemerná (2012), jedna priemerná (2013). Analýza priebehu snežnej čiary, ukázala, že v období s najväčším rastom prítokov spôsobeným topením snehu (koniec apríla) sneh pokrýva už len približne 14 % povodia horného Váhu. Analýzou teplotného faktora určeného pomocou meraných údajov o vodnej hodnote snehu a teplote vzduchu v povodí Jaloveckého potoka sme zistili, že pri topení sa na každý stupeň teploty vzduchu nad kritickou hodnotou 0°C v priemere (medián) uvoľní 3,6 mm vody. Vývoj prítokov na tokoch v povodí horného Váhu počas zimy s dobrými snehovými podmienkami ukazuje dva základné typy režimu (obr. 1):

- na začiatku topenia sa zvyšuje prítok v povodiach, ktorých veľká časť leží v Liptovskej kotline (napr. Biely Váh, Hybica, čiastočne Čierny Váh). Režim prítoku v týchto povodiach určuje aj priebeh prítoku v záverečnom profile Váhu v Liptovskom Mikuláši. Horské prítoky zo Západných Tatier v tomto období majú ešte nízky prítok. Režim prítokov v prítokoch z Nízkych Tatier je rôzny – na niektorých sa topenie snehu už prejavuje (Boca), na iných nie (Štiavnica, Demänovka).
- v období intenzívneho topenia snehu v Západných a Nízkych Tatrách na konci apríla a začiatku mája dosahujú prítoky Váhu maximum. V tomto období už jeho prítoky nad Liptovským Hrádkom (Biely Váh, Čierny Váh, Hybica, ale aj Váh Liptovskom Hrádku) majú stabilný prítok. Režim prítoku Váhu v Liptovskom Mikuláši je určený režimom prítoku v prítokoch zo Západných Tatier (najmä Belej). Postupové doby vlín sú podľa analýzy hodinových údajov najčastejšie okolo dvoch hodín. Podobné časové rozdiely sme zistili aj v povodí Jaloveckého potoka (od horskej časti až po záverečný profil ležiaci v Liptovskej kotline), ktoré reprezentuje menšie prítoky Váhu pritekajúce zo Západných Tatier.

Stabilné izotopy kyslíka a vodíka vo vode ukázali, že počas prvej fázy topenia snehu je podiel snehu na celkovom odtoku minimálny (do 10 %). V období maximálnych jarných prietokov na konci snehovo bohatej zimy 2012 tento podiel narástol až do 60 %. Rozdiely v príspevku vody z topiaceho sa snehu k celkovému odtoku pre povodia rôznej mierky (22, 45, 1 100 km²) neboli veľké. Výsledky separácie zložiek odtoku pomocou stabilných izotopov boli podobné výsledkom separácie pomocou dvoch numerických metód (digitálny filter Eckhardta a analytická metóda Fureyu a Guptu), ktoré sa používajú na rýchle určenie základného odtoku z ľahko dostupných údajov o prietoku. Tým sa ukázalo, že na rozdiel od iných separačných metód zložky odtoku separované týmito dvoma metódami **môžu** odrážať skutočné pomery tvorby odtoku v povodí. Treba však zdôrazniť, že pri každej separačnej metóde možno zmenou parametrov **ľubovoľne** nastaviť priebeh separovaného základného odtoku. Bez nezávislého overenia priebehu separovaného základného odtoku získaného najmä digitálnymi fitami preto nie je možné tvrdiť, že reprezentuje procesy tvorby odtoku v povodí (Holko a Španková, 2014).

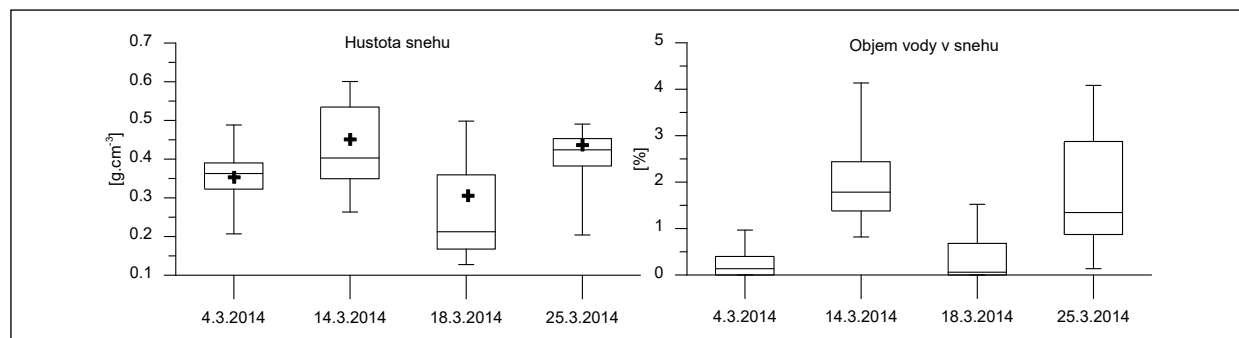
Podľa informácií získaných pomocou stabilných izotopov kyslíka a vodíka, k dopĺňaniu podzemnej vody v najvrchnejšej zvodni dochádza najmä počas topenia snehu. Izotopické zloženie vody v prameňoch poukázalo na vytlačanie vody prítomnej v povodí ešte pred začiatkom topenia snehu vodou z topiaceho sa snehu infiltrujúcou do pôdy. Vypočítaný príspevok vody zo snehu k podzemnej vode s plytkým obehom dosahoval maximálne okolo 50 %. Hydrometrické a izotopické údaje dokumentujú, že vplyv snehu v povodí sa viditeľne prejavuje najmenej do konca júna, čiže približne 2–3 mesiace po roztopení snehu. Podľa stabilných izotopov však voda zo snehu v povodí v priemere zostáva dlhšie (0,5–3 roka).



Obr. 1 Rozdielny režim prietokov v povodí horného Váhu po Lipetovský Mikuláš na jar 2012; prevzaté z Holko et al. (2013).

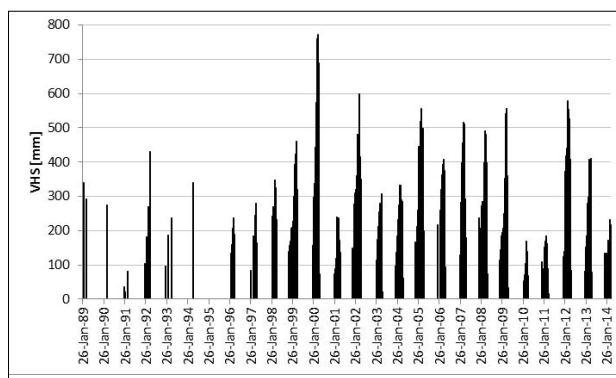
MERANIE HUSTOTY A OBSAHU VODY V SNEHU POMOCOU ZARIADENIA SNOW FORK

Obsah vody v snehu je jednou z charakteristík, ktoré sa bežne používajú v matematických modeloch akumulácie a topenia snehu. Jej terénne merania sú však zriedkavé a v modeloch sa obyčajne maximálna hodnota nastavuje na 10%. V súčasnosti sú už dostupné zariadenia, ktoré obsah vody v snehu umožňujú jednoducho merať aj priamo v teréne. Jedno z nich sa nedávno podarilo získať aj Ústavu hydrológie SAV. Zariadenie Snow Fork meria hustotu snehu a objem vody v ňom. Prvé výsledky z lokality Červenec v povodí Jaloveckého potoka sú znázornené na obr. 2. Merania boli vykoná-



Obr. 2 Hustota snehu a objem vody v ňom merané v snehových jamách v nadmorskej výške 1 500 m n. m. pomocou zariadenia Snow Fork; krížik znázorňuje hustotu snehu meranú váhovým snehomerom.

vané v snehových jamách. Počet meraní v každom termíne bol 30–40, pričom merania boli vykonávané na stene snehovej jamy v celej hĺbke snehového profilu. Ľavá časť obr. 2 ukazuje aj hodnotu hustoty snehu meraní klasicky váhovým snehomermom (jedno meranie s jadrom z celej snehovej pokrývky). Snehová pokrývka v zime 2014 nedosahovala veľké hodnoty (obr. 3) a rýchlo sa roztopila. To môže byť príčinou, prečo naše merania zachytili len nízke hodnoty objemu vody v snehu.



ZIMA 2014 Z POHLADU HISTORICKÝCH ÚDAJOV

Obr. 3 Vodná hodnota snehu na lokalite červenec v zimách 1989–2014.

Zima 2014 bola v povodí Jaloveckého potoka jednou z najslabších zím od začiatku našich meraní (obr. 3). Aj keď maximum merané na Červenci nebolo v porovnaní s predchádzajúcimi rokmi absolútne najnižšie, už prvý aprílový týždeň bola vodná hodnota snehu len 71 mm. Takéto hodnoty sa na tejto lokalite vyskytujú až tesne pred roztopením snehu na konci apríla.

Literatúra:

- DANKO, M., KRAJČI, P., HLAVČO, J., 2014. Vzťah výšky snehovej pokrývky a vodnej hodnoty snehu v lese a na voľnej ploche v povodí Jaloveckého potoka. *Acta Hydrologica Slovaca*, Vol. **15**, 1, s. 116–128.
- HOLKO, L., DANKO, M., KOSTKA, Z., LIOVÁ, S., 2013. Vývoj odtoku v riečnej sieti horského povodia počas topenia snehu. *Acta Hydrologica Slovaca*, Vol. **14**, 2, s. 372–379.
- HOLKO, L., ŠPANKOVÁ, D., 2014. Základný odtok v horskom povodí Jaloveckého potoka v rokoch 1988–2013. *Acta Hydrologica Slovaca*, Vol. **15**, 2, s. 229–237.
- KRAJČI, P., HOLKO, L., PARAJKA, J. 2014a. Priebeh snežnej čiary v povodí horného Váhu v zimách 2001–2013. *Acta Hydrologica Slovaca*, Vol. **15**, 1, s. 110–115.
- KRAJČI, P., HOLKO, L., PERDIĀGO, R., PARAJKA, J. 2014b. Estimation of regional snowline elevation (RSLE) from MODIS images for seasonally snow covered mountain basins. *Journal of Hydrology*, Vol. **519**, s. 1769–1778.
- PENNA, D., AHMAD, M., BIRKS, S. J., BOUCHAOU, L., BREŇIČ, M., BUTT, S., HOLKO, L., JEELANI, G., MARTÍNEZ, D., MELIKADZE, G., SHANLEY, J. B., SOKRATOV, S., STADNYK, T., SUGIMOTO, A., VREČA, P., 2014. A new method of snowmelt sampling for stable water isotopes. *Hydrological Processes*, DOI: 10.1002/hyp.10273.

APLIKACE CLUSTEROVÉ ANALÝZY A VÍCENÁSOBNÉ LINEÁRNÍ REGRESE PRO VÝPOČET VLIVU VEGETACE A TOPOGRAFIE NA AKUMULACI A TÁNÍ SNĚHU

Hana Pevná¹, Michal Jeníček¹, Ondřej Matějka¹

¹Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie,
Praha 2, hana.pevna@natur.cuni.cz

ÚVOD

Sněhová pokrývka představuje v našich zeměpisných podmínkách velmi důležitou roli v hydrologickém cyklu. Během dlouhého období v zimě jsou srážky akumulovány ve formě sněhu a v relativně krátkém období na jaře jsou akumulované srážky uvolněny. To ovlivňuje nejen hydrologický režim, ale i další složky fyzickogeografické sféry – např. klima či biosféru a socioekonomickou sféru.

Na průběh akumulace mají vliv fyzickogeografické faktory:

- 1) Klimatologické – úhrn srážek, teplota vzduchu, rychlost a směr větru
- 2) Geomorfologické – nadmořská výška, sklon a expozice
- 3) Vegetace.

Vliv fyzickogeografických faktorů je zkoumán ve dvou povodích v Krušných horách (povodí horní Bystřice a povodí Zlatého potoka) a v jednom povodí na Šumavě (povodí Ptačího potoka). Měření jsou pravidelně prováděna od zimy 2008/2009.

Výsledky měření jsou analyzovány pomocí jednorozměrných a vícerozměrných analýz. Konkrétně byly využívány regresní rovnice, shluková analýza a korelační analýza. Na základě výsledků analýz je hodnocena míra posuzovaných faktorů na sněhovou pokrývku v experimentálních povodích.

MATERIÁL A METODY

Měření sněhové pokrývky probíhají v experimentálních povodích v Krušných horách (povodí horní Bystřice a Zlatého potoka) a na Šumavě (povodí Ptačího potoka) od zimy 2008/2009. Na povodí Bystřice je měřeno celkem 16 profilů, které jsou sdruženy do 10 lokalit. Na povodí Zlatého potoka je měřeno 15 profilů, které jsou sdruženy do 9 lokalit, a na povodí Ptačího potoka je měřeno celkem 16 profilů, které jsou sdruženy v 10 lokalitách. Na jednotlivých lokalitách jsou vždy měřeny 1–2 profily, podle typu vegetace. Jeden profil je měřen v zalesněném území a jeden profil je měřen na otevřené ploše. V rámci profilu je vždy měřeno 5 bodů, v každém bodě je zjišťována výška sněhové pokrývky a v 1. a 5. bodě je měřena vodní hodnota sněhu. Ta je zjišťována pomocí sněhoměrného válce o výšce 150 cm (resp. 100 cm) a průřezu válce 50 cm². U každého měřeného bodu je zaznamenán typ vegetace, nadmořská výška, sklon a expozice. V 1. a 5. bodě měřeného profilu byl pořízen hemisférický snímek oblohy, pro přesnější klasifikaci vegetace.

Naměřená data byla zpracovávána pomocí jednorozměrných a vícerozměrných statistických analýz v programech MS Excel a Statistica. Hemisférické snímky byly analyzovány v programu Gap Light Analyzer. Hodnoceno bylo celkem 17 měření prováděných v průběhu 4 let. Jako analýzy byly používány regrese, korelace a shluková analýza.

Fyzickogeografické faktory, které byly hodnoceny – nadmořská výška, sklon, expozice a vegetace, byly kvantifikovány. Nadmořská výška byla vyjadřována v metrech nad mořem, sklon ve stupních, expozice je vyjádřena pomocí jižnosti. Jako převodový vzorec je použita následující rovnice:

$$southern = \frac{\sin\left(\text{expozice}(\text{rad}) - \frac{\pi}{2}\right)}{2} + 1$$

Vegetace je vyjadřována pomocí dvou proměnných, které byly získány analýzou hemisférických snímků oblohy. Snímky byly pořízeny v měřených lokalitách a následně analyzovány v programu Gap Light Analyzer. Jako proměnné pro hodnocení vlivu vegetace na vodní hodnotu sněhu byl zvolen 1) LAI4 (Leaf Area Index), který udává jaká je plocha listů na jednotkovou plochu a 2) radiace, která vyjadřuje celkový úhrn přímého a rozptýleného slunečního záření, když se uvažuje vegetace a topografie.

Pomocí korelační analýzy a krokové dopředné regrese byl hodnocen vztah mezi vodními hodnotami sněhu při jednotlivých měřeních a zkoumanými faktory. V obou případech byla jako hladina spolehlivosti zvolena 0,05. Pomocí shlukové analýzy bylo hodnoceno několik skupin dat. Vždy se hodnotila celá zima vůči jednotlivým faktorům. Hodnoceny byly všechny body najednou nebo pouze určité skupiny dat. Jednalo se vždy o skupiny, kde byl jeden ze zkoumaných faktorů u všech bodů stejný. Tímto způsobem byly hodnoceny skupiny se stejnými expozicemi (sever, jih a západ) a typem vegetace (otevřená plocha a les). Při zpracování dat byla využita jako míra podobnosti Euklidovská vzdálenost. V rámci zpracování dat bylo testováno více nejčastěji používaných shlukovačích metod. Euklidovská metoda byla zvolena na základě rešerše literatury a na základě srovnání s výsledky ostatních testovacích metod. Výsledky shlukové analýzy byly znázorněny pomocí dendrogramů. Tyto grafy znázorňují strukturu objektů ve shlucích.

Experimentální povodí

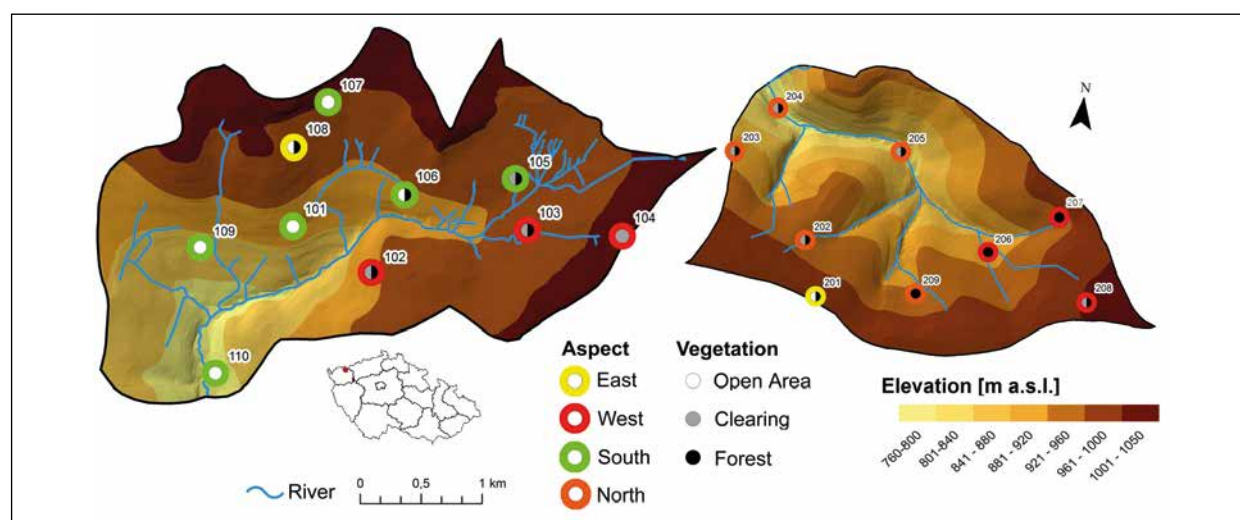
Experimentální povodí Bystřice se nachází v západní části Krušných hor v blízkosti obce Hřebečná. Jeho plocha je 9 km². Nejvyšším místem povodí je vrchol hory Nad Rýžovnou, který se nachází v nadmořské výšce 1 050 m n. m. Nejnižším místem je závěrový profil povodí v nadmořské výšce 860 m n. m. Bystřice pramení pod božídarským Spičákem, protéká Ostrovem nad Ohří a následně se vlévá do Ohře, která se u Litoměřic vlévá do Labe. Povodí Bystřice se nachází převážně na jižních a západních svazích a jeho průměrný sklon je 4,5°. Povodí je z necelé poloviny zalesněno, na zbytku se nachází převážně louky (Pevná 2012).

Povodí Zlatého potoka se rovněž nachází v západní části Krušných hor. Leží přibližně 3 km západně od Božího daru. Jeho plocha je 5,6 km². Nejvyšší místo povodí se nachází v jeho východním cípu v nadmořské výšce 1 030 m n. m. Nejnižším místem je uzávěrový profil, který se nachází v nadmořské výšce 765 m n. m. Zlatý potok pramení mezi obcemi Boží Dar a Tellerhäuser, protéká obcí Zlatý kopec a poté se v Německu vlévá do potoka Schwarzbach. Schwarzbach se vlévá do řeky Mulde, které se vlévá do Labe. Povodí Zlatého potoka se nachází převážně na severních a západních svazích a jeho průměrný sklon je 11°. Povodí je z větší části zalesněno, louky se nachází pouze na malém území v jeho jižní části (Pevná 2012).

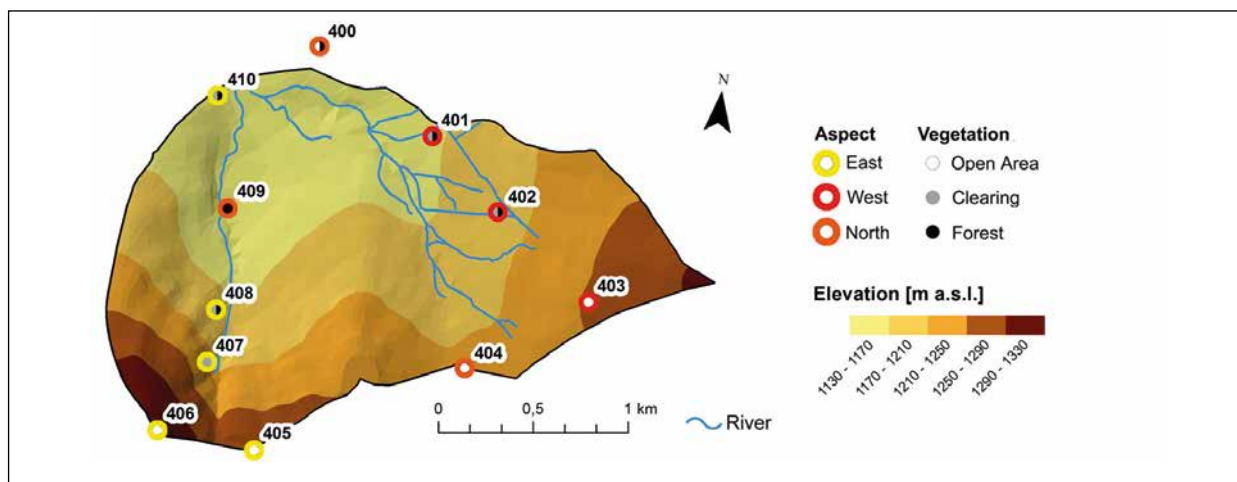
Povodí Ptačího potoka se nachází v pohoří Šumava. Povodí má plochu 4 km². Nejnižší místo tohoto povodí se nachází v nadmořské výšce 1 100 m n. m., nejvyšší místo, Malá Mokrůvka, pak v nadmořské výšce 1 330 m n. m. Přibližně polovina povodí se nachází na svazích se západní expozicí, druhá polovina na svazích s východní expozicí. Povodí Ptačího potoka je zalesněno v celé své ploše. V některých místech byl však les v minulosti napaden kůrovcem. Průměrný sklon povodí je 6°. Na svazích Malé Mokrůvky však sklon dosahuje až 26°.

VÝSLEDKY

Při hodnocení vlivu vybraných fyzikogeografických faktorů pomocí krokové dopředné regrese a korelace bylo vždy porovnáváno jedno měření a zkoumané faktory. Zkoumán byl vliv faktorů na vodní hodnotu sněhu zvlášť pro období akumulace a zvlášť pro období tání sněhové pokrývky. Hodnocenými faktory byly: nadmořská výška, jižnost, sklon, Leaf area index a celkový radiační úhrn. V obou případech byla jako hladina spolehlivosti vybrána hladina 0,05. Výsledky analýz ukazují na dominantní vliv nadmořské výšky v období akumulace sněhové pokrývky a podle



Obr. 1 Povodí Bystřice (vlevo) a Zlatého potoka (vpravo) s měřeními body.



Obr. 2 Povodí Ptačího potoka s měřenými body.

korelační analýzy je dalším významným faktorem celkový radiční úhrn. Regrese jako druhý dominantní faktor udává sklon. V případě hodnocení vlivu fyzickogeografických faktorů na vodní hodnotu sněhu v období tání vychází jako dominantní faktor jižnost, tedy faktor, který udává expozici svahu. Korelace v tomto případě udává jako druhý nejvíce dominantní faktor Leaf area index. Na základě regresní analýzy byla jako druhý nejdominantnější faktor vyhodnocena nadmořská výška.

Shlukovou analýzou byla hodnocena míra vlivu vybraných fyzicko-geografických faktorů na vodní hodnotu sněhu v průběhu celé zimy. Cílem této analýzy bylo zjistit podobnosti mezi jednotlivými body v povodí a nalézt dominantní faktor, který ovlivňuje distribuci vodní hodnoty sněhu v rámci povodí. Analyzovány byly různé soubory dat. Při analýze všech měřených dat se jako dominantní faktor projevuje typ vegetace (les, otevřená plocha). Dále byly analyzovány soubory dat, tak že vždy byl jeden faktor společný. Při analýze bodů, které se nachází na otevřených plochách, se jako nejvýznamnější faktor projevuje expozice svahu. Analýza bodů, které jsou měřeny v lese, nevykázala žádný dominantní faktor. Důvodem, proč byly zkoumány tyto soubory dat, byla snaha minimalizovat vliv vegetace, který se ukazoval jako velmi výrazný a zároveň snaha zjistit, jaký další faktor je v povodích důležitý. To je pravděpodobně způsobeno malou výškovou členitostí povodí. Při hodnocení souboru bodů s jedním typem expozice (např. jen bodů, které jsou měřeny na svazích se západní expozicí) se jako dominantní faktor projevuje opět vegetace.

DISKUSE

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 metodickým. 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 nebo chybám způsobeným špatným použitím statistické metody (Meloun a Militký 2004).

Zhodnocení vlivu faktorů bylo prováděno na základě výsledků shlukové analýzy, korelace a regresní analýzy. Ve všech analyzovaných obdobích byl zkoumán vliv vegetace, sklonu, expozice a nadmořské výšky. V experimentálních povodích se v průběhu celé zimy ukazuje jako dominantní faktor vegetace. Dominance vlivu vegetace byla očekávaná. K podobným závěrům dospěli i autoři, kteří prováděli studie ve střední Evropě (Hříbik a Škvarčina 2007; Pekárková a Halmová 2009; Kantor et al. 2007). Ostatní sledované faktory, nadmořská výška, sklon a expozice, se projevují pouze v některých fázích zimy nebo pouze u některých bodů. Nadmořská výška se projevuje jako dominantní faktor v průběhu akumulace sněhové pokrývky a expozice v průběhu tání sněhové pokrývky. 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 projevuje v několika bodech. 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 et al. (2006).

Vegetace je v našich přírodních podmínkách jeden z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících vývoj sněhové pokrývky. V případech experimentálních povodí je to dáno především celkovým charakterem oblastí. 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 Hrbíka a Škvareniny (2006) a Ehlera et al. (1997) až od sklonu 60°. U otevřených ploch hraje velmi významnou roli především velikost otevřené plochy a expozice. 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 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 s 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 projevuje v období akumulace sněhové pokrývky. Při hodnocení vlivu nadmořské výšky v průběhu celé zimy se již tento faktor neprojevuje tak výrazně. To je dáno především tím, že jsou povodí malá s malou relativní výškovou členitostí. Malý vliv nadmořské výšky v povodích je doložen nejen shlukovými analýzami, ale i regresními analýzami, při nichž byly porovnávány jednotlivé body v souvislosti s nadmořskou výškou. Korelační koeficienty ve sledovaných obdobích dosahovaly hodnot mezi 0,2 a 0,5.

ZÁVĚR

Popisovaný výzkum se věnuje problematice vodní hodnoty sněhu v experimentálních povodích v západní části Krušných hor a na Šumavě. Terénní data jsou zpracovávána pomocí statistických analýz – korelace, regrese a shluková analýza. Na základě výsledků analýz z měření v zimách 2009/2010, 2010/2011, 2011/2012 a 2012/2013 bylo zjištěno, že na vývoj vodní hodnoty sněhu v povodí Bystřice a Zlatého potoka má dominantní vliv vegetace. V období akumulace sněhové pokrývky má výrazný vliv nadmořská výška a také radiace a sklon. V období tání sněhové pokrývky má výrazný vliv jižnost, vegetace a nadmořská výška. 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.

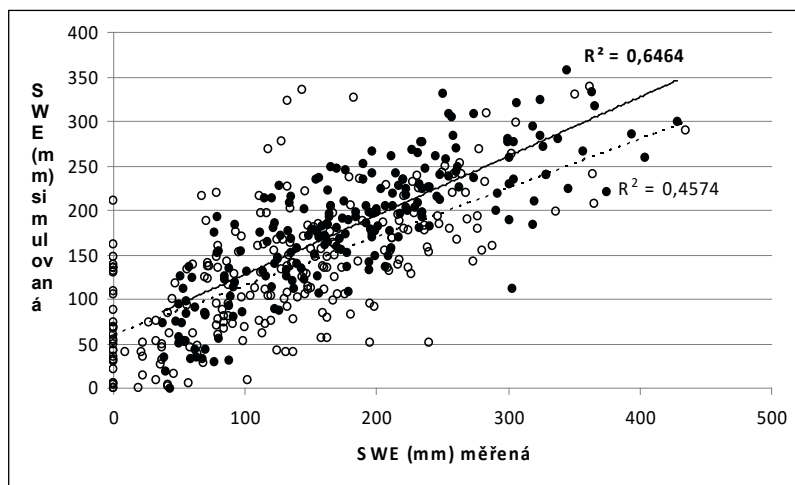
Literatura:

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

D'EON, R. G., 2004. 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*. Vol. 3, Issue 2, s. 1–9.

Tab. 1 Ovlivňující faktory na vývoj sněhové pokrývky.

Statistická metoda	Ovlivňující faktory	
	Akumulace	Tání
Korelace	Nadmořská výška	Jižnost
	Radiace	LAI
Regrese	Nadmořská výška	Jižnost
	Sklon	Nadmořská výška



Obr. 3 Graf závislosti měřených a simulovaných hodnot v zimách 2009/2010–2012/2013. (plné body, plná čára a tučně psaný koef. determinace – období akumulace; prázdné body, čárkovaná čára a netučně psaný koef. determinace – období tání).

- EHRLER, C. SEIDEL, K., MARTINEC J., 1997. Advanced Analysis of the Snow Cover based on Satellite Remote Sensing for the Assessment of Water Resources. *IAHS '97, Rabat*, s. 9.
- HRÍBIK, M., ŠKVARENINA, J., 2006. Vplyv nadmorskej výšky, expozície, porastu a druhu porastu na hydrofyzikálne vlastnosti snehovej pokrývky v Biosférickej rezervácii Poľana, v zimách 2003/2004, 2004/2005. In: *11. stretnutie snehárov: Sborník ze semináře. ČHMÚ*, s. 30–40.
- HRÍBIK, M., ŠKVARENINA, J., 2007. Vplyv ihličnatého a listnatého lesa v rastovej fáze žrdoviny na vytváranie snehových zásob. In: Hříbik, M. a kol. 12. *Stretnutie snehárov: Zborník zo seminára*, s. 88–98.
- KANTOR, P., KARL, Z., ŠACH, F., 2007. Ukládání a intenzita tání sněhu v mladém smrkovém a bukovém porostu v zimním období 2005/2006. In: Rožnovský, J. a kol. (ed): *Klima lesa*. Křtiny, s. 10.
- MELOUN, M., MILITKÝ, J., 2004. Statistická analýza experimentálních dat. Praha: Academia. s. 953.
- PEKÁROVÁ, P., HALMOVÁ, D., 2009. Snow water equivalent measurement and simulation in microbasins with different vegetation cover. In: *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, Vol. **57**, Issue 2, s. 88–99.
- PEVNÁ, H., 2012. Vliv vybraných fyzickogeografických faktorů na průběh akumulace a tání sněhové pokrývky. Praha: Univerzita Karlova. Přírodo-vědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie, s. 73.
- VAJDA, A., VENÄLÄINEN, A., HÄNNINEN, P., SUTINEN, R., 2006. Effect of Vegetation on Snow Cover ant he Northern Timberline: A Case Study in Finnish Lapland. In *Silva Fennica*. Vol. **40**, Issue 2, s. 195–207.

POROVNANIE CHARAKTERISTÍK SNEHU V POVODÍ JALOVECKÉHO POTOKA POMOCOU MÁP PRIESTOROVÉHO ROZLOŽENIA

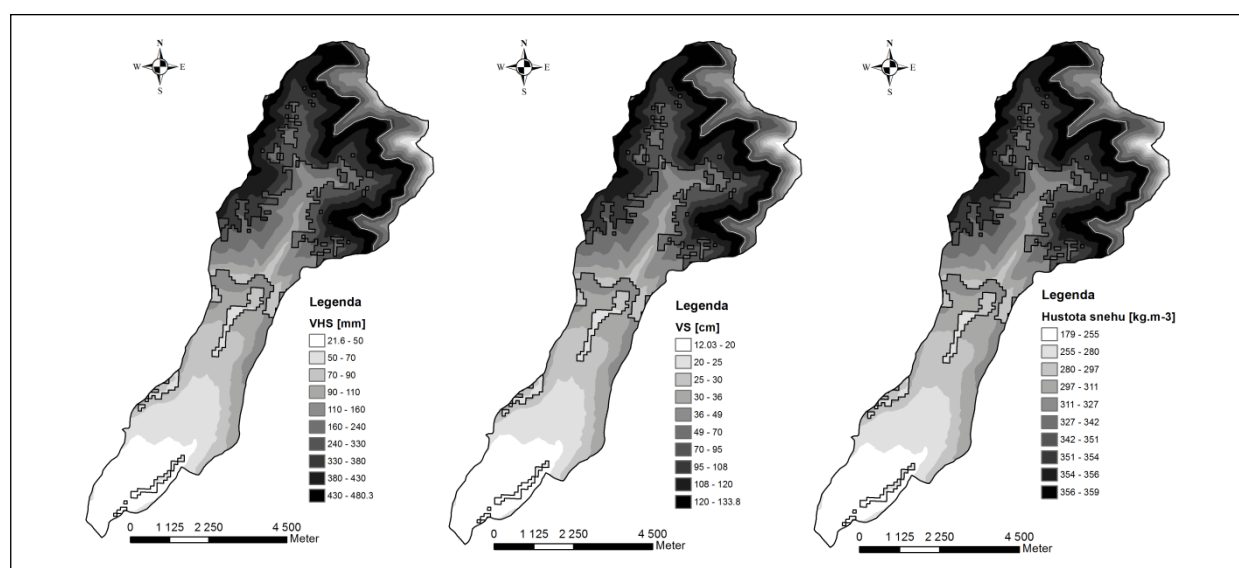
Michal Danko, Pavel Krajčí, Jozef Hlavčo

Ústav hydrológie SAV, Experimentálna hydrologická základňa, Liptovský Mikuláš
danko@uh.savba.sk, krajci@uh.savba.sk, hlavco@uh.savba.sk

V práci sú analyzované údaje z meraní výšky snehovej pokrývky a vodnej hodnoty snehu v experimentálnom povodí ústavu hydrológie SAV – Jaloveckého potoka v Západných Tatrách. Pravidelné merania vodnej hodnoty snehu v otvorených a zalesnených profiloch prebiehajú od roku 1987 do súčasnosti. Cieľom tejto práce bolo vyhodnotenie údajov za obdobie 26 rokov a vytvorenie máp priestorového rozloženia parametrov snehovej pokrývky (vodnej hodnoty snehu, výšky snehovej pokrývky a hustoty snehu) závislých na nadmorskej výške pre 3 rôzne oblasti povodia. Mapy priestorového rozloženia parametrov snehovej pokrývky sú vytvorené na základe lineárnych závislostí so stúpajúcou nadmorskou výškou, samostatne pre oblasť voľnej plochy do 1 700 m n. m. a samostatne pre zalesnenú časť povodia. Počas vyhodnotenia sa ukázalo, že v povodí sa nachádza ešte jedna špecifická oblasť. Je to oblasť otvorenej plochy nad 1 700 m n. m. (hrebene a vrcholy hôr). V tejto oblasti dochádza k poklesu hodnôt parametrov snehovej pokrývky a sú exponenciálne závislé na nadmorskej výške. Výsledkom práce bolo porovnanie a určenie aktuálnych parametrov snehovej pokrývky pre celé povodie z meraní in situ na profile Červenec (C_{1500}) v závislosti na mapách priestorového rozloženia spomínaných parametrov. V zalesnenej časti povodia koruny stromov priemerne zachytia 32,81 % snehových zrážok. Priemerná hustota snehu v celom povodí je $332 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

ZOSTROJENIE MÁP PRIESTOROVÉHO ROZLOŽENIA VHS

Meracie profily boli rozdelené do nadmorských výšok a bola hľadaná závislosť s vodnou hodnotou snehu pre tri oblasti. Z priemerných marcových hodnôt VHS (maximum VHS) boli zostrojené mapy priestorového rozloženia parametrov snehovej pokrývky závislé na nadmorskej výške pomocou digitálneho modelu reliéfu a boli rozdelené do troch oblastí voľná plocha, les a voľná plocha nad 1 700 m n. m. na základe mapy využitia územia. V tomto príspevku boli zalesnené oblasti územia určené ako jeden homogénny celok. Na otvorených plochách v povodí Jaloveckého potoka bola nájdená hranica (1 700 m n. m.), v ktorej hodnoty VHS počas 26 ročných meraní sú priemerne najvyššie. Hlavné profily sa nachádzajú v oblasti Červenca C_{1500} (otvorená plocha) a C_{1420} (les).



Obr. 1 Mapa priemernej vodnej hodnoty snehu, výšky snehu a hustoty snehu za obdobie počas 26 rokov, vykreslená v závislosti od nadmorskej výšky, lesnatosti a hranicou ovplyvnenou vetrom [mm].

APLIKÁCIA MÁP PRIESTOROVÉHO ROZLOŽENIA VHS

Z určených máp môžeme určiť približné parametre snehovej pokrývky v ktoromkoľvek mieste v povodí Jaloveckého potoka pomocou rovnice (1) pre určenie vodnej hodnoty snehu:

$$M_{VHSa} = MVHSp \cdot (VHSC1500a / VHSC1500p) \quad (1)$$

kde M_{VHSa} – je aktuálna priestorovo rozčlenená mapa parametrov snehovej pokrývky

M_{VHSp} – priemerná priestorovo rozčlenená mapa parametrov snehovej pokrývky

VHS_{C1500a} – aktuálna hodnota parametra snehovej pokrývky v meracom profile C_{1500}

VHS_{C1500p} – priemerná hodnota parametra snehovej pokrývky v meracom profile za obdobie 23 rokov

Na overenie výsledkov bola vytvorená mapa priestorového rozloženia VHS z priemerných údajov za obdobie 23 rokov 1987–2010. Pre roky 2011–2013, ktoré zahŕňajú jednu zo snehovo naslabších zím (2010/2011) aj snehovo silnú zimu (2011/2012) sa overovali namerané údaje s údajmi simulovanými z priemernej mapy VHS. Pre overenie výsledkov sa použili namerané údaje z jedného dňa počas maxima VHS v rokoch 2011–2013. Na simuláciu VHS pre celé povodie bola použitá maximálna hodnota VHS z profilu C_{1500} . V tab. 1 je porovnanie meraných a simulovaných hodnôt maximálnej vodnej hodnoty snehu pre dané obdobie.

Porovnanie vykazuje existenciu viacerých neistôt vyplývajúcich z postupu spracovávania údajov. Pri simulácii VHS pomocou spomínaných máp narastajú hodnoty VHS s rovnakým pomerom v celom povodí, čo nezohľadňuje realitu rozloženia VHS v danom období. Mapy priemerných hodnôt nezachytávajú možnú variabilitu hodnôt VHS medzi jednotlivými profilmi v povodí. Na základe máp však vieme určiť dlhodobé priemerné parametre snehovej pokrývky. Rozdiel hodnôt VHS medzi otvorenou plochou povodia a lesnatou časťou povodia tvorí intercepcia a výpar z intercepcie. Na základe analýz môžeme povedať, že v povodí Jaloveckého potoka je priemerná intercepcia a výpar z intercepcie 32,8% v lesnatej časti povodia v sledovanom období.

POROVNANIE VHS V PROFILOCH C_{1500} A C_{1420}

Maximum VHS počas obdobia od prvého merania VHS po jej maximum počas posledných 11 rokov v lokalite Červenec sú uvedené na obr. 2. Od roku 2003 sa systematicky začalo s meraním v ten istý deň pre oba profily C_{1500}

Tab. 1 Porovnanie meranej a simulovanej maximálnej vodnej hodnoty snehu (VHS_{max})

pozn. (vp) – voľná plocha, (vp > 1 700) – voľná plocha nad 1 700 m n. m., (les) – zalesnená plocha, merané – hodnoty VHS_{max} namerané v jeden deň v povodí, simulované – simulovaná hodnota VHS_{max} 1 500* – podľa C_{1500} boli simulované hodnoty pre celé povodie

	Nadm. výška	23-Feb-11			21-Mar-12			8-Apr-13		
		merané [mm]	simulované [mm]	%	merané [mm]	simulované [mm]	%	merané [mm]	simulované [mm]	%
Voľná plocha nad 1 700 m n. m. (vp)	1 900	85	78	8,7%	–	244	–	130	173	25,0%
	1 800	–	128	–	–	402	–	–	286	–
Voľná plocha do 1 700 m n. m. (vp > 1 700)	1 700	–	247	–	750	777	3,4%	–	552	–
	1 600	222	215	3,3%	–	674	–	–	480	–
	1 500*	184	184	–	578	578	–	411	411	–
	1 400	146	174	16,1%	–	546	–	535	389	27,4%
	750	–	58	–	181	184	1,4%	–	131	–
	570	–	6	–	64	19	70,6%	–	13	–
Zalesnené plochy (les)	1 420	54	139	61,3%	398	438	9,1%	271	311	13,0%
	1 300	54	104	47,8%	367	325	11,4%	253	231	8,6%
	1 200	–	83	–	–	262	–	–	186	–
	1 150	–	94	–	–	297	–	–	211	–
	1 100	106	89	16,4%	303	278	8,1%	183	198	7,6%
	1 010	57	67	15,0%	–	211	–	177	150	15,3%
	900	–	34	–	–	105	–	–	75	–
	825	–	39	–	–	122	–	–	87	–

a C_{1420} . Z údajov je zrejme, že intercepcia a výpar z intercepcie tvorí približne 20–30 % v maxime VHS. Pri slabých zimách s nedostatkom zrážok tvorí intercepcia a výpar v korunách stromov až 40–70 %. Tieto poznatky sú potrebné pri tvorbe separácie odtoku a pri modelovaní VHS.

Podľa zistení vieme určiť VHS pre profil C_{1420} podľa VHS C_{1500} a naopak z rovnice (2) za obdobie 2003–2013:

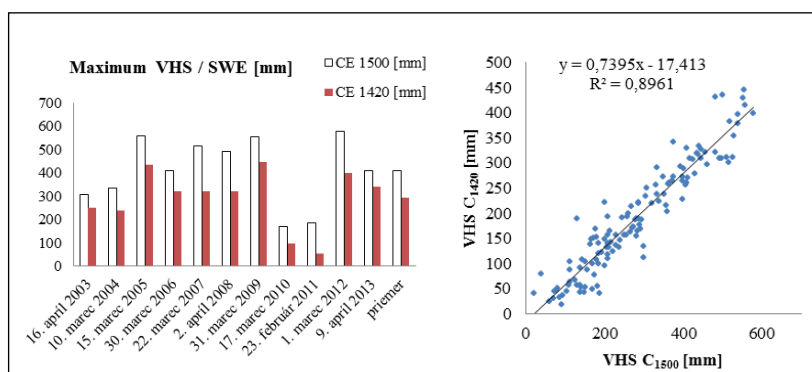
$$VHS_{C_{1420}} = 0,7395 * VHS_{C_{1500}} - 17,413 \quad (2)$$

$n = 285$, $R^2 = 0,8961$ (určené pre obdobie 2003–2013)

Výsledky tejto práce sú doplnením a spresnením údajov z práce (Holko et al. 2009), kde prezentuje rovnicu (3) z rovnakých údajov, ale za kratšie obdobie:

$$VHS_{C_{1420}} = 0,716 * VHS_{C_{1500}} - 4,82 \quad (3)$$

$n=81$, $R^2 = 0,876$ (určené pre obdobie 2003–2008)



Obr. 2 Porovnanie VHS na voľnej ploche C_{1500} a v lese C_{1420} pre merania za obdobie 2003–2013.

ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo vyhodnotenie dlhodobých meraní parametrov snehovej pokrývky v horskom experimentálnom povodí Ústavu hydrologie SAV – Jaloveckého potoka v Západných Tatrách. Pravidelné merania vodnej hodnoty snehu v otvorených a zalesnených profiloch prebiehajú od roku 1987 až po súčasnosť. Celkovo bolo vyhodnotených 1 135 profilov (614 na otvorených priestranstvách, 494 v zalesnenej časti povodia a 27 nad 1 700 m n. m.) prevažne v horskej časti povodia. Od roku 2003 sa systematicky začalo s meraním v ten istý deň pre profily C_{1500} a C_{1420} . Z porovnania profilov C_{1500} a C_{1420} je zrejme, že intercepcia a výpar v korunách stromov tvorí priemerne 28,5 % snehových zrážok v maxime VHS. Pri slabých zimách (2009/2010, 2010/2011) s nedostatkom snehových zrážok tvorí intercepcia a výpar v korunách stromov až 40–70 %. Zo zostrojených máp parametrov snehovej pokrývky závislých na nadmorskej výške bola vypočítaná priemerná intercepcia a výpar v korunách stromov na celé povodie. V zalesnenej časti povodia (20,9 % plochy povodia) koruny stromov priemerne zachytia 32,81 % snehových zrážok. Priemerná vodná hodnota snehu pre celé povodie na základe máp bola určená na 208,8 mm v rozmedzí od 21,6 mm na profile 550 m n. m. (maximum 61 mm) do 480,3 mm na profile 1 700 m n. m. (maximum 1 182 mm). Potenciálne množstvo vody akumulovanej v snehovej pokrývke pre priemerné obdobie je okolo 9 mil. m^3 . Pri najväčších zásobách vodnej hodnoty snehu v extrémnych zimách (520 mm – priemer pre celé povodie) môže toto množstvo vody akumulované v snehovej pokrývke dosahovať až 25 mil. m^3 v skúmanom povodí. Priemerná hustota snehu v celom povodí je $332 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ v maxime VHS. Hustota snehu v zalesnenej časti povodia sa pohybuje medzi hodnotami $261\text{--}319 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (priemer $290 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) a nie je závislá na nadmorskej výške. Naopak na otvorených plochách Jaloveckého potoka sa hustota snehu pohybuje medzi $266\text{--}376 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (priemer $324 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), v tomto prípade je badateľné zvyšovanie hustoty snehu s nadmorskou výškou. Počas mesiaca januára vychádza priemerná hustota v celom povodí $257 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, vo februári $279 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, v marci $332 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, v apríli $391 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Na základe týchto údajov je zrejma závislosť hustoty snehu na čase počas zimného obdobia s koeficientom korelácie $R^2 = 0,9652$. Tieto poznatky ako aj mapy priestorového rozloženia parametrov snehovej pokrývky sú potrebné pri odhade tvorby a separácii odtoku, pri modelovaní prietoku a vodnej hodnoty snehu v povodí. Tieto poznatky sú tiež spracované ako podklad pre ďalšie riešenie problematiky v danej oblasti.

Literatúra:

HOLKO, L., ŠKVARENINA, J., KOSTKA, Z., FRIČ, M., STAROŇ, J., 2009. Impact of spruce forest on rainfall interception and seasonal snow cover evolution in the Western Tatra Mountains, Slovakia, *In Biologia June 2009*, Vol. 64, Issue 3, s. 594–599.

VÝVOJ NOVÉHO ZAŘÍZENÍ NA KONTINUÁLNÍ MĚŘENÍ VODNÍ HODNOTY SNĚHU

Ondřej Špulák^{1*}, Jiří Souček¹, Vladimír Černohous¹, Zdeněk Bagal², Alena Kulasová², Libor Daneš

¹Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Výzkumná stanice Opočno

²Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. M., v. v. i.

*Korespondenční autor: spulak@vulhmop.cz

ÚVOD

Vodní hodnota sněhu (SWE z anglického Snow Water Equivalent) je důležitou charakteristikou sněhové pokrývky, mající vedle výšky sněhu své praktické uplatnění v hydrologii. Dalšími běžně sledovanými charakteristikami sněhu jsou celková výška sněhu a výška čerstvého sněhu, jeho vrstvení (statigrafie), hustota, teplota apod.

Význam informací o vlastnostech sněhu vzrůstá v souvislosti s nárůstem kolísání průběhu počasí spojeným s klimatickými změnami. Poznatky o množství a charakteru sněhu jsou požadovány pro plánování provozu vodních děl, regulace zavlažovacích systémů, dimenzování střešních konstrukcí budov, ochrany životů a majetku obyvatel atd. a mají řadu dalších aplikací v oblasti vědy (např. Räisänen 2008; Jones 2001; Sekyra et al. 2002).

Jednotlivé metody měření a dostupné přístroje na měření SWE jsou zatíženy značnými technologickými i/ nebo personálními nároky. Zároveň každý z přístupů obsahuje také určitou, větší či menší míru rizika chybovosti získaných dat a z nich dále odvozovaných modelů (Lundberg et al. 2010; Špulák et al. 2012).

Ve spolupráci Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i., Výzkumné stanice Opočno Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i. a firmy Ing. Libor Daneš je proto v letech 2010–2014 řešen projekt „Vývoj přístroje a metodiky na kontinuální stanovení vodní hodnoty sněhu v terénu“ podpořený Technologickou agenturou ČR. Cílem projektu je vývoj přístroje na kontinuální stanovení vodní hodnoty sněhu v terénu. Navrhovaný přístroj by měl splňovat následující kritéria: spolehlivost a dostatečná přesnost měření, snadná instalace v libovolné krajině, minimální energetická a mechanizační náročnost, možnost jednoduchého přesunu na jinou lokalitu a potenciál začlenění získávaných dat do hydrologických modelů.

STRUČNÝ POSTUP ŘEŠENÍ

V počátcích řešení projektu byly vyhodnoceny klady a zápory jednotlivých dosud užitých metod měření vodní hodnoty sněhu ve světě a připraveny podklady pro směřování vývoje zařízení. Překážkou zamezující jednoduché řešení měření vodní hodnoty sněhu je trojfázovost skupenství vody ve sněhu, jeho proměnlivost, převívání, formování vrstev i potřeba dostatečného energetického kontaktu s půdou. Vývoj se soustředil na rozvíjení několika metod pro zjišťování vodní hodnoty dosud využívaných směrů tak, aby byly eliminovány či alespoň výrazně omezeny dosavadní nevýhody jednotlivých řešení. Po konzultacích s externími specialisty bylo přistoupeno také k testování dalších, dosud nezkoumaných principů, které mohou mít potenciál monitoringu vývoje vodní hodnoty sněhu v čase. Konkrétně byly rozvíjeny a testovány metody na principu měření dielektrických vlastností sněhu, využití Dopplerova radaru, váhy sněhu, na základě magnetické rezonance a ověřovány možnosti využití optického kabelu jako snímacího elementu pro váhu sněhu. Současně byly zahájeny práce na vývoji loggeru, serverové aplikace a testování a modifikace senzorů výšky.

Z rozvíjených metod byl postupně jako nejperspektivnější určen princip váhy sněhu pro svou fyzikální přímou registraci vodní hodnoty, pouze za předpokladu technického omezení chyb vzniklých zavěšováním sněhu. Prototyp I. vyvíjené váhy sněhu založené na váhových senzorech byl nejprve testován v laboratoři VÚV. Přístroj byl doplněn vyvinutým zařízením zamezujícím zavěšování sněhu, na které byl obhájen užitný vzor.

Po technických úpravách vzešlých z testování byl vyroben druhý prototyp váhy sněhu a nainstalován v terénu v horní části experimentálního povodí Výzkumné stanice Opočno VÚLHM „U Dvou louček“ v Orlických horách. Systém měřil v zimním období 2012–2013 v hodinových intervalech a data odesílal na server pro operativní kontrolu automatických měření. K dispozici jsou také informace o meteorologických prvcích z výzkumné plochy (teplota vzduchu, půdy a radiace). Kontrolní měření vodní hodnoty a výšky sněhu probíhala v týdenním intervalu (obr. 1). Přes z počátku vynikající přesnost byl v průběhu měření zjištěn problém vyplývající ze zablokování prvku stabilizace rámu (v období od cca 31. 1. do 11. 4. 2013) (obr. 1).

Na konci zimního období 2012–2013 byly shrnuty zkušenosti a výsledky měření realizovaných prototypů. Na základě výsledků byly stanoveny základní priority dalšího vývoje a optimalizace technického řešení. Byla upravena výrobní dokumentace, na konci jara se započalo s vlastní výrobou dalšího prototypu váhy a po jeho instalaci v terénu byla zadána výroba dalších dvou přístrojů.

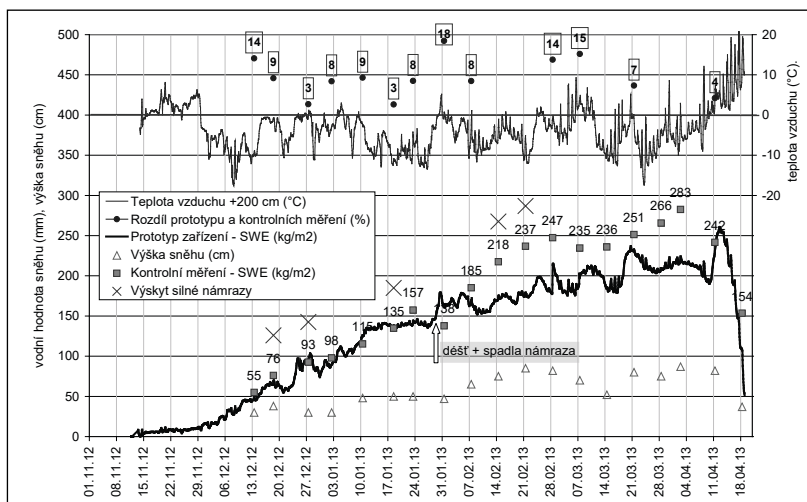
Prototypy zařízení byly v roce 2013 postupně nainstalovány na vybrané reprezentativní lokality v různých nadmořských výškách, tak aby bylo možno objektivně posoudit chování přístroje při různém typu a chování sněhové pokrývky. Nové prototypy III. se nacházejí na experimentálním povodí U Dvou louček v Orlických horách (890 m n. m., v blízkosti prototypu II.), výzkumné ploše Česká Čermná (450 m n. m.) a na lokalitě u klimatické stanice ČHMÚ v obci Šindelová (565 m n. m.). Nainstalován na experimentálním povodí Jezdecká v Jizerských horách v nadmořské výšce 769 m n. m. byl také prototyp I. typu, který byl testován v laboratoři VUV T. G. Masaryka, a to pro kontrolu významu inovací.

V zimním období 2013–2014 tak bylo v terénu testováno celkem 5 zařízení. Údaje byly odečítány v hodinovém intervalu, data přenášena na server, současně probíhala také manuální kontrolní měření.

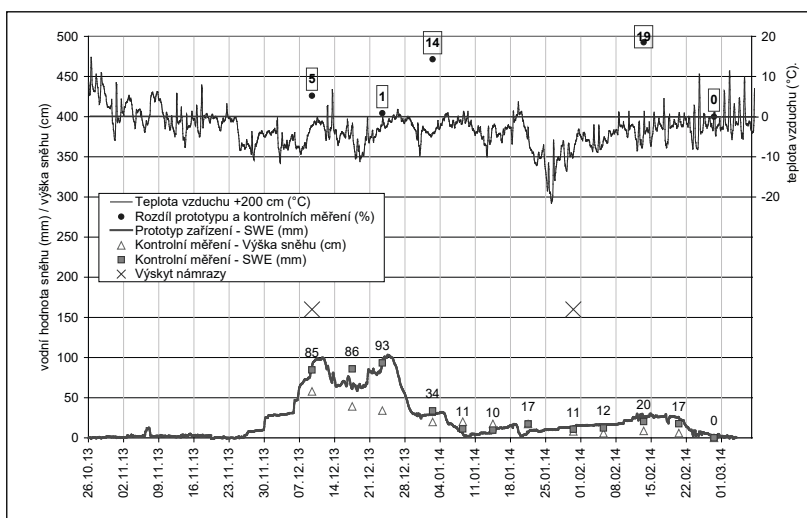
Bohužel průběh zimního období 2013/2014 umožňoval testování přístrojů pouze při nízkých stavech sněhu a chování systému během kolísání teplot. Některé lokality byly střídavě či dlouhodobě bez sněhu, stálá sněhová pokrývka byla pouze na stanicích Jezdecká v Jizerských horách a U Dvou louček v Orlických horách. I v nízkých stavech sněhu bylo chování zařízení na lokalitách více než uspokojivé (obr. 2).

VÝHLED ŘEŠENÍ V POSLEDNÍM ROCE PROJEKTU

V průběhu posledního roku řešení (2014) budou probíhat vyhodnocení měření a stavu zařízení a na základě toho dojde k dalšímu zjednodušení konstrukce s příznivým dopadem na spolehlivost a cenu. Už teď lze o prototypu III. s určitostí prohlásit mj., že se vyznačuje vysokou elektronickou spolehlivostí, malou energetickou náročností a výbornou přesností i díky „dělicímu plotu“. Nedílnou součástí prací bude příprava certifikované metodiky. Dokončovat budeme také integraci měření průsaku, kterou jsme pilotně vyzkoušeli na jednom prototypu v terénu. Dále nás čeká testování váhových senzorů, testování senzorů výšky sněhu, výroba série konečného prototypu, příp. dokončovací úpravy loggeru, který je připraven na připojení celé řady dalších čidel, a serverové aplikace aj. Konečné řešení (Sněhoměr LDSMS2014) bude prezentované na stránkách <http://www.libordanes.cz/produkty.php> a jako produkt k dostání u partnera projektu, firmy Ing. Libor Daneš.



Obr. 1 Vodní hodnota sněhu měřená prototypem II. přístroje, kontrolní měření vodní hodnoty a výšky sněhu v souvislosti s teplotou vzduchu a výskytem silné námrazy na lokalitě U Dvou louček v zimě 2012–2013.



Obr. 2 Vodní hodnota sněhu měřená prototypem III. přístroje, kontrolní měření vodní hodnoty a výšky sněhu v souvislosti s teplotou vzduchu a výskytem silné námrazy na lokalitě U Dvou louček v zimě 2013–2014.

Poděkování

Príspevek prezentuje dílčí výsledky získané při řešení projektu TA01020673 „Vývoj přístroje a metodiky na kontinuální měření vodní hodnoty sněhu“, který je finančně podporován Technologickou agenturou ČR.

Literatura:

- JONES, H. G. (ed.), 2001. Snow ecology – an interdisciplinary examination of snow-covered ecosystems. Cambridge, Cambridge University Press, s. 78.
- LUNDBERG, A., GRANLUND, N., GUSTAFSSON, D., 2010. Towards automated ‘Ground truth’ snow measurements – a review of operational and new measurement methods for Sweden, Norway, and Finland. *Hydrological Processes*, Vol. **24**, s. 1955–1970.
- RÄISÄNEN, J., 2008. Warmer climate: less or more snow? *Climate Dynamics*, Vol. **30**, s. 307–319.
- SEKYRA, J., KOCIÁNOVÁ, M., ŠTURSOVÁ, H., KALENSKÁ, J., DVOŘÁK, I., SVOBODA, M., 2002. Frost phenomena in relationship to mountain pine. *Opera Corcontica*, Vol. **39**, s. 69–114.
- ŠPULÁK, O., SOUČEK, J., ČERNOHOUS, V., 2012. Pozemní metody a technologie měření vodní hodnoty sněhu: review. *Zprávy lesnického výzkumu*, Vol. **57**, Issue 4, s. 304–313.

MOŽNOSTI VYUŽITÍ MĚŘENÉ A VYPOČTENÉ VODNÍ HODNOTY SNĚHU PRO STANOVENÍ ZÁSOB VODY V POVODÍ

Pavla Řičicová, Martina Kimlová

Český hydrometeorologický ústav, Praha, ricicova@chmi.cz, kimlova@chmi.cz

Pravidelné vyhodnocování zásob vody ve sněhu v povodích řek a vodních děl provádí hydrologická předpovědní pracoviště dlouhodobě. V posledních letech dochází k významnému zkvalitňování v první řadě samotného měření zásob vody ve sněhu, zároveň se vyvíjí nové metody, které umožňují rychlé a efektivní zpracování velkých objemů dat, a jejich okamžité využití pro hydroprognózní a vodohospodářské účely. Velký přínos má instalace 16 automatických sněhoměrných stanic polštářů, které umožňují kontinuální sledování sněhové pokrývky, zejména v oblastech s menším počtem stanic.

Výsledek zpracování je velmi závislý na kvalitě dat, které do výpočtu vstupují, proto byla v Českém hydrometeorologickém ústavu během posledních 10 let vytvořena podrobná a jednotná metodika pro pozorovatele, kteří jsou pravidelně zaškolení. Všechna data prochází velmi důkladnou kontrolou, v případě potřeby také konzultována s terénními pracovníky. Přestože se v posledních letech celý proces zefektivnil, zpracování dat z více než 500 stanic je časově náročné a je nepravděpodobné, že by výpočet probíhal častěji, než jednou týdně.

Výpočty se pravidelně provádějí v zimní sezóně každé pondělí, kdy probíhá měření ve staniční síti ČHMÚ. V obdobích prudkých oblev mimo tento termín byl úbytek zásob vody ve sněhové pokrývce pro přehradní nádrže odhadován. Pro přesnější určení tohoto objemu byla testována vypočtená vodní hodnota sněhu (SVHV) stanovená podle metodiky vyvinuté v ČHMÚ. V zimním období se denně počítá z měřených klimatologických dat pro přibližně 200 stanic a ukládá se do databáze ČHMÚ.

Porovnání a analýza obou metod, měřené vodní hodnoty SVH a vypočítané SVHV, započala v ČHMÚ od sezony 2010/2011. Během pětiletého období, kdy se metodika testovala, nebyly sněhové podmínky příliš vhodné, zejména poslední tři zimy byly teplé a na sních chudé (obr. 1). Během druhé poloviny testovaného období nedosahoval objem sněhu ani 35 % hodnot z předchozích let, v zimní sezóně 2013/2014 byl dokonce na úrovni 15 % hodnot z roku 2011/2012, proto byly hodnoty z druhé poloviny testovacího období uvažovány pouze okrajově. Pokud jsou totiž vodní hodnoty malé, jejich odchylka vykazuje velké procentuální rozdíly a výsledky nejsou reprezentativní.

Nejvíce výsledků poskytla období 2010/2011 až 2012/2013. Byly hodnoceny rozdíly objemů zásob vody (průměrných vodních hodnot) pro výšková pásma či jednotlivá povodí, spočítané z měřených a vypočtených vodních hodnot ve stanicích.

$$[(SVH - SVHV)/SVH]*100$$

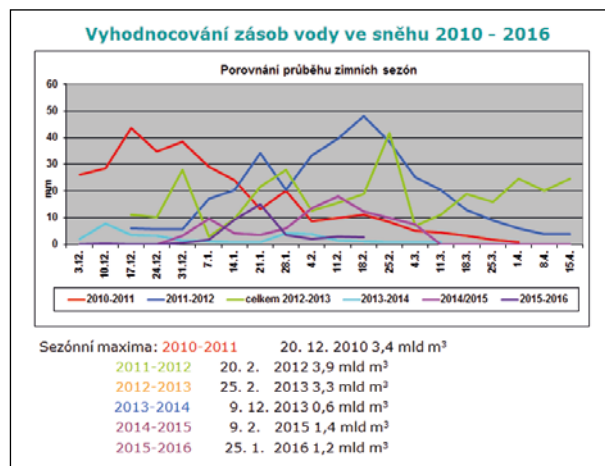
kde SVH je měřená vodní hodnota a SVHV je vypočítaná vodní hodnota dle vzorce L. Němce.

Výšková pásma byla uvažována pro celou Českou republiku a byla rozdělena po 200 m. (viz tab. 1). Největší zastoupení plochy má v ČR pásmo 300–500 m, dále 500 až 700 m, pak méně než 300 m n. m., vyšší polohy představují méně než 10 % celkové plochy. Na obr. 2 je dokumentován průběh rozdílů SVHV a SVH v letech 2010–2013.

Při porovnání jednotlivých výškových pásem v letech 2010/2011 a 2012/2013 vykazovala nejmenší rozdíly pásma od 300 do 1 100 m n. m., tedy na území, které

Tab. 1 Plošné a procentuální zastoupení výškových pásem v ČR.

Výškové pásmo [m n. m.]	Plocha [km ²]	Plocha [%]
≤ 300 m. n. m.	19 140,5	24,2
300–500	33 291,0	42,1
500–700	20 405,5	25,8
700–900	4 538,0	5,7
900–1 100	1 310,5	1,7
≥ 1000	385,8	0,5



Obr. 1 Vyhodnocování zásob vody ve sněhu 2010–2016.

přesahuje 75 % plochy ČR. V těchto oblastech se rozdíl nejčastěji pohyboval v rozmezí od +25 do -25 %, který byl pro účely výpočtu mimo pravidelný termín v době výrazné oblevy stanoven jako přijatelný. Výraznější rozdíly se ojediněle vyskytovaly v pásmech do 300 m n. m. a v nejvyšších horských oblastech nad 1 100 m n. m. V zimní sezóně 2011/2012, kdy nedocházelo k prudkým a náhlým výkyvům počasí, se v rozmezí od +20 do -25 %, udržely výsledky ve všech výškových pásmech.

Významně lepší výsledky vykazují týdny s bohatou zásobou sněhové pokrývky, v těchto termínech je 20 % rozdíl překročen jen výjimečně. V obdobích s menšími zásobami sněhu jsou zejména v nižších polohách rozdíly větší. Nelze jednoznačně určit, která z obou metod vykazovala vyšší či nižší hodnoty, počet u obou byl přibližně stejný. K největším problémům dochází v případě, že výrazná obleva, případně sněžení nastanou v den měření, v těchto dnech se výsledky výpočtu a měření liší nejvíce. Po oblevě největší rozdíly logicky vykazovaly nejnižší nadmořské výšky, kde malé absolutní rozdíly generují velké relativní chyby. V těchto termínech dochází k rozdílům, které převyšují hodnoty 40 %, v některých ojedinělých případech i více.

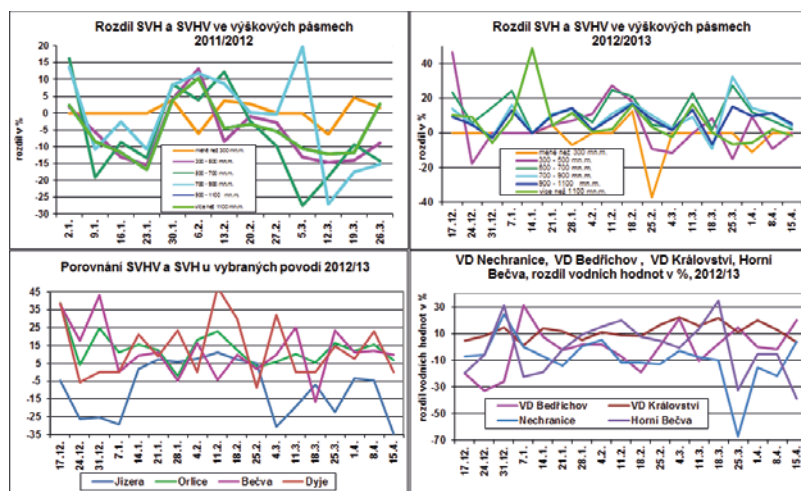
Podobné, nebo v některých případech ještě výraznější, jsou rozdíly při hodnocení jednotlivých povodí, jak je vidět na obr. 2, kdy hodnoty rozdílů ojediněle přesahují 40 %. Nejmenší výkyvy vykazovaly hodnoty v povodí Orlice a Dyje, v povodí Jizery po celé období převažovaly podhodnocené hodnoty v povodí Bečvy hodnoty mírně nadhodnocené.

Rozdíly SVHV a SVH u nejvýše položených nádrží v horských nebo podhorských oblastech Šumavy (Husinec a Nýrsko), Jizerských hor a Podkrkonoší (Bedřichov, Souš, Les Království) dále i Orlických hor (Pastviny), Jeseníků a Beskyd (Leskovec, Kružberk, Šance a Morávka) většinou nepřekročily 20 %, případně 30 %. Uspokojivé výsledky byly i u velkých nádrží Orlická a Nechanice.

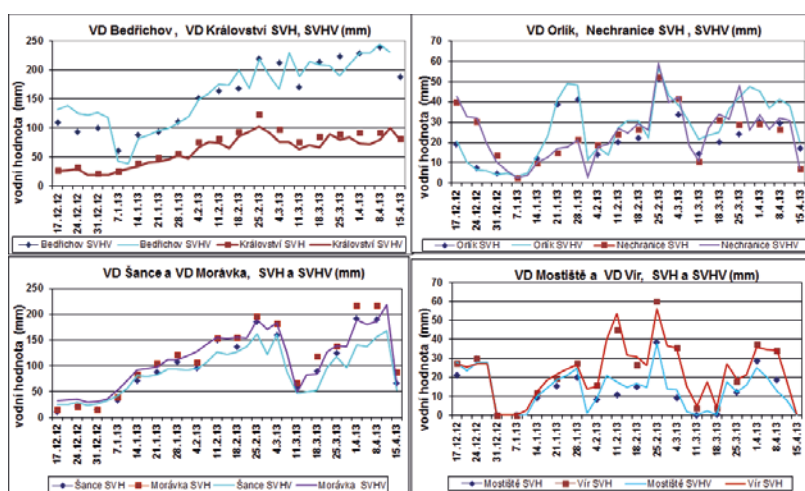
Větší relativní chyby mezi měřenou a vypočítanou vodní hodnotou byly většinou v období, kdy bylo sněhu málo, což bývá na začátku sezony a po oblevách. Problémy vykazují také oblasti, kde je nedostatek stanic s měřením parametrů sněhu, např. v Novohradských horách (Římov), v Podkrusnohoří a oblasti Slavkovského lesa (Stanovice, Jesenice, Jirkov, Křímov). V roce 2014 zde byly instalovány 4 automatické polštáře, jeden ve Slavkovském lese, 2 v Krušných horách, 1 v Novohradských horách. Předpokládáme zlepšení bilance výpočtu, zatím však vzhledem k teplým zimám nebylo možno dostatečně prověřit. Vůbec nejméně přesné výsledky byly zaznamenány v povodí Dyje, kde leželo sněhu nejméně, a střídaly se zde týdny s mírnými oblevami a s obdobím, kdy připadl nový sníh. Velmi problematické bylo hodnocení zejména Vranova a Dalešic. Absolutní rozdíly SVH a SVHV byly do 10 cm, vyjádřením v %, pak ale byly generovány chyby velké.

V dalším kroku byly porovnávány zásoby v jednotlivých říčních či nádržních povodích v absolutních hodnotách (v mm).

V zimní sezóně 2012/2013 bylo srovnání výpočtů oběma způsoby pro nádržní profily nejsystematičtější. V období od poloviny prosince do půlky dubna bylo, ve všech pondělních termínech a navíc i v mezidobí ve čtvrtek, testováno více než 30 vybraných nádrží z hlavních povodí ČR. Na obr. 3



Obr. 2 Rozdíly měřené a vypočítané vodní hodnoty pro výšková pásma ČR v období 2010 a 2013 a pro vybraná povodí a nádrže.



Obr. 3 Porovnání měřené a vypočtené vodní hodnoty v sezóně 2012/2013.

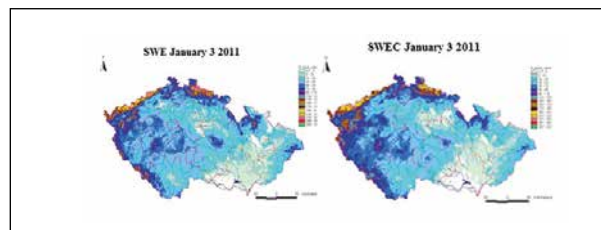
jsou znázorněny průběhy průměrných vodních hodnot pro povodí vybraných nádrží. Souvislé čáry představují vodní hodnoty vypočtené dle vzorce L. Němce a body jsou údaje stanovené dle pondělních naměřených vodních hodnot ve staniční síti. Pro všechny pondělní údaje byly spočteny procentuální rozdíly obou metod. Pro stanovení průměrných SVHV byly v té době použity údaje z cca 190 srážkoměrných stanic a ze 7 automatických sněhoměrných polštářů.

MAPY

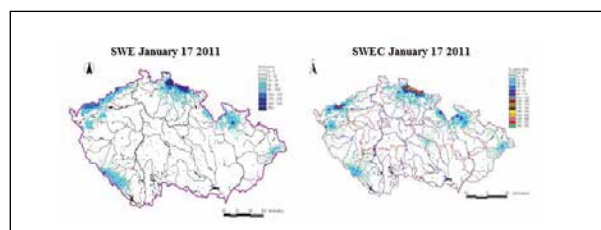
Kromě číselných údajů se vytváří a analyzují také mapy, které slouží k rychlé orientaci v problematice v rámci celé republiky. V průběhu zimní sezóny 2010/2011 nastala situace, kdy se množství zásob vody ve sněhu během poměrně krátkého období výrazně měnila. Při měření 3. 1. 2011 bylo téměř celé území ČR pokryto sněhovou pokrývkou, naopak v termínu 17. 1. 2011, byly naopak po výrazné oblevě sněhové zásoby minimální. Mapa vytvořená z údajů měřených 3. 1. 2011 (obr. 4) vykazovala oproti mapě z vypočítaných údajů vyšší hodnoty zejména ve vrcholových partiích Krkonoš a Šumavy (v nadmořských výškách nad 1 100 m n. m. téměř 20 %), naopak v ostatních polohách byla spíše slabě podhodnocená (do 8 %), zejména v oblasti J a JZ Čech. Výsledná mapa z dat měřených 17. 1. 2011 (obr. 5) vykazuje vyšší hodnoty ve všech nadmořských výškách, v rozmezí 35 až 40 %, v polohách nižších než 300 m n. m. i více. V tomto termínu končila výrazná obleva a pravděpodobně se na výsledných rozdílech podílel souhrn více faktorů – problematické stanovení nulové izochiony, chyby měření, chyby vznikající při interpolaci dat apod.

Podrobná porovnání jednotlivých map vytvořených oběma metodami se prováděla v zimních sezónách testovacího období pravidelně (obr. 6), jednou týdně při pondělních vyhodnocování měřených sněhových zásob. Od zimní sezóny 2013/2014 byly rozdíly hodnot počítány pouze v případě, že napadlo dostatečné množství sněhové pokrývky, aby výpočet mohl být uskutečněn s relevantními výsledky.

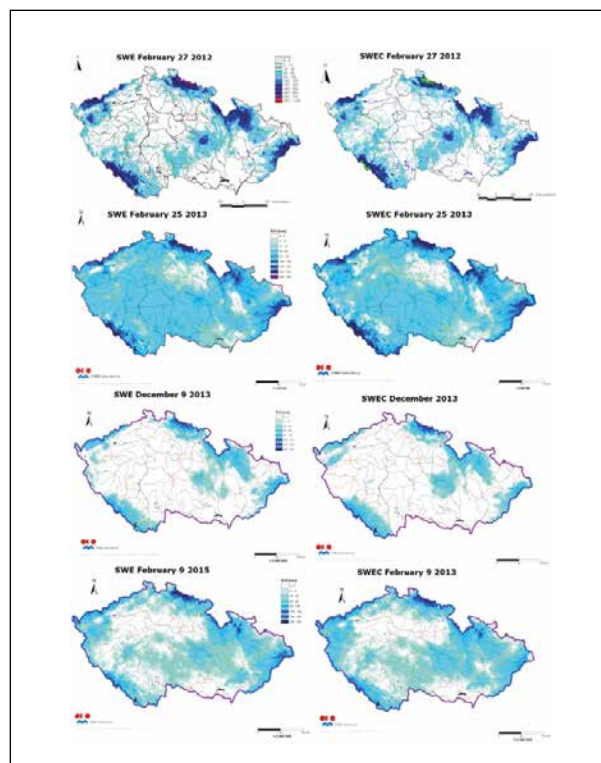
Na následujících mapách je uvedeno porovnání map SVH a SVHV v termínech, kdy bylo dosaženo nejvyšších hodnot zásoby vody ve sněhu v jednotlivých zimních sezónách. V letech 2011/2012 byla naměřena nejvyšší hodnota 27. 2. 2012. Hodnoty získané oběma metodami byly velmi podobné, v oblastech do 700 m n. m. byly vypočítané hodnoty mírně podhodnocené, ve vyšších polohách slabě nadhodnocené, odchylka nepřevyšovala 8 % na celém území. V následující sezóně 2012/2013 byly nejvyšší hodnoty naměřeny 25. 2. 2013. Rozdíly mezi naměřenými a vypočítanými hodnotami nepřesahovaly 20 %, největší byly ve výškovém pásmu do 300 m n. m., v nižších polohách byly vypočtené hodnoty mírně podhodnoceny, v polohách na 500 m n. m. slabě nadhodnoceny (do 10 %). Ještě ve stejném roce 2013 bylo dosaženo maximum pro sezónu 2013/2014, a to 9. 12. 2013. Zima byly celkově velmi slabá a i k tomuto datu se sněhová pokrývka vyskytovala pouze ve vyšších polohách. Rozdíly měřených a vypočítaných dat se pohybovaly do 6 %, pouze v oblastech s nadmořskými výškami od 500 do 700 m n. m. byla vypočítaná data nadhodnocena o 15 %. Nejvyšší hodnoty



Obr. 4 Porovnání výsledných map z měřených a vypočtených hodnot 3. 1. 2011.



Obr. 5 Porovnání výsledných map z měřených a vypočtených hodnot 17. 1. 2011.



Obr. 6 Porovnání hodnot SVH a SVHV ve sledovaném období.

pro zimní období 2014/2015 byly naměřeny 9. 2. 2015. Ve výškových polohách do 900 m n. m. byly vypočítané hodnoty slabě nadhodnoceny (do 9 %), ve vyšších polohách pak slabě podhodnoceny (do 8 %).

ZÁVĚR

Metodika umožňuje zpracování výpočtu zásob vody ve sněhové pokrývce i v jiných termínech, než je pondělí, kdy je vodní hodnota měřena ve staniční síti. Podle srovnání obou výpočtů se prokázala její použitelnost.

Z postupného porovnání obou metod výpočtu zásob vody ve sněhové pokrývce, využívaných v hydroprognózní praxi, nelze jednoznačně určit, který prostředek je přesnější. Určující jsou podmínky v jednotlivých povodích. Problémy s výpočty při použití SVHV vznikají při změnách počasí, které nastanou těsně před pondělním termínem měření – obleva, nová sněhová pokrývka.

Větší rozdíly se projeví v horských oblastech. Vzhledem k jejich malému plošnému zastoupení v rámci celého území, a tedy k celkovým zásobám, není chyba zde tak závažná. Nejvýznamnější difference jsou patrné v oblastech pod 300 m, které jsou způsobeny problematickým výpočtem jednotné nulové izochiony. Při malé výšce sněhu jsou velké rozdíly i v rámci stejné nadmořské výšky. Problémem se jeví nulová vodní hodnota sněhu v případě, kdy pozorovatel hlásil nesouvislou sněhovou pokrývku, avšak sníh v lese, či na severním svahu měl ještě nezanedbatelnou vodní hodnotu

Všeobecné platí, že pro hodnocení by měly být vyloučeny termíny, kdy vodní hodnoty byla 4 mm a menší, kdy se tyto údaje těžko měří a jsou nepřesné (v návodu pro pozorovatele jsou tyto hodnoty považovány za neměřitelné). Z toho důvodu je vhodnější v těchto případech, tedy při nízkých výškách sněhové pokrývky, používat vypočtenou vodní hodnotu sněhu.

Problémy, které vznikají při zpracování výpočtu zásob vody ve sněhové pokrývce, v důsledku nedostatku informací, mapují oblasti, kde je vhodné umístění sněhoměrných polštářů. Díky finančním prostředkům se podařilo během 4 let počet polštářů více než zdvojnásobit.

VYHODNOCOVÁNÍ ZÁSOB VODY VE SNĚHOVÉ POKRÝVCE V ČHMÚ

Šimon Bercha

Český hydrometeorologický ústav, Praha, bercha@chmi.cz

Povodňové události z let 2000, 2003, 2005 a 2006, které byly způsobeny táním sněhu v kombinaci s intenzivními srážkami, prokázaly nutnost směřování dalšího výzkumu do oblasti modelování sněhových zásob a jejich operativnímu vyhodnocování pro potřeby hlásné a předpovědní povodňové služby. Současná praxe měření vodní hodnoty sněhu (SVH) zahrnuje několik typů zdrojových dat. Největší objem hodnot představuje týdenní měření ve zhruba 835 klimatologických a srážkoměrných stanicích, z nichž ale pouze 460 vybraných stanic je operativních a jejich hodnoty jsou k dispozici v databázi CLIDATA v reálném čase. Mezi další zdroje měření SVH patří experimentální profilová měření, která se uskutečňují buď pravidelně na 60 vybraných lokalitách anebo příležitostně v problematických regionech či v důležitém období maxim a intenzivního tání sněhové pokrývky. Důležitým zdrojem dat pro pravidelný výpočet zásob vody ve sněhu jsou hodnoty z 50 pomocných profilových stanic, které byly vybrány v místech s nedostatečnou hustotou staniční sítě (převážně odlehle horské a vrchovinné oblasti), a které jsou nezbytné pro kvalitní interpolaci vodní hodnoty. Skutečná hodnota výšky a vodní hodnoty sněhu je na těchto stanicích měřena jen zhruba třikrát za sezónu a po zbylé pondělní termíny jsou hodnoty sněhových charakteristik určeny dle dlouhodobého vztahu s okolními standardními stanicemi ČHMÚ.

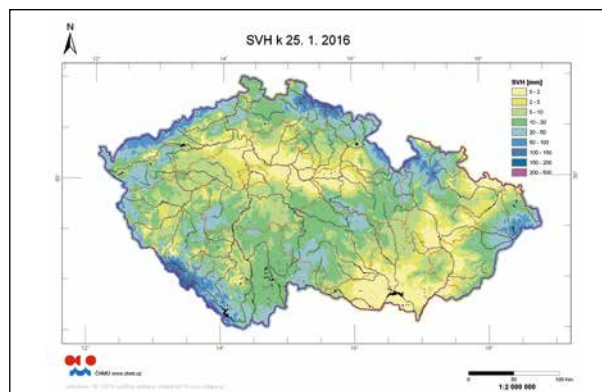
Významným zdrojem operativních dat je také síť automatických sněhoměrných stanic, které jsou schopny zaznamenat změny charakteristik sněhové pokrývky v desetiminutovém kroku. Síť sněhoměrných polštářů se postupně rozrostla v celkový počet 16 stanic, které jsou rovnoměrně rozmístěny ve vrchovinných a horských oblastech ČR. Polštáře jsou umístěny v reprezentativních částech sledovaných povodí nebo geomorfologických jednotek. Jejich průměrná nadmořská výška je okolo 700 m n. m. (minimum 650 m, maximum 1 062 m n. m.). Výhledově bude síť doplněna na konečné číslo 18 stanic tak, aby byly pokryty všechny důležité horské oblasti ČR.

V posledních letech ČHMÚ spolupracuje rovněž v pohraničních regionech se zahraničními službami (IMGW, SHMÚ), s tuzemskými institucemi (PřF UK, státní podniky Povodí) či s amatérskými pozorovateli, kteří pro ČHMÚ získávají sněhová data z problematických oblastí (např. Šumava).

Vzhledem k tomu, že data SVH je nutné pro výpočet zásob vody ve sněhové pokrývce často kontrolovat, opravovat a doplňovat, byl pro tyto účely od sezóny 2011/2012 zřízen v interní databázi ČHMÚ CLIDATA nový prvek HSVH – hydrologická vodní hodnota sněhu. Ke kontrole dat se využívá vypočtená vodní hodnota sněhu SVHV, která je pomocí empirického vzorce počítána v denním kroku pro konkrétní stanici. Dalším důležitým kontrolním prvkem manuálního měření jsou odborné odhady intervalů hustot sněhu (resp. vodnosti sněhu – vodní hodnota / výška sněhu), které jsou každý týden určeny pro tři různá výšková pásma (115–600 m n. m., 601–900 m n. m. a 901–1 603 m n. m.). V problematických situacích se určují intervaly hustot sněhu i pro specifické regiony ČR. Posledním kontrolním prvkem jsou data z vybraných profilových měření (např. měření oddělení OAH ČHMÚ v Jizerských horách a západních Krkonoších, měření na profesionálních stanicích ČHMÚ), jejichž hodnoty jsou pro daný region brány jako reprezentativní.



Obr. 1 Síť automatických sněhoměrných stanic (sněhoměrných polštářů) v ČHMÚ v roce 2016 (číslo za názvem stanice udává její nadmořskou výšku).



Obr. 2 Maximum zásob vody ve sněhové pokrývce v zimní sezóně 2015/2016 bylo 25. 1. 2016, kdy byla vypočtena průměrná SVH 15,1 mm a odhad celkového objemu sněhových zásob pro ČR činil 1,191 miliardy m³.

Pro kvalitní interpolaci dat SVH je nezbytné rovněž co nejpřesnější určení nulové izochiony (sněžné čáry s nulovou hodnotou) pro jednotlivé oblasti ČR. V rámci výpočtu zásob vody ve sněhu byla ČR rozdělena nejprve do 9 regionů (podkladem bylo 10 geomorfologických subprovincií) a poté i podrobněji do 27 regionů (podkladem bylo 28 geomorfologických oblastí). Pro každou oblast je k pondělnímu termínu určena hodnota nulové sněžné čáry, aby nedocházelo k chybným interpolacím, kdy byla vodní hodnota vypočtena i v oblastech, kde se sněhová pokrývka nevyskytovala.

K určení nulové izochiony slouží několik zdrojů. Za prvé jsou data získávána z portálu NSIDC (National Snow and Ice Data Center – University of Colorado), kde jsou archivovány snímky z každodenních přeletů družice MODIS nad střední Evropou. Výběr družicových snímků pro analýzu polohy sněžové linie je založen zejména na datu jejich pořízení a množství oblačnosti. Pro každý týden sledovaného období je volen jeden reprezentativní snímek. Vzhledem k pondělním pozemním měřením ČHMÚ jsou vybírány scény přímo pořízené v tento den nebo v nejbližším možném termínu. Do prostředí ArcGIS je následně importován transformovaný snímek jako klasifikovaný rastr, ze kterého jsou pro účely nulové izochiony podstatné třídy „sněhová pokrývka“, „území“ bez sněžové pokrývky“ a „oblačnost“.

Dalšími důležitými zdroji k určení nulové izochiony jsou webové kamery (kamery ČHMÚ, komerční kamery, kamery amatérských meteorologů atd.) a pochopitelně záznamy měření sněžové pokrývky na stanicích a v neposlední řadě i pozorování amatérských meteorologů.

Zkontrolována data a data nulové izochiony v jednotlivých regionech vstupují v zimní sezóně týdně do výpočtu v prostředí GIS, jehož účelem je co nejučelnější vyhodnocení sněžových zásob zejména pro potřeby ochrany před povodněmi a hospodaření s vodou. V prostředí GIS jsou vyhodnocovány aktuální zásoby vody pro celou ČR, jednotlivé kraje a výšková pásma, ale také pro několik desítek vybraných povodí a vodních děl. Dalším výstupem je textové zhodnocení vývoje počasí v týdnu předcházejícímu výpočtu zásob a výhled vývoje meteorologické situace v nadcházejícím týdnu. Důležitým výstupem je také mapa SVH k pondělnímu datu a posledním výstupem je porovnání aktuálních zásob vody ve sněžové pokrývce s ostatními zimními sezónami od roku 1970, respektive s maximálními, průměrnými a minimálními objemy zásob v konkrétním týdnu sezóny ve vybraných povodích ČR.

Literatura:

- BERCHA, Š., JIRÁK, J., 2012. Měření a hodnocení zásob vody ve sněžové pokrývce. (Measurement and evaluating of water amount in snow cover). In: *Sborník konference k 10. výročí povodně 2002*, Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha 14.–15. 8. 2012, s. 238, ISBN 978-80-02-02395-1.
- CEN (European Committee for Standardization), 2010, Hydrometry – Measurement of snow water equivalent using snow mass registration devices. Technical report CEN/TR 15996:2010: E.
- ČHMÚ, 2014. Návod pro pozorovatele automatických sněhoměrných stanic. *Metodický pokyn*, Vol. **13a**, s. 7–1.
- DUCHÁČEK, L., 2014. Vertikální variabilita polohy nulové izochiony v rámci geomorfologických oblastí Česka. *Geografie*, Vol. **119**, č. 2, s. 145–160.

AUTOMATICKÉ MĚŘENÍ VÝŠKY SNĚHOVÉ POKRÝVKY – ROZŠÍŘENÍ SÍTĚ SNĚHOMĚRNÝCH STANIC ČHMÚ

J. Jiráček¹, Š. Bercha²

¹Český hydrometeorologický ústav, Jablonec nad Nisou, jirak@chmi.cz

²Český hydrometeorologický ústav, Praha, bercha@chmi.cz

V roce 2016 přistoupil Český hydrometeorologický ústav k řešení projektu, jehož cílem je rozšíření a inovace sítě automatických sněhoměrných stanic pro zlepšení informací o sněhových zásobách.

Významné zimní povodně se vyskytly v roce 2000 na Jizeře, nebo v roce 2006 na území celé ČR. Vyhodnocení těchto povodní ukázalo na důležitost informací o množství sněhové pokrývky jako faktoru pro účinné vytváření předpovědí a výstrah i pro řízení vodních nádrží v období před a během tání sněhu.

Sníh je důležitý klimatický prvek, jehož měřené parametry (výška sněhu a vodní hodnota sněhu) jsou nezbytnou součástí monitoringu ČHMÚ a jsou důležité jak pro klimatologii a meteorologii, tak i pro obor hydrologie. Informace o rozložení, výšce a vodní hodnotě sněhové pokrývky jsou důležité zejména pro předpovědi průtoků na tocích v době tání (ať již při oblevách v průběhu zimní sezóny či při intenzivním jarním tání). Zároveň údaje naměřené na sněhoměrných stanicích slouží pro interpolaci zásob vody ve sněhové pokrývce v ČHMÚ v průběhu celé zimní sezóny (vyhodnocování v týdenním cyklu).

ČHMÚ v rozmezí let 2006–2015 postupně vybudoval síť automatických sněhoměrných stanic (polštářů), které jsou schopny měřit výšku i vodní hodnotu sněhu a byly umísťovány do reprezentativních lokalit většiny českých vrchovin a hornatin. Plánované rozšíření sítě stanic, automaticky měřících výšku sněhu, v dalších problematických oblastech vhodně doplní tuto stávající síť. Rozšíření sítě automaticky měřících stanic přispěje ke kvalitnější plošné interpolaci dat, která bude využita jak v hlášené a předpovědní povodňové službě, tak pochopitelně i při výpočtu zásob vody ve sněhové pokrývce pro jednotlivá povodí a vodní nádrže.

V rámci projektu dojde k instalaci 37 nových stanic na měření výšky sněhové pokrývky, které budou rozmístěny v rámci působnosti všech poboček ČHMÚ v celé ČR. Dvacet osm sněhoměrných stanic je plánováno jako součást již stojících klimatologických či srážkoměrných stanic (zde by se jednalo většinou o instalaci laserového čidla) a zbylých 9 stanic je plánováno jako samostatně stojící stanice v nejproblematičtějších regionech z hlediska nebezpečí tání sněhu vyžadujících hustější pokrytí měření (převážně půjde o instalace na principu ultrazvukového čidla).

TECHNICKÁ SPECIFIKACE

– dovybavení automatizovaných klimatologických, srážkoměrných a manuálních srážkoměrných stanic sněhoměrným čidlem:

a) Laserové čidlo:

- nastavitelná prahová teplota pro řízení vytápění pro teploty $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- měření výšky sněhu v rozsahu minimálně 0–4 m
- montážní vzdálenost od měřeného povrchu 0,1–30 m
- přesnost měření výšky sněhu $\pm 5\text{ mm}$
- on-line komunikace se sběrným serverem v síti ČHMÚ
- umístění na stávající konstrukci stanice nebo na kotvený stožár pro dosažení předem určené výšky

b) Ultrazvukové čidlo:

- měření výšky sněhu v rozsahu minimálně 0–4 m
- přesnost měření výšky sněhu $\pm 5\text{ mm}$
- on-line komunikace se sběrným serverem v síti ČHMÚ
- umístění na stávající konstrukci stanice nebo na kotvený stožár pro dosažení předem určené výšky



Obr. 1 Samostatně stojící automatická sněhoměrná stanice s ultrazvukovým čidlem na Plechém.

TECHNICKÁ SPECIFIKACE

– realizace samostatně stojících automatických sněhoměrných stanic:

Ultrazvukové čidlo:

- měření výšky sněhu v rozsahu minimálně 0–4 m
- přesnost měření výšky sněhu ± 5 mm
- on-line komunikace se sběrným serverem v síti ČHMÚ

Technické řešení konstrukce a zabezpečení provozu mimo standardní síť ČHMÚ:

- kotvený stožár s výložníkem pro dosažení předem určené výšky snímače
- telemetrická jednotka v síti GSM zabezpečující sběr dat a on-line komunikaci se sběrným serverem v síti ČHMÚ včetně rozvodné skříně
- bezúdržbový akumulátor doplněný solárním panelem zajišťující dlouhodobou energetickou nezávislost stanice

VYHODNOCENÍ LAVINOVÉ AKTIVITY V ČESKÉ ČÁSTI KRKONOŠ 1961–2013

Roman Juras¹, Jirka Pavlásek¹, Jan Blahůt², Zbyněk Klose¹

¹Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze,

²Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i., Praha

ÚVOD

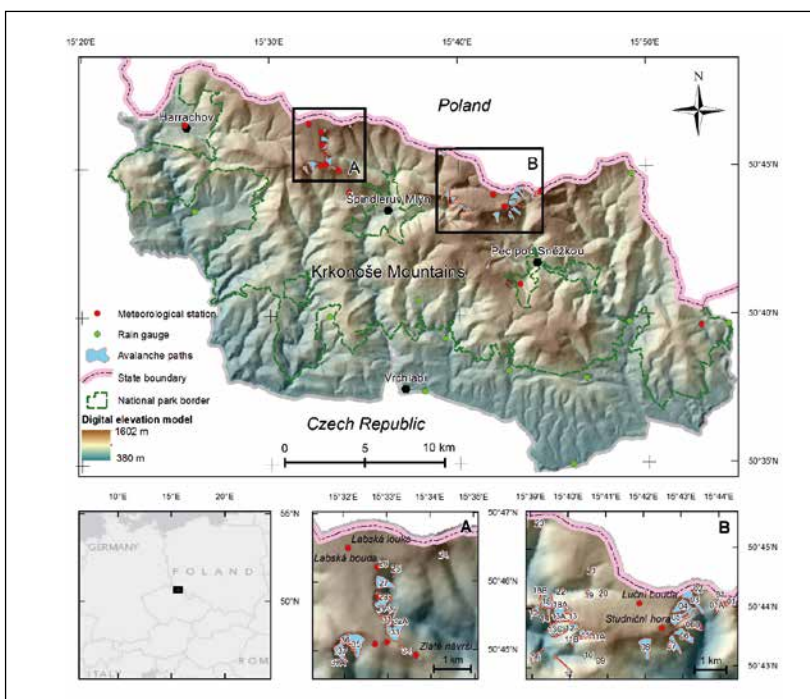
Předkládaná práce představuje základní vyhodnocení lavinové aktivity v české části Krkonoš od sezóny 1961/1962 do sezóny 2012/2013. Tento přehled je srovnán s vyhlášenými stupni lavinového nebezpečí, které byly zavedeny od roku 2005.

V české části Krkonoš se nachází 55 tradičních lavinových drah, které jsou lokalizovány ve východní a v západní části Krkonoš (obr. 1). Studované území se rozkládá na ploše 550 km², přičemž plocha lavinových drah pokrývá 5,7 km², tj. přes 1 % studovaného území (Blahůt et al. 2016). Od roku 1961 probíhá na území pravidelný monitoring lavinového aktivity a do zimní sezóny 2012/2013 bylo zaznamenáno celkem 1 131 lavin (obr. 2).

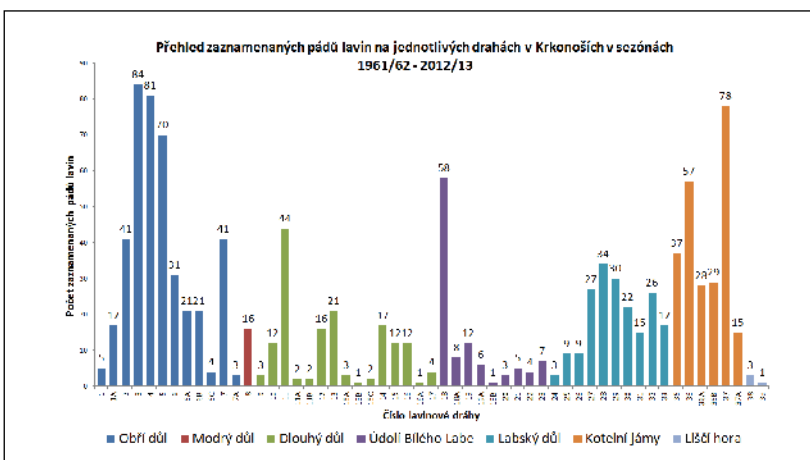
STATISTICKÁ ANALÝZA

V rámci studie byly zpracovány historické záznamy o pádech jednotlivých lavin uvedených v lavinovém katastru (Spusta et al. 2003; Spusta and Kociánová 1998). Tento katastr byl digitalizován a aktualizován do zimní sezóny 2012/2013. Záznamy byly uloženy do databáze, která zahrnuje pády lavin na území České republiky. Z historických záznamů o pádech lavin byla sestavena základní časová řada, ze které lze určit počty pádů lavin v jednotlivých letech, nebo procentuální rozložení lavinové aktivity v Krkonoších (obr. 2–5). Charakteristika lavin je prováděna dle mezinárodní klasifikace (de Quervain et al. 1973), kterou používají pracovníci horské služby. Vzhledem ke specifickým klimatickým poměrům Krkonoš byly zavedeny i další kódy (Spusta and Kociánová 1998).

Lavinová aktivita v české části Krkonoš za sledované období má tři



Obr. 1 Mapa znázorňující tradiční lavinové dráhy v české části Krkonoš. Dráhy jsou zobrazeny pro západní (A) a východní (B) část Krkonoš.



Obr. 2 Počet spadlých lavin na tradičních lavinových drahách. Jednotlivé barvy představují větší geografický celek jednotlivých údolí, karů případně hor.

významná maxima (1986/1987, 2001/2002 a 2004/2005) a také jedno absolutní minimum (2010/2011), kdy v české části Krkonoš nespadla žádná lavina. Dlouhodobý průměr má hodnotu 21,7 laviny za sezónu. Podle počtu spadlých lavin v jednotlivých měsících, lze za měsíc s průměrně nejvyšším počtem pádů lavin označit březen (obr. 3), kdy 36,19 % lavin spadne právě v tomto měsíci.

Dalšími měsíci s největším počtem lavin jsou leden a únor. Dle předpokladů jsou nejméně časté pády lavin v období počátku a konce zimní sezóny. Z dalších charakteristik a forem měly nejvyšší procentuální zastoupení: desková lavina měkká (A3: 45,48 %), povrchová lavina (B1: 59,93 %), lavina tvořena suchým sněhem (C1: 61,44 %), kombinace plošné-žlabové laviny (D7: 50,13 %), lavina tekoucí, klouzající po sklonu horizontu (E2: 79,7 %), lavina tvořena beztvárným nánosem (F4: 32,62 %), suchým sněhem (G1: 58,78 %), čistým sněhovým nánosem (H1: 62,5 %) a zcela dominantní je zastoupení lavin uvolněných samovolně (J1: 98,85 %). Nejvyšším počtem pádů lavin na dráhu (obr. 2) se vyznačují Kotelní jámy (40,67 pádů na dráhu), těchto 6 lavinových drah je tedy nejvíce zasahováno lavinovou činností. Druhým v pořadí je Obří důl (34,9 pádů na dráhu), a to i přes takřka dvojnásobný počet spadlých lavin za sledované období 1961/1962–2012/2013 (419 spadlých lavin oproti 244 v Kotelních jámách). Je to způsobeno dvojnásobným počtem lavinových drah a tedy rozptřením lavinové aktivity mezi tyto dráhy.

Ze statistického vyhodnocení digitalizovaných dat je patrné, že nejčastěji se v jednom dni uvolní jedna lavina. Přesto jsou relativně časté i situace, kdy se v jednom dni uvolní 2–5 lavin. Jako výjimečný, ale pozorovaný stav je situace, kdy se v jednom dni v Krkonoších uvolnilo 25 lavin (13. 1. 1987).

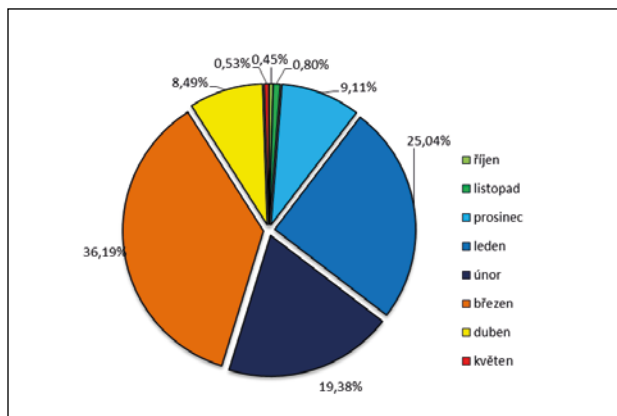
Dalším výstupem digitalizace lavinového katastru a databáze pádu lavin je mapová služba, která tato data vizualizuje v rámci mapové kompozice a přináší vyhodnocení v podobě lokalizovaných kartodiagramů (www.laviny.info).

ANALÝZA DATABÁZE VYHLÁŠENÝCH STUPŇŮ LAVINOVÉHO NEBEZPEČÍ

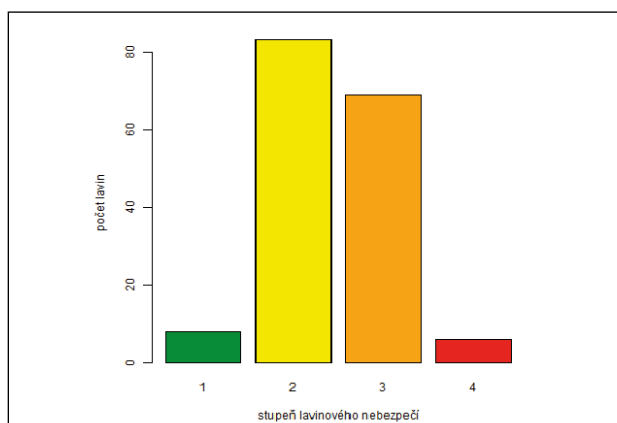
Dále bylo analyzováno období, pro které byly pravidelně vyhlášovány stupně lavinového nebezpečí. Tyto informace jsou dostupné od zimy 2005/2006. Analýza tedy probíhala pro období od prosince roku 2005 do března roku 2013.

Podle analýzy četnosti výskytů jednotlivých vyhlášených stupňů lavinového nebezpečí bylo zjištěno, že nejčastěji vyhlášeným stupněm je druhý stupeň lavinového nebezpečí, kdy ve sledovaném období bylo 596 dní s tímto vyhlášeným stupněm. První stupeň byl vyhlášen celkem pro 410 dní a třetí stupeň pro 284 dní. Čtvrtý stupeň lavinového nebezpečí byl vyhlášen pouze pro 18 dní v analyzovaném období.

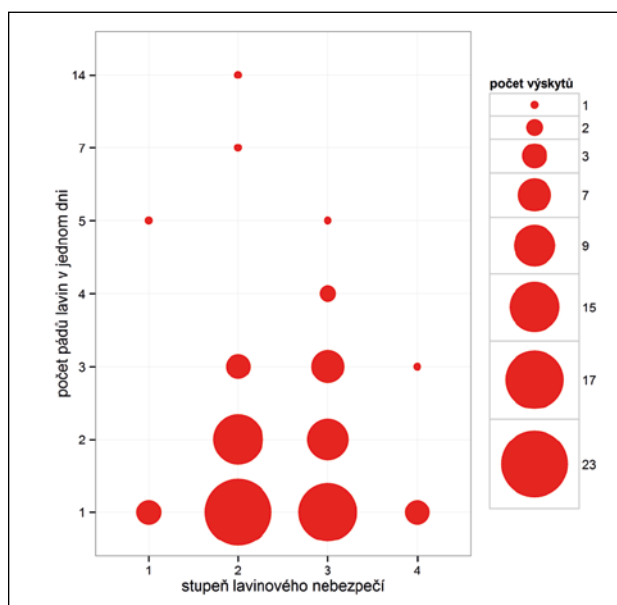
Dále byl analyzován počet zaznamenaných lavin při jednotlivých vyhlášených stupních lavinového nebezpečí.



Obr. 3 Procentuální rozložení lavinové aktivity podle měsíců za zimní sezóny 1961/1962 až 2012/2013.



Obr. 4 Četnost pádů lavin při vyhlášeném stupni lavinového nebezpečí v období 12/2005–3/2013.



Obr. 5 Počet výskytů pádů lavin v jednom dni při určitém vyhlášeném stupni lavinového nebezpečí.

pečí (obr. 4). Nejčastěji padaly v Krkonoších laviny při vyhlášeném druhém stupni. Významný je i počet zaznamenaných lavin při vyhlášeném třetím stupni lavinového nebezpečí.

Na obr. 5 je znázorněn počet výskytů pádů lavin v jednom dni při daném vyhlášeném stupni lavinového nebezpečí. Z obr. 5 je patrné, že nejčastějším případem (23 výskytů) je uvolnění jedné laviny v daném dni při vyhlášeném druhém stupni lavinového nebezpečí. Druhým nejčastějším případem (17 výskytů) je pád jedné laviny v jednom dni při vyhlášeném třetím stupni. Podobný výskyt (15 případů) je uvolnění dvou lavin v daném dni při vyhlášeném druhém stupni lavinového nebezpečí.

ZÁVĚR

Oblasti, kde v České republice dochází k pádům lavin, nejsou plošně rozsáhlé. Výskyt pádu laviny je ale relativně častým jevem s vysokým stupněm nebezpečí. Pro snížení tohoto rizika jsou každý den Horskou službou vyhlášováni stupně lavinového nebezpečí. Z výsledků výzkumu vyplývá, že samovolné uvolnění laviny při vyhlášeném prvním (nejnižším) stupni lavinového nebezpečí, je jev velice řídký, pravděpodobnost výskytu laviny je cca 2%. Pády laviny při nejčastěji vyhlášaném druhém stupni jsou už ale častějším jevem, pravděpodobnost pádu lavin při druhém stupni je 14%. Při třetím stupni lavinového nebezpečí je pravděpodobnost pádu lavin 25% a při čtvrtém stupni 45%. Pátý, nejvyšší, stupeň lavinového nebezpečí nebyl dosud v Krkonoších vyhlášen. Z těchto výsledků je zřejmé, že vyhlášené stupně lavinového nebezpečí jsou pro veřejnost velice dobrou informací, která pomáhá bezpečnému pohybu v horských oblastech.

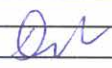

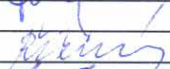
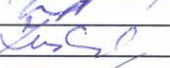

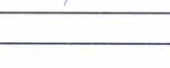
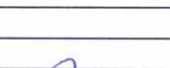
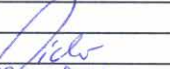
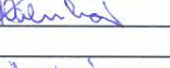
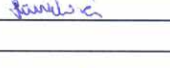
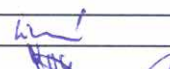
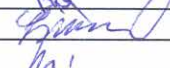
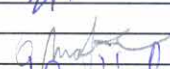
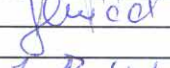
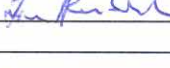

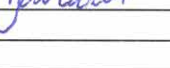


Poděkování

Na tomto místě bychom chtěli poděkovat ministerstvu vnitra České republiky za finanční podporu (VG 20132015115) a také ostatním spolupracovníkům, kteří se podíleli na zpracování výsledků. Velké díky patří také správě KRNAP za poskytnutá geografická data, ČHMÚ za meteorologická data a panu Valeriánu Spustovi za data pádů lavin.

Literatura:

- BLAHŮT, J., BALEK, J., KLIMEŠ, J., 2016. Mapa lavinového ohrožení v horských oblastech České republiky.
- DE QUERVAIN, M. R., DE CRECY, L., LACHAPPELLE, E. R., LOSEV, K., SHODA, M., 1973. Avalanche classification, *Hydrol. Sci. Bull.*, Vol. **18** (4), s. 391–402.
- SPUSTA, V., KOCIÁNOVÁ, M., 1998. Lavinový katastr české části Krkonoš v období 1961/62–1997/98, *Opera Corcon.*, Vol. **35**, s. 3–205.
- SPUSTA, V., SPUSTA, V. J., KOCIÁNOVÁ, M., 2003. Lavinový katastr a zimní situace na hřebenu české části Krkonoš v období 1998/99–2002/03. Avalanche Cadastre and Winter Condition in Summit Area of the Giant Mts. (Czech part) during 1998/1999–2002/2003, *Opera Corcon.*, Vol. **40**, s. 5–86.

Internetové zdroje: www.laviny.info

instituce	jméno	
Ústav Hydrologie SAV Liptovský Mikuláš	Michal DANKO	
Český hydrometeorologický ústav		
Jablonec nad Nisou	Jan Jiráček	
	Václav Vajskebr	
	Ruda Hancvencl	
Praha	Šimon Bercha	
	Pavla Řičicová	
	Martina Kimlová	
	Ilona Zusková	
ČHMÚ Hradec Králové		
	Evža Hančarová	
ČHMÚ Brno		
	Stanislav Lejska a Karel Kněžinek	
	+1	
Technická univerzita Zvolen		
	Jarko Škvarenina JARKO VIDO	
	Martin Bartík PAULINA NAJEVANKOVA	
	Michal Mikloš	
	Mirka Hanzelová	
SHMÚ		
	Soňa Liová	
	Vladimír Magerčák	
	Dorota Simonová	
	Daniela Kyselová	
PřF UK Praha		
	Ondřej Matějka	
	Michal Jeníček	
	Jirka Roubínek	
ČZU		
	Roman Juras	
	Jirka Pavlásek	
	+1	

Martina Kimlová, Pavla Řičicová, Šimon Bercha

Publikace neprošla jazykovou úpravou, za obsah příspěvků odpovídají autoři.

XXI. Stretnutie sněhářov

Vydalo nakladatelství Český hydrometeorologický ústav, Praha 2017

1. vydání, 64 stran. Náklad 100 výtisků.

Vytiskla tiskárna Českého hydrometeorologického ústavu

Na Šabatce 2015/17, 143 06 Praha 4-Komořany

ISBN 978-80-87577-75-2

ISBN 978-80-87577-75-2