

Hodnocení sněhové pokrývky na Šumavě jako možného indikátoru klimatických a souvisejících změn

Snow Cover Assessment in the Bohemian Forest as a Potential Indicator of
Climatic and Relating Changes

Jan Procházka¹⁾, Miroslav Tesař²⁾ a Jiří Bednařík²⁾

¹⁾Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta

²⁾Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v.v.i.

Abstrakt

Třebaže hydrologické procesy při ukládání a tání sněhové pokrývky a zvláště pak jarní tání představují dominantní hydrologické jevy v mnoha oblastech s významnou sezónní sněhovou pokrývkou, jejich pochopení není dostatečné. Diskutuje se vliv klimatické změny (růst teploty vzduchu) na dobu trvání a tání sněhové pokrývky, rovněž i role krajinného pokryvu při tání sněhu. Předložený článek se zabývá vyhodnocením klimatických změn, přičemž jako indikátoru byla využita variabilita a změny sněhové pokrývky pozorované na dvou horských stanicích na Šumavě (Churáňov 1118 m n. m. a Březník 1137 m n. m.). Ve srovnání s koncem 20. století dochází k odtávání sněhu a odtoku do vody do řek na Šumavě dříve. V porovnání s Churáňovem, výraznější změny teploty vzduchu a v odtávání sněhu v oblasti Březníku pravděpodobně souvisí s rozpadem okolního lesa.

Klíčová slova: sněhová pokrývka, klimatické změny, Šumava, Churáňov, Březník

Abstract

Although hydrological processes concerning the snow cover and especially spring snowmelt represent dominant hydrological events in many seasonally snow-covered regions, remain poorly understood. The impact of climate change (air temperature increasing) on the duration and snow cover melting is discussed, as well the role of land cover. The present article deals with the assessment of the climate changes using as an indicator the variability and changes of the snow cover observed in two mountainous stations situated in the Bohemian Forest (Churáňov 1118 m a.s.l. and Březník 1137 m a.s.l.). In Bohemian Forest, snow is melting and flowing into rivers earlier than it did in the end of the 20th century. Compared to the Churáňov area, the more advanced changes of air temperature and snowmelting in the Březník area probably related to the forest disturbance.

Keywords: snow cover, climate changes, Bohemian Forest, Churáňov, Březník

Úvod

Sněhová pokrývka se na našem území vyskytuje zpravidla od listopadu do dubna, občasně pak i v říjnu a květnu, zejména ve vyšších horských polohách. V souvislosti s probíhající klimatickou změnou je možné pozorovat určité trendy ve výskytu sněhové pokrývky, době jejího trvání a rychlosti odtávání. Sněhová pokrývka je často významným příspěvkem do hydrologické bilance a zejména v souvislosti s absencí sněhově bohatých zim v posledních letech vyvstává otázka, jak velkou měrou se nedostatek sněhu podílí na stále častějším výskytu delších období sucha v první polovině roku. I z tohoto důvodu je potřeba měření sněhových charakteristik věnovat odpovídající pozornost.

Třebaže je formování odtoku v průběhu jarního tání klíčovým hydrologickým procesem v oblastech s významnou sněhovou pokrývkou, stále zůstává tento proces ne zcela objasněn (Laudon et al., 2004; Stähli, 2017). Rovněž důležitou roli při formování odtoku hraje promrzání půdy, přičemž jeho působení bývá popisováno různě, avšak obvykle je spojováno se zvýšením odtoku při tání a srážkových událostech na promrzlé půdě (Dunne and Black, 1971; Kane and Stein, 1983). Naproti tomu existují však i studie, které dokumentují vysokou infiltrační schopnost zmrzlých půd, případně její variabilitu v měřítku povodí (Stadler et al., 1996; Nyberg et al., 2001; Bayard et al., 2005; Fuss et al., 2016). Jako zajímavé zjištění lze uvést zdánlivě paradoxní jev, který nastává při oteplování klimatu, a sice ochlazování půdního profilu a promrzání půdy dané redukcí izolační schopnosti sněhové pokrývky (Isard and Schaetzl, 1998; Groffman et al., 2001; Campbell et al., 2010).

Sledování výskytu a výšky sněhové pokrývky se provádí standardně na více než dvou stech klimatických a téměř šesti stech srážkoměrných stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). V posledních letech dochází k automatizaci měření výšky sněhové pokrývky (SCE) a její vodní hodnoty (SVH) zpravidla na méně dostupných místech, ponejvíce v nadmořských výškách 600 - 800 m vzhledem k reprezentativnosti pro dané hydrologické jednotky (Jiráček, 2015). Zmíněné způsoby soustavného sledování dále doplňují expediční měření za účelem získání údajů o SCE a SVH pro následnou interpolaci hodnot a výpočty zásob vody ve sněhu např. pro hydroprognózní praxi. Výskyt, akumulaci, tání a vlastnosti sněhové pokrývky ovlivňuje celá řada faktorů od těch klimatických, přes geografické až po vegetaci. Vliv vegetace, zejména výskytu lesa, na akumulaci a tání sněhu doložila celá řada studií (Pobříšlová a Kulasová, 2000; Hříbík a Škvarenina, 2007; Šípek a Tesař, 2014; Jeníček et al., 2017). Uplatňuje se zejména ve vyšších polohách, resp. oblastech s výskytem sněhově bohatší pokrývky. Hustota vegetace a koruny stromů nejdříve díky intercepci brání rychlejší

akumulaci sněhu, v průběhu zimy a v jarním období na druhou stranu významně zpomalují tání sněhu. Naopak na plošně významných místech bez lesa probíhá sice rychlejší akumulace sněhu v počátcích zimního období, ale tání pak probíhá podstatně rychleji, dochází k rychlejšímu a časnějšímu odtoku vody z povodí.

V oblasti centrální Šumavy došlo v posledních dvou desetiletích na významné ploše k rozpadu stromového patra. Proto, i v souvislosti s klimatickou změnou a s ní spojenou rostoucí teplotou vzduchu, je žádoucí věnovat monitoringu sněhové pokrývky zvýšenou pozornost. V rámci této studie byly hodnoceny dostupné údaje o sněhové pokrývce z centrální části Šumavy z amatérské meteorologické stanice Březník a ze stanice ČHMÚ z vrcholu Churáňova.



Obr. 1. Meteorologická stanice Březník 30. 3. 2018

Data a metody

Meteorologická sledování na Březníku (Obr. 1) mají poměrně dlouhou historii, leč bohužel na velmi dlouhou dobu přerušenu. Srážkoměrná stanice zde fungovala již v 90. letech 19. století a skončila záhy po 2. světové válce. Z tohoto období je z Březníku znám zejména průměrný roční úhrn srážek 1550 mm. Podobný osud postihl i řadu dalších lokalit, kdy se několik desetiletí v centrálním příhraničí Šumavy neměřilo. Postupné zlepšení v oblasti měření srážek nastalo instalací totalizátorů (Starostová, 2012; Vavruška, 2011). Novodobá meteorologická měření na Březníku zahájil v roce 1987 pan Antonín Vojvodík, který v údolí Luzenského potoka (1137 m n. m.) vybudoval stanici měřící teplotu vzduchu a s pomocí dalších

dobrovolníků pravidelně zaznamenával výšku sněhové pokrývky. S automatizací v roce 2010 byla stanice s měřením teploty zařazena do sítě stanic ČHMÚ. Kromě teploty vzduchu a výšky sněhu se zde měří expedičně i SVH a srážkové úhrny. Součástí pozorování je i snímání okolí stanice pomocí webkamery s vysokým rozlišením (realizuje spolek sumava.eu ve spolupráci s NP Šumava), jež je kvalitou a provozem obdobou sítě kamer ČHMÚ (Procházka a kol., 2017).



Obr. 2. Meteorologická stanice Churáňov 2. 1. 2006 (© Roman Szpuk)

Nejstarší zápisy v meteorologických denících churáňovské stanice (když pomineme na nedalekém Zadově starší, podle tehdejší klasifikace meteorologickou stanicí II. řádu, měřící údaje od roku 1939 do roku 1961) jsou z 9. 12. 1952, pár dní nato byla zahájena přístrojová měření. Během 65 let provozu stanice sloužilo na Churáňově 31 stálých pozorovatelů (Bednařík, 2017). V nadmořské výšce 1118 m jsou zde zaznamenávány všechny podstatné meteorologické prvky. Přestože vzhledem k její poloze reprezentuje spíše vnitrozemskou část vyšší Šumavy, má pro místní klimatologii kromě rozsahu dat nesporný význam i vysoká kvalita měření a pozorování, a také délka a homogenita pozorovací řady (Vavruška 2002). Na Šumavě se, pokud jde o zimní srážky a sněhovou pokrývku, více než jinde projevují vlivy orografie a fénového efektu. Vzhledem k převládajícímu proudění (jihozápadní) je příhraniční návětrná část Šumavy velmi bohatá na zimní srážky, zatímco vnitrozemská část za hranou pohorí většinu těchto srážek postrádá. zesílený fénový efekt (díky relativně blízkému masívu

alpského pohoří) na Šumavě navíc často způsobuje výrazné zimní oblevy. Meteorologická stanice Churáňov (Obr. 2) v tomto směru reprezentuje výše položené oblasti Šumavy vzdálenější od srážkového návětrí, zatímco meteorologická stanice Březník oblast pohoří na srážky a sněhovou pokrývku bohatší. Obě stanice mají podobnou nadmořskou výšku.

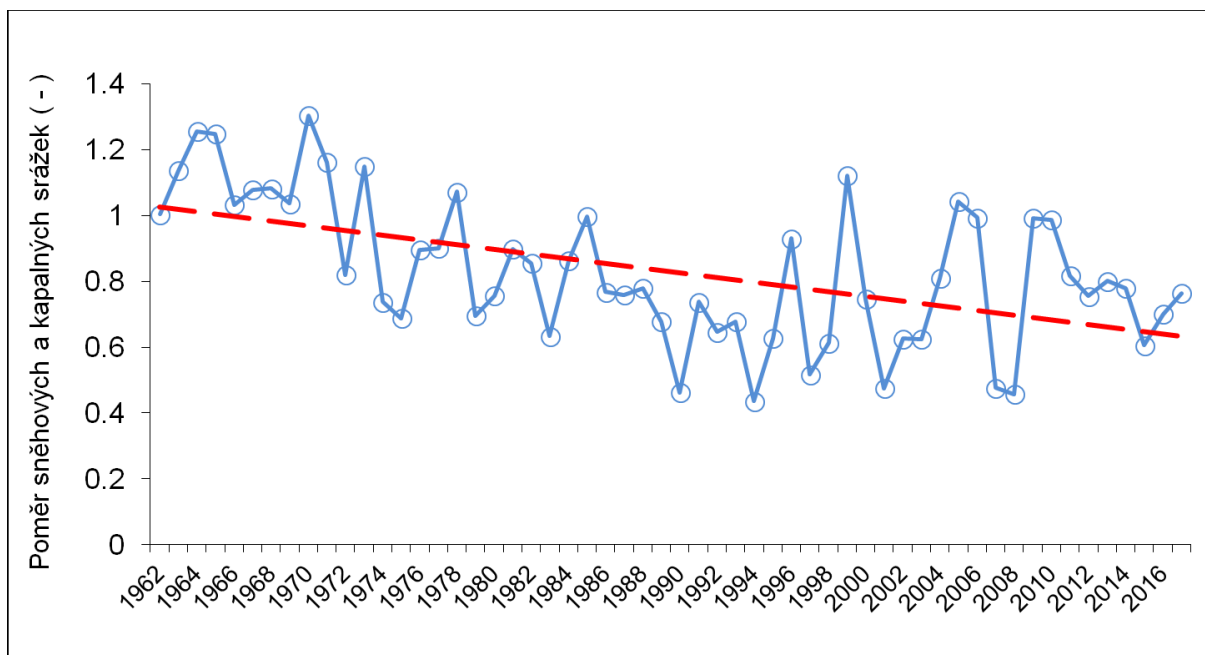
Pro porovnání trendu v odtávání sněhové pokrývky byly hodnoceny údaje o SCE za jarní období, březen - květen, v letech 1987 až 2018. Z pohledu změn v odtávání sněhové pokrývky byl zpracován 10letý průměr od počátku „novodobého“ měření na Březníku, tedy za roky 1987 až 1996, a ten byl porovnán s aktuálním desetiletým průměrem, za roky 2009 až 2018. Doplňkově byl hodnocen 5letý průměr z posledního období (roky 2014 až 2018), kdy se mohou změny v odtávání sněhu vzhledem k několika minulým podprůměrným zimám očekávat ještě výraznější.

Podobně bylo přistoupeno k hodnocení teploty vzduchu, jen s tím rozdílem, že byla hodnocena průměrná měsíční teplota (březen až květen).

Porovnání bylo provedeno jak mezi uvedenými obdobími, tak mezi stanicemi Březník a Churáňov. V oblasti Březníku lze předpokládat určitý vliv odumření okolního lesa (stromového patra), částečně již na konci 90. let 20. století a markantněji po orkánu Kyril (v roce 2007). V oblasti meteorologické stanice Churáňov se stav vegetace (lesa) v širším okolí významně nezměnil, jen v těsném okolí musel být v roce 2004 odtěžen pruh rostoucího lesa kvůli reprezentativnosti měření v areálu stanice (Bednařík, 2017).

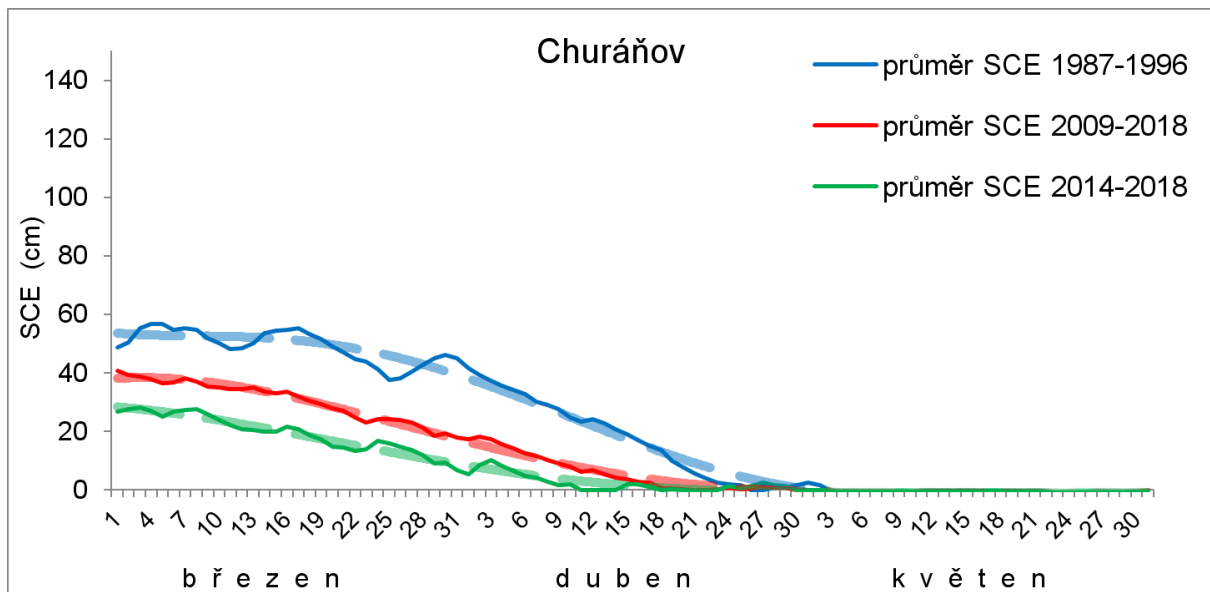
Výsledky

Jako možného indikátoru klimatických změn v souvislosti se sněhovými charakteristikami bylo použito vyčíslení poměru mezi srážkami v pevné a kapalné fázi. Dlouhodobá řada sledování na stanici Churáňov umožňuje vyhodnotit průběh hodnot poměru nově napadlého sněhu k celkovému srážkovému úhrnu v zimním období, v tomto případě pro měsíce prosinec až březen. Pro hodnocené období 1962 – 2017 je od počátku měření zjevně patrný klesající trend (Obr. 3).



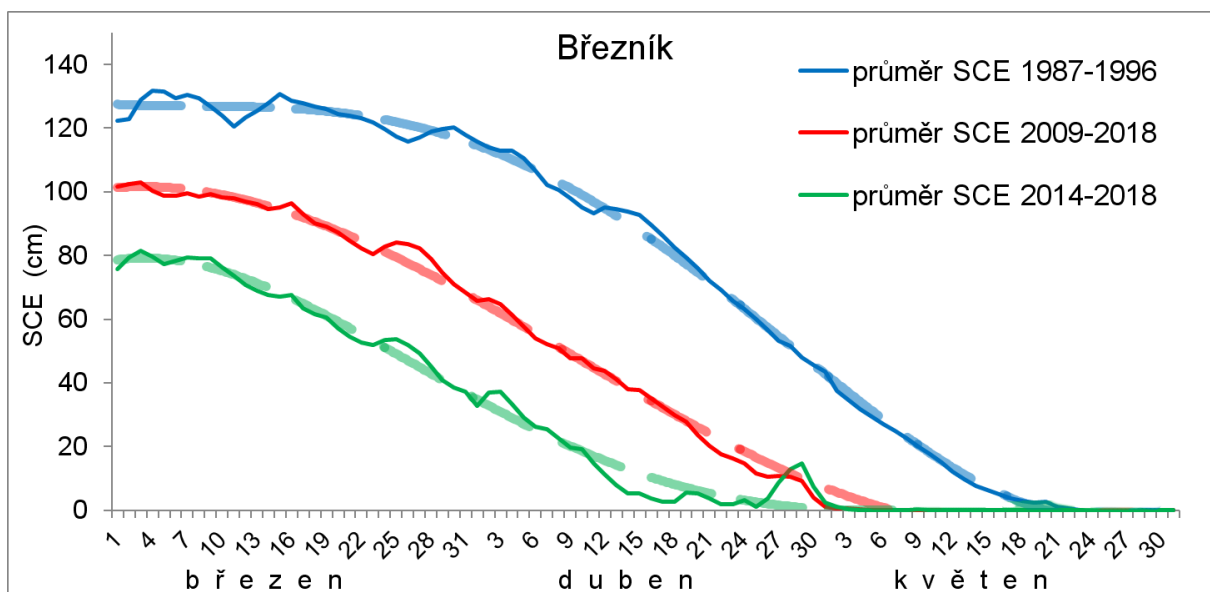
Obr. 3. Mění se poměr sněhových (vyjádřeno jako úhrn nového sněhu v cm) k celkovému srážkovému úhrnu kapalných srážek (vyjádřeno v mm) za zimní období (prosinec – březen) ve stanici Churáňov.

K odtávání sněhové pokrývky na meteorologické stanici Churáňov docházelo v letech 1987 až 1996 v průměru 3. dubna, v období posledních 10 let je to v průměru 29. března. V případě posledních pěti let je zde průměrný termín ukončení souvislosti sněhové pokrývky ze zimy již 23. března. Změny trendu v odtávání sněhové pokrývky na Churáňově jsou zřejmé z průběhu průměrné výšky sněhové pokrývky na jaře pro hodnocená období (Obr. 4). Při porovnání dvou uvedených 10letých období, roztává sníh nyní na Churáňově v průměru o 5 dní dříve, v posledních pěti letech v průměru o 11 dní dříve, než tomu bylo na počátku hodnoceného období.



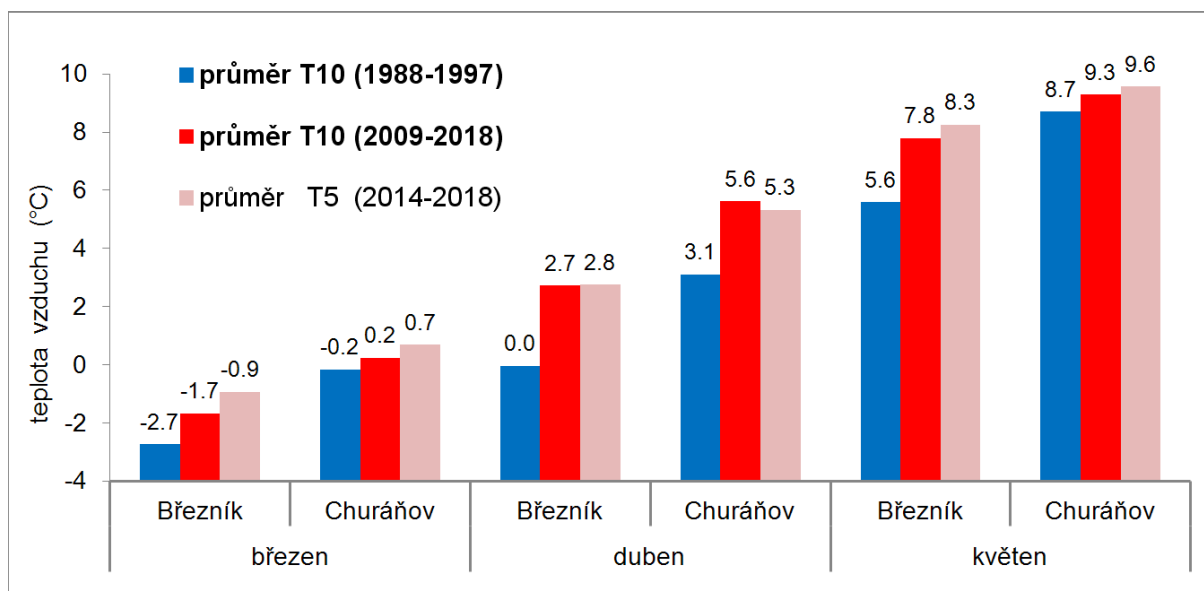
Obr. 4. Porovnání průměrné výšky a trendu odtávání sněhové pokrývky (SCE v cm) pro různá období na stanici Churáňov (1118 m n. m.)

V případě odtávání souvislé sněhové pokrývky na Březníku, zde k tomu docházelo v letech 1987 až 1996 v průměru 30. dubna, zatímco v letech 2009 až 2018 to bylo v průměru 16. dubna. V případě posledních pěti let, je průměrný termín ukončení souvislosti sněhové pokrývky ze zimy již 9. dubna. Změny trendu v odtávání sněhové pokrývky na Březníku jsou zřejmé z průběhu průměrné výšky sněhové pokrývky na jaře pro hodnocená období (Obr. 5). Při porovnání dvou uvedených 10letých období, roztává sníh nyní v oblasti Březníku v průměru o 14 dní dříve, v posledních pěti letech v průměru dokonce o 21 dní dříve, než tomu bylo v případě počátečního hodnoceného období.



Obr. 5. Porovnání průměrné výšky a trendu odtávání sněhové pokrývky (SCE v cm) pro různá období na stanici Březník (1137 m n. m.)

Průměrná měsíční teplota vzduchu má ve všech měsících a u obou stanic vzrůstající tendenci (Obr. 6). Při porovnání 10letých období stoupla v obou případech nejvýrazněji teplota vzduchu v měsíci dubnu, na Březníku pak i v květnu. V posledních 5 letech naopak nebyl v dubnu v průměru viditelný nárůst teplot zaznamenán, zatímco viditelný nárůst teplot je v březnu, menší pak v květnu.



Obr. 6. Průměrná měsíční teplota vzduchu v jarních měsících pro různá období pozorování na stanicích Březník a Churáňov (T10 - desetiletý průměr teploty, T5 - pětiletý průměr teploty)

Největší rozdíl změny teploty mezi stanicemi Březník a Churáňov byl v květnu, kdy na Březníku vzrostla průměrná měsíční teplota o 1,6 °C více než na Churáňově. V Březnu topak bylo o 0,6 °C a v dubnu jen o 0,2 °C. Při porovnání změny teploty za celé jaro, vzrostla průměrná teplota na Churáňově o 1,2 °C, kdežto na Březníku o celé dva stupně 2,0 °C (Tab. 1).

Tab. 1. Změna teploty (nárůst o °C) mezi 10letým teplotním průměrem z období 1988-1997 a 2009-2018 pro jednotlivé měsíce a celé jarní období na stanici Březník a Churáňov

	březen	duben	květen	jaro
Březník	1.0	2.7	2.2	2.0
Churáňov	0.4	2.5	0.6	1.2

Diskuze

Lokalita Březník se nachází v srdci horských smrkových lesů do značné míry ovlivněných disturbancí stromového patra vlivem kůrovce, dříve samota, dnes informační středisko Správy NP Šumava. V mělkém údolí zde pan Antonín Vojvodík provozuje od roku 1987 meteorologickou stanici, která dodává data do klimatologické sítě ČHMÚ. Stanice měří kontinuálně teplotu vzduchu, současně je zde sledována výška sněhové pokrývky. Díky tomu je zde možné hodnotit teplotu vzduchu a dynamiku ukládání či tání sněhové pokrývky ještě před kůrovcovou kalamitou, v průběhu kalamity a v současném stadiu postupné regenerace lesa. Na meteorologické stanici Churáňov (ČHMÚ) jsou uvedené meteorologické prvky spolu s mnoha dalšími sledovány již od roku 1953, a to v oblasti, kde ke změně přírodních podmínek a výraznějším disturbancím v podstatě nedošlo. Na Churáňově je tak možné hodnotit vývoj klimatických charakteristik prakticky bez dalších významnějších vlivů okolního prostředí. Bäsler (2008), následně např. Bernsteinová et al. (2015) a Langhammer et al. (2015), pozorovali v oblasti Šumavy vzrůstající teplotu vzduchu již od 80. let, nejvýrazněji pak na jaře (duben). V důsledku klimatických změn a rozpadu lesa pak dokladují na příkladu povodí Vydry změny v sezónnosti a variabilitě odtoku s tím, že se významná letní část z celkového odtoku posouvá do jarního období, kdy vlivem zvyšující se teploty vzduchu dochází k dřívějšímu odtávání sněhové pokrývky. Teplota vzduchu v jarním období byla v rámci této studie hodnocena na Březníku, kde 30leté výsledky sledování ukazují významné oteplení mezi počáteční a poslední dekadou o celé 2 °C, přitom v dubnu tento rozdíl činí 2.7 °C a v květnu 2.2 °C. Za posledních 5 let pak průměr teploty vzduchu na jaře vzrostl ještě více, a to o 2.5 °C (duben 2.8 °C a květen 2.7 °C). To je v relativně krátkém časovém horizontu poměrně výrazný rozdíl. Na Churáňově jsou v podobné nadmořské výšce změny za stejné období poněkud nižší, teplota vzduchu v uvedeném 10letém porovnání na jaře vzrostla o 1.0 °C a v případě průměru z posledních 5 let o 1.3 °C.

V podmínkách Šumavy se vlivem disturbance lesa po kůrovcové kalamitě na parametry sněhové pokrývky, rychlost odtávání a formování odtoku dlouhodobě zabývají např. Jeníček et al. (2017), Langhammer et al. (2015), Bernsteinová et al. (2015), Buchtele et al. (2006). Výzkumy se shodují v rychlejším odtávání sněhové pokrývky a následném zvýšení jarního odtoku vody z modelových povodí a ploch postižených odumřením stromového patra. Na příkladu lokalit Březník a Churáňov jsou v této studii dokumentovány změny v odtávání sněhové pokrývky za posledních 32 let prostřednictvím průběhů průměrné výšky sněhové pokrývky v jarním období a termínem roztátí souvislé sněhové pokrývky ze zimy. V posledních 10 letech roztaje souvislá sněhová pokrývky ze zimy na Březníku o 2 týdny

dříve (v posledních 5 letech o 3 týdny dříve), než tomu bylo v první hodnocené dekádě, zatímco na Churáňově je to 5 dní (resp. 11 dní). Z průběhů křivek průměrné výšky sněhové pokrývky na jaře (Obr. 4 a 5) jsou zřejmé rozdíly mezi hodnocenými obdobími i mezi stanicemi. V posledním období dochází na obou lokalitách k dřívějšímu odtávání sněhové pokrývky s tím, že na Březníku je rychlost odtávání sněhu výraznější. To je zřejmě spojeno se změnou podmínek okolního prostředí souvisejících s rozpadem lesa. Pozitivní vliv vzrostlého lesa na zpomalení tání sněhu a odtoku vody z povodí dokumentuje celá řada studií (Kantor and Šach, 2002; Pomeroy et al., 2012; Troendle and Reuss, 1997). Jak doložil Marks et al. (1998) i za extrémních situací na příkladu povodně v Oregonu (USA, únor 1996), kdy sledované lesní plochy v Cascade Mountains zadržely i ve sněhu významné množství dešťových srážek ve srovnání s těmi odlesněnými. Výsledky hodnocení dokumentují zrychlené jarní odtávání sněhové pokrývky v horských podmínkách Šumavy v posledních letech a dobře indikují klimatickou změnu spojenou s růstem globální teploty. V případě Březníku se v rychlejším odtávání sněhu ze zimy navíc projevují i další faktory spojené se změnou podmínek okolního prostředí.

Závěr

Často v poslední době uváděným výsledkem analýz vlivu klimatických změn na rozdělení srážek a jejich velikost bývá konstatování, že ačkoli se roční srážkový úhrn příliš nemění, dochází k výraznému přerozdělování chodu srážek v průběhu roku. Třebaže suché období 2014 – 2017 příliš nepotvrzuje ani první část uvedeného zjištění, lze beze zbytku souhlasit s druhou částí těchto poznatků. Uvedená studie v tomto směru řeší horské polohy Šumavy a potvrzuje jednoduchou grafickou analýzou v dlouhodobém horizontu (55 let) v případě Churáňova ubývání pevných srážek na úkor kapalných. Rovněž v souvislosti s dokumentovaným růstem teploty vzduchu v jarních měsících na příkladu meteorologických stanic Březník a Churáňov za 30leté období od roku 1988 dochází k výraznému posunu roztátí souvislé sněhové pokrývky. Zaznamenané změny teploty vzduchu, trendu a termínů tání sněhové pokrývky jsou výraznější v případě Březníku, kde došlo (na rozdíl od Churáňova) v průběhu hodnoceného období vlivem gradace lýkožrouta smrkového na významných plochách k uschnutí stromového patra.

Literatura

Bässler, C. (2008): Klimawandel–Trend der Lufttemperatur im Inneren Bayerischen Wald(Böhmerwald). *Silva Gabreta*. 2008, 14, 1–18.

Bayard, D., Stähli, M., Parriaux, A., Flühler, H., 2005. The influence of seasonally frozen soil on the snowmelt runoff at two Alpine sites in southern Switzerland. *J. Hydrol.* 309 (1–4), 66–84. doi:10.1016/j.hydrol.2004.11.012.

Bednařík, J., 2017. MS Churáňov - historie a současnost. In: *120 let meteorologických měření a pozorování na Lysé hoře*. Sborník příspěvků z konference pořádané Českým hydrometeorologickým ústavem a Českou meteorologickou společností konaným na Lysé hoře ve dnech 14. – 15. června 2017. 1. Vydání, Praha: ČHMÚ. s. 74–77. ISBN 978-80-87577-68-4.

Bernsteinová, J., Bässler, C., Zimmermann, L., Langhammer, J., Beudert, B., (2015): Changes in runoff in two neighbouring catchments in the Bohemian Forest related to climate and land cover changes. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 63(4), 342–352

Buchtele, J., Buchtelová, M., Tesař, M., 2006. Role of vegetation in the variability of water regimes in the Šumava Mts forest. *Biologia*, 61, Suppl. 19, S246–S250.

Campbell, J. L., Ollinger, S. V., Flerchinger, G. N., Wicklein, H., Hayhoe, K. and Bailey, A. S. (2010), Past and projected future changes in snowpack and soil frost at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire, USA. *Hydrol. Process.*, 24: 2465–2480.

doi:10.1002/hyp.7666

Dunne T, Black RD. 1971. Runoff processes during snowmelt. *Water Resources Research* 7: 1160–1172. DOI:10.1029/WR007i005p01160.

Fuss, C. B., Driscoll, C. T., Green, M. B., and Groffman, P. M. (2016) Hydrologic flowpaths during snowmelt in forested headwater catchments under differing winter climatic and soil frost regimes. *Hydrol. Process.*, 30: 4617–4632. doi: 10.1002/hyp.10956.

Groffman PM, Driscoll CT, Fahey TJ, Hardy JP, Fitzhugh RD, Tierney GL. 2001. Colder soils in a warmer world: a snow manipulation study in a northern hardwood forest ecosystem. *Biogeochemistry* 56: 135–150. DOI:10.1023/A:1013039830323.

Hříbik, M., Škvarenina, J. (2007): Vplyv ihličnatého a listnatého lesa v rastovej fáze žrdoviny na vytváranie snehových zásob. In HRÍBIK, M., HOLKO, L., ŠKVARENINA, J., Zborník zo seminára 12. stretnutie snehárov, Technická Univerzita Zvolen, s. 88 – 98.

Isard SA, Schaetzl RJ. 1998. Effects of winter weather conditions on soil freezing in Southern Michigan. *Physical Geography* 19: 71–94. DOI:10.1080/02723646.1998.10642641.

Jeníček, M., Hotový, O., Matějka, O. 2017. Snow accumulation and ablation in different canopy structures at a plot scale: using degree-day approach and measured shortwave radiation. *AUC Geographica* 52 (1), 61-72.

Jiráček, J., 2015. Automatické sněhoměrné stanice.(Automatic snow measuring stations). In:

- Manažment povodí a povodňových rizík 2015 a Hydrologické dni 2015, Bratislava: Výskumný ústav vodného hospodárstva, 7 s. ISBN 978-80-89740-06-2.
- Kane, D. L., and J. Stein (1983), Water movement into seasonally frozen soils, *Water Resour. Res.*, 19(6), 1547–1557, doi:10.1029/WR019i006p01547.
- Kantor, P., Šach, F. 2002. Snow accumulation and melt in a spruce stand and on a clearcut in the Orlicke hory Mts.(Czech Republic). *Ekologia–Bratislava* 21(1), 122–135.
- Langhammer, J., Su, Y., Bernsteinová, J. (2015): Runoff Response to Climate Warming and Forest Disturbance in a Mid-Mountain Basin. *Water* 7, 3320–3342. <https://doi.org/10.3390/w7073320>
- Laudon, H., J. Seibert, S. Kohler, and K. Bishop (2004), Hydrological flow paths during snowmelt: Congruence between hydrometric measurements and oxygen 18 in meltwater, soil water, and runoff, *Water Resour. Res.*, 40, W03102, doi:10.1029/2003WR002455.
- Marks, D., J. Kimball, D. Tingey, and T. Link (1998), The sensitivity of snowmelt processes to climate conditions and forest cover during rain-on-snow: A case study of the 1996 Pacific Northwest flood, *Hydrol. Processes*, 12, 1569–1587.
- Nyberg, L., Stähli, M., Mellander, P.-E. and Bishop, K. H. (2001), Soil frost effects on soil water and runoff dynamics along a boreal forest transect: 1. Field investigations. *Hydrol. Process.*, 15: 909–926. doi:10.1002/hyp.256.
- Pobříšlová, J., Kulasová, A. (2000): Ukládání a tání sněhu v lese a na odlesněných partiích Jizerských hor. *Opera Corcontica* 37, 2000, s. 113–119.
- Pomeroy, J., Fang, X., Ellis, C. 2012. Sensitivity of snowmelt hydrology in Marmot Creek, Alberta, to forest cover disturbance. *Hydrol Process.* 26, 1891–1904.
- Procházka, J., Rolčík, I., Vojvodík, A. a Matoušek M., 2017. Aktivita amatérských nadšenců pro doplnění poznatků o klimatu Šumavy. *Meteorologické zprávy*, roč. 70, č. 5, s. 143–148, ISSN 0026-1173.
- Starostová, M., (2012). Měření srážek totalizátory na Šumavě. *Meteorologické Zprávy*, roč. 65, č. 6, s. 180–183. ISSN 0026-1173.
- Stadler, D., Wunderli, H., Auckenthaler, A., Flühler, H. And Bründl, M. (1996), Measurement of frost-induced snowmelt runoff in a forest soil. *Hydrol. Process.*, 10: 1293–1304.
- Stähli, M., Hydrological significance of soil frost for pre-alpine areas, *Journal of Hydrology*, Volume 546, 2017, Pages 90-102, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.032>.
- Šípek, V, Tesař, M. (2014). Seasonal snow accumulation in the mid-latitude forested catchment. *Biologia*, 69, 1562-1569.

Troendle, C.A.; Reuss, J.O. Effect of clearcutting on snow accumulation and water outflow at Fraser, Colorado. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 1997, 1, 325–332.

Vavruška, F., (2002): Poznávání šumavského podnebí a význam meteorologické stanice Churáňov. In. Josef Staněk a kol.: 50 let meteorologické stanice Churáňov. Český hydrometeorologický ústav Praha, 2002, 1. vydání, 105 stran. ISBN 80-85813-98-X

Vavruška, F., (2011): Měření srážek totalizátory na Šumavě. *Šumava*, č. 3, s. 16–17. ISSN 0862-5166.

Poděkování

Autoři příspěvku vyjadřují své poděkování Antonínu Vojvodíkovi za odpovědné provozování stanice na Březníku a laskavé poskytnutí příslušných meteorologických dat. Data ze stanice Churáňov byla poskytnuta ČHMÚ a je milou povinností autorů za jejich přípravu poděkovat RNDr. Miloslavě Starostové. Příspěvek byl zpracován za finanční podpory Grantové agentury ČR (16-05665S).

Kontakt:

Ing. Jan Procházka, Ph.D.

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta

Studentská 1668, 370 05, České Budějovice

38 777 2748, prochaz@zf.jcu.cz