

Význam a problematika automatického měření sněhové pokrývky – studie pro oblast Šumavy

Significance and issues of automatic snow cover measurement – case study for the Šumava Mountains region

Jan Procházka

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Fakulta zemědělská a technologická
Studentská 1668, 370 05 České Budějovice
✉ prochazkaj@fzt.jcu.cz

Veronika Šustková

Český hydrometeorologický ústav
pobočka Ostrava
K Myslivně 3/2182, 708 00 Ostrava-Poruba
✉ veronika.sustkova@chmi.cz

Jan Jiráček

Český hydrometeorologický ústav
Oddělení aplikované hydrologie
Želivského 5, 466 05 Jablonec nad Nisou
✉ jan.jirak@chmi.cz

Miroslav Tesař

Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i.
Pod Paťankou 30/5, 160 00 Praha 6
✉ miroslav.tesar@iol.cz

The study evaluates the contribution of automatic snow measuring stations for snow monitoring in the Šumava region. Using climatological maps, the results of spatial analysis of the maximum depth of the snow cover for six winter seasons were compared, namely first from the measured data of the basic CHMI stations and second from the data of all stations. The biggest differences occurred in the comparison at the highest locations on the windward side of the Šumava (>1 200 m a.s.l.), where there is no corresponding network of basic meteorological stations. In the case of the snow-poor winter season 2020/21, these differences were relatively higher than in the 2018/19 season, with more extensive snow cover in all positions. The evaluation of the entire period (2017/18–2022/23) produced similar results, as snow-poor winter seasons prevailed here. We can therefore assume that the differences in snow characteristics will continue to be rather significant in the Šumava region. Accordingly, the importance of automatic snow measurement will also increase, especially in higher altitudes of the windward border area. In addition to the expansion of the measuring network and the significant refinement of infor-

mation about the snow cover, especially in the mountains, the main benefit of data on the depth of snow from automatic stations is their operability and immediate use for other applications.

KLÍČOVÁ SLOVA: výška sněhu – stanice meteorologická – Šumava – mapa klimatologická – měření sněhové pokrývky automatické

KEYWORDS: snow depth – weather station – Šumava Mountains – climatological chart – automatic measurement of snow cover

1. Úvod

Sníh je důležitou součástí odtoku a v hydrologickém cyklu na Zemi má poměrně unikátní postavení. V mnohých oblastech světa je tající sníh nejdůležitějším zdrojem vody pro vodní cyklus a život člověka, ale i v našich horských polohách je významným faktorem tvorby klimatu a odtoku vody, ovlivňuje profesní i volnočasové aktivity člověka. Sněhová pokrývky je z klimatologického hlediska nejcitlivějším typem zemského povrchu na Zemi, reaguje tak nejvýrazněji na změny klimatu spojené v posledních letech především s růstem průměrné teploty vzduchu (Nolin a kol. 2021). Proto je sněhu soustavně věnována náležitá pozornost, a to nejen z pohledu hydrologie, ale napříč různými vědními obory a lidskými činnostmi.

Získávání informací o výskytu a stavu sněhové pokrývky se v současné době odehrává v podstatě na třech úrovních, měření in-situ, pomocí metod dálkového průzkumu a modelováním, přičemž každá z metod má své výhody a nedostatky (Dong 2018). V posledních letech se poměrně rychle rozvíjejí metody snímání měřených lokalit ale i větších územních celků pomocí webových kamer a automatické klasifikace obrazové informace (Portenier a kol. 2020; Tanis a kol. 2023). Nicméně stále je nezastupitelnou metodou měření sněhu in-situ podle směrnice Světové meteorologické organizace (WMO 2018) s tím, že vzhledem k postupnému trendu a podmínkám spojených s úbytkem pozorovatelů, technickému pokroku, požadavkům na sběr a zpracování dat, a požadavkům na chybějící podrobnější informace zejména z odlehklých a horských (pramenných) oblastí, získávají na důležitosti automatické způsoby měření (Brown a kol. 2021).

Nejrozsaáhlejším pohořím Česka je Šumava, která je významnou pramennou oblastí řeky Vltavy (potažmo Otavy a Berounky –

Úhlavy) a sníh zde představuje významnou část hydrologické bilance. Ze všech tuzemských pohoří Šumava zaujímá v polohách nad 1 000 m n. m. asi 56 % z těchto území. Ovšem četnost pozorování zde byla vzhledem k rozloze donedávna nízká, což bylo do značné míry dáno především historicky kvůli existenci „železné opony“ a vysídlení příhraničí po druhé světové válce. Tuto ztrátu sídel a pozorování sněhových charakteristik se nepodařilo po roce 1989 zcela nahradit. O něco lepší situace zde byla později jen z pohledu srážek po postupné instalaci totalizátorů do nejvyšších a srážkově bohatých poloh Šumavy (Starostová 2012). Šumava je charakteristická také díky svému postavení pásovitého pohoří ve směru SZ–JV vůči převládajícímu proudění. Většinu srážek přináší na Šumavu západní a jihozápadní proudění, které na návětrné bavorské straně pohoří nuceně vystupuje a dochází k zesílení padajících srážek (Křivancová, Vavruška 1997). V maximální míře se tento efekt projevuje právě v ose hlavního pohraničního hřebene a centrální Šumavy, kde jak bylo zmíněno, odpovídající měření sněhové pokrývky dlouhodobě chybělo. Díky technologickému rozvoji a počátku automatizace meteorologických měření se postupně nabízel možnost, jak absenci měření a pozorovatelů na odlehklých místech Šumavy nahradit.

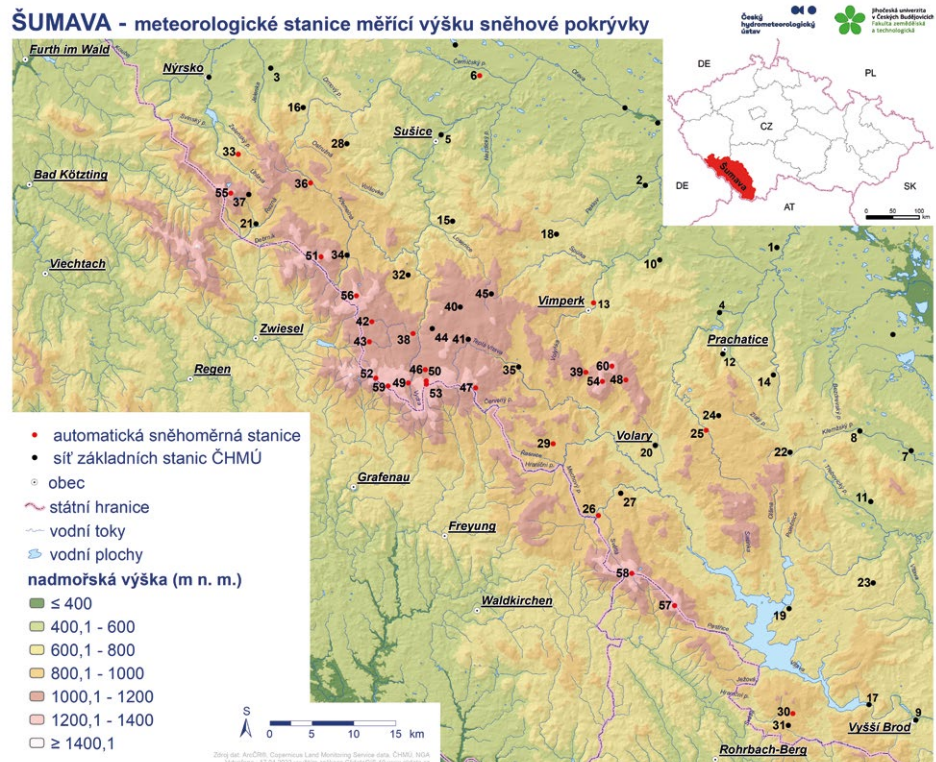
2. Automatizace měření sněhu u nás

Na území Česka v rámci činnosti Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) započala automatizace sítě základních klimatologických stanic ve druhé polovině devadesátých let 20. století. Bylo to právě na Šumavě, a to konkrétně instalací automatické meteorologické stanice v Černé v Pošumaví v únoru 1996, následovaly ne příliš vzdálené Klatovy a Staňkov v březnu 1996 (Procházka a kol. 2017). Počátky automatizace klimatologických měření instalací zmíněných stanic v této oblasti měly své opodstatnění, aby firma vyrábějící příslušné stanice (Meteoservis, v. o. s.) a sídlící toho času v jihočeských Vodňanech byla v dojezdové vzdálenosti pro potřebnou kontrolu a operativní řešení případných problémů s provozem. Po úspěšném zprovoznění a ověření funkčnosti následovaly instalace dalších automatických stanic ve všech krajích. Tenkrát se ale ještě nejednalo o automatické měření sněhu.

S automatizací měření sněhu v Česku se započalo o 10 let později. Počátečním krokem bylo testování 2 typů automatických stanic a to na lokalitách Desná-Souš (základní klimatologická stanice), Svratouch a Churáňov (profesionální meteorologické stanice). Například na stanici Desná-Souš bylo testování za-

měřeno na oba typy stanic (2006–2009), a to jak na stanici s tenzometrickými vahami, tak na stanici typu „snow pillow“ (sněhoměrný polštář). Kromě operativního získávání dat do klimatologické databáze byla automatizace měření sněhu podložena především vnitřní potřebou zabezpečit data pro další výstupy a modelování zejména v oblasti hydrologie sněhu, rovněž také požadavkem státních podniků Povodí na zpřesnění výpočtu zásob vody ve sněhu. Na základě kladných výsledků z testovacího provozu přistoupil ČHMÚ k postupnému rozšíření této sítě do dalších regionů a zároveň byla vytvořena metodika výběru lokalit, inspekčních návštěv a kontroly dat. Mezi lety 2010–2016 byla v případě sněhoměrných polštářů síť stanic postupně rozšířena na celkový a zatím konečný počet 16 lokalit. V případě stanic pro měření výšky sněhu (pomocí ultrazvukového čidla nebo laserového dálkoměru) se v rozšiřování sítě stále pokračuje.

Na Šumavě bylo první automatické měření sněhu instalováno na podzim roku 2007 v areálu profesionální meteorologické stanice Churáňov. Technicky se jednalo o plošinovou tenzometrickou váhu o rozměrech 4 × 4 metry, výšku sněhové pokrývky zde měřilo ultrazvukové čidlo a přenos dat zajišťoval GPRS modem. Nevýhodou této konstrukce byla jednak vysoká cena a náchylnost k poruchám (např. vysoká citlivost na přepětí indukované při bouřkách), jednak zde docházelo k nestejněměrnému odtávání sněhové pokrývky, které způsoboval použitý materiál pro konstrukci plošiny a jejího oplocení. Vlivem oplocení docházelo také k nerovnoměrnému ukládání sněhové pokrývky v prostoru měření. Po několikaletém provozu a porovnání výsledků bylo toto měření v květnu 2014 ukončeno.



Obr. 1 Přehledová mapa základních meteorologických stanic ČHMÚ a automatických sněhoměrných stanic měřících výšku sněhové pokrývky v oblasti Šumavy (čísla stanic v mapě odpovídají číslům stanic v tab. 1 a 2).

Fig. 1. Overview map of basic CHMI meteorological stations and automatic snow stations measuring the snow depth in the Šumava region (station numbers in the map correspond to station numbers in Tables 1 and 2).

Tab. 1 Přehled základních meteorologických stanic ČHMÚ měřících výšku sněhové pokrývky v oblasti Šumavy a Šumavského podhůří (ID = číslo stanice uvedené v mapě, obr. 1).

Table 1. An overview of the basic CHMI weather stations measuring the snow depth in the Šumava Mountains and the Šumava foothills region (ID = station number shown on the map, Fig. 1).

ID	Indikativ	Celý název	Nadm. výška [m]	Typ stanice*	Okres
45	C1CHUR01	Churáňov	1118	AMS1	Prachatice
44	C1FILH01	Filipova Huť	1110	ASS	Klatovy
41	C1KVIL01	Kvilda	1059	AKS3	Prachatice
40	C1HKVI01	Horská Kvilda	1052	AKS3	Klatovy
37	L1SPIC01	Špičák	973	AKS3	Klatovy
35	C1BLAD01	Borová Lada	898	AKS3	Prachatice
34	C1PRAS01	Prášily	883	ASS	Klatovy
32	C1SRNI01	Srní	857	MSS	Klatovy
31	C2PASC01	Pasečná, Přední Výtoň	848	MSS	Český Krumlov
28	C1ZAMY01	Zámyšl	800	ASS	Klatovy
27	C1STOZ01	Stožec	797	MSS	Prachatice
24	C1ZBYT01	Zbytiny	792	ASS	Prachatice
23	C2SLAV01	Slavkov	777	MSS	Český Krumlov
22	C1KTIS01	Ktiš, Tisovka	758	AKS2	Prachatice
21	L1ZRUD01	Železná Ruda	754	ASS	Klatovy
20	C1VOLR01	Volary	749	AKS2	Prachatice
19	C1CERP01	Černá v Pošumaví	740	AKS1	Český Krumlov
18	C1VACP01	Vacov, Peckov	738	ASS	Prachatice
17	C2LIPN01	Lipno	730	MSS	Český Krumlov
16	L1CACH01	Čachrov	729	ASS	Klatovy
15	C1KHOR01	Kašperské Hory	728	AKS	Klatovy
14	C1FRAN01	Frantoly	726	MSS	Prachatice
12	C1PRCH01	Prachatice	607	MSS	Prachatice
11	C1CDVU01	Červený Dvůr, Chvalšiny	588	MSS	Český Krumlov
10	C1ZALE01	Zálezly	569	MSS	Prachatice
8	C2BRLO01	Brloh	559	MSS	Český Krumlov
9	C2VBRO01	Vyšší Brod	559	AKS1	Český Krumlov
7	C2KREM01	Křemže, Mříč	524	AKS3	Český Krumlov
5	C1SUSI01	Sušice	484	MSS	Klatovy
4	C1HUSI01	Husinec	483	AKS1	Prachatice
3	L1STRA01	Strážov	477	MSS	Klatovy
2	C1VOLY01	Volyně, Nihošovice	448	ASS	Strakonice
1	C1BAVO01	Bavorov	416	MSS	Strakonice
*	AKS – automatizovaná klimatologická stanice AMS – automatizovaná meteorologická stanice (synoptická, tvoří zprávy SYNOP) ASS – automatizovaná srážkoměrná stanice MSS – manuální srážkoměrná stanice				

Nicméně v průběhu několika let se díky aktivitám a spolupráci ČHMÚ s více subjekty a nadšenci působícími v oblasti Šumavy zrealizovaly instalace a došlo ke zprovoznění několika automatických stanic s měřením výšky sněhové pokrývky, případně i její vodní hodnoty. Tím se podařilo doplnit poměrně řídkou síť šumavských základních meteorologických stanic ČHMÚ měřících výšku sněhové pokrývky (tab. 1). Současně bylo účelem instalací stanic rozšíření možnosti výzkumu a měření sněhových charakteristik, a v neposlední řadě šlo o modernizaci

a doplnění stávajících meteorologických a výzkumných stanic o automatické měření sněhu. Aktuálně je v oblasti Šumavy v provozu 27 automatických sněhoměrných stanic (ASNS) s pravidelným odesláním dat na server, jejichž přehled včetně základní specifikace uvádíme v tabulce (tab. 2). Oblast Šumavy je pro účely této studie orientačně vymezena geomorfologickými celky Šumava a Šumavské podhůří, přičemž rozmístění uvedených základních a automatických stanic v daném území poskytuje přehledová mapa (obr. 1).

Tab. 2 Automatické sněhoměrné stanice (ASNS) v oblasti Šumavy a jejich základní charakteristika (ID = číslo stanice uvedené v mapě, obr. 1).

Table 2. Automatic snow weather stations (ASNS) in the Šumava Mountains region and their basic characteristics (ID = station number shown on the map, Fig. 1).

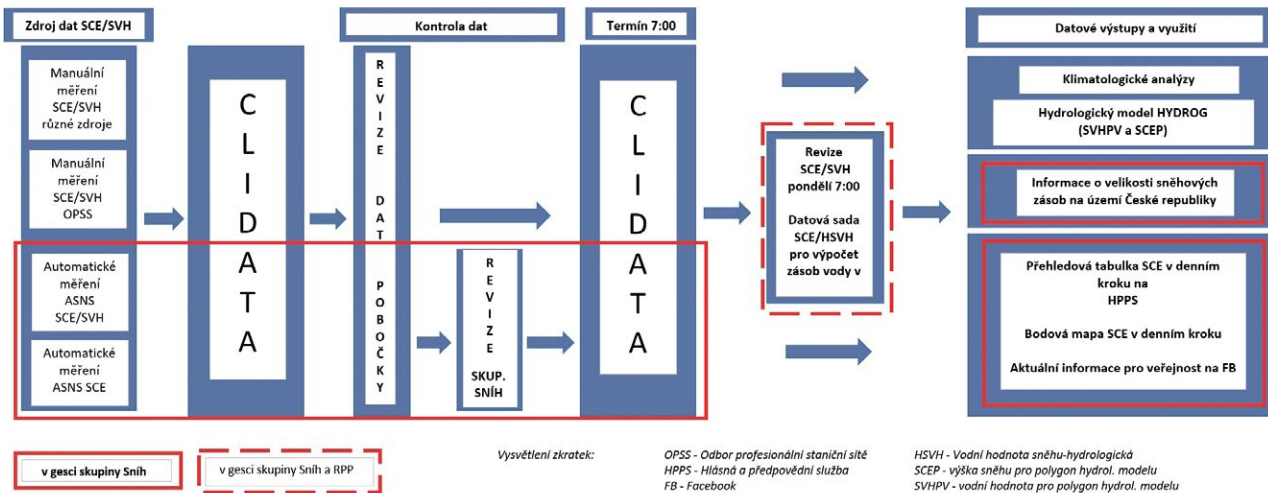
ID	V provozu od	Celý název	Nadm. výška [m]	Typ měření*	Provozovatel**
59	VIII. 2016	Blatný vrch	1357	UZ	Šumaváci
60	V. 2019	Boubín, vrchol	1353	UZ	Šumaváci
58	IX. 2014	Plechův, Rakouská louka	1344	UZ	Šumaváci
57	XI. 2022	Smrčina, vrchol	1330	UZ	NPŠ / ÚH AVČR
56	XI. 2019	Poledník, vrchol	1312	UZ	ÚH AVČR
55	X. 2017	Jezerní hora, pod vrcholem	1307	UZ	ÚH AVČR
54	IX. 2021	Basum, Basumský hřeben	1265	UZ	VÚV TGM
53	XI. 2018	Malá Mokrůvka, Medvědí doupe	1259	UZ	ÚH AVČR
52	XI. 2017	Roklan, V Koutě	1225	UZ	ÚH AVČR
51	VI. 2018	Zlatý stoleček	1197	UZ	ČHMÚ
50	XI. 2020	Malá Mokrůvka, přeliv	1192	UZ	FŽP ČZU
49	IX. 2020	Březník, myslivna	1185	UZ	ÚH AVČR
48	IV. 2018	Větřín	1157	UZ	ČHMÚ
47	X. 2016	Bučina, u Kvildy	1152	UZ	Šumaváci
46	XII. 2012	Ptačí potok	1130	UZ / SPA / polštář	PřF UK
43	XI. 2015	Rokytská slať	1098	sněhoměrný polštář	PřF UK / ČHMÚ
42	XI. 2013	Prášily, Javoří Pila	1062	sněhoměrný polštář	ČHMÚ
39	IV. 2022	Kubova Huť	997	laser	ČHMÚ
38	XI. 2015	Modrava	990	UZ / SSG váhy	PřF UK
36	VI. 2018	Kepelské Zhůří	928	UZ	ČHMÚ
33	X. 2021	Hojsova Stráž	866	laser	ČHMÚ
30	XI. 2019	Svatý Tomáš, Horský potok	828	UZ	FZT JU v Č. B.
29	IV. 2019	Strážný	811	laser	ČHMÚ
26	XI. 2022	Stožec, Nové Údolí	796	UZ	Šumaváci / ÚH AVČR
25	X. 2014	Zbytiny, Spálenec	792	sněhoměrný polštář	ČHMÚ
13	XI. 2019	Vimperk	628	laser	ČHMÚ
6	XI. 2019	Vlkonice	493	laser	ČHMÚ
*	UZ – ultrazvukové čidlo, laser – laserový dálkoměr, SPA – snow pack analyzátor, SSG – tenzometrické váhy				
**	ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav, FZT JU v Č. B. – Fakulta zemědělská a technologická Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, FŽP ČZU – Fakulta životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze, NPŠ – Správa Národního parku Šumava, PřF UK – Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Šumaváci – Amatérští nadšenci pro monitoring počasí v oblasti Šumavy (Procházka a kol. 2017), ÚH AVČR – Ústav pro hydrodynamiku, Akademie věd ČR, v. v. i., VÚV TGM – Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.				

3. Import a kontrola dat z automatických sněhoměrných stanic

Měření pomocí automatických stanic neznamená, že zcela odpadá role pozorovatele. V tomto případě sice není vyžadována přítomnost pozorovatele v místě měření, ale následuje důležitá

role příslušného týmu pracovníků po přenosu, importu a automatické kontrole dat.

Automatické sněhoměrné stanice zaznamenávají ve zvoleném časovém intervalu (v případě ČHMÚ je to 10 minut) hodnotu výšky sněhové pokrývky. Podle typu pak mají stanice i další doplňková čidla na měření teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu. Stanice typu sněhoměrný polštář navíc měří i vodní hodnotu sněhu, variantně rychlost a směr větru, úhrn srážek,



Obr. 2 Schéma procesu pořízení, kontroly a využití dat o sněhu.
 Fig. 2. The scheme of process acquisition, control and use of snow data.

odtok z měřené plochy. Na těchto stanicích je také měřena teplota na styku polštáře (vaku s nemrznoucí směsí) a sněhu (nad polštářem) a zemí (pod polštářem), a to z technických důvodů získání informace o promrzání. Vybraná data jsou automaticky přenášena do sběrného centra ČHMÚ a odtud se importují do databázové aplikace ČHMÚ CLIDATA. Prvek celková výška sněhové pokrývky z manuálního měření má v aplikaci CLIDATA označení SCE (cm), data o výšce sněhové pokrývky z automatických sněhoměrných SCE_a (cm). Vodní hodnotě sněhu se pak obdobně přiřazují zkratky SVH a SVH_a (mm).

Při importu do databáze prochází data o výšce a vodní hodnotě automatickým typem kontroly. To znamená, že data jsou vyhodnocována a následně naimportována pouze za předpokladu, že nepřekračují nastavený limit. Tyto limity jsou například pro výšku sněhu <0–350> cm a vodní hodnotu <0–2000> mm. Dále se interpolují chybějící hodnoty v intervalu < 12 hodin. Aplikace v tomto případě používá IDW interpolaci, tedy metodu Vážené inverzní vzdálenosti. U ultrazvukových čidel je nastavena podmínka při výšce sněhové pokrývky < 2,4 cm pak výška i vodní hodnota je rovna 0 mm. K upozornění na podezřelou hodnotu dojde při tzv. mezitermínových rozdílech. Například, když rozdíl dvou po sobě jdoucích hodnot (ve výše zmíněném 10minutovém intervalu) výšky sněhové pokrývky je > 7 cm nebo vodní hodnoty > 10 mm (Walder a kol. 2021).

V období, kdy nesněží, je při importu nastavena podmínka, že každá importovaná hodnota je rovna 0. Pro stanovení tohoto období byly automatické sněhoměrné stanice rozděleny do třech skupin podle nadmořské výšky, a to: 1. skupina stanic nad 1 100 m n. m. (období s předpokládaným výskytem sněhové pokrývky od 1. 9. do 31. 5.), 2. skupina stanic v intervalu 675–1 100 m n. m. (1. 10. do 15. 5.) a 3. skupina stanic pod 675 m n. m. (15. 10. do 15. 4.).

Manuální kontrolu dat pak provádí na ČHMÚ členové pracovní skupiny „Sníh“, kteří každý den kontrolují a případně upravují údaje z automatických sněhoměrných stanic k 07:00 SEČ. Hodnota k sedmé hodině je průměrem předchozích šesti hodnot v 10minutovém intervalu od 06:10–07:00 hodin. V prostředí aplikace CLIDATA byl vytvořen v aplikaci „Pořizování“ produkt pro rychlou kontrolu a úpravu dat z automatických sně-

homěrných stanic k 07:00 SEČ. Jedná se o formulář, kde jsou zavedeny všechny automatické sněhoměrné stanice a data za uplynulých 72 hodin (Walder a kol. 2021). Každodenní kontrolou prochází i data z vybraných stanic s manuálním měřením. V případě nejrozlehlejšího pohoří Česka, Šumavy, je navíc přihlíženo k online databázi, kterou provozují šumavští amatérští meteorologové, kde zohledňují pozorování a měření z dalších šumavských stanic, meteorologických i výzkumných provozovaných různými subjekty (FZT JU, FŽP ČZU, NPŠ, PŘF UK, Šumaváci, ÚH AVČR, VÚV TGM – viz tab. 2), prostřednictvím webových a časosběrných kamer, hlášení od dalších spolupracovníků a podobně, z mnoha dalších sněhoměrných profilů. Tento rozsáhlejší soubor zahrnuje u všech uvedených meteorologických stanic denní údaje o výšce sněhové pokrývky k 07:00 SEČ, data jsou kontrolována a dle potřeby revidována (Procházka a kol. 2017). Revidované údaje příslušných stanic z celého Česka včetně dotčených šumavských jsou následně v denním kroku zobrazovány na webu Hlásné a předpovědní povodňové služby (ČHMÚ 2023). Data z manuálních měření jsou standardně tak jako před automatizací stanic kontrolována a opravována revizory z Oddělení meteorologie a klimatologie na jednotlivých pobočkách ČHMÚ po skončení daného měsíce.

Na obr. 2 je zobrazen proces toku, kontroly a následného využití dat z automatických sněhoměrných stanic i z manuálního měření sněhové pokrývky v rámci ČHMÚ. Všechny údaje o sněhové pokrývce, které se ukládají do databázové aplikace CLIDATA, prochází dvěma typy kontrol. Data z automatických stanic jsou manuálně revidována každý den ráno, jak bylo popsáno výše. To umožňuje jejich okamžité využití v dalších produktech ČHMÚ, jako jsou mapové výstupy, nebo sněhové zpravodajství na sociálních sítích. V neposlední řadě jsou tato data o sněhové pokrývce nezbytnou součástí zkvalitňování vstupních dat pro modelování předpovědí průtoků v průběhu celé zimní sezony, včetně povodňových situací. Specifickým produktem je vyhodnocování zásob vody ve sněhové pokrývce, kdy se v ČHMÚ zásoby vody ve sněhu standardně počítají jednou týdně z pondělních naměřených dat (Řiřicová, Kimlová 2016). Zvyšující se počet automatických stanic v kombinaci s modelovými výpočty nám v budoucnu umožní odhadovat zásoby vody v denním kroku.

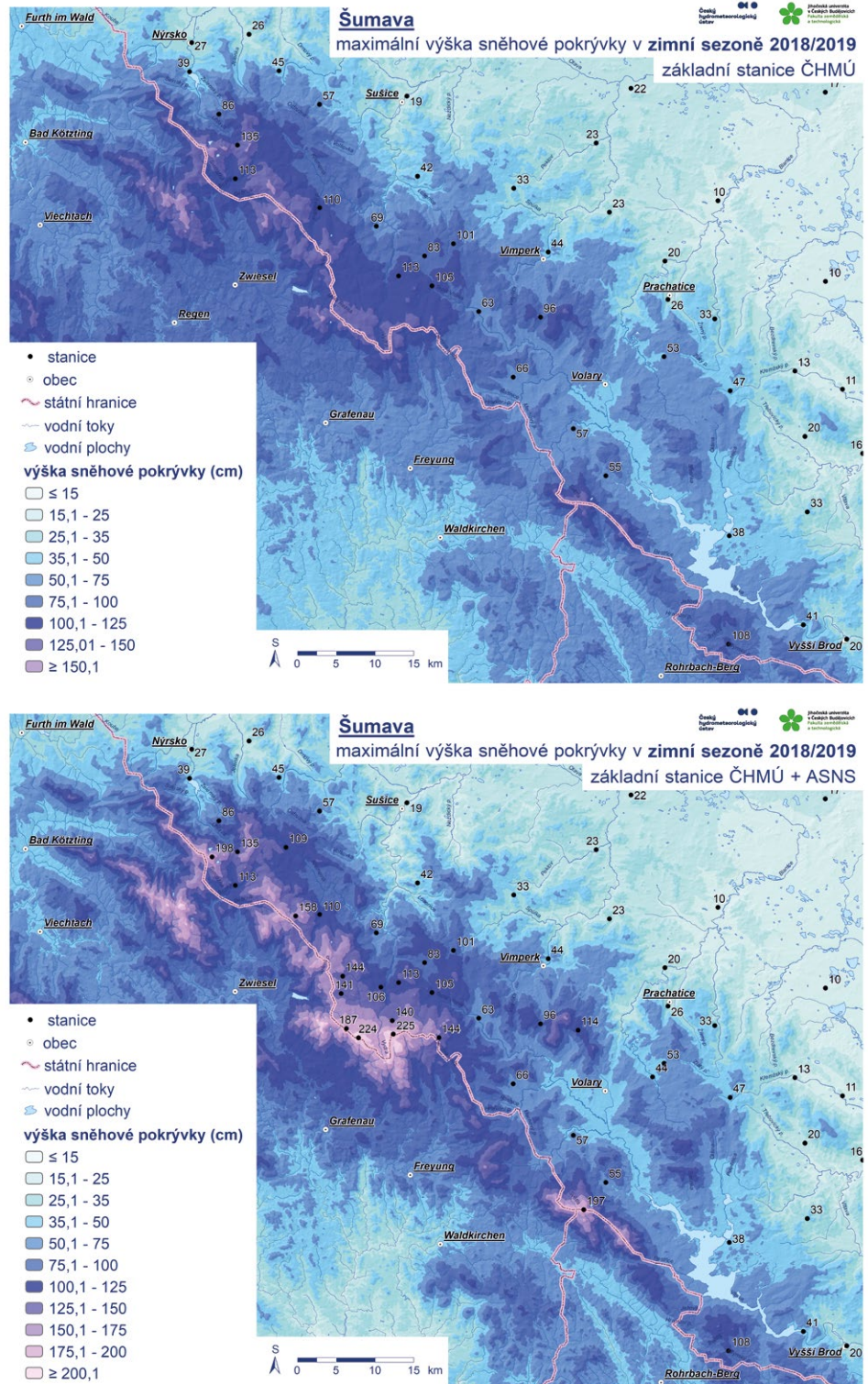
4. Zpracování dat pro oblast Šumavy

V rámci této studie bylo přistoupeno k hodnocení distribuce výšky sněhové pokrývky při použití základních stanic ČHMÚ a automatických sněhoměrných stanic (ASNS) zejména prostřednictvím klimatologických map sněhových maxim pro několik zimních sezon. U některých základních stanic bylo v hodnoceném období ukončeno pozorování a byly nahrazeny automatickým měřením sněhu (kategorie ASNS). Hodnoceno bylo posledních šest zimních sezon, tedy 2017/2018 až 2022/2023, z nichž se ještě pro přesnější specifikaci rozdílů hodnotily zvláště sezony 2018/2019 jako sněhově bohatá a 2020/2021 jako sněhově chudá.

Mapová projekce dat o výšce sněhové pokrývky je výsledkem prostorové analýzy dat změřené výšky sněhové pokrývky, které mají charakter bodových měření, pomocí geografického informačního systému (GIS). V našem případě konkrétně ArcGIS (ESRI 2018a) a metod Orografická interpolace (Šercl 2008a; Šercl 2008b), LLR (lokální lineární regrese) a CLIDATA-DEM (Stríž 2008). Tyto interpolační metody zohledňují vliv nadmořské výšky (případně orientace a sklonitosti svahů nebo krajinného pokryvu) na interpolovanou veličinu a zachovávají původní naměřenou hodnotu ve známém bodě. Výsledkem interpolace je rastrová mapa.

Konkrétní mapová projekce sněhových poměrů na Šumavě prostřednictvím sezonních maxim výšky sněhové pokrývky vycházela z dat základních stanic ČHMÚ a automatických sněhoměrných stanic, které dohromady daly ve výsledku vzniknout poměrně husté síti bodů. Celkový počet stanic, které vstupují do výpočtu, je proměnlivý a pohybuje se kolem 150. Zahrnuje tedy stanice i v širším okolí Šumavy. Jako podkladový terén byl využit SRTM 1 Arc-Second Global, který vytvořila Národní agentura pro zpravodajství o Zemi USA a Národní úřad pro

letectví a kosmonautiku USA (USGS 2018). Tento digitální model reliéfu (DMR) byl zvolen proto, že nabízí vstupní grid (rastr) s vysokým rozlišením, aby velikost jednotlivých buněk (pixelů) pro prostorové analýzy ve výsledku zachycovala požadovaný detail co nejlépe. Příslušný DMR má rozlišení 38 × 38 m, což pro naši výpočetní plochu představuje



Obr. 3 Klimatologické mapy maximální výšky sněhové pokrývky v oblasti Šumavy při použití dat ze základních stanic (nahore) a včetně automatických stanic (dole) ve sněhově bohaté sezoně 2018/19.

Fig. 3. Climatological maps of the maximum snow cover depth in the Šumava region using data from basic CHMI stations (up) and including automatic stations (down) in the snow-rich season 2018/19.

18 069 987 uzlových bodů. V každém bodě se na základě okolních stanic vypočítá odhad výšky sněhové pokrývky pomocí lokální regresní analýzy. Okolní stanice se vyberou na základě předem zvoleného okolí (vzdálenost v kilometrech) a minimální počtu stanic. Výhodou tohoto DMR je dostupnost pro území celé Evropy v souřadnicovém systému WGS-

84 a možnost prostorové analýzy i za hranicemi ČR (USGS 2022). Menší nevýhoda při relativně vysokém rozlišení je časová náročnost výpočtu.

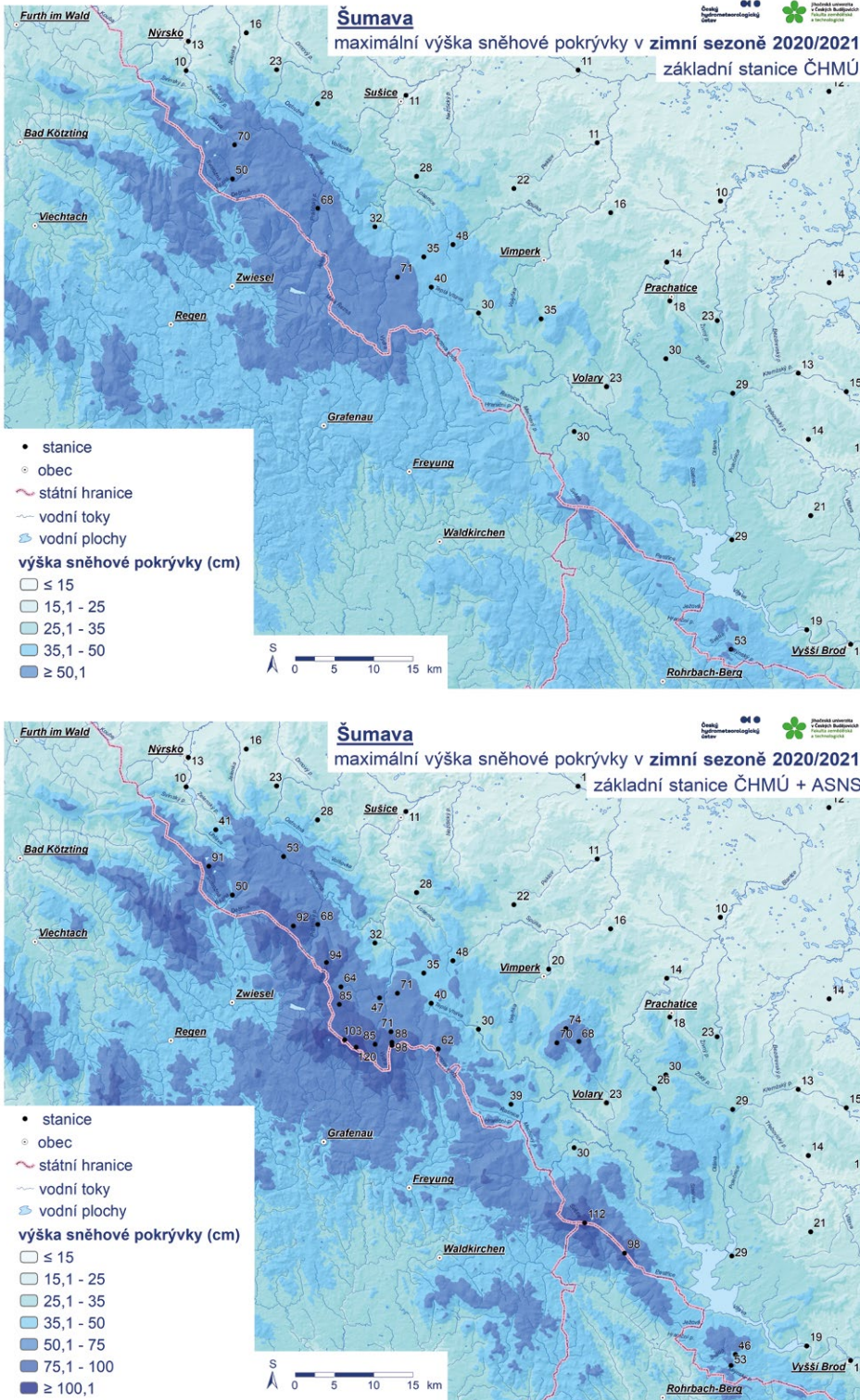
Gridové (mapové) výstupy výšek sněhové pokrývky pro zimní sezony 2017/2018–2022/23 byly podrobeny tzv. zonální statistice.

Nástroj zonální statistika je v programu ArcGIS v rámci extenze Spatial Analyst (ESRI 2018b) a umožňuje různé statistické analýzy a výpočty v rámci definovaných zón. Například statistické zpracování hodnot analyzované informační vrstvy (v našem případě gridy výšky sněhové pokrývky), které patří do zóny definované v druhé vrstvě. Jako druhá informační vrstva sloužila vektorová vrstva s pásmy nadmořské výšky, která byla odvozena ze stejného digitálního modelu terénu, jaký byl využit pro interpolace. Výšková pásma byla pro oblast Šumavy a okolí zvolena takto: < 600, 600–800, 801–1 000, 1 001–1 200 a > 1 200 m n. m. Výstupem jsou průměrné hodnoty maximální výšky sněhové pokrývky pro jednotlivá výšková pásma, jež lze získat v podobě gridu nebo tabulky.

Pro vyjádření závislosti maximální výšky sněhové pokrývky na nadmořské výšce a poloze vůči srážkovému návětrí a závětrí Šumavy, včetně porovnání průběhu výšky sněhové pokrývky na vybraných meteorologických stanicích, byla data zpracována v programovém prostředí Microsoft Office Excel 2016.

5. Hodnocení výsledků

Data z automatických sněhoměrných stanic (ASNS) v rozsáhlé oblasti Šumavy přispěla k možnosti podrobnějšího hodnocení sněhové pokrývky, než by tomu bylo zpracováním dat pouze ze základní sítě klimatologických a srážkoměrných stanic ČHMÚ. Pro účely této studie byla využita data z celkem 27 automatických sněhoměrných stanic provozovaných různými subjekty. Z přehledové mapy (obr. 1) je zřejmé, že automatické stanice jsou zpravidla v místech s vyšší nadmořskou výškou a v místech, kde je síť základ-



Obr. 4 Klimatologické mapy maximální výšky sněhové pokrývky v oblasti Šumavy při použití dat ze základních stanic (nahore) a včetně automatických stanic (dole) ve sněhově chudé sezoně 2020/21.

Fig. 4. Climatological maps of the maximum snow cover height in the Šumava region using data from basic CHMI stations (up) and including automatic stations (down) in the snow-poor season 2020/21.

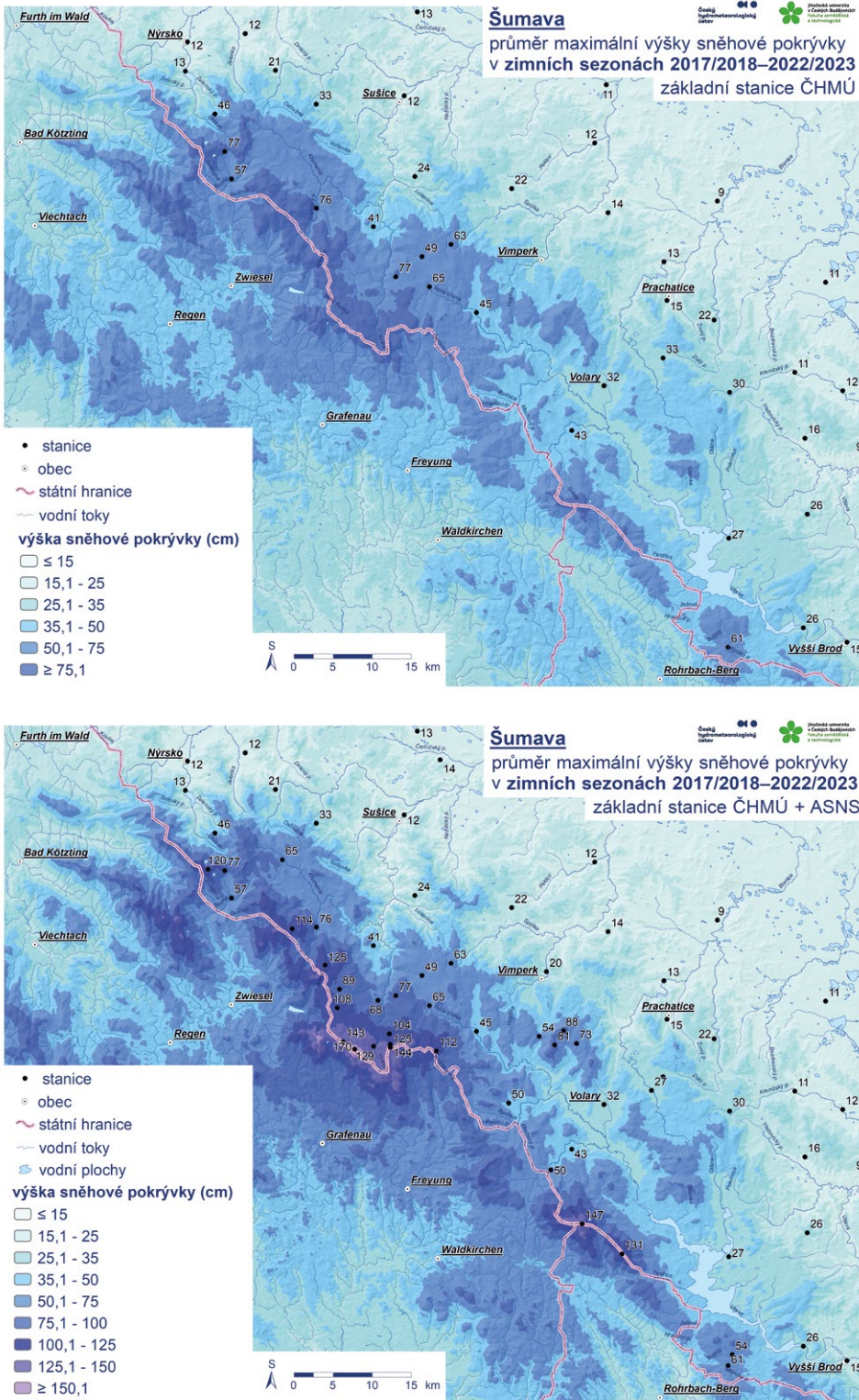
ních stanic ČHMÚ řídka, nebo stanice zcela chybí. Význam automatických stanic byl na příkladu Šumavy dokumentován prostřednictvím konstrukce klimatologických map maximální sezonní výšky sněhové pokrývky (SCE_{max}) jednak za sněhově bohatou zimu 2018/2019 (obr. 3) a sněhově chudou

zimu 2020/2021 (obr. 4), jednak pro průměr maximálních výšek sněhu za posledních šest zimních sezon 2017/2018 až 2022/2023 (obr. 5). Podobně pak příslušným výpočtem průměrných maxim výšek sněhu pro různá výšková pásma. K tomu je potřeba zmínit, že čtyři z šesti hodnocených zimních sezon bylo sněhově chudých a zbývající dvě v kontextu aktuálního normálového období (1991–2020) spíše jako průměrné, pro účely této studie označené jako sněhově bohaté.

Při využití pouze základních stanic pro analýzu prostorové distribuce výšky sněhové pokrývky pro oblast Šumavy je zřejmé, že v odlehlých lokalitách s vyšší nadmořskou výškou dochází k podhodnocení údajů. Na klimatologických mapách zimní sezony 2018/2019, která byla v porovnání hodnocených sezon na sníh poměrně bohatá, se při barevné interpolaci hodnot projevují největší rozdíly v nejvyšších polohách centrální Šumavy. Při použití dat ze všech stanic dosahují hodnoty SCE_{max} až kolem 225 cm, zatímco výpočtem pouze ze základních stanic je to o 50 cm méně. V případě sněhově chudé sezony 2020/2021 SCE_{max} vypočtené pomocí interpolace jen ze základních stanic v nejvyšších polohách centrální Šumavy dosahují hodnoty pouze kolem 60–70 cm, ale při použití dat z automatických stanic jsou zde SCE_{max} přesahující 100 cm.

Jak ukazují zde uvedené výstupy, bývá každá sezona z pohledu sněhu poněkud odlišná, a to jak plošně, tak na jednotlivých lokalitách. Zpracovali jsme proto i souhrnně data za posledních šest sezon, kdy už bylo na Šumavě dostatečné množství automatických stanic, přičemž je třeba zopakovat, že většina sezon byla z hlediska hodnocených SCE_{max} výrazně podprůměrná. Z toho vyplývají i výrazné rozdíly zobrazené v mapách SCE_{max} za sezony 2017/2018 až 2022/2023, kde jsou v případě interpolace dat ze základních stanic průměrná SCE_{max} na centrální Šumavě kolem 80–90 cm, kdežto data z automatických stanic dosahují průměrných hodnot kolem 150 cm.

V tabulkovém přehledu (tab. 3) jsou uvedeny průměrné hodnoty SCE_{max} pro jed-



Obr. 5 Klimatologické mapy průměrné maximální výšky sněhové pokrývky v oblasti Šumavy při použití dat ze základních stanic (vlevo) a včetně automatických stanic (vpravo) v období sezon 2017/18–2022/23.

Fig. 5. Climatological maps of the average maximum snow depth in the Šumava region using data from basic CHMI stations (left) and including automatic stations (right) in the 2017/18–2022/23 seasons.

Tab. 3 Průměrná sezonní maximální výška sněhové pokrývky (cm) vypočtená z dat základních stanic ČHMÚ (stanice) a všech stanic včetně automatických sněhoměrných stanic (+ASNS) v různých výškových pásmech Šumavy a Šumavského podhůří.

Table 3. The average seasonal maximum of the snow depth (cm) calculated from the data of the basic stations of the CHMI (stanice) and all stations including automatic snow measuring stations (+ASNS) at different altitude zones of the Šumava Mountains and Šumava foothills.

Nadm. výška [m n. m.]	Sezona 2018/2019 [cm]			Sezona 2020/2021 [cm]			Průměr 6 sezon* [cm]		
	stanice	+ASNS	podíl**	stanice	+ASNS	podíl	stanice	+ASNS	podíl
pod 600	31	27	87 %	23	21	91 %	19	19	100 %
600–800	54	55	102 %	31	32	103 %	31	35	113 %
801–1000	77	83	108 %	38	43	113 %	45	51	113 %
1001–1200	108	128	119 %	52	64	123 %	66	85	129 %
nad 1200	135	179	133 %	62	90	145 %	84	124	148 %
průměr vše	81	94	116 %	41	50	122 %	49	63	129 %
*	Průměr zimních sezon 2017/2018–2022/2023								
**	Podíl sezonního maxima výšky sněhové pokrývky zjištěného ze všech stanic (+ASNS) k sezonnímu maximu pouze ze základních stanic (stanice)								

notlivá výšková pásma v oblasti Šumavy. Hodnoty byly vypočteny opět pro dvě hodnocené roční sezony a sezonní průměr za posledních šest zim. Z uvedených hodnot vyplývá zvyšující se rozdílnost s rostoucí nadmořskou výškou. Markantnější je to v případě sněhově chudé zimy 2020/2021. A protože je průměr počítán z období, ve kterém byly čtyři sezony z celkových šesti sněhově chudé, jsou výsledné rozdíly velmi podobné. Rozdíl je zde potom vyjádřen procentním podílem maxim vypočítaných ze všech stanic včetně ASNS k maximálním hodnotám vypočítaným pro příslušná výšková pásma pouze ze základních stanic ČHMÚ.

Z mapového i číselného vyjádření je zřetelné, že bez dat z automatických sněhoměrných stanic by byl výpočet výšky sněhové pokrývky pro značnou část Šumavy významně podhodnocen, resp. pro vyšší polohy v příhraniční a centrální oblasti by přinesl velmi zavádějící výsledky.

Prostorová analýza výšky sněhové pokrývky a tvorba klimatologických map vychází z naměřených hodnot pro danou

lokalitu a z nastavení parametrů použité metody interpolace jako je vzdálenost k příslušnému bodu měření. Hraje zde tedy významnou roli počet a rozmístění meteorologických stanic a v neposlední řadě typ podkladového reliéfu (digitální model terénu). Vzhledem k určité pravidelnosti chodu srážek v chladné zimní polovině roku (říjen–březen) je v případě Šumavy podstatná kromě nadmořské výšky i poloha dané stanice vůči převládajícímu srážkovému návětří, v tomto případě z jihozápadních až západních směrů, a srážkovému závětří na „vnitrozemské“ severozápadní části pohoří. Určitou závislost výšky sněhové pokrývky na nadmořské výšce vyjadřují hodnoty koeficientu determinace (R^2) a vynesené spojnice trendu, přičemž byly v prvním případě použity pouze stanice základní sítě ČHMÚ a ve druhém případě všechny stanice zaznamenávající výšku sněhu, tedy včetně ASNS (obr. 6). Navíc byly stanice orientačně rozděleny podle jejich polohy vůči zmíněnému srážkovému návětří (Šumava návětří JZ) a závětří (Šumava závětří SV). Vzhledem k nedostatečnému počtu základních

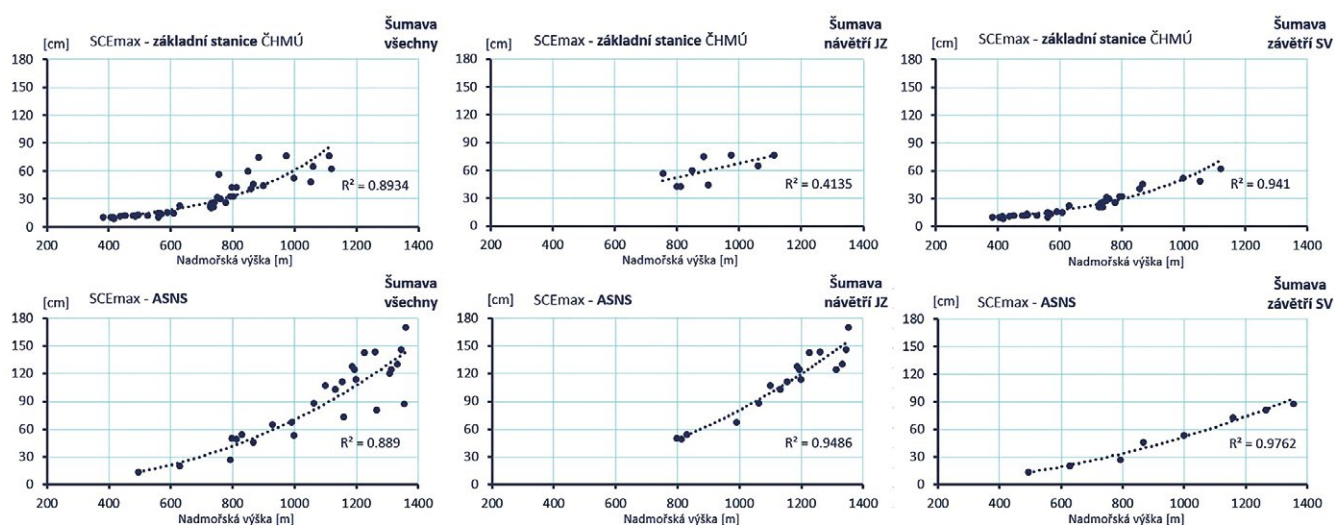
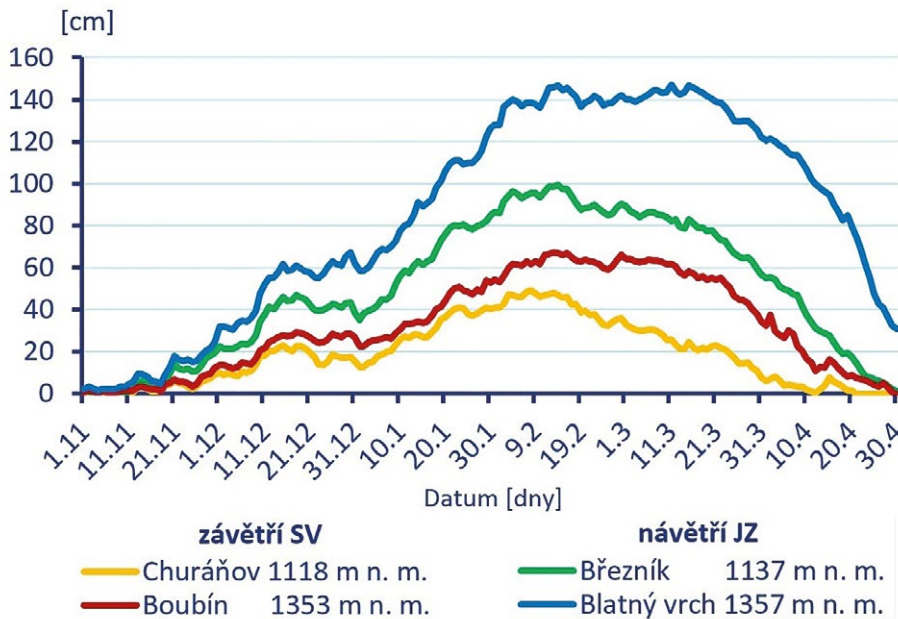

Obr. 6 Závislost výšky sněhové pokrývky (SCE_{max}) na nadmořské výšce z dat základních (ČHMÚ) a automatických stanic (ASNS) na srážkově návětří (návětří JZ) a závětrné (závětří SV) straně Šumavy.

Fig. 6. Relationship of snow cover height (SCE_{max}) on altitude from data of basic (CHMI) and automatic stations (ASNS) on the precipitation windward (SW windward) and leeward (NE leeward) side of the Šumava mountains.



Obr. 7 Graf průběhu výšky sněhové pokrývky z horských meteorologických stanic Churáňov a Boubín (srážkové závětrí SV), Blatný vrch a Březník (srážkové návětrí JZ), průměr za období 2017/18–2022/23.

Fig. 7. Graph of the snow depth time series from the mountain weather stations Churáňov and Boubín (precipitation leeward NE), Blatný vrch and Březník (precipitation windward SW), average in the 2017/18–2022/23.

stanic ČHMÚ v příhraniční oblasti návětrí Šumavy a jejich tamní úplné absenci v nejvyšších polohách, není závislost SCE_{max} na nadmořské výšce zřejmá tak, jako u vyššího počtu a rovnoměrnějšího rozmístění stanic ASNS ($R^2 = 0,41$ oproti $R^2 = 0,95$). Z toho mimo jiné vyplývá zvýšená nepřesnost výpočtu klimatologických map při použití dat pouze ze základních stanic. V oblasti srážkového závětrí Šumavy, kde je základních stanic o poznání více a jsou rozmístěny v různých nadmořských výškách, je rozdíl v závislosti SCE_{max} na nadmořské výšce oproti ASNS minimální ($R^2 = 0,94$ resp. $R^2 = 0,98$). Při použití dat ze všech šumavských stanic ASNS je závislost SCE_{max} na nadmořské výšce o něco nižší ($R^2 = 0,89$) vzhledem k rozdílům daným právě polohou těchto stanic. Podobné je to i v případě použití dat ze všech základních stanic ($R^2 = 0,89$). Grafické vyjádření závislosti SCE_{max} na nadmořské výšce v oblasti Šumavy na návětrí a závětrí pomáhá vysvětlit, proč při absenci dat z postupně instalovaných ASNS docházelo k významnému podhodnocení výšek sněhu v nejvyšších polohách srážkového návětrí (zejména v oblasti Blatného vrchu a Mokruvek na centrálním hraničním hřebenu) a naopak nadhodnocování výšek sněhu v nejvyšších polohách srážkového závětrí Šumavy (např. v masivu vnitrozemského Boubína). Je proto zřejmé, že kromě obecně známého vlivu nadmořské výšky se na variabilitě hodnot výšky sněhu (SCE_{max}) v oblasti Šumavy uplatňuje díky orografii neméně významně i množství zimních srážek. Tyto dva faktory pak společně generují výrazně vyšší rozdíly v akumulaci sněhové pokrývky v různých polohách srážkového návětrí, oproti nižším rozdílům v různých polohách závětrné části pohoří.

Rozdíly mezi návětrím a závětrím Šumavy z pohledu sněhu lze díky instalovaným automatickým stanicím dokumentovat také například průběhem výšky sněhové pokrývky během

celé zimní sezony. Při porovnání průměrné výšky sněhu z posledních šesti sezon z nevyšše položené šumavské automatické stanice na Blatném vrchu (1 357 m n. m.) a stanici na Březníku (1 137 m n. m.) v návětrném příhraničí s průběhy výšky sněhu ze stanice na nejvyšším vnitrozemském vrcholu Boubín (1 353 m n. m.) a zdejší nevyšše položenou základní profesionální stanicí ČHMÚ na Churáňově (1 118 m n. m.) v závětrné vnitrozemské části Šumavy jsou zřejmé výrazné rozdíly (obr. 7). Pokud pomineme vliv nadmořské výšky na akumulaci a průběh výšky sněhové pokrývky, dokládají vliv orografie a polohy příslušných meteorologických stanic vzájemné rozdílné průběhy Churáňova a Březníku, respektive z Boubína a Blatného vrchu. Z toho vyplývá při interpretaci a interpolaci dat potřeba vždy analyzovat a zohlednit lokální podmínky v různých částech pohoří.

6. Závěr

Na příkladu Šumavy a Šumavského podhůří byl dokumentován význam automatických sněhoměrných stanic (ASNS) prostřednictvím klimatologických map a vyhodnocení maximální sezonní výšky sněhové pokrývky (SCE_{max}). Byly rovněž podrobněji popsány postupy importu, kontroly a zpracování dat pro účely archivace a dalšího využití dat o sněhu. Pro zpracování výstupů byly využity maximální výšky sněhové pokrývky naměřené v posledních šesti zimních sezonách na stanicích v síti základních meteorologických stanic ČHMÚ a z 27 ASNS instalovaných v oblasti Šumavy různými subjekty. Hodnocené období zimních sezon 2017/2018 až 2022/2023 se vyznačovalo převahou sněhově slabých zim, jen dvě se daly označit vzhledem k předcházejícímu období jako průměrné. Při použití dat pouze ze sítě základních stanic se ukázalo, že dochází k významnému podhodnocení výšky sněhové pokrývky v příhraničí, kde chyběla odpovídající měřená data, a zároveň v oblastech s vyšší nadmořskou výškou. Naopak v nižších nadmořských výškách v srážkově závětrné oblasti Šumavy se rozdíly ve výsledném porovnání prakticky neprojeví. Výpočet průměrných hodnot SCE_{max} pro jednotlivá výšková pásma zároveň ukázal, že rozdíly při použití dat jen ze základních stanic, nebo včetně ASNS jsou nejen, pokud jde o nadmořskou výšku, ale i v případě různé bohatosti sněžnosti zimy na sniž. Ve sněhově výrazně podprůměrné zimě se absence dat z ASNS projevila větší odchylkou SCE_{max} , než je tomu u zimy sněhově průměrné s dostatkem sněhu ve všech polohách. Z tohoto pohledu se v souvislosti s dlouhodobým trendem vývoje klimatu ukazuje vzrůstající přínos automatických sněhoměrných stanic pro přesnější určení sněhových poměrů, zejména pak v případě rozlehlějších horských oblastí s řídkou sítí základních stanic.

Podrobnější zpracování dat ze všech stanic včetně ASNS na Šumavě rovněž dokumentuje potřebu zohledňovat při hodnocení sněhových charakteristik specifika jednotlivých částí pohoří. S tím souvisí nezanedbatelná role místních pozorovatelů či alternativních prostředků pozorování, jakými jsou například webové nebo časosběrné kamery. Kromě doplnění stávající sítě základních stanic a klimatologických dat má měření sněhu pomocí ASNS širší význam i pro další aplikace, jako jsou počítání zásob vody ve sněhu, operativní předpovědi průtoků a zpřesnění hydrologické bilance, či informování širší veřejnosti o aktuálních stavech sněhu.

Poděkování:

Poděkování patří zejména všem pozorovatelům a provozovatelům meteorologických stanic, bez jejichž dlouhodobé a obětavé práce by nebylo možno údaje o sněhu měřit, archívat a hodnotit. Navíc je potřeba poděkovat pozorovatelům profesionální meteorologické stanice Churáňov v čele s Jiřím Bednaříkem za spolupráci a konzultace v oblasti meteorologie a měření sněhových charakteristik. V souvislosti s instalacemi a provozem automatických sněhoměrných stanic na Šumavě se sluší vyjádřit poděkování za příkladnou spolupráci Správě Národního parku Šumava a členům Horské služby Šumava. Tato studie mohla být realizována především díky uvedeným provozovatelům ASNS a příslušným podpůrným programům, včetně například programu Strategie AV21 – Voda pro život, Operačním programům Životního prostředí (OPŽP) nebo jako součást řešení projektu „Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku, PERUN“ (SS02030040), který je podporován Technologickou agenturou ČR. Poděkování patří samozřejmě také recenzentům a redakci časopisu Meteorologické zprávy za všechny připomínky, které pomohly zkvalitnit odbornou úroveň předkládané studie.

Literatura:

- BROWN, R. D., SMITH, C., DERKSEN, C., MUDRYK, L., 2021. Canadian In Situ Snow Cover Trends for 1955–2017 Including an Assessment of the Impact of Automation. *Atmosphere-Ocean*, Vol. 59, č. 2, s. 77–92. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/0705590.2021.1911781>.
- ČHMÚ, 2023. Hlásná a předpovědní povodňová služba – sněhové zpravodajství – sněhoměrné stanice [online]. [cit. 31. 3. 2023]. Dostupné z WWW: <https://hydro.chmi.cz/hpps/snh>.
- DONG, C., 2018. Remote sensing, hydrological modeling and in situ observations in snow cover research: A review. *Journal of Hydrology*, Vol. 561, s. 573–583. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.027>.
- ESRI, 2018a. Resources for ArcMap [online]. [cit. 11. 3. 2023]. Dostupné z WWW: <https://www.esri.com/enus/arcgis/products/arcgis-desktop/resources>.
- ESRI, 2018b. Getting the most out of Zonal Statistics [online]. [cit. 30. 3. 2023]. Dostupné z WWW: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/spatial-analyst/analytics/getting-the-most-out-of-zonal-statistics/>.
- KŘIVANCOVÁ, S., VAVRUŠKA, F., 1997. Základní meteorologické prvky v jednotlivých povětrnostních situacích na území České republiky v období 1961–1990. *Národní klimatický program České republiky*, sv. 27. Praha: ČHMÚ. ISBN 80-85813-52-1, ISSN 1210-7565.
- NOLIN, A. W., SPROLES, E. A., RUPP, D. E., CRUMLEY, R. L., WEBB, M. J. et al., 2021. New snow metrics for a warming world. *Hydrological Processes*, Vol. 35, č. 6, s. 1–13. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/hyp.14262>.
- PORTENIER, C., HÜSLER, F., HÄRER, S., WUNDERLE, S., 2020. Towards a webcam-based snow cover monitoring network: methodology and evaluation. *The Cryosphere*, Vol. 14, s. 1409–1423. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/tc-14-1409-2020>.
- PROCHÁZKA, J., ROLČÍK, I., VOJVODÍK, A., MATOUŠEK M., 2017. Aktivity amatérských nadšenců pro doplnění poznatků o klimatu Šumavy. *Meteorologické zprávy*, roč. 70, č. 5, s. 143–148, ISSN 0026-1173.
- ŘIČICOVÁ, P., KIMLOVÁ, M., 2016. Možnosti využití měření a vypočtené vodní hodnoty sněhu pro stanovení zásob vody v povodí. In: Kimlová, M., Řičicová, P., Bercha, Š. (eds.): *XXI. Stretnutie sněžárov: sborník příspěvků ze semináře*. Žitková 1.–3. 3. 2016, Praha: ČHMÚ, s. 31–36. ISBN 978-80-87577-75-2.
- STAROSTOVÁ, M., 2012. Měření srážek totalizátory na Šumavě. *Meteorologické zprávy*, roč. 65, č. 6, s. 180–183. ISSN 0026-1173.
- STŘÍŽ, M., 2008. Popis metod CLIDATA-GIS [online]. [cit. 30. 3. 2023]. Dostupné z WWW: <http://www.infomet.cz/fil/1295510217.pdf>.
- ŠERCL, P., 2008a. Hodnocení metod odhadu plošných srážek. *Meteorologické zprávy*, roč. 61, č. 2, s. 33–43. ISSN 0026-1173.
- ŠERCL, P., 2008b. AGHydroInterpolace (Interpolační procedury pro ArcGIS). Uživatelská příručka. Praha: Český hydrometeorologický ústav.
- TANIS, C. M., LINDGREN, E., FREY, A., LATVA, L., ARSLAN, A. N., LUOJUS, K., 2023. Use of Webcams in Support of Operational Snow Monitoring. *Geosciences 2023*, Vol. 13, č. 3, s. 92. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/geosciences13030092>.
- USGS, 2022. EarthExplorer. United States Geological Survey [online]. [cit. 11. 3. 2023]. Dostupné z WWW: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- USGS, 2018. USGS EROS Archive – Digital Elevation – Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global [online]. [cit. 11. 3. 2023]. Dostupné z: <https://doi.org/10.5066/F7PR7TFT>.
- VAVRUŠKA, F., 2011. Měření srážek totalizátory na Šumavě. *Šumava*, č. 3, s. 16–17. ISSN 0862-5166.
- WALDER, J., KŘIŽKA, F., TOLASZ, R., ŘEPKA, M., 2021. Návod na správu a užívání java aplikace Clidata. Poslední úprava 5. května 2021. Ostrava: ČHMÚ.
- WMO, 2018. Measurement of Cryospheric Variables. Vol. II, Guide to Instruments and Methods of Observation, WMO-8, World Meteorological Organization, 42 s.

Lektoři (Reviewers):

**Ing. Roman Juras, Ph.D.,
prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.**