

V.

Klimatologická zpracování
a charakteristiky území na horách

Pokus o mapu Šumavy TMI

LUBOŠ MĚMEC

Český hydrometeorologický ústav, Praha, lubos.nemec@chmi.cz

Správná plošná interpolace meteorologického prvku je základem nejen pro operativní mapy, ale i pro mapy režimových charakteristik, které mohou být součástí norem ČSN případně klimatologických atlasů nebo publikací zaměřených na krajinu.

Většinou se využívá závislost prvku na nadmořské výšce. Čím těsnější je tato vazba, tím lepší dostáváme výsledky a tím také klesá nárok na velký počet stanic nutných pro zpracování.

Mezi prvky, kde je tato závislost dostatečně těsná patří teplota vzduchu (průměrná nebo ještě lépe maximální), rychlost větru, námraza. U těchto prvků se sčítá vliv nadmořské výšky a expozice terénu. Naopak u srážek, sněhové pokrývky a podle mého názoru především u teplotních minim má nadmořská výška a expozice opačný vliv. V takovém případě je třeba používat závislost na nadmořské výšce velmi opatrně, pomůže i využití shlazeného terénu a samozřejmě pokud možno co největšího množství stanic a to i za cenu, použití odborného odhadu pro typická místa, kde nejsou naměřená data k dispozici.

Inspirací k napsání tohoto článku byla příloha k normě ČSN mapa padesátiletého minima teploty. Vzhledem k tomu, že byla použita data profesionální staniční sítě, tak oblast šumavských plání, kde jsou dosahovány extrémně nízké hodnoty teplotních minim, byla charakterizována stanicí Churáňov a v důsledku toho i téměř nejvyššími (nejteplejšími) hodnotami z celé ČR. Ale ani nízké hodnoty teplotních minim šumavských plání necharakterizují celou Šumavu. Vrcholy, svahy i úzká zalesněná údolí mají hodnoty mnohem vyšší.

Metoda MWLR plošné interpolace prvku částečně tento problém řeší. Pro interpolaci nejsou vyhledány nejbližší stanice, ale stanice nejvhodnější. Tedy nejen blízké, ale i s podobnou konfigurací terénu. Krosovou validací je možné vyhledat váhy pro jednotlivé parametry tj. vzdálenost, vertikální vzdálenost, sklon a orientaci terénu, konvexnost terénu pro výběr nejvhodnější stanic.

Pro konstrukci mapy byla zvolena hodnota průměr ročních minim za období od roku 1961 do roku 2018. Chybějící roční hodnoty byly doplněny. Pro oblast Šumavy tak bylo k dispozici cca 50 stanic. Mapa sestavená interpolací hodnot těchto stanic nesplňovala naše představy a tak jsme pro zpracování přidali dalších cca 250 bodů. Především to byly stanice silniční a potom body s význačnou konfigurací terénu. Pro tyto body byla hodnota průměru ročních minim odhadnuta na základě podobnosti terénu s nejbližšími stanicemi.

Výsledná mapa téměř splňuje naše představy o rozložení teplotních minim na Šumavě a jejím okolí. Ještě se budeme snažit o zkvalitnění metody využití vrstvy landuse a vrstvy charakterizující velikost plochy, kde se vyzařováním vytváří místa s nízkou teplotou.

Klima hor a pohoří v Česku – návrh struktury a obsahu

RADIM TOLASZ¹, ADAM VALÍK²

¹ Český hydrometeorologický ústav, Odbor klimatologie, Praha, radim.tolasz@chmi.cz, ² adam.valik@chmi.cz

Úvod

Od vydání Atlasu podnebí Česka (2007) uplynulo již více než 10 let a česká klimatologie se již několik let zamýšlí nad zpracováním podobného atlasu pro hory a pohoří. Komplexní terén v oblastech, které označujeme jako hory a pohoří, sebou přináší nejen problémy v samotném měření základních klimatologických charakteristik, ale i těžkosti při jejich plošné interpretaci. Předkládáme tímto článkem odborné veřejnosti návrh struktury a obsahu Atlasu podnebí českých pohoří, včetně příkladů některých částí.

Data a metodika

Prvotním problémem je vymezení oblastí, které budeme zpracovávat. Zatím jsme se rozhodli pro standardní geomorfologické členění ČR publikované v komplexní podobě například Demkem a Mackovčinem (2006), jejichž práce navazovala na původní práci Demka a kol. (1987). Vybrali jsme pro zpracování tyto geomorfologické oblasti: Šumava, Český les, Krušné hory, Jizerské hory, Krkonoše, Orlické hory, Jeseníky, Beskydy, Hostýnsko-vsetínská hornatina a Javorníky (tab. 1).

Klimatologické charakteristiky jsme pro testování připravili pro stanice, které leží přímo v jednotlivých oblastech a v období 1961–2018 vyhovují metodickým doporučením WMO (2017), hlavně podmínce 3/5 pro přerušená měření a pozorování. V Jizerských horách, Hostýnsko-Vsetínské pahorkatině a v Javornících je nedostatek vhodných stanic, proto byly použity i stanice z okolí. Seznam stanic pro jednotlivé oblasti neuvádíme, v tab. 2 je uveden jen počet použitých stanic pro jednotlivé prvky v oblastech.

Atlas by mohl mít zpracovány tyto základní klimatologické charakteristiky:

- Teplota vzduchu
 - průměrná, maximální a minimální teplota vzduchu
 - charakteristické teploty vzduchu
 - počty dní
- Srážky
 - průměrný a maximální úhrn srážek
 - intenzita srážek
 - srážkové indexy
 - počty dní

Tab. 1 Přehled navržených oblastí pro Atlas.

Oblast	Celky	Rozloha [km ²]	Nejvyšší bod [m n. m.]
Šumava	Šumava, Šumavské podhůří	4 099	Plechý (1 378)
Český les	Český les, Podčeskoleská pahorkatina	1 544	Čerchov (1 042)
Krušné hory	Krušné hory	1 562	Klínovec (1 244)
Jizerské hory	Jizerské hory	422	Smrk (1 124)
Krkonoše	Krkonoše, Krkonošské podhůří	1 689	Sněžka (1 602)
Orlické hory	Orlické hory, Podorlická pahorkatina	1 461	Velká Deštná (1 115)
Jeseníky	Kralický Sněžník, Mohelnická brázda, Hanušovická, Zlatohorská a Zábřežská vrchovina, Rychlebské hory, Hrubý a Nízký Jeseník	5 951	Praděd (1 492)
Beskydy	Podbeskydská pahorkatina, Rožnovská brázda, Moravskoslezské Beskydy	2 211	Lysá hora (1 323)
Hostýnsko-vsetínská hornatina	Hostýnsko-vsetínská hornatina	679	Vysoká (1 024)
Javorníky	Javorníky	226	Velký Javorník (1 071)

- Sníh – sněžení
– sněhová pokrývka
– počty dní

Zvažovat budeme i další prvky, jejichž interpolace v komplexním terénu však bude problematická. Jde například o charakteristiky větru (průměrná a maximální rychlost větru, počty dní) a vybrané meteorologické jevy (např. mlha, námraza a bouřky). Pro otestování možností použití interpolačních metod v relativně malých oblastech s komplexním terénem byla zpracována průměrná roční teplota, průměrný roční úhrn srážek, sezónní průměr sumy výšky nového sněhu a sezónní průměr maximální výšky sněhové pokrývky. Teplota a srážky jsou připraveny z technických řad ČHMÚ, sníh je ze základních časových řad měřených

hodnot, které prošly důkladnou kontrolou kvality, ne však homogenizací. Lineární trendy byly vypočteny v aplikaci AnClim (Štěpánek 2010) a pro interpolaci byla použita interpolační metoda CLIDATA-DEM z aplikace CLIDATA/GIS popsána v práci Němce a Stříže (2011) s digitálním modelem terénu v rozlišení 100x100 m.

Tab. 2 Počty vybraných klimatologických stanic v jednotlivých oblastech.

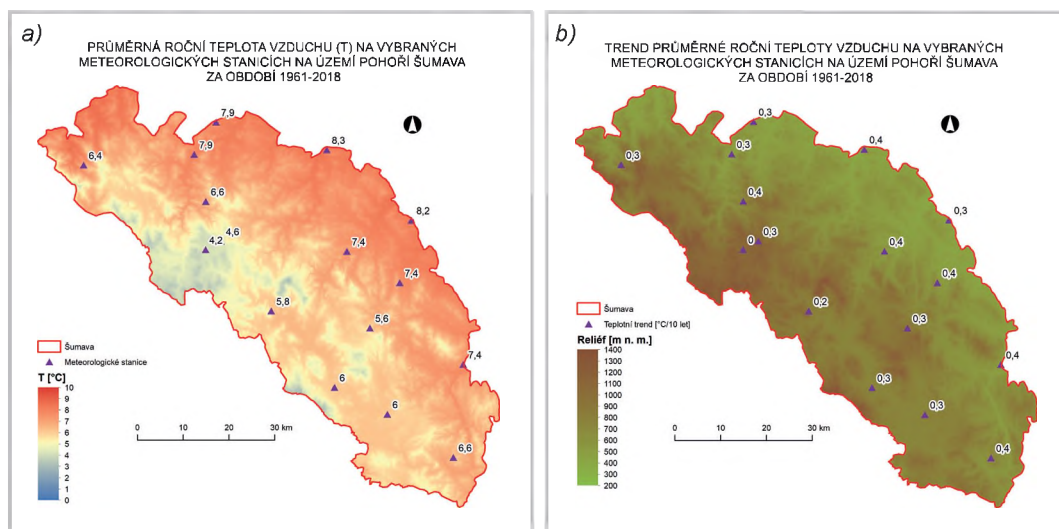
Oblast	Teplota	Srážky	Sníh
Šumava	16	45	17
Český les	5	13	7
Krušné hory	8	18	5
Jizerské hory	6	12	6
Krkonoše	15	23	10
Orlické hory	8	14	5
Jeseníky	25	62	33
Beskydy	12	32	19
Hostýnsko-vsetínská hornatina	9	17	13
Javorníky	2	8	5

Mapové výstupy

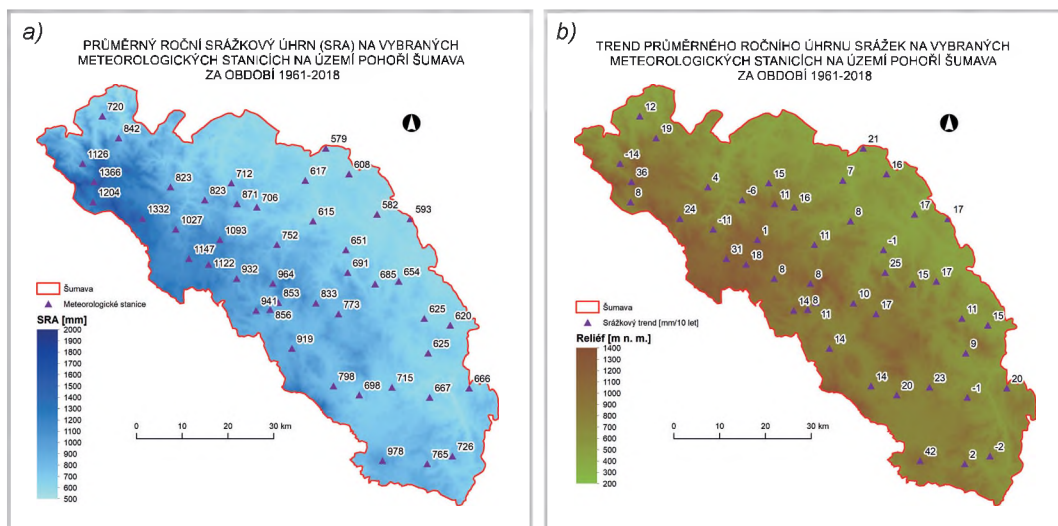
Pro prvotní přehled byly pro každou oblast zpracovány mapy vybraných klimatologických charakteristik a příslušného desetiletého trendu za období 1961–2018, které poukazují na prvotní problémy v interpolaci těchto charakteristik. Obrázky 1 až 4 ukazují tyto dvojice map pro oblast Šumavy.

Závěr

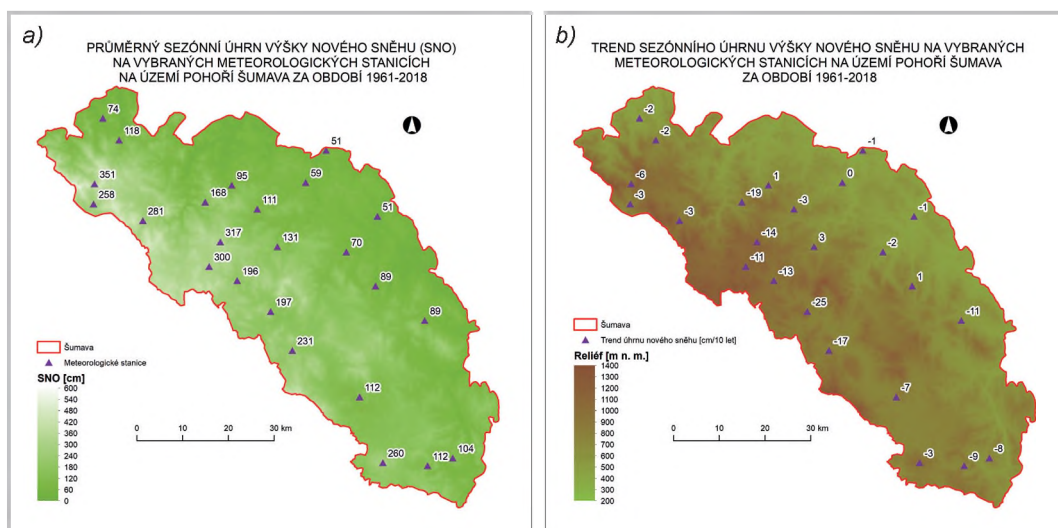
Předložená práce ukazuje možný přístup tvorby nového klimatického atlasu pro hory a pohoří v Česku. Struktura je navržena tak, aby Atlas navázal na Atlas podnebí, je však zřejmé, že některé části nebudou na horách zpracovávány (např. mapy fenologických fází nebo tlaku vzduchu). Je zřejmé, že při podrobném zpracování budeme řešit problémy spojené s nedostatkem vhodných kvalitních stanic a s velkým vlivem okolního reliéfu. Zároveň bude nutné ve větší míře pro interpolace využít stanice z podhůří a pravděpodobně i ze zahraničí.



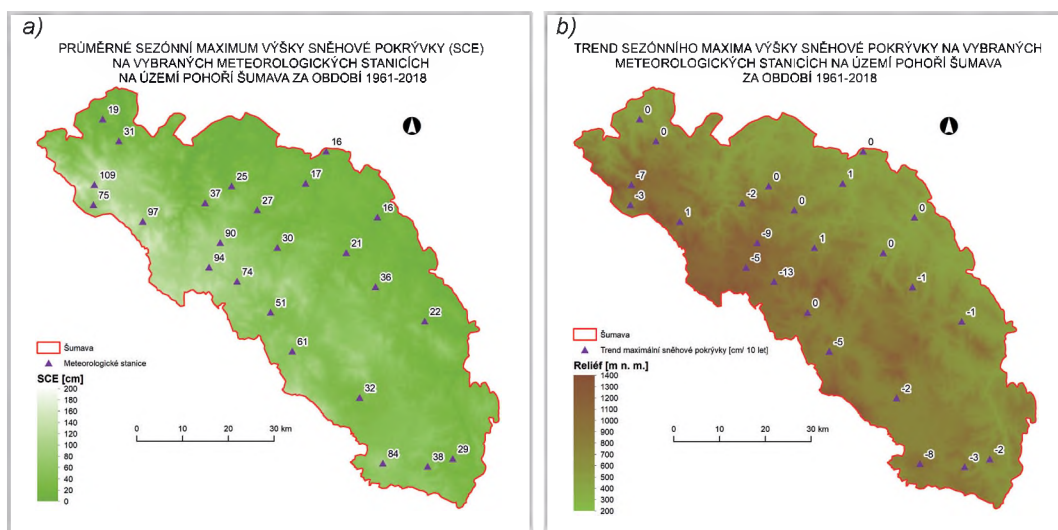
Obr. 1 Průměrná roční teplota (a) a desetiletý trend za období 1961–2018 (b) na Šumavě.



Obr. 2 Průměrný roční úhrn srážek (a) a desetiletý trend za období 1961–2018 (b) na Šumavě.



Obr. 3 Průměrná sezónní suma nového sněhu (a) a desetiletý trend za období 1961–2018 (b) na Šumavě.



Obr. 4 Průměrné sezónní maximum výšky sněhu (a) a desetiletý trend za období 1961–2018 (b) na Šumavě.

Literatura:

- DEMEK, J. a kol., 1987. Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny. Brno: Academia, 1987. 584 s.
- DEMEK, J., MACKOVČIN, P., 2006. Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny. Brno: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 582 s. ISBN 80-86064-99-9.
- NĚMEC, L., STRÍŽ, M., 2011. Mapa zatížení sněhem v České republice. *Meteorologické zprávy*, roč. 64, č. 5, s. 137–141, ISSN 0026–1173.
- TOLASZ, R. a kol., 2007. Atlas podnebí Česka. ČHMÚ, UP Olomouc, Praha, Olomouc, ISBN 978-80-86690-26-1, 978-80-244-1626-7.
- Meteorologický slovník výkladový a terminologický, 2018. [online]. [cit. 19. 3. 2019]. Dostupné z www: <http://slovník.cmes.cz/>.
- ŠTĚPÁNEK, P., 2010. ProClimDB—software for processing climatological datasets. CHMI, regional office Brno. [online]. [cit. 19. 3. 2019]. Dostupné z www: <http://www.climahom.eu/ProcData.html>.
- WMO, 2017. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO-No. 1203, WMO, ISBN 978-92-63-11203-3.

Sněhová pokrývka na Lysé hoře v zimní sezóně 1910–1911

ALENA KAMÍNKOVÁ¹, VERONIKA ŠUSTKOVÁ², PAVEL LIPINA³, MIROSLAV ŘEPKA⁴

¹ Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ostrava, alena.kaminkova@chmi.cz, ² veronika.sustkova@chmi.cz,

³ pavel.lipina@chmi.cz, ⁴ miroslav.repka@chmi.cz

Úvod

V roce 2017 se na Lysé hoře konala konference 120 let meteorologických měření a pozorování na Lysé hoře (Lipina a kol., 2017), kde byl představen příspěvek Celková sněhová pokrývka na Lysé hoře v zimní sezóně 1910–1911. V tomto příspěvku bylo naznačeno možné zpracování sněhových poměrů v tomto období. Současný příspěvek na výše zmiňovaný navazuje a ukazuje předběžné výsledky dalšího výzkumu.

Nejvyšší naměřená hodnota sněhové pokrývky na území České republiky 491 cm z března 1911 již byla podrobena celé řadě zkoumání a byla zmíněna v řadě publikací nebo článků (např. Lipina a kol. 2004, Lipina 2014, Chalupa a kol. 2014). Tento příspěvek se na tuto hodnotu dívá jak v kontextu dlouhodobého měření sněhu, tak se snaží pomocí srážkoodtokového modelu HEC-HMS (US Army Corps of Engineers 2019) najít odpověď na otázku, zda je možné brát údaj 491 cm za reálný.

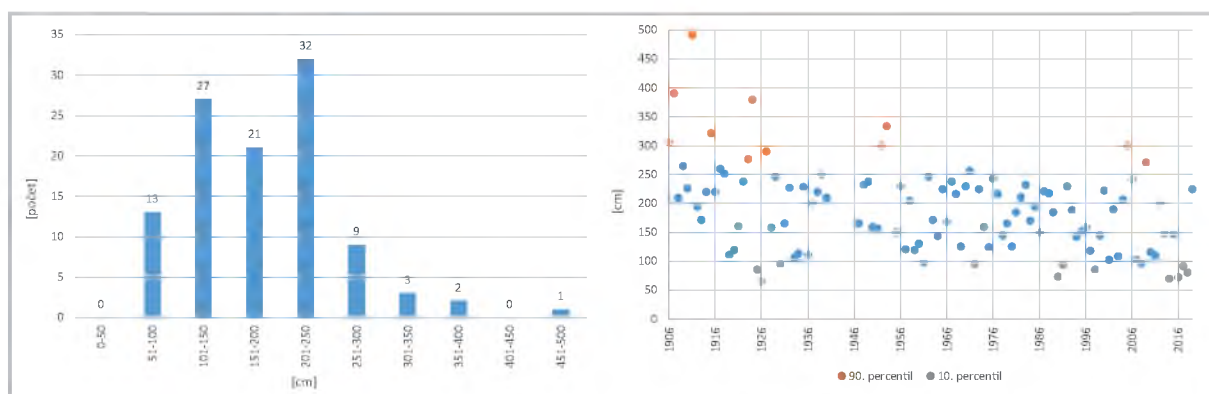
Výška sněhové pokrývky v letech 1906–2019

Pravidelné denní měření množství spadlých srážek, výšky nového sněhu, celkové výšky sněhové pokrývky a termínové teploty vzduchu začalo na Lysé hoře již od 15. července 1897 (Lipina 2017). Jedná se tedy již o více než 120 letů řadu pozorování, která je vzhledem k nadmořské výšce (1 324 m n. m.) a poloze stanice velmi cenná a údaje z této stanice jsou důležité např. pro znalosti klimatologických poměrů horských oblastí. Umístění stanice na vrcholu Lysé hory se během historie pozorování měnila, ale vzhledem k velikosti vrcholu nijak zásadně. Schéma umístění stanice je uvedeno např. v Lipina a kol., 2004.

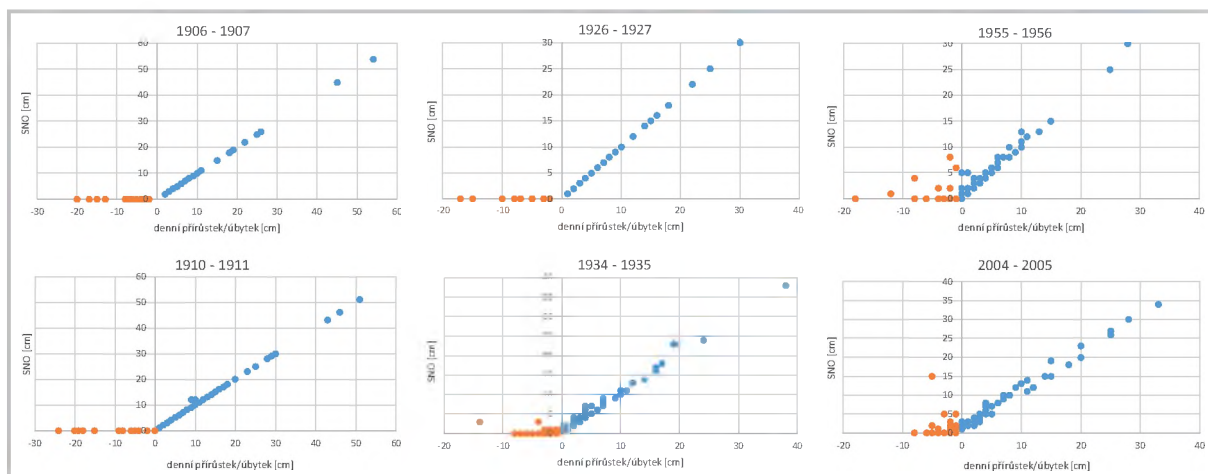
Pro zpracování bylo vybráno období 1906–2019, ve kterém byly zaznamenány nejvyšší hodnoty výšky sněhové pokrývky. Vynecháno bylo období 1941 až 1946 a rok 1954 z důvodu neúplných dat. Při zpracování bylo využito databáze CLIDATA, kde jsou uloženy všechny dostupné historické záznamy. Od roku 1906 bylo změřeno celkem 47 zim s maximální sněhovou pokrývkou (SCE_{max}) větší než 200 cm a pouze 6 krát se za toto období naměřila max SCE větší než 300 cm, z toho 5krát v letech 1906–1928. Nejčastěji se SCE_{max} (obr. 1) pohybovala v intervalu 201 až 250 cm (32krát) a v intervalu 101 až 150 cm (27 krát).

Rozložení SCE_{max} během celého sledovaného období, spolu se zvýrazněním min a SCE_{max} pomocí percentilů (pro porovnání byl vybrán 10. a 90. percentil), je také znázorněno na obr. 1. I z tohoto grafu je patrné, že většina zim s nejvyšší sněhovou pokrývkou se vyskytovala do roku 1928.

Až do roku 1933, kdy došlo ke změně stanice na stanici II. řádu a změně rozsahu a kvality pozorování (Lipina 2017), nebylo ve výkazech pozorování výšky sněhové pokrývky zaznamenáno sesedání sněhu a hodnota naměřených srážek v mm v tomto období téměř vždy znamenala také přírůstek nového sněhu v cm. Na obr. 2 je to znázorněno graficky za vybrané zimní sezóny. Také rychlost tání sněhové pokrývky na konci zimních sezón za uvedené období, např. v březnu 1911 (o 270 cm za 11 dní) je velmi diskutabilní.



Obr. 1 Histogram rozdělení četností SCE_{max} v jednotlivých letech (vlevo) a hodnoty SCE_{max} za období 1907 až 2019 se zvýrazněním hodnot patřících do 90. a 10. percentilu



Obr. 2 Závislost přírůstku/úbytku sněhové pokrývky a výšky nového sněhu (SNO) ve vybraných zimních sezónách při záporných teplotách vzduchu.

Z výše uvedeného lze usuzovat, že měření celkové výšky sněhu až do zmiňovaného roku 1933 neprobíhalo správně a maximální výška sněhu v tomto období by měla být menší, než bylo uvedeno na historických záznamech. Na základě těchto poznatků se začalo uvažovat o vytvoření metodiky simulace vodní hodnoty s využitím programu HEC-HMS a následně možnosti revize historických hodnot výšky sněhové pokrývky.

Stručná metodika

Pro další zpracování bylo nutné vybrat zimní sezóny, pomocí kterých bude prováděna simulace v programu HEC-HMS (viz dále). Vodní hodnota je pravidelně na stanici Lysá hora měřena od prosince roku 1962. Pro kalibraci sněhového modelu byly vybrány zimní sezóny s maximální výškou sněhové pokrývky, k nimž je dostupná i změřená vodní hodnota.

Byly vybrány zimní sezóny s maximální výškou sněhu alespoň 200 cm. Po rozboru těchto období (byla zkoumána závislost výšky sněhu a vodní hodnoty) a následně simulaci v modelu HEC-HMS, lze říci, že pro vybrané zimy je možné použít podobnou sadu parametrů, které lze následně použít pro simulaci zimy 1910–1911. Vybrané zimní sezóny byly následující: 1961–1962, 1964–1965, 1975–1976, 1981–1982, 2004–2005 a 2005–2006.

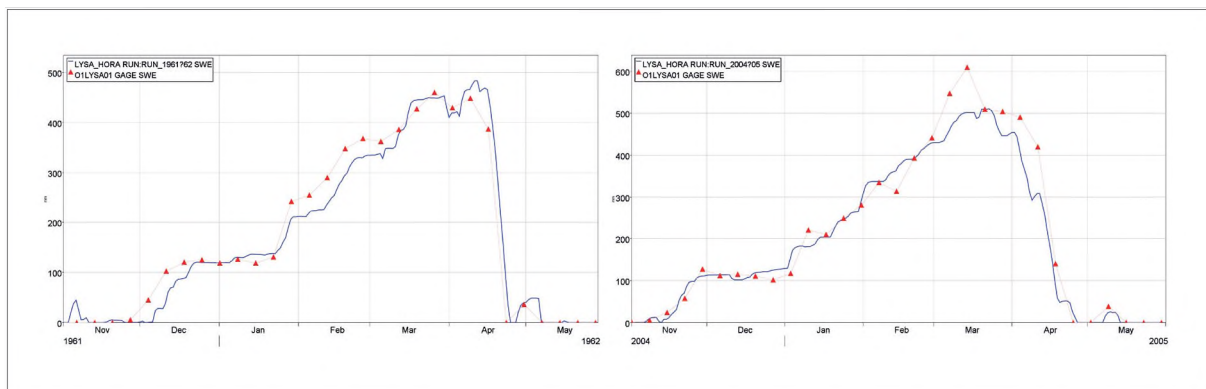
Simulace vodní hodnoty v programu HEC-HMS

Srážkoodtokový model HEC-HMS je vyvíjen americkým hydrologickým centrem (Hydrologic Engineering Center), které spadá pod tým inženýrů ústavu vodních zdrojů (Institute for Water Resources IWR) americké armády. Je koncipován tak, aby simuloval kompletní hydrologické procesy v povodí (US Army Corps of Engineers 2019). Model HEC-HMS využívá pro simulaci akumulace a tání sněhové pokrývky rozšířenou metodu teplotního indexu (degree-day, stupeň-den). Tato metoda se již osvědčila v hydroprognózní praxi (Říhová a kol. 2014, Šustková a kol. 2016), jelikož simuluje rychlost tání sněhové pokrývky ve srážkovém, tak i bezesrážkovém období a zohledňuje vliv tepla vyzařovaného zemským povrchem.

Hlavním důvodem pro využití této metody při rekonstrukci vývoje sněhové pokrývky v zimním období 1910–1911 bylo, že dokáže modelovat odtok vody z tajícího sněhu, ale zároveň pomocí teploty vzduchu a srážek dokáže simulovat akumulaci sněhu. Další nespornou výhodou metody teplotního indexu je, v porovnání např. s metodou energetické bilance, relativní nenáročnost na vstupní data (Hock 2003, De-Walle 2008).

Tab. 1 Parametry sněhového modelu pro vybraná zimní období (ukázka).

Parametr	Jednotka	1964/65	1975/76	1981/82	2004/05
PX Temperature	°C	0,8	0,8	0,8	0,8
Base Temperature	°C	0,4	0,4	0,2	0,4
ATI Coefficient	—	0,015	0,015	0,015	0,015
Wet Meltrate	mm. °C ⁻¹ . d ⁻¹	12	4	9	4,5
Rain Rate Limit	mm. d ⁻¹	0	1	0	0
Cold Limit	mm. d ⁻¹	0	3	3	3
Coldrate Coefficient	—	0,999	0,999	0,999	0,999
Water Capacity	%	5	2	5	5
Groundmelt	mm. d ⁻¹	0,35	0	0	0



Obr. 3 Příklad simulace vodní hodnoty sněhu (modře) v porovnání s naměřenou hodnotou (červeně) v zimních sezónách 1961–1962 a 2004–2005.

Kalibrace modelu

Metoda teplotního indexu (TI) v modelu HEC-HMS je v podstatě rozšířená metoda typu degree-day. Zatímco klasická metoda degree-day simuluje množství roztáté vody za den pouze na základě teploty vzduchu téhož dne, tato rozšířená metoda TI umožňuje zahrnutí dalších parametrů (viz tab. 1) a funkcí pro vyjádření tzv. sezonalit teplotního indexu (ATI-Meltrate Function a ATI-Coldrate Function) (Scharffenberg, B., et al. 2018). Díky těmto parametrům je možno lépe vystihnout celkovou energetickou bilanci sněhu.

Vzhledem k charakteru zájmového území (vrchol Lysé hory) byly v modelu HEC-HMS optimalizovány pouze parametry sněhového modelu.

Vždy bylo simulováno zimní období 1. října–31. května. Simulace celého zimního období je obtížnější, protože některé parametry ovlivňují akumulaci sněhu i tání sněhu. Pokud v teplejším období dochází k rychlému tání, může hodnota tohoto parametru ovlivnit období akumulace sněhu a např. podhodnotit simulovanou vodní hodnotu. Velmi vhodné se ukázalo kalibrovat zimní období s podobným vývojem sněhové pokrývky. U všech těchto zimních období se podařilo dosáhnout velmi uspokojivého výsledku (obr. 3).

Předběžné výsledky

Po rozboru a následné simulaci všech vhodných zimních období byla sestavena sada parametrů, které byly použity pro simulaci vývoje vodní hodnoty sněhové pokrývky na Lysé hoře v zimním období 1910–1911. Maximum vodní hodnoty bylo dle simulace dosaženo 19. března 791 mm. Po získání výšky sněhové pokrývky na základě průběhu simulované vodní hodnoty byl využit přepočtení koeficient. Ten jsme získali z vhodných zimních sezón poměrem výšky a vodní hodnoty sněhu. Výsledkem simulace ke dni 9. března 1911 byla vodní hodnota 773 mm a k tomu vypočtena odpovídající výška sněhu 393 cm.

Závěr

Zkoumat a revidovat hydrometeorologická data je běh na dlouhou trať. Metodika simulace vodní hodnoty pomocí srážkoodtokového modelu HEC-HMS se ukázala jako jedna z možností, jak využít moderní nástroj v simulaci historických epizod. Zvolená metoda Teplotního indexu má navíc své výhody oproti metodám energetické bilance (Hock 2003, DeWalle 2008), kdy převládá zejména výhoda relativní nenáročnosti na vstupní data.

Navrženou metodikou, lze provést simulace také dalších zimních sezón, o jejichž maximální výšce sněhové pokrývky se vedou diskuze, např. 1906–1907, a dále se pokusit o rekonstrukci průběhu výšky sněhové pokrývky v problematických letech 1897–1933.

Literatura:

- DEWALLE, D. R., RANGO, A., 2008. Principles of Snow Hydrology. Cambridge University Press. July 2008. ISBN 9780511410758.
- HOCK, R., 2003. Temperature index melt modelling in mountain areas. *Journal of Hydrology*, 282(1), 104–115.
- CHALUPA, J., ONDRUCH, V., LIPINA, P., 2014. 491 cm celkové sněhové pokrývky v zimní sezóně 1910/1911. In: *60 let pozorování profesionální meteorologické stanice Lysá hora*. Praha: ČHMÚ. 1. vydání, 40 s. ISBN 978-80-87577-36-3.
- LIPINA, P. 2014. 491 cm celkové sněhové pokrývky na Lysé hoře v Beskydech v zimní sezóně 1910–1911. [online]. [cit. 1. 3. 2019]. Dostupné z [www: http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1394453361](http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1394453361).

- LIPINA, P. (ed.), 2017. 120 let meteorologických měření a pozorování na Lysé hoře. Sborník příspěvků z konference pořádané Českým hydrometeorologickým ústavem a Českou meteorologickou společností. Lysá hora 14.–15. června 2017. Praha. 1. vydání, 70 s. ISBN 978-80-87577-68-4.
- LIPINA, P. a kol. 2017. Celková sněhová pokrývka na Lysé hoře v zimní sezóně 1910–1911. In: *120 let meteorologických měření a pozorování na Lysé hoře*. Praha. 1. vydání, s. 178–180. ISBN 978-80-87577-68-4.
- LIPINA, P. a kol., 2004. 50 let pozorování na profesionální meteorologické stanici Lysá hora. 1. vyd. Praha: ČHMÚ. 70 s. ISBN 80-86690-20-2.
- ŘÍHOVÁ, V., KOSÍK, O., STRÍŽ, M., TÍŽKOVÁ, A. 2014. Rozšíření srážkoodtokového modelu HEC-HMS na povodí ovlivněné manipulacemi na vodních dílech a pro modelování odtoku z tání sněhové pokrývky. ČHMÚ, Projekt interního výzkumného záměru, interní dokument.
- SCHARFFENBERG, B. et al. 2018. Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual. U. S. Army Corps of Engineers. Version 4,3. 624 p.
- ŠUSTKOVÁ, V., KOSÍK, O., TÍŽKOVÁ, A., VOLNÝ, R., 2016. Zabezpečení hlášené a předpovědní služby na pobočce ČHMÚ Ostrava. In: *Sborník Symposia GIS Ostrava 2016*. Ostrava 16.–18. 3. 2016. ISBN 978-80-248-3902-8, ISSN 1213-2454.
- US Army Corps of Engineers. The Hydrologic Engineering Centre, 2019 [online]. [cit. 1. 3. 2019]. Dostupné z [www: http://www.hec.usace.army.mil/](http://www.hec.usace.army.mil/).

Klimatológia charakteristík snehovej pokrývky v horských oblastiach severného a severozápadného Slovenska v zime 2018/2019

JOZEF PECHO¹, LADISLAV MARKOVIČ², PAVEL FAŠKO³, OLIVER BOCHNÍČEK⁴, PETER KAJABA⁵, MAROŠ TURŇA⁶

¹ Slovenský hydrometeorologický ústav Bratislava, jozef.pecho@shmu.sk, ² ladislav.markovic@shmu.sk,

³ pavol.fasko@shmu.sk, ⁴ oliver.bochnicek@shmu.sk, ⁵ peter.kajaba@shmu.sk, ⁶ maros.turna@shmu.sk

Úvod

V predkladanom príspevku sme sa zamerali na analýzu teplotných a zrážkových podmienok, a predovšetkým podmienok snehovej pokrývky vo vybraných regiónoch Slovenska (predovšetkým na severe a severozápade SR: Orava, Kysuce, Tatry, atď.) v priebehu zimy 2018/2019. Zima 2018/2019 skončila na Slovensku prevažne ako teplotne nadnormálna a zrážkovo prevažne ako normálna. Zima 2018/2019 však bola zaujímavá svojím priebehom, a predovšetkým v niektorých severozápadných a severných regiónoch Slovenska bolo, najmä v priebehu januára 2019, zaznamenaných niekoľko významných zrážkových situácií, kedy v priebehu niekoľkých dní spadlo veľmi významné (veľké) množstvo nového snehu (boli zaznamenané významne vysoké hodnoty výšky novej snehovej pokrývky). Napríklad, na meteorologickej stanici v Oravskej Lesnej spadlo v termíne od 1. 1. do 6. 1. 2019 až 101 cm nového snehu (napr. v ďalšom termíne od 12. 1. do 16. 1. spadlo ďalších 80 cm), pričom celková výška snehovej pokrývky dosiahla svoje maximum dňa 16. 1. 2019, a to 132 cm. Len v priebehu januára 2019 dosiahla celková akumulácia novej snehovej pokrývky v Oravskej Lesnej až 212 cm, čo je štvrtá najvyššia hodnota v januári od roku 1951 (vyššie hodnoty boli zaznamenané len v rokoch 1976, 2012 a 2005). V predkladanom príspevku budeme analyzovať priebeh zimy 2018/2019 z pohľadu vybraných extrémov zrážok a snehovej pokrývky v kontexte dlhých časových radov ich vybraných charakteristík. V analýze sa okrem toho sústreďujeme aj na historické zmeny a pozíciu zimy 2018/2019 z hľadiska ďalšej charakteristiky vodnej hodnoty snehovej pokrývky (VHSP) a odhadovaných zásob vody vo vybraných povodiach na Slovensku (najmä povodie Váhu).

Teplotné a zrážkové podmienky zimy 2018/19

V priebehu zimy 2018/2018 boli december 2018 a január 2019 dosť odlišné v porovnaní s februárom. December 2018 bol na väčšine územia Slovenska teplotne normálny až nadnormálny. December 2018 skončil na väčšine územia Slovenska ako teplotne normálny, s kladnou odchýlkou priemernej mesačnej teploty vzduchu od normálu 1981–2010 (resp. 1961–1990). Výnimkou boli len vysokohorské polohy, resp. stanice, ako napríklad Chopok a Lomnický štít. Január 2019 bol na väčšine územia Slovenska teplotne normálny, iba vo vysokohorských polohách a aj v niektorých stredných horských polohách bol teplotne podnormálny. V tomto prvom mesiaci roka 2019 bolo naopak iba málo takých meteorologických staníc, ktoré mali v prípade priemernej mesačnej teploty vzduchu kladnú odchýlku od normálu 1981–2010. Tieto sa sústreďovali prevažne v juhozápadnej časti Slovenska. Február 2019 bol na území Slovenska teplotne nadnormálny. Na juhozápadnom Slovensku a na východnom Slovensku, na mnohých meteorologických staniciach, ale napríklad aj v Oravskej Lesnej a na niektorých tatranských meteorologických staniciach, dosiahla odchýlka priemernej mesačnej teploty vzduchu od normálu 1981–2010, +3,0 °C a viac, takže na týchto miestach bol február 2019 teplotne silne nadnormálny. Jedny z najvyšších hodnôt odchýlok teploty vzduchu boli zaznamenané v Kuchyni na letisku a na Lomnickom štíte (+3,6 °C). Ak by sme porovnávali priemernú mesačnú teplotu vzduchu v tohtoročnom februári s dlhodobým priemerom 1961–1990, tak odchýlky by boli ešte väčšie a na meteorologickej stanici Bratislava-Koliba by to bolo až +4,0 °C. Zima 2018/2019 ako celok bola na väčšine územia Slovenska teplotne nadnormálna. Aj na vysokohorských meteorologických staniciach mala v tejto zime odchýlka priemernej teploty vzduchu, od normálu 1961–1990, kladné hodnoty. Napriek tomu, táto zima, podobne ako v niektorých regiónoch Slovenska, (napríklad v južnej polovici stredného Slovenska) môžeme považovať za teplotne normálnu. V Oravskej Lesnej, kde bol počas tejto zimy dostatok snehu, dosiahla odchýlka priemernej teploty vzduchu za zimu, od normálu 1981–2010, +0,9 °C a pri porovnávaní s normálom 1961–1990 to bolo +1,5 °C. Oblasť, kde boli v zime 2018/2019 odchýlky priemernej teploty vzduchu od normálu najvyššie, sú situované prevažne na juhozápadnom a potom aj na severovýchodnom Slovensku. Napríklad, v Bratislave na letisku dosiahla priemerná teplota vzduchu za zimu 2,4 °C, s odchýlkou, od normálu 1981–2010, +1,8 °C a +2,5 °C, pri porovnávaní s normálom 1961–1990. V Medzilaborciach dosiahla priemerná teplota vzduchu za zimu 2018/2019 mínus 1,1 °C, s odchýlkou od normálu 1981–2010, +1,2 °C a +2,0 °C, pri porovnávaní s normálom 1961–1990.

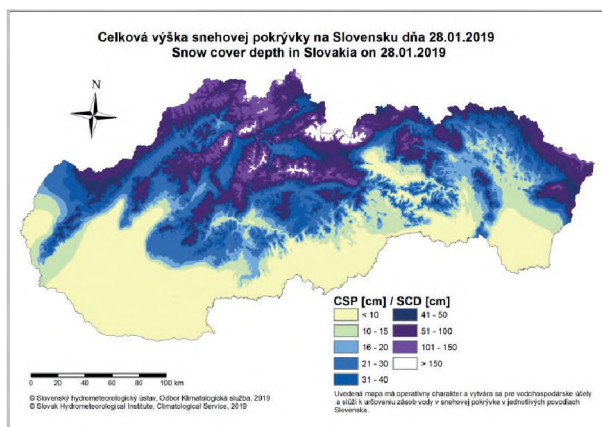
Snehové podmienky v priebehu zimy 2018/19

Snehové podmienky boli v priebehu zimy 2018/2019 na Slovensku veľmi odlišné v závislosti od konkrétneho regiónu. Prevládajúce cirkulačné podmienky v priebehu zimy (severné až severozápadné prevládajúce prúdenie)

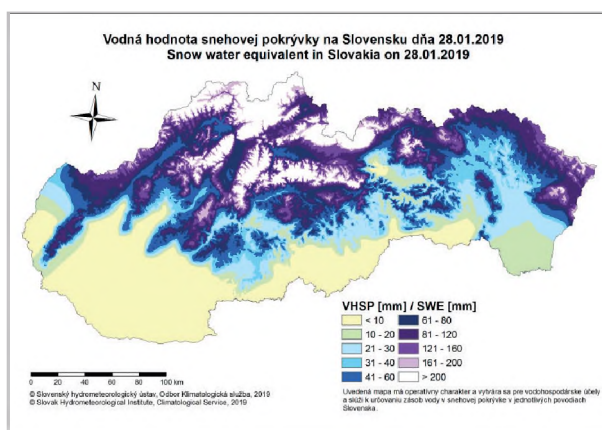
viedli k pravidelne sa opakujúcim zrážkovým situáciám, počas ktorých miestami spadlo (najmä v priebehu januára) aj viac ako 30 cm nového snehu za 24 h. Napríklad, v oblasti Oravy (Oravská Lesná) sa prvá súvislá a trvalá snehová pokrývka vytvorila v prvej decembrovej dekáde (8. 12.), pričom snehová pokrývka sa v týchto oblastiach SR udržala až do začiatku apríla 2019 (stav k 23. 3. 2019: 106 dní s trvaním CSP). Z pohľadu celkovej rozlohy, ako aj maximálnych hodnôt vodného obsahu snehu (a maximálnych zásob vody v snehovej pokrývke), maximum bolo v priebehu zimy 2018/2019 dosiahnuté prevažne v termínoch medzi 21.1. a 28.1.2019 (obr. 1 a 2). Na rozsiahlych plochách severného a severozápadného Slovenska celková výška snehovej pokrývky dosahovala hodnoty výrazne cez 100 cm (vo vysokohorskom prostredí, teda nad 1300 m n. m. aj viac ako 200 cm). Vodná hodnota snehovej pokrývky dosahovala v tomto období miestami aj viac ako 250 mm (Orava a Kysuce), vo vysokohorskom prostredí aj viac ako 500 mm (Oravské Beskydy, Tatry, atď.), pričom tento stav sa významne prejavil aj do vysokých hodnôt celkových odhadovaných zásob vody v povodiach hlavného toku Váhu (Orava, Kysuce, Turiec, atď.; Váh po Nosice: 1 194,44 mil. m³ [HIPS SHMÚ; dňa 28. 1. 2019]). V kontexte historických údajov uvedenej charakteristiky – maximálne zásoby vody v snehovej pokrývke – od roku 1981, nejde o mimoriadnu či dokonca extrémne vysokú hodnotu. Uvedená hodnota (1 194,44 mil. m³) sa v povodí Váhu vyskytuje celkom pravidelne raz za 2–5 rokov, naposledy v priebehu zimy 2012/2013 (+1 200 mil. m³). Hodnoty viac ako 1 800 mil. m³ sa v tejto oblasti Slovenska vyskytli od roku 1981 zatiaľ len trikrát, a to v zime 1986/1987, 2004/2005 a 2005/2006. V oblasti Oravy (VD Orava) boli významne vysoké zásoby vody v snehovej pokrývke aj v priebehu zimy 1999/2000. Vzhľadom na to, že posledných šesť zím (od roku 2013/2014), s výnimkou zimy 2016/2017, boli prevažne teplotne nadnormálne, maximálne hodnoty VHSP v povodiach severného a severozápadného Slovenska dosahovali väčšinou do 200 mm (extrémom bola zima 2013/2014, kedy dosiahla len hodnoty okolo 80–90 mm, a to dokonca aj na Orave). Tohtoročná zima 2018/2019 sa teda ani z hľadiska tejto charakteristiky nedostala na rovnakú pozíciu ako zimy 1999/2000 či 2004/2005 alebo 2005/2006 (max. okolo 550–560 mm). Diametrálne odlišnú situáciu, tak z hľadiska celkových sezónnych úhrnov zrážok ako aj množstva snehu (a jej celkovej stability v priebehu zimy), sme zaznamenali na ostatnom území Slovenska (juh západného, stredného a východného Slovenska). Veľmi špecifická, a teda aj veľmi neštandardná, situácia nastala v kotlinách stredného a východného Slovenska, kde snehová pokrývka začala ustupovať už v priebehu prvej polovice februára (a aj preto sme v týchto oblastiach zaznamenali v druhej polovici a na konci februára 2019 mimoriadne vysoké hodnoty maximálnej dennej teploty vzduchu). Napríklad, dňa 28. 2. 2019 sme v Spišských Vlachoch (Hornádska kotlina) zaznamenali maximálnu dennú teplotu vzduchu až 17,6 °C.

Literatúra:

- PECHO, J., FAŠKO, P., LAPIN, M., MIKULOVÁ, K., ŠTASTNÝ, P. 2009. Extreme values of precipitation and snow cover characteristics in Slovakia. In: *Pribullová, A., Bicárová, S. (Eds.) 2009: Sustainable Development and Bioclimate, Reviewed Conference Proceedings*. Geophysical Institute of the SAS, 5th to 8th October 2009, Stará Lesná. CD ISBN 978-80-900450-1-9.
- LAPIN, M., FAŠKO, P., PECHO, J., 2007. Snow Cover Variability and Trends in the Tatra Mountains in 1921–2006. In: *Zborník rozšírených abstraktov z 29. medzinárodnej konferencie Alpskej meteorológie (29th International Conference in Alpine Meteorology)*, Chambéry, Francúzsko, 4.–8. 6. 2007.



Obr. 1 Územný rozsah a výška celkovej snehovej pokrývky dňa 28. 1. 2019 na základe údajov SHMÚ.



Obr. 2 Vodná hodnota celkovej snehovej pokrývky dňa 28. 1. 2019 na základe údajov SHMÚ.

Dopady disturbance lesa na energetickou bilanci sněhové pokrývky se zaměřením na krátkovlnnou a dlouhovlnnou radiaci

ONDŘEJ HOTOVÝ¹, MICHAL JENÍČEK²

¹ Univerzita Karlova, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, hotovyo@natur.cuni.cz,

² michal.jenicek@natur.cuni.cz

Úvod

Sněhová pokrývka je významnou složkou hydrologického cyklu. V zalesněných horských povodích má formování sněhové pokrývky, její variabilita, načasování fáze akumulace a tání i další procesy v ní, speciální význam, neboť sníh zde většinou pokrývá zemský povrch i po dobu několika měsíců a zásadním způsobem tak ovlivňuje celkový odtok z povodí. Zejména v průběhu jarních měsíců může vlivem meteorologických a topografických podmínek docházet ke zrychlenému uvolňování vody zadržené ve sněhu, což zvyšuje riziko ohrožení obyvatel, infrastruktury či přírodního prostředí povodní. I proto je na základě analýz souvisejících proměnných nutná předpověď takových událostí, nejčastěji formou hydrologických modelů, do nichž vstupují nejrůznější parametry.

Pokud má být predikce odtoku ze sněhu v povodích efektivní, například pro účely krajinného plánování, povodňové předpovědi či provozu vodních nádrží, je kromě jiného vyžadován přesný odhad přenosu krátkovlnné radiace (Ellis et Pomeroy, 2007). V tomto ohledu se za neméně významné parametry považují přenos radiace dlouhovlnné, turbulentního tepla a dalších komponent energetické bilance sněhové pokrývky, z nichž lze odvodit celkové množství tepla dostupného pro tání sněhu. Stav a struktura vegetace je přitom významným faktorem, který spoluutváří charakter jednotlivých energetických toků, potažmo celkovou energetickou bilanci sněhové pokrývky. Důsledkem jsou pak rozdíly v průběhu akumulace a tání sněhové pokrývky ve zdravém lese a na otevřených plochách, případně postupná přeměna těchto toků v lese různými vlivy narušeném. Tyto rozdíly jsou dány 1) poklesem intenzity krátkovlnné radiace (SWR) vlivem stínění stromů (DeWalle et Rango, 2008), 2) nárůstem intenzity dlouhovlnné radiace (LWR) v souvislosti s vyzařováním stromů (Webster et al., 2016).

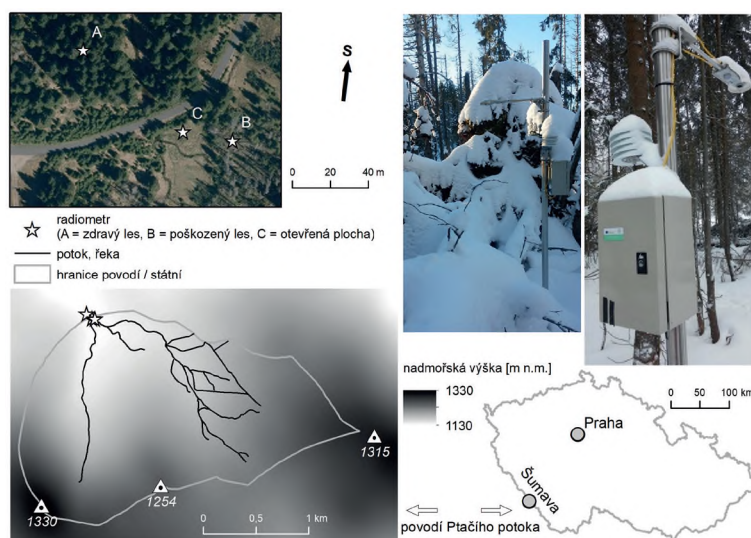
Ačkoli je v posledních letech vliv lesa na akumulaci a tání sněhu předmětem řady výzkumů, na úrovni menších, specificky horských povodí, stále neexistuje dostatečný počet podrobných studií zaměřených na to, do jaké míry je odtok vody ze sněhu citlivý ke změnám struktury lesa (Pomeroy et al., 2012).

Příspěvek odkazuje ke studii, která byla provedena v rámci zadání diplomové práce a jejímž primárním cílem bylo pomocí metody energetické bilance podrobněji kvantifikovat vliv různých struktur vegetačního pokryvu na časovou a prostorovou variabilitu SWR a LWR v souvislosti s rozložením sněhové pokrývky. Výzkum byl prováděn na základě rozboru dat z radiometrů, doplněných o informace z terénního průzkumu a data z dalších automaticky měřících přístrojů, které jsou v rámci experimentálního povodí Katedry fyzické geografie a geoekologie k dispozici.

Materiál a metody

Zájmová lokalita, sběr a zpracování dat

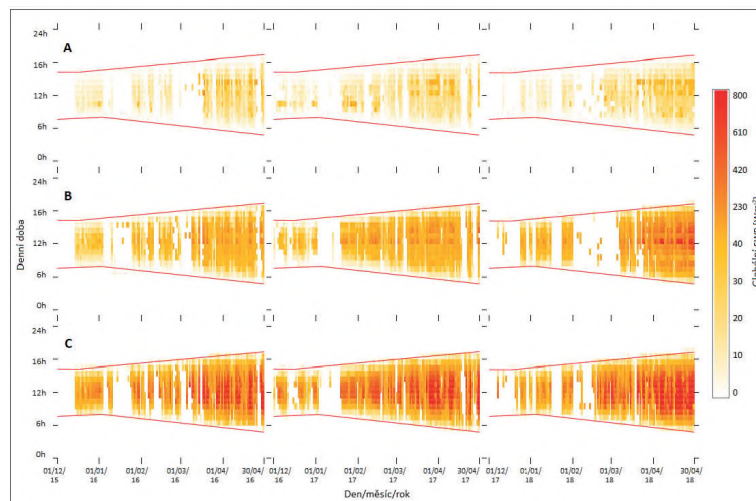
Výzkum byl prováděn v experimentálním povodí Katedry fyzické geografie a geoekologie PřF UK. Jedná se o povodí Ptačího potoka, které se nachází v centrální části Šumavy přibližně 5 km jižně od obce Modrava (obr. 1). Povodí zaujímá rozlohu 4 km², nachází se v nadmořských výškách od 1 130 do 1 330 m n. m. s převážujícími severními a východními svahy o průměrném sklonu kolem 6° (maximální sklon povodí přesahuje i 30°). Vegetační struktura je v rámci zájmového povodí zastoupena většinou jehličnatými lesy (převážně smrk ztepilý) s různou hustotou zápoje, jejichž celistvost je však v současnosti významně narušována lýkožroutem smrkovým (*Ips typogra-*



Obr. 1 Vymezení zájmové lokality, snímky a umístění využívaných radiometrů.

phus), který napadá oslabené stromy. V součinnosti s působením větru zde dochází k poměrně dynamické proměně zdejší vegetační skladby, což se odráží v procesech intercepce, evaporace, oslunění, potažmo na celkových odtokových charakteristikách povodí.

Experimentální povodí je mimo jiné vybaveno třemi radiometry CNR4 (výrobce Kipp and Zonen), které jsou v rámci zájmového povodí rozmístěny pod různými typy vegetace (viz obr. 1). Zařízení se skládá ze dvou pyranometrů a dvou pyrgeometrů, z nichž vždy jeden je orientován směrem k obloze, druhý pak směrem k zemskému povrchu. Tyto senzory poskytují data o globální i odražené SWR a LWR v desetiminutovém časovém kroku. Jako doplňková informace o původu LWR byly použity snímky pořízené pomocí termokamery *Fluke Ti25*. Struktura vegetace byla definována na základě vypočteného Leaf Area Indexu (LAI) za použití hemisférických fotografií. Analýza časové a prostorové variability SWR a LWR v závislosti na struktuře vegetace a hodnocení energetické bilance bylo prováděno pro zimní období (prosinec až duben) 2015/16, 16/17 a 17/18.



Obr. 2 Hodinové průměry globální SWR (pyranometr orientovaný k obloze) na sledovaných lokalitách (A = zdravý les, B = poškozený les, C = otevřená plocha) v období prosinec 2015 až duben 2018. Červené linie vymezují čas východu a západu Slunce, fialové linie znázorňují dobu roztátí sněhu, bílá místa značí chybějící hodnoty.

Metoda energetické bilance

Pro výpočet tepla dostupného pro tání sněhu byla použita metoda energetické bilance. Tato metoda zahrnuje kvantifikaci jednotlivých energetických toků uvnitř sněhové pokrývky a na rozhraních atmosféra–sníh–půda, s níž je přímo spojena i intenzita tání sněhu. Vychází ze základní rovnice (Rovnice 1) (DeWalle et Rango, 2008).

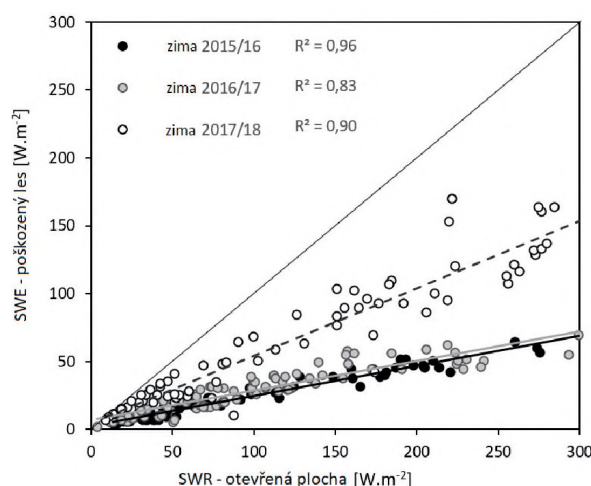
$$Q_m = Q_{nr} + Q_h + Q_e + Q_p + Q_g + Q_q \quad (1)$$

kde Q_m je saldo energie dostupné pro tání sněhu, přičemž při kladných hodnotách je teplo přijímáno a dochází k tání sněhové pokrývky, při záporných hodnotách je teplo pokrývkou vydáváno a dochází k promrzání sněhové pokrývky. Q_{nr} je radiační tok energie a zahrnuje přenos krátkovlnné radiace (Q_{sn}) a přenos dlouhovlnné radiace (Q_{ln}). Q_h označuje přenos zjevného tepla, Q_e je přenos latentního tepla, Q_p je teplo dodané dopadem dešťových srážek na sněhovou pokrývkou, Q_g popisuje tepelný tok z/do podloží a Q_q je změna vnitřní energie sněhové pokrývky.

Výsledky

Analýza SWR

Intenzita SWR se odvíjí primárně od přítomnosti přímého slunečního záření. V závislosti na slunečním svitu jsou pak pozorovány značné rozdíly v SWR jak v průběhu celé zimní sezóny, tak během dne, s výraznými rozdíly v závislosti na struktuře vegetace. Na obr. 2 je graficky znázorněna intenzita i denní a sezónní chod globální SWR zachycované horním pyranometrem na vymezených lokalitách. S postupující sezónou je navyšován celkový úhrn SWR. Maximální hodnoty globální SWR lze zaznamenat v poledních hodinách v pozdních fázích zimy (duben) na otevřené ploše. Ve zdravém lese se významně projevuje vliv vegetačního krytu, který stíní sluneční paprsky a způsobuje tím redukcí dopadajícího SWR průměrně na 6 % oproti úhrnům na otevřené ploše (100 %). Zajímavý vývoj je pozorován v poškozeném lese, který se vlivem pokračujícího rozpadu stává více propustným pro sluneční paprsky. Během zimní sezóny 2015/16 zde byly úhrny



Obr. 3 Denní průměry globální SWR na otevřené ploše ve srovnání s vývojem hodnot v rámci sledovaného období v poškozeném lese.

SWR redukovány průměrně na 27 %, avšak v zimní sezóně 2017/18 stoupla tato hodnota až k 58 % ve srovnání s otevřenou plochou. Graficky je tento nárůst v intenzitě SWR v poškozeném lese znázorněn na obr. 3.

Analýza LWR

V rámci uváděné studie byla na základě dat z radiometrů analyzována taktéž časová a prostorová variabilita LWR. Pro výpočty této komponenty energetické bilance jsou často používány modelované hodnoty, neboť přímé údaje o globální i vyzářené LWR nejsou běžně sledovány. Přitom uvažujeme v zásadě dva hlavní zdroje LWR, tj. záření z atmosféry a radiace emitovaná vegetací. V důsledku působení těchto a dalších faktorů dochází na všech lokalitách k poměrně výrazné oscilaci intenzity LWR v průběhu zimy. Obrázek 4 znázorňuje prostorovou a časovou proměnlivost celkové LWR, která představuje rozdíl mezi globální LWR (údaje z horního pyrgeometru) a vyzářenou LWR (údaje ze spodního pyrgeometru). Přičemž je-li výsledná hodnota kladná, dlouhodobné energetické toky představují v rámci celkové energetické bilance komponentu přispívající k tání sněhu, je-li tato hodnota záporná, dochází ke spotřebování energie a tehdy LWR k tání sněhu nepřispívá.

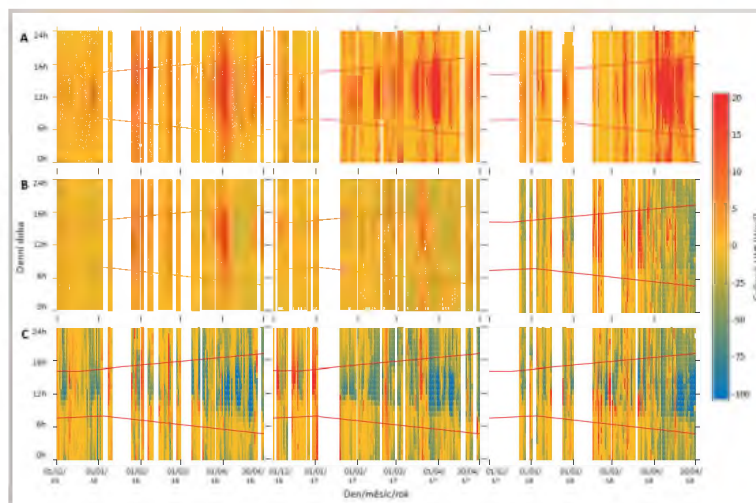
Na první pohled jsou značné rozdíly mezi otevřeným a zalesněným územím, zejména v pozdních fázích zimy. Na otevřené ploše převládá stav, kdy je energie spotřebována (denně průměrně $-20,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), zatímco ve zdravém lese se LWR stává výhradně kladnou složkou energetické bilance sněhové pokrývky ($3,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ v denním průměru), přitom větší část LWR je původem z vegetace, která LWR do okolí emituje. Pokud jde o vliv meteorologických podmínek na charakter LWR, ukázalo se, že úhrny LWR jsou obecně vyšší a rozdíl mezi plochami menší při zatažené obloze, kdy hraje roli LWR z atmosféry (ve formě SWR rozptýleného na částech oblačnosti). Při slunečném počasí tato oblačnost chybí a zároveň dochází k intenzivnímu pohlcování slunečního záření vegetací, která ho potom ve formě LWR vyzařuje do okolí, rozdíly mezi plochami se tak zvyšují. Vzhledem k proměňující se struktuře lesa v místech napadených kůrovcem je taktéž zjevný posun v intenzitě LWR. V průběhu sledovaného období postupně ubývá vzrostlých stromů, které by přispívaly vyzařováním LWR, charakter poškozeného lesa se více podobá otevřené ploše, kde LWR je častěji negativní složkou energetické bilance, a tak zde celkově klesá význam LWR na rychlost tání sněhu. Číselně registrujeme změnu z průměrných $-3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ v zimě 2015/16 na průměrných $-12,9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ v zimě 2017/18.

Analýza energetické bilance sněhové pokrývky

Zjištěné hodnoty SWR a LWR byly společně s vypočtenými, přibližnými údaji o zjevném a latentním teple a teple dodaném srážkami dosazeny do výsledného grafu (obr. 5), který znázorňuje vývoj jednotlivých komponent, potažmo celkovou energetickou bilanci v průběhu sledovaného období. Z výsledných údajů je zřejmé, že SWR je významným zdrojem energie pro tání sněhu na otevřené ploše, její vliv narůstá směrem k pozdní fázi zimy, kdy již výrazně převyšuje ostatní energetické toky. Na otevřené ploše tvoří LWR zápornou složkou energetické bilance, zatímco v lesním prostředí je LWR často hlavním zdrojem pro tání a tvoří většinou více než čtvrtinu tepelných toků ovlivňujících vývoj sněhové pokrývky. Obecně jsou sledované energetické toky ve zdravém lese oproti otevřené ploše utlumeny a nabývají nižších intenzit. V lese poškozeném kůrovcem narůstá v souvislosti s odlesněním význam SWR, zejména v zimní sezóně 2017/18, která byla navíc nadprůměrná co do délky trvání slunečního svitu. Zatímco na počátku výzkumu byl význam LWR v poškozeném lese minimální, ke konci sledovaného období se vliv této komponenty energetické bilance přiblížil stavu na otevřené ploše, a častěji je zde hlavní negativní složkou bilance.

Závěr

V rámci provedené studie byly popsány rozdíly v charakteru energetické bilance sněhové pokrývky v závislosti na struktuře vegetace a zhodnocen vliv disturbance lesa na tuto bilanci, s primárním zaměřením na vývoj SWR



Obr. 4 Hodinové průměry celkové LWR na sledovaných lokalitách (A = zdravý les, B = poškozený les, C = otevřená plocha) v období prosinec 2015 až duben 2018. Červené linie vymezují čas východu a západu Slunce, fialové linie znázorňují dobu roztátí sněhu, bílá místa značí chybějící hodnoty.

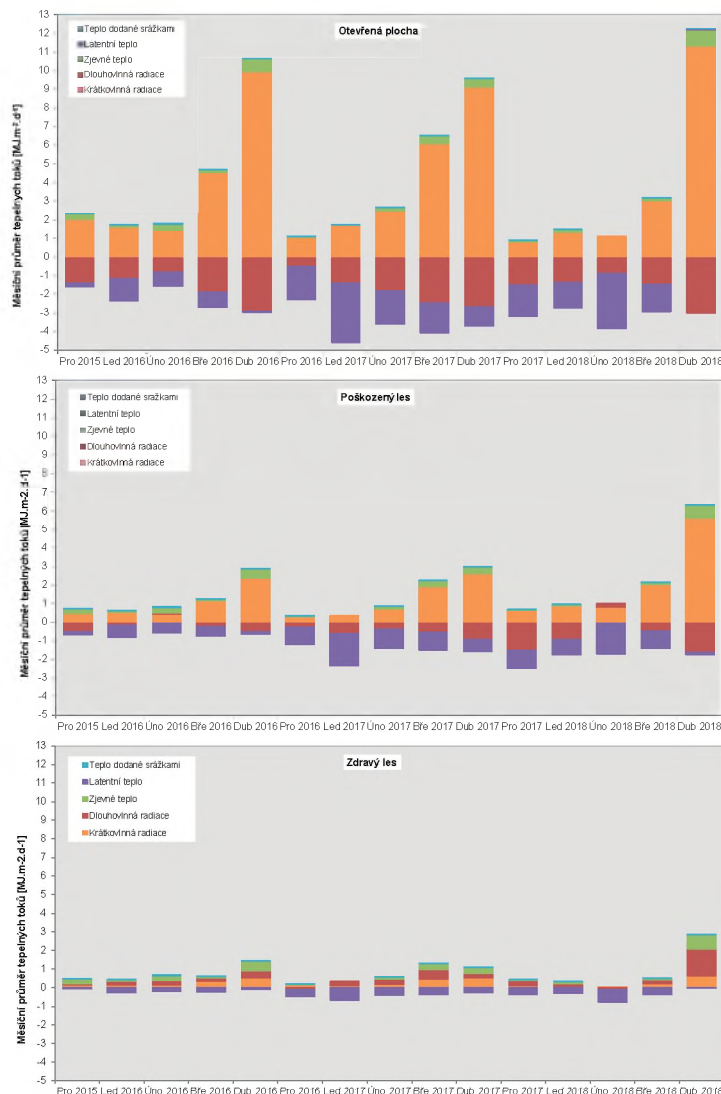
a LWR. Výsledky výzkumu jsou založeny na přímo přístrojově měřených údajích o těchto veličinách. Rozdílný průběh a působení jednotlivých energetických toků v různých strukturách vegetace se odráží na rychlosti tání sněhové pokrývky. Předchozí studie (Jeníček et al., 2017) popsaly o 32% pomalejší tání sněhu v lesním prostředí v porovnání s rychlostí úbytku na otevřené ploše, avšak průměrný úhrn globální SWR tvoří ve zdravém lese vlivem stínění pouze 6% toho, co je pozorováno na otevřené ploše. Tento procentuální rozdíl potvrzuje rostoucí význam LWR v lesním prostředí s ohledem na průběh tání sněhové pokrývky. Přitom významnou měrou přispívá LWR, která je vyzařována okolní vegetací. Na charakteru LWR se kromě vegetace výrazně podílí panující meteorologické podmínky.

Zjevná proměna v rozložení energetických toků i s ohledem na celkovou energetickou bilanci byla pozorována v poškozeném lese vlivem pokračujícího úbytku vzrostlých stromů. Odlesnění a nižší intenzita stínění zde zapříčinila postupný nárůst dopadající SWR, jejíž úhrny se ve srovnání s otevřenou plochou zvýšily v průběhu sledovaného období z 27% na 58%. Zároveň zde vzrostl význam LWR, která se však stala významnou negativní složkou energetické bilance. Dá se předpokládat, že se tento trend bude v nadcházejících letech dále projevovat.

Při současné znalosti vlivu vegetační struktury a dopadů disturbance lesa na energetickou bilanci sněhové pokrývky, považmo na průběh a charakter tání sněhu můžeme posuzovat důsledky těchto změn v souvislosti s celkovým odtokem vody z povodí, případně je možné tato data použít pro zpřesnění informací vycházejících z výsledků hydrologického modelování.

Literatura:

- DEWALLE, D. R., RANGO, A., 2008. Principles of snow hydrology. Cambridge University Press, Cambridge, 410 s.
- ELLIS, C. R., POMEROY, J. W., 2007. Estimating sub-canopy shortwave irradiance to melting snow on forested slopes. *Hydrological Processes*, 21, 2581–2593.
- 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), 51–62.
- POMEROV, J., FANG, X., ELLIS, C., 2012. Sensitivity of snowmelt hydrology in Marmot Creek, Alberta, to forest cover disturbance. *Hydrological Processes*, 26(12), 1891–1904.
- WEBSTER, C., RUTTER, N., ZAHNER, F., JONAS, T., 2016. Modeling subcanopy incoming longwave radiation to seasonal snow using air and tree trunk temperatures. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121, 1220–1235.



Obr. 5 Prostorová a časová variabilita celkové energetické bilance sněhové pokrývky se znázorněním jednotlivých energetických toků v průběhu zimních období 2015–2018.

Charakteristiky teploty vzduchu v oblasti Tatier za obdobie 1991–2010

KATARÍNA MIKULOVÁ¹, PAVEL ŠŤASTNÝ², ELWIRA ŻMUDZKA³

¹ Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, katarina.mikulova@shmu.sk, ² pavel.stastny@shmu.sk,

³ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, elwiraz@uw.edu.pl

Úvod

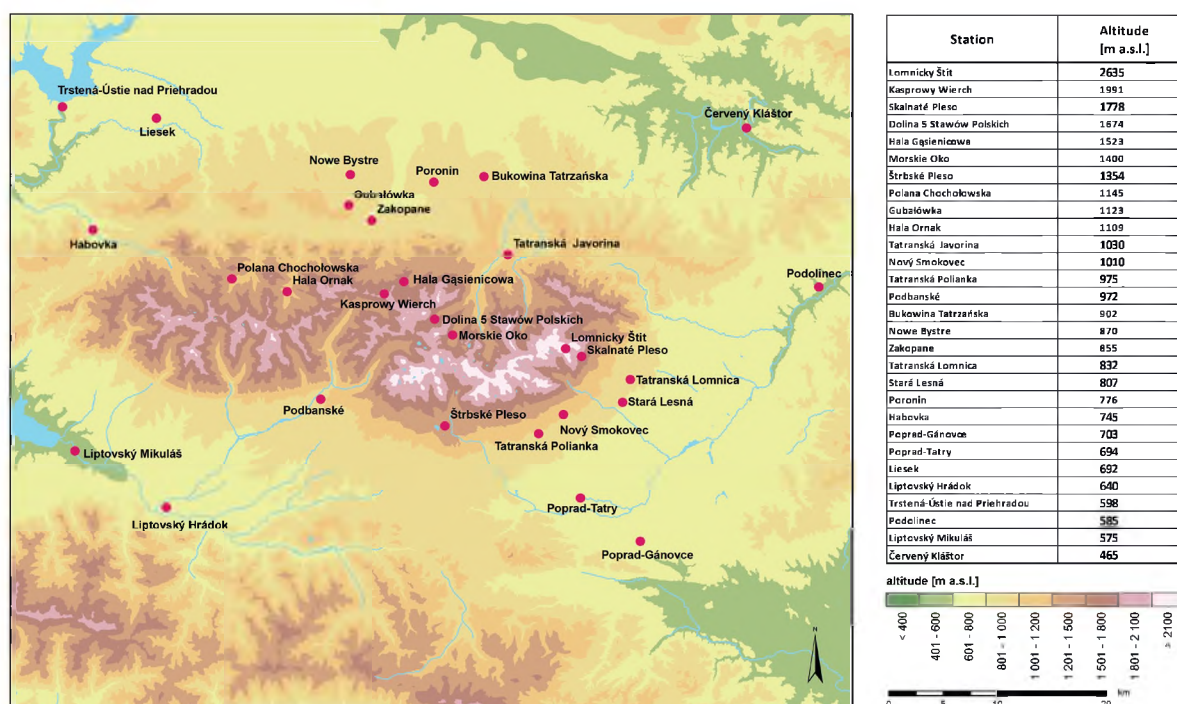
Tatry, ktoré sú najvyššou časťou pohoria Karpaty, sú situované v Centrálnych Západných Karpatoch na rozhraní dvoch štátov – Slovenska a Poľska. Najvyšší vrchol Tatier – Gerlachovský štít (2 654 m n. m.) je zároveň najvyšším vrcholom celých Karpát. Masív Tatier nie je veľký, zaberá len 790 km², ich hlavný hrebeň má dĺžku len 26 km a dvíha sa 1 500 m nad okolitým terénom. Tatranská oblasť je odvodňovaná 4 hlavnými riekami: Dunajcom na severe, Popradom na východe a juhovýchode, Váhom na juhozápade a Oravou na západe. Rieky Váh a Orava patria do povodia Dunaja a rieky Dunajec a Poprad do povodia Visly.

Táto práca sa zaoberá priestorovou analýzou charakteristík teploty vzduchu na území Tatier a podtatranskej oblasti, pričom analyzovaná oblasť sa rozprestiera od obce Tvrdošín na západe až po dedinu Reľov na východe a od poľskej Bukowiny na severe po severnú časť katastra Popradu na juhu.

Použité údaje a metodika

Pri spracovaní teplotných charakteristík sme vychádzali z meraní na 27 meteorologických staniciach nachádzajúcich sa v oblasti Tatier a ich blízkeho okolia, pričom nadmorská výška meteorologických staníc bola v rozmedzí od 465 m n. m. (meteorologická stanica v Červenom Kláštore) do 2 632 m n. m. (meteorologická stanica na Lomnickom štíte). 16 meteorologických staníc bolo situovaných na území Slovenska a 11 na území Poľska. Spracované obdobie 1991–2010 sa vyznačuje tým, že to bolo najteplejšie obdobie od začiatku minulého storočia v regióne.

Všetky spracované údaje prešli kontrolou kvality. Výsledky štúdie pozostávajú z priestorovej analýzy priemernej ročnej teploty vzduchu, priemernej mesačnej teploty vzduchu v najchladnejšom mesiaci (januári) a najteplejšom mesiaci (júli), priemernej dĺžky obdobia bez mrazu (nepretržité obdobie s minimálnou teplotou vzduchu nad 0 °C) a priemernej dĺžky vegetačného obdobia (obdobie s priemernou dennou teplotou 5 °C a viac). Mapy boli vytvorené v prostredí ArcView s využitím výškového gradientu teploty vzduchu, kde ako doplnková premenná vstupovala rastrová mapa digitálneho modelu terénu.



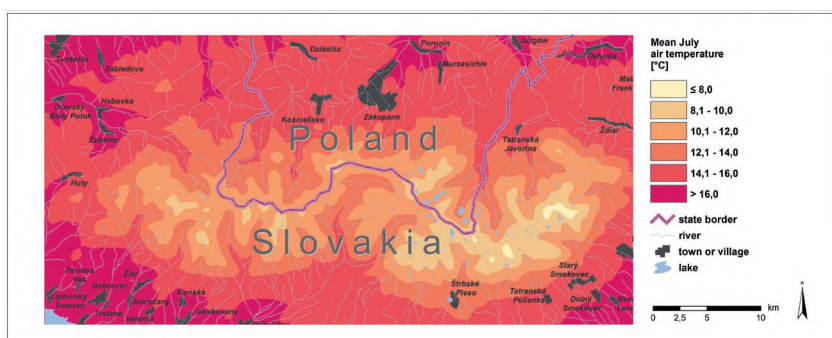
Obr. 1 Použité meteorologické stanice.



Obr. 2 Priemerná ročná teplota vzduchu za obdobie 1991–2010.



Obr. 3 Priemerná mesačná teplota vzduchu v januári za obdobie 1991–2010.



Obr. 4 Priemerná mesačná teplota vzduchu v júli za obdobie 1991–2010.

Výsledky

Priemerná ročná teplota vzduchu v Tatrách so vzrastajúcou nadmorskou výškou klesá. V podhorí, až do nadmorskej výšky približne 1 000 m n. m. bola priemerná ročná teplota za obdobie 1991–2010 viac ako 6 °C, najvyššie, vrcholové polohy Tatier majú priemernú ročnú teplotu vzduchu pod 0 °C (Lomnický štít –3,1 °C).

Ročný chod teploty vzduchu má na celom sledovanom území jednoduchý ročný chod s maximum v júli a minimum v januári. Priemerná júlová teplota dosahuje 8 °C v najvyšších polohách až po 17,5 °C v južnom podhorí. Priemerná mesačná teplota vzduchu v januári je na celom území nižšia ako –3 °C, na Lomnickom štíte je jej hodnota –10,0 °C. Absolútne najnižšia minimálna teplota vzduchu v oblasti Tatier v období 1991–2010 (–35,6 °C) bola meraná v Červenom Kláštore 14. januára 1987. Najvyššia teplota, 35,0 °C, bola nameraná v Liptovskom Hrádku 20. júla 2007.

Priemerná dĺžka obdobia bez mrazu (nepretržité obdobie s minimálnou teplotou vzduchu nad 0 °C) je v najvyšších polohách Tatier kratšia ako jeden mesiac, na Lomnickom štíte sa vyskytlo najkratšie bezmrazové obdobie v roku 1993 a to len 11 dní.

Tab. 1 Dĺžka trvania obdobia bez mrazu za obdobie 1991–2010 na vybraných meteorologických staniciach.

Stanica	Priemer	Maximum		Minimum	
	počet dní	počet dní	rok	počet dní	rok
Podbanské	141,7	184	2006	110	1997
Lomnický štít	23,5	45	2002	11	1993
Skalnate pleso	91,2	134	1999	48	1996
Štrbské Pleso	108,2	138	2007	61	1996
Poprad	135,8	170	2006	100	1991
Javorina	123,1	150	2001	95	1998
Červený Kláštor	121,1	160	2010	96	2000
Bukowina Tatrzańska	154,4	186	2006	132	1991
Hala Gąsienicowa	97,8	139	1999	48	1996
Kasprowy Wierch	62,4	100	2009	39	2007, 2008
Zakopane	145,3	186	2006	116	2000

Tab. 2 Dĺžka trvania vegetačného obdobia za obdobie 1991–2010 na vybraných meteorologických staniciach.

Stanica	Priemer počet dní	Maximum		Minimum	
		počet dní	rok	počet dní	rok
Podbanské	174,3	212	2000	145	1991
Lomnický štít	24,6	62	1992	10	2005
Skalnaté pleso	99	139	1999	45	1996
Štrbské Pleso	131,8	205	2000	98	1995
Poprad	186,9	224	2008	146	1991
Javorina	154,7	210	2000	99	2005
Červený Kláštor	121,1	219	2008	165	1995
Bukowina Tatrzańska	167,4	212	2000	133	2010
Hala Gąsienicowa	102,4	128	2009	45	1996
Kasprowy Wierch	60	99	2002	31	2010
Zakopane	171,9	212	2000	142	2010

Vegetačné obdobie, ktoré v tejto práci predstavuje dĺžku obdobia, kedy priemerná teplota vzduchu neklesla pod 5° C s prerušením najviac 2 dni. Vegetačné obdobie tatranskej oblasti trvalo od 29 dní v najvyšších polohách až do 173 dní v okolitom podhorí.

Záver

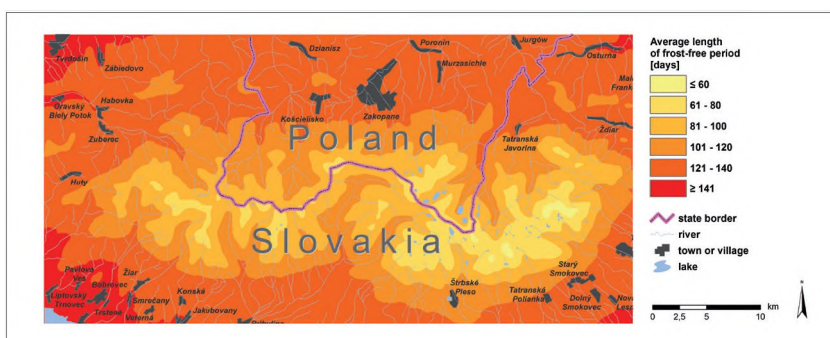
V tejto štúdii sme zhodnotili len základné charakteristiky teploty vzduchu na území Tatier a ich blízkeho okolia v období 1991–2010. Rozšírené spracovanie viacerých klimatologických prvkov a charakteristík pre ostatné časové obdobie je možné nájsť vo viacerých nedávno vydaných publikáciách, napr. v Atlase Tatier – neživá príroda (2015), alebo Klimatickom atlase Slovenska (2015).

Acknowledgment:

This work was part of the project „Development of technology of spatial data processing of the climate system“, ITMS 26220220102, which was supported by the Research and Development Operational Programme funded by the European Regional Development Fund.

Literatúra:

- DABROWSKA, K., M. GUZIK, M., (red.), 2015. Atlas Tatr / Atlas Tatier / Atlas of the Tatra Mountains, Neživá Príroda / Przyroda nieożywiona / Abiotic Nature, Tatrzanski Park Narodowy, 2015, EAN 5000267102573.
- BOCHNÍČEK, O., BORSÁNYI, P., ČEPČEKOVÁ, E., FAŠKO, P. CHMELÍK, M., JANČOVIČOVÁ, L., KAJABA, P., KAPOLKOVÁ, H., LABUDOVÁ, L., MIKULOVÁ, K., MIŠIGA, O., NEJEDLÍK, P., PRIBULOVÁ, A., SNOPOKOVÁ, Z., ŠTASTNÝ, P., ŠVEC, M., TURŇA, M., 2015. Klimatický atlas Slovenska, Climate Atlas of Slovakia, Banská Bystrica: Slovenský hydrometeorologický ústav, 228 p., ISBN 978-80-88907-90-9.



Obr. 5 Priemerná dĺžka trvania obdobia bez mrazu za obdobie 1991–2010.



Obr. 6 Priemerná dĺžka trvania vegetačného obdobia za obdobie 1991–2010.

VI.

Problematika předpovědi počasí
zejména ve středních a vyšších
oblastech

Vývoj předpovědi počasí v Československé a České televizi a význam předpovědí počasí na horách pro veřejnost

TAŤÁNA MÍKOVÁ

Česká televize, Kavčí hory, Praha 4,

Tatana.Mikova@ceskatelevize.cz

Z dějin Československé televize

- květen 1953 zkušební televizní vysílání ze Studia Praha v Měštské Besedě (ve Vladislavově ulici)
- 25. únor 1954 bylo prohlášeno za pravidelné, televizní oddělení bylo součástí Československého rozhlasu
- zpočátku televize vysílala pouze tři dny v týdnu (v létě jen 2 dny)
- listopad 1953 počet vysílacích dnů se rozšířil na čtyři
- v roce 1955 šest dní v týdnu
- říjen 1956 zahájeno vysílání televizního zpravodajství „Televizní aktuality a zajímavosti“
- leden 1958 „Televizní noviny“
- říjen 1959 zřízena Československá televize
- prosinec 1958 televize své pořady vysílala po celý týden



Obr. 1 Sv. Petr provázel předpovědi do roku 1961.

Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku

- nejdříve byly předpovědi vydávány hydrometeorologickými ústavy předávány televizním redakcím telefonicky
- četli je hlasatelé a obraz tvořily kreslené obrázky
- na přelomu padesátých a šedesátých let už se předpověď počasí prezentovala denně
- „meteorologové s touto formou prezentace nebyli příliš spokojeni, protože docházelo ke zkracování a někdy i zkomolení předpovědí“

Televizní předpovědi počasí v rukách meteorologů

- Únor 1961: „Jaké bude počasí?“
- Rudolf Koubek v Československé televizi
- únor 1961 jednou týdně
- od roku 1965 dvakrát týdně
- od roku 1975 pak každodenně
- přibýlo „televizních“ meteorologů
- od roku 1985 „federální“ předpovědi počasí střídavě z Prahy a Bratislavy
- předpovědi důsledně pro Čechy, Moravu a Slezsko podle ČHMÚ, pro Slovensko z SHMÚ
- koncem 70. let první družicové snímky oblačnosti

Předpovědi počasí po roce 1989

Říjen 1991: „Každá sudá“ na OK3

- 20 meteorologů a klimatologů z ČHMÚ
- každý den od 8 do 20 h každou sudou hodinu
- digitální data:
 - družicové záběry
 - radarové odrazy
 - grafy znečištění ovzduší
- stopáž cca 1–2 min
- později se přidávaly další „manuálně připravované grafické“ prvky

Leden 1994: samostatná redakce počasí

- byla zřízena samostatná redakce počasí v rámci RZ (šéfredaktor Petr Studenovský)

- kompletní digitalizované pozadí
- princip „klíčování“ (blue box)
- digitální data:
- družicové záběry
- radarové odrazy
- synoptické mapy
- mapy republiky se symboly
- biopředpověď, slunce: východ, západ
- stopáž cca 3–5 min
- postupné doplňování: troposférický ozon, znečištění
- moderátoři se stali zaměstnanci ČT
-

Květen 2005: zpravodajský kanál ČT24

- první zpravodajský kanál v ČR
- dvakrát za hodinu počasí
- většina klipů byly jen grafických bez moderátora
- moderované počasí vždy jen sdílené s ČT1
- redakce se začala rozrůstat

1. dubna 2012: Události za okamžik a počasí

- relace se vyprofilovala do hlavních částí:
- úvodní podrobná kombinace grafů a videí (1. domácí, 2. zahraniční)
- příspěvky diváků
- grafika počasí s hlavním důrazem na předpověď počasí v ČR
- přenesena do prostředí virtuálního studia
- přechod z „blue boxu“ do „green boxu“

Informace z hor v předpovědi počasí

Před rokem 1989 se zprávy o horském počasí omezovaly na formulace předpovědi teploty v 1 000 m n. m. (na Slovensku 1 500 m n. m.). V pořadech „Každá sudá“ na OK3 se v zimě začaly objevovat tabulky s výškou sněhové pokrývky na horách. Ty přejala i Česká televize při přechodu na klíčování počítačového obrazu za záda moderátora. Až do roku 2012 se v tom směru měnil pouze formát tabulek, či množství uváděných stanic a středisek. Od roku 2012 se v rámci zpráv o počasí z domova a ze zahraničí během zimní sezóny čím dál častěji objevuje i předpověď počasí pro jednotlivé horské oblasti.

Literatura:

Historie Československé a České televize, televizních studií a televizní techniky, Vzpomínky pamětníků, archivní záběry, fotografie a kuriozity. [online]. [cit. 13. 3. 2019]. Dostupné z WWW: <http://www.ceskatelevize.cz/vse-o-ct/historie>.

KRŠKA, K., ŠAMAJ, F., 2001. Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku. Praha: Karolinum, ISBN 80-7184-951-0.



Krkonoše	sníh (v cm)		lanovky a vleky	
Harrachov	80	30	jezdí	5 z 6
Rokytnice nad Jizerou	90	90	jezdí	20 z 24
Svatý Petr	110	140	jezdí	3 z 8
Horní Mísečky	90	70	jezdí	8 z 9
Černá hora	80	90	jezdí	10 z 12
Pec pod Sněžkou	100	70	jezdí	15 z 15
Pec pod Sněžkou – stanice		63	meteostanice	
Malá Úpa	50	40	jezdí	7 z 9
Mladé Buky	50	–	jezdí	7 z 9

Lavinové nebezpečí 3 středa 13. 3. 2019



Orlické h., Král. Sněžník a Vysocina	lanovky a vleky			
Deštné v Orlických horách	60	35	jezdí	5 z 6
Říčky v Orlických horách	80	60	jezdí	4 ze 4
Čenkovice	40	1	jezdí	3 ze 4
Červená Voda	50	1	jezdí	2 ze 2
Přivrat	–	–	nejezdí	
České Petrovice	25	–	jezdí	5 z 5
Rokytnice v Orlických horách		4	meteostanice	
Dolní Morava	45	10	jezdí	8 z 8
Nové Město na Moravě	40	3	jezdí	2 ze 2

Sněhové zpravodajství středa 13. 3. 2019



středisko	výška sněhu: údolí a vrcholy		vleky
Donovaly – Nová hoľa	35		omezené
Chopok sever – Záhradky	60		v provozu
Ružomberok – Malinó Brdo	45		omezené
Snowparadise Veľká Rača	45		v provozu
Štrbské Pleso	70		v provozu
Vrátna – Chleb	125		v provozu
Martinské hole	80		v provozu

Sněhové zpravodajství čtvrtek 14. 3. 2019 Slovensko



středisko	výška sněhu: údolí a vrcholy		vleky
Arabba	40–255		v provozu
Kronplatz (Plan de Corones)	50–100		v provozu
Livigno	80–196		v provozu
Val di Fiemme – Alpe Cermis	60–100		v provozu
Via Lattea (Sestriere)	30–60		v provozu
Garmisch-Partenkirchen	40–250		v provozu
Oberstdorf-Nebelhorn	50–190		omezené

Sněhové zpravodajství čtvrtek 14. 3. 2019 Itálie a Německo

Obr. 2–5 Ukázky přehledu sněhu na horách ve vysílání ČT24.

Bioklimatologie a biometeorologie horských oblastí – výzva pro příští roky

MARTIN NOVÁK¹, MARTIN HYNČICA²

¹ Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ústí nad Labem, Univerzita J. E. Purkyně, Fakulta životního prostředí, Ústí nad L., martin.novak@chmi.cz, ² Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ústí nad Labem, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha, martin.hyncica@chmi.cz

Úvod

V poslední době se čím dál častěji používá v prezentacích (nejen) ČHMÚ pojem **pocitová teplota**. Její používání je jistě i důsledkem stále většího počtu majitelů různých meteorologických „stanic“ i stanic, které pocitovou teplotu udávají i na svých displejích.

Zrovna horské oblasti jsou názorným příkladem míst, kde se může pocitová teplota od teploty vzduchu v klasicky meteorologickém slova smyslu výrazně lišit. V souvislosti s tím – a hlavně v souvislosti s tématem této konference – se přímo nabízí obecnější otázka: jak je na tom u nás horská humánní biometeorologie a bioklimatologie?

Biometeorologie a bioklimatologie horských oblastí přitom může být v nedaleké budoucnosti poměrně atraktivním oborem. Její uplatnění vidím zejména v oblasti lázeňství, turistického ruchu, podpory sportovních aktivit – a to vše v době klimatických změn charakteristických zejména změnami teplot. Ty by se měly podle regionálních projekcí klimatických modelů v příštích desetiletích zvyšovat také ve středoevropském prostoru.

Pokusme se podívat trochu podrobněji na to, čemu by se měla současná humánní biometeorologie a bioklimatologie v horských oblastech věnovat a jaké pro to má vlastně možnosti.

Hlavní role biometeorologie pro horské oblasti

Horská turistika je poměrně rychle se rozvíjející sektor české ekonomiky. Nejedná se přitom zdaleka jen o turistiku zimní, spojenou se sjezdovým lyžováním nebo běžeckými aktivitami. Snad kromě krátkých přechodných období na jaře a na podzim jsou horské oblasti hojně využívány, mimo zimní sezónu k pěší turistice nebo cykloturistice. Nabídky hotelů a středisek doplnily rozličné wellness aktivity pokrývající „hluchá“ období...

Horské počasí je přitom specifické. Nejen svou pověstnou proměnlivostí, ale také posunem oproti počasí v nižších polohách. A není to zdaleka jen rozdíl v teplotách, případně oblačnosti, srážkách, větru, ale také v komplexním působení prostředí na člověka. Změny prakticky všech zmíněných faktorů totiž mění pro člověka významně i tepelný komfort/diskomfort.

Jistě, každý se může v předpovědích počasí zaměřit na část věnovanou horám, samozřejmostí dnes je sledovat i lokální průmět výstupů různých modelů prostřednictvím internetu nebo mobilních aplikací. Téměř ve všech formách meteogramů ale najdou příjemci opět jen odděleně prezentovaný časový řez vybraných charakteristik. Často pak lidé věnují hlavní pozornost teplotě vzduchu a srážkám, méně už vnímají třeba větrné poměry, které přitom mohou momentální stav tepelného komfortu/diskomfortu často posunout zcela jinam.

Jednou z nejvíce se vyvíjejících částí humánní biometeorologie je přitom snaha o objektivní stanovení a predikci možné zátěže lidského organismu právě tepelným komfortem/diskomfortem. Za posledních 60 let vznikala celá řada indexů, které se snažily vyjádřit působení prostředí na lidský organismus – většinou formou pocitové nebo ekvivalentní teploty. Poměrně často jsou prezentovány jednoduché indexy, které jsou založené jen na některých ze čtyř základních faktorů (teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, rychlost větru, radiační poměry). Příkladem budiž známý Wind Chill Index (kombinace teploty vzduchu a rychlosti větru) nebo Heat Index (teplota a vlhkost vzduchu). Podobná konstrukce indexů se ale jeví nedostatečnou. Více faktorů použil pro konstrukci své tzv. citěné teploty František Vavruška, jeho index je funkcí teploty a relativní vlhkosti vzduchu a rychlosti větru (Vavruška 2011). Jedná se o index, který je obsažen i v některých výstupech předpovědní služby ČHMÚ.

Pod hlavičkou Mezinárodní biometeorologické společnosti (ISB) byla v roce 2000 ustanovena Komise 6, která zahájila vývoj nového komplexního indexu Universal Thermal Climate Index (UTCI). V letech 2005 až 2009 pokračovaly práce v rámci projektu COST Action 730. Samotná konstrukce indexu je poměrně složitá, jedná se o polynom 7. stupně (UTCI, 2019).

Porovnání vybraných indexů vyjadřujících tepelný komfort/diskomfort uvádí ve svém článku Novák (2011). Mezi porovnávané indexy je pak zařazen nejen zmíněný UTCI, ale také index UTCI*, jehož hodnoty jsou víceméně srovnatelné s originálním UTCI, ale jsou získané ze zjednodušeného vzorce (Błażejczyk 2010).

Další oblastí biometeorologie, která by měla přirozeně najít své uplatnění v horských oblastech, je rozhodně sledování stavu ozónové vrstvy a navazující vyhodnocování UV-indexu a doporučené expoziční doby. V zimním období je navíc na horách třeba počítat (samozřejmě v případě, že leží sněhová pokrývka) s podstatně modifikovanou ra-

diační bilancí, způsobenou zejména vysokým albedem povrchu sněhové pokrývky, speciálně s napadaným novým sněhem.

Jako třetí (nikoliv významem) je třeba zmínit oblast úzce navazující na fenologii, tedy výskyt pylů ve vzduchu negativně ovlivňující rostoucí počet alergiků v populaci. Zdaleka ne každý si totiž uvědomuje, že nástup pylové sezóny se liší i podle nadmořské výšky. Bez dostatečných informací tak alergici riskují zdravotní komplikace způsobené tím, že si neuvědomí, že pylová sezóna sice už v nižších polohách skončila, ale na horách teprve začíná nebo je v plném proudu.

Hlavní role bioklimatologie pro horské oblasti

Ruku v ruce s rozvojem (téměř) celoročního turistického ruchu a s tradičním lázeňstvím jde také potřeba propagace nabízených služeb. Pro samotnou propagaci – i pro lepší orientaci potencionálních klientů – by vhodnou složkou informačního servisu bylo i bioklimatologické ocenění horských oblastí obecně, a konkrétních lokalit speciálně. Zatímco z hlediska klasické klimatologie máme území České republiky zmapované celkem detailně, bioklimatologické ocenění celku, ani jeho významných částí nebylo dosud zpracováno. Ojedinelé práce se týkaly maximálně nějaké lokality.

Pokud se zaměříme opět na dílčí části humánní bioklimatologie, podobně jako u biometeorologie můžeme začít s oceňováním tepelného komfortu/diskomfortu. Právě v horských oblastech by byly zajímavé statistiky dnů s tepelným komfortem, případně počtu dnů s výrazným diskomfortem, roční chod vybraných indexů, délka souvislých období s tepelným komfortem, resp. diskomfortem apod.

Zimní období

Zmíněné statistiky vybraných biometeorologických indexů lze vhodně doplnit ročním chodem slunečního svitu, případně sumami slunečního svitu v daných intervalech (měsících, sezónách, obdobích jarních prázdnin apod.). V některých lokalitách/dílčích oblastech by bylo porovnání s průběhem v nižších polohách jistě zajímavé.

Sluneční svit je zajímavý nejen kvůli v předchozí kapitole zmiňovanému UV-indexu, ale také kvůli zachování klasického denního chodu světla ve srovnání s oblastmi s častějším výskytem déletrvajících teplotních inverzí doprovázených nízkou vrstevnatou oblačností. Právě přirozené střídání světla a tmy je motorem pro produkci serotoninu a melatoninu, které ovlivňují aktivitu mozku. Proto by mohly být horské oblasti s vyšším zastoupením dnů se slunečním svitem v zimě vhodné jako „světelné lázně“ obnovující správný poměr aktivity a spánku, a tím i regeneraci nejen mysli, ale i celého organismu.

Letní období

Velmi zajímavé údaje mohou pro letní sezónu poskytnout statistiky biometeorologických indexů. Hlavně měsíce červenec a srpen jsou obdobím, kdy v nižších polohách můžeme zaznamenat i déletrvajících období s výrazným stresem způsobeným vedrem. Ve velkých městech nebo aglomeracích je stres navíc umocňovaný menší denní amplitudou teploty vzduchu modifikovanou tepelným ostrovem města.

Proti tomu nabízí horské polohy nižší teploty, v průměru i silnější proudění přinášející zchlazování organismu. Současné působení obojího jde popsat právě kombinovanými indexy, ideálně pak těmi složitějšími (ať už Vavruškovou citěnou teplotou bez radiačního faktoru nebo všechny základní faktory obsahujícím UTCI, resp. UTCI*).

Možnosti a omezení

Výše popsané možné hlavní role humánní biometeorologie, resp. bioklimatologie, staví před ČHMÚ zajímavé možné další směry vývoje. Některé nutné dílčí kroky už byly v nedávné minulosti realizovány: už zhruba v půlce roku byla mezi přímé výstupy modelu ALADIN zařazena i tzv. střední zářivá teplota T_{mrt} (mean radiant temperature), která je vstupem do výpočtu UTCI (i UTCI*) a vyjadřuje působení krátkovlnného i dlouhovlnného záření. V lednu letošního roku pak byl mezi výstupy modelu ALADIN zařazen i samotný index UTCI. Tento fakt by měl umožnit provedení základních testů vlastností tohoto indexu.

Rutinní výpočet hodnot UTCI umožňuje případnou tvorbu nových veřejně dostupných produktů, např. Specializovaných meteogramů, ve kterých by byl zachycen nejen průběh teploty, ale také zvoleného biometeorologického indexu (Vavruškova citěná teplota je z modelových výstupů dopočítávána v prostředí produkčního SW Visual Weather). Publikování takových produktů je ale podmíněno osvětou, která přiblíží význam indexů příjemcům informace, tedy hlavně se škálou hodnot s přiřazenou měrou zátěže (stresu) organismu.

Zařazení „pocitové teploty“ mezi běžné informační výstupy povětrnostní služby by umožnilo mj. rozšíření nabídky meteorologických informací cíleně pro horská střediska, chaty, hotely či resorty, horskou službu či cestovní kanceláře nebo agentury. Bioklimatologické oceňování jednotlivých horských oblastí by se mohlo stát vyhledávanou nabídkou pro horské obce, střediska, provozovatele lázní či dokonce zakladatele nových lázeňských služeb v horských oblastech. S přihlédnutím k očekávanému průběhu klimatické změny by se totiž i naše hory mohly stát v letech

s očekávanými nárůsty počtů tropických dnů v nižších polohách vyhledávaným prostorem pro trávení letních měsíců v příjemnějším klimatu.

Prostorové a výškové rozložení horských stanic

Činnosti v oblasti humánní biometeorologie nejsou na stávající staniční síti nijak výrazně závislé, pro podrobnější mapové předpovědní výstupy je rozhodující dostupnost modelů a jejich rozlišení. Z tohoto pohledu je dobrou zprávou rozhodně změna rozlišení modelu ALADIN z 4,7 na 2,3 km (od února tohoto roku). Zlepšila se tak i modelová orografie, která je v komplikovaném terénu horských oblastí velmi důležitá.

Zcela odlišná je situace v oblasti humánní bioklimatologie. Stejně jako obecná klimatologie je totiž odkázána do značné míry na existující staniční síť. A zde je otázkou, nakolik je stávající síť stanic dostačující. Podle Lipiny (2017) lze konstatovat, že pokrytí horských oblastí odpovídá jejich zastoupení v porovnání s celkovou plochou České republiky. Otázkou ale je jejich použitelnost pro přímé bioklimatologické mapování českých, moravských a slezských hor.

Na obr. 1 je zobrazeno rozložení meteorologických stanic různých typů s nadmořskou výškou alespoň 800 m n. m. Vykresleny jsou polohy stanic, které měří z potřebných prvků alespoň teplotu vzduchu, červenými čtverečky jsou označeny ty stanice, které měří všechny potřebné vstupy pro výpočet (přesněji řečeno odhad) výše popsáného indexu UTCI (tedy teplotu vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, rychlost větru a trvání slunečního svitu). Z rozložení stanic je zřejmé, že při pokusech o systematické mapování se dostaneme do velkých problémů, protože jednotlivá pohoří mají velmi nerovnoměrné pokrytí meteorologickými stanicemi (typu AMS, AKS, MKS). Dalším problémem je u některých stanic nedostatečně dlouhá řada měření pro stanovení normálů nebo alespoň dostatečně reprezentativních dlouhodobých průměrů.

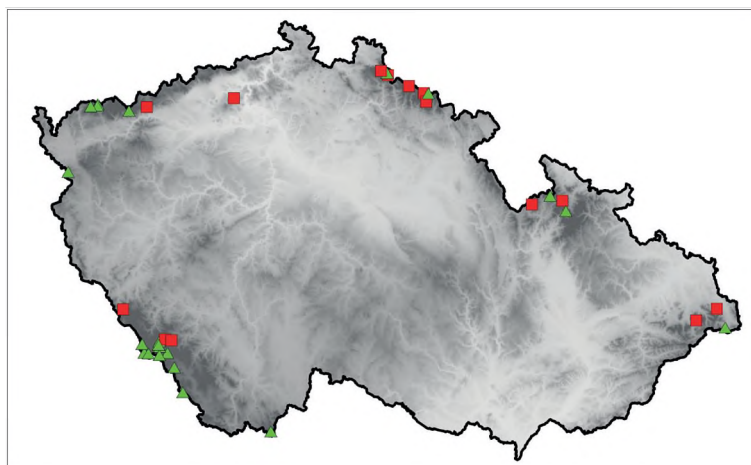
Některé zajímavé horské oblasti či vrchoviny pak s použitím stanic s výškou nad 800 m n. m. popsat vůbec nejde. Proto bude nutné zvolit hranici nižší, přijatelnou se zdá být výška 600 m n. m. (obráz. 2).

Reprezentativnost stanic

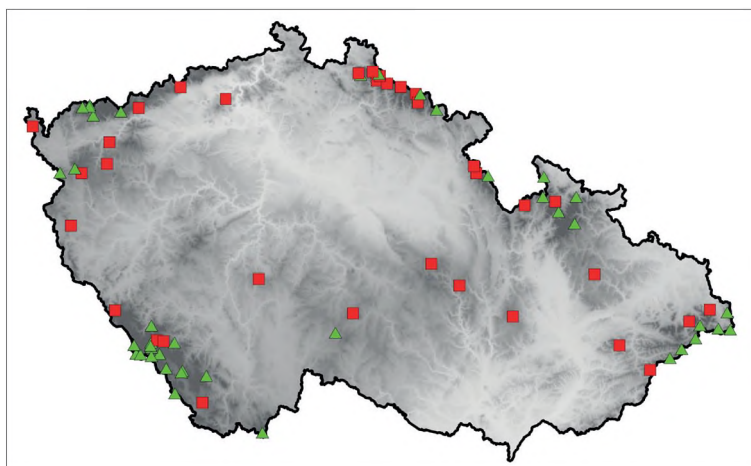
Dalším kritériem, které bude třeba podrobněji analyzovat, je reprezentativnost jednotlivých stanic, a to pravděpodobně pro každou klimatickou charakteristiku zvlášť. Pro teplotní pole (zejména v polích minimálních nebo ranních teplot vzduchu) je mezi stanicemi dost takových, které byly úmyslně umístěny s cílem mapovat nikoliv poměry oblasti, ale lokální extrémy. Použití takových stanic může pole teplot poměrně výrazně zkreslit. Při pohledu na obr. 1 najdeme třeba v Jizerských horách tři stanice měřící teplotu vzduchu, z nichž dvě jsou bedlivě sledované stanice na Jizerce (Jizerka a Jizerka, rašeliniště). Kontrola stanic a zhodnocení jejich reprezentativnosti tak bude důležitou součástí jakéhokoliv bioklimatologického mapování našich hor.

Závěr

Současná situace (zlepšující se ekonomické zajištění obyvatel Evropy a ČR, zvyšující se obliba rekreačních sportů, zlepšující se infrastruktura v horských obcích...) spolu s klimatickou změnou činí z horské humánní biometeorolo-



Obr. 1. Rozložení meteorologických stanic v databázi ČHMÚ CLIDATA s nadm. výškou alespoň 800 m n. m.



Obr. 2. Rozložení meteorologických stanic v databázi ČHMÚ CLIDATA s nadm. výškou alespoň 600 m n. m.

gie a bioklimatologie (ale se servisem pro alergiky i z fenologie horských a podhorských oblastí) obory se stoupající atraktivitou a potenciálem. Příspěvek je snahou o zahájení diskuse v meteorologické a klimatologické obci s cílem aktivovat českou biometeorologii a bioklimatologii. Předložené argumenty i první, již učiněné kroky ke zlepšení informačního servisu v oblasti humánní biometeorologie a bioklimatologie by měly k tomu vývoji snad přispět.

Literatura:

- BŁAŻEJCZYK K. et al., 2010. Nowy wskaźnik oceny obciążeń cieplnych człowieka. *Przegląd geograficzny*, 82(1), ss. 49–71.
- LIPINA, P., 2017. Horské meteorologické stanice v Česku a členění staniční sítě ČHMÚ. In: *Lipina Pavel (ed.), 2017. 120 let meteorologických měření a pozorování na Lysé hoře. Sborník příspěvků z konference pořádané Českým hydrometeorologickým ústavem a Českou meteorologickou společností konané na Lysé hoře ve dnech 14.–15. června 2017.* Praha. ČHMÚ. 1. vydání, s. 59–62. ISBN 978-80-87577-68-4.
- NOVÁK, M., 2011. A comparison of an UTCI to some other selected indices. In: *Šiška, B., Hauptvogel, M., Eliašová, M. (eds.). Bioclimate: Source and Limit of Social Development, International Scientific Conference, 6th–9th September 2011.* Topoľčianky, Slovakia. ISBN 978-80-552-0640-0 (CD).
- UTCI, 2019. *UTCI Universal Thermal Climate Index. Documents.* [online]. [cit. 15. 3. 2019]. Dostupné z [www: http://www.utci.org/utci_doku.php](http://www.utci.org/utci_doku.php).
- VAVRUŠKA, F., 2011. Cítěná teplota. Osobní sdělení (via e-mail), 3. března 2011.

Některé poznatky k předpovědi počasí pro horské oblasti

PAVEL JŮZA

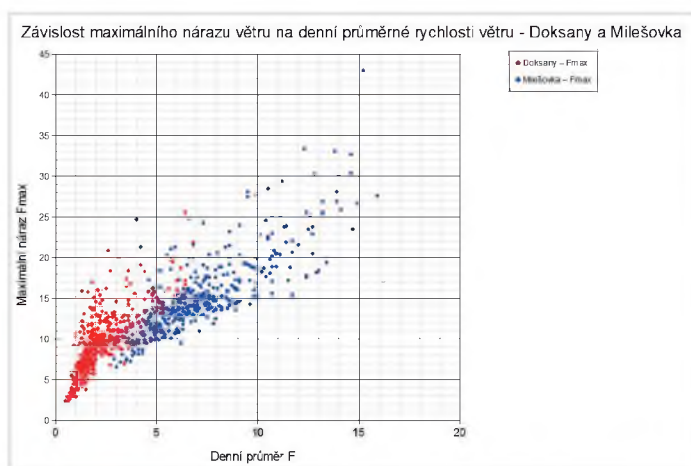
Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ústí nad Labem, pavel.juza@chmi.cz

Úvod

Všeobecné předpovědi počasí v České republice se většinou vydávají pro nižší polohy. Počasí na horách je v celostátních předpovědích zmiňováno spíše okrajově a nesystematicky, většinou se uvádí, od jaké výšky budou srážky sněhové, ale údaje o dalších meteorologických prvcích se celostátní předpověď většinou podrobně nezmiňuje. V ní je jedním slovem zmíněna maximální teplota ve výšce 1 000 m n. m. a z ostatních prvků se občas v předpovědi objeví zmínka o nárazech větru na horách.

V České republice se nevyskytují velehory jako Alpy nebo Tatry, pro které se vydává přímo pravidelná předpověď počasí. Nejvyšší hory jsou Krkonoše, jejichž nejvyšší vrcholy dosahují zhruba podobné nadmořské výšky, jako tatarská údolí. Předpovědi pro jednotlivé horské oblasti v ČR jsou vydávány na úrovni poboček ČHMÚ, je však otázka, do jaké míry jsou tyto předpovědi verifikovány. A podle mého subjektivního dojmu tyto předpovědi pro hory nejsou tak široce prezentovány, jako již zmíněné předpovědi pro Alpy a Tatry. Mimo jiné to může souviset s tím, že vlivem menších výškových rozdílů jsou rozdíly hodnot meteorologických prvků menší než ve velehorách.

V tomto příspěvku se pokusím se podívat na některé meteorologické prvky a jejich chování v českých horských oblastech. Nejde o důkladnou klimatologickou studii, proto zde nebude důkladné zpracování třicetiletých pozorovacích řad na desítkách stanic, nýbrž chování některých meteorologických prvků bude ukázáno jen na několika namátkově vybraných stanicích a pouze podle dat z roku 2018.



Obr. 1 Závislost maximálního nárazu větru na denní průměrné rychlosti větru (Doksany a Milešovka).

Stav počasí a meteorologické jevy

Jak již bylo uvedeno, ve všeobecné předpovědi se poměrně klade důraz na výškovou hranici sněhových srážek. I u ostatních jevů, třeba bouřek nebo srážek jako takových, se někdy specifikuje, že na horách budou četnější nebo pravděpodobnější nebo trvalejší. A například výskyt sněhových jazyků nebo závějů se uvádí do všeobecné předpovědi i v případě, že se vyskytuje pouze na horách.

Avšak jeden meteorologický jev se v běžných předpovědích počasí nespecifikuje. Jde o mlhy. V běžné předpovědi počasí se mlhy uvádějí pouze v případě výskytu ve výškách pod 600 m n. m. Nejvyšší polohy hor se však často vyskytují nad základnou oblačnosti, což je z hlediska pozorovatele v těchto místech definováno jako mlha. Ve všeobecných předpovědích se toto neuvádí. Je otázka, zda a jak se má uvádět v předpovědích pro hory. Asi by se měla uvádět v předpovědích pro silnice, protože tam má přímý vliv, ale v ostatních předpovědích pro hory není přístup jednotný.

Teplota vzduchu

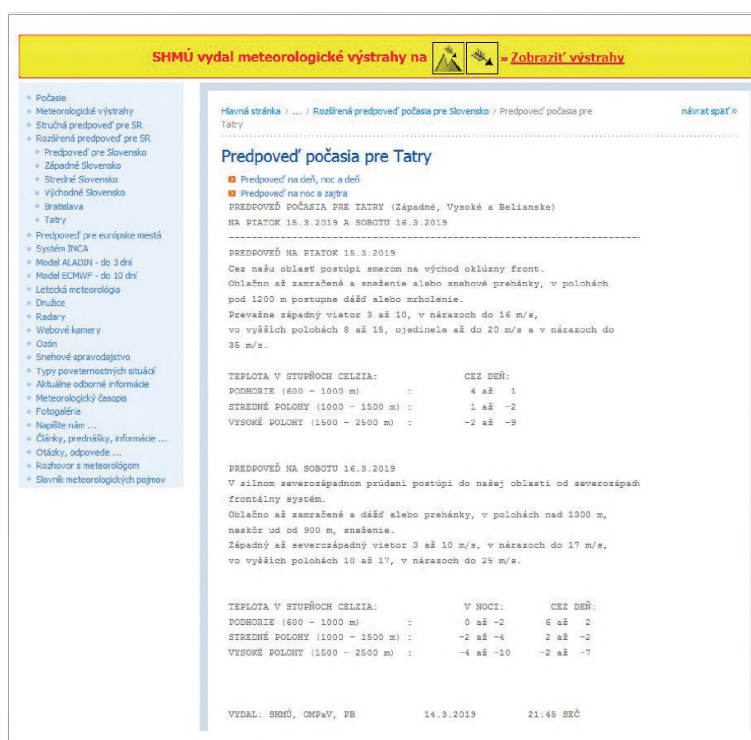
V celostátní předpovědi počasí se uvádí předpověď maximální teploty pro výšku 1 000 m n. m. Tento údaj je užitečný pro velmi orientační informaci v celostátní předpovědi, ale pro konkrétní informaci o počasí na konkrétních horách je zapotřebí informaci přesněji specifikovat. Různé hory jsou různé vysoké, takže například nadmořská výška 700 až 800 metrů znamená v okresech Ústí nad Labem a Teplice nejvyšší hřeben Krušných hor, zatímco v Krkonoších stejnou nadmořskou výšku mají hluboká údolí jako Špindlerův Mlýn nebo Pec pod Sněžkou. Proto v regionálních předpovědích pro hory je zapotřebí předpovídat teplotu pro ty nadmořské výšky, které jsou pro dané hory typické.

Další z věcí, které mají význam pro teplotu na horách, jsou inverze. Při výrazné inverzi ve výšce 1 000 m n. m. může být předpověď pro výšku 1 000 m n. m. dost zavádějící, pro použitelnou informaci o počasí je vhodnější formulace typu „v polohách pod 1 000 m n. m. -5 až -2 °C, nad 1 000 m n. m. $+6$ až $+9$ °C.“ Přičemž ta výška samozřejmě nebude pevná, ale bude záviset na skutečně předpokládané výšce inverze.

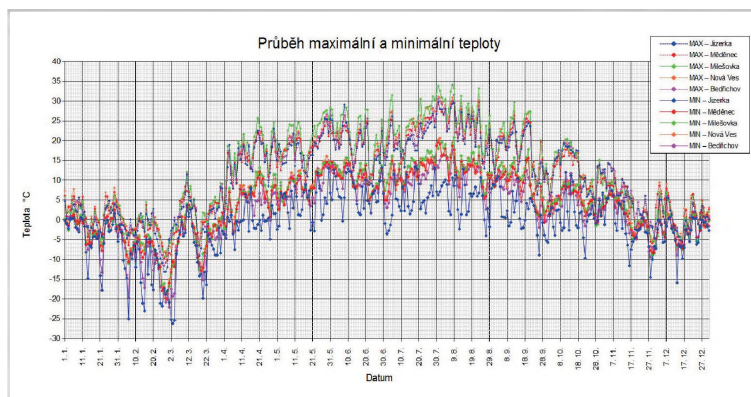
Maximální teplota se pro hory předpovídá snadněji, zejména v létě nějakým způsobem odpovídá vertikálnímu teplotnímu gradientu. Minimální teplota může být značně rozdílnější, protože některé horské vrcholky zůstanou v noci nad noční inverzí, některá horská údolí si naopak vytvoří svou vlastní inverzi. Proto jsem se podíval na některé horské stanice v Ústeckém a Libereckém kraji, a to různě umístěné, jaké jsou mezi nimi rozdíly v teplotních minimech a maximech. Byly vybrány stanice nacházející se v podobné výšce kolem 800 m n. m., aby se omezily rozdíly dané již zmíněnými výškovými inverzemi.

Byly porovnány maximální a minimální teploty ze stanic Měděnec, Nová Ves v Horách, Milešovka, Bedřichov a Jizerka. Přičemž Milešovka je stanice na osamělé trčící vrchol, Jizerka je v mrazové kotlině a ostatní stanice jsou v tak nějak běžném horském terénu. Pro každý den v roce 2018 byl zjištěn rozdíl mezi maximální teplotou na nejteplejší a nejlhladnější stanicí tohoto souboru a totéž pro minimální teplotu. Ukázalo se, že za rok 2018 průměrný rozdíl maximální teploty na nejteplejší a nejlhladnější z těchto stanic byl $3,4$ °C, nejvyšší $7,5$ °C a nejnižší $0,5$ °C. A ukazuje se, že trochu větší rozdíl je v létě a menší v zimě. Přitom všechny stanice někdy měly nejvyšší a někdy nejnižší maximum. Nejnižší maximum měla nejčastěji Jizerka, a to ve 202 dnech, nejvyšší maximum měla nejčastěji Milešovka, a to v 175 dnech.

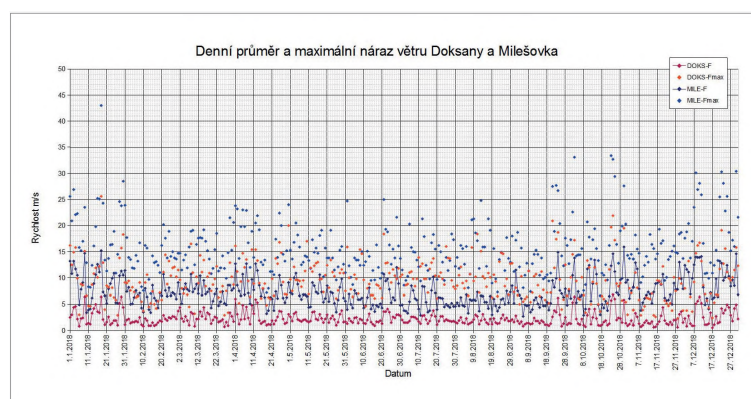
Trochu větší rozdíl je v minimálních teplotách. Průměrný rozdíl mezi minimální teplotou nejteplejší a nejlhladnější stanice byl $5,8$ °C, nejvyšší $16,1$ °C a nejnižší $0,4$ °C. V průměru nejvyšší rozdíly jsou od července do září, nejnižší v prosinci a lednu. Opět se na všech stanicích vyskytlo nejvyšší a nejnižší minimum, ale zejména nejlhladnější stanice byla dost vyhraněná – v 282 dnech



Obr. 2 Predpoveď počasia pro Tatry.



Obr. 3 Průběh maximální a minimální teploty vzduchu na vybraných stanicích.



Obr. 4 Denní průměr a maximální náraz větru stanic Doksany a Milešovka.

Tab. 1 Porovnání průměrných rychlostí větru a nárazů na vybraných stanicích v nižších polohách a na horách.

Rok 2018	Denní průměr	Maximální průměr	Maximální náraz	Max. prům./ denní prům.	Max. náraz/ Max. prům.	Max náraz/ denní průměr
Doksany	2,3	5,5	9,5	2,44	1,72	4,2
Churáňov	2,8	4,8	10,2	1,72	2,13	3,68
Praha-Karlov	2,9	6	10,1	2,06	1,69	3,49
Svratouch	5,4	9	13,2	1,65	1,47	2,44
Lysá hora	6,5	11,7	16,3	1,79	1,4	2,51
Milešovka	7,3	12,5	15,7	1,72	1,26	2,16
Milešovka/Doksany	3,2	2,3	1,6			

v roce nejnižší minimum z těchto stanic bylo na Jizerce, což není překvapivé, neboť jde o známou mrazovou kotlinu. Nejteplejší minimum bylo nejčastěji na Nové Vsi, a to v 154 dnech, na Milešovce v 124 dnech.

Protože mrazové kotliny nejsou zcela typickými místy a ani v předpovědích pro nižší polohy se do předpovědi příliš nezapočítávají, byl proveden výpočet ještě jednou pro minimální teploty bez Jizerky. A v takovém případě

průměrný rozdíl minima nejteplejší a nejchladnější stanice již byl pouze 2,7 °C, nejvyšší 10,3 °C a nejnižší 0,2 °C. Největší rozdíly byly v červenci, nejmenší v zimě. Nejchladnější stanicí se stal Bedřichov, který měl nejnižší teplotu v 216 dnech.

Účelem výše uvedených výpočtů bylo zjištění, zda se maximální a minimální teploty na horských stanicích pohybují v nějakém rozumném rozmezí, aby bylo možno tyto hodnoty předpovídat s nějakou rozumnou vypovídací hodnotou. Ukazuje se, že maximální teploty se pohybují v poměrně rozumném rozmezí. Minimální teploty mají rozmezí poněkud větší, což způsobuje zejména stanice Jizerka; v jednotlivých případech rozmezí minimální teploty v jeden den na stanicích v úzkém výškovém rozmezí kolem 800 m n. m. přesáhlo i 16 °C, což by se v předpovědi moc dobře nevyjímal, a i průměrné rozmezí 7,5 °C je na běžnou předpověď trochu moc. Pokud však vynecháme (nebo uvedeme zvlášť) mrazové kotliny (což děláme i v předpovědích pro nižší polohy), pak i u minimálních teplot dostaneme průměrné rozmezí necelé 3 °C, a jen ojediněle dosáhne 10 °C, což se však v jednotlivých případech děje i v nižších polohách.

Výsledek tedy ukazuje, že jak maximální teploty, tak minimální teploty na horách se (při vynechání mrazových kotlin) pohybují v rozumném rozmezí a není tedy vyloučeno jejich uvádění v předpovědi počasí pro hory.

Vítr

Ve všeobecných celostátních předpovědích se uvádí předpověď větru pouze pro nižší polohy. Pro hory se někdy uvádějí nárazy, ne však průměrné rychlosti větru.

Pro porovnání rychlostí větru v průměru i v nárazech bylo vybráno 5 stanic, a to Milešovka a Lysá hora jako typické horské vrcholy, Churáňov jako horská stanice ležící v zalesněné krajině a ne na vrcholu, Svratouch jako stanice ležící ne tak vysoko a stanice Praha-Karlov a Doksany jako stanice mimo hory. A pro jednotlivé dny v roce byly zjištěny údaje o průměrné denní rychlosti větru, maximálním desetiminutovém průměru rychlosti větru a maximální náraz větru. A dále byl spočítán poměr maximálního průměru a denního průměru, maximálního nárazu a maximálního průměru a maximálního nárazu a denního průměru. Výsledky jsou uvedeny v tabulce.

Protože v předpovědi se většinou uvádí něco jako celodenní průměr, byl kladen důraz zejména na poměr maximálního nárazu a denního průměru rychlosti větru. A ukázalo se, že tento poměr je nejvyšší na stanici Doksany, kde v celoročním průměru je maximální náraz větru 4,2× větší než průměrná denní rychlost větru, a nejnižší na stanici Milešovka, kde maximální náraz je jen 2,12× větší než denní průměr. Přitom tyto stanice jsou poměrně blízko u sebe. Pro další zkoumání byly tedy použity tyto dvě typické stanice.

Tab. 2 Rozmezí maximální (TMA) a minimální (TMI) teploty v roce 2018 na vybraných horských stanicích (Měděnec, Nová Ves v Horách, Milešovka, Bedřichov a Jizerka).

Rok 2018	Průměrné	Nejvyšší	Nejnižší
Rozmezí TMA	3,4	7,5	0,5
Rozmezí TMI	5,8	16,1	0,4
Rozmezí TMI bez Jizerky	2,7	10,3	0,2

Ukazuje se, že v celoročním průměru je na Milešovce průměrná rychlost větru 3,2× vyšší než v Doksanech, zatímco roční průměrná rychlost maximálního nárazu je na Milešovce jen 1,6× vyšší než v Doksanech. Rozdíl průměrné rychlosti větru na horské stanici a v nížině je tedy mnohem výraznější než rozdíl v nárazech.

Je to vidět i na obrázku závislosti maximálního denního nárazu na průměrné denní rychlosti větru. Z obrázku je zřejmé, že v Doksanech se při stejné průměrné denní rychlosti větru vyskytují větší nárazy, nebo naopak při stejných nárazech je podstatně menší průměrná rychlost. Například při průměrné rychlosti 4 m/s se na Milešovce vyskytovaly nárazy 8 až 12 m.s⁻¹, zatímco v Doksanech 10 až 20 m.s⁻¹. Naopak při nárazech 15 m.s⁻¹ je v Doksanech průměrná rychlost 2 až 7 m.s⁻¹, zatímco na Milešovce 5 až 12 m.s⁻¹.

Z toho je vidět, že v situacích s výrazně odlišným větrem v nižších polohách i na horách jsou větší rozdíly v průměrné rychlosti větru než v nárazech a že tedy má větší smysl specifikovat pro hory průměrnou rychlost než nárazy.

Závěr

Z uvedených údajů můžeme vyvodit následující závěry:

- bylo by vhodné se dohodnout, zda a kdy pro hory uvádět mlhy jakožto oblačnost se základnou pod úrovní hor,
- teploty pro konkrétní hory je vhodné uvádět pro konkrétní výškové rozmezí konkrétních hor,
- maximální teploty i minimální teploty mimo mrazové kotliny v určitém výškovém rozmezí se většinou pohybují v natolik rozumném rozmezí, které má smysl uvádět do předpovědi,
- rozdíl rychlosti větru v nižších polohách a na horách je výraznější u průměrné rychlosti než u nárazů.

Predpoveď výskytu konvektívnych búrok nad horskými oblasťami na príklade Západných Karpát

RÓBERT KVAK

Katedra fyzické geografie a geoekológie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Albertov 6, 128 43 Praha 2
a Ústav fyziky atmosféry AV ČR v. v. i., Boční II 1401, 141 00 Praha 4, kvak@ufa.cas.cz

Úvod

Porozumieť konvektívnym búrkam nad členitým terénom je pomerne náročnou súčasťou poznania atmosféry, a to najmä v horských oblastiach miernych zemepisných šírok. Medzera v poznaní existuje pri interakcii výskytu konvektívnych búrok s konvektívnym prostredím. Kvalitatívna analýza vzťahu charakteristiky terénu – konvektívne prostredie atmosféry – dynamika konvektívnych búrok, a jej pochopenie, môžu viesť k zvýšeniu kvality výstupov numerickej predpovede počasia, respektíve analytických znalostí synoptických meteorológov. Najsledovanejšou kategóriou atmosférických javov je skupina významných či extrémnych udalostí. S rastúcou extremitou určitého javu silnie nutnosť urgentných ochranných opatrení, ku ktorým môže viesť len výskum, pochopenie a predikcia nebezpečných prejavov počasia. Aktivita konvektívnych búrok je po väčšinu roka viazaná na horské prostredie, a to vďaka modifikácii atmosférických podmienok, ktoré spôsobuje samotná orografia (Taszarek et al., 2019). Jednu z možností ako si túto skutočnosť priblížiť predstavujú modely numerickej predpovede počasia s vysokým rozlíšením so schopnosťou simulácie konvektívnych javov a súvisiacich procesov.

K popisu konvektívneho prostredia slúžia tzv. indikátory lability, ktoré opisujú termodynamické podmienky v atmosfére. Z práce Vasqueza (2006) možno spomenúť convective available potential energy (CAPE), downdraft CAPE (DCAPE), convective inhibition (CIN), lifted index (LI), K-index (KI), delta theta-e (DT) alebo severe weather threat index (SWEAT), pre ktoré viď tab. 1. Po celom svete sa používajú desiatky indexov s rôznymi variáciami, kombináciami a sú adaptované pre určitý región. Niektoré z nich nie sú kvantifikovateľné pre vysokohorské polohy ($> 1\,500\text{ m n.m.}$) a hodnoty sa interpolujú medzi najbližšími areologickými stanicami v nižších polohách. V prípade indexov stability atmosféry sa nejedná o jedinú pomocku, ktorá ponúka meteorológovi nadhľad nad danou situáciou. Rovnako je potrebné uvažovať o veľkopriestorovej a lokálnej cirkulácii a nutnosťou je zvážiť aktuálne polia fyzikálnych veličín a ich advekciu v rôznych výškových hladinách. Sem by sme mohli zaradiť napríklad teplotu vzduchu, vlhkosť charakteristiky vzduchu (rosný bod či relatívna vlhkosť), tlak vzduchu, prúdenie vzduchu v trojrozmernom priestore (smer a rýchlosť, strih vetra) alebo aj modelové simulácie maximálnej radarovej odrazivosti vo vertikálnom stĺpci, prípadne výskyt a koncentráciu konvektívneho typu zrážkovej činnosti.

Prípadová analýza

Štúdaná je priestorovo významná meteorologická udalosť zo dňa 19. júla 2011 v rámci Banskobystrického kraja, ktorý je súčasťou geomorfologickej provincie Západných Karpát vo vnútri domény dosahu slovenskej rádiolokačnej siete ($300 \times 500\text{ km}$). Počas situácie boli na základe reanalýz ERA-interim (ECMWF) v modeli numerickej predpovedi počasia COSMO, prevádzkovanom na Ústave fyziky atmosféry AV ČR v. v. i., modelované polia základných fyzikálnych veličín a hodnotiteľov konvektívneho prostredia. Výpočet bol prevedený s nastavením vychádzajúcim z COSMO-CZ (Sokol a Zacharov, 2012), tzn. s horizontálnym rozlíšením $2,8\text{ km}$ a 50 hladinami siahajúcimi do výšky 20 km , kopírujúc zemský povrch. Rozsah domény zastrešuje územie o rozmeroch $584 \times 781\text{ km}$ (211×281 gridových bodov) nad oblasťou do vzdialenosti 100 až 180 km od domény slovenských rádiolokátorov. K vyhodnoteniu priebehu počasia boli okrem modelových simulácií a radarových informácií využité aj merania pozemných zrážkomerov. Kombináciou interpolovaných zrážkomerných údajov s adjustovaným radarovým odhadom pomocou prvej generácie modelu INCA, systémom v minulosti operatívne používaným v SHMÚ, bola popísaná priestorová variabilita konečných zrážkových úhrnov.

19. 7. 2011

a) synoptická analýza

Sponad Nórskeho mora sa nad západnú Európu tiahne dlhoválná brázda nízkeho tlaku prepadnutá až po pobrežie severnej Afriky. V nižších hladinách troposféry je s brázdou spojená rozsiahla plytká cyklonálna oblasť, v ktorej tle prúdi do Európy relatívne chladný morský vzduch od severu až severozápadu. Na čele chladnej vzduchovej hmoty sa na východ pozvoľna presúva zvlnený studený front, pričom v závetří Álp dochádza k plytkej cyklogenéze s následným severovýchodným pohybom cyklóny. Na jej prednej strane sa v strednej Európe prechodne zvýrazňuje juhozápadná až južná advekcia teplého a vlhkého vzduchu zo Stredomoria (v 850 hPa do $20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Vzduchová hmota sa v priebehu dňa výrazne labilizuje od Jadranského mora po Karpaty s hodnotami MLCAP (mean layer CAPE) 500 až $2\,000\text{ J.kg}^{-1}$.

Tab. 1 Charakteristiky stability atmosféry a vetra zo sondážnych meraní stanice Poprad – Gánovce 19.07.2011 v 12:00 UTC. MUCAPE (most unstable CAPE), DCAPE (downdraft CAPE), ML 100 CIN (mixed layer $\uparrow$ 100 hPa CIN), SBLI 500 (surface based lifted index $\uparrow$ 500 hPa), TT (totals totals).

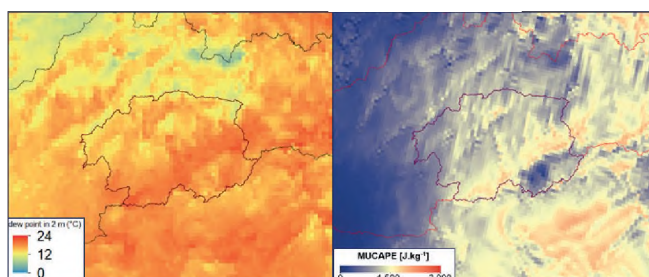
Termín	MUCAPE [J.kg ⁻¹]	DCAPE [J.kg ⁻¹]	ML 100 CIN [J.kg ⁻¹]	SBLI 500 [K]	TT index [K]	Strih vetra 0–6 km [m.s ⁻¹]	Smer vetra 0–6 km [°]
7/19/2011	1 652	895	–7	–4,2	49,4	20,5	215

b) vývoj počasia

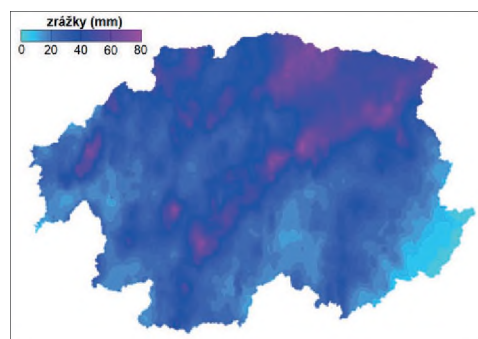
Od ranných hodín prevládala nad stredným Slovenskom oblačná obloha s výskytom lokálnych slabých prehánok pri maximálnych teplotách okolo 30 °C v kotlinách a 13 °C na vrchoch Nízkych Tatier. V priebehu popoludnia sa pri slabom premenlivom vetre, na horách južnom do 10 m.s⁻¹ iniciovali prvé konvektívne búrky na JZ svahoch Slovenského stredohoria so SV postupom a viditeľným odklonom k V. Intenzívne konvektívne búrky (VIL cez 68 kg.m⁻²) s odrazivosťou nad 55 dBZ križovali horské oblasti, zatiaľ čo evidentne slabli nad kotlinami a obchádzali celú Juhoslovenskú kotlinu. Po 18:00 UTC prekročil južné hranice rozsiahlejší MCS (mezomeritkový konvektívny systém) so zvyšujúcou sa odrazivosťou nad Karpatmi, avšak viditeľným zoslabnutím za Nízkymi Tatrami. Počas noci prechádzali konvektívne búrky od JJZ k SSV celým územím až ho nadránom opúšťali.

c) zrážková analýza

Typický bol výskyt niekoľkých pásov vyššej intenzity zrážok v JZ–SV smere s hodnotami nad 50 mm (obr. 2), ktoré prechádzali pohoriami Slovenského stredohoria, Slovenského rudohoria a Nízkymi Tatrami. Pomerne málo zrážok spadlo v Štiavnických vrchoch (< 30 mm). V stredne a nízko položených kotlinách boli úhrny zrážok zväčša od 10 do 35 mm, pričom v strednej časti Juhoslovenskej kotliny v SV smere od Cerovej vrchoviny prekročili 40 mm a v Horehronskom podolí 60 mm. Na krajnom JV Juhoslovenskej kotliny a v Bodvianskej pahorkatine bola situovaná oblasť najnižších zrážok pod 10 mm (Vlkyňa 4,9 mm; Číž 7,3 mm; Štrkovec 8,3 mm). Premenlivosť priestorových zrážok reanalýzy INCA sa do značnej miery prekrýva s manuálnymi zrážkomermi, avšak INCA maximálny úhrn do 80 mm podhodnocuje napríklad vo Veporských vrchoch a Ostrôžkach až o 20–30 mm (Detvianska Huta 104,2 mm a Látky – Nový Svet 94,6 mm; Ábelová 88,7 mm).



Obr. 1 Naľavo COSMO výpočet rozloženia teploty rosného bodu v 2 m nad zemským povrchom (°C) a napravo most unstable CAPE (J.kg⁻¹) nad Banskobystrickým krajom a priľahlým okolím 19. 07. 2011 v 12:00 SELČ.



Obr. 2 Zrážková reanalýza INCA 19. 07. 2011 (úhrn zrážok do 06:00 UTC nasledujúceho dňa).

Záver

Poznanie konvektívnych podmienok v atmosfére a mechanizmov, ktoré spúšťajú a riadia činnosť konvektívnych búrok nad zložitým terénom sú kľúčové pri snahe o predikciu nebezpečného počasia na horách, v kotlinách alebo v susedných nížinných oblastiach, a koniec-koncov vedú k rozšíreniu poznatkov o komplexnom fungovaní búrkovej konvekcie v akýchkoľvek klimatických podmienkach.

K predikcii vývoja konvektívnych búrok je potrebné pristupovať jednotlivo v závislosti od synoptickej situácie či klimatických podmienok, a teda geografického regiónu. Napríklad množstvo potenciálnej energie obvyčajne závisí na veľkopriestorovej cirkulácii vzduchu a nie je zviazané s podkladom, okrem prípadov deformácie tlakového poľa horskou bariérou alebo výberu nižších hladín pri kvantifikácii. Preto je nepochybné, že intenzívne konvektívne búrky sa môžu vyskytnúť aj v prípade relatívne stabilného zvrstvenia ovzdušia, ktoré popisujú indexy stability (Vasquez, 2009), často neschopné nad horským terénom rozlíšiť nestabilnú vrstvu od stabilnej. V prípade 19. júla 2011 sú termodynamické podmienky nad Slovenskom evidentne orograficky modifikované a priaznivo koncentrované najmä na južných úpätiach Karpát Banskobystrického kraja na styku s Juhoslovenskou kotlinou (obr. 1). Pri situácii s dominantným juhozápadným až južným prúdením v celej troposfére preto nemožno vylúčiť podporu iniciácie výraznejšej konvekcie situovanej nad severnú periferiu vysokých hodnôt MUCAPE. Preukázateľný priestorový

vzťah medzi dostupnou energiou a zrážkovými úhrni však nemusí znamenať kauzalitu javu, k podobným výsledkom je nutné pristupovať opatrne a zväžiť podmienky prevládajúce juhozápadne/južne od Karpát, nad Panónskou panvou.

Rovnako to platí aj pre strih vetra a ďalšie charakteristiky prúdenia, ktoré sú v závislosti od skúmanej vrstvy viac alebo menej blokované horskou prekážkou. Slabnúci strih vetra priamo nad horským prostredím môže mať v konečnom dôsledku deformačný vplyv na zrážkovo intenzívne konvektívne búrky oproti nižším polohám počas jednej konvektívnej búrkovej situácie. K povrchu prilahlý parameter CIN má väčšiu závislosť na podklade a vlastnostiach prízemnej a konvektívnej hraničnej vrstvy. Taktiež je spojený s veľkopriestorovou cirkuláciou, ale nad horskými polohami okrem depresných území je tendencia k formovaniu slabej alebo potlačenej stabilnej vrstvy.

Vychádzajúc z dlhoročnej práce a bohatých skúseností Ústavu fyziky atmosféry s modelom COSMO je možnosť využitia modelovania konvekcie vo vysokom rozlíšení v členitom teréne Západných Karpát veľkým prínosom nielen pre samotných numerických meteorológov vyvíjajúcich produkty numerickej predpovede počasia, ale aj pre analytickú expertízu synoptických meteorológov na dennej báze. Nemožno nespomenúť hodnotný prínos pre veľmi krátkodobú predpoveď počasia (nowcasting), ktorej praktiky sú stále vo vývojovom štádiu.

Literatúra:

- SOKOL, Z., ZACHAROV, P., 2012. Nowcasting of precipitation by an NWP model using assimilation of extrapolated radar reflectivity. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **138**, 665, 1072–1082. ISSN 1477-870X.
- TASZAREK, M., ALLEN, J., PÚČIK, T., P. GROENEMEIJER, P., CZERNECKI, B., KOLENDOWICZ, L., LAGOUVARDOS, K., KOTRONI, V. and SCHULZ, W., 2019. A Climatology of Thunderstorms across Europe from a Synthesis of Multiple Data Sources. *Journal of Climate*, **32**, 1813–1837, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0372.1>.
- VASQUEZ, T., 2006. Weather forecasting Red Book. Forecasting techniques for meteorology. 5th edition. Weather Graphics Technologies. ISBN 0-9706840-6-1. 291 s.
- VASQUEZ, T., 2009. Severe Storm Forecasting. 5th edition. Weather Graphics Technologies. ISBN 0-9706840-9-6. 266 s.

VII.

Hydrologie a kvalita ovzduší
na Šumavě nebo v jiných pohořích

Hydrologický a hydroekologický výzkum ÚH AV ČR v CHKO a NP Šumava

MIROSLAV TESAŘ¹, MILOSLAV ŠÍR², JAN PROCHÁZKA³

¹ Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v.v.i., Praha, miroslav.tesar@iol.cz, ² Střední škola rybářská a vodohospodářská Jakuba Krčína, Třeboň, milo_sir@yahoo.com, ³ SUMAVA.EU a Zemědělská fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, prochaz@zf.jcu.cz

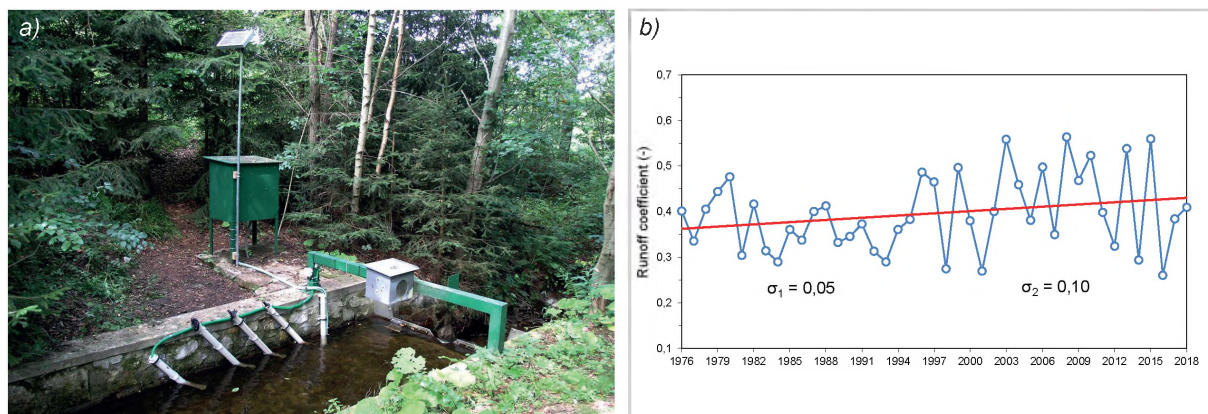
Úvod

Oblast Šumavy je významnou oblastí přirozené akumulace vod a zdrojem vody pro celé povodí Vltavy. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v.v.i. (dále ÚH AV ČR) zde založil svá experimentální hydrologická pozorování již počátkem 60. let na popud svého zakladatele a prvního ředitele (od roku 1953) akademika prof. Jana Smetany (*1883–†1962). V povodí Volyňky inicioval založení reprezentativní povodí, v němž soustavný výzkum hydrologického režimu šumavských hor a podhůří byl započat během Mezinárodní hydrologické dekády (International Hydrological Decade – IHD), která se realizovala v letech 1965–1974 jako projekt UNESCO. Smyslem celosvětově probíhající IHD bylo mimo jiné experimentálně ověřit tehdy aktuální hypotézy o formování odtoku z povodí v různých přírodních podmínkách v interakci s lidskou činností. Experimentální povodí Volyňky byla proto založena tak, aby bylo možné sledovat, jak se utváří odtok z povodí s jeho zvětšující se plochou (0,999 až 383,201 km²), snižující se nadmořskou výškou (vrchol Boubína 1 362 m n. m. až výška nuly vodočtu v Němčicích 423,06 m n. m.), měnícím se vegetačním pokryvem. Kontinuální měření základních hydrologických a hydrometeorologických parametrů probíhalo v letech IHD (1965–1974). Po jejím skončení se pozornost ÚH AV ČR koncentrovala na malé experimentální povodí Liz, které je od roku 1975 v zásadě modernizované podobě provozováno dodnes (Tesař et al., 2006). V novém tisíciletí byla potom zřízena další monitorovací stanoviště pro potřeby hydroekologického monitoringu v horských partiích NP Šumava, a sice Roklan, Malá Mokrůvka, Vysoký Stolec, Jezerní hora, Poledník, aj.

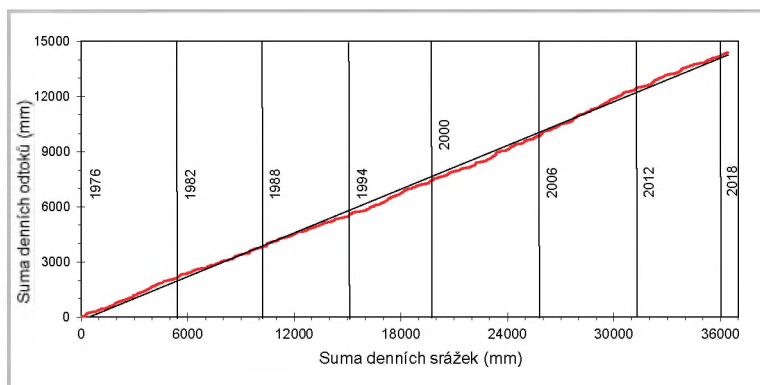
Povodí Liz

Povodí Liz je zalesněné kyselou smrkovou bučinou, půdní pokryv tvoří kambizem. Výška povodí je 828 až 1 074 m n. m. s průměrnou výškou 941,5 m n. m. Plocha povodí je 0,99 km², střední sklonitost povodí je 16,6 %, délka údolnice 1,45 km, délka toků 2,28 km. Průměrná roční teplota vzduchu je 6,3 °C, průměrná teplota vzduchu v lednu činí –3,4 °C, průměrná teplota vzduchu v červenci 13,6 °C, průměrný roční srážkový úhrn 847 mm (1976–2018), průměrný roční počet dnů sněhové pokrývky 92. Obr. 1a zobrazuje uzávěrový profil povodí (49.0658358N, 13.6820856E), obr. 1b průběh odtokového součinitele dokladuje větší rozkolísanost odtoku v druhé polovině sledovaného období. Obr. 2 ve formě dvojnásobné součtové čáry znázorňuje vztah srážek a odtoku na Lizu.

Desetiminutové srážkové úhrny a intenzita dešťových srážek jsou měřeny v síti tvořené 15 srážkoměry. Sněhová pokrývka je měřena na pěti lokalitách v nadmořských výškách od 830 m n. m. do 1 122 m n. m., a to vždy na volné ploše a v sousedícím lesním porostu. V povodí jsou umístěny tři meteorologické stanice – jedna na volné ploše (obr. 3 vlevo), dvě v lesním porostu, a sice ve smrku (obr. 3 vpravo) a v buku. Meteorologická stanice na volné ploše je umístěna v nadmořské výšce 830 m n. m. Jedná se o plně automatizovaný systém pro kontinuální monitoring přenosu tepla a vody v přízemní vrstvě atmosféry a nenasycené půdní zóně. Gradientová měření základních



Obr. 1 Uzávěrový profil povodí Liz s kontinuálním měřením průtoků, chemismu povrchové vody a teplot vody a vzduchu (a – vlevo, foto: Miroslav Tesař, srpen 2009); variabilita odtoku za sledované období vyjádřená odtokovým koeficientem (b – vpravo).



Obr. 2 Dvojná součtová čára srážek a odtoků v povodí Liz za období hydrologických roků 1976–2018.

PWD11 (Vaisala, Finsko) doplněného aktivním mlhoměrným zařízením NES 210Fog Sampler (Eigenbrodt, SRN). Tato sestava umožňuje kontinuální měření stavu počasí a depozice vody z větrem hnaných mlh a nízké oblačnosti. V blízkosti uzávěrového profilu a ve vrcholové partii povodí Liz byly zřízeny dva páry hydrogeologických vrtů (obr. 4a), v nichž se monitoruje poloha hladiny podzemní vody, teplota a konduktivita vody. Měření mízního toku ve strozech na povodí Liz metodou tepelné bilance kmene bylo instalováno v roce 2005 ve smrkovém porostu. Toto měření bylo v roce 2007 nahrazeno sofistikovanější metodou založenou na měření deformace tepelného pole. Pro sledování a vyhodnocování látkových toků jsou pravidelně v měsíčním kroku odebírány a analyzovány vzorky

meteorologických veličin jsou umístěna v úrovních 2, 5 a 10 m nad terénem. Kontinuálně jsou měřeny teploty a vlhkosti vzduchu, tlak vzduchu, směr a rychlost větru, trvání slunečního svitu, globální radiace včetně její odražené složky, dlouhovělná i krátkovělná složka sluneční radiace včetně jejich odražených složek, intenzita a úhrn dešťových padajících srážek, výpar z volné hladiny. V jednotlivých úrovních půdního profilu jsou měřeny tenzometrické tlaky a teploty půdy. Při povrchu půdy jsou měřeny toky tepla do půdy. Meteorologická stanice je doplněna monitorovacím a vzorkovacím systémem oblačné a mlžné depozice, který se skládá z detektoru současného stavu počasí



Obr. 3 Meteorologická stanice na volné ploše (a – vlevo) a ve smrkovém porostu (b – vpravo) na povodí Liz (foto: Miroslav Tesař, červenec 2018).



Obr. 4 Měření HPV, hydrochemických parametrů HPV a hydrometeorologických prvků na rozvodnici povodí Liz (a – vlevo, (foto: Miroslav Tesař, říjen 2018); měření průtoků a hydrometeorologických parametrů na jednom z pramenů v povodí Liz (b – vpravo, foto: Miroslav Tesař, červenec 2018).



Obr. 5 Stanice na lokalitách Roklan (a – vlevo nahoře, foto: Miroslav Tesař, říjen 2018), Malá Mokrůvka (b – vpravo nahoře, foto: Miroslav Tesař, březen 2019), Poledník (c – vlevo dole, foto: Miroslav Tesař, červen 2014) a Jezerní hora (d – vpravo dole, foto: Miroslav Tesař, květen 2018).

srážek na volné ploše, podkorunových srážek ve smrkovém a bukovém porostu, povrchového odtoku a z měřených pramenů (obr. 4b) z hlediska chemického a izotopového složení.

Lokality Roklan, Malá Mokrůvka, Vys. Stolec, Jezerní hora a Poledník

V roce 2000 byly v horských partiích Šumavy zřízeny automatizované systémy s dálkovým přenosem dat za účelem monitoringu základních hydrometeorologických parametrů a vodního režimu půd v oblastech s tehdy různým vegetačním pokryvem (suchý les – Roklan – 48.9756922N, 13.4299217E, 1 224 m n. m. – obr. 5a; holina – Malá Mokrůvka – 48.9702403N, 13.5124425E, 1 259 m n. m. – 5b; Vysoký Stolec – zdravý les – 48.9883850N, 13.6090678E, 1 231 m n. m.). Stanice na Poledníku (49.0640661N, 13.3959261E, 1 310 m n. m. – obr. 5c) slouží především pro monitoring usazených srážek z větrem hnané nízké oblačnosti a mlhy, zatímco stanice na Jezerní hoře (49.1709728N, 13.1868814E, 1 307 m n. m. – obr. 5d) byla zřízena ve spolupráci se spolkem SUMAVA.EU hlavně jako doplnění monitoringu sněhové pokrývky a teploty vzduchu v hřebenových partiích Šumavy.

Vybraná výzkumná témata

- Hydrologický výzkum v povodí Volyňky (Tesař et al., 2006)
- Studium transpirace a evapotranspirace lesního porostu (Pražák et al., 1996)
- Mízní tok (SAP Flow) smrkového porostu (Nadehzdina, et al., 2010)
- Intercepce lesního porostu (Dohnal et al., 2014)
- Akumulace a tání sněhu (Šípek and Tesař, 2014)
- Procesy v systému půda – rostlina – atmosféra (Vogel et al., 2013)
- Vodní režim povodí, vodní režim půd – hodnocení a modelování (Tesař et al., 2006)
- Ekohydrologie – bilance látkových toků; význam usazených srážek (Eliáš et al., 2009)
- Vliv vegetace na retenci vody (Šípek and Tesař, 2017)

Závěr

Snahou ÚH AV ČR je zachovat dlouhodobý nepřerušovaný hydrologický výzkum, neboť z podstaty přírodních dějů je zjevné, že jen tehdy mohou mít zjištěné poznatky širší platnost a mohou být zobecněny. Více jak čtyřicetiletý cyklus pozorování již pokrývá téměř čtyři jedenáctileté periody sluneční aktivity, tudíž lze předpokládat, že jeho zatímní závěry věrně odrážejí specifika horských a podhorských oblastí.

Poděkování:

Provozovatelé experimentálních stanic vyjadřují poděkování všem pracovníkům, kteří se na založení staniční sítě, její vybavení a udržování v chodu dosud podíleli a podílejí. Velký dík patří dále vlastníkům pozemků, kteří umožnili osazení a provoz experimentálního vybavení a vstup na jejich pozemky, zejména Lesům ČR a Správě CHKO a NP Šumava, v neposlední řadě i členům Horské služby Šumava za pomoc s instalací a provozem některých stanic v extrémních podmínkách. Výzkum popsany v příspěvku je podporován ÚH AV ČR, v.v.i. (RVO 67985874) a v rámci programu AV ČR Strategie AV21.

Vybrané publikační výstupy:

- DOHNAL, M., ČERNÝ, T., VOTRUBOVÁ, J., TESAŘ, M., 2014. Rainfall interception and spatial variability of throughfall in spruce stand. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, Vol. **62**(4), s. 277–284.
- ELIÁŠ, V., TESAŘ, M., BUCHTELE, J., 1995. Occult precipitation: sampling, chemical analysis and process modelling in the Šumava Mts. (Czech Republic) and in the Taunus Mts. (Germany). *Journal of Hydrology*, Vol. **166**, s. 409–420.
- PRAŽÁK, J., ŠÍR, M., TESAŘ, M., 1994. Estimation of plant transpiration from meteorological data under conditions of sufficient soil moisture. *Journal of Hydrology*, Vol. **162**(6), s. 409–427.
- ŠÍPEK, V., TESAŘ, M., 2014. Seasonal snow accumulation in the mid-latitude forested catchment. *Biologia*, Vol. **69**(11), s. 1562–1569.
- ŠÍPEK, V., TESAŘ, M., 2017. Year-round estimation of soil moisture content using temporally variable soil hydraulic parameters. *Hydrological Processes*, Vol. **31**(6), s. 1438–1452.
- NADEZHDA, N., DAVID, T., S., DAVID, J., S., FERREIRA, M., I., DOHNAL, M., TESAŘ, M., GARTNER, K., LEITGEB, E., NADEZHDA, V., ČERMAK, J., JIMENEZ, M., S., MORALES, D., 2010. Trees never rest: the multiple facets of hydraulic redistribution. *Ecohydrology*, Vol. **3**(4), s. 431–444.
- TESAŘ, M., BALEK, J., ŠÍR, M., 2006. Hydrologický výzkum v povodí Volyňky a autoregulace hydrologického cyklu v povodí Liz. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, Vol. **54**(2), s. 137–150.
- TESAŘ, M., ŠÍR, M., LICHNER, L., ZELENKOVÁ, E., 2006. Influence of vegetation cover on thermal regime of mountainous catchments. *Biologia*, Vol. **61**(Suppl. 19), s. S311–S314.
- VOGEL, T., DOHNAL, M., DUŠEK, J., VOTRUBOVÁ, J., TESAŘ, M., 2013. Macroscopic modeling of plant water uptake in a forest stand involving root-mediated soil-water redistribution. *Vadose Zone Journal*, Vol. **12**(1), ISSN 1539-1663.

Hydrologické sucho a významné srážkoodtokové události v období 2015–2018

PETR ŠERCL¹, MARTIN PECHA²

¹ Český hydrometeorologický ústav, Praha, petr.sercl@chmi.cz, ² martin.pecha@chmi.cz

Úvod

V posledním desetiletí jsme na území České republiky svědky obou dvou významných fenoménů. Zatímco v letech 2009 až 2013 se mnohem více hovořilo o povodních, jejich možnému předcházení a případnému zmenšování následků, od roku 2015 až do současnosti se mnohem více diskutuje o problémech se zvyrazňujícím se suchem a o tom, jak je možné suchu předcházet a zmírňovat jeho projevy, a také následky.

V roce 2013 vyvrcholilo několikaleté období vlhčího počasí, které bylo i odtokově bohatší. Po atypickém průběhu jara (dlouhá zima a poté chladné a srážkově bohaté počasí) se na přelomu května a června vyskytla na velkém území Čech velmi významná srážková a následně i odtoková událost. Jelikož nasycenost území byla velmi vysoká, tak se i po této události vyskytlo ještě několik dalších odtokových situací, ať už po významných srážkách přívalového či regionálního charakteru.

Od zimy 2013–2014 započalo období, které je charakteristické zejména teplotně nadnormálním a srážkově podnormálním zimním půlrokem, během kterého se sněh vyskytuje převážně pouze na horách a v nížinách se objevuje spíše pouze výjimečně a přechodně. Během jarního období sněh i na horách velmi rychle roztaje a nedokáže tak dostatečně dotovat zásoby podzemních vod, a tím i vodní toky. To vše je ještě umocňováno během letního půlroku, který je také převážně teplotně nadnormální a srážkově podnormální. Výpar tak výrazně převažuje nad srážkovou činností, která se velmi často odehrává pouze během několika dní v měsíci.

Tento článek se snaží ve stručnosti postihnout vliv velikosti předchozího nasycení a srážek na velikost odtokové odezvy v různých geografických oblastech ČR v období 2015–2018 na základě významných srážkových epizod, kterým se během tohoto období vyskytly. Ukazuje se totiž, že při porovnání s událostmi v roce 2013 je vliv předchozího nasycení půdy na odtokovou odezvu podstatně významnější, než se hydrologové a případně i další odborníci domnívali.

Předchozí nasycení je zde prezentováno ve formě ukazatele předchozích srážek za období 30 dnů (API_{30}) před výskytem uvedené srážkové situace.

Ukazatel předchozích srážek API_{30} je suma vážených denních úhrnů srážek za předchozích 30 dní, přičemž váha denního úhrnu srážek se zmenšuje s rostoucím počtem předcházejících dní. Je počítán ze vztahu:

$$API_{30} = \sum_{i=1}^{30} C^i \cdot P_i \text{ [mm]}$$

kde

i je pořadí dne počítané nazpět ode dne, ke kterému je API určován,

C je evapotranspirační konstanta, pro naše podmínky obvykle $C = 0,93$,

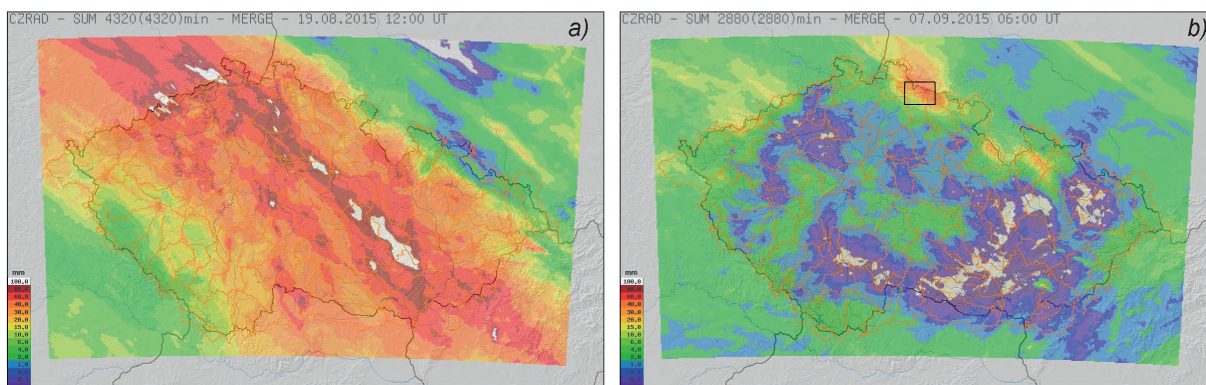
P je denní úhrn srážky v milimetrech v i -tém dni před výskytem příčinné srážky.

K tomuto podrobnému vyhodnocení jednotlivých výraznějších odtokových epizod během suchého období 2015–2018 jsme přistoupili také z toho důvodu, že se zhruba od roku 2015 můžeme každoročně dozvídat, a to nejen z mediálního prostředí, že dlouhé a významné období sucha zhoršuje odtokové poměry. Půda údajně není schopna pojmout vydatné a intenzivní srážky a většina vody tak oteče bez většího užítu po zemském povrchu do vodních toků a nezmírní se tak dopady sucha ba naopak, že hrozí přívalové povodně.

Vývoj hydrometeorologické situace v letech 2014–2015

Rok 2014 byl jako celek teplotně výrazně nadnormální, což vedlo ke zvýšenému celkovému výparu z půdy a rostlin. Srážkově byl rok z hlediska celorepublikového průměru normální, ale v severovýchodních Čechách již spíše podnormální. Odtokově už byl rok 2014 podprůměrný, a to zejména v důsledku malého jarního odtoku a nadprůměrné teploty vzduchu. Hladiny podzemních vod ještě neklesly pod hranici sucha. Dotace z podzemních vod do vodních toků byla po předchozích vodních letech ještě postačující k tomu, aby se jen ojediněle vyskytovaly ve vodních tocích průtoky pod hranici 355denního průtoku.

Z hlediska dlouhodobého pozorování je statisticky velmi zajímavá velikost průměrného ročního průtoku za rok 2014, který v povodí horního Labe a Sázavy nepřekročil 60 % průměrné hodnoty za období 1981–2010. Například



Obr. 1a, b Rozložení úhrnů srážek za 72 hodin od 16. 8. 2015 14:00 do 19. 8. 2015 14:00 SELČ vlevo a za 48 hodin od 5. 9. 2015 8:00 do 6. 9. 2015 8:00 SELČ vpravo, (c) 2017 CHMI Radar Department.

na Jizeře v Předměřicích šlo o třetí nejnižší hodnotu průměrného ročního průtoku od začátku systematického vyhodnocení průtoků v roce 1911. V roce 2014 se tak sice hydrologické sucho nevyskytlo, ale nedošlo k adekvátnímu doplnění zásob podzemních vod.

Přesto se v roce 2014 vyskytlo hned několik významných srážkových situací, po kterých následovaly, vzhledem ke stále převážně vysoké nasycenosti půdy, poměrně velmi významné odtokové odezvy.

Rok 2015 byl obdobně jako rok předchozí teplotně výrazně nadnormální a srážkově naopak silně až mimořádně podnormální, což negativně ovlivnilo celkovou vláhovou bilanci, a průměrné roční průtoky byly proto podprůměrné. Celková dotace do podzemních vod byla nevýrazná a úrovně hladin ve vrtech již poklesly výrazněji pod úroveň dlouhodobého měsíčního mediánu.

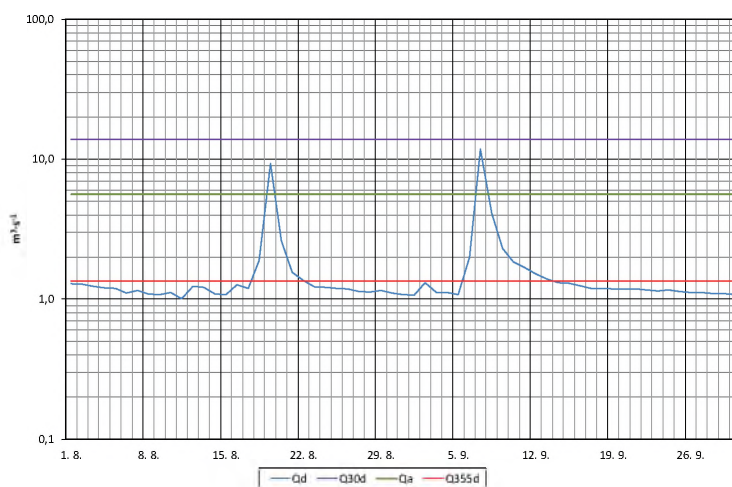
Zhruba od začátku července 2015 započalo velmi výrazné hydrologické sucho, doprovázené vlnami extrémních veder (teploty nad +35 °C) a nedostatkem srážek. Sucho vyvrcholilo v polovině srpna téhož roku, kdy se průtoky ve vodních tocích na většině území ČR pohybovaly významně pod úrovní průtoku Q_{355d} , případně došlo k jejich úplnému vyschnutí. Sucho bylo krátkodobě zmírněno vydatnými srážkami, které se na většině území České republiky vyskytly v období 15.–19. srpna 2015.

Po této události se obnovil příliv tropického vzduchu a vrátil se suchý ráz počasí, který byl ukončen až po 5. září 2015. Následné vlhké severozápadní proudění zapříčinilo orografické zesílení srážek v Jizerských horách, Krkonoších, Orlických horách. Vyhodnocení sucha v roce 2015 se podrobně věnuje zpráva (Daňhelka a kol., 2015).

Srážkové epizody v roce 2015

Významná srážková epizoda, která se vyskytla na začátku druhé poloviny srpna 2015, překvapila tím, že odtoky nedosahovaly ani zdaleka takových velikostí, které by odpovídaly extremitě spadlých srážek. Nejvyšší denní srážkové úhrny totiž přesahovaly 50 mm a místy dosáhly až 80 mm. Nejvyšší srážky v těchto dnech spadly v pásmu táhoucím se od Ústeckého kraje napříč územím ČR ke kraji Jihomoravskému a Zlínskému, viz obrázek 1a. Nejvyšší denní srážkový úhrn byl zaznamenán 17. srpna na stanici Bukovinky (ORP Blansko) a činil 81,4 mm, což odpovídá době opakování delší než 50 let. V případě dvou a třídních úhrnů srážek byly na některých stanicích překročeny i 100leté doby opakování.

Významné byly i plošné úhrny srážek. Například na povodí Svitavy k profilu Bilovice nad Svitavou, s plochou povodí 1 120 km², spadlo od 16. do 19. srpna 2015 v průměru 98 mm, z čehož však přímo oteklo pouze 2,6 mm. Na levostranných přítocích Moravy (Moštěnka, Olšava, Velička) byla situace obdobná. Prakticky veškerá srážková voda se vsákla do půdy, nebo se vypařila. Odtok v podstatě nastal jen z nepropust-



Obr. 2 Průběh průměrných denních průtoků na Jizeře v profilu Jablonec nad Jizerou v roce 2015.

ných ploch. Stupně povodňové aktivity (dále SPA) s výjimkou jediného profilu (1. SPA) nebyly dosaženy. Podíl odtoku ze spadlých srážek byl v rozmezí 2–6 %. Ukazatel API_{30} se před událostí pohyboval v průměru pouze od 3 do 20 mm a jen ojediněle byl vyšší.

Další významnější srážková epizoda se vyskytla 6. září v Krkonoších a Jizerských horách, kdy při orograficky zesílených srážkách spadlo od 40 do 80 mm, což vyvolalo přechodné vzestupy hladin vodních toků, přičemž SPA nebyly dosaženy. Podíl odtoké vody se pohyboval v rozmezí 3–6 %. Ukazatel API_{30} se před událostí pohyboval v průměru od 15 do 35 mm.

Na obrázku 2 je znázorněn průběh průměrných denních průtoků na Jizeře v profilu Jablonec nad Jizerou od 1. srpna 2015 do 30. září 2015. Je zřejmé, že po přechodném zvětšení průtoků docházelo k jejich velmi rychlému zmenšování až pod hodnotu průtoků Q_{355d} , což svědčí o velmi malém podílu podpovrchového odtoku a výrazně zmenšené dotaci z podzemních vod.

Vývoj hydrometeorologické situace a významné srážkové epizody v roce 2016

Také rok 2016 byl jako celek teplotně výrazně nadnormální. Srážkové jej lze sice hodnotit v rámci celé ČR jako normální, ale zejména v povodí Labe nad soutokem s Vltavou došlo k prohloubení deficitu srážek. Úrovně hladin podzemních vod v povodí horního Labe zaklesly hlouběji než v roce 2015 a průtoky se znovu dostaly pod úroveň průtoků Q_{364d} . Vlivem nízkých úrovní hladin podzemních vod se průtoky i po srážkových epizodách rychle zmenšovaly k hodnotám průtoků Q_{355d} a to i v jiných oblastech. Odtokově byl rok 2016 spíše podprůměrný, v povodí horního Labe dokonce velmi významně. Po počátečním nevýrazném vzrůstu zde pokračoval pokles hladiny podzemních vod na silně podnormální hodnoty.

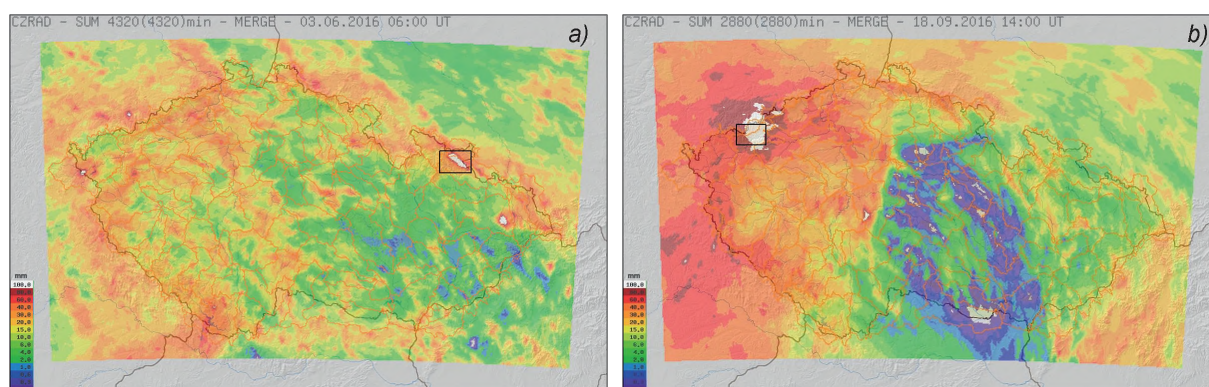
V roce 2016 se rovněž vyskytlo několik významných srážkových situací. Na konci května 2016, konkrétně 31. května v podvečerních hodinách se na srážkoměrné stanici Albrechtice-Žáry (Krnovsko, povodí Opavice) vyskytla velmi intenzivní bouřka s přívalem deště. Za velmi krátkou dobu bylo naměřeno více než 120 mm srážek a v celkovém úhrnu 146 mm, což je v našich klimatických podmínkách výjimečná událost. Takto intenzivní srážky byly lokálního charakteru a například srážkoměr vzdálený jen několik kilometrů zaznamenal 70 mm a v širším okolí stanice se srážky pohybovaly od 10 do 50 mm (Kuba 2016).

Odtoková odezva nebyla vzhledem k extremitě zaznamenaných srážek významná, a to i přesto, že tři dny předtím, 28. května, spadlo na povodí Opavice od 40 do 80 mm srážek a na samotné stanici Albrechtice-Žáry 42 mm. Zatopeno bylo pouze několik sklepů a zahrad a byl zaznamenán odtok ze svažitého terénu v blízkém okolí. Opavice se ze svých břehů sice nevyhlila, ale v Krnově byl krátkodobě překročen 2. SPA. Další, již méně významné srážky (do 20 mm), se vyskytly na povodí Opavice ve dnech 29. května a 2. a 3. června.

Od 28. května do 3. června na povodí Opavice spadlo odhadem v průměru až 150 mm srážek, avšak profilem vodoměrné stanice v Krnově na Opavici oteklo do 10. června jen 37 mm, což je zhruba 25 % srážkové vody.

Jiná velmi významná srážková situace se vyskytla na začátku druhé poloviny září. Na obrázku 3b je znázorněna klouzavá suma srážek za 48 hodin od 16 hodin dne 16. září do 16 hodin 18. září 2016. Během tohoto období bylo naměřeno na stanici Stráž nad Ohří necelých 97 mm srážek a na stanici Měděnec v Krušných horách dokonce téměř 130 mm srážek. Nelze vyloučit, že lokálně mohlo spadnout na východním návětrí Krušných hor i více srážek.

Podobně jako v předchozích srážkových epizodách byl ale vyhodnocen velmi malý odtok ze zasaženého povodí. Průměrná srážka na povodí Bystřice v Ostrově nad Ohří činila něco přes 84 mm, přičemž oteklo pouhých 5 mm. Opět se tedy ukázalo, jak podstatný vliv má na následný odtok předchozí nasycenost území, protože ukazatel předchozího nasycení API_{30} se pohyboval pouze od 2 mm v Podkrusnohoří do 15 mm v Krušných horách.



Obr. 3a,b Rozložení úhrnů srážek za 72 hodin od 31. 5. 2016 08:00 do 3. 6. 2016 08:00 SELČ vlevo a za 48 hodin od 16. 9. 2016 16:00 do 18. 9. 2016 16:00 SELČ vpravo, (c) 2017 CHMI Radar Department.

Vývoj hydrometeorologické situace a významné srážkové epizody v roce 2017

Zimní období 2016–2017 bylo jako celek teplotně normální, zejména díky teplotně silně podnormálnímu lednu. Prosinec 2016 a únor 2017 byly ale teplotně slabě nadnormální a březen 2017 silně nadnormální. Z hlediska sněhových zásob lze hodnotit toto zimní období jako průměrné až nadprůměrné, zejména v lednu a únoru. K výraznému odtávání sněhu však došlo již ve třetí dekádě února. Vzhledem k silnému poklesu zásob podzemní vody během roku 2016, nebyla dotace do podzemních vod v zimním a jarním období dostatečná k tomu, aby se hladiny podzemních vod dostaly na své obvyklé hodnoty v tomto období, a většinou zůstaly až do konce roku 2017 silně podnormální.

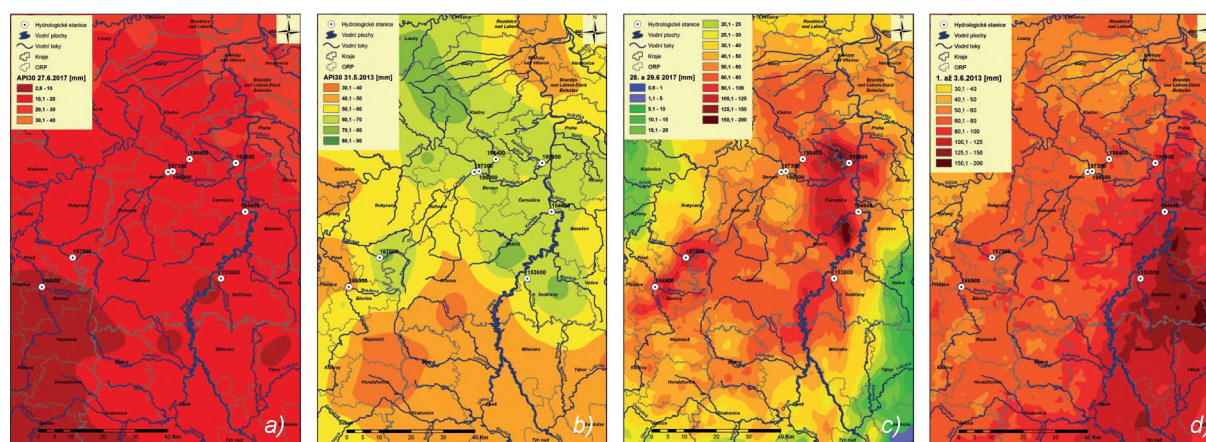
Rok 2017 byl jako celek teplotně nadnormální a srážkově, z pohledu celého území ČR, normální. Ke zmírnění hydrologického sucha došlo až v září a v říjnu v severní polovině území, vlivem vydatných srážek zejména v horských a podhorských oblastech, což se projevilo jak na vzrůstu průtoků, tak i hladin podzemních vod. Naopak k prohloubení hydrologického sucha došlo během roku 2017 na jižní Moravě, zejména v povodí Dyje, kde období od začátku ledna do konce srpna bylo druhé nejsušší od roku 1961.

K nejvýznamnější srážkové události v roce 2017 došlo v ranních a dopoledních hodinách dne 29. 6. 2017, kdy se vyskytly vydatné a velmi intenzivní srážky s úhrny i více než 100 mm za 12 hodin, a to zejména v povodí Radotínského potoka, Kocáby a některých dalších menších přítoků Berounky a Vltavy jižně a jihozápadně od Prahy. Intenzita srážek ojediněle překročila i 40 mm za hodinu. Extrémity srážek byla mimořádná, například doba opakování plošných 24hodinových srážek na povodí Radotínského přesáhla 100 let. Podrobněji o této události referuje článek v Hydrologické ročence 2017 (Pecha, Šercl, 2018).

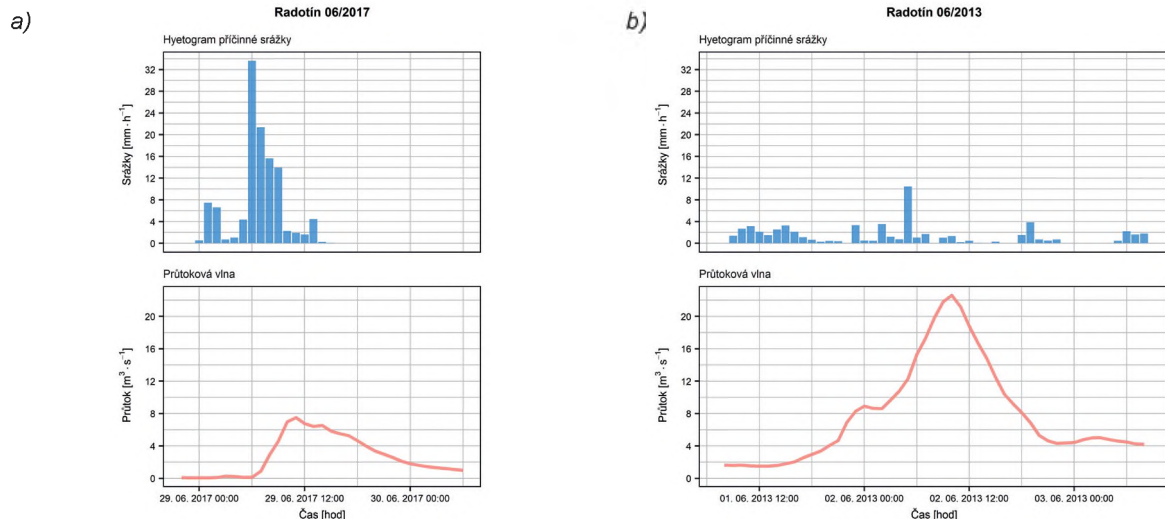
Srážková událost z 29. června 2017 patří z hlediska extremity deště k nejvýznamnějším událostem, které se za dobu pozorování na zasaženém území vyskytly. Přestože intenzita, celkové úhrny i extrémity srážek byly velmi významné, následná odtoková reakce tomu neodpovídala. Na Kocábě ve Štěchovicích byl dosažen pouze 5letý průtok a překročen 2. SPA, na již zmíněném Radotínském potoce v profilu Praha-Radotín se jednalo dle vyhodnocení o 2–5letý průtok. V dalších sledovaných profilech byla extrémity kulminačních průtoků ještě menší. Obecně

Tab. 1 Velikost API_{30} , příčné srážky, odtoku a podílu odtoku na vybraných povodích.

Id	Tok	Profil	Plocha povodí [km ²]	Událost	API_{30} [mm]	Srážky [mm]	Odtok [mm]	Podíl odtoku ze srážek [%]
153800	Brzina	Hrachov	133,24	2013	58,4	124,9	87,7	70
				2017	11,5	65	1,2	2
154600	Kocába	Štěchovice	308,59	2013	65,1	90,3	42,6	47
				2017	13,8	84	5,5	7
197300	Litavka	Beroun	625,49	2013	56,2	71,8	41,9	58
				2017	12,7	54,5	1,5	3
199600	Radotínský p.	Praha-Radotín	68,21	2013	67,9	73,7	34,1	46
				2017	16,5	116,1	5,2	4



Obr. 4a, b, c, d Ukazatel předchozích srážek API_{30} k 31. 5. 2013 a 27. 6. 2017 (vlevo) a rozložení úhrnů srážek za období 1.–3. 6. 2013 a 28.–29. 6. 2017 zpracované s využitím kombinace radarového měření a měření pozemními srážkoměry (vpravo).



Obr. 5a, b Hyetogram průměrných hodinových úhrnů srážek na povodí Radotínského potoka a hydrogram průměrných hodinových průtoků v profilu Praha-Radotín v červnu 2017 (vlevo) a v červnu 2013 (vpravo).

velmi malý byl podíl objemu odtoku vůči objemu spadlých srážek, který na vyhodnocených povodích nepřesáhl 8 %. Důvodem k relativně nevýznamné odtokové odezvě bylo zejména velmi nízké předchozí nasycení půdy (viz obrázek 4 b), do které se drtivá většina srážkové vody vsákla.

Úhrny srážek z 29. června 2017 byly svou velikostí srovnatelné se srážkovými úhrny z 1., resp. 2. června 2013 (obrázky 4 c, d), ale intenzita srážek byla podstatně menší, viz obrázek 5 a, b. Následná odtoková odezva byla velmi výrazná s výskytem kulminačních průtoků s dobou opakování 100 let. Důvodem bylo vysoké až extrémní nasycení půdy (obr. 4 a, tabulka 1).

Vývoj hydrometeorologické situace a významné srážkové epizody v roce 2018

Ani zimní období 2017–2018 dlouhodobě nepříznivou situaci příliš nezměnilo, zima sice trvala (po velmi teplém lednu) až do začátku dubna, ale vlivem teplotně silně nadnormálního dubna většina sněhu z horských poloh velmi rychle již během tohoto měsíce roztála. Navíc už od února byly na našem území podnormální srážky, a tak vzhledem k teplotám už od dubna převažoval, zejména v nižších polohách, výpar. Sucho se tak na většině území začalo opětovně prohlubovat od jarních měsíců. Také rok 2018 byl jako celek teplotně silně nadnormální a srážkově podnormální a z hlediska hydrologického sucha ještě významnější než rok 2015, viz zpráva (Daňhelka, Kubát, 2019).

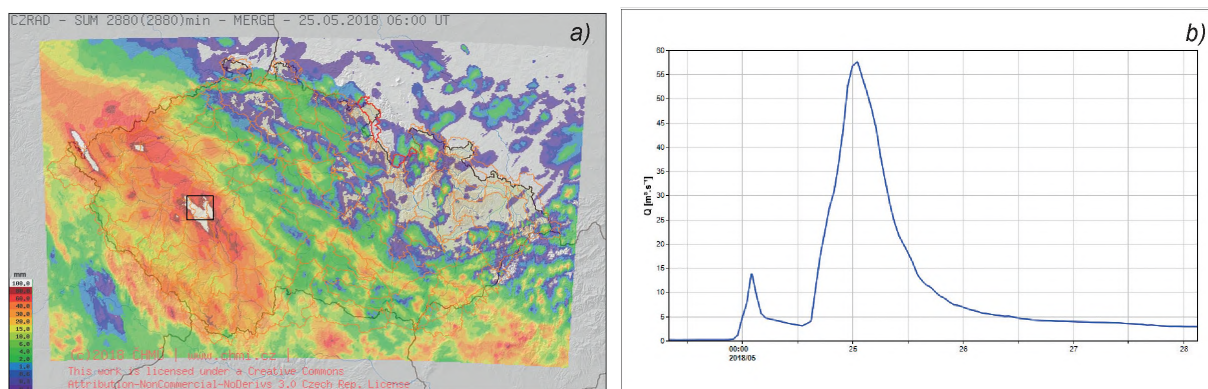
Během roku se vyskytlo opět několik významných srážkových epizod. Podrobněji je zmíněna významná srážkoodtoková událost, která zasáhla Brdy a blízké okolí ve třetí dekádě května (obrázek 6 a, b) a rozebrány jsou také extrémní srážkové situace z 12. června na Šumavě a z období od 17. do 19. července, kdy bylo zasaženo zejména severozápadní návětrí Beskyd, viz obrázek 7 a, b.

Během noci z 23. na 24. května se vyskytly intenzivní srážky v Brdech a jejich okolí, zejména v povodí Litavky. Ve srážkoměrných stanicích bylo naměřeno většinou od 30 do 50 mm, ale dle vyhodnocení radarových odrazů spadlo lokálně za několik hodin 60 až 80 mm. Tyto srážky vyvolaly v povodí Litavky první odtokovou odezvu, která však nebyla nijak významná (podíl odtoku činil zhruba 7 %), ale došlo k nasycení povodí. Již 24. května v odpoledních hodinách ale začalo v povodí Litavky pršet znovu. Zpočátku občasné a později trvalé a vydatné srážky se v tomto povodí vyskytovaly až do brzkých ranních hodin 25. května. Zhruba za 16. hodin napršelo, zejména v horní části povodí Litavky, 40 až 80 mm srážek a lokálně ještě více.

Nasycenost území byla již před první srážkovou epizodou v této oblasti poněkud vyšší než v okolí (10–25 mm), protože se zde již 9. května vyskytly srážky okolo 30 mm. Také v dalších dnech se v této oblasti vyskytovaly srážky občasného charakteru a po první srážkové epizodě 24. května v ranních hodinách se ukazatel API_{30} pohyboval od 40 do 60 mm.

Vzhledem k vyšší nasycenosti povodí byla odtoková odezva po druhé vlně srážek podstatně významnější. Na povodí Litavky, k profilu vodoměrné stanice v Čenkově, spadlo za obě srážkové epizody v průměru 112 mm srážek a podíl odtokové vody činil 24 %. V profilu Čenkov byl překročen 3. SPA s dobou opakování kulminačního průtoků cca 20 let. SPA byly dosaženy i na některých jejích přítocích.

Jen na okraj je nutno zmínit, že zcela chybnou interpretaci příčin výskytu této povodňové situace přinesl článek v místním tisku „Bleskové povodně způsobilo především předchozí dlouhodobé sucho“ (Spáčilová 2018), který se drží některých stávajících teorií, že suchá půda přispívá k většímu odtoku při výskytu intenzivních srážek.



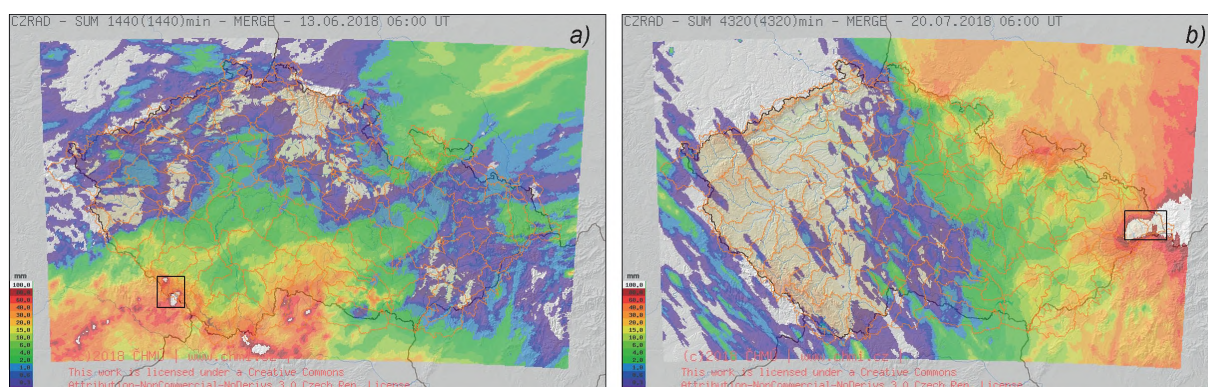
Obr. 6a, b Rozložení úhrnů srážek za 48 hodin od 23. 5. 2018 08:00 do 25. 5. 2018 08:00 SELČ, (c) 2017 CHMI Radar Department (vlevo) a hydrogram průměrných hodinových průtoků v profilu Čenkov-Litavka (vpravo).

Další významná srážkoodtoková událost se vyskytla 12. června 2018. Mezi 16. a 17. hodinou daného dne se nad Šumavou začaly vytvářet bouřky, které o hodinu později zesilovaly a na Plechém již bylo naměřeno za jednu hodinu více než 33 mm srážek. Bouřková jádra byla dlouhou dobu stacionární, což vedlo k velmi vysokým celkovým srážkovým úhrnům. Mezi 18. a 19. hodinou se vytvořily ještě další jádra a na Bučině bylo naměřeno za jednu hodinu i více než 60 mm srážek. Teprve mezi 19. a 20. hodinou začala bouřková jádra slábnout a rozlévat se do šířky a intenzita srážek výrazně poklesla. Přesto bylo naměřeno na Bučině dalších téměř 30 mm srážek a na stanici v Borových Ladech téměř 25 mm. Mezi 20. a 21. hodinou bouřková činnost sice dále slábla, ale i tak se ještě vytvořilo jedno významné bouřkové jádro o něco západněji, tentokrát v povodí Vydry. Jádro srážek přímo nezasáhlo žádnou srážkoměrnou stanici, takže úhrny v centru bouřkového jádra jsou jen velmi orientační. Odhadem spadlo během jedné hodiny přes 50 mm srážek. Srážkoměrná stanice ve Filipově Huti naměřila 14 mm. Také v další hodině intenzivní srážky z tohoto bouřkového jádra pokračovaly, stanice Filipova Huť naměřila téměř 20 mm a v centru jádra se opět mohlo jednat o dalších až 50 mm za hodinu.

Celkově bylo naměřeno na Plechém 82 mm, v Srní 99 mm srážek a na Bučině více než 127 mm. a Na ostatních stanicích v blízkém okolí bylo naměřeno většinou od 30 do 60 mm, přičemž drtivá většina srážek spadla během dvou až tří hodin, viz obrázek 7a.

Nasycenost území předchozími srážkami v oblasti Šumavy byla vyšší než u dříve zmíněných událostí, protože po dobu několika dní před výskytem této extrémní srážkové epizody se nad Šumavou vytvářely lokální přeháňky a bouřky. Den před událostí se navíc vyskytly i trvalejší srážky s úhrnem 10 až 30 mm. Hodnoty API_{30} se pohybovaly v rozmezí od 35 do 65 mm, ale například na Kvildě a v Srní činily 80–90 mm. Podíl odtoku se vzhledem k vyššímu předchozímu nasycení pohyboval v rozmezí 20–30 % a na některých tocích byly dosaženy SPA, konkrétně na Teplé Vltavě v Chlumu 2. SPA a na Otavě v Rejstejně dokonce 3. SPA.

Během července se vyskytla další, co do celkových úhrnů srážek, velmi významná srážková událost, tentokrát na severním a severozápadním návětrí Beskyd. Srážky začaly vypadávat 17. července a nejsilnější byly 18. a 19. července. Nejvydatnější byly na návětrí Moravskoslezských Beskyd, kde bylo naměřeno, konkrétně na Lysé hoře, až 230 mm a i stanice Nýdek-Filipka zaznamenala téměř 200 mm. Srážky se v oblasti Beskyd vyskytovaly i v týdnu před touto událostí. Nasycenost povodí dle API_{30} se pohybovala nejčastěji od 10 do 30 mm a na horských stanicích ojediněle až okolo 40 mm, viz obr 7 b.



Obr. 7 a, b Rozložení úhrnů srážek za 24 hodin od 12. 6. 2018 08:00 do 13. 6. 2018 08:00 SELČ (vlevo) a za 72 hodin od 17. 7. 2018 08:00 do 20. 7. 2018 08:00 SELČ (vpravo), (c) 2017 CHMI Radar Department.

Tab. 2 Velikost API_{30} , příčinné srážky, odtoku a podílu odtoku na vybraných povodích.

Lokalita	Datum	API_{30} [mm]	Srážky na povodí [mm]	Odtok [mm]	Podíl odtoku ze srážek [%]
střední Čechy	1.–2. 6. 2013	50–70	65–100	25–88	40–70
ČR	16.–19. 8. 2015	2–25	75–105	2–5	2–6
Jizerské hory	5.–6. 9. 2015	15–35	40–60	2–4	3–6
Krnovsko	5/31/2016	2–15	150	37	25
Krušné hory	16.–18. 9. 2016	2–15	84	5	6
střední Čechy	6/29/2017	8–16	50–100	1–6	2–8
Příbramsko	23.–24. 5. 2018	10–25	112	27	24
Šumava	6/12/2018	35–65 (80–90)	50–80	10–25	20–30
Beskydy	17.–19. 7. 2018	10–40	100–175	30–110	25–60

Následná odtoková odezva nebyla sice z hlediska dosažení stupňů povodňové aktivity výrazná (pouze na Ropičance byl dosažen 2. SPA), ale zvětšené průtoky setrvávaly ve vodních tocích po dobu několika dní po události. Dominantní složku odtoku tvořil zřejmě podpovrchový svahový odtok. Podíl odtoku ze srážek na jednotlivých povodích se velmi lišil a pohyboval se od 25 do 60 %, na povodí Ropičanky i více, ale odhad výšky spadlých srážek byl na tomto malém povodí značně nejistý.

Shrnutí

Výsledky z hodnocených srážkoodtokových událostí obsahuje následující přehledná tabulka 2, kde je pro každou ze srážkových epizod uvedeno datum události, předchozí nasycení povodí v mm (API_{30}), rozpětí srážkových úhrnů a podíl odtokové vody z vybraných povodí.

Z tabulky je zřejmé, že vliv předchozího nasycení území, vyjádřeném zde hodnotou ukazatele předchozích srážek API_{30} , na následnou odtokovou odezvu je značný, a je dominantní i v horských oblastech.

Závěr

Období let 2014–2018 se vyznačovalo převážně nadnormální teplotou vzduchu a převážně podnormálními srážkami, což mělo za následek postupné prohlubování hydrologického sucha v povrchových i podzemních vodách na většině území České republiky, a to včetně horských oblastí. Během tohoto období se vyskytlo několik významných srážkových epizod, což mimo jiné umožnilo posoudit, jak vyschlá půda dokáže absorbovat srážkovou vodu. Znovu zde připomínáme, že v médiích můžeme velmi často slyšet tvrzení typu, že „suchá půda nebere vodu“.

Při rozboru vybraných srážkových epizod se tato tvrzení neprokázala. Naopak se jednoznačně ukázalo, že předchozí nasycení území hraje naprosto zásadní roli při formování přímého odtoku, a to i za situace vydatných a zároveň intenzivních srážek. Nasycení půdy v období 2015–2018 bylo převážně velmi malé a za této situace podíl odtokové vody obvykle nepřesahoval 10 %. Podíl odtoku byl vyšší pouze tehdy, pokud se v krátké době za sebou vyskytlo několik srážkových epizod. Významnější povodně, s dobou opakování více než 5 let, se až na řídce výjimky prakticky nevyskytly. Oproti tomu na začátku června 2013 bylo nasycení půdy extrémní, takže odtoky při srovnatelných srážkových úhrnech byly až několiknásobně větší a výsledkem byly katastrofální povodně s dobou opakování i více než 100 let.

Literatura:

- DAŇHELKA, J., a kol. 2015. Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015 (kompletní zpráva). Praha, ČHMÚ, MŽP, 204 s. [online]. [cit. 11. 3. 2019]. Dostupné z [www: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/zpravy/Sucho_2015_kompletni_zprava.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/zpravy/Sucho_2015_kompletni_zprava.pdf).
- DAŇHELKA, J., KUBÁT, J., 2019. Sucho v roce 2018 (předběžné hodnocení). Praha, ČHMÚ, 85 s. [online]. [cit. 11. 3. 2019]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2019/Predbezna_zprava_o_suchu_2018.pdf.
- KUBA, F., 2016. Žáry: za hodinu napršelo víc než za celý měsíc. [online]. [cit. 11. 3. 2019]. Dostupné z [www: https://bruntalsky.denik.cz/zpravy_region/zary-za-hodinu-naprshelo-vic-nez-za-cely-mesic-20160604.html](https://bruntalsky.denik.cz/zpravy_region/zary-za-hodinu-naprshelo-vic-nez-za-cely-mesic-20160604.html).
- PECHA, M., ŠERCL, P., 2018. Přívalové srážky 29. června 2017. Hydrologická ročenka České republiky 2017, Praha, s. 169–174. ISBN 978-80-87577-86-8. [online]. [cit. 11. 3. 2019]. Dostupné z: <http://voda.chmi.cz/hr17/pdf/kap5.pdf>.
- SPÁČILOVÁ, Š., 2018. Bleskové povodně na Příbramsku 26. 5. 2018. [online]. [cit. 11. 3. 2019]. Dostupné z [www: https://pribramsky.denik.cz/zpravy_region/bleskove-povodne-zpusobilo-predevsim-predchozi-dlouhodobe-sucho-20180526.html](https://pribramsky.denik.cz/zpravy_region/bleskove-povodne-zpusobilo-predevsim-predchozi-dlouhodobe-sucho-20180526.html).

Západní Šumava, její typické povodně a jejich příčiny

LIBOR ELLEDER¹, TOMÁŠ VLASÁK², JOLANA ŠÍROVÁ³

¹ Český hydrometeorologický ústav, Praha, libor.elleder@chmi.cz, ² Český hydrometeorologický ústav, pobočka České Budějovice, tomas.vlasak@chmi.cz, ³ Český hydrometeorologický ústav, Praha, jolana.sirova@chmi.cz

Úvod

Konference věnovaná Šumavě je příležitostí prezentovat i některé starší hydrologické práce dotýkající se Šumavy. Připomeneme disertační práce hydrologa pobočky CHMU v Českých Budějovicích T. Vlasáka (Vlasák, 2008), jejímž cílem byl přehledný archiv povodní sloužící k typizaci druhů povodní a příčinných povětrnostních situací pro období 1890–2008. Autor navrhl automatizovaný systém vyhledání analogu, u nějž lze očekávat podobnou odtokovou odezvu, případně poslouží při předpovědi povodně jako rychlá a užitečná informace. Druhá studie vznikla ve spolupráci Muzea Šumavy v Sušici (PhDr. Lhoták) a centrálního předpovědního pracoviště (CPP) v Praze. Byla věnována povodním v před instrumentálním (1432–1875), ranně instrumentálním (1875–1890) a zčásti instrumentálním období hydrologie (1890–1900). Smyslem bylo shromáždit co nejúplnější soubor dokumentárních zdrojů a provést jejich interpretaci a zhodnocení, a to z hlediska významnosti i sezonality povodní. Třetí, zatím nepublikovaná studie se dotýká výskytu sucha, přívalových povodní a jiných extrémů v Čechách, a také na Šumavě v letech 1861 až 1875 a jejich vlivu na vznik hydrografické komise království Českého. Studie není publikována (v recenzním řízení), proto se soustředíme pouze na zprávy o povodních.

Metodika

Ve studii (Elleder, Lhoták 2013) bylo pro období mezi lety 1432 a 1900 doloženo 45 případů povodní v Sušici (z celkových 133 případů v celém povodí Otavy). Ty byly tříděny pro odlišení sezonality podle navrženého systému (Elleder 2016) v tab. 1. Rok je zde rozdělen na 11 období, z toho 6 letních (S) a 5 zimních (W). U letních povodní jsme pak dále rozlišovali regionální a přívalové povodně.

Aby bylo možné odlišit významnost jednotlivých povodní, byla nutná znalost současného i historického místopisu, kde jsme měli podporu zejména u PhDr. Lhotáka z muzea v Sušici. Jednotlivé povodně jsme mohli začlenit do kategorií 1–3, resp. 4, pro zcela mimořádnou událost (tab. 2). Absolutní výška některých povodní mohla být stanovena např. podle zatopení náměstí či kostela v Sušici, u starších povodní zejména podle škod.

Při vyhledávání povodňového analogu pro povodně v letech 1890–2008 použil Vlasák (2008) především následující ukazatele:

- Pořadové číslo dne v kalendářním roce
- Srážkové úhrny a rozložení srážek jeden či dva dny před povodní
- Ukazatel předchozích srážek (UPS resp. API)
- Průměrný průtok den před povodní.

K tomu je příslušná databáze povodní (1890–2008) v profilech: Sušice, Heřmaň, Katovice, Písek. Události jsou vybrány podle kritéria pro kulminační průtok při dosažení či překročení Q_1 v Písku. Každá událost má svůj list se stručným popisem a průběhem vybraných meteorologických a hydrologických, případně jejich rozložením (srážkový

Tab. 1 Období pro vyjádření sezonality povodní.

Typ	Období	Popis typu
W_{DE}	15. 12.–10. 1.	Období "vánočních" oblev,
W_{JF}	10. 1.–9. 2.	Obleva na přelomu leden/ únor
W_{F2}	10. 2.–9. 3.	Období kolem „sv. Matěje“
W_{M2}	10. 3.–5. 4.	Konec velmi dlouhých zim
W_{AP}	6. 4.–25. 4.	Přechodné období
S_{MA}	26. 4.–9. 6.	Období „časného“ léta
S_{JU}	10. 6.–10. 7.	„Medardovské“ povodně
S_{JL}	10. 7.–5. 8.	„Post medardovské“ období
S_{AS}	5. 8.–20. 9.	Pozdní léto
S_L	10. 9.–10. 11.	Přechod léto–podzim
SW_{NO}	11. 11.–14. 12.	Přechod: letní, ale i zimní

Tab. 2 Užitá škála pro klasifikaci velkých vod (Sturm et al. 2001, Brázdil et al. 2006b). Pozn. Yf= *extremita povodně*.

Yf	Popis	Extremita
1	nižší povodeň (došlo k vybřežení a dochází k mírným škodám zejména na loukách a polích)	$> Q_{10}$
2	odpovídá významné povodni, kdy již dochází ke škodám na budovách	$> Q_{50}$
3	dochází k velkým škodám na budovách, stržení mostů aj.	Q_{50} , až Q_{100}
4	vyhrazen zcela mimořádné povodni na úrovni vymykající se srovnání	$> Q_{100}$

Tab. 3 Přehled povodní v Sušici na Otavě v letech 1432–1900 z hlediska jejich sezonality. Roky zimních povodní (modře), letních (červeně) a příválových (menší kursiva), šedě povodně s nejvyšší extremitou (3,4) a běžově (2). Sumace povodní: celkem/ (jen kategorie 3, 4). Povodně ve 20. století jsou vybrány nad průtokem Q_5 .

Typ Datum	W_{NO+DE} 11.11.–10.1.	W_{JF} 10.1.–9.2.	W_{F2} 10.2.–9.3.	W_{M2+AP} 10.3.–25.4.	S_{MA+JU} 26.4.–9.7.	S_{JL} 10.7.–5.8.	S_{as} 5.8.–20.9.	S_L 10.9.–10.11.
15. století	–	–	–	–	–		–	–
16. století	1559	–			1515	1572	1501	
					1582			
					1599			
17. století	1610		1655?			1626		
	1664							
18. století	1740		1718		1767			
	1779		1784		1783			
	1783		1799					
19. století	1869	1832	1810	1845	1829	1858	1888	1833
	1875	1834	1827		1854	1883	1890	
	1882	1862	1830		1856	1897	1899	
	1885		1876		1869			
	1890		1881		1875			
			1885		1876			
20. století	1993		2008	2009	1940	1980	2002	
	1998				1954			
	2003				2006			
	2015							
suma	16/4	3/0	11/1	2/0	6/0	6/0	5/1	1/0

úhrn). Jsou tak dostupné informace pro den povodně a předchozí 3 dny (synoptická situace, tlakové pole), resp. 5 dnů (synoptická typizace, rychlost a směr větru, průměrná denní teplota vzduchu, prostorová rozložení srážek) ve stanicích Churáňov, Strakonice a průběh odtoku ve výše zmíněných stanicích. Navíc je tu i rozložení příčinné dvoudenní srážky a schematicky oblast jádra srážek. Tento archiv tak nabízí užitečnou možnost intuitivního hledání jako alternativu k automatizovanému systému vyhledávání analogonů.

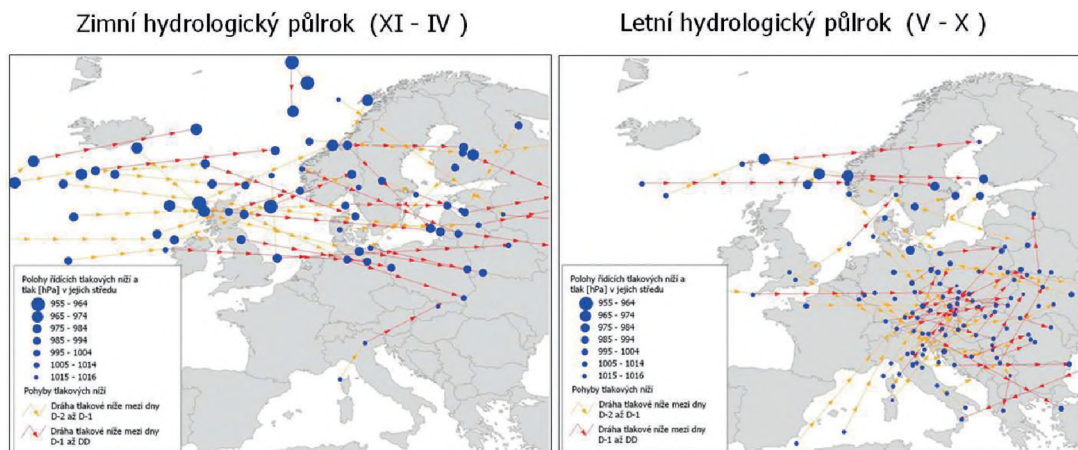
Pro zpracování celkového přehledu povodní horní Otavy jsme pak užili spojení souborů:

- Elleder, Lhoták (2013) pro roky 1432 až 1900,
- Vlasák (2008) pro roky 1890–2008,
- doplnění pro roky 2018–2019 podle databáze a podle povodňových zpráv dostupných na portálu ČHMU (Portál ČHMU-Povodňové zprávy).

Výsledky

Z doložených 45 případů významných povodní horní Otavy (ač některé jsou zatím doloženy nepřímo jako zimní povodeň 1655) jsou podle tab. 3 nejčastější typy WNO a WDE (celkem 16 případů, 4 extrémní), tedy povodně v období časně zimy. Příčinou bývalo předcházející silné sněžení, vrstva nového sněhu, později vpád teplého vzduchu, vydatný déšť, silný vítr a pravděpodobně vysoká vlhkost vzduchu. Typický je příklad r. 1740, kdy tání bylo urychleno vichřicí z 20. prosince (Elleder, Lhoták 2013, Brázdil et al., 2017). Tato událost je zatím známější rozsáhlou větrnou kalamitou, která decimovala i šumavské lesy. Jedna z nejvýznamnějších sušických povodní, z 23. listopadu 1890, měla podobný scénář: „následkem bouře, která strašlivě burácela v pohoří Šumavském – hrom tloukl – silné proudy deště se lily, tak že se to podobalo průtrži mračen, liják strhl s sebou čerstvě napadlý sníh, kterého místem leželo až 1 metr vysoko“ (Elleder, Lhoták, 2013). V Sušici jsou doloženy i významné povodně po velmi tuhých zimách v letech 1784, 1830 a 1845. Tyto tři roky se u nás řadí mezi nejtužší zimy vůbec (Munzar, Kakos, 2000).

Specifické byly i povodně roku 1882, 1885 a 1888, které vedly někdy k extrémnímu lokálnímu vzestupu hladin ovšem zčásti následkem ledové dřenice.



Obr. 1 Dráhy středu tlakových níží u povodní v zimní/letním hydrologickém půlroce (Vlasák, 2008).

Na druhém místě (celkem 11 případů, 1 extrémní) jsou povodně typu W_{F_2} (konec února až začátek března). Časnější lednové povodně W_{JF} (3 případy) i pozdní případy W_{M_2+AP} (2 případy) na konci března a v dubnu jsou méně četné. Celkem je tedy doloženo 32 případů zimních povodní z toho 6 extrémních.

Oblast Pošumaví trpěla i lokálními přívaly na přítocích horní Otavy, které připadají většinou na měsíc červen (8 případů). Na horní Otavě jsou poněkud méně četné významné letní povodně způsobené několikaenními dešti. Jejich počet je pro typy S_{MA+JU} (6 případů), S_{as} (4 případy) a S_{JL} (3 případy) výrazně nižší, jedná se o celkem 12 případů a jeden typ z pozdního léta, tedy 13 událostí. Z nich extrémní byla jen povodeň r. 1501 (doložena pro okolí Rabí). Tyto situace jsou totiž nebezpečnější pro povodí Blanice a dolní část povodí Otavy. V Písku patří mezi nejvýznamnější povodně v červenci 1432, srpnu 1501 a 1598 (nejisté), září 1890 a 1899 a srpnu 2002. Podobně jsou ale v Písku doloženy velké i zimní povodně v únoru 1655 a 1784 a únorový ledochod 1768. Sezonalita povodní je v Písku prostě mnohem bližší sezonalitě povodní typické pro dolní Vltavu v Praze. Má dva rovnocenné vrcholy četnosti: zimní a letní (Elleder 2016). Příčinné situace, jak potvrzují i dráhy řídicích tlakových níží (obr. 1) v zimním a letním období se odlišují v oblasti Šumavy podstatně.

Závěr

V povodí horní Otavy byly zaznamenávány nejvýznamnější povodňové situace v listopadu a prosinci. Jako rizikové je toto období potvrzeno spolehlivě daty získanými za uplynulých pět století, a to jako v období LIA, tak po jeho skončení po r. 1850. Na druhém místě je období druhé a třetí dekadý února a první dekadý března. Tím se tato oblast výrazně odlišuje jak od povodí dolní Otavy, tak patrně od většiny dalších oblastí u nás.

Literatura:

- Portál CHMU. Povodňové zprávy [online]. [cit. 11. 3. 2019]. Dostupné z [www: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/povodnove_zpravy.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/povodnove_zpravy.html).
- BRÁZDIL, R., KUNDZEWICZ, Z. W., BENITO, G., 2006. Historical hydrology for studying flood risk in Europe. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. **51**, s. 739–763.
- BRÁZDIL, R., SZABÓ, P., DOBROVOLNÝ, P., ŘEZNÍČKOVÁ, L., KOTYZA, O., SUCHÁNKOVÁ, S., VALÁŠEK, H. 2017. Windstorm of the eighteenth century in the Czech Lands: course, extent, impacts. *Theoretical and Applied Climatology*. Roč. **129**, 1–2, s. 623–632. ISSN 0177-798X.
- ELLEDER, L., LHOTÁK, J., ŠÍROVÁ, J., DRAGON, Z. 2014. Historické povodně na Otavě v letech 1432 až 1900 a jejich dokumentární zdroje, Vlastivědný sborník Šumavy, VIII, s. 183–326.
- ELLEDER, L., 2016. Proxydata v hydrologii. Řada pražských průtokových kulminací 1118–1825, ČHMÚ Praha, 103 s. ISBN 978-80-87577-44-8.
- MUNZAR, J., KAKOS, V., 2000. Floods in Central Europe after the exceedingly severe winter season 1829/1830. *Moravian Geographical Reports*, Vol. **8**, s. 45–57.
- STURM, K., GLASER, R., JACOBET, J., DEUTSCH, M., BRÁZDIL, R., PFISTER, C., LUTERBACHER, J., WANNER, H., 2001. Hochwasser in Mitteleuropa seit 1500 und ihre Beziehung zur atmosphärischen Zirkulation. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, Vol. **145**, s. 14–23.
- VLASÁK, T. 2008. Návrh databanky povodní Otavy a její využití v protipovodňové ochraně, Praha 2008. Disertační práce, katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy.

Využití meteorologických dat v hydrologickém modelování na příkladu malého povodí horní Vydry

LUKÁŠ VLČEK¹, VÁCLAV ŠÍPEK²

¹ Ústav pro hydrodynamiku, AV ČR, v. v. i. Praha a Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha, vlcek@jh.cas.cz, ² Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha

Úvod

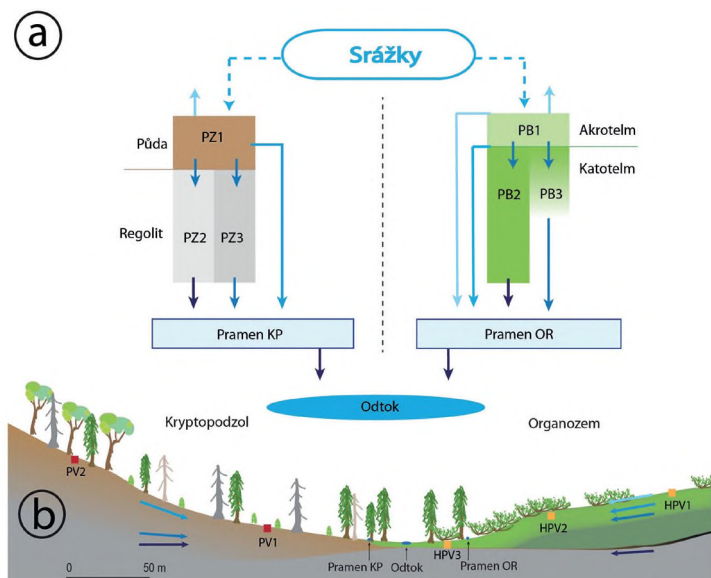
Pramenné oblasti vodních toků představují z důvodu zvýšených srážkových úhrnů zdrojová území formování odtoku. Tyto oblasti mohou být velmi heterogenní z hlediska řady fyzikogeografických aspektů. Pramenná oblast Vydry je tvořena poměrně homogenními, dobře vyvinutými, údolími s drobnými vodními toky. Z pohledu půd, které jsou jedním z hlavních faktorů tvorby odtoku z povodí, jsou zdejší povodí kryta dvěma dominantními půdními typy – kryptopodzol a organozem (rašelina). V podobných oblastech je proto klíčové se věnovat mimo jiné vlivu těchto půd na hydrologický režim zdejší krajiny a na tvorbu odtoku. Řada studií ohledně vrchovišť (rašelinišť) poukazovala na jejich významný vliv na hydrologické poměry v krajině. Jejich plošné zastoupení je v šumavských povodích značně variabilní – od nepatrných ploch až po majoritní zastoupení s ohledem na velikost zájmového území. V pramenné oblasti Vydry se jejich podíl na celkové rozloze pohybuje v průměru mezi 20–30 % (Buřková 2013; rašelinná ložiska databáze VÚMOP). Hydrologickou funkcí rašelinišť se ve světě i doma zabývala řada autorů. Jejich práce se ale zaměřují převážně na čistě rašeliništní plochy. Naproti tomu bylo v oblasti Otavy provedeno několik studií, které hydrologický význam rašelinišť zkoumaly z širšího pohledu, resp. na větším území (Ferda, 1971; Janský, 2008). Tyto práce ale mimo hlavní závěry v jisté míře poukázali na nedostatek informací o vlastnostech a stavu zájmového území, které jsou nezbytné pro hodnocení vodního režimu (například režim půdní a podzemní vody nebo výpar).

Tento příspěvek se zabývá hodnocením malého výzkumného povodí tvořeným dvěma dominantními půdními typy pramenné oblasti Vydry. Díky tomu lze lépe studovat jednotlivé aspekty formování odtoku v této oblasti. Hydrometeorologická měření jsou doplněna hydrologickým modelem ve snaze odhadnout míru zapojení různých složek povrchového a podpovrchového proudění a jeho vliv na odtokový proces.

Metodika

Popis povodí

Zájmová lokalita se nachází v západní části povodí Vydry a je součástí pramenné části potoku Rokytka. Plocha povodí činí cca 0,6 km². Nadmořská výška se pohybuje přibližně v rozmezí 1 100 až 1 200 m n. m. Povodí je i přes svoji horskou polohu poměrně ploché. Průměrný sklon svahů dosahuje pouhých 4°. Povodí pokrývá z 60 % organozem v různých formách, zbylých 40 % je tvořeno převážně kryptopodzolem. Jen malé plochy jsou pak pokryty méně vyvinutými půdami např. rankery. V rašeliništní vegetaci lze jasně vymezit vrchoviště horského typu, které je obklopeno podmačenými smrčínami a minerotrofními ostřicovými rašeliništi. V centrální části těchto vrchovišť jsou zachované přirozeně nelesní partie. Při okraji rašelinišť se nachází menší plochy rašelinných a podmačených smrčín (Buřková 2009). Zbylou lesní vegetaci tvoří hlavně smrkový les s příměsí jedle a buku. V současnosti dominuje tzv. „mrtvý“ les, který se pomalu zaplňuje převážně smrkovým náletem a travinami.



Obr. 1 Převládající směry proudění v odtokovém procesu v povodí; **a)** schéma toku vody; PZ/PB – složky půdního systému z hydrologického pohledu: PZ1 – půda, PZ2 – regolit (zvětralina) s dominantním preferenčním prouděním, PZ3 – regolit (zvětralina) s dominantní pomalou redistribucí vody, PB1 – vrchní vrstva organozemí do cca 70 cm, PB2 – katotelm s pomalou redistribucí vody do toku, PB3 – katotelm s preferenčním prouděním; **b)** příčný profil zájmovým povodím: PV – místo měření tlaku půdní vody; HVP – místo měření podzemní vody ve vrchovišti; šipky naznačují odhadnutý směr proudění vody do toku.

Vstupní data

Hydrologická / pedologická data byla získána přímým měřením v terénu v průběhu 5 hydrologických let (2013 až 2017). Jde o data půdní vlhkosti odvozené z retenčních křivek a z měření potenciálu půdní vody ve dvou hloubkách (20 a 60 cm) na dvou lokalitách (PV1, PV2, obr.1), hladiny podzemní vody na 5 místech ve vrchovišti: 1x HPV1 v horní části vrchoviště, 2x HPV2 ve střední části, 2x HPV3 v dolní části vrchoviště, resp. v podmáčené smrčtině. Vodní stav byl měřen automaticky v závěrovém profilu (Odtok, obr. 1) a také manuálně jediných dvou pramenů (pramen KP a OR na obr. 1). Teploty a vlhkosti vzduchu byly měřeny cca 300 m od povodí automatickými stanicemi. Rychlost větru a sluneční radiace musely být převzaty ze stanice na Modravě (cca 8 km). Veškeré zde zmíněné stanice provozuje Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. Odhad dominantního směru proudění vychází z klasifikace hydrologických skupin půd (Boorman 1995) a klasifikace dominantního směru proudění (Scherrer 2003).

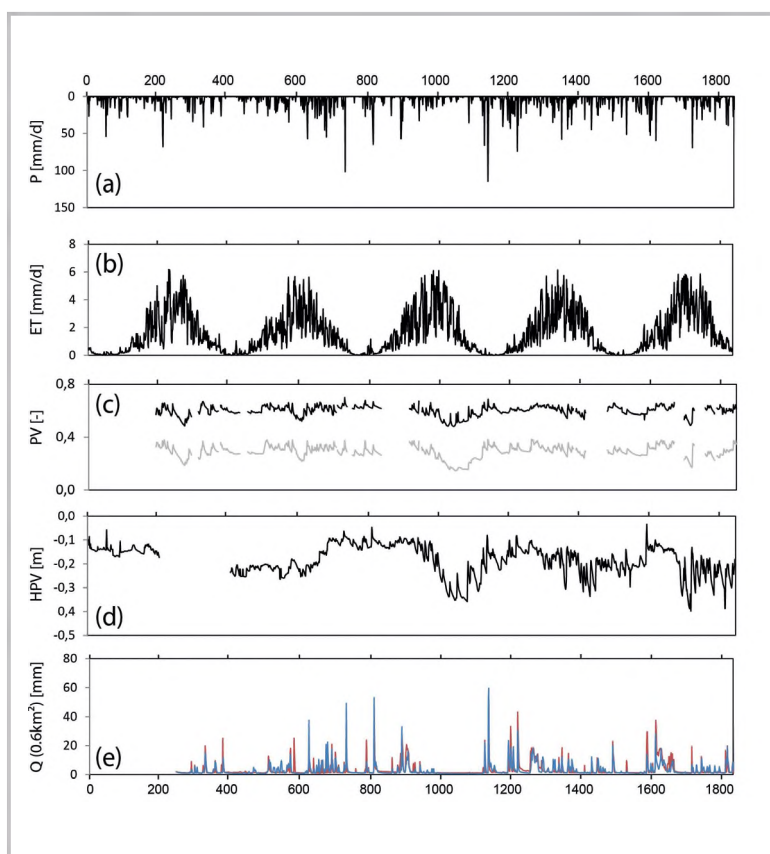
Odhad množství srážek

Z hlediska modelového zpracování režimu odtoku bylo nutné upravit pozorované řady srážek. V zájmovém období (2014–2017) byl pozorován průměrný roční srážkový úhrn o velikosti $1\,081\text{ mm.rok}^{-1}$ a odtok byl roven $1\,257\text{ mm.rok}^{-1}$. Odtokový koeficient se tedy rovnal 116 %. Vzhledem k hydrogeologické situaci nelze předpokládat dotaci odtoku z hlubších zvodní a je tedy pravděpodobné, že srážkové úhrny jsou značně podhodnoceny. Starostová (2012) udává pro Rokytskou slať průměrný roční úhrn srážek rovný $1\,695\text{ mm.rok}^{-1}$. Jedná se o měření z totalizátoru umístěném na okraji povodí za referenční období 1981–2010. Při porovnání tohoto referenčního období se zájmovým obdobím 2014–2017 ze stanic Churáňov (ČHMÚ) a Liz (ÚH AV ČR) se průměrné roční srážkové úhrny rovnaly 88 % úhrnů z let 1981–2010. Na podkladě tohoto poměru byly srážkové řady na povodí Rokytky zvýšeny tak, aby se průměrný roční srážkový úhrn rovnal $1\,488\text{ mm}$ (88 % procentům dlouhodobého průměru získaného z totalizátoru).

Popis modelu

Pro modelování odtoku z území byl použit modifikovaný konceptuální model HBV (Bergström 1992). Koncept modelu odpovídá dvěma odlišným částem povodí – rašeliniště a minerální půda. Každá ze dvou částí povodí je reprezentována vlastní strukturou modelu, které se odlišují zejména v dynamice odezvy na srážkovou událost (obr. 1). Svah pokrytý minerální půdou, je v modelu reprezentován třemi výpočetními doménami (nádržemi), kdy jedna představuje svrchní část půdního profilu (do hloubky 70 cm) a dvě zbývající proudění vody v hlubších horizontech (rychlou a pomalou odezvu). Hlubší nádrže jsou plněny ze srážek ve chvíli, kdy půda je dostatečně nasycená vodou. Pomalá odezva třetí nádrže je kromě výtokového koeficientu dána i zpožděním, které způsobuje rovnoměrnější rozložení přítoku do nádrže v čase. Odtok se tvoří ze všech tří domén a je buď lineárně, nebo exponenciálně závislý na naplnění jednotlivých nádrží.

Druhá část modelu (reprezentující rašeliniště) se skládá také ze tří výpočetních domén. Jedna z nich představuje svrchní část rašeliny ovlivněnou evapotranspirací a tvořící rychlou odtokovou odezvu (akrotelm), druhá spodní část rašeliniště s pomalým a stabilním odtokem (katotelm) a třetí je nádrž reprezentující rychlý odtok preferenčními cestami z rašeliniště



Obr. 2 Vstupové hodnoty a simulace odtoku z povodí. a) odhad srážek po přepočtu uvedený v metodice; b) potenciální evapotranspirace; c) půdní vlhkost v hloubce 20 cm (černá) a 60 cm (šedá); d) průměr hladin podzemní vody z 5 stanovišť; e) měřená odtoková výška (modře) a simulovaná odtoková výška (červeně).

přímo do vodního toku. Z akrotelmu se odtok tvoří dvojím způsobem – povrchově v případě plného nasycení rašeliniště a podpovrchově při překročení určité retenční kapacity. Pro obě části povodí je společný výpočet referenční evapotranspirace (rovnice Penman-Monteith), která je krácena na evapotranspiraci aktuální na základě dostupnosti vody ve svrchní části půdy nebo akrotelmu.

Výsledky

Vstupové hodnoty spolu s výslednou simulací jsou zobrazeny v obr. 1. Celková chyba simulovaného průtoku se v průměru 5ti let pohybovala kolem 4 %. Celková vodní bilance povodí byla slabě záporná, což odpovídá 3 suchým rokům v době měření. Největší odchylky měřeného průtoku od simulovaného vycházeli na konci zimního období, respektive během tání sněhové pokrývky (například kolem dne 1 600). Simulace také odhadla zvýšený odtok během několika srážkových událostí, kdy byl měřený průtok navýšen jen lehce (například den 590). Zde se zřejmě jednalo o srážku, která postihla jen část povodí v místě se srážkoměrem.

Závěr

Pomocí hydrologického modelu došlo k uspokojivé reprezentaci srážko-odtokového procesu v povodí, režimu půdní vody i kolísání podzemní vody ve svrchní části rašeliniště. Celkově je větší množství odtoku z povodí generováno z rašelinné části a to zejména díky nižší evapotranspiraci rašeliniště oproti minerální půdě. V suchých periodách naopak většina odtoku pochází z minerální půdy a rašeliniště se na odtoku podílí jen pomalým výtokem ze spodní, trvale nasycené zóny (katotelmu).

Poděkování:

Autoři příspěvku děkují Katedře fyzické geografie PřF UK za poskytnutí dat.

Literatura:

- BUFKOVÁ, 2013. Šumavská rašeliniště a jejich ochrana, Živa, 5, Academia, 220–222.
- FERDA, J., HLADNÝ, J., BUBENÍČKOVÁ, L., PEŠEK, J., 1971. Odtokový režim a chemismus vod v povodí Horní Otavy se zaměřením na výskyt rašelinišť. Sborník prací HMÚ, sv. 17. HMÚ, Praha, s. 22–126.
- JANSKÝ, B., KOCUM, J., 2008. Peat bogs influence on runoff process: case study of the Vydra and Křemelná River basins in the Šumava Mountains, southwestern Czechia. Geografie. Sborník ČGS, Praha, 113, 4, pp. 383–399. ISSN 1212-0014.
- SCHERRER, S. and NAEF, F., 2003. A decision scheme to indicate dominant hydrological flow processes on temperate grassland, Hydrol. Process., 17(2), 391–401, doi:10.1002/hyp.1131.
- BOORMAN, D. B., HOLLIS, J. M., LILLY, A., 1995. Hydrology of soil types: a hydrologically-based classification of the soils of the United Kingdom, Institute of Hydrology report No. 126.
- BERGSTRÖM, S., 1992. The HBV Model: Its Structure and Applications. Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), Hydrology, Norrköping, 35 s.
- STAROSTOVÁ, M., 2012. Měření srážek totalizátory na Šumavě. *Meteorologické zprávy*, roč. 65, č. 6, s. 180–183. ISSN 0026-1173.

Kvalita ovzduší na Šumavě a jiných horských lokalitách

VLADIMÍRA VOLNÁ¹, MAREK HLADÍK²

¹ Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ostrava, vladimira.volna@chmi.cz, ² Český hydrometeorologický ústav, pobočka Plzeň, marek.hladik@chmi.cz

Úvod

Cílem příspěvku je zabývat se kvalitou ovzduší odlehlých pozadových lokalit v horských oblastech se zaměřením na oblast Šumavy. Oblast Šumavy je z hlediska kvality ovzduší řazena mezi nejčistší části České republiky. Přestože koncentrace znečišťujících látek, např. suspendovaných částic PM₁₀, oxidu siřičitého a oxidů dusíku, se pohybují v nízkých hodnotách a nedochází k překračování platných imisních limitů, u koncentrací přízemního ozonu je tomu jinak. Stanice na Churáňově je v současné době jedinou lokalitou měřící znečištění ovzduší na Šumavě.

Stanice Churáňov

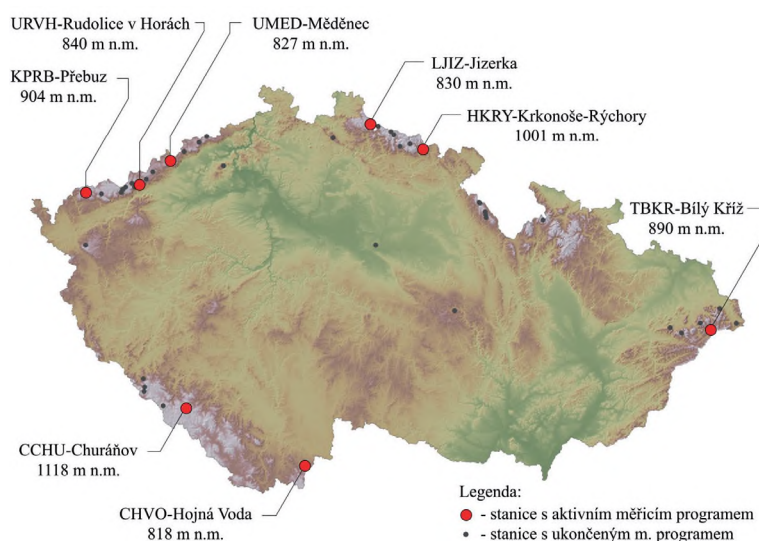
Nejbližší měřicí lokalitou kvality ovzduší, od místa konání této konference na Horské Kvildě, je ve vzdálenosti zhruba 4,2 km stanice CCHU-Churáňov¹ (obr. 2). Zároveň je Churáňov s nadmořskou výškou 1 118 m n. m. aktuálně nejvýše položenou stanicí ČHMÚ s měřením znečištění ovzduší v České republice. Kontejner s automatickými analyzátory kvality ovzduší je umístěn v areálu profesionální meteorologické stanice, asi 20 m severovýchodně od budovy.

Stanice Churáňov je součástí Státní sítě imisního monitoringu (SSIM) a provozuje ji Český hydrometeorologický ústav (dále jen ČHMÚ). ČHMÚ je autorizován k měření imisí znečišťujících látek Ministerstvem životního prostředí ČR dle osvědčení o autorizaci k měření imisí č. j. 45629/ENV/14 ze dne 20. srpna 2014. Měření probíhají v souladu s pravidly Imisního monitoringu ČHMÚ, který je zkušební laboratoří č. 1460 akreditovanou ČIA, o. p. s. pro zkoušky a odběry uvedené v Příloze Osvědčení o akreditaci (viz www.cai.cz v sekci Akreditované subjekty). Verifikovaná data jsou uložena v Informačním systému kvality ovzduší České republiky (ISKO), který provozuje ČHMÚ na základě pověření Ministerstva životního prostředí.

Měřené škodliviny a metody měření

Stanice kvality ovzduší na Churáňově vznikla v roce 1988 a první měřenou škodlivinou v manuálním programu byl oxid siřičitý (SO₂). 24hodinové koncentrace SO₂ se tehdy až do roku 1994 vyhodnocovaly metodou thorinové spektrofotometrie. Nasátý vzduch procházel přes filtr pro zachycení částic síranů a přes další filtr impregnovaný louhem pro stanovení oxidu siřičitého. Síranové ionty se po extrakci z filtrů vysrážely chloristanem barnatým. Přebytek barnatých iontů se stanovoval spektrofotometricky při 520 nm po reakci s thorinem.

V roce 1994 bylo na Churáňově zavedeno automatické měření. Vyhodnocování SO₂ do automatického měřicího programu, z něhož byly získávány hodino-



Obr. 1 Měřicí stanice kvality ovzduší s nadmořskou výškou > 500 m n. m.



Obr. 2 Stanice CCHU-Churáňov, kontejner a dvě sekvenční odběrová zařízení (foto: ČHMÚ).

¹ Bližší informace o stanici Churáňov: www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/eqindex_slide1/mp_CCHUA_CZ.html

vé koncentrace metodou ultrafialové fluorescence. Principem této metody je ozařování vzorku UV-lampou. Při ozařování dochází k energetické excitaci molekuly SO_2 , přičemž při zpětném přechodu molekuly do základního energetického stavu dochází k uvolnění energie ve formě fluorescenčního záření. Toto fluorescenční záření, které je úměrné koncentraci oxidu siřičitého, je následně detekováno fotonásobičem.

Kromě automatického měření SO_2 začalo v roce 1994 měření i dalších škodlivin, konkrétně oxidu dusnatého (NO), oxidu dusičitého (NO_2), oxidů dusíku (NO_x), suspendovaných částic SPM (bez rozlišení velikosti částic). Koncentrace oxidů dusíku jsou analyzovány chemiluminiscenční metodou, kdy je princip metody založen na excitaci molekul dusíku ozónem. Při přechodu molekul z excitovaného do základního energetického stavu dochází k uvolnění záření ve formě chemiluminiscence, které je dále detekováno fotonásobičem.

V roce 1995 bylo ukončeno měření SPM a začalo měření suspendovaných částic PM_{10} , tedy částic o aerodynamickém průměru do 10 μm . Koncentrace suspendovaných částic na Churáňově byly a jsou zjišťovány tzv. radiometrickou metodou, která je založena na absorpci beta záření ve vzorku zachyceném na filtračním materiálu. Z rozdílu absorpce beta záření mezi exponovaným a neexponovaným filtračním materiálem, který je úměrný hmotnosti zachyceného prашného aerosolu, je tak odvozen údaj o jeho koncentraci.

V roce 1995 bylo přidáno také měření koncentrací přízemního ozonu (O_3). Metodou analýzy O_3 je UV-absorpce spočívající v absorpci záření o vlnové délce 254 nm ozonem přítomným v analyzovaném vzorku. Zdrojem záření je UV lampa, přičemž je střídavě v kyvetách měřen nulový – čistý vzduch a vlastní vzorek.

S několika časovými přestávkami se od roku 1988 na stanici Churáňov odebírají také vzorky srážek a následně se provádí jejich kvalitativní rozbor. Od roku 2003 se systematicky vyhodnocují koncentrace těžkých kovů (např. arsen, chrom, kadmium, vanad) v suspendovaných částicích PM_{10} .

Hodnocení kvality ovzduší

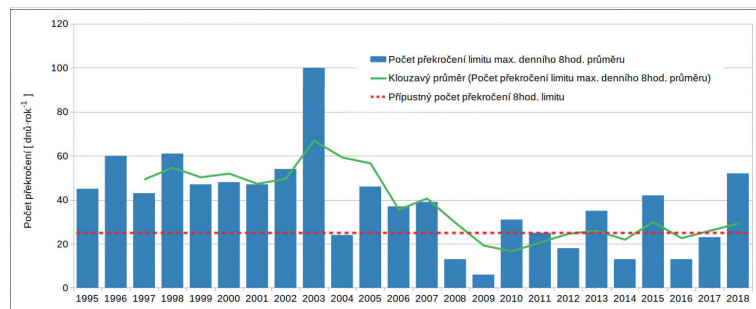
Hodnoty průměrných ročních koncentrací oxidu siřičitého, suspendovaných částic PM_{10} i oxidů dusíku (NO_x , NO_2 , NO) v průběhu celého období měření na stanici Churáňov byly nízké a nedošlo k překročení imisních limitů pro uvedené látky dle platné legislativy. Dostupné průměrné roční koncentrace SO_2 se od roku 1995 pohybují v hodnotách do 9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, od roku 1998 nepřesáhly hodnotu 3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Průměrné roční koncentrace PM_{10} se pohybují v hodnotách pod 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a nedošlo k překročení ani jeho 24hodinového limitu. Vzhledem k výsledkům měření benzo[a]pyrenu na nejbližších stanicích a plošného modelování popsaného v grafických ročenkách ČHMÚ nepředpokládáme ani nadlimitní koncentrace této problematické škodliviny.

Jedinou problematickou škodlivinou na této lokalitě je přízemní ozon O_3 . Jedná se o tzv. sekundární látku, která nemá v atmosféře vlastní významný zdroj a vzniká složitými fotochemickými reakcemi z prekurzorů (důležitou roli hraje intenzita slunečního záření), jako jsou např. oxidy dusíku a nemetanické těkavé organické látky. Maximální denní 8hodinové koncentrace O_3 na Churáňově překračují hodnotu imisního limitu 120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ každoročně. Za překročení imisního limitu pro ochranu zdraví je však považován případ, kdy je přípustný počet překročení této limitní hodnoty větší než 25 v průměru za 3 roky (klouzavě). Za hodnocené období 1995–2018 došlo k překročení tohoto imisního limitu pro přízemní ozon pro ochranu lidského zdraví 16 krát (obr. 3).

Znečištění ovzduší na vybraných horských lokalitách

Staniční síť

Staniční síť kvality ovzduší, rozmístění stanic, období měření, ale i skladba měřených veličin se od počátku měření kvality ovzduší (od konce 60. let minulého století) do současnosti měnila. Současné rozmístění stanic Státní sítě imisního monitoringu vychází z koncepce sítě, která zohledňuje nároky platné české i evropské legislativy. V základním konceptu sítě jsou zohledněny legislativní nároky přímo definující minimální počty stanic ve smyslu umístění, případně v závislosti na klasifikaci těchto stanic. Do databáze Informačního systému kvality ovzduší jsou přijímána i data ze stanic jiných vlastníků (např. zdravotní ústavy, ČEZ, a. s., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Česká geologická služba, Hydrobiologický ústav, ORGREZ, EKOTOXA, Výzkumný ústav rostlinné výroby a další), kteří splní kritéria kvality měření. Umístění stanic je vždy pečlivě zvažováno jak z hlediska účelnosti a souladu s konceptem monitoringu, tak i z hlediska ekonomického.



Obr. 3 Počet překročení maximálního 8hodinového limitu O_3 , Churáňov, 1995–2018.

Hustota umístění stanic kvality ovzduší v horských oblastech, polohách nad 500 m n. m., je menší než ve větších městech a aglomeracích, kde je rovněž vyšší hustota osídlení obyvatel. Největší počet stanic s nadmořskou výškou nad 500 m n. m. se aktuálně vyskytuje v oblasti Krušných hor. Na Šumavě se kvalita ovzduší měří pouze na stanici Churáňov (obr. 1). Nejbližší lokalitou měření znečištění ovzduší od Churáňova jsou Prachatice².

Vývoj a stav znečištění ovzduší

Zjednodušeně lze konstatovat, že koncentrace suspendovaných částic PM_{10} , SO_2 , NO_x a dalších látek znečišťujících ovzduší v České republice, významně poklesly v 90. letech minulého století, a to na všech lokalitách ČR. Důvodem bylo výrazné snížení emisí tuhých znečišťujících látek a prekurzorů suspendovaných částic v důsledku legislativních změn, restrukturalizace hospodářství a modernizace nebo ukončení provozů zdrojů. Snížení koncentrací SO_2 nastalo především díky odsíření uhelných elektráren a změnou používaných paliv. U NO_x se na snížení emisí podílela výrazně změna skladby průmyslové výroby, vozového parku a složení pohonných hmot. V následujících letech již pokles emisí škodlivin pokračoval pomaleji nebo se vyvíjel převážně v závislosti na meteorologických podmínkách v daném roce. Obvykle v chladných obdobích se vytváří nepříznivé podmínky pro rozptýlení koncentrací škodlivin v ovzduší (nízké teploty, teplotní inverze, nízká výška směšovací vrstvy, nízká rychlost větru, apod.). Chladná období jsou spojena také s vyšší potřebou vytápění domácností, na rozdíl od zdrojů znečišťování s celoročním provozem.

Příklad na obr. 4 ukazuje vývoj ročních průměrných koncentrací SO_2 na horských lokalitách v ČR od roku 2003 do roku 2016. Nejvyšší průměrné roční koncentrace SO_2 jsou měřeny na Šumavě. Naopak nejvyšší koncentrace jsou v období 2003–2016 většinou dosahovány v Krušných horách. V posledních dvou desetiletích jsou průměrné roční koncentrace SO_2 na horských stanicích nízké a nedosahují ani hodnoty $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Průměrné roční koncentrace PM_{10} za období 2003–2016 na Šumavě se pohybují zhruba na poloviční úrovni průměrných ročních koncentrací PM_{10} oblastí ČR pod 900 m n. m., jak je patrné z obr. 5.

Závěr

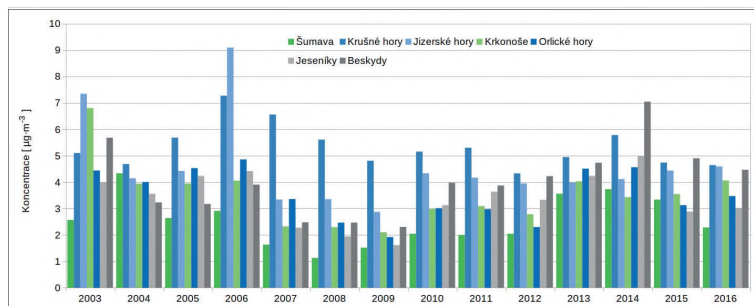
Na lokalitě Churáňov nedochází k výskytu vysokých koncentrací měřených znečišťujících látek PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 , oxidů dusíku NO_x , NO_2 , NO , koncentrace těchto látek jsou podlimitní a nepředpokládáme překračování imisních limitů ani pro ostatní znečišťující látky (např. benzo[a]pyren), s výjimkou O_3 . K nárůstu koncentrací O_3 a překračování maximální denní 8hodinové limitní hodnoty dochází v teplé části roku (v měsících duben až září).

Oblast Šumavy je z hlediska kvality ovzduší specifická v tom, že zde není vysoký výskyt zdrojů s individuálním vytápěním na tuhá paliva, průmyslové zdroje jsou vzdáleny, ovlivnění dopravou je nízké a navazující území sousedního Rakouska má obdobný charakter, přičemž nedochází k významnému přeshraničnímu přenosu škodlivin. Kvalita ovzduší dalších horských lokalit a oblastí se vzájemně liší v návaznosti na výše popsané charakteristiky (skladba a vzdálenost od zdrojů znečišťování obvykle vázaná na hustotu osídlení obyvatel, dopravní infrastrukturu a průmysl).

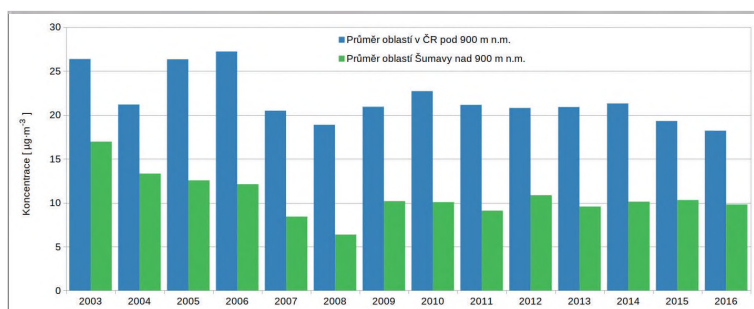
Literatura:

ČR, 2012. Zákon č. 201/2012 Sb. ze dne 2. května 2012 o ochraně ovzduší.

ČHMÚ, 2018. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2017. Praha: ČHMÚ. ISBN 978-80-87577-83-7.



Obr. 4 Roční průměrné koncentrace SO_2 na horských lokalitách v polohách nad 900 m n. m.



Obr. 5 Průměrné roční koncentrace PM_{10} na Šumavě ve srovnání s průměrem PM_{10} oblastí pod 900 m n. m., 2003–2016.

² Bližší informace o stanici Prachatice: www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/aqindex_slide1/mp_CPRAA_CZ.html

Kontakty na účastníky konference

EVA PLÁŠILOVÁ ¹, MILOSLAVA STAROSTOVÁ ², PAVEL LIPINA ³

¹ Český hydrometeorologický ústav, pobočka České Budějovice, eva.plasilova@chmi.cz,

² miloslava.starostova@chmi.cz, ³ Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ostrava, pavel.lipina@chmi.cz

Příjmení	Jméno	Titul	Zaměstnání / místo	E-mail
Augustinová	Markéta	Bc.	ČHMÚ	marketa.augustinova@email.cz
Balík	Martin		Žamberk	klimatic@centrum.cz
Bařinka	Pavel	Ing.	ČHMÚ	pvb@volny.cz , pavel.barinka@chmi.cz
Bednařík	Jan	Ing.	ČHMÚ	jan.bednarik@chmi.cz
Bercha	Šimon	Mgr.	ČHMÚ	simon.bercha@chmi.cz
Bližňák	Vojtěch	RNDr., Ph.D.	ÚFA AV ČR, v.v.i.	bliznak@ufa.cas.cz
Bochníček	Oliver	RNDr., Ph.D.	SHMÚ	oliver.bochnicek@shmu.sk
Bufková	Ivana	Ph.D.	NP Šumava	ivana.bufkova@npsumava.cz
Čermák	Milan		ČHMÚ	mil.cermak@seznam.cz
Černíkovský	Libor	Mgr.	ČHMÚ	libor.cernikovsky@chmi.cz
Dancewicz	Andrzej	Mgr.	IMGW Wrocław	andrzej.dancewicz@imgw.pl
Dušák	Radim	Ing.	Veselí nad Lužnicí	dusak4@seznam.cz
Dušák	Tomáš		Borkovice	dusak.t@seznam.cz
Elleder	Libor	Ing., Ph.D.	ČHMÚ	libor.elleder@chmi.cz
Fiťka	Ivan	Ing.	student, Bratislava	ivan.fitka@stuba.sk
Flám	Jakub		student, Držková	jakub.flam@seznam.cz
Fryč	Tomáš	Ing.	ČHMÚ	tomas.fryc@chmi.cz
Gregar	Frantisek	Ing.	Lysá nad Labem	gregar@tiscali.cz
Habrdová	Kateřina		ČHMÚ	katerina.habrdova@chmi.cz
Halenka	Tomáš	doc., RNDr., CSc.	MFF UK	tomas.halenka@mff.cuni.cz
Hamáček	Jaroslav		ČHMÚ	jaroslavhamacek@seznam.cz
Hejkrlík	Libor	RNDr., CSc.	ČHMÚ	libor.hejkrlik@chmi.cz
Hintermüller	Jaroslav	Ing.	ČHMÚ	jaroslav.hinter@seznam.cz
Hostýnek	Jiří	RNDr.	ČHMÚ	jiri.hostynek@chmi.cz
Hotový	Ondřej	Mgr.	PřF UK	hotovyo@natur.cuni.cz
Hrubalová	Monika	MgA.	ČHMÚ	monika.hrubalova@chmi.cz
Janík	Tomáš		ČHMÚ	jazzzer@centrum.cz
Jeníček	Michal	RNDr., Ph.D.	PřF UK	michal.jenicek@natur.cuni.cz
Jež	Jaroslav	Ing.	INVT s.r.o.	jarek.jez@virga.cz
Jindra	Josef		SUMAVA.EU	jindrova.jana@tiscali.cz
Jirák	Jan	Mgr.	ČHMÚ	jan.jirak@chmi.cz
Jiroušek	Jiří		fotograf, Kotenčice	jirka@nebeske.cz
Juras	Roman	Ing., Ph.D.	KVHEM FŽP, ČZU	juras@fzp.czu.cz
Jůza	Pavel	RNDr.	ČHMÚ	pavel.juza@chmi.cz

Příjmení	Jméno	Titul	Zaměstnání / místo	E-mail
Kajaba	Peter	Mgr.	SHMÚ	peter.kajaba@shmu.sk
Kamínková	Alena	Mgr.	ČHMÚ	alena.kaminkova@chmi.cz
Karger	Milan		Náměšť na Hané	KargerMilan@seznam.cz
Kocián	Bohdan		ČHMÚ	kocian.bohdan@seznam.cz
Křenek	Radek		ČHMÚ	radek.krenek@tiscali.cz
Křivancová	Svatava	RNDr.	důchodce, ČHMÚ	svatava.krivancova@seznam.cz
Křížová	Milada	RNDr.	ČHMÚ	milada.sandova@gmail.com
Kubačka	Libor	RNDr., Ing., Ph.D.	KRNAP	libor.kukacka@gmail.com, lkukacka@knap.cz
Kubišta	Václav	Ing.	ČHMÚ	vaclav.kubista@chmi.cz
Kvak	Róbert	Mgr.	ÚFA AV ČR, v.v.i.	kvak@ufa.cas.cz
Lahuta	Jaroslav		důchodce, Bojkovice	lahutasro@seznam.cz
Lipina	Pavel	Ing.	ČHMÚ	pavel.lipina@chmi.cz
Mairich	Pavel	Ing.	ČHMÚ	pmairixh@iol.cz
Maňhal	Daniel	Mgr.	ČHMÚ	daniel.manhal@chmi.cz
Markovič	Ladislav	Mgr.	SHMÚ	ladislav.markovic@shmu.sk
Meszaros	Jakub	Mgr.	Ústav hydrológie SAV	jakubmeszaros@uh.savba.sk
Míková	Tatána	RNDr.	Česká televize	tatana11@seznam.cz
Mráz	Arnošt	Ing., CSc., MBA	Ekotechnika s.r.o.	marketing@ekotechnika.cz
Němec	Luboš	RNDr., Ph.D.	ČHMÚ	Lubos.Nemec@chmi.cz
Novák	Martin	Mgr.	ČHMÚ	martin.novak@chmi.cz
Novák	Petr	RNDr., Ph.D.	ČHMÚ	petr.novak@chmi.cz
Palenčár	Jakub	Ing., Ph.D.	SF STU Bratislava	jakub.palencar@stuba.sk
Pecha	Martin	Mgr.	ČHMÚ	martin.pecha@chmi.cz
Pecho	Jozef	Mgr.	SHMÚ	jozef.pecho@shmu.sk
Pešice	Petr	RNDr., Ph.D.	ÚFA AV ČR v.v.i.	pesice@ufa.cas.cz
Plášilová	Eva	RNDr.	ČHMÚ	eva.plasilova@chmi.cz
Polcar	Pavel	Ing.	ČHMÚ	pavel.polcar@chmi.cz
Polčák	Norbert	RNDr., Ph.D.	SHMÚ	norbert.polcak@shmu.sk
Prantl	David	Ing.	InMeteo	info@inmeteo.cz
Procházka	Jan	Ing. Ph.D.	ZF JČU	prochaz@zf.jcu.cz
Příbylová	Květa	MgA., Bc.	dokumentaristka	qtapribylova@gmail.com
Putala	František	Ing.	ČHMÚ	f.putala@seznam.cz
Richterová	Dáša	Ing.	ČHMÚ	dasa.richterova@chmi.cz
Rieder	Mark	Mgr.	ČHMÚ	mark.rieder@chmi.cz
Rolčík	Ivo	DiS.	SUMAVA.EU	ivo.rolcik@seznam.cz
Roubínek	Jiří		NP Šumava	jiri.roubinek@gmail.cz
Rybář	Jan	Mgr., Ing.	SF STU Bratislava	jan.rybar@stuba.cz
Řepka	Miroslav	Mgr.	ČHMÚ	miroslav.repka@chmi.cz
Sedláková	Klára	Mgr.	ČHMÚ	klara.sedlakova@chmi.cz
Skřivánková	Pavla	RNDr.	ČHMÚ	pavla.skrivankova@chmi.cz
Slabá	Nataša	p.g.	důchodce, ČHMÚ	gidnatalie@seznam.cz

Příjmení	Jméno	Titul	Zaměstnání / místo	E-mail
Slavík	Josef	Ing.	Šindlovy Dvory	Josef.slavik@centrum.cz
Slezák	Jan	Mgr.	CROSS Zlín, a. s.	slezak@cross.cz
Slouka	Michal		ČHMÚ	michal.slouka@chmi.cz
Stach	Jaroslav	Ing.	ČHMÚ	jaroslav.stach@chmi.cz
Starostová	Miloslava	RNDr.	ČHMÚ	miloslava.starostova@chmi.cz
Stehlíková	Hana	DiS.	ČHMÚ	hanka.stehlikova@chmi.cz
Szumiejko	Franciszek	Mgr.	IMGW Wroclaw	franciszek.szumiejko@imgw.pl
Šercl	Petr	Ing., Ph.D.	ČHMÚ	petr.sercl@chmi.cz
Šlezinger	Josef		důchodce, ČHMÚ	josefslezinger@seznam.cz
Šlofar	Otakar		ČHMÚ	slofar.o@seznam.cz
Šťastný	Pavel	Dr.	SHMÚ	pavel.stastny@shmu.sk
Šustková	Veronika	Ing. et Ing.	ČHMÚ	veronika.sustkova@chmi.cz
Tesař	Miroslav	Ing.	ÚH AV ČR	miroslav.tesar@iol.cz
Tichá	Petra		ČHMÚ	petra.ticha@chmi.cz
Tolasz	Radim	RNDr., Ph.D.	ČHMÚ	radim.tolasz@chmi.cz
Turna	Maroš	Mgr.	SHMÚ	maros.turna@shmu.sk
Vajskebr	Václav	Mgr.	ČHMÚ	vaclav.vajskebr@chmi.cz
Valeriánová	Anna	RNDr.	ČHMÚ	anna.valerianova@chmi.cz
Valík	Adam	Mgr.	ČHMÚ	ValikAdam@seznam.cz
Vlček	Lukáš	RNDr., Ph.D.	ÚH AV ČR	vlcek@ih.cas.cz, vlcek@natur.cuni.cz
Vojvodík	Antonín		SUMAVA.EU	antonin.vojvodik@seznam.cz
Vokoun	Martin	Ing.	KVHEM FŽP, ČZU	vokounm@fzp.czu.cz
Volná	Vladimíra	RNDr.	ČHMÚ	vladimira.volna@chmi.cz
Volný	Roman	RNDr.	ČHMÚ	roman.volny@chmi.cz
Vondráček	František	Ing.	Praha	haf.vondracek@quick.cz
Vondráčková	Helena	RNDr.	důchodce ČHMÚ	haf.vondracek@quick.cz
Weinreb	Tomáš		režisér	tomas.weinreb@seznam.cz
Zacharov	Petr	RNDr., Ph.D.	ÚFA AV ČR v.v.i.	petas@ufa.cas.cz
Zelenková	Eva	Ing.	NP Šumava	eva.zelenkova@npsumava.cz
Zezulová	Lenka		ČHMÚ	lenka.zezulová@chmi.cz
Zusková	Ilona	Mgr.	ČHMÚ	ilona.zuskova@chmi.cz
Zývalová	Dana	Mgr.	NP Šumava	iskvilda@npsumava.cz
Žák	Michal	Mgr., Ph.D.	MFF UK	xamicus@gmail.com

METEOROLOGICKÁ KONFERENCE ŠUMAVA 2019

Sborník příspěvků z konference pořádané Českým hydrometeorologickým ústavem, Českou meteorologickou společností a neformálním spolkem SUMAVA.EU ve spolupráci s Národním parkem Šumava a obcí Kvilda konané ve dnech 14.–16. května 2019 v Obecním sále na Kvildě

Pavel Lipina a Jan Procházka (ed.)

Vydalo nakladatelství Český hydrometeorologický ústav, Praha 2019

1. vydání, 148 stran, náklad 150 výtisků

Vytiskla tiskárna Českého hydrometeorologického ústavu, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4

Publikace neprošla jazykovou úpravou, za obsah příspěvků odpovídají autoři.

ISBN 978-80-87577-87-5