

Meteorologické zprávy

ROČNÍK
75–2022

2

**37 Měření srážkových intenzit na stanicích
Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ)
a průběh jejich zpracování**

Lenka Crhová – Stanislava Kliegrová – Anna Valeriánová

**44 Zpřesnění operativních map koncentrací
přízemního ozonu zahrnutím výstupu modelu CAMx,
dalších doplňkových dat a využitím krigingu**

Daša Damašková – Ondřej Vlček – Jan Horálek – Patrik Beshir

53 Německé povodně v červenci 2021 zpovzdálí

Jan Daňhelka

Meteorological
Bulletin

Český
hydrometeorologický
ústav



37 Measurement of precipitation intensities at the stations of the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) and the way of their processing

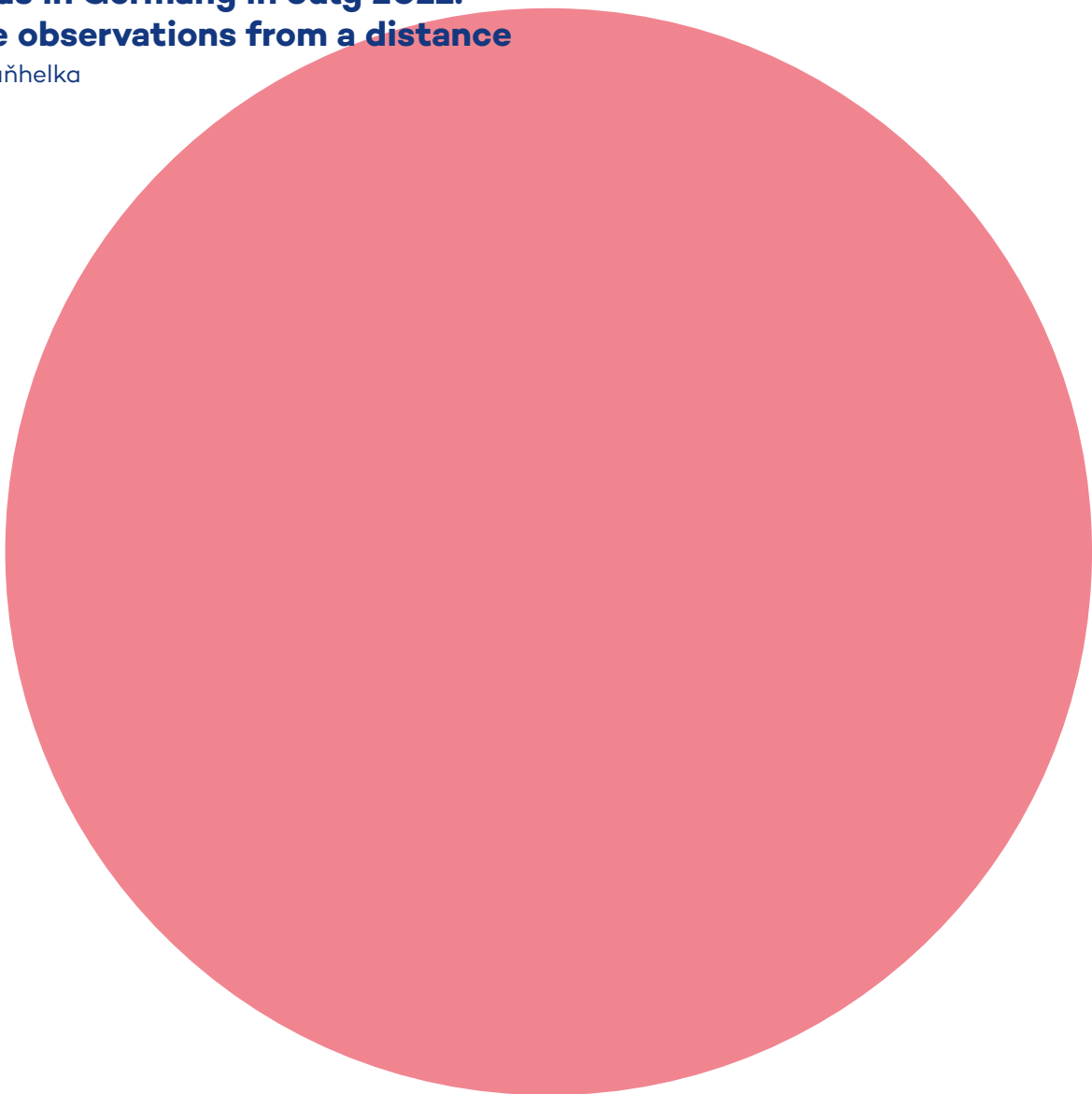
Lenka Crhová – Stanislava Kliegrová – Anna Valeriánová

44 Improvement of near real-time ground-level ozone concentrations maps through inclusion of CAMx model, other supplementary data, and use of kriging

Daša Damašková – Ondřej Vlček – Jan Horálek – Patrik Beshir

53 Floods in Germany in July 2021: some observations from a distance

Jan Daňhelka



Rozšiřuje – Free booking:

Český hydrometeorologický ústav, tiskové a informační oddělení
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, tel.: 244 032 722, 244 032 724

Czech Hydrometeorological Institute, Press and Information Department
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4, Czech Republic, Phones: (+420) 244 032 722, (+420) 244 032 724

Měření srážkových intenzit na stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a průběh jejich zpracování

Measurement of precipitation intensities at the stations of the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) and the way of their processing

Lenka Crhová

Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany
✉ lenka.crhova@chmi.cz

Stanislava Kliegrová

Český hydrometeorologický ústav
pobočka Hradec Králové
Dvorská 410, 503 11 Hradec Králové
✉ stanislava.kliegrova@chmi.cz

Anna Valeriánová

Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany
✉ anna.valerianova@chmi.cz

Rainfall intensities and their design values are of very high interest for technical (e.g., sewage system) and hydrological practice. However, it is one of the most complicated climatological characteristics from the perspective of measurement and data processing. The rainfall intensity has been regularly measured in the Czech Republic since 1898 when 18 pluviographs were in operation. Today, automatic rain gauges are used for the measurement in a much denser network. Both these types of measurement provide precipitation series in temporal resolution even of 1 minute. This contribution describes a present state of measurement and availability of rainfall intensity data. In addition, the results of the initial processing of these data are presented. The data of rainfall intensity was quality controlled and processed for 60 selected stations with the longest rainfall intensity series. The return levels of sub-daily rainfalls of selected durations for various recurrence intervals were estimated using 2 extreme value distributions (two-parameter Gumbel and three-parameter Generalized Extreme Value distributions), each with 2 parameter estimation methods (L-moments and Maximum Likelihood Estimation).

KEYWORDS: atmospheric rainfall – rainfall intensity – pluviograph – automatic rain gauge – Gumbel distribution – Generalized Extreme Value distribution – design rainfall estimate

1. Úvod

Údaje o intenzitách srážek a frekvenci jejich opakování představují jeden ze základních podkladů pro zpracování návrhových dat v hydrologii, pro potřeby plánování a údržby odvodňovacích systémů a vyhodnocení dalších rizik spojených s intenzivními srážkami (např. přívalové povodně či plošná eroze půdy).

Komplexní zpracování krátkodobých dešťů z ombrografických měření pro území Česka provedl Trupl (1958). Metodika zpracování krátkodobých srážek včetně výsledných návrhových srážek pro povodí 1. řádu i jednotlivé stanice publikovaná v této práci vycházela z dostupných ombrografických měření do roku 1956 a je využívána až do dnešní doby. V 80. letech na tuto práci navázal RNDr. Václav Jírovský, který zpracoval 5 až 180minutové deště za období 1961–1986 pro doplnění tabulek Trupla, které sloužilo pro posudkovou činnost ČHMÚ (nepublikováno). Později se této problematice věnovalo několik studií či projektů (např. Šamaj et al. 1985; Květoň, Zahradníček 1998; Květoň et al. 2000), do dnešních dní však stále chybí úplné, a hlavně aktuální zpracování těchto údajů. Rostoucí množství dostupných dat srážkových intenzit (v tomto příspěvku myšlena srážková data měřená ve vysokém časovém rozlišení, tj. v 1minutovém a 15minutovém nebo 10minutovém kroku měření) z digitalizovaných ombrografických měření a měření automatických srážkoměrů poskytuje vhodnou příležitost k vypracování nových komplexních podkladů návrhových hodnot subdenních srážkových úhrnů (tj. srážek o době trvání do 24 hodin) pro území České republiky (ČR). V současné době probíhá řešení 2 výzkumných projektů (projekt NAZV QK1910029 – „Předchozí nasycenost a návrhové srážkové intenzity jako faktory odtokové odezvy na malých povodích“ a projekt TA ČR SS02030040 PERUN – „Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku“), kde je zpracování intenzit srážek věnována velká pozornost a ve kterých je mezi řešiteli i Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). V rámci projektu NAZV QK1910029 jsou odhady návrhových hodnot subdenních srážkových úhrnů spočtené pro vybrané stanice s nejdelšími řadami měření použity k úpravě hodnot získaných z radarových dat, která

KLÍČOVÁ SLOVA: srážky atmosférické – intenzita srážek – ombrograf – srážkoměr automatický – rozdělení Gumbelovo – extrémální rozdělení generalizované – hodnota srážek návrhová

mají relativně krátkou dobu měření, umožňují však získat podrobnější a spojitou prostorovou informaci.

V předloženém článku je popsán současný stav dostupnosti dat měření intenzit srážek ve staniční síti ČHMÚ. Dále jsou zde prezentovány naše první výsledky zpracování těchto dat pro vybrané stanice s nejdelšími řadami měření intenzit srážek po spojení dat z měření ombrografů a automatických srážkoměrů.

2. Měření a dostupnost dat krátkodobých úhrnů srážek

Pravidelné měření intenzit srážek začalo v České republice (ČR) v roce 1898, kdy zde měřilo 18 mechanických ombrografů (Květoň et al. 2004), a s výjimkou válečných období počet přístrojů na našem území postupně rostl. V 90. letech měřilo v síti ČHMÚ přes 200 ombrografů (Květoň et al. 2004). Od konce 90. let 20. století probíhá postupná automatizace staniční sítě ČHMÚ a ombrografická měření začala být nahrazována měřeními automatických srážkoměrů.

Zatímco data z automatických měření jsou automaticky importována do klimatologické databáze ČHMÚ (CLIDATA) a mohou tak být následně počítačově zpracována, měření ombrografů bylo zaznamenáváno na registrační pásky a před dalším zpracováním je nutná jejich digitalizace. Digitalizace ombrografických záznamů v 1minutovém kroku byla v ČHMÚ zahájena v roce 1985. Metoda digitalizace byla za účelem zkvalitnění získaných dat výrazněji upravena v letech 1995–1998 (Květoň, Zahradníček 1998; Květoň et al. 2004) a touto metodou probíhá digitalizace ombrografických záznamů postupně dodnes. V současnosti je k dispozici celkem téměř 5 500 let (resp. sezon duben – říjen, kdy obvykle ombrografická měření probíhala) digitalizovaných měření z více než 300 různých stanic. Pro některé stanice jsou záznamy krátké, někdy i v řádu necelé jedné sezony, pro několik stanic však byla digitalizována měření z více než 50letých řad. Nejdelší řady jsou k dispozici ze stanic Tábor (76 sezon v období 1921–1996) a Třeboň (80 sezon v období 1923–2003).

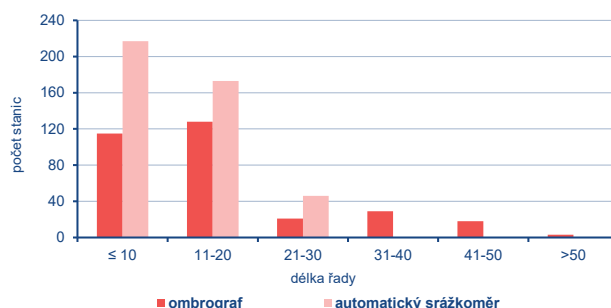
Instalace automatických srážkoměrů začala v roce 1997, nejdelší řady intenzit srážek jsou tak dlouhé 23 let (pro zpracovávané období do konce roku 2020). Pro automatické měření intenzity srážek a úhrnu srážek byly nejdříve využívány člunkové srážkoměry, postupně byly do sítě osazeny také srážkoměry váhové. V současnosti je ve standardní měřicí síti ČHMÚ v provozu přes 420 automatických srážkoměrů. Do databáze CLIDATA jsou z měření automatických srážkoměrů importovány hodnoty srážkových intenzit v 1minutovém a 10minutovém (před rokem 2010 v 15minutovém) časovém kroku.

Počty stanic dostupné v databázi CLIDATA podle délky řady měření ombrografem a automatickým srážkoměrem jsou znázorněny na obr. 1. Uvažovány zde byly roky (sezony) s alespoň polovinou dostupných dat. Naprostá většina řad nebyla delší než 20 let. Měření automatickým srážkoměrem delší než 20 let bylo k dispozici pro cca 50 stanic, pořízené ombrografické záznamy byly delší než 20 let u 75 stanic.

Pro klimatologické zpracování charakteristik intenzit srážek jsou důležité především stanice s dostatečně dlouhými řadami měření. Spojením řad intenzit srážek dostupných z obou typů měření (tj. digitalizovaná ombrografická měření a mě-

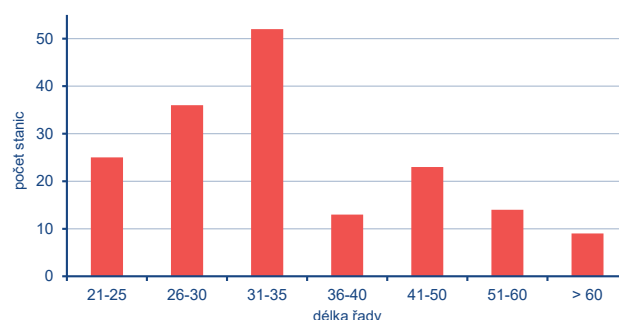
ření automatickými srážkoměry) na jednotlivých stanicích v období 1951–2020, které bylo uvažováno v dalším zpracování, byly získány poměrně dlouhé řady intenzit srážek na vyšším počtu stanic. Řada intenzit srážek delší než 20 let byla k dispozici na více než 170 stanicích standardní sítě ČHMÚ, řada delší než 30 let pak na více než 110 stanicích (obr. 2). Nejdelší řady po spojení ombrografických a automatických měření srážek jsou v období 1951–2020 delší než 60 let na 9 stanicích (tab. 1). Umístění stanic s řadou intenzit srážek dlouhou více než 20 let v období 1951–2020 je uvedeno na obr. 3. Pro tento přehled řad měření srážkových intenzit dle jejich délky byly uvažovány roky (sezony) s alespoň polovinou dostupných dat. Po provedení kontroly těchto dat a následném ověření kompletnosti a použitelnosti dat v jednotlivých letech mohou být finálně použitelné řady pro jednotlivé stanice kratší.

Je však potřebné zmínit, že v rámci dalšího zpracování pro tento článek nebyly řady srážkových intenzit nijak homogenizovány. Lze nicméně předpokládat, že se v nich mohou vyskytovat nehomogenity způsobené změnou typu měřicího přístroje (na



Obr. 1 Počet stanic dle délky řady digitalizovaných ombrografických záznamů a délky řady měření automatickým srážkoměrem. Uvažovány jsou roky (sezony) s alespoň polovinou dostupných dat.

Fig. 1. Number of stations according to length of digitalized pluviograph records and length of automatic rain gauge measurement. Years (seasons) with more than half of the data available are included.



Obr. 2 Počet stanic dle délky řady měření intenzity srážek po spojení digitalizovaných ombrografických záznamů a měření automatickým srážkoměrem v období 1951–2020. Uvažovány jsou roky (sezony) s alespoň polovinou dostupných dat a stanice s řadou delší než 20 let. V některých letech byly dostupné oba typy měření, v celkovém součtu je rok pak započten pouze jedenkrát.

Fig. 2. Number of stations according to length of rainfall intensity measurement joining digitalized pluviograph records and automatic rain gauge measurement from 1951–2020. Years (seasons) with more than half of the data available are included. The years where both types of measurement were available are considered only once.

Tab. 1 Stanice s nejdelší řadou měření intenzit srážek v období 1951–2020. Uvažovány jsou pouze roky (sezony) s alespoň polovinou dostupných dat.

Table 1. Stations with the longest series of rainfall intensity measurement from 1951–2020. Years (seasons) with more than half of the data available are included.

Jméno stanice	Okres	Povodí	Nadmořská výška [m n.m.]	Počet let ombrograf*	Počet let automat**	Délka řady***
Tábor	Tábor	Lužnice	467	46	22	68
Desná, Souš	Jablonec nad Nisou	Jizera	772	52	16	67
Churáňov	Prachatice	Otava	1118	50	21	66
Doksany	Litoměřice	Ohře	158	46	21	66
Svratouch	Chrudim	Chrudimka	734	47	16	63
Červená	Opava	Odra	748	47	21	63
Třeboň	Jindřichův Hradec	Lužnice	428	49	13	62
Přimda	Tachov	Mže	743	45	16	61
Liberec	Liberec	Lužická Nisa	398	46	19	61

* Počet let digitalizovaných ombrografických měření v období 1951–2020.

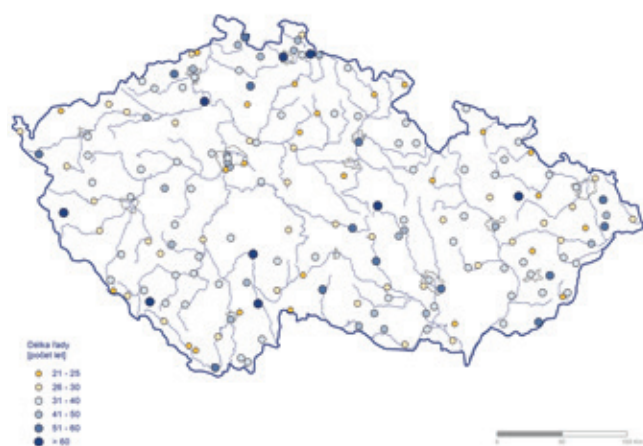
** Počet let s automatickým měřením srážek v období 1951–2020.

*** Počet let s měřením intenzit srážek v období 1951–2020. V některých letech byly dostupné oba typy měření, v celkovém součtu je rok pak započten pouze jedenkrát.

* Number of years of digitized ombrographic measurements in the period 1951–2020.

** Number of years with automatic precipitation measurement in the period 1951–2020.

*** Number of years with measurement of precipitation intensities in the period 1951–2020. In some years, both types of measurements were available, and in the total, the year is counted only once.



Obr. 3 Stanice s řadou dostupných dat měření intenzity srážek delší než 20 let v období 1951–2020 s rozlišením dle délky řady. Délka řady intenzit srážek je uvažována po spojení digitalizovaných ombrografických záznamů a měření automatických srážkoměrů. Uvažovány jsou pouze roky (sezony) s alespoň polovinou dostupných dat.

Fig. 3. Stations with the rainfall intensity series longer than 20 years from 1951–2020, distinguished according to length of the series. The joined series of digitalized pluviograph records and automatic rain gauge measurement are considered. Years (seasons) with more than half of data available are included.

některých stanicích se vystřídaly tři typy měřících přístrojů – ombrograf, automatický srážkoměr klopný a váhový). Další nehomogenity také mohly být způsobeny stěhováním či změnou okolí stanice. Nehomogenity způsobené přechodem z manuálních ombrografů na automatické měření byly studovány pouze okrajově a nad rámec tohoto článku, pozornost by jim však měla být věnována v rámci dalších studií.

3. Kontrola a příprava dat

3.1 Kontrola vstupních dat

Jak bylo uvedeno již v předchozí kapitole, data intenzit srážek (srážková data v 1minutovém a 15 nebo 10minutovém časovém kroku měření) jsou dostupná v databázi CLIDATA z dvojího typu měření, a to digitalizovaná data naměřená klasickými ombrografy a data z měření automatickými srážkoměry. Data intenzit srážek z automatických srážkoměrů nebyla do roku 2018 systematicky opravována a doplňována, proto bylo nutné před dalším zpracováním provést kontrolu těchto dat.

Pro účely projektu NAZV QK1910029 bylo vytipováno přibližně 60 stanic s dostatečně dlouhou řadou dat intenzit srážek po spojení dat z měření ombrografů a automatických srážkoměrů (uvažováno alespoň 32 let v období 1951–2020). U těchto vybraných stanic byla v databázi CLIDATA provedena přednostní kontrola dat intenzit srážek. Nejprve byla provedena kontrola srážkových intenzit nad určeným limitem úhrnu, kdy byly chybné hodnoty opraveny nebo vymazány. Dále byla data srážkových intenzit porovnávána s naměřenými denními srážkovými úhrny, které procházely pravidelnou kontrolou a opravou. Případy, kdy denní sumy intenzit převyšovaly denní úhrn o 4 mm a více, byly dále analyzovány. Falešné vysoké intenzity pak byly také opraveny nebo vymazány v databázi.

Jednalo se pouze o základní kontroly k odstranění chybných vysokých intenzit srážek, které by nejvíce mohly ovlivnit výsledky cílových návrhových hodnot (především pro krátké doby trvání). I po této kontrole se mohly v datech intenzit srážek vyskytovat chybné údaje, a především velké množství výpadků měření, které nebylo možné doplnit. Při dalším zpracování dat bylo nutné tato omezení zohlednit.

3.2 Příprava řad ročních a měsíčních maxim srážkových úhrnů

Z připravených řad intenzit srážek byly napočteny klouzavé úhrny srážek s délkami trvání 30, 60, 90, 120, 180, 360, 720 a 1440 minut. Pro potřeby zpracování návrhových hodnot subdenních úhrnů srážek byly připraveny řady ročních maxim srážkových úhrnů pro dané délky trvání (dále roční maxima), které byly následně proloženy extrémálním rozdělením. Pro vystižení sezonality intenzit srážek a jejich extremity byly vytvořeny i řady měsíčních maxim pro dané délky trvání (dále měsíční maxima) a i z nich dále odhadnuty návrhové hodnoty obdobným způsobem.

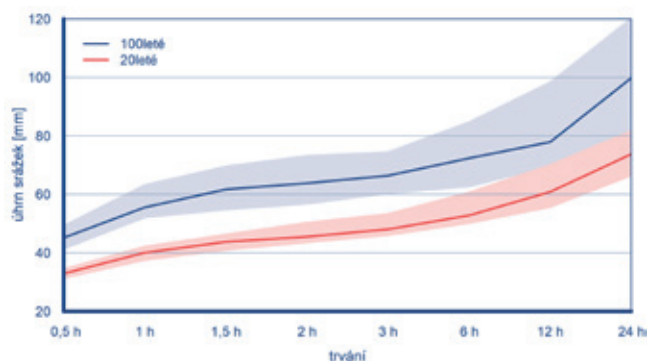
U ročních a měsíčních maxim bylo rozhodnuto o jejich relevantnosti vzhledem k počtu a povaze chybějících dat v daný rok či měsíc. Roční maxima nebyla uvažována pro roky s velkým množstvím chybějících nebo značně podhodnocených denních sum srážkových intenzit v porovnání s naměřenými denními úhrny srážek. Řady ročních maxim byly vybrány několika způsoby (tj. uvažována různá kritéria pro vyřazení roku ze zpracování) a výsledky porovnány. Nakonec byly použity řady ročních maxim, kde byla odstraněna roční maxima z let, kde chybělo nebo bylo podhodnoceno více než 40 % denních úhrnů srážek nad 6 mm nebo více než 40 % denních úhrnů srážek nad 12 mm. Před odstraněním však byla data v těchto problematických letech znovu individuálně posouzena, aby nedošlo k odstranění významných (vysokých) srážkových intenzit. Některá roční maxima byla tedy nakonec ponechána, i když příslušný rok nesplňoval výše uvedenou podmínku.

V případě tvorby řad měsíčních maxim byl výběr složitější než u ročních maxim. Často nastaly případy, kdy se v daném měsíci nevyskytoval žádný den s úhrnem srážek nad 6 mm. Proto bylo zvoleno několik kontrolních limitů a důraz byl kladen zejména na kontrolu, zda suma intenzit srážek odpovídala naměřenému dennímu úhrnu v den, kdy byl denní úhrn v daném měsíci nejvyšší.



Obr. 4 60 stanic vybraných pro zpracování srážkových intenzit s rozlišením dle finální délky řady ročních maxim. Délky řad měsíčních maxim mohou být odlišné.

Fig. 4. 60 stations selected for the processing of rainfall intensities distinguished according to final length of annual maxima series. The length of monthly maxima series could differ.



Obr. 5 Odhady 20 a 100letých hodnot subdenních srážkových úhrnů pro různé doby trvání. Prezentovány jsou mediány odhadů metodou GEV-LM pro 60 vybraných stanic a mezikvartilová rozpětí.

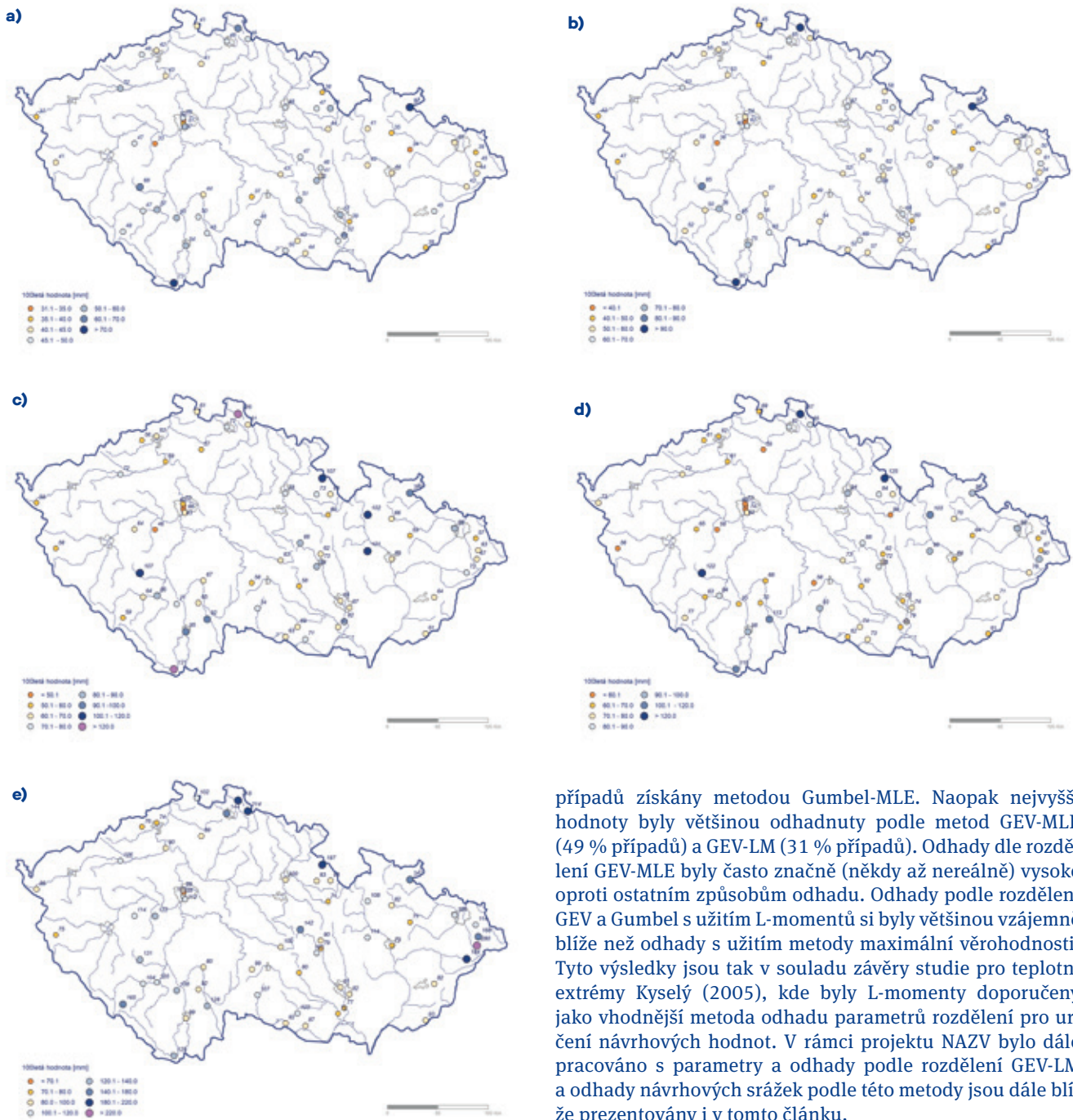
Fig. 5. Estimated 20-year and 100-year return levels of sub-daily rainfall totals for various durations. Medians and interquartile ranges of the GEV-LM estimates from 60 selected stations are presented.

Vzhledem k provedeným odstraněním nevyhovujících maxim byly finální řady ročních a měsíčních maxim většinou kratší, než bylo u vybraných stanic původně zjištěno. Řady ročních maxim měly pro všechny zpracovávané stanice i po provedených úpravách vždy 30 let a více (obr. 4), u řad měsíčních maxim byly v několika ojedinělých případech finální řady kratší než 30 let.

4. Analýza dat a odhady návrhových hodnot

Z připravených řad ročních a měsíčních maxim subdenních úhrnů srážek o různé délce trvání byly provedeny odhady jejich návrhových hodnot (tj. hodnot pro dané střední doby opakování). Návrhové hodnoty byly určeny s využitím statistického softwaru R na základě 2 proložených extrémálních rozdělení, dvoupřímého Gumbelova a tříparametřového generalizovaného extrémního (GEV z angl. Generalized Extreme Value) rozdělení. Odhad parametrů těchto rozdělení byl proveden dvěma způsoby, a to pomocí L-momentů (LM) a metody maximální věrohodnosti (MLE z angl. Maximum Likelihood Estimation) (Coles 2001; Kyselý 2005).

Výsledkem byly tabulky návrhových hodnot srážkových úhrnů o době trvání 30, 60, 90, 120, 180, 360, 720 a 1440 min pro doby opakování 10, 20, 50 a 100 let pro všechny 4 statistické metody odhadu. Rozdíly v odhadech návrhových hodnot podle různých metod odhadu byly v některých případech vý-



Obr. 6 Odhady 100leté hodnoty pro 60 vybraných stanic pro 30minutové (a), 60minutové (b), 180minutové (c), 360minutové (d) a 24hodinové (e) srážkové úhrny.

Fig. 6. Estimated 100-year return levels for 60 selected stations for 30-min (a), 60-min (b), 180-min (c), 360-min (d), and 24-h (e) rainfall totals.

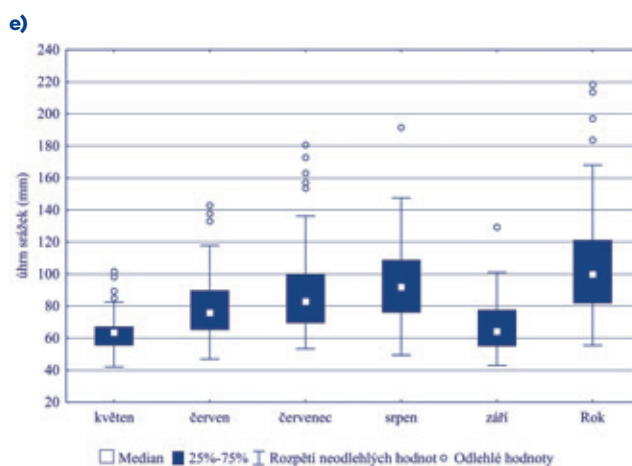
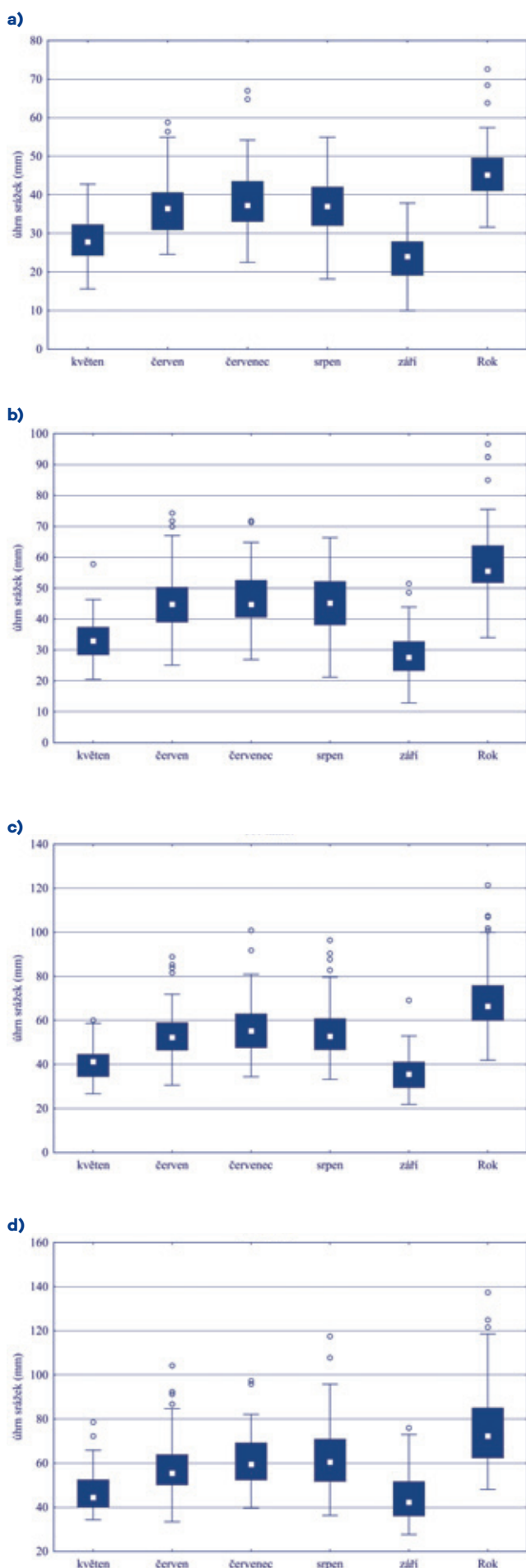
razné a rozdíly mezi metodami se nejvíce projevily v odhadech 100letých hodnot. Asi v 46 % případů¹ se nejvyšší a nejnižší odhad 100leté hodnoty pro danou stanici a dobu trvání lišily o více než 20 % hodnoty nejnižšího odhadu, v 11 % případů to bylo dokonce o více než 50 %. Nejnižší odhady 100letých hodnot byly v naprosté většině (78 %)

případů získány metodou Gumbel-MLE. Naopak nejvyšší hodnoty byly většinou odhadnuty podle metod GEV-MLE (49 % případů) a GEV-LM (31 % případů). Odhady dle rozdělení GEV-MLE byly často značně (někdy až nereálně) vysoké oproti ostatním způsobům odhadu. Odhady podle rozdělení GEV a Gumbel s užitím L-momentů si byly většinou vzájemně blíže než odhady s užitím metody maximální věrohodnosti. Tyto výsledky jsou tak v souladu závěry studie pro teplotní extrémy Kyselý (2005), kde byly L-momenty doporučeny jako vhodnější metoda odhadu parametrů rozdělení pro určení návrhových hodnot. V rámci projektu NAZV bylo dále pracováno s parametry a odhady podle rozdělení GEV-LM a odhady návrhových srážek podle této metody jsou dále blíže prezentovány i v tomto článku.

Odhady návrhových srážek dle metody GEV-LM jsou znázorněny na obr. 5 a v mapách na obr. 6. Zde jsou prezentovány odhady bez ohledu na sezonalitu, tj. odhady na základě řad ročních maxim. Na obr. 5 jsou znázorněny mediány odhadů pro 60 vybraných stanic na území ČR a jejich mezikvartilová rozpětí, která se zvětšují s rostoucí periodicitou a délkou doby trvání. Především u 100letých hodnot je rozpětí hodnot na našem území značné. Např. odhad 100letých hodnot 1hodinové srážky se na 50 % stanic pohybuje v rozmezí 52 až 64 mm, minimální a maximální hodnoty jsou však přibližně od 35 do 90 mm. U 100leté hodnoty 6hodinové srážky jsou rozdíly mezi stanicemi ještě patrnější, hodnoty 1. a 3. kvartilu jsou 60 a 75 mm, minimální a maximální hodnota pak cca 42 mm a 120 mm.

Velké rozdíly mezi odhady na jednotlivých stanicích jsou patrné i z map na obr. 6, kde jsou uvedeny 100leté hodnoty srážkových úhrnů pro vybrané doby trvání. Pro kratší doby

¹ Je myšleno 480 případů, tj. odhady pro 60 stanic a 8 různých dob trvání.



Obr. 7 Krabicové grafy pro odhady 100letých hodnot 30minutových (a), 60minutových (b), 180minutových (c), 360minutových (d) a 24hodinových (e) srážkových úhrnů z 60 stanic vstupujících do zpracování. Odlehle hodnoty jsou definovány jako hodnoty nad 1,5násobkem mezikvartilového rozpětí nad 75. percentilem.

Fig. 7. Box plots for estimated 100-year return levels of 30-min (a), 60-min (b), 180-min (c), 360-min (d), and 24-h (e) rainfall totals from 60 selected stations. Outlying values are defined as values above 1,5 multiple of the interquartile range above 75th percentile.

trvání srážek jsou na mapách patrné oblasti srovnatelných 100letých hodnot, např. oblast jižních Čech (100leté hodnoty okolo 50 mm pro 30minutové úhrny, okolo 60 mm pro 60minutové úhrny), oblasti nižších hodnot pak nalezneme na východě republiky nebo v severozápadních Čechách. V oblasti severozápadních Čech jsou patrné nižší hodnoty i na mapách pro delší doby trvání. V některých oblastech jsou však hodnoty velmi proměnlivé stanici od stanice. Příkladem je Praha, kde byly uvažovány 4 různé stanice a odhady se zde značně liší. Nejvyšší odhady pro všechny doby trvání srážky jsou u stanice Praha, Libuš, a naopak nejnižší pro stanice Praha, Karlov (např. 1hodinová nebo 24hodinová 100letá srážka na stanici Praha, Libuš je téměř dvojnásobná oproti stanici Praha, Karlov). Na stanici Praha, Libuš byla zaznamenána nejvyšší maxima srážkových úhrnů pro všechny hodnocené doby trvání v porovnání s ostatními pražskými stanicemi. Při bližší analýze těchto rozdílů bylo zjištěno, že se zde kromě různých délek řad (pro stanice Praha, Karlov bylo zpracováno kratší období než pro ostatní pražské stanice) projevil vliv několika významných a velmi lokálních srážkových epizod.

Pro uvážení sezonality srážek byly parametry extrémálních rozdělení a návrhové hodnoty srážkových úhrnů určeny také z řad měsíčních maxim. Na obr. 7 jsou prezentovány krabicové grafy pro odhady 100letých hodnot odvozených pomocí metody GEV-LM pro vybrané délky trvání, které byly vytvořeny z odhadů pro všech 60 zpracovaných stanic. Z grafů je patrné rozmezí, v jakém se 100leté odhady pro jednotlivé měsíce pohybují ve srovnání s odhady z ročních maxim. Tyto souhrnné charakteristiky 100letých hodnot jsou u měsíčních maxim vždy o poznání nižší než odhady z ročních maxim. Z grafů jsou také dobře patrné vyšší hodnoty odhadů v letních měsících červen až srpen ve srovnání s měsíci květen a září.

Z výše uvedených výstupů je patrné, že v některých případech byly odhady návrhových hodnot srážek velmi nerobustní, tj. výrazně se lišily pro různé metody odhadu, nebo byly odlehle od výsledků pro ostatní stanice. Některé stanice byly tedy vytvářeny jako podezřelé a k jejich dalšímu zpracování a prezentaci je potřeba přistupovat s opatrností.

Pro úplnost je také potřeba zmínit, že v této studii nebyla uvažována možná nestacionarita analyzovaných srážkových řad, která by mohla souviset s pozorovanou klimatickou změnou a kterou například na datech ze 4 slovenských stanic zkoumali a prezentovali Onderka et al. (2020).

5. Závěr

V tomto článku byl prezentován současný stav měření intenzit srážek na stanicích Českého hydrometeorologického ústavu a způsob zpracování aktuálních charakteristik intenzit srážek pro území ČR. Předložená práce představuje pouze první krok k získání nových komplexních podkladů návrhových hodnot subdenních srážkových úhrnů pro území České republiky využitelných v hydrologické a technické praxi.

Velké množství práce představovala již samotná příprava datových řad, která vyžadovala nejprve důkladnou a pečlivou kontrolu srážkových intenzit a přípravu řad ročních a měsíčních maxim subdenních srážkových úhrnů pro 60 vybraných stanic. Odhady návrhových hodnot srážek byly určeny čtyřmi různými způsoby, a to na základě dvou extrémálních rozdělení (GEV a Gumbelova), přičemž u každého byly provedeny odhady parametrů dvěma způsoby (L-momenty a metodou maximální věrohodnosti). V některých lokalitách byly odhady návrhových hodnot srážek velmi nerobustní, kdy se výrazně lišily pro různé metody odhadu nebo byly odlehle od výsledků ostatních stanic.

Na základě dalších studií (Kyselý 2005) a porovnání výsledků výše zmíněných metod byly k dalšímu zpracování a prezentaci zvoleny odhady návrhových hodnot získané z proložených rozdělení GEV-LM. Bylo ukázáno, že rozdíly mezi hodnotami návrhových srážek na našem území jsou značné, což je patrné především u 100letých hodnot.

V rámci dalšího zpracování je především potřeba zahustit síť stanic s měřením srážkových intenzit, zejména v nepokrytých oblastech západních a východních Čech. To lze při využití stanic i s kratší řadou dostupných měření intenzit srážek a také s postupující digitalizací ombrografických záznamů. Použití kratších řad měření bude přínosné především pro zpracování návrhových hodnot nižších dob opakování. Dále je v plánu otestovat použití i dalších metod zpracování, např. regionální frekvenční analýzy (Kyselý, Píček 2007), nebo metody ROI (region of influence), která by umožnila robustnější odhady parametrů extrémálních rozdělení (Gaál, Kyselý 2009).

V navazujících studiích by měla být také věnována bližší pozornost homogenitě řad intenzit srážek získaných spojením měření různých typů přístrojů (manuální ombrograf, automatický klopný a váhový srážkoměr) a také srovnání nově získaných hodnot návrhových hodnot srážek s výsledky z předchozích studií. Velkou výzvou zůstává možná nestacionarita dlouhých srážkových řad.

Zpracování intenzit srážek je mimo jiné náplní projektů NAZV QK1910029 a TA ČR SS02030040 PERUN, které byly v tomto článku zmíněny.

Poděkování:

Tato práce byla podpořena projektem NAZV QK1910029, který je financován Ministerstvem zemědělství České republiky.

Literatura:

- COLES, S., 2001. An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. London: Springer. ISBN 1-85233-459-2.
- GAÁL, L., KYSELÝ, J., 2009. Comparison of region-of-influence methods for estimating high quantiles of precipitation in a dense dataset in the Czech Republic. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 13, s. 2203–2219. Doi: 10.5194/hess-13-2203-2009.
- KVĚTOŇ, V., ZAHRADNÍČEK, J., 1998. Vývoj metod pro stanovení extrémních povodní. Výzkumný úkol MŽP ČR VaV 510/3/97. DÚ 2.2 Vývoj statistických metod pro odhad extrémních srážek. Závěrečná zpráva za rok 1998. Praha: ČHMÚ.
- KVĚTOŇ, V. a kol., 2000. Vývoj statistických metod pro odhad extrémních srážek. Závěrečná zpráva výzkumného úkolu VaV 510/3/97 za rok 1999. Praha: ČHMÚ.
- KVĚTOŇ, V., ZAHRADNÍČEK, J., ŽÁK, M., 2004. Kontrola kvality a digitalizace ombrogramů v ČHMÚ. *Meteorologické zprávy*, roč. 57, č. 2, s. 47–52, ISSN 0026-1173.
- KYSELÝ, J., 2005. Odhad parametrů rozdělení extrémních hodnot metodou L momentů. *Meteorologické zprávy*, roč. 58, č. 6, s. 161–167. ISSN 0026-1173.
- KYSELÝ, J., PÍČEK, J., 2007. Regional Growth Curves and Improved Design Value Estimates of Extreme Precipitation Events in the Czech Republic. *Climate Research*, Vol. 33, s. 243–255. Doi: <http://dx.doi.org/10.3354/cr033243>.
- ONDERKA, M., PECHO, J., MARKOVIČ, L., NEJEDLÍK, P., 2020. Sposobuje globálne otepľovanie nestacionaritu extrémov zrážok? *Meteorologické zprávy*, roč. 73, č. 5, s. 138–145. ISSN 0026-1173.
- ŠAMAJ, F., VALOVIČ, Š., BRÁZDIL, R., 1985. Denné úhrny zrážok s mimoriadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901–1980. Zborník prác SHMÚ Bratislava.
- TRUPL, J., 1958. Intenzity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy. *Práce a studie*, sv. 97. Praha: VÚV.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Luboš Němec, Mgr. Michal Žák, Ph.D.

Zpřesnění operativních map koncentrací přízemního ozonu zahrnutím výstupu modelu CAMx, dalších doplňkových dat a využitím krigingu

Improvement of near real-time ground-level ozone concentrations maps through inclusion of CAMx model, other supplementary data, and use of kriging

Daša Damašková

Český hydrometeorologický ústav
oddělení modelování a expertiz
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4
✉ dasa.damaskova@chmi.cz

Ondřej Vlček

Český hydrometeorologický ústav
oddělení modelování a expertiz
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4
✉ ondrej.vlcek@chmi.cz

Jan Horálek

Český hydrometeorologický ústav
oddělení informačních systémů kvality ovzduší
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4
✉ jan.horalek@chmi.cz

Patrik Beshir

Český hydrometeorologický ústav
oddělení modelování a expertiz
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4
✉ patrik.beshir@chmi.cz

The Czech Hydrometeorological Institute publishes near real-time maps of ground-level ozone. These maps are constructed by combining in-situ measurements and various supplementary data using data fusion based on linear regression followed by the interpolation of its residuals. This paper compares the currently used method with an updated method for hourly maps of 2015. The current method utilizes a five-year average of 26th highest daily maximum 8-hour running averages of ground-level O₃ and altitude. The updated approach uses hourly outputs of the chemical transport model CAMx together with the above mentioned data. Linear model used in the current approach accepts only data with positive regression slope and the used interpolation method is IDW (inverse distance weighting). The new approach puts emphasis on positive regression slope and

also on statistical significance of used data in the linear model; kriging is used for the interpolation of residuals. The results show that the new approach reduces the bias that is significant for both urban and rural stations in the current approach and also reduces the overall error, especially for rural stations. The new approach increases the total number of cases when the map is created only by the interpolation of in-situ data, but it definitely helps in critical summer months, during which the current approach fails more often.

KLÍČOVÁ SLOVA: CAMx – fúze dat – IDW – kriging – regrese lineární – mapy kvality ovzduší operativní – přízemní ozon O₃

KEYWORDS: CAMx – data fusion – IDW – kriging – linear regression – near real-time air quality maps – ground-level ozone O₃

1. Úvod

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) má mj. povinnost informovat veřejnost o aktuálním stavu kvality ovzduší na území České republiky (MŽP 2017). Mimo místa stanic automatizovaného imisního monitoringu (AIM) je toto zajišťováno operativním mapováním koncentrací znečišťujících látek¹, které je prováděno pro suspendované částice PM₁₀, oxid dusičitý NO₂, přízemní ozon O₃, oxid siřičitý SO₂ a oxid uhelnatý CO na základě on-line dat ze stanic AIM podle metodiky popsané v kap. 2.1. V posledních letech je kladen důraz na zlepšování metod prostorového mapování a v evropském měřítku byly vypracovány mnohé analýzy. Znalosti získané z těchto výzkumů, na kterých se ČHMÚ aktivně podílí, jsou pak dále rozvíjeny a implementovány v České republice. S ohledem na plánované spuštění operativní předpovědi kvality ovzduší na ČHMÚ je přirozené pokusit se začlenit tyto výstupy do tvorby operativ-

¹ <http://pr-asu.chmi.cz:8080/IskoPollutionMapView/faces/view-MapImages.xhtml>

ních map. To již bylo vyzkoušeno pro mapy průměrných denních a hodinových koncentrací PM_{10} a výsledky byly shrnuty v článku Ďoubalové et al. (2020), na nějž tato práce navazuje. Další výzkum bude věnován jemným částicím $PM_{2,5}$.

Troposférický ozon je sekundárním polutantem, který vzniká, udržuje se a zaniká sledem (foto)chemických reakcí (Madronich 1993) za účasti prekurzorů antropogenního i přírodního původu (především NO , NO_2 , nemetanických těkavých organických látek (NMVOC) a v globálním měřítku také CH_4 a CO), jejichž koncentrace a vzájemný poměr se v prostoru a čase mění. Pokud se jedná o stav, kdy produkci a destrukci ozonu dominují reakce s oxidy dusíku, lze poměr koncentrací $[NO_2]/[NO]$ považovat za konstantní. Tento poměr (jehož přesný tvar je k dispozici v práci Finlayson-Pittse a Pittse 2000) se nazývá Leightonův vztah, nebo také „fotostacionární stav“ a bývá někdy užíván ke zjednodušení a urychlení výpočetní procedury při modelování troposférické chemie. Dynamika popsáných procesů však nemusí být jednoduchá, a bohužel ani lineární, a poměr koncentrací prekurzorů je minimálně stejně důležitý jako jejich absolutní koncentrace (ČHMÚ 2020). Tato okolnost má z hlediska modelu i reality podstatný význam a říká nám, že samotný pokles celkových emisí NO_x (oxidy dusíku se vyjadřují jako suma NO a NO_2) automaticky neimplikuje snížení koncentrací O_3 . Kromě těchto základních reakcí vstupuje do hry i řada dalších faktorů, jako jsou vzdušná vlhkost (přičemž vztah mezi vodní párou a ozonem může být za specifických podmínek obdobně komplikovaný jako vztah s oxidy dusíku, viz Lu et al. 2019), teplota, nadmořská výška, inverzní situace a další meteorologické a klimatologické charakteristiky (Staehelin 2003). Cyklické změny koncentrací ozonu s maximy v jarních a letních měsících a minimy v měsících zimních (přesné rozložení maxim a minim záleží na typu měřicí stanice a podmínkách konkrétního roku) jsou dobře patrné například z grafu ročního chodu průměrných měsíčních koncentrací maximálního osmihodinového klouzavého průměru O_3 v roce 2020 (ČHMÚ 2020).

Uvedeným výkladem jsme se pokusili nastínit možné zdroje nejistot – v tomto případě chemické a fyzikální povahy – které do operativního mapování a modelování přízemního ozonu vstupují; některé další jsou zmíněny v následujícím textu a rozebrány v diskusi. Pro úplnost je třeba dodat, že referenčním rokem byl (pro zachování konzistentnosti výsledků), stejně jako v předchozím článku, zvolen rok 2015. Hodinový interval koncentrací přízemního ozonu je zvolen z toho důvodu, že je nejrelevantnější pro informování veřejnosti o aktuální úrovni znečištění.

2. Metodika tvorby map

2.1 Obecný popis

Tvorba operativních map znečišťujících látek je metodicky shodná s přístupem Horálka et al. (2007) používaným pro tvorbu evropských map zpracovávaných centrem ETC/ATNI² pro Evropskou agenturu pro životní prostředí i map publikovaných v ročence Znečištění ovzduší na území České republiky (např. ČHMÚ 2014). Primárními daty pro tvorbu map znečiš-

tění ovzduší jsou koncentrace znečišťujících látek naměřené na stanicích imisního monitoringu, které představují přesnou, ale lokální informaci na omezeném počtu míst. Proto jsou pro potřeby mapování využita i různá doplňková (sekundární) data, poskytující komplexní informaci o celém území a zároveň vykazující regresní závislost s měřenými daty. Mezi primárními a doplňkovými daty je nejprve spočtena lineární regrese a následně je provedena interpolace zbývajících nevysvětlené variability (reziduí) na stanicích. Použitá fúze dat (primárních a sekundárních) pomocí regresního modelu a interpolace jeho reziduí vytváří kombinované pole koncentrací, sekundární data jsou vylepšená pomocí skutečných hodnot měření a informace z primárních dat je objektivním způsobem vyjádřena v prostoru.

Doplňková data jsou přitom použita pouze tehdy, pokud u dané mapy vykazují pozitivní korelaci s měřenými daty. V případě, že žádná z nich tento předpoklad nesplňují, použije se prostá interpolace naměřených dat. Z důvodu navyšování počtu proměnných vstupujících do lineární regrese byl stanoven následující postup jejich vyřazování: u doplňkových dat s negativním regresním parametrem je vypočtena p-hodnota (vyjadřující statistickou významnost) a jsou vyřazena ta s nejvyšší p-hodnotou. Následně se opět sestrojí lineární model bez vyřazených doplňkových dat a postup je opakován až do doby, než všechna data splňují podmínku kladné korelace. Zbývajících data jsou podrobena ještě závěrečnému testu statistické významnosti a ta, která dosáhla p-hodnoty nad hladinou významnosti 0,3 se vypustí jako statisticky nevýznamná. Autoři si uvědomují mírnost této odborně odhadnuté hodnoty, ale hodinová data mají velkou prostorovou variabilitu vzhledem k malému počtu stanic, a je tedy těžší statisticky odhalit případy, kdy lineární regrese mezi daty pravděpodobně neexistuje (Halsey et al. 2015).

Interpolace je prováděna buď pomocí metody vážení převrácenou hodnotou vzdálenosti (IDW), nebo pomocí obyčejného krigingu (značí odborný termín; anglicky „ordinary kriging“). Metoda IDW je jednoduchá deterministická metoda, kdy váha jednotlivých měřicích stanic je nepřímo úměrná jejich vzdálenosti od odhadovaného bodu a zároveň je zachována hodnota v místě měření. Kriging je oproti tomu pokročilejší geostatistická metoda, která zohledňuje strukturu imisního pole. Matematické vztahy vyjadřující zmíněné metody v tomto článku pro stručnost neuvádíme a zájemce odkazujeme na článek Ďoubalové et al. (2020).

Městské a venkovské znečištění má odlišný charakter. V městských a průmyslových oblastech, tedy v oblastech s vysokou koncentrací NO_x , můžeme za horkých letních dnů a bezvětří pozorovat nárůst koncentrací přízemního ozonu a jeho následný pokles v noci, kdy vlivem chemických reakcí s NO (emitovaným zejména dopravou) koncentrace přízemního ozonu klesají. V případě venkovského prostředí přírodní zdroje, např. lesy, významně zvyšují jeden z prekurzorů – VOC (těkavé organické látky), který svými reakcemi ovlivňuje koncentraci přízemního O_3 . V tomto prostředí zůstávají koncentrace vysoké i v nočních hodinách, jelikož nedochází k rozpadu přízemního ozonu chemickými reakcemi s NO a jeho koncentrace se v noci snižují v podstatě pouze vlivem depozice. Městské a venkovské mapové vrstvy jsou proto tvořeny samostatně a výsledná mapa vzniká jejich sloučením pomocí gridu hustoty zalidnění (Horálek et al. 2007; De Smet et al. 2011). V této studii, stejně tak jako při ročním hodnocení kvality ovzduší v ČR, se území s méně než 200 obyv.km⁻² považuje za čistě venkovské prostředí a s více

² European Topic Center on Air Pollution, Transport, Noise and Industrial Pollution (ETC/ATNI). WWW: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni>

než 1000 obyvk.km⁻² za čistě městské. Mapa pro ostatní oblasti je pak tvořena lineární kombinací venkovské a městské vrstvy (matematické vyjádření viz práce Ďoubalové et al. 2020).

Pro konstrukci venkovské mapové vrstvy jsou jako primární data používána imisní data z pozadových venkovských stanic. V případě městské mapové vrstvy pak z městských a před-městských pozadových stanic. Využívána je přitom klasifikace stanic podle databáze Informačního systému kvality ovzduší (ISKO) ČHMÚ. Mapy jsou konstruovány v prostorovém rozlišení 1 × 1 km.

Celý koncept odděleného mapování venkovského a městského znečištění je založen na předpokladu, že přízemní ozon vykazuje vyšší koncentrace ve venkovském prostředí. Pro oblasti, kde tento předpoklad není splněn, se použije třetí mapová vrstva vytvořená obdobně jako městská nebo venkovská, nicméně na základě veškerých pozadových stanic bez rozlišení klasifikace. V posledních letech můžeme nicméně pozorovat změny v rozložení koncentrací přízemního ozonu z důvodu změn v poměrech jeho prekurzorů a není výjimkou, že v městském prostředí jsou naměřené vyšší hodnoty koncentrací. Do budoucna bude proto pravděpodobně třeba přehodnotit doposud používanou metodiku kombinace mapových vrstev přízemního ozonu.

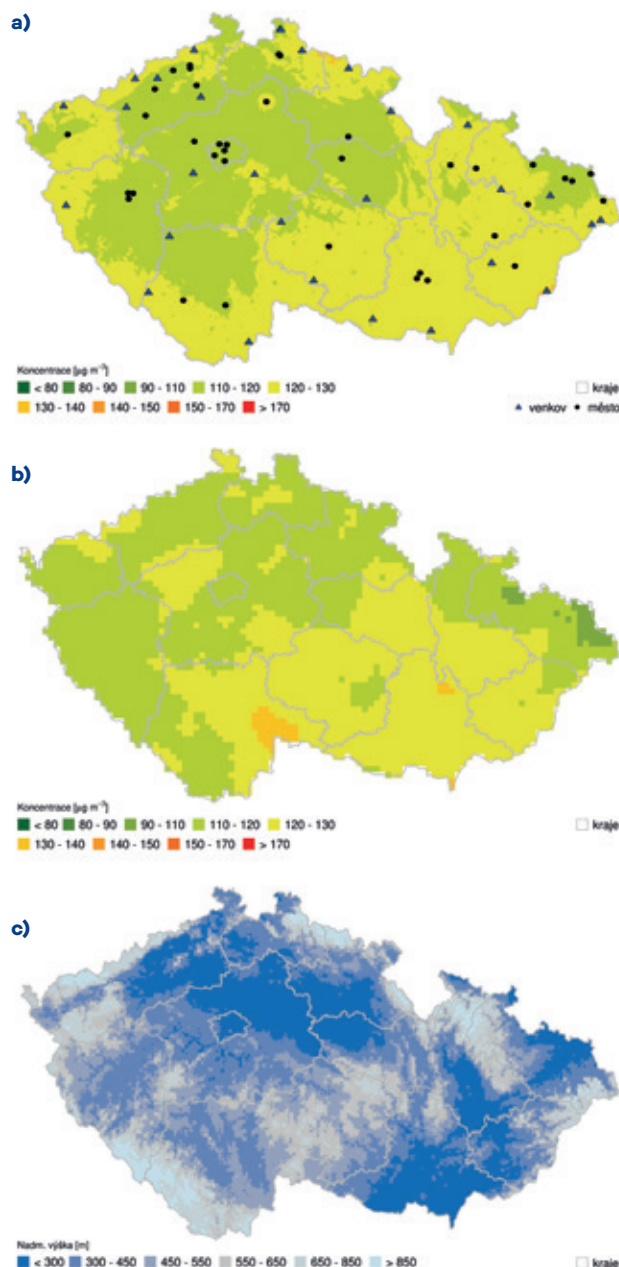
2.2 Odhad nejistoty

Pro odhad nejistoty příslušné mapy je použita metoda křížového ověřování (cross-validation): koncentrace v místě měření je spočtena bez zahrnutí daného měření a postup je opakován pro každý bod měření. Tím je objektivně odhadnuta kvalita mapy i mimo místa měření. Cross-validation je aplikována jenom pro interpolaci reziduí, a ne pro regresní model. Lze totiž očekávat, že ve většině případů vynechání jedné stanice nezmění zásadně parametry lineární regrese (viz též ČHMÚ 2015). Odhadnuté hodnoty jsou porovnány s naměřenými hodnotami a pro každou mapu je spočtena odmocnina střední kvadratické chyby (Root Mean Square Error, *RMSE*), normovaná odmocnina střední kvadratické chyby (*nRMSE*) a systematické vychýlení (*bias*).

Statistiky získané výše uvedeným postupem poskytují informaci o střední nejistotě celé mapy. Aby bylo možné získat představu o průměrném prostorovém rozložení nejistoty, byly uvedené statistiky spočteny i pro jednotlivé stanice, a to z časových řad měření a hodnot spočtených cross-validací. Bylo přitom požadováno alespoň 75 % platných dat za rok. Dvě stanice byly v průběhu roku 2015 nahrazeny novými v nedaleké lokalitě a jejich časové řady byly sloučeny, aby bylo dosaženo minimálního množství dat. Jedná se o pozadovou venkovskou stanici Frýdlant (do července 2015 Frýdlant-údolí) a městskou pozadovou stanici v Liberci (do července 2015 Liberec-město, poté Liberec-Rochlice).

2.3 Stávající způsob tvorby operativních map přízemního O₃

Jako doplňkový zdroj informací je u stávajícího způsobu používán pětiletý průměr map 26. nejvyššího denního maxima klouzavého 8hodinového průměru koncentrací přízemního O₃ a mapa nadmořské výšky, obojí v rozlišení 1 × 1 km. Pro potřeby tohoto srovnání je použit pětiletý průměr 2009–2013. Zvolený průměr odpovídá nejnovějším podkladovým datům, která by byla dostupná při vytváření příslušných operativních map



Obr. 1 Doplňková data u nového (A, B a C) a stávajícího (A a C) způsobu tvorby operativních map O₃: pětiletý průměr map 26. nejvyšší hodnoty maximálního denního 8hodinového klouzavého průměru koncentrací přízemního ozonu za období 2009–2013 (A), průměrné hodinové koncentrace přízemního O₃ z modelu CAMx (B) a nadmořská výška (C). Pozadové venkovské a (před)městské stanice jsou zobrazeny na obrázku A.

Fig. 1 Secondary data included in the new (A, B, and C) and current (A and C) approach for near real-time mapping of O₃ concentrations: five year average of the 26th highest daily maximum of the 8-hour running average of ground-level O₃ concentration maps for 2009–2013 (A), 1-hour mean concentration maps of ground-level O₃ from CAMx model (B) and terrain elevation (C). Background rural and (sub)urban stations are displayed in the picture A.

v roce 2015. Doplňková data jsou znázorněna na obr. 1. Mapy jsou vytvořeny dle výše popsané metodiky, lineární regrese dbá vždy jenom o kladný regresní koeficient a interpolace reziduí je provedena metodou IDW.

2.4 Nový způsob tvorby operativních map přízemního O₃

Jako doplňkový zdroj informací jsou použity hodinové koncentrace přízemního O₃ z modelu CAMx pro rok 2015, nadmořská výška a pětiletý průměr map 26. nejvyšší hodnoty maximálního denního 8hodinového klouzavého průměru koncentrací přízemního O₃. Model CAMx je k dispozici v rozlišení 4,7 × 4,7 km, ostatní podklady jsou v síti 1 × 1 km. Použitá data jsou znázorněna na obr. 1. Model lineární regrese postupně vyřazuje data nesplňující podmínku kladné regresní závislosti a statistické významnosti (na hladině významnosti 0,3). Interpolace reziduí je provedena metodou krigingu. Taktéž se při tvorbě městských map nebere v úvahu nadmořská výška, jelikož v porovnání s chemismem v tomto prostředí je její vliv slabý. Vynechání nadmořské výšky je v tomto případě běžnou praxí i v evropském měřítku, a to i při tvorbě ročních map pro ČR. Mimo tyto změny je použita stejná metodika jako u stávajícího způsobu tvorby map.

3. Použitá data

3.1 Měřená data ze stanic imisního monitoringu

Jako primární data pro tvorbu map jsou použita data z měřících stanic z databáze ISKO. Pro analýzu jsou použita data ze stanic automatizovaného imisního monitoringu, která jsou plynule dostupná v databázi jen s hodinovým zpožděním, a tudíž jsou vhodná pro operativní mapování. Použity jsou pouze požadové stanice, které nám dávají informaci o širším okolí a nejsou do takové míry zatíženy případným významným lokálním zdrojem – celkem se pro rok 2015 jedná o 37 městských a předměstských požadových stanic a 29 venkovských požadových stanic.

Použity jsou průměrné hodinové koncentrace přízemního O₃ pro období kalendářního roku 2015. Polohy stanic jsou znázorněny na obr. 1.

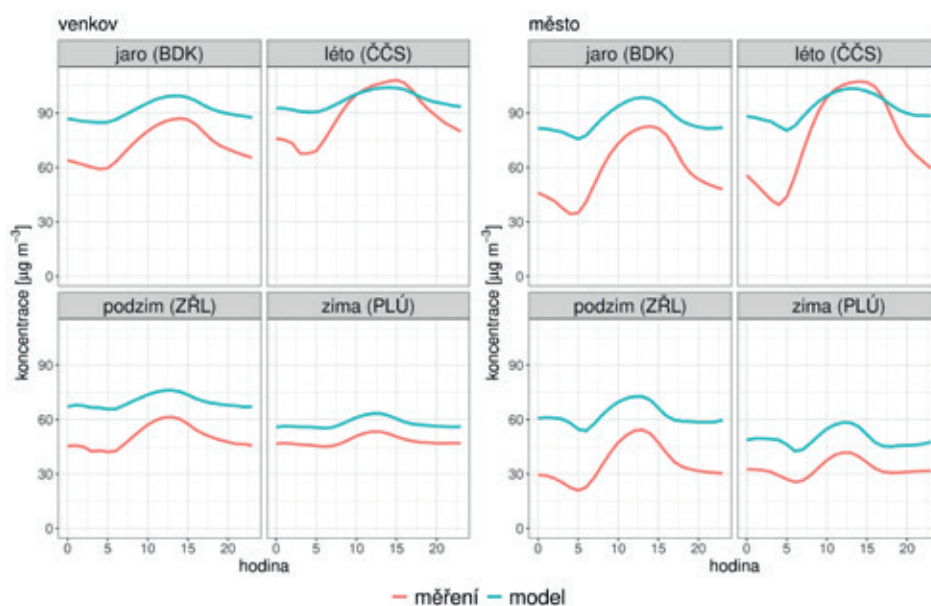
3.2 Chemický transportní model CAMx

Pro výpočet hodinových polí koncentrací přízemního O₃ je využit chemický transportní model CAMx v5.41 (ENVIRON 2011) konfigurovaný na dvou oboustranně vnořených doménách: vnější s horizontálním rozlišením 14,1 km pokrývající oblast předpovědního modelu ALADIN a vnitřní domény s horizontálním rozlišením 4,7 km zahrnující území České republiky a Slovenska, ze které jsou využity výstupy pro účel této analýzy. CAMx je volně dostupný model vyvíjený společností Ram-

boll Environ, který umožňuje současné modelování plynných znečišťujících látek i aerosolu v rozlišení od stovek metrů po desítky kilometrů. CAMx na základě emisních a meteorologických vstupů modeluje na třírozměrném gridu rozptýl, chemické reakce a odstraňování znečišťujících látek z atmosféry. Byl použit chemický mechanismus Carbon Bond verze 6 (CB6) obsahující 218 reakcí mezi 114 látkami: 69 plynnými, 22 složkami aerosolu a 23 radikály.

Je použit výstup stejného běhu modelu, jako tomu bylo v předcházejícím článku věnovanému suspendovaným částicím PM₁₀ (Ďoubalová et al. 2020). V uvedeném článku čtenář nalezne detailní popis a odkazy na literaturu. Dále uvádíme pouze základní charakteristiky: meteorologické vstupy do modelu CAMx byly získány z asimilačního cyklu numerického předpovědního modelu ALADIN/CE v rozlišení 4,7 km. Emisní vstupy odpovídaly vesměs roku 2015: tam, kde byla k dispozici příslušná emisní data, tj. pro Českou republiku, Polsko a sektor lokálního vytápění na Slovensku, byly použity podrobné národní emisní inventáře s vysokým rozlišením. Pro zbytek území byl použit inventář CAMS-REGv1.1-AP. Biogenní emise NMVOC z rostlin a NO z půdy byly vypočteny modelem MEGAN v2.1. Okrajové podmínky byly převzaty z globální předpovědi ECMWF CAMS IFS.

Před zahrnutím modelu jako podpůrného prvku pro prostorové mapování byla vypracována podrobná verifikace daného běhu oproti měření na stanicích, kterou je možné s ohledem na přízemní ozon shrnout následovně: model CAMx vykazuje slušnou – ne ideální – regresní závislost odrážející denní i sezónní chod, který je pro přízemní ozon tak typický, viz obr. 2. Systematické nadhodnocení v nočních hodinách je způsobeno nastavením modelu, jenž je více zaměřen na správné modelování maximálních hodnot, které mohou mít negativní vliv na lidské zdraví. Problematické letní období vykazuje nejhorší závislost ze všech ročních období a model je během denních hodin dokonce v průměru mírně podhodno-



Obr. 2 Denní chod měřených a modelovaných (CAMx) koncentrací přízemního ozonu v jednotlivých sezónách roku 2015 – průměr přes venkovské a (před)městské požadové stanice.

Fig. 2. Daily cycle of measured and modelled (CAMx) ground-level ozone concentrations for each season of the year 2015 – averaged over rural and (sub)urban background stations.

cen. Taktéž je možné pozorovat systematické zpoždění růstu koncentrací v ranních hodinách v jarních i letních měsících, a to hlavně v městském prostředí.

3.3 Pětiletý průměr map 26. nejvyšší hodnoty maximálního denního 8hodinového klouzavého průměru koncentrací přízemního ozonu

Dalším doplňkovým zdrojem dat, označovaným jako „pětiletí“, je průměr statistiky používané k hodnocení plnění imisního limitu přízemního ozonu pro ochranu zdraví dle Zákona o ochraně ovzduší (2012) za roky 2009–2013. Touto statistikou je 26. nejvyšší hodnota maximálního denního 8hodinového klouzavého průměru koncentrací přízemního ozonu v průměru za tři roky³ a její pětiletý průměr byl mezi doplňková data původně zařazen na základě předpokladu, že bude vhodně vystihovat dlouhodobé rozložení vyšších percentilů koncentrací.

3.4 Ostatní doplňková data

Pro nadmořskou výšku byla použita data ZABAGED (Základní báze geografických dat), která poskytuje Zeměměřický úřad, v rozlišení 1 × 1 km. Hustota zalidnění byla poskytnuta Českým statistickým úřadem.

4. Výsledky

Výsledky cross-validace pro oba způsoby jsou porovnány pomocí ukazatelů RMSE, nRMSE a bias (tab. 1). Přehled použití jednotlivých doplňkových podkladů při tvorbě hodinových map přízemního ozonu je uveden v tab. 2.

Z výsledků křížového ověřování vyplývá, že stávající hodinové mapy jsou systematicky podhodnocené s průměrným vychýlením u venkovské mapové vrstvy $-0,32 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ a u městské $-0,07 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. U nového přístupu klesla průměrná odchylka u venkovské mapové vrstvy na $0,01 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ a u městské na $-0,05 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Při tomto výsledku, kdy na první pohled nedošlo k příliš výraznému zpřesnění, je nutné zdůraznit, že se jedná o průměrnou chybu za celé období. Odchylky od daného průměru v jednotlivých časových krocích jsou mnohem výraznější u stávajícího přístupu, viz 25. a 75. percentil ($Q_{0,25}$ a $Q_{0,75}$) v tab. 1 a grafické znázornění na obr. 3. Obdobné vylepšení se ukázalo také v případě průměrné RMSE, která je u stávající venkovské mapové vrstvy $13,2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ a u městské $12,9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. U nových map dosahuje průměrná hodnota RMSE u venkovské mapové vrstvy $11,7 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ a u městské $12,2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Taktéž v tomto hodnocení je zřetelné zploštění mezikvartilového rozpětí. Celkový přehled statistik křížového ověřování je uveden v tab. 1. Grafické znázornění distribuce RMSE a systematického vychýlení je na obr. 3.

Tab. 1 Výsledky křížového ověřování pro stávající a nový způsob tvorby operativních map přízemního O_3 – prům (průměr), $Q_{0,25}$ (spodní kvartil), med (medián), $Q_{0,75}$ (horní kvartil).

Table 1 Results of cross-validation for the current and new approach to near real-time ground-level O_3 mapping – prům (mean), $Q_{0,25}$ (lower quartile), med (median), $Q_{0,75}$ (upper quartile).

Mapová vrstva O_3	Způsob mapování	RMSE [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]				nRMSE [%]				bias [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]			
		prům	$Q_{0,25}$	med	$Q_{0,75}$	prům	$Q_{0,25}$	med	$Q_{0,75}$	prům	$Q_{0,25}$	med	$Q_{0,75}$
Městská	stávající	12,9	9,3	11,9	15,2	36,6	16,3	29,0	49,2	-0,07	-0,74	-0,09	0,58
	nový	12,2	8,9	11,5	14,6	34,5	15,8	27,9	46,3	-0,05	-0,18	-0,02	0,08
Venkovská	stávající	13,2	8,7	11,7	16,1	24,0	12,7	20,8	31,2	-0,32	-0,83	-0,24	0,25
	nový	11,7	8,0	10,7	14,4	21,1	11,8	18,9	27,1	0,01	-0,03	0,0	0,04

Tab. 2 Stávající a nový způsob tvorby operativních map přízemního O_3 – procento hodin z roku 2015, kdy byla použita daná doplňková data pro tvorbu městské a venkovské vrstvy.

Table 2. Current and new approach to near real-time ground-level O_3 mapping – percentage of hours in 2015, when particular supplementary data were used in creating urban and rural layers.

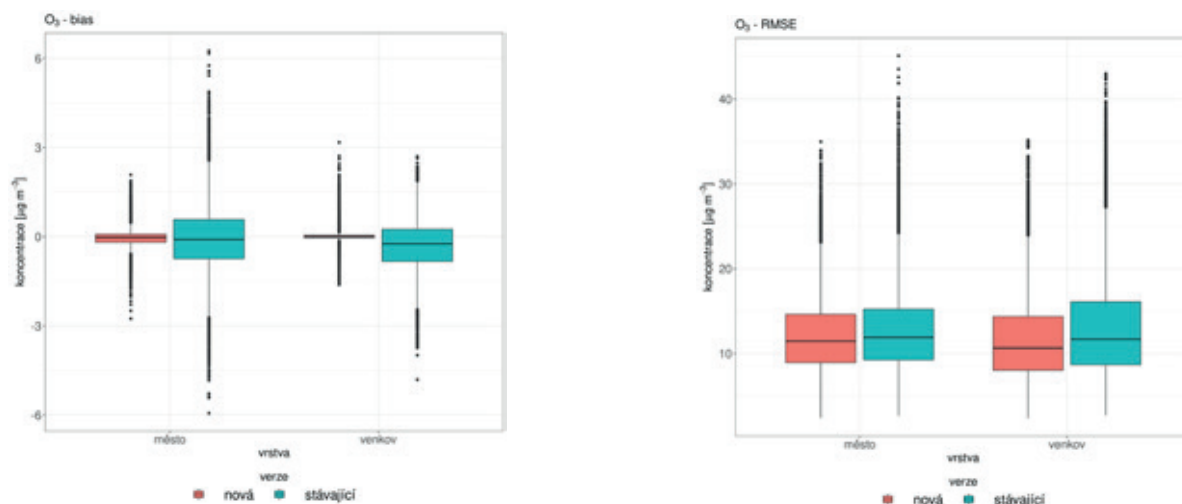
Mapová vrstva	Způsob mapování	Jen interpolace	Pětiletí	Nadmořská výška	CAMx
Městská	stávající	12	65	79	nebylo použito
	nový	18	37	nebylo použito	71
Venkovská	stávající	4	75	86	nebylo použito
	nový	6	43	53	68

Pozn.: Jen interpolace – nebyla použita žádná z podkladových vrstev. Mapa vznikla prostou interpolací staničních dat.

Note: Interpolation only – none of the supplementary layers were used. The map was created by simple interpolation of station data.

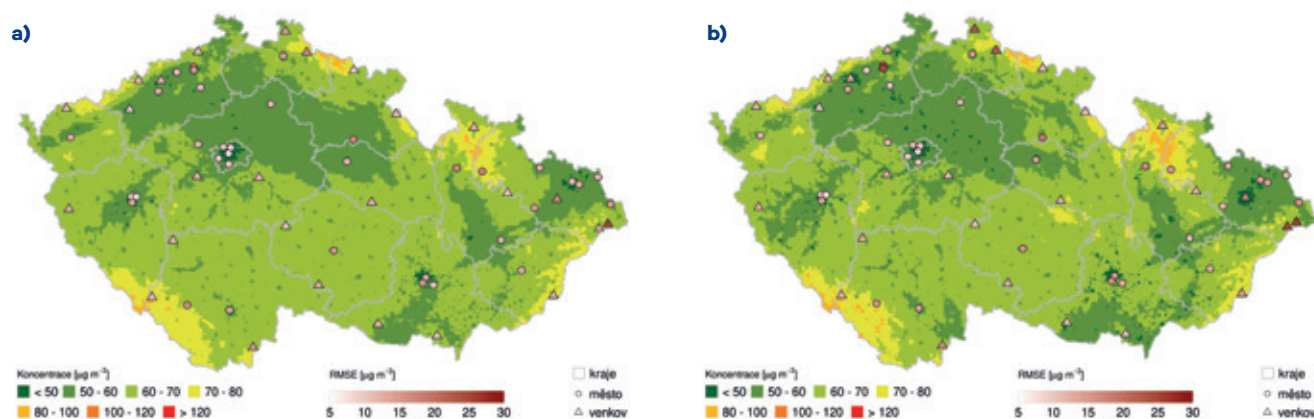
Prostorové rozložení chyby RMSE je znázorněno na obr. 4. Nový přístup výrazně napomohl ve třech oblastech, kde chybu snížil na polovinu (viz Jizerské hory, Beskydy, Ústí nad Labem). Tento výsledek není možno interpretovat jako identifikaci problematických lokalit, jelikož se jedná o výsledky z křížového ověřování, a ne o chybu výsledné mapy v místě měření, která je minimální. Dá se ale předpokládat, že k vylepšení dochází i mimo místa měření za obdobných podmínek a že se tedy prostorová chyba také sníží. Tuto chybu nelze jiným způsobem hodnotit.

³ Roční imisní limit $120 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ maximálního denního 8hodinového klouzavého průměru přízemního O_3 může být překročen maximálně 25krát/rok v průměru za 3 roky



Obr. 3 Vyjádření celkových nejistot map průměrných hodinových koncentrací přízemního O_3 . Krabičky zobrazují spodní kvartil, medián a horní kvartil; spodní a horní „vous“ vyjadřuje hodnoty mezi dolním/horním kvartilem a 1,5násobkem mezikvartilového rozpětí; body zobrazují odlehlé hodnoty.

Fig. 3. Total uncertainties of hourly maps of ground-level O_3 . Boxes display 1st quartile, median, 3rd quartile, lower and upper whisker (values between 1st/3rd quartile and 1.5* interquartile range) and outliers as dots.



Obr. 4 Vyjádření prostorové nejistoty pomocí RMSE z hodinových dat získaných procesem křížového ověřování u nového (A) a stávajícího (B) způsobu. Mapový podklad je roční průměr vypočtený z hodinových dat oběma způsoby.

Fig. 4. Spatial uncertainty expressed by root-mean-square error calculated from hourly cross-validation data for new (A) and current (B) approach. The map base is an annual average calculated from hourly data for both approaches.

Při srovnávacím přepočtu, kdy byla použita nová metodika, ale do regrese nevstupoval model CAMx, se mezikvartilové rozpětí odchylky zmenšilo a taktéž se zmenšila chyba v zmíněných oblastech. Je tedy předpoklad, že toto pozitivní vylepšení je způsobeno z velké části krigingem. Analýza časových řad každé dvojice stanic, kde došlo k výraznému zmenšení chyby, ukázala, že průměrná absolutní chyba reziduí se pohybuje okolo $18 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. IDW metoda zachovává hodnotu v místě měření a její váha klesá v závislosti na vzdálenosti. Z toho plyne, že v případě velkých prostorových gradientů koncentrací nepodchycených staničním měřením nutně selhává a při křížovém ověřování chybně nadhodnocuje/podhodnocuje. Oproti tomu kriging, který je založen na váženém průměru známých hodnot sousedních bodů, tyto situace vystiňuje lépe.

U stávajícího přístupu nevykazují naměřená data kladnou korelaci s žádnými doplňkovými daty přibližně ve 12 % hodin pro městskou vrstvu a ve 4 % pro venkovskou vrst-

vu. V těchto případech je použita prostá interpolace naměřených hodnot. U nového přístupu tato situace nastala přibližně v 18 % hodin pro městskou vrstvu a v 6 % pro venkovskou. Je ale třeba upozornit, že je zvolen statisticky správnější, ale i přísnější přístup – v regresi zůstávají pouze doplňková data vykazující statisticky významnou závislost s měřením. U stávajícího způsobu bychom při aplikování stejně přísných pravidel lineárního modelu dosáhli hodnot 66 % pro města a 16 % pro venkov. U nové metodiky se jako nejčastěji začleněný podklad ukázal model CAMx, který byl využit v 68 % případů pro venkov a v 71 % případů pro města (tab. 2).

Podrobná analýza taktéž ukázala, že v letních měsících dochází u venkovské vrstvy jak u stávajícího, tak i nového přístupu často k prosté interpolaci naměřených hodnot mezi 10. a 16. hodinou. Podobně tomu je u městské vrstvy ve večerních/nočních hodinách (přibližně 19:00–3:00). Tento pokles četnosti použití lineárního modelu je pro některé hodiny až 65 %, viz



Obr. 5 Četnosti použití lineární regrese při tvorbě městské a venkovské mapové vrstvy u nového a stávajícího přístupu za měsíc srpen.

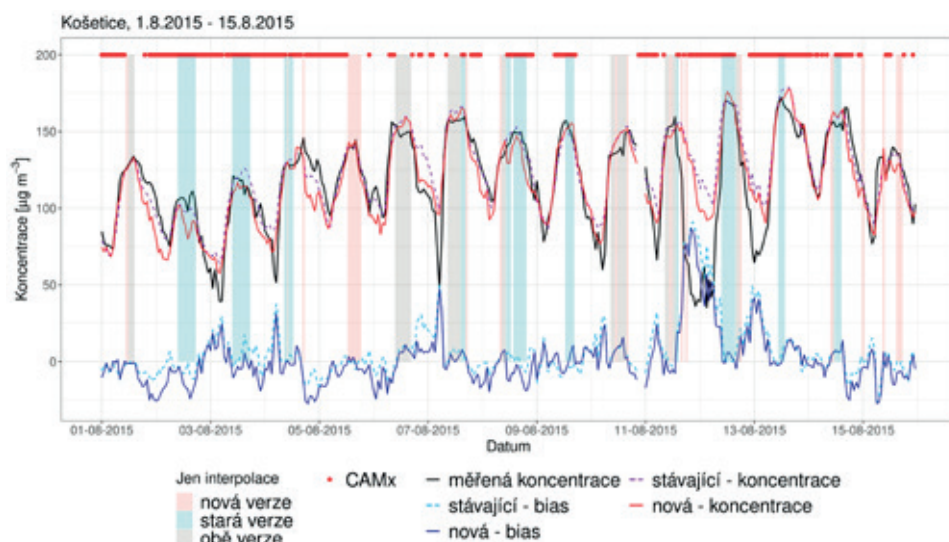
Fig. 5. Frequencies of linear regression model usage during urban and rural map layer(s) creation for new and current method for the month of August.

obr. 5 pro měsíc srpen⁴. Při tvorbě venkovské vrstvy tvořené novým přístupem je lineární regrese v kritických denních hodinách použita častěji. U městské vrstvy v nočních hodinách je tomu tak jenom v srpnu, v jiných letních měsících je použití lineární regrese častější u stávajícího přístupu. Selhání doplňkových dat v lineárním modelu může být vysvětleno velkou prostorovou i časovou variabilitou v rámci hodinových dat. Pětiletý průměr maximálních 8hodinových hodnot nemusí tuto variabilitu plnohodnotně vystihnout a CAMx na základě výsledků validace (obr. 2 – léto) nedosahuje v letním období dostatečné shody s měřením – je podhodnocen, časově zpožděn a vykazuje relativně plochý denní průběh. Podobně tomu je v nočních hodinách v městském prostředí, kdy pětiletý průměr maximálních 8hodinových hodnot (které nastávají ve městech zpravidla přes den) nemůže vystihnout noční propady, které jsou ke všemu prostorově velice odlišné (ve velkých městech jsou vyšší denní maxima, ale také hlubší propady koncentrací v noci). CAMx noční propady celoročně nevystihuje dostatečně dobře, v letních měsících je tento nepoměr o to výraznější. Četnost zahrnutí doplňkových dat do lineární regrese v měsíci srpnu je na obr. 6.

Obr. 6 Četnosti zahrnutí doplňkových dat (nadmořské výšky, modelu CAMx a „pětiletí“) do lineární regrese při tvorbě venkovské a městské mapové vrstvy novým a stávajícím způsobem.
Fig. 6. Frequencies of inclusion of the additional data (altitude, CAMx model and “5-year average”⁵) into linear regression during rural and urban map layer(s) creation for new and current method for the month of August.

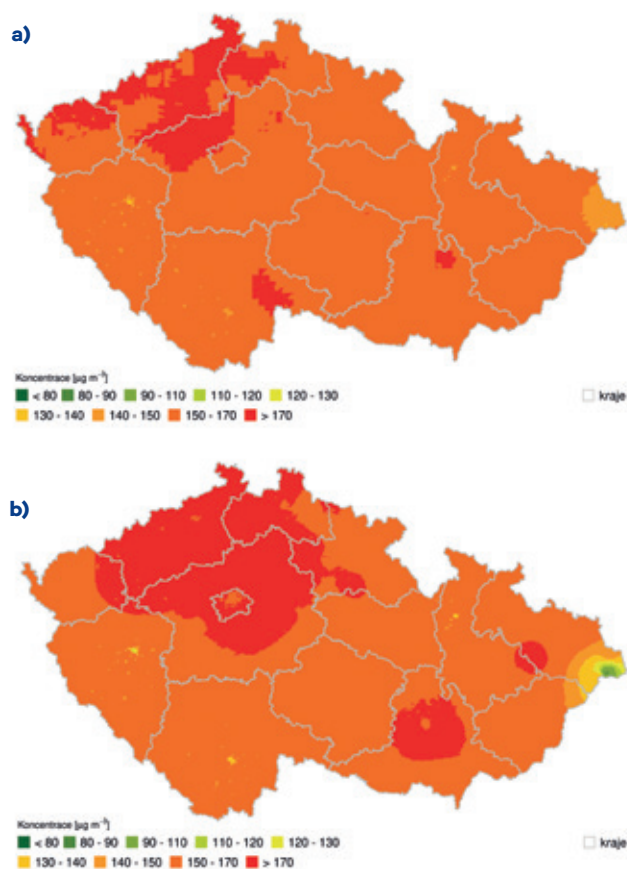
⁵ Five-year average of 26th highest daily maximum 8-hour running averages of O₃.

⁴ Měsíc srpen byl vybrán z důvodu dlouhotrvajících smogových situací na téměř celém území ČR, viz historický přehled vyhlášených smogových situací a regulací, <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/smog/index.html>.



Obr. 7 Časový průběh průměrných hodinových koncentrací přízemního ozonu a jejich vychýlení (bias) na pozadové venkovské stanici Košetice za období od 1. do 15. 8. 2015. Koncentrace jsou v místě stanice spočteny metodou křížového ověřování. Graf také obsahuje informaci o použití modelu CAMx a prosté interpolaci naměřených hodnot.

Fig. 7. Time series of hourly mean ground-level ozone concentrations and their biases at the Košetice background rural station in a period from the 1st to the 15th August 2015. Values in the station location are calculated by cross-validation. It also gives information when the CAMx model was used and when only interpolation of in-situ data was applied.



Obr. 8 Výsledná kombinovaná mapa průměrné hodinové koncentrace přízemního O₃ dne 7. 8. 2015 v 14:00 – pro nový (A) a pro stávající (B) způsob.

Fig. 8. Hourly mean of ground-level O₃ concentration on 7th August 2015 at 2 p. m. The final combined map – for the new (A) and current (B) approach.

Časový průběh hodinových koncentrací během letních dnů od 1.–15. 8. 2015 pro pozadovou venkovskou stanici Košetice je na obr. 7. V tomto případě jsou průměrný bias i jeho mezikvartilové rozpětí u stávajícího i nového přístupu téměř totožné. V grafu je ale přehledně znázorněno, že nový přístup – i navzdory přísnějším podmínkám akceptace dat v lineárním modelu – je schopen lineární závislost využít častěji, a to díky modelu CAMx (jeho využití v regresi je znázorněno červenými tečkami v horní části grafu).

Ukázka výsledných map je na obr. 8. Odpovídající výstup modelu CAMx je uveden na obr. 1. Je patrné, že mapa tvořená novým přístupem částečně převzala prostorové rozložení koncentrací modelu CAMx (např. zvýšené koncentrace v Krušných horách a na Třeboňsku a snížené koncentrace v okolí Křivoklátska a Brna, které jsou pro danou hodinu odlišné od ostatních podkladových dat).

5. Diskuze

V článku jsou srovnávány dva různé způsoby tvorby operativních map založené na přibližně stejné metodice – liší se doplňkovými daty, konstrukcí regresního modelu a způsobem interpolace zbylé variability měřených koncentrací, která není vysvětlena lineární regresí mezi měřeními a doplňkovými daty. Nový přístup se od stávajícího liší hned v několika ohledech, výsledek je posuzován komplexně a studie podrobně nerozebírá, která ze změn je nejpřínosnější. Problematickým se může jevit zahrnutí podmínky statistické významnosti při tvorbě regresního modelu, která zvyšuje počet případů, kdy dochází k prosté interpolaci naměřených hodnot. Ponechání statisticky nevýznamných dat nemusí nutně znamenat zanašeni chyby do regresního modelu, jelikož jejich vliv určený regresním parametrem nebývá velký, ale je určitě statisticky korektnější p-hodnotu brát v potaz. Tato problematika by si ale jistě zasloužila důkladnou analýzu. Zvolení rozdílné interpolační metody reziduí zmenšilo výrazné rozpětí odchylek. Toto bylo pozorováno hlavně ve třech lokalitách, kdy IDW metoda nezvládla velkou variabilitu hodnot blízkých stanic. Taktéž se ukázalo, že v případě přízemního O₃ je tvorba map nejsložitější v letních měsících, kdy jeho koncentrace dosahuje nejvyšších hodnot. Je proto v našem zájmu, aby v době, kdy mohou vznikat smogové situace, se tvorba map podpořila doplňkovými daty, která lépe vysvětlují danou situaci. Začlenění výstupu modelu CAMx je určitě přínosem během těchto problematických dnů, jelikož nedochází tak často k prosté interpolaci naměřených dat. Možností zpřesnění hodinových map, zejména v případě rychle se měnících rozptylových podmínek, by mohlo být začlenění jiného hodinového výstupu z modelu CAMx ze zvoleného okna

kolem dané hodiny, pokud vykáže lepší regresi s naměřenými daty než modelový výstup pro danou hodinu. Další možností je použití map vytvořených v předcházejících krocích. V případě přízemního ozonu by se mohlo jednat o mapu vytvořenou zprůměrováním map dané hodiny za posledních několik dnů. Při začlenění časově zpožděných dat je ale třeba brát v potaz autokorelaci, takže je potřeba zvolit vhodné časové období a podrobit je důkladné analýze. Do budoucna by určitě bylo vhodné vytvoření metodiky tvorby map se začleněním časově-prostorových metod.

Výstupy rozptylového modelu jsou samozřejmě zatíženy značnou nejistotou. Obecně platí, že čím silnější je vazba mezi modelem a měřením, tím menší roli hraje interpolace reziduí. To je samozřejmě žádoucí, ale zároveň z toho vyplývá důležitost co nej přesnějšího popisu koncentrací modelem (a tedy i emisí a veškerých vstupů) i mimo místa měření. V opačném případě je mapa zatížena chybou, kterou není v porovnání se staničními daty možné odhalit.

6. Závěr

Pro rok 2015 byl vyzkoušen nový způsob tvorby operativních hodinových map přízemního O_3 , který ve srovnání se stávajícím způsobem využívá aktuální výstupy chemického transportního modelu CAMx a který pro interpolaci reziduí využívá metodu krigingu (místo doposud používané metody IDW). Taktéž lineární model je vzhledem k použití doplňkových dat korektnější, jelikož je v něm kladen důraz na statistickou významnost všech vysvětlujících proměnných, a ne jenom na jejich kladnou regresní závislost. Nový přístup, v porovnání se stávajícími operativními mapami, odstraňuje systematické vychýlení a snižuje celkovou chybu. Z důvodu přísnějších podmínek při tvorbě regresního modelu se zvýšil celkový počet případů, kdy je mapa tvořena prostou interpolací staničních dat, ale nový přístup podpořil tvorbu map během problematických denních hodin v letních měsících, kde stávající přístup častěji nevyužil regresní závislost s doplňkovými daty. Začlenění modelu CAMx taktéž vnáší do mapy důležitou informaci založenou na aktuální meteorologické situaci, kterou jiná doplňková data neposkytují. Nový přístup by proto měl být aplikován při rutinní tvorbě operativních map přízemního ozonu.

Obdobná analýza bude probíhat i pro další látky ($PM_{2,5}$, oxid dusičitý a oxid siřičitý).

Poděkování:

Článek byl připraven s finanční podporou Technologické agentury ČR v rámci programu Prostředí pro život (projekt SS02030031 „ARAMIS“). Autoři děkují oponentům za připomínky, které pomohly zlepšit kvalitu původního textu.

Literatura:

- ČHMÚ, 2014. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2013. Praha: ČHMÚ. ISBN 978-80-87577-37-0 [online]. [cit. 5. 3. 2020]. Dostupné také z WWW: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/Obsah_CZ.html.
- ČHMÚ, 2015. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2014. Praha: ČHMÚ. ISBN 978-80-87577-52-3 [online]. [cit. 5. 3. 2020]. Dostupné také z WWW: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/14groc/gr14cz/Obsah_CZ.html.

- ČHMÚ, 2020. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020. Praha: ČHMÚ. ISBN 978-80-7653-023-2 [online]. [cit. 16. 11. 2021]. Dostupné také z WWW: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/Obsah_CZ.html.
- DE SMET, P., HORÁLEK, J., COŇKOVÁ, M., KURFÜRST, P., DE LEEUW, F. et al., 2011. European air quality maps of ozone and PM10 for 2008 and their uncertainty analysis. ETC/ACC Technical Paper 2010/10 [online]. [cit. 5. 3. 2020]. Dostupné z WWW: https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/etcacc_tp_2010_10_spatialmaps_2008.
- ĎOUBALOVÁ, J., VLČEK, O., HORÁLEK, J., 2020. Zpřesnění operativních map PM10 zahrnutím výstupu modelu CAMx, dalších doplňkových dat a využitím krigingu. *Meteorologické zprávy*, roč. 73, č. 3, s. 78–86. ISSN 0026-1173. Dostupné také z WWW: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/casmz/assets/2020/CHMU_MZ_3-20.pdf.
- ENVIRON, 2011. User's Guide to the Comprehensive Air Quality Model With Extensions (CAMx) Version 5.40 [online]. [cit. 12. 3. 2020]. Dostupné z WWW: <http://www.camx.com>.
- FINLAYSON-PITTS, B. J., PITTS, J. N., Jr., 2000. Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments, and Applications. Cambridge: Academic Press. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-257060-5.X5000-X>. ISBN 978-0-12-257060-5.
- HALSEY, L., CURRAN-EVERETT, D., VOWLER, S. et al., 2015. The fickle P value generates irreproducible results. *Nature Methods*, Vol. 12(3), s. 179–185. WWW: <https://doi.org/10.1038/nmeth.3288>.
- HORÁLEK, J., DENBY, B., DE SMET, P., DE LEEUW, F., KURFÜRST, P. et al., 2007. Spatial mapping of air quality for European scale assessment. ETC/ACC Technical paper 2006/6 [online]. [cit. 5. 3. 2020]. Dostupné z WWW: https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/etcacc_techpaper_2006_6_spatial_aq.
- LU, X., ZHANG, L., SHEN, L., 2019. Meteorology and Climate Influences on Tropospheric Ozone: a Review of Natural Sources, Chemistry, and Transport Patterns. *Current Pollution Reports*, Vol. 5, s.238–260. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40726-019-00118-3>.
- MADRONICH, S., 1993. Tropospheric photochemistry and its response to UV changes. In: *The role of the stratosphere in global change*. Vol. 18. NATO-ASI Series, ed. M.-L. Chanin, 437–61. Amsterdam: Springer-Verlag. Dostupné z WWW: <http://www.ciesin.org/docs/011-457/011-457.html>.
- MŽP, 2017. Opatření č. 17/17 Ministerstva životního prostředí o vydání úplného znění zřizovací listiny státní příspěvkové organizace Český hydrometeorologický ústav. Praha 4. října 2017, čj. MZP/2017/110/396. Dostupné z WWW: <http://portal.chmi.cz/o-nas/zakladni-dokumenty>.
- STAEHELIN, J., 2003. Ozone Measurements and Trends (Troposphere). Encyclopedia of Physical Science and Technology. Cambridge: Academic Press, s. 539–561. ISBN 978-0-12-227410-7. Doi: <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00037-5>. Dostupné z WWW: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/tropospheric-ozone>.
- Zákon č. 201/2012 Sb. – Zákon o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 69/2012. Dostupný z WWW: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201/zneni-20220201>.

Lektoři (Reviewers):

doc. RNDr. Iva Hůnová, CSc., Mgr. Peter Huszár, Ph.D.

Německé povodně v červenci 2021 zpovzdálí

Floods in Germany in July 2021: some observations from a distance

Jan Daňhelka

Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4
✉ jan.danhelka@chmi.cz

This paper presents and interprets information about Floods in Germany in July 2021 having been available through media. We structured the information according to basic components of the Early Warning System (risk knowledge; monitoring and forecast; warning dissemination; capacity to respond) with an aim to identify problems and aspects that might contribute to catastrophic impacts of the flood. We concluded that EWS needs to be always perceived as one system by all stakeholders and that they must act accordingly to preserve the overall value chain. We also present selection of key topics for lessons learnt for the early warning system practice in the Czech Republic.

KLÍČOVÁ SLOVA: povodně – systém výstražný – riziko

KEYWORDS: floods – early warning system – risk

1. Úvod

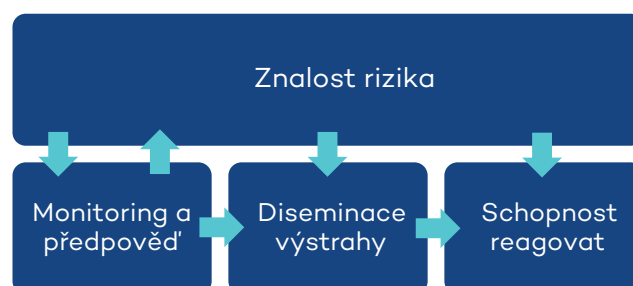
Následující text je pro Meteorologické zprávy rozhodně netypický. Jeho cílem není odborné zpracování dat zkoumané povodňové situace. Jedná se spíše o komentář, který se pokouší shrnout, čím se lze poučit z případu německých povodí a vysokého počtu jejich obětí. Je třeba upozornit, že vychází z neúplného pozorování na dálku a z velké části prostřednictvím zpráv prezentovaných médii. Autor si je vědom, že mediální informace nejsou úplnou objektivní reprezentací skutečnosti a jednotlivé příběhy prezentované v médiích nemusí realitu věrně popisovat. Nicméně i tak představují jisté symptomy celé události, nad nimiž je vhodné se zamyslet ještě před tím, než bude k dispozici oficiální hodnotící zpráva.

Ačkoliv povodně v červenci 2021 zasáhly kromě Německa také Belgie, Francii, Nizozemí a Lucembursko, v příspěvku se zaměříme výhradně na německé realie, a to zejména na povodí řeky Ahr na severu spolkové Porýní-Vesfálsko, kde došlo k nejvíce úmrtím.

Tlaková níže Bernd přinesla extrémní srážky (denní maximum 153,5 mm ve stanici Köln-Stammheim), které zasáhly plošně velmi rozsáhlé území na západě Německa. Spolu s velkým předchozím nasycením došlo zejména na tocích odvodňujících pohoří Eiffel k rychlému a katastrofálnímu odtoku koncentrovanému do úzkých říčních údolí. Celkově v Německu si uvedené události vyžádala 182 životů, tři nezvěstné, zcela zničila při-

bližně 500 domů a poškodila více než 3000 dalších, dotčeno bylo více než 100 000 lidí.

Abychom myšlenky, co vedlo k tak dramatickým dopadům, dokázali strukturovat, přidržíme se konceptu komplexního výstražného systému. Ten má podle definice Úřadu OSN pro snižování rizika katastrof UNDRR (Úřad OSN pro snižování rizika katastrof) čtyři komponenty: (1) znalost rizika, (2) monitoring a predikce, (3) šíření informací a (4) schopnost reagovat, které dále doplníme o úvahu nad způsobem jejich vzájemné integrace, celkové důvěry v systém a závislosti obyvatel na jeho fungování.



Obr. 1 Schématické znázornění komponent výstražného systému. Znalost rizika podmiňuje fungování všech ostatních složek systému. Určuje, jaké jevy budou monitorovány a predikovány, v jakém rozsahu, komu je třeba informaci doručit (kdo je ohrožen) a jakým způsobem bude adresát reagovat, tedy jak se podle doručené informace v kontextu svých znalostí a vnímání rizika rozhodne.

Fig. 1. Components of the Early Warning System. Risk knowledge determines design and functioning of all remaining components. Based on risk knowledge, EWS specifies what phenomena to monitor and forecast, at which extent, and to whom warning message needs to be delivered (who's at risk). Additionally, risk knowledge affects users' reaction to warning delivered as it predetermines their decision making process framing it to the context of their knowledge and risk perception.

2. Znalost rizika

Proč ji potřebujeme? Protože na jejím základě konáme. Výstrahy před hydrometeorologickými jevy v ČR vydáváme, protože víme, že pro nás dané typy jevů představují riziko. Naopak nemáme vybudován systém pro ochranu před sopečnými výbuchy a zemětřesením prostě proto, že pro nás nejsou relevantní a dobře to víme. Detailnější znalost rizika nám pomáhá dobře směřovat investice a zdroje do oblasti snižování zranitelnosti a zvyšování odolnosti, do prevence a připravenosti. Krásným příkladem může být vybudování mobilních povodňových hrází v centru Prahy před povodní 2002. Bylo známo, že mohou do Prahy přijít velké povodně a že největší škody by napáchaly v samotném centru. Proto byla navržena stavba mobilních

hrází a jejich výška byla zvolena tak, aby odpovídala známému nebezpečí z minulých povodní, a se stavbou se započalo v centru.

Problémem samozřejmě je, že naše znalost nikdy nebude úplná a zcela dostatečná. Nicméně...

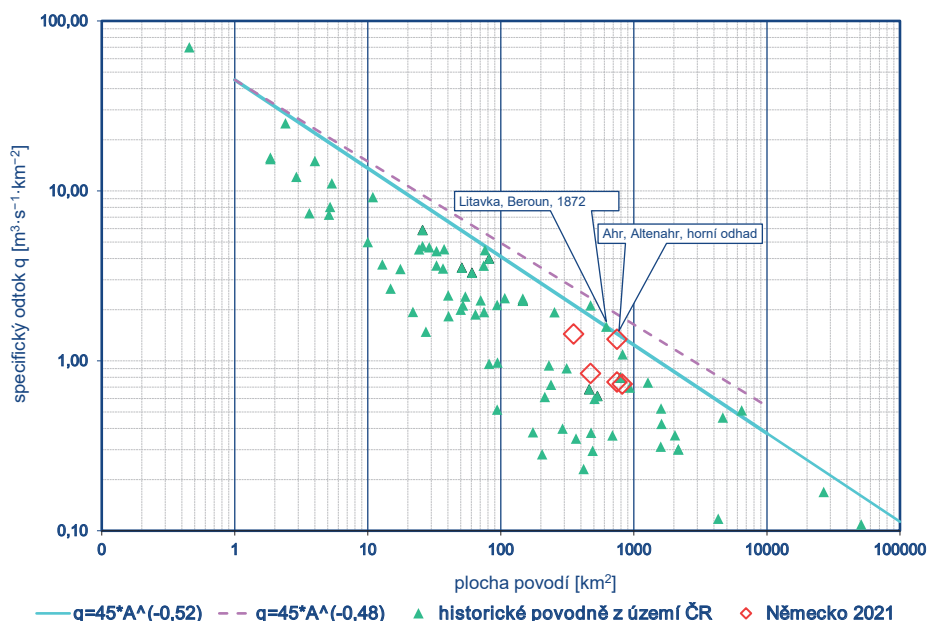
V případě německých povodní se objevily články s titulkem, že *vědci byli velikostí srážek a povodně zaskočeni* (Seznam Zprávy 2021a). Překvapením však spíše je, že někteří vědci jsou překvapeni. Předně je třeba říci, že šlo o srážkový i odtokový extrém, který se v daném místě může vyskytnout řekněme jednou za sto a spíše více let. Proto jej nelze hodnotit jen na základě pohledu na měřená data, jejichž délka je v Evropě typicky 50 až 100 let. Už při pohledu na širší střeoevropský prostor, kde jsou meteorologické podmínky, řekněme podobné, se ukazuje, že výskyt srážky více než 150 mm je událostí nepřekvapující. A pomohl by nám i detailnější pohled do minulosti.

Možná někteří vědci, kteří se věnují modelování klimatu od roku 1961 do 2100, mohli být zaskočeni. Vědci, kteří se věnují historické hydrologii, zaskočeni nebyli.

Za dobu pozorování (od roku 1947) na jednom z nejhůře postižených toků v oblasti – řece Ahr – byla zaznamenána řada povodní. Mezi největší patřily zimní povodně 1993 a letní povodně 2016. Kulminace v obou případech v Altenahru byla na úrovni $210\text{--}230 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Jenže výrazně větší letní povodně zde nastaly v červnu 1910, tedy ještě před počátkem pozorování. Ty byly rekonstruovány podle dobových fotografií a dochovaných povodňových značek a odhad průtoku na středním toku (Altenahr až Neuenahr) činí $500\text{--}600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Roggenkamp, Herget 2014). Ještě výrazně větší však podle zmíněné studie byly povodně z července 1804, z těch se zachovaly psané zprávy a dvě povodňové značky – odhad průtoku na středním toku na jejich základě dosahuje hodnoty okolo $1\,200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$!

Mimochodem Roggenkamp a Herget (2014) svůj vědecký článek zakončili následovně: *Výzvou pro budoucnost zůstává odhad pravděpodobné moderní výšky hladiny při výskytu povodní, jako byly ty v roce 1804 nebo 1910 v obydlených oblastech podél řeky Ahr. Rozvoj osídlení zmenšil retenci v území a hladina povodní by velmi pravděpodobně v dnešních podmínkách byla výše.* Podcenění rizika tak pravděpodobně vedlo ke zvýšení expozice a zranitelnosti. Fotografie srovnání úrovně hladiny s historickými údaji z Dernau ukazuje výrazně vyšší úroveň hladiny v roce 2021, ač odhad velikosti průtoku v Altenahru udává pro rok 2021 spíše menší hodnoty $700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Schäfer et al. 2021), $1\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Kreienkamp et al. 2021).

Zdá se, že doba výskytu historických povodní mohla být jedním z nepříznivých faktorů – v případě jmenovaných extrémů jde o události mimo historickou paměť obyvatel, ale zjevně i mimo dosah místních odborných metod v povodňové ochraně.



Obr. 2 Porovnání hodnot specifických odtoků dle velikosti plochy povodí s historickými povodněmi z území ČR a odvozenou obalovou křivkou. Odhad velikosti kulminací pochází z práce Schäfera a kol. (2021) a Kreienkampa a kol. (2021).

Fig. 2. Specific runoff as a function of catchment area for most severe floods ever recorded at the territory of the Czech Republic and estimated upper bound curve. German July 2021 floods peak flow estimates are based on Schäfer et al. (2021) and Kreienkamp et al. (2021).

Co tedy víme o riziku na postižených tocích na západě Německa?

V Německu se povodňové mapy zpracovávají pro desetiletou (Q_{10}), stoletou (Q_{100}) povodeň a tzv. povodňový extrém (jeho stanovení bohužel v Německu není jednotné, odpovídá Q_{200} až Q_{500} , nebo také zvolenému násobku Q_{100}). V případě řeky Ahr¹ povodňové mapy ukazují, že průtok Q_{100} ve městech jako Bad Neuenahr – Arhweiler nebo Sinzig (kde utonulo 12 obyvatel domu s pečovatelskou službou) neznámá v podstatě žádné rozlivy mimo koryto toku. Při pohledu na dostupné fotografie obou měst a charakteru koryta v nich, je něco takového pro hydrologa eufemisticky řečeno kontraintuitivní.

V profilu Altenahr (plocha povodí 746 km^2) byla hodnota Q_{100} stanovena na $241 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Schäfer et al. 2021). Je tedy zřejmé, že výše zmíněné informace o historických povodních nebyly vzaty do úvahy při výpočtu hodnoty stoletého průtoku. Poznamenejme, že v ČR je – pokud je známa – historická povodeň do analýzy vždy zařazena, protože významně zpřesňuje odhad velikosti povodní, a proto jsou, i na základě našich zkušeností z extrémních povodní 2002, historické povodně vyhledávaným zdrojem informací při vyhodnocení doby opakování. Pokud byla v tomto případě velikost Q_{100} jako návrhové povodně spočtena pouze na základě pozorovaných dat, došlo k podhodnocení skutečného rizika. Přitom podhodnocení v takových případech má dalekosáhlé důsledky – lidi, kteří si myslí, že jsou v „bezpečí“ mimo dosah povodně, ve skutečnosti povodeň zasáhnout může; postavené hráze, které mají chránit na Q_{100} , ve skutečnosti chrání jen před menšími povodněmi, mosty nejsou dost kapacitní a mohou vodu nad sebou vzdouvat apod.

¹ <https://hochwassermanagement.rlp-umwelt.de/servlet/is/200041/>

Správné určení velikosti možných povodní je klíčovou vstupní informací pro efektivní povodňovou ochranu. Jak jsme ukázali, spolehnout se pouze na pozorovaná data o délce desítek let může být velmi zrádné. Navíc to vypadá, že v tomto případě se jedná o pověsné srovnávání jablek a hrušek v podobě typově odlišných povodní, kdy v řadě pozorování máme „mnohé“ povodně zimní a běžné letní, na jejichž podkladě nelze odhadnout pravděpodobnost výskytu absolutního extrému tlakové níže zasahující těžištěm svých srážek přímo na povodí. Možná pro pochopení lepší ilustrační případ může být malý potůček o ploše povodí 10 km². Budeme-li zde pozorovat povodně, najdeme zde případy jarního tání, deštivějších let a podzimů, kdy dva dny za sebou naprší 20–30 mm. Najdeme i bouřky, kdy spadne za hodinu 30 mm. Teoreticky zde ale může vzniknout situace, kdy právě nad tímto povodím bude přecházet pás bouřek a za 3 hodiny tu naprší 120 mm. Takových případů známe z našeho území poměrně dost, takže statisticky se jednou musí vyskytnout i na našem potůčku – řekněme jednou za 500 let. Takovou informaci ale z měření jarních tání nejsme schopni odhadnout, protože jde o zcela jiný mechanismus vzniku povodně a nahodilý jev. Zde nevystačíme s měřením průtoku, ale musíme se podívat i na to, co je teoreticky možné podle informací ze širšího okolí a za delší období.

Na tomto místě si dovolíme malou odbočku: např. v Blessemu, kde došlo k zatopení lomu a mediálně prezentovaným sesuvům, bylo v mapách podchyceno, že při Q_{100} se lom zatopí. V Sinzigu, kde utonuli lidé v pečovatelském domě, dosahuje rozliv v mapě uvedené extrémní povodně až k pečovatelskému domu, který je v místě za povodňovou hrází teoreticky dimenzovanou na Q_{100} . Realita zde letos přesáhla hloubku udávanou v mapě pro $Q_{extrém}$, ale navíc je z map rozlivů zřejmé, že most dálnice a železnice tvoří ve zdejší nivě známou překážku proudění – tj. téměř jistě můžeme říci, že k médiu popisované extrémní rychlosti stoupání hladiny zde přispělo vzduť.

Ovšem ani perfektní znalost rizika na odborné úrovni nezaručuje totéž na úrovni jednotlivých ohrožených obyvatel – opravdu všichni lidé vědí, že žijí v záplavovém území, dokáží si představit, co jim hrozí? K tomuto faktoru se ještě vrátíme.

3. Monitoring a predikce

Schopnost monitorovat a předpovídat stojí za ohromným snížením počtu obětí živelných pohrom ve vyspělém světě oproti historickým událostem. Nikdy ale nebude dokonalá.

V případě německých povodní zafungovala skvěle předpověď meteorologická. Informace o tom, kde budou extrémní srážky a „extrémní nečas“ a že může napadnout až ke 200 mm srážek, byly k dispozici – tedy byly ze strany Deutscher Wetterdienst (www.dwd.de) publikovány. Jenže od této informace je ještě velmi dlouhá cesta k rozhodnutí jednotlivce opustit svůj dům či rozhodnutí starosty započít s nucenou evakuací.

Prvním navazujícím krokem je měření a předpověď, kolik vody ze srážek odteče a jak vysoko voda vystoupá. Vodoměrná síť v uvedených oblastech vybudována je a zdá se, že byla po určitou dobu povodně dostatečně funkční (Seznam Zprávy 2021b)². Podobně jako v případě jiných extrémních

událostí však došlo k přerušení dodávek dat z důvodu zaplavení stanice, jejího poboření, či přerušení spojení a přenosu (mobilní sítě). Stanice v Munschu přestala data uvádět 15. 7. 2021 ve 14:15 při stavu 253 cm³, také stanice Altenahr přestala vodní stav ve vrcholné části povodně reportovat. Pro zajímavost: předběžný odhad výšky hladiny je okolo 700 cm, zatímco dosavadní zaznamenané maximum z roku 2016 bylo 371 cm⁴.

Dostupné zprávy o dostupnosti lokálně vytvářených předpovědí pro řeku Ahr nejsou jednoznačné. Je zřejmé, že bylo vydáno několik odhadů výšky kulminačního stavu, nejednalo se však o pravidelné modelové předpovědi, které nebyly v době povodně pro Ahr implementovány. Ovšem i v případě, kdy srážkovodtokové modely existují, je třeba upozornit na jejich známé limity. Tento případ významně (násobně) překročil hodnoty, které byly dostupné pro takzvané kalibrování modelu. To je nezbytné, protože oproti skutečnosti modely popisují postup vody v půdě a v krajině velmi zjednodušují.

Každopádně pro povodí Ahru jako pro územní jednotku jsou vydávány povodňové výstrahy zemskou vládou Porýní-Falc⁵. Zda a jaká výstraha byla vydána, zpětně v této chvíli není možné dohledat, ale lze předpokládat, že nějaká povodňová informace k dispozici byla. Vyhodnocení její přesnosti bude jistě provedeno (v rámci slyšení zemským parlamentem) a později se jej dozvíme.

Ze zkušeností hydrologa z jiných situací je zajímavou otázkou, zda nějakou roli nesehrál i faktor dominance Rýna jako hlavní zdejší řeky⁶. V některých případech na sebe hlavní tok může strhnout tolik pozornosti (nejen v operativě, ale v povodňové ochraně vůbec), že na ostatní toky se trochu pozapomene.

Diskutovány v německém tisku byly i předpovědi evropského systému EFAS, které nebezpečí povodní předpovídaly a byly německým úřadům k dispozici. Skutečnost je taková, že EFAS na základě předpovědi srážek skutečně indikoval nebezpečí vzniku povodní, které interpretoval jako až 22 % pravděpodobnost dosažení úrovně 20leté povodně (Zeit 2021). Je naivní se domnívat, že taková informace byla pro rozhodování o evakuaci a záchranně na místě jakkoliv užitečná. Ve skutečnosti tato informace nepřináší pro místní orgány a jednotlivce v podstatě žádnou přidanou hodnotu ve srovnání s předpovědí srážek DWD, naopak v situaci, kdy je v místě vybudována ochrana na úroveň 100leté povodně může vést k falešnému pocitu bezpečí.

³ <https://www.hochwasser-rlp.de/karte/einzelpegel/flussgebiet/rhein/teilgebiet/mittelrhein/pegel/MUESC>

⁴ <https://www.hochwasser-rlp.de/karte/einzelpegel/flussgebiet/rhein/teilgebiet/mittelrhein/pegel/ALTENAHNR>

⁵ <https://fruehwarnung.hochwasser-rlp.de/ahr-einzugsgebiet.28.html>

⁶ Ursula Heinen-Esser, ministryně životního prostředí Severního Porýní – Vestfálska uvedla, že země zlepšila povodňovou ochranu na malých tocích: *Na Rýně dokážeme vzestup hladin v profilech velmi dobře předpovídat na několik dní dopředu. V případě menších řek jsou doby varování před silnými povodněmi při extrémních povětrnostních jevech kratší* (Presseportal 2021a)

² Žena, která pracuje pro zemskou vládu, byla v kanceláři mimo obec, když začala stoupat voda, a uvedla: *Viděla jsem, že voda stoupá o dva metry. Pak o tři a půl metru, pak pět a půl metru, pak čtyři metry a pak už se údaje neobjevovaly. Stouplo to během hodiny* (Seznam Zprávy 2021b).

4. Šíření výstrah

Jak dostat informace rychle k tomu, kdo ji potřebuje pro reakci, tedy k jednotlivým občanům? Právě na tento aspekt se v Německu po povodních zaměřila intenzivní diskuze. Problémy, které se v kritice objevují, lze shrnout do následujících bodů.

Místní sirény v podstatě nefungují. V září 2020 proběhl národní den varování, jehož cílem bylo prověřit funkčnost všech nástrojů pro vyrozumění. Jednalo se o první takový test od sjednocení Německa. Přitom se ukázalo, že řada obcí a měst není sirénami vůbec vybavena, nebo že jsou nefunkční (Welt, 2021, Focus, 2021). Zdá se, že stav, že se lokální sirény neudrží a nepoužívají, je brán jako fakt. Navíc v době povodní jejich použití zjevně naráželo na nepochopení jejich smyslu (nejspíše jak u úřadů, tak u obyvatel). V Rheinbergu například sirény nespustili, protože jak vysvětlila zdejší mluvčí: *kdybychom spustili sirény, zatímco média ještě neinformovala o události, všichni lidé by zavolali na číslo 112... poplach způsobí paniku* (Bild 2021a). Každopádně se ale objevují požadavky na znovuoobnovení sirén a jejich povinného používání (Presseportal 2021b).

V Německu v minulosti došlo k přechodu na použití mobilních aplikací pro informování obyvatel (KatWarn⁷, Nina⁸, BI-WAPP⁹), ale ukazuje se, že jejich dosah není dostatečný. Zde je nutné uvést, že ohledně použití mobilních telefonů pro informování a vyrozumění obyvatel v komunitě ochrany před katastrofami panuje obecně velký optimismus jako o „velké věci“. Bude zajímavé sledovat, zda po zkušenosti z německých povodní poněkud neochladne.

Fungování aplikací totiž bylo rovněž problematické. Již v průběhu zmíněného národního dne varování došlo k výraznému zpoždění distribuce výstrah prostřednictvím aplikací. Hlavně však v průběhu povodně státní aplikace Nina pro oblast řeky Ahr neposkytla žádná varování (Tagesschau 2021a), protože pro Ahr vkládány tyto informace do aplikace ze strany zemské vlády nejsou. Navíc – po zkušenosti z jiných extrémních situací – je třeba vzít v úvahu i riziko, že mobilní sítě budou v postižených oblastech přetížené, protože lidé budou hledat a stahovat velké množství aktuálních informací, nebo zcela nefunkční, protože budou extrémní situací poškozeny či vyřazeny z provozu místní vysílače.

O něco spolehlivější by mohly být notifikační SMS zasílané operátory. Ty však v Německu byly údajně v roce 2000 zrušeny z důvodu ochrany osobních údajů a momentální výjimka platila pouze pro koronavirové informace. Právě zde je však aktuálně spatřována možná cesta (Bild 2021b), a to i v rámci připravovaného evropského systému REVERSE 112.

Kritice však neunikla ani veřejnoprávní média (za to, že se situaci v reálném čase příliš nevěnovala), a špatná komunikace na sociálních sítích ze strany místních orgánů.

V ČR je povinnost vyrozumění obyvatel na místní samosprávu za pomoci integrovaného záchranného systému (IZS). Něco podobného místy zafungovalo i v Německu (kde je ostatně povinnost varovat definována podobně): *Byli jsme doma, varovali nás, ale voda stoupala tak rychle... Trvalo to jen dvě hodiny, od*

sedmi večer do devíti, do půl deváté (Seznam Zprávy 2021b). Naopak v jiných případech došlo ke zpožděním ve vyrozumění obyvatel a k výzvě k evakuaci, která v té době (okolo 23:00) již nebyla možná (Tagesschau 2021b).

5. Schopnost reagovat

Lidé svá sídla historicky zakládali u řek, protože to přinášelo výhody (zdroj vody, obživy, energie...). Nevýhodu v podobě povodní museli být schopni snášet a rychle obnovit fungování místní společnosti. Opravdu velké povodně však vždy znamenaly ztráty na lidských životech. Protože se však vyskytovaly výjimečně, jednou za několik generací, byly zapomenuty, či akceptovány jako přijatelné riziko.

Míra toho, co považujeme za přijatelné riziko je však nejen individuální, ale mění se i v čase. A mimo jiné je motivem pro adaptaci člověka i společnosti v podobě budování různých opatření a snižování zranitelnosti.

Městečka podél Ahr byla příliš blízko řece, než aby mohla spoléhat na to, že je povodně nezasáhnou. Analogií může být centrum Karlových Varů, které je sevřeno v úzkém údolí říčky Teplé, která se několikrát katastrofálně rozvodnila (nejvíce v letech 1582 a 1890). Jak dramatický zde musel být průběh povodně, je zachováno v podobě povodňové značky z listopadu 1890 na adrese Stará Louka 30, vysoko nad hlavami procházejících lidí.

Obyvatelé obcí podél řeky Ahr zažili v posledních 30 letech několik povodní (viz znalost rizika) na úrovni okolo $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Nebylo by jistě překvapující, že pokud jim bude doručena informace o tom, že hrozí extrémní povodně, budou si velmi pravděpodobně představovat něco právě na úrovni své největší/nejhorší zkušenosti, možná o něco málo více (tento druh kognitivního zkreslení je někdy označován jako Lukréciova faleš¹⁰). Je tak pravděpodobné, že budou reagovat obdobným způsobem jako „minule“ – půjdou v klidu spát, protože se cítí v bezpečí, budou se snažit odčerpávat vodu ze sklepa, protože to byly škody, které utrpěli při minulých povodních apod. Pokud se tak objevují zmínky o nalezení několika obětí ve sklepech nejspíše zaskočených při čerpání vody, nemuselo se jednat z pohledu jejich zkušenosti o iracionální krok, jak bychom na něj mohli pohlížet my zpětně.

Další přirozenou reakcí člověka je potřeba sociálního potvrzení svého rozhodnutí. Přirozené při obdržení varování (např. při rozeznání sirén) je nikoliv okamžitá evakuace, ale to, že člověk vyjde před dům, či na chodbu a zjišťuje, co se děje a co budou dělat ostatní sousedé. V takovém případě je jeden rozhodný člověk schopen „zachránit“ svým příkladem mnoho lidí ze svého okolí. V okamžiku, kdy je již voda po kolena a nutnost evakuace je zřejmá každému, je často již příliš pozdě na bezpečný únik.

Dalším negativním faktorem je noc a tma – lidé, které voda zastihne v průběhu noci, mají vždy velkou nevýhodu v možnosti reagovat včas a efektivně.

Co s tím? Německý ministr vnitra Horst Seehofer řekl: *musíme zvýšit povědomí každého obyvatele o tom, jak se vypořádat se scénáři katastrofy* (Spiegel 2021). Jistě, problémem bude jak.

⁷ <https://www.katwarn.de/>

⁸ <https://warnung.bund.de/>

⁹ <https://www.biwapp.de/>

¹⁰ *Jen blázen věří, že nejvyšší hora na světě je velká jako ta nejvyšší, kterou on ve svém životě viděl.*

Ze světa víme, že v Japonsku se velmi osvědčilo cvičení správné reakce na zemětřesení ve školách. Trochu to vyvolává vzpomínky na cvičení civilní obrany (CO) před rokem 1989. Ale ruku na srdce, všichni „procvičení“ dodnes vědí, že si mají lehnout na břicho hlavou od výbuchu, zabalit se do pláštěnky a igelitových pytlíků a řádně utáhnout plynovou masku. Víte, co dělat v případě, že vás zastihne přívalová povodeň u vás doma, nebo v penzionu na dovolené?

6. Provázanost komponent výstražného systému

Německo má složité vnitřní uspořádání s rozdělenými kompetencemi na federální, zemské a místní úrovni. Na to se však katastrofa neptá. Při vší účtě, až strašidelně působí výrok šéfa federálního úřadu pro zvládání katastrof Armina Schustera, že varovné systémy úřadu *fungovaly hladce*, ale že: *není nám jasné, která jednotlivá opatření jsou poté přijata na místě na konci řetězce distribuce zpráv*. S tím, že federální úřad nenese žádnou odpovědnost za zvládání katastrof na místě (ZDF 2021). Toto prohlášení nelze interpretovat jinak, než že jednotlivé komponenty systému výstrah nejsou provázány, každý hledí pouze na svou část a celkový výsledek zůstává opomenut. (Podle mého názoru se zde opět projevil vliv nedostatečné znalosti rizika, která nebyla taková, aby vedla k poznání nutnosti takového jasněho provázání všech komponent a institucí zapojených v systému.)

Ukazuje se tak, že jakékoliv informace např. o historii povodní (v komponentě znalosti rizika), či predikce srážek (v komponentě monitoringu a předpovědi) jsou vlastně bezcenné, nejsou-li propojeny a využity v rámci dalších komponent. Nakolik přímočařejší a možná funkčnější byly historické povodňové značky na mlýnech, které představovaly trvalou informaci o riziku pro naše předky.

Správně se říká, že riziko je vždy lokální. Proto rozhoduje lokální úroveň a případ německých povodní ukazuje, že centralizované produkty typu evropských modelů mají k lokálnímu využití pořád příliš daleko a pro rozhodování na místě jsou nepoužitelné, nebo jim zkrátka něco chybí.

7. Důvěra a závislost

Reakce lidí v odezvě na výstrahu závisí ještě na dvou dalších důležitých faktorech – na důvěře v systém a na míře závislosti na pokynech, které jeho prostřednictvím dostáváme.

Důvěra je budována především dobrou zkušeností a pocitem, že informace ze systému jsou užitečné. Často se setkáváme s názorem, že výstrah je vydáváno příliš mnoho. Víme, že takový pocit u lidí je problémem, protože jejich ochota reagovat, když přijde výstraha, je potom mnohem menší. Tento fenomén se nazývá „crying wolf“ podle známé pohádky o pasáčkovi, který tak dlouho zbytečně volal lidi na pomoc s vlkem, že když vlk skutečně přišel, nikdo již na pomoc nevyrazil. Ostatně i z Německa podobná slova zazněla ve smyslu, že problém je v tom, že varování jsou vydávána relativně často: *pokud byli lidé varováni patnáctkrát a patnáctkrát se nic nestalo, a potom se to stalo až po šestnácté, pak se nedivte*. (BR 2021).

Problém je, že informace v oblasti výstrah a rizika jsou z povahy věci zatíženy poměrně významnou mírou nejistoty – platí to pro vymezení záplavového území, stejně jako pro předpověď

množství srážek aj. Správným postupem by tak bylo uvádět je ve formě pravděpodobnosti, např.: *je 20% šance, že hladina překoná úroveň 400 cm*. Jenže takto podané informace budou pro spoustu lidí nesrozumitelné a špatně interpretovatelné. Tento problém panuje všude na světě, i když se zdá, že chápání pravděpodobnosti je poněkud rozšířenější v anglicky mluvících zemích (s nadsázkou řečeno může jít o výsledek dlouhé tradice sázení na koňských dostizích).

Na vysvětlenou: ona 20% šance překročení hladiny znamená, že pokud se rozhodnete na základě této informace opustit dům, tak ve čtyřech případech, kdy takovou výstrahu dostanete, hladina 400 cm nedosáhne a pouze jednou ano. Čtyřikrát tedy odejdete „zbytečně“. Pokud by se však toto stalo, byly by výstrahy úspěšné.

Nejistota předpovědi neumožňuje, aby se výstrahy vždy trefily do skutečnosti. Jejich vydávání je tak balancováním mezi snahou, aby žádný nebezpečný jev nezůstal bez předchozí výstrahy, ale současně, aby výstrah, po kterých se nic zásadního nestane, bylo co nejméně. Jsou to ovšem dvě misky na vahách: čím víc se budete snažit o to zlepšit jednu, tím se bude zhoršovat ukazatel té druhé.

Tím se dostáváme i k úvahám o národních kulturách, jak moc lidé vyžadují, aby dostali naservírované přesné pokyny, co mají dělat, nebo naopak, nakolik se rozhodují podle dostupných informací sami. Bohužel ve střední Evropě, Německu, ale např. i ve Francii, jsou očekávání toho, co má stát pro občany zařídit, velmi vysoká a někteří lidé se potom nechťejí a nedokáží rozhodovat sami a nezávisle. Přitom jaké riziko je pro ně samotné přijatelné, za ně nikdo jiný nikdy rozhodnout nedokáže. Samostatnost v rozhodování je naopak kulturně typická pro Velkou Británii, USA nebo Austrálii.

8. Ostatní poznámky

V roce 1582 přívalová povodeň zdevastovala Karlovy Vary. Na místo druhý den po katastrofě přispěchal chebský měšťan Clemmens Stephanni s cílem podat popis hrůz, které na místě spatřil, sepsal je a tiskem vydal (Stephani, 1582). Jeho zpráva je neocenitelným zdrojem pro rekonstrukci povodně, ale i ukázkou toho, že mediální pokrytí povodní se vlastně moc nezměnilo a vychází vstříc lidské senzacechtivosti. I dnes média popisují pro čtenáře spíše příběhy lidí zasažených povodní, než holá objektivní fakta. To samozřejmě není jejich role, ale je potřeba si být vědomi toho, že ne vše, co se v médiích objeví, je nezkráceným objektivním obrazem reality.

Například určitě všem utkvěla vizuálně působivá fotografie sesuvů v Blessemu. Na první pohled záběr naznačoval neuvěřitelnou míru eroze a zahloubení vodního toku do podloží. Skutečností však bylo to, že se jednalo o prostor šterkopískovny, která byla pod úrovní terénu, a řeka tekla velmi blízko jejího okraje. Povodňové mapy přitom předpokládaly, že při stoleté povodni voda do pískovny nateče¹¹. A logicky rozruší nestabilitu pískem a šterkem tvořené svahy.

Příběhy a obrázky budí emoce, ty jsou skvělým pomocníkem pro iniciaci pomoci postiženým, ale někdy mohou být trochu zavádějící v nalezení skutečných příčin problémů, které je třeba řešit, aby se situace příště neopakovala.

¹¹ <https://www.flussgebiete.nrw.de/hochwassergefahrenkarten-und-hochwasserrisikokarten-8406>

Okamžitě s každou katastrofou hydrometeorologického původu se dnes objeví otázka na to, do jaké míry jsou způsobeny změnou klimatu. Objeví se na ně i odpovědi od „zcela jistě ano“ až po „zcela jistě ne“. Autor je přesvědčen, že atribuce na úrovni jedné události principiálně není možná (McKittrick 2021). Jedná se totiž o nahodilé jevy a často najdeme v dávné minulosti analogické případy, které potvrzují, že zkrátka něco takového možné je. Vliv změny klimatu by potom spočíval v častějším výskytu takových událostí. Jenže pokud jde o událost, která se v nezměněném klimatu vyskytla např. s pravděpodobností jednou za 500 let a ve změněném klimatu bude její výskyt odpovídat jednou za 100 let – kolik let pozorování potřebujeme, abychom si byli jisti, že se režim změnil? Odpověď je spíše v tisíciletích.

Z pohledu hydrologa si dovolím vyjádřit názor, že cestou vpřed pro řešení dopadů podobných povodní není mitigace (zmírnění), ale především adaptace (přizpůsobení se). V minulosti se společnost adaptovala na změny v naší úrovni vnímání přijatelného rizika, což vedlo k vybudování ochrany, předpovědních systémů a kapacit záchranných systémů, a to vedlo k velkému snížení úmrtnosti při povodních. I tato povodeň přispívá našemu porozumění riziku a úpravě toho, co je pro nás přijatelné. Musíme se tedy dále adaptovat. Výhodou investic do adaptace je totiž mimo jiné to, že poskytuje okamžité benefity (lepší ochranu) a jde tak o win-win opatření.

První reakce politiků na povodně často obsahovaly prohlášení o nutnosti snižování emisí CO_2 . Bohužel tento přístup odvádí pozornost od zjevných problémů, které za katastrofou stály v podobě selhání systému ochrany před povodněmi a které jsou přímou odpovědností politiků. Snižování emisí CO_2 německé ekonomiky je jistě cestou k udržitelnosti, ale lidské životy při příští povodni v Německu neochrání, protože se projeví až se zpožděním a bude záviset na tom, zda podobně bude postupovat celý svět. Navíc prokazatelnost vlivu změny klimatu na konkrétní povodně je obtížně prokazatelná (viz výše). Bohužel lze mít obavy, aby adaptace nezůstaly opomenuty, z některých politických prohlášení se to tak může zdát. Naštěstí z jiných nikoliv.

9. Poučení pro české podmínky

Již jsme zmínili, že je třeba na povodně v Německu pohlížet v širším prostorovém kontextu střední Evropy. To, co se odehrálo v pohoří Eiffel, se může odehrát i u nás. Vlastně se něco podobného již několikrát odehrálo. Za zmínku stojí určité události z května 1872, kdy velká přívalová povodeň zasáhla povodí Berounky mezi Plzní a Berounem. Uvádí se okolo 270 obětí, v Mladoticích za 1,5 hodiny napršelo do volně stojící nádob 237 mm, Litavkou (plocha povodí cca 600 km^2) odtékalo asi 1 000 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (srovnejte s čísly uvedenými výše). V roce 2012 autor spolu s kolegou Liborem Ellederem v závěru článku (Daňhelka, Elleder 2012) o této povodni uvedli následující úvahu.

Je otázkou, jak by se podobná situace odehrála dnes. V uvedeném kontextu je třeba připomenout fakt, že předpověď přívalových srážek takové extremity není současnými meteorologickými modely možná s dostatečnou přesností (jak z hlediska intenzity srážek, tak jejich přesné prostorové lokalizace) a předstihem. V případě výskytu povodně 1872 v dnešní době by jistě byla vydána výstraha před nebezpečnými srážkami a vzestupy vodních toků, přesná předpověď extremity jevu by však mohla i dnes vzejít až z pozorování extrémních průtoků na malých postižených tocích.

Intenzivní srážky by byly v reálném čase identifikovány meteorologickými radary a zachyceny pozemními srážkoměry. Nástup povodně by pak byl jistě zaznamenán automatickými limnigrafickými stanicemi v postižené oblasti. Nicméně je nutné počítat s několika nepříznivými faktory, které mohou nastat. Prvním z nich je výpadek spojení GPRS zajišťujícího přenos dat ze stanic. Přitom zkušenosti z povodní 2009 na Jičínce ukázaly, že z postižené oblasti v podstatě nepřicházela tísňová volání na operační střediska Hasičského záchranného sboru, neboť intenzivní blesková činnost v bouřkách vyřadila převodové stanice (BTS) pro přenos mobilního signálu. Je tedy otázkou, zda by data z pozemních srážkoměrů a vodoměrných stanic byla v reálném čase k dispozici. Druhým faktorem je značná pravděpodobnost, že podstatná část limnigrafických stanic by byla povodní poškozena či zničena. Navíc, v případě prvních prudkých vzestupů hladin, by pravděpodobně panovaly pochybnosti o správnosti měření.

Bohužel by tak nejspíše nebyl zajištěn dostatečný předstih předpovědi pro nutné protipovodňové aktivity, a to ani v Berouně, ani v Praze. Z časových údajů o průběhu povodně je zjevné, že od skončení příčinného deště zbývá jen okolo 5 hodin do okamžiku dosažení 1. SPA v Praze, což současně představuje limit pro zastavení plavby na částech Vltavy. Přitom lze předpokládat, že v reálné situaci by určitá část tohoto času byla spotřebována na ověření reakce malých vodních toků v postižené oblasti, sestavení predikce, její doručení uživatelům (povodňové orgány, správce povodí) a jejich rozhodnutí. Na vlastní realizaci shromáždění lodí do ochranných přístavů by tak nebyl k dispozici čas požadovaný současným povodňovým plánem, který na základě zkušeností z jiných povodní předpokládá pozvolnější vzestup hladiny, případně i zpoždění povodně manipulacemi vltavské kaskády. Vzhledem k značnému počtu plavidel v Praze by se značně zvětšilo riziko jejich uvolnění a kolize s mostem. Podobně by čas pro provedení operativních protipovodňových opatření byl pravděpodobně zkrácen jen na cca 6 až 18 hodin. Otevřenou otázkou v Praze zůstává možnost snížení průtočnosti Karlova mostu nahromaděným splávím, kterého by v případě přívalové povodně z Berounky bylo zřejmě velké množství.

Je otázkou, do jaké míry by současný systém povodňové ochrany Prahy byl schopen ochrany v případě povodně tohoto typu zajistit.

Přímou v postižené oblasti by pak čas pro reakci na vznikající povodeň byl ještě výrazně kratší. Od začátku deště do vyběžení toku (tedy přibližně překročení úrovně 3. SPA) v Rakovnici či Berouně by uplynulo asi jen 4 až 5 hodin. Největší výhodou dneška proti situaci v roce 1872 by přesto měly být přece jen lepší možnosti identifikování nebezpečí vzniku katastrofální povodně a tím možnost varování obyvatelstva.

Z hlediska záchranných prací by bylo nutné počítat s tím, že železnice, silnice a cesty by byly z velké části neprůchodné a zásah integrovaného záchranného systému by na mnoha místech byl teoreticky možný jen ze vzduchu, prakticky by jej však zřejmě vylučovaly panující meteorologické podmínky.

Zdá se, že v Německu v některých aspektech zkušenost s extrémní situací právě učinili a v řadě věcí zažili to, nad čím jsme výše uvažovali. Pro nás jde o připomenutí, že riziko povodní nedokážeme zcela odstranit. Hlavně ale vše ukazuje, že riziko a jeho projevy jsou vždy lokální a sebelepší systém bez funkčního posledního kroku v podobě vhodné reakce jednotlivců a samospráv nikdy nebude dostatečný.

– Domníváme se, že zkušenosti z německých povodní ukazují následující potřeby v oblasti výstražného systému, které jsou

relevantní i pro podmínky ČR: Riziko je fenomén sociální, nikoliv přírodní. Proto je nezbytné více prosazovat pohled na výstražný systém z perspektivy uživatele, nejen producenta výstrah.

- Obsah výstražné informace musí být formulován s ohledem na to, jaké informace o riziku mají její cíloví uživatelé získat tak, aby ji dokázali správně využít pro své rozhodování v kontextu svých znalostí (např. srovnání s historickou událostí, využití emocionálně zabarvených sdělení při velkém riziku apod.) a musí být doručena včas.
- Je nezbytné pokračovat v průzkumu historických a dalších proxy informací pro zlepšení odhadu míry povodňového rizika a hledat metody využití informací o extrémních z geograficky blízkého prostředí pro zpřesnění těchto odhadů zejména pro události s velmi malou pravděpodobností výskytu. Tyto poznatky je nutné transformovat do používaných nástrojů v rámci povodňové ochrany.
- Při vytváření systémů ochrany před povodněmi dodržovat principy k vytváření antifragilních systémů (Taleb 2012) v podobě: nastavení jednoduchých pravidel, decentralizace, vytváření vrstevnatých systémů, aplikace redundantních řešení, vystavení systému disturbancím s cílem jeho zlepšování, přímé zodpovědnosti zúčastněných (každý musí nést důsledky svých rozhodnutí) a preference praxe před teorií.

10. Závěr

V Evropě došlo za posledních přibližně 100 let k zásadnímu snížení dopadů povodní v podobě ztrát na životech. Vděčíme za to rozvoji systémů včasné výstrahy a kapacit pro záchranné práce. Zkušenosti z Německa však ukázaly, že ochrana životů není samozřejmostí ani ve vyspělých zemích a výstražný systém vyžaduje neustálé zlepšování a investice. Povodně v červenci znamenaly pro mnohé šok, probíhají vyšetřování celé události a hledají se chyby. Záměrem tohoto příspěvku je vyvolat diskuzi a úvahy zejména z hlediska důležitosti všech komponent systému a jejich vzájemné provázanosti, kdy snaha o dělení zodpovědnosti mezi jednotlivé aktéry za dílčí části systému může vést k celkovému selhání.

Literatura:

- BILD, 2021a. Flutkatastrophe: Sirenen wurden zum Teil mit Absicht nicht ausgelöst! [online]. Politik Inland – Bild.de [cit. 2021-07-26]. Dostupné z WWW: <https://www.bild.de/politik/inland/politik-inland/flutkatastrophe-sirenen-wurden-zum-teil-mit-absicht-nicht-ausgeloeset-77152522.bild.html>.
- BILD 2021b. Cell Broadcasting: Verkehrsminister Scheuer fordert SMS-Warnungen an ALLE! [online]. Politik Inland – Bild.de [cit. 2021-07-26]. Dostupné z WWW: <https://www.bild.de/politik/inland/politik-inland/nach-warn-desaster-bei-der-todesflut-scheuer-fordert-katastrophen-warnung-per-sm-77135752.bild.html>.
- BR, 2021. Feuerwehrverband fordert flächendeckenden Aufbau von Warnsirenen [online]. BR24 [cit. 2021-07-26]. Dostupné z WWW: <https://www.br.de/nachrichten/deutschland-welt/nach-hochwasser-deutscher-feuerwehrverband-fordert-wiederaufbau-von-warnsirenen,SdgPihZ>.
- DAŇHELKA, J., ELLEDER, L. (eds.), 2012. Vybrané kapitoly z historie povodní a hydrologické služby na území ČR. Praha: Český hydro-meteorologický ústav. ISBN 978-80-87577-12-7.
- FOCUS, 2021. Warntag 2020: Nach Warn-Problemen fordern Politiker Wiederholung [online]. FOCUS Online [cit. 2021-12-09]. Dostupné z WWW: https://www.focus.de/politik/deutschland/katastrophen-warntag-2020-am-donnerstag-heulen-in-ganz-deutschland-die-sirenen_id_12369226.html.
- KREIENKAMP, F., PHILIP, S. Y., TRADOWSKY, J. S., KEW, S. F., LORENZ, P. et al., 2021. Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021 [online]. World Weather Attribution [cit. 13. 12. 2021]. Dostupné z WWW: <https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/Scientific-report-Western-Europe-floods-2021-attribution.pdf>.
- MCKITRICK, R., 2022. Checking for model consistency in optimal fingerprinting: a comment. *Climate Dynamics*, Vol. 58, s. 405–411. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05913-7>.
- PRESSEPORTAL, 2021a. NRW will Hochwasserschutz an kleinen Flüssen verbessern [online]. Presseportal [cit. 2021-07-21]. Dostupné z WWW: <https://www.presseportal.de/pm/66749/4972885>.
- PRESSEPORTAL 2021b. NRW-Innenminister Reul fordert Sirenen-Pflicht [online]. Presseportal [cit. 2021-07-26]. Dostupné z WWW: <https://www.presseportal.de/pm/66749/4973984>.
- ROGGENKAMP, T., HERGET, J., 2014. Reconstructing peak discharges of historic floods of the river Ahr, Germany. *Erdkunde*, Vol. 68(1), s. 49–59. Doi: 10.3112/erdkunde.2014.01.05.
- SEZNAM ZPRÁVY, 2021a. Jak mohlo vůbec takhle pršet? Německé záplavy zaskočily vědce [online]. Seznam Zprávy [cit. 2021-07-17]. Dostupné z WWW: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/nemec-ka-tragedie-prepisuje-historii-její-duvod-vedce-zaskocil-169874>.
- SEZNAM ZPRÁVY, 2021b. „Tsunami“ v Porýní. Zdrčení lidé se začínají srovnávat s realitou [online]. Seznam Zprávy [cit. 2021-07-18]. Dostupné z WWW: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/tsunami-v-poryni-zdrzeni-lide-se-zacinaji-srovnavat-s-realitou-170031>.
- SCHÄFER, A., MÜHR, B., DANIELL, J., EHRET, U., EHMELE, F. et al., 2021. Hochwasser Mitteleuropa, Juli 2021 (Deutschland). Report No. 1 „Nordrhein-Westfalen & Rheinland-Pfalz“. CEDIM Forensic Disaster Analysis (FDA) Group. KIT. Doi: 10.5445/IR/1000135730.
- SPIEGEL, 2021. „Nationale Reserve Gesundheitsschutz“ soll besser auf Krisen vorbereiten [online]. DER SPIEGEL [cit. 2021-07-26]. Dostupné z WWW: <https://www.spiegel.de/politik/deutschland/nationale-reserve-gesundheitsschutz-soll-besser-auf-krisen-vorbereiten-a-047989c8-8cde-416b-a6a8-14b4775bc648>.
- STEPHANI, C., 1582. Erbärmliche und erschrockliche Neue Zeitung der vor unerhörte sämerlichen Wassersnoth so sich dises 1582. Jar den 9. May in Keiser Carls Bad.... Nürnberg, 1582.
- TAGESSCHAU, 2021. Kritik an Behörden: Fehlersuche nach der Katastrophe [online]. [cit. 2021-07-26]. Dostupné z WWW: <https://www.tagesschau.de/inland/innenpolitik/ueberblick-katastrophenschutz-101.html>.
- TAGESSCHAU, 2021b. Hochwasser im Ahrtal: Warum kam die Warnung so spät? [online]. [cit. 2021-12-08]. Dostupné z WWW: <https://www.tagesschau.de/inland/hochwasser-warnung-101.html>.
- TALEB, N. N., 2012. Antifragile. Things that gain from disorder. New York: Random House. ISBN 978-0812979688.
- WELT, 2021. Warntag 2020 in Deutschland: Regierung stuft Probealarm als Fehlschlag ein [online]. [cit. 2021-12-09]. Dostupné z WWW: <https://www.welt.de/vermischtes/article215402552/Warntag-2020-in-Deutschland-Regierung-stuft-Probealarm-als-Fehlschlag-ein.html>.
- ZDF, 2021. Hochwasser: Katastrophenschutz-Chef will „Politikwechsel“ [online]. ZDFheute [cit. 2021-07-26]. Dostupné z WWW: <https://www.zdf.de/nachrichten/politik/hochwasser-katastrophenschutz-praesident-fordert-politikwechsel-100.html>.
- ZEIT, 2021. Flutkatastrophe in Deutschland: Experte: Warnhinweis einige Tage vor Juli-Hochwasser [online]. ZEIT ONLINE [cit. 2021-12-08]. Dostupné z WWW: https://www.zeit.de/news/2021-11/26/experte-warnhinweis-einige-tage-vor-juli-hochwasser?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F.

Lektor (Reviewer):
Ing. Ivan Obrušník, DrSc.

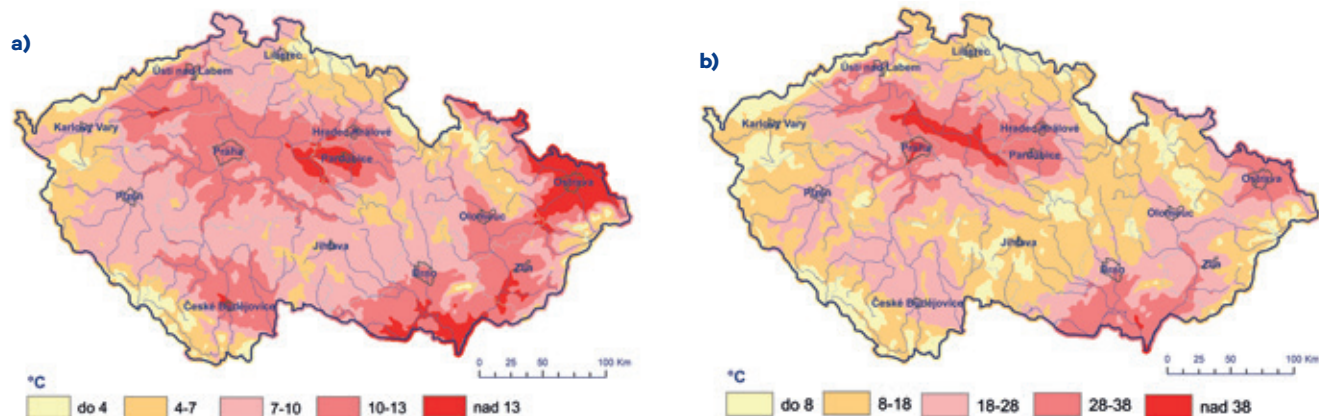
POČASÍ A ROSTLINY

Fenologický vývoj na území ČR v lednu a únoru 2022

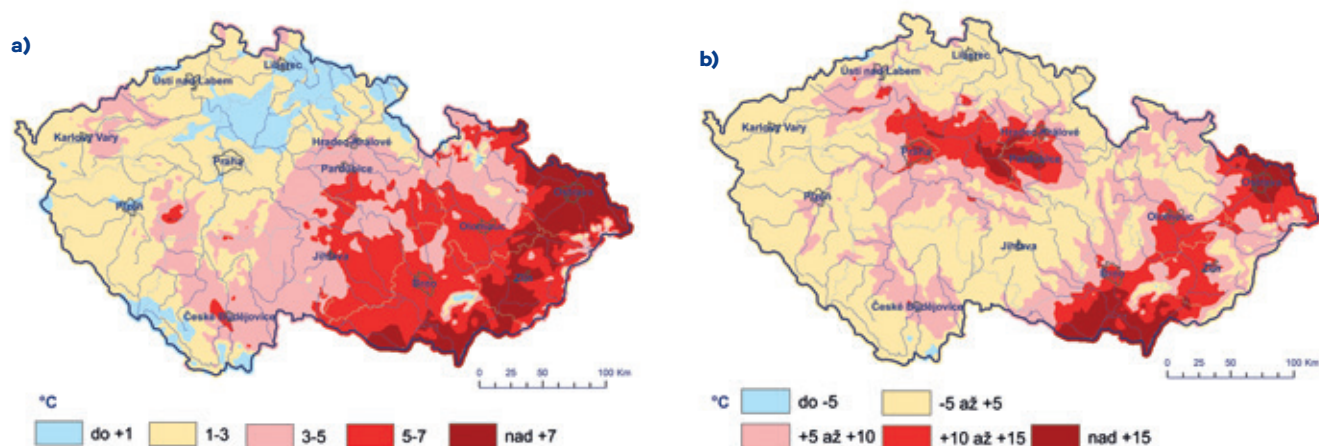
Stejně jako v předešlých letech, tak i v roce 2022 Vás budeme pravidelně informovat o stavu počasí a rostlin v České republice z hlediska vývoje efektivní teploty vzduchu nad 5 °C, teploty

půdy v hloubce 10 cm, kumulativního úhrnu srážek a fenologického vývoje rostlin. V tomto čísle vyhodnotíme časové období od 1. ledna do 28. února 2022. Na rozdíl od předchozích roků bude při hodnocení vybraných charakteristik používán normál 1991–2020.

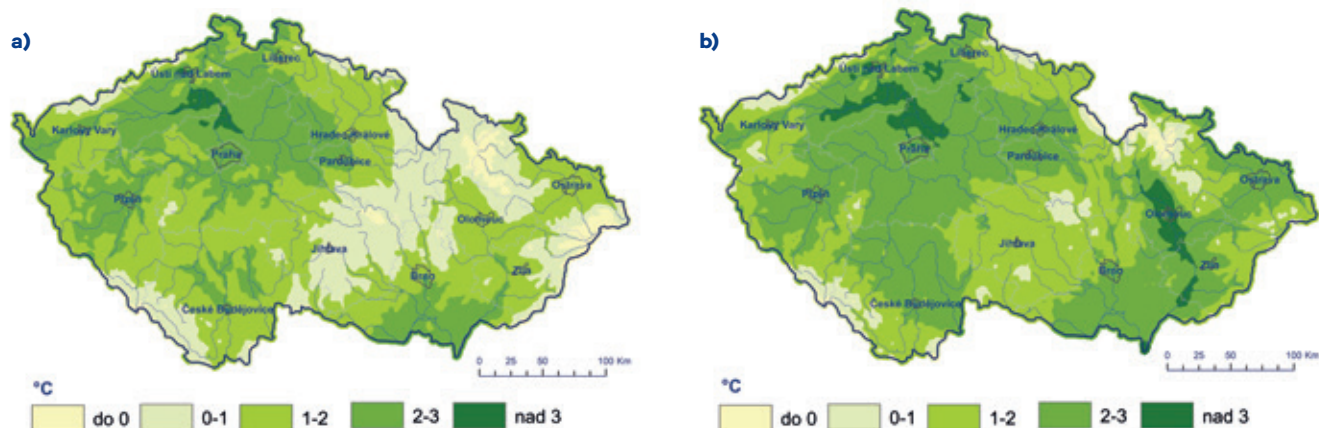
Celkovou sumu efektivních teplot nad 5 °C od 1. 1. 2022 do 31. 1. 2022 a 28. 2. 2022 a její srovnání s normálem



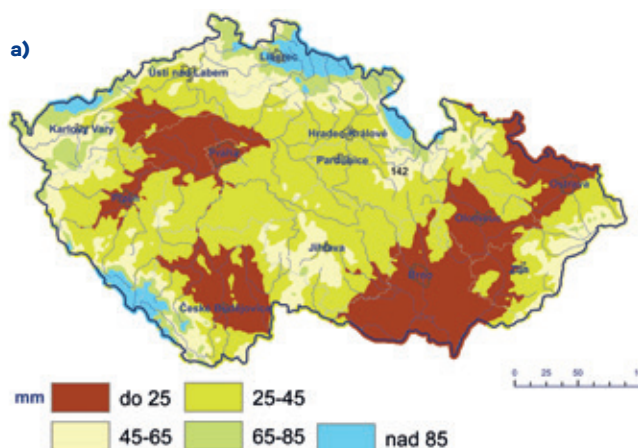
Obr. 1 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C od 1. 1. 2022 do 31. 1. 2022 (a) a do 28. 2. 2022 (b).



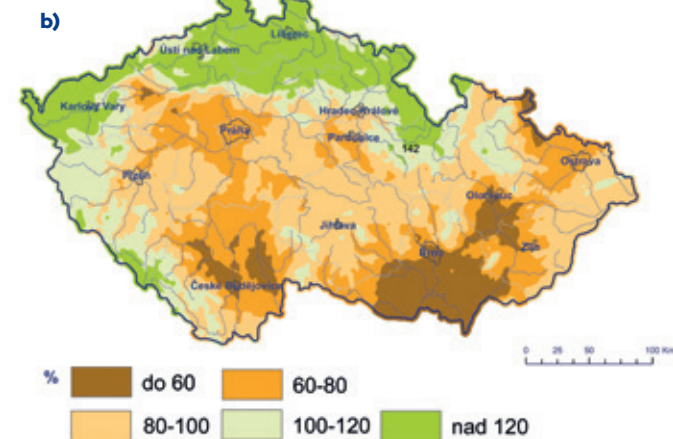
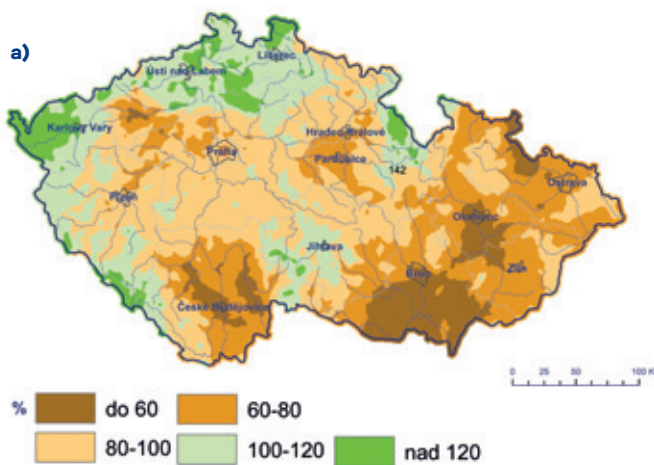
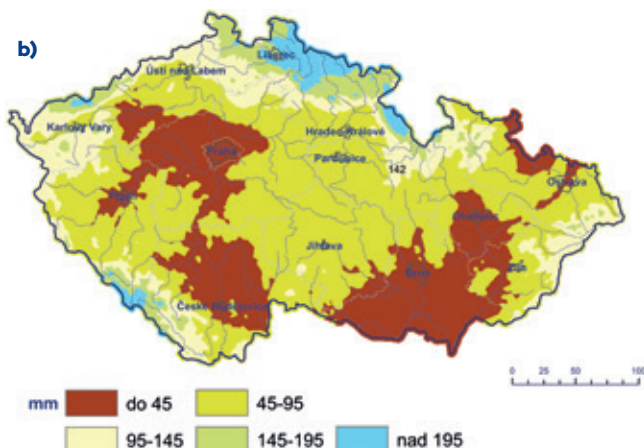
Obr. 2 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C – odchylka od normálu 1991–2020 od 1. 1. 2022 do 31. 1. 2022 (a) a do 28. 2. 2022 (b).



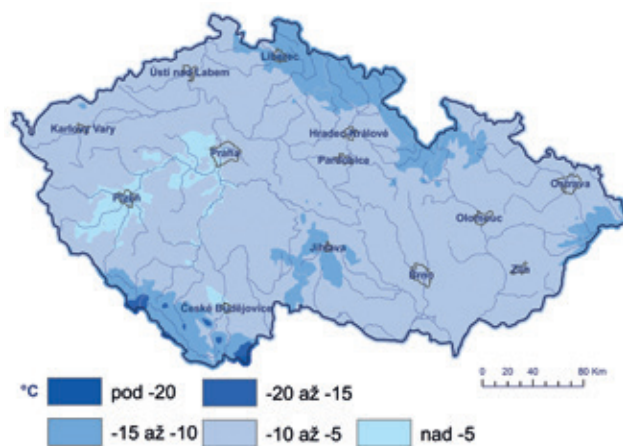
Obr. 3 Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 31. 1. 2022 (a) a 28. 2. 2022 (b).



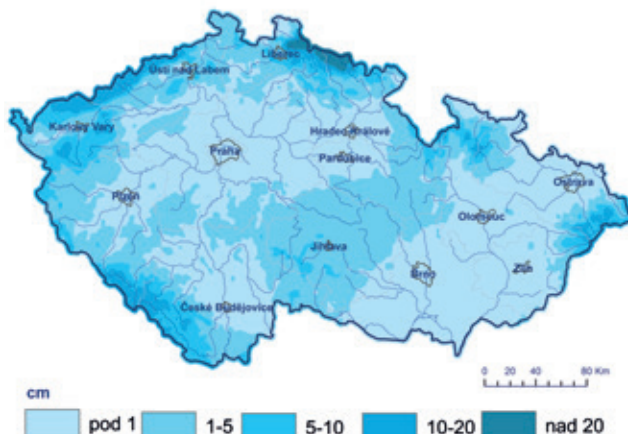
Obr. 4 Kumulativní úhrn srážek k 31. 1. 2022 (b) a 28. 2. 2022 (b).



Obr. 5 Kumulativní úhrn srážek (procenta normálu 1991–2020) k 31. 1. 2022 (b) a 28. 2. 2022 (b).



Obr. 6 Minimální teplota vzduchu 12. 1. 2022 [°C].



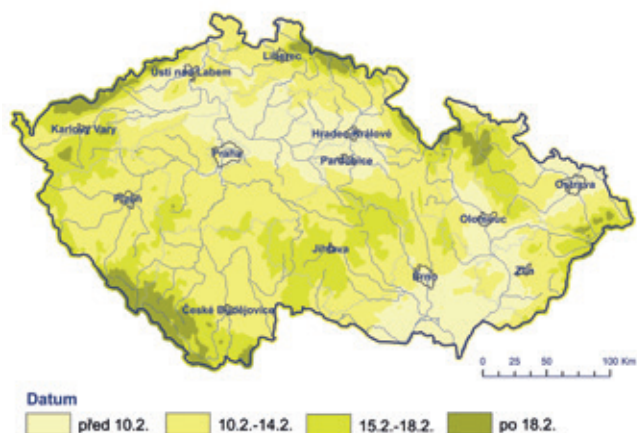
Obr. 7 Celková výška sněhové pokrývky 12. 1. 2022 [cm].

1991–2020 zobrazují následující mapy (obr. 1, 2). Absolutní hodnoty sumy efektivních teplot vzduchu nad 5 °C byly v lednu v rozmezí od 4 do 13 °C (v roce 2021 byly hodnoty v rozmezí 1 až 5 °C), v únoru od 8 do 38 °C (v roce 2021 byly hodnoty v rozmezí 2 až 20 °C). Nejvyšší hodnoty byly naměřeny na jižní a severní Moravě a v Polabské nížině. Odchytky od normálu 1991–2020 se pohybovaly v rozmezí pod –5 až +15 °C, nejvyšší kladné odchytky byly zaznamenány na Moravě a v Polabí.

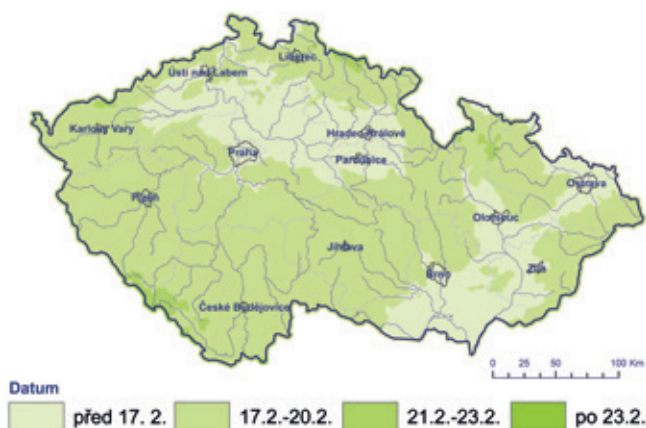
Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 31. 1. 2022 a 28. 2. 2022 je uvedena v obrázku 3. V lednu i v únoru se průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm pohybovala v roz-

mezí 0 až 3 °C. Při srovnání s rokem 2021 byla lednová teplota půdy o 1 °C vyšší ale v únoru byla naopak o 2 °C nižší.

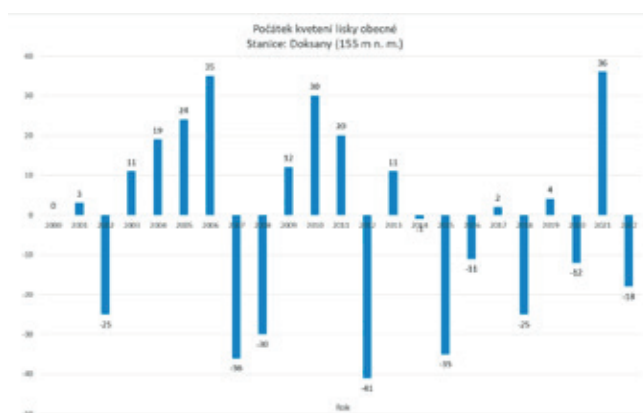
Kumulativní úhrn atmosférických srážek od 1. 1. 2022 do 31. 1. 2022 a 28. 2. 2022 a procentuální vyjádření normálu 1991–2020 je vykreslen na obrázku 4 a 5. Nejnížší kumulativní úhrn srážek byl zaznamenán ve středních, západních a jižních Čechách, v části Poohří a Polabí, a dále na jižní Moravě, Olomoucku, Zlínsku a Ostravsku. Ve srovnání s normálem 1991–2020 dosahovaly hodnoty na většině na území pouze 60 až 80 % normálu, pouze v západních, severních a východních Čechách či na Šumavě se jednalo i o 120 % normálu.



Obr. 8 Počátek kvetení líska obecné v roce 2022.



Obr. 10 Počátek kvetení sněženky podsněžník v roce 2022.



Obr. 9 Počátek kvetení líska obecné na stanici Doksany (odchylky od dlouhodobého průměru 2000–2021).

Ve srovnání s předchozí zimou 2020/2021 byl letošní průběh zimy 2021/2022 výrazně teplejší. Mrazy kulminovaly v polovině ledna, např. 12. ledna 2022 byla na mnoha lokalitách minimální teplota vzduchu nižší než -10 až -15 °C (obr. 6),

pouze na velmi malém procentu území byly minimální teploty vzduchu pod -15 až -20 °C či i pod -20 °C. Celková výška sněhové pokrývky byla v tento den na většině území 1 až 5 cm či dokonce méně než 1 cm (obr. 7).

Rostliny byly v lednu a únoru v období vegetačního klidu. Pouze líska obecná (významný pylový alergen) začala na některých lokalitách kvést již na začátku února a zahájila tak pylovou sezónu (obr. 8). Na obrázku 9 jsou uvedeny odchylky počátku kvetení líska obecné od dlouhodobého průměru 2000–2021 na stanici Doksany v Polabské nížině (155 m n. m.). V porovnání s dlouhodobým průměrem zde líska rozkvetla s 18denním předstihem.

První poslové jara – sněženky podsněžník (*Galanthus nivalis*) – začaly kvést již před 17. únorem (obr. 10) a jejich květy jsme si mohli užívat až do března.

A další informace o vývoji vegetace a počasí v roce 2022 vám přineseme v následujícím čísle.

Lenka Hájková

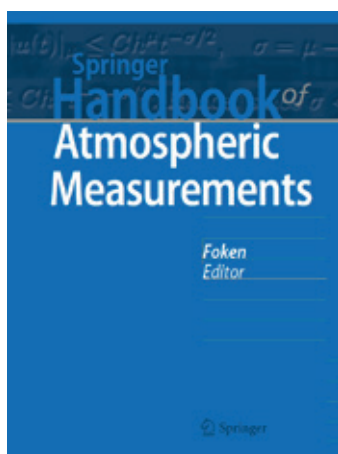
INFORMACE – RECENZE

Springer Handbook of Atmospheric Measurements

Autor: Thomas Foken. Springer Nature Switzerland. ISBN 978-3-030-52170-7.

Rád bych čtenáře upozornil na jednu velmi zajímavou publikaci, která vyšla v závěru roku 2021 v nakladatelství Springer Nature Switzerland. Jde o velmi rozsáhlou příručku Springer Handbook of Atmospheric Measurements (ISBN 978-3-030-52170-7), na jejíž přípravě se pod vedením profesora Thomase Fokena jako editora podílelo více než 140 autorů. Příručka je na přibližně 1800 stranách rozdělena do šesti částí

a 64 kapitol a obsahuje 750 tabulek a ilustrací. Každá z kapitol je doplněna celou řadou odkazů na literaturu.



Část A je úvodem do příručky a jednotlivé kapitoly pojednávají o struktuře atmosféry, základech měření, základech kontroly kvality dat a standardizacích měření. Obsahuje i řadu přehledných tabulek, vztažených k měřeným atmosférickým i půdním veličinám. Část B je přehledem všech používaných metod in-situ měření. Kromě klasických měření (teplota, vlhkost, vítr, tlak, záření, srážky a dohlednost) se zabývá i měřením elektrických jevů vyskytujících se v atmosféře, stopových plynů, aerosolů, stabilních izotopů a radioaktivity. Poslední dvě kapitoly pojednávají o nových přístupech k měření pomocí optických vláken a k měření pachů v atmosféře.

Části C a D jsou věnovány měřením využívaným při dálkovému průzkumu Země. Část C je zaměřena na pozemní akustická a radioakustická měření a využití různých typů lidarů, radarů a scintilometrů. Poslední kapitoly této části jsou pak věnovány spektrometrickým a tomografickým metodám. Jelikož k dálkovému průzkumu Země je ve stále větší míře využíváno letadel a satelitů, je těmto moderním metodám věnována část D, byť v popisech některých společných metod lze nalézt drobné překryvy s částí C.

Část E se zabývá komplexními měřicími systémy a je do jisté míry pro knihu věnovanou atmosférickým měřením atypická. Popisuje možnosti kombinací využívání různých čidel pro konkrétní aplikace a měření na rozhraní mezi atmosférou a aktivním zemským povrchem. Propojuje tak možnosti využití klasických horizontálně orientovaných měření v mezometeorologických sítích s měřeními vertikálně orientovanými (např. aerologická, letecká a bezpilotní měření). Upozorňuje rovněž na možnosti stále intenzivnějšího využívání tzv. crowdsourcingu jako organizovaných činností, zaměřených na dosažení předem definovaných cílů. Jednotlivé kapitoly se věnují měřením různých typů zdrojů energie, jejich vertikálních turbulentních toků, depozici mlhy, suché depozici, lysimetrickým a evapotranspiračním měřením a měřením v půdě a vodě. Závěrečná část F této příručky pojednává o měřicích sítích a jejich propojení s dalšími sítěmi, zaměřenými na současnou problematiku životního prostředí.

Každá ze 64 kapitol, napsaná významnými odborníky z akademické sféry a průmyslu, poskytuje velmi detailní informace o dostupných měřicích zařízeních a principech jejich činnosti, o aspektech kontroly kvality dat, údržbě měřicích zařízení a rovněž o možnostech využití jejich potenciálu do budoucna. Velké množství důkladně sestavených tabulek věnovaných měřením fyzikálním veličinám, parametrů používaných měřicích čidel a jejich systémovým charakteristikám činí z této příručky jedinečnou, univerzální a velmi užitečnou publikaci pro odborníky a naprosto zásadní informační materiál pro výzkumníky, studenty a technické pracovníky. Zcela jednoznačně lze říci, že jde o první takto rozsáhlé, souhrnné a zcela ojedinělé dílo věnované měřením v atmosféře.

O editorovi:

Thomas Foken je již penzionovaný profesor mikrometeorologie na Univerzitě v Bayreuthu (Bayreuth Centre for Ecology and Environmental Research) v Německu. Doktorský titul (Dr. rer. nat.) získal na univerzitě v Lipsku v roce 1978 a druhý doktorský titul (Dr. sc. nat.) na Humboldtově univerzitě v Berlíně v roce 1990. Vedl laboratoře Boundary Layer Research a Land Surface Processes Meteorologické služby NDR a Německé meteorologické služby (DWD) v Potsdamu (1981–1994) a Lindenbergu (1994–1997). V roce 1997 byl Thomas Foken jmenován profesorem mikrometeorologie na Univerzitě v Bayreuthu. Jeho hlavní výzkumné oblasti se týkají vzájemných vztahů mezi zemským povrchem a atmosférou a problematice měření a modelování toků energie a látek se silným důrazem na využívání moderních měřicích zařízení a metodických přístupů. Aktivně se zapojil do mezinárodně organizovaných experimentů, pro které pracoval např. v Rusku, USA, Tibetu a Antarktidě, ale v letech 1986 a 1989 i v bývalém Československu.

Jan Pretel

Vybrané mezinárodní aktivity hydrologů ČHMÚ v roce 2021

Příspěvek představuje další díl seriálu o vybraných mezinárodních činnostech hydrologů ČHMÚ. Navazuje tak na poslední publikovanou část (Ledvinka 2021), ve které byl kromě roku 2020 zmíněn již i začátek roku 2021. I zde bude snahou udržet strukturu nastíněnou v příspěvku Ledvinky (2020) a tematicky rozdělit text do částí týkajících se činností povinných pro ČHMÚ coby národní hydrologickou službu (NHS), činností spjatých s vědeckou hydrologií a v neposlední řadě také činností souvisejících s výchovou mladých hydrologů. Ani rok 2021 nakonec nebyl tak vlnitý, jak se v předchozím příspěvku (Ledvinka 2021) předpokládalo. Naprostá většina jednání a jiných setkání proběhla elektronickou cestou. Důvody k tomu byly zcela zřejmé. Bylo ale znát, že organizátoři akcí byli na tuto situaci oproti roku 2020 mnohem lépe připraveni.

Situace v IHP UNESCO a další jednání týkající se NHS

První řádky této sekce by měly pojednávat o dění ve **Světové meteorologické organizaci (WMO)**. Opět ale platí, že tyto záležitosti z titulu své funkce sledoval dr. Daňhelka, a proto se lze ve stručnosti odkázat na jeho informační články, příp. na ty budoucí. Za zmínku však stojí skutečnost, že v říjnu 2022 zasedal mimořádně zhruba po dvou letech opět **Kongres WMO**. Ten tradičně zasedá jednou za čtyři roky, ale nyní šlo o průběžné vyhodnocení efektivnosti restrukturalizace WMO proběhlé v červnu 2019 (Daňhelka 2018; 2019; Ledvinka, Daňhelka 2020). Rezoluce, kterých bylo Kongresem schváleno celkem 12, lze v různých jazycích pročitat na webových stránkách WMO (blíže viz WMO 2021).

Mezivládní hydrologický program (IHP) UNESCO ukončuje svou 8. fázi (IHP-VIII) a postupně by měl v roce 2022 přejít do své 9. fáze (IHP-IX). Z toho důvodu byla jednání v roce 2021 věnována převážně implementaci strategie této fáze. Jednání, přestože především elektronická, byla velmi intenzivní, o čemž může svědčit i fakt, že se kromě **24. řádného zasedání Mezivládní rady (IGC) IHP UNESCO**, které bylo přesunuto z roku 2020, odehrála ještě další tři mimořádná zasedání tohoto tělesa. Řádnému zasedání IGC byly věnovány dny 28. až 30. června. Mimořádná zasedání IGC (v pořadí 3., 4. a 5.) proběhla postupně



5. Mimořádné zasedání Mezivládní rady IHP proběhlo v Sále XI hlavní budovy UNESCO v Paříži. Právě probíhá volba nového prezidenta, rozhoduje se mezi Čínou a Japonskem. Foto: O. Ledvinka

ve dnech 22. až 24. února, 29. září až 1. října a 25. listopadu. Kromě posledně jmenovaného mimořádného zasedání IGC byla všechna tato setkání organizována jako elektronická. Listopadové setkání mělo však již hybridní formu, což znamenalo, že bylo možné se ho účastnit rovněž osobně, a to také učinil dr. Ledvinka, který tehdy svou osobní účast v Paříži (25. až 26. listopadu) spojil s přítomností na 2. setkání pracovní skupiny zabývající se implementací Strategického plánu IHP-IX (tzv. Open-Ended Working Group of Member States on IHP-IX, ve zkratce jen OEWG). První setkání OEWG předcházelo 4. Mimořádnému zasedání IGC, a to 21. a 22. září. Nutnost vzniku OEWG vyvstala již na 3. Mimořádném zasedání IGC, jehož hlavním cílem bylo zhodnotit třetí stupeň návrhu Strategického plánu IHP-IX. Členství v OEWG není omezeno jen na experty ze zemí tvořících IGC, ale jsou vítáni také odborníci z ostatních zemí. Jelikož světová hydrologie je velice komplexní a různé státy chtějí řešit v budoucnu různou problematiku (např. jim specifickou), je úkolem OEWG logicky uspořádat řešená témata do větších celků, což se ukázalo být poměrně obtížné. Důvodem pro 5. Mimořádné zasedání IGC byla rychlá reakce na rozhodnutí 41. zasedání Generální konference UNESCO, po němž se obměnila část členů IGC. Podobně, jako tomu bylo v případě 1. Mimořádného zasedání IGC v listopadu 2019 (Ledvinka 2020), i zde bylo voleno nové představenstvo. Nový prezident IHP měl tentokrát pocházet z volebního Regionu IV, což je Asie a Pacifik. O místo se ucházeli Číňané a Japonci. Po sečtení hlasů nakonec zvítězili Číňané, a tedy novým prezidentem IHP se stal Zhongbo Yu. Pokud se omezíme na dění ve volebním Regionu II, kam Česko náleží, tak zde bylo v IGC Slovinsko nahrazeno Maďarskem (přitom Moldavsko, Rusko a Slovensko zůstávají ještě další dva roky). Jelikož odstupující prezident IHP Fadi Comair nepocházel z Regionu II, bylo zapotřebí zvolit ještě místopředsedu tohoto regionu. Tím se stal Mikhail Bolgov z Ruska. Další zasedání IGC se očekává na jaře 2022. Čtenáři, kteří se chtějí dozvědět více o proběhlých zasedáních, mohou studovat aktuální dokumenty na webových stránkách UNESCO (blíže viz UNESCO 2021). Během své návštěvy Paříže dr. Ledvinka navíc kontaktoval Stálou misi ČR při UNESCO a setkal se s její zástupkyní Jiřinou Valentovou, která při UNESCO teprve začíná a se vším se seznamuje. Dr. Ledvinka ji informoval o dění v IHP i o domácí hydrologii, zároveň vytipoval oblasti, kde má česká hydrologie velký potenciál, a přislíbil, že se bude více zabývat též děním v České komisi pro UNESCO, jejíž plénium se mělo sejít již v pátek 3. prosince 2021 a na které se dr. Ledvinka také připojil.

Rok 2021 byl poměrně významný z hlediska **Regionální spolupráce podunajských států (IHP Danube)**. Kapacity hydrologů ČHMÚ byly zaměstnány především přípravami 29. Konference podunajských států a konference Hydrologické dny 2021, jež rozdělával workshop týkající se skriptovacího jazyka R a jeho rostoucího významu v hydrologické komunitě, a to nejen v regionu povodí Dunaje. Na toto téma proběhla dvě virtuální setkání s představiteli podunajských států 10. února a 12. dubna a nesčetné množství setkání ohledně R Workshopu. O konferencích pojednává samostatný informační článek (Daňhelka 2021), a proto není třeba se zde o nich zdlouhavě rozepisovat. Je však potřeba zmínit, že se v pondělí 6. září 2021 v rámci Konference podunajských států uskutečnilo 31. pracovní setkání představitelů národních komitétů IHP Danube. Na tomto hybridním setkání (s bohatou osobní i online účastí) mj. pokračovala jednání týkající se postupu aktualizace Principů a vzniku stálého sekretariátu v srbském Bělehradě. Rovněž tak byl rekapitulován stav projektů, na kterých se podunajské státy rozhodly spolupracovat. Kromě řešitelů **projektu Low-Flow** se žádní další řešitelé jiných projektů ke slovu nepřihlásili. Na tomto místě je také zapotřebí podotknout, že na následujícím samostatném

online setkání řešitelů projektu Low-Flow, které svolal dr. Janál na den 30. září, bylo shledáno, že projekt je příliš ambiciózní a že pokud nebude dořešen především problém s výměnou podkladových dat pro výzkum, nebude možné v takto nastaveném projektu dále pokračovat. Kritika vycházela zejm. z úst německých hydrologů a klimatologů, kteří v té době měli již tak plné ruce práce s vyhodnocováním katastrofálních povodní, které se na jejich území vyskytly právě v létě 2021 (Daňhelka 2022). Nicméně se slovenskými hydrology bylo dohodnuto, že alespoň podprojekt zaměřený na teplotu vody v řekách v povodí Dunaje, kde jsou příznivější podmínky pro výměnu dat přes úložiště založené v roce 2020 německými hydrology (Ledvinka 2021), by měl zcela jistě pokračovat. Samotné hybridní pracovní setkání v Brně neuzavřelo několik otázek. Ty se především týkaly předsednictví IHP Danube, neboť prof. Brilly ze Slovinska ve funkci pokračovat už nechtěl, a nutnosti aktualizace Principů. Bylo rozhodnuto, že se do konce roku 2021 kvůli tomu skutečně ještě jedno pracovní, mimořádné setkání. Klíčovým představitelům nakonec vyhovovalo úterý 7. prosince. Zde se k předsednictví IHP Danube definitivně přihlásili hydrologové z Česka s tím, že konkrétní jméno předsedy dodají do příštího pracovního setkání, které je zatím zevrubně naplánováno na měsíc duben 2022. Podobně mají být do dubna 2022 připraveny komentáře k aktualizaci Principů IHP Danube. Za tímto účelem byl ustaven Návrhový výbor (Drafting Committee), který dostal za úkol posbírat podněty od ostatních a provést syntézu.

S předchozím odstavcem úzce souvisí aktivita **Mezinárodní komise pro ochranu Dunaje (International Commission for the Protection of the Danube River, ICPDR)**, která se začala intenzivně zabírat problematikou vodní bilance v povodí Dunaje. Jednotlivé členské státy nominovaly národní experty na vodní bilanci. Pro ty pak byl připraven program pracovního setkání, které se uskutečnilo prostřednictvím platformy ZOOM 30. března 2021. K setkání se za ČHMÚ připojili dr. Janál a dr. Ledvinka, kteří také ve skupině zaměřené na vodní bilanci figuroují jako národní experti za Česko. Na programu toho bylo relativně hodně od vysvětlení, proč je skupina důležitá, přes ukázky, jak probíhá bilancování vody na národních úrovních, až po vytipování bilančních modelů, které se pro účely výpočtů na úrovni celého povodí Dunaje mohou dále hodit. Skupina expertů se v roce 2021 sešla online ještě jednou, a to 7. října. Zde bylo úkolem vytipovat další směry, kterými by se měla skupina vydat. Rovněž se měly jednotlivé země vyjádřit, zda mají zájem být členy ústřední skupiny. ČHMÚ a Česko zde reprezentovali dr. Janál a, namísto nepřítomného dr. Ledvinky, Bc. Vít Štoviček, nový pracovník oddělení hydrofondu a bilancí ČHMÚ. Česká strana nepovažuje za nutné být součástí ústřední skupiny, protože se z hlediska rozlohy povodí podílí ne úplně podstatnou měrou na povodí Dunaje. Po stránce metodické ale čeští hydrologové snahy a činnost skupiny samozřejmě podporují.

Na závěr této sekce je třeba zmínit dny 29. a 30. dubna 2021. Na tyto dny bylo totiž naplánováno ukončení již několikrát zmiňovaného **projektu DAREFFORT** podpořeného Evropskou komisí v rámci programu Interreg DANUBE (Ledvinka 2019; 2020; 2021). Původně měla být práce na projektu ukončena konferencí v Budapešti, ale situace si vyžádala nečekat a vše zorganizovat elektronicky. 29. dubna se tak konala 6. periodická schůzka řešitelů, setkání členů Řídícího výboru (Steering Committee, SCOM) a Strategického poradního výboru (Strategic Advisory Board, SAB), jehož členy byli i hydrologové ČHMÚ, a ještě předtím v dopoledních hodinách samotná závěrečná konference. 30. dubna se pak odehrálo **druhé Dunajské předpovědní fórum (DAnube Forecasting Forum)**, které bylo přesunuto z roku 2020 (blíže viz Interreg DANUBE 2021).

Vědecká hydrologie

Jak bylo avizováno (Ledvinka 2021), ve dnech 19. až 30. dubna proběhlo velmi dlouhé **Valné shromáždění Evropské geovědní unie**, které bylo koncipováno pouze jako virtuální setkání (proto zkratka vEGU2021). Hydrology ČHMÚ a Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy (PřF UK) zde reprezentoval příspěvek (Vlach et al. 2021a), který pojednával o změnách v řadách malých průtoků ve zdrojových oblastech střední Evropy. Navazoval tak na článek publikovaný v časopise s impaktním faktorem *Water* (Vlach et al. 2020).

Zatímco probíhalo vEGU2021, uspořádala 22. dubna PřF UK také další, v pořadí již 24., **Stretutie snehárov**, kterého se tradičně účastní čeští a slovenští hydrologové, mj. i hydrologové z ČHMÚ. Bylo to vůbec poprvé, kdy toto setkání získalo online formu, o čemž svědčí publikovaný sborník příspěvků na webových stránkách, jež sdružují veškeré informace o minulých ročnících (blíže viz IH SAS 2021).

Patrně nejzásadnějšími vědeckými setkáními byly již zmíněné zářijové **Konference podunajských států** a konference **Hydrologické dny 2021** pořádané českými hydrology. Vedle příspěvku, který o nich pojednává (Daňhelka 2021), za zmínku stojí skutečnost, že velmi nedávno byly vydány rovněž sborníky plných textů příspěvků (CHMI 2021; ČHMÚ 2021).

Stejný měsíc znamenal pro statistické hydrology také možnost účasti na **workshopu statistické hydrologie STAHY**, který se nakonec odehrál konkrétně od 15. do 17. září kompletně ve virtuálním prostředí a svou formou velmi připomínal vEGU2021. ČHMÚ zde reprezentoval dr. Ledvinka a v rámci dvou minut, které dostal k dispozici, světovým statistickým hydrologům představil pokrok ve výzkumu metod strojového učení při odhadu hodnot veličin souvisejících s kvalitou koupacích vod v Česku za využití celé sady spektrálních indexů odvozených z družicových snímků evropské mise COPERNICUS Sentinel-2. Abstrakt a prezentace jsou dostupné pouze registrovaným účastníkům workshopu. Na akci dostali hlavní slovo renomovaní statističtí hydrologové, kteří byli oceněni za celoživotní dílo (např. José Salas). Ve středu 15. září byl program doprovázen rovněž lekcemi určenými mladším posluchačům. Pokud to situace dovolí, další ročník workshopu se bude konat v roce 2022 na Sardinii.

Česko-německý **Magdeburský seminář**, jehož hlavním tématem byly revitalizace vod a vodní režim v povodí Labe a který měl původně proběhnout již v roce 2020, byl odložen na rok 2021. Nakonec byl uspořádán jako online setkání a proběhl konkrétně ve dnech 7. a 8. října 2021. Nechyběly zde ani příspěvky hydrologů z ČHMÚ, které tematicky pokrývaly problematiku množství a jakosti povrchových a podzemních vod v povodí Labe (Kodeš et al. 2021; Vlach et al. 2021c; Vlnas et al. 2021). Příspěvek Vlach et al. (2021c) navazoval na publikovaný článek s impaktním faktorem, v němž se autoři zabývali změnami charakteristik sucha v návaznosti na změnu klimatu v Krušných horách (Vlach et al. 2021b).

Poznamenejme ještě, že polský Seminář aplikované matematiky, který byl naplánovaný na měsíc září 2021 (Ledvinka 2021), byl opět odložen, tentokrát již na neurčito.

Akce určené mladým hydrologům

Rok 2021 akcím pro začínající hydrology příliš nepřál. Ti si ale vše mohli jistě vynahradiť studiem materiálů na internetu, o kterých psal např. Ledvinka (2021). Konečně ve čtvrtek 11. listopa-

du však mohli předvést svůj um na **32. Konferenci mladých hydrologů**, která byla po dobrých zkušenostech z loňského roku opět uspořádána přes platformu Skype (úvod a vyhlášení přes Webex). Dr. Ledvinka z ČHMÚ spolu se slovenskými kolegy tradičně hodnotil jak psaný projev, tak prezentace soutěžících, kterých bylo tentokrát šest. Vítězi se stali Mgr. Pavel Coufal z brněnské pobočky ČHMÚ, jehož kvalitu lze hodnotit i na základě nedávno publikovaného článku (Coufal 2021), Marija Mihaela Labat a Anna Liová, obě ze Slovenské technické univerzity. Vítězné příspěvky lze stahovat z webových stránek nadřazené Konferenci mladých odborníků (blíže viz SHMÚ 2021).

Mladým hydrologům je nyní spíše doporučováno soustředit se na akce připravované v roce 2022. Po několika letech se vrací polská **konference EKO-DOK**, která je určena nejen začínajícím hydrologům v doktorském stupni studia. Proběhnout má ve dnech 6. až 8. června 2022 a slibuje tradiční evidenci příspěvků v databázích Scopus a Web of Science (blíže viz EKO-DOK 2021). Hydrologové zaměřující se na extrémní režimy jsou vřele odkazováni na **Mezinárodní letní školu o hydrologii**, jejíž ročník o extrémech se posouvá již z roku 2020 na červenec 2022 (blíže viz WARREDOC 2022).

Dále vhodné vědět

Ve stručnosti nakonec připomeňme ještě několik dalších akcí, které jsou nejen pro hydrology v roce 2022 nachystány. Předně je nutné zmínit další **Vědecké shromáždění Evropské geovědní unie (EGU2022)** a **Vědecké shromáždění IAHS**. EGU2022 je od začátku připravováno coby hybridní setkání s možností fyzické návštěvy Vídně ve dnech 23. až 27. května (blíže viz EGU 2021). Druhé zmiňované shromáždění se má uskutečnit ve francouzském Montpellieru ve dnech 29. května až 3. června (blíže viz IM2E 2020). Hydrologové ČHMÚ přispěli dvěma abstrakty, které jsou již pro prezentace schváleny, přičemž bude možné je rozšířit na články, které se stanou součástí tzv. červených knih IAHS. Poněkud netradičně se hydrologové ČHMÚ také připravují na účast na **Living Planet Symposiumu**, a tedy na cestu do německého Bonnu. Abstrakt o možnostech extrahování nulové izochiony za využití produktů mise Sentinel-2 evropského programu COPERNICUS byl již přijat. O sympóziu, jehož termín konání je pro některé poněkud nešťastně stanoven na 23. až 27. května (časově se kryje s EGU2022), se lze více dozvědět např. z webových stránek (blíže viz ESA 2021).

Literatura:

- COUFAL, P., 2021. Evaluation of flow frequency on streams in the South Moravian Region for the last 40 years. *Acta Hydrologica Slovaca* [online]. roč. 22, č. 2, s. 187–199. ISSN 2644-4690. Dostupné z: doi:10.31577/ahs-2021-0022.02.0022.
- CHMI, 2021. XXIX Danube Conference. Conference Proceedings. Full Papers [online]. Prague: Czech Hydrometeorological Institute. ISBN 978-80-7653-031-7. Dostupné z WWW: <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/publikace-ke-stazeni.html>.
- ČHMÚ, 2021. Hydrologické dny 2021. Sborník plných článků [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-7653-032-4. Dostupné z WWW: <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/publikace-ke-stazeni.html>.
- DAÑHELKA, J., 2018. Zamýšlená změna struktury WMO. *Meteorologické zprávy*, roč. 71, č. 5, s. 143. ISSN 0026-1173.
- DAÑHELKA, J., 2019. 18. Kongres Světové meteorologické organizace v červnu 2019. *Meteorologické zprávy*, roč. 72, č. 4, s. 122–123. ISSN 0026-1173.

- DAÑHELKA, J., 2022. Německé povodně v červenci 2021 zpovzdálí. *Meteorologické zprávy*, roč. **75**, č. 2, s. 53–59. ISSN 0026-1173.
- DAÑHELKA, J., 2021. XXIX. Konference podunajských států a Hydrologické dny 2021. *Meteorologické zprávy*, roč. **74**, č. 6, s. 191–193. ISSN 0026-1173.
- EGU, 2021. EGU22 – Home [online]. [cit. 2022-02-02]. Dostupné z: <https://www.egu22.eu/>.
- EKO-DOK, 2021. Environmental Engineering – Conference of PhD students and young scientists [online]. [cit. 2022-04-17]. Dostupné z WWW: <http://www.eko-dok.pl/en/>.
- ESA, 2021. Dates and Deadlines – Living Planet Symposium 2022 [online]. [cit. 2022-02-02]. Dostupné z WWW: <https://lps22.esa.int/frontend/index.php>.
- IH SAS, 2021. Snežárske stretnutia [online]. [cit. 2022-02-02]. Dostupné z WWW: <http://www.uh.sav.sk/en-gb/Research/Conferences/Snow-Meetings>.
- IM2E, 2020. IAHS 2022 Montpellier [online]. [cit. 2021-11-30]. Dostupné z WWW: <http://www.iahs2022.org/index.asp>.
- INTERREG DANUBE, 2021. DAREFFORT - Save the Date! – April 29-30 DAREFFORT Project Closing Events [online]. [cit. 2022-02-01]. Dostupné z WWW: <https://www.interreg-danube.eu/news-and-events/programme-news-and-events/6180>.
- KODEŠ, V., FREISLEBEN, J., SVÁTKOVÁ, M., 2021. Pesticides and their mixtures with other xenobiotics in groundwater - a current state in the Czech Republic. In: MKOL (ed.): *Magdeburský seminář o ochraně vod 2021. Revitalizace vod a vodní režim v povodí Labe ~ Sborník* [online]. Magdeburk: Mezinárodní komise pro ochranu Labe, s. 99–102. Dostupné z WWW: <https://www.ikse-mkol.org/cz/temata/magdebursky-seminar-o-ochrane-vod/mgs-2021>.
- LEDVINKA, O., 2019. Vybrané mezinárodní aktivity hydrologů ČHMÚ v roce 2018. *Meteorologické zprávy*, roč. **72**, č. 1, s. 27–31. ISSN 0026-1173.
- LEDVINKA, O., 2020. Vybrané mezinárodní aktivity hydrologů ČHMÚ v roce 2019. *Meteorologické zprávy*, roč. **73**, č. 2, s. 53–58. ISSN 0026-1173.
- LEDVINKA, O., 2021. Vybrané mezinárodní aktivity hydrologů ČHMÚ v roce 2020. *Meteorologické zprávy*, roč. **74**, č. 3, s. 94–97. ISSN 0026-1173.
- LEDVINKA, O., DAÑHELKA, J., 2020. Mezinárodní činnost v hydrologii a významné změny v roce 2019. In: *Hydrologická ročenka České republiky 2019* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, s. 239–241. ISBN 978-80-7653-011-9. Dostupné z WWW: <https://www.chmi.cz/informace-pro-pros/rocní-vyhodnocení/hydrologické-rocenky>.
- SHMÚ, 2021. Konferencia mladých odborníkov 2021 [online]. [cit. 2022-02-02]. Dostupné z WWW: <https://kmo.shmu.sk/konferencia-mladych-odbornikov>.
- UNESCO, 2021. Documents of the IHP Intergovernmental Council Sessions [online]. [cit. 2022-02-02]. Dostupné z WWW: <https://en.unesco.org/themes/water-security/hydrology/about-us/council-documents>.
- VLACH, V., LEDVINKA, O., MATOUSKOVA, M., 2020. Changing low flow and streamflow drought seasonality in Central European headwaters. *Water* [online]. Vol. **12**, No. 12, Article no. 3575. ISSN 2073-4441. Dostupné z: doi:10.3390/w12123575.
- VLACH, V., LEDVINKA, O., MATOUSKOVA, M., 2021a. Changing low flow seasonality in Central European headwaters. *Geophysical Research Abstracts* [online]. Vol. **23**, Article no. EGU21-71. ISSN 1607-7962. Dostupné z: doi:10.5194/egusphere-egu21-71.
- VLACH, V., MATOUSKOVA, M., LEDVINKA, O., 2021b. Impacts of regional climate change on hydrological drought characteristics in headwaters of the Ore Mountains. *River Research and Applications* [online]. Vol. **37**, No. 7, s. 919–930. ISSN 1535-1459. Dostupné z: doi: 10.1002/rra.3818.a.
- VLACH, V., MATOUŠKOVÁ, M., LEDVINKA, O., BEJČKOVÁ, M., 2021c. Effects of climate change on runoff seasonality in headwater areas of the Ore Mountains. In: MKOL (ed.): *Magdeburský seminář*

o ochraně vod 2021. Revitalizace vod a vodní režim v povodí Labe ~ Sborník [online]. Magdeburk: Mezinárodní komise pro ochranu Labe, s. 152–154. Dostupné z WWW: <https://www.ikse-mkol.org/cz/temata/magdebursky-seminar-o-ochrane-vod/mgs-2021>.

VLNAS, R., LAMAČOVÁ, A., ZRZAVECKÝ, M., 2021. The impact of drought on groundwater in the Czech part of the Elbe river basin in 2017–2020. In: MKOL (ed.): *Magdeburský seminář o ochraně vod 2021. Revitalizace vod a vodní režim v povodí Labe ~ Sborník* [online]. Magdeburk: Mezinárodní komise pro ochranu Labe, s. 93–96. Dostupné z WWW: <https://www.ikse-mkol.org/cz/temata/magdebursky-seminar-o-ochrane-vod/mgs-2021>.

WARREDOC, 2022. 2020 International Summer School on Hydrology (POSTPONED to July 2022) [online]. [cit. 2022-02-02]. Dostupné z WWW: <https://warredoc-unistrapg.org/en/events/2020-summer-school/>.

WMO, 2021. Cg-Ext(2021) – Session Information [online]. [cit. 2022-02-01]. Dostupné z WWW: <https://meetings.wmo.int/Cg-Ext-2021/SitePages/Session%20Information.aspx>.

Ondřej Ledvinka

Přechod na nový klimatický normál 1991–2020

Vzhledem k ukončení dalšího třicetiletého období ČHMÚ v současnosti přechází na nový klimatický normál 1991–2020. Přechod je opožděn z důvodu nutných a poměrně náročných příprav staničních dat pro výpočet nových normálů. Poděkování zde patří všem kolegům, kteří se na této přípravě podíleli zejména kolegům z Oddělení meteorologie a klimatologie pobočky Brno.

Pro hodnocení daného období z klimatologického hlediska či pro popis průměrných hodnot klimatických prvků v daném místě jsou používány klimatické normály. Standardní klimatické normály dle Světové meteorologické organizace (WMO, z angl. *World Meteorological Organization*) jsou počítány jako 30leté průměry z homogenizovaných a doplněných řad klimatických prvků.

Dle doporučení WMO byly dříve tyto normály aktualizovány každých 30 let. S ohledem na rychle probíhající změny klimatu WMO v červnu 2015 resolucí Resolution 4.1(4)/2 (Cg-17) nově doporučilo provádět klimatologické hodnocení aktuálního období vzhledem k nejbližšímu skončenému třicetiletí. Na základě tohoto doporučení bylo používané normálové období 1961–1990 nahrazeno obdobím 1981–2010. Toto normálové období bylo používáno do současnosti až do přípravy nových normálů 1991–2020. Normál 1961–1990 dle doporučení WMO zůstává platným měřítkem pro hodnocení dlouhodobých změn klimatu.

Za účelem výpočtu hodnot nových normálů jsou na ČHMÚ připravovány technické řady (Štěpánek et al. 2011), tj. řady měření homogenizované a doplněné o chybějící hodnoty, jednotlivých klimatologických prvků. Technické řady jsou zatím připraveny pro základní klimatické prvky teplota vzduchu a srážkové úhrny v lokalitách vybraných stanic s dostatečně dlouhou řadou pozorování. Příprava technických řad dalších prvků prozatím není dokončena.

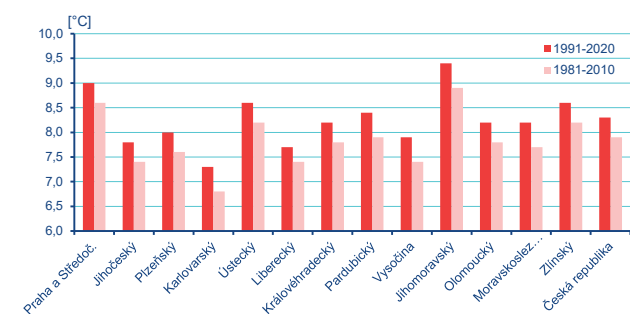
Napočtené technické řady byly využity pro výpočet územních normálů 1991–2020 (tj. normálů pro území České republiky a jednotlivých krajů) průměrné teploty vzduchu a srážkových úhrnů. Prostorové průměry byly připraveny běžně používanými

Tab. 1 Normály průměrné roční a měsíční teploty vzduchu pro území ČR a jednotlivých krajů za období 1991–2020.

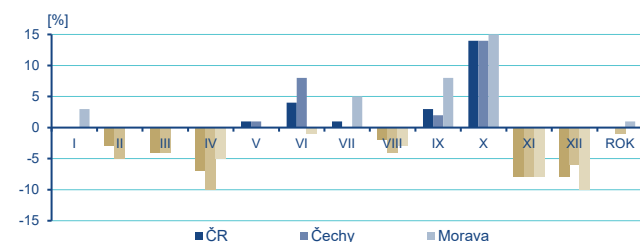
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK
Česká republika	-1,4	-0,4	3,2	8,5	13,1	16,5	18,3	17,9	13	8,2	3,5	-0,4	8,3
Čechy	-1,3	-0,3	3,2	8,3	12,9	16,3	18,1	17,6	12,9	8	3,4	-0,3	8,2
Morava	-1,7	-0,4	3,2	8,8	13,4	16,9	18,7	18,3	13,4	8,5	3,9	-0,6	8,5

Tab. 2 Normály ročního a měsíčních srážkových úhrnů pro území ČR a jednotlivých krajů za období 1991–2020.

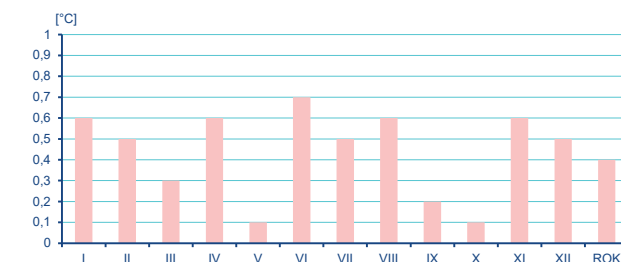
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK
Česká republika	44	37	46	39	70	82	89	78	60	49	45	46	684
Čechy	46	37	47	37	68	82	88	79	56	49	45	48	681
Morava	40	36	45	42	74	83	92	74	67	50	45	43	692



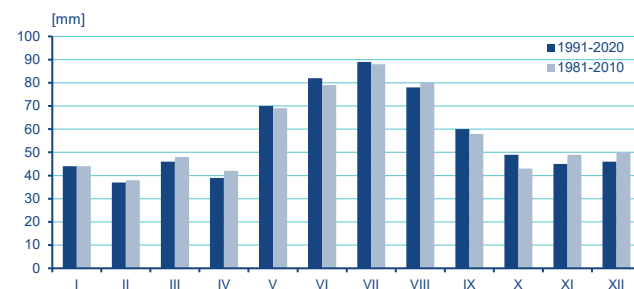
Obr. 1. Normál průměrné roční teploty vzduchu pro období 1991–2020 a 1881–2010 pro území ČR a jednotlivých krajů.



Obr. 3. Rozdíl normálu měsíčních úhrnů srážek za období 1991–2020 a 1881–2010 (v % normálu 1881–2010) pro území ČR, Čech a Moravy.



Obr. 2. Rozdíl normálu měsíční teploty vzduchu pro období 1991–2020 a 1881–2010 pro území ČR.



Obr. 4. Normál měsíčních úhrnů srážek na území ČR za období 1881–2010 a 1991–2020.

interpolačními metodami používanými v ČHMÚ v prostředí GIS.

Územní normály 1991–2020 teploty vzduchu a srážek jsou uvedeny v tabulce 1 a 2.

Přestože dosud užívané normálové období 1881–2010 a nové období 1991–2020 se 20 let překrývají, je u teploty vzduchu dobře patrný nárůst. Normál průměrné roční teploty vzduchu za období 1991–2020 pro území ČR je o 0,4 °C vyšší než normál 1881–2010. V jednotlivých krajích činí změna ročního normálu teploty vzduchu většinou 0,4–0,5 °C (obr. 1). Pro většinu měsíců se průměrná teplota na území ČR zvýšila o 0,5–0,7 °C. Menší změna nastala v jarních a podzimních měsících březen, květen, září a říjen (obr. 2). Nižší nárůst teploty vzduchu v září a říjnu je pozorován dlouhodobě. V řadě územních teplot za období 1961–2020 vykazují statisticky nevýznamný trend nárůstu méně než 0,2 °C za 10 let.

Normál ročního úhrnu srážek na území ČR a jednotlivých krajů se téměř nezměnil vůči normálu 1881–2010. Ve většině krajů normál 1991–2020 představuje 98–102 % normálu 1881–2010. O něco znatelnější snížení nastalo pouze v Li-

bereckém a Královéhradeckém kraji (o 4–5 % vůči normálu 1881–2020). Rozdíly však pozorujeme v rozložení srážek v průběhu roku. Srážkový normál 1991–2020 pro území ČR je o více než 5 % nižší oproti normálu 1881–2010 v měsících duben, listopad a prosinec (obr. 3). Naopak výraznější nárůst průměrného úhrnu srážek nastal v měsíci říjen a u některých z krajů také v červnu a září. Měsícem s nejnižším průměrným úhrnem srážek na území ČR a většině krajů zůstává únor (obr. 4), v některých krajích především v severní polovině Čech se však minimum srážek v ročním chodu vyskytuje v dubnu. Měsícem s nejvyšším průměrným úhrnem srážek zůstává ve všech krajích červenec.

Literatura:

ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., BRÁZDIL, R., TOLASZ, R., 2011. Metodologie kontroly a homogenizace časových řad v klimatologii (Methodology of Data Quality Control and Homogenization of Time Series in Climatology). Praha: Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-86690-97-1.

Lenka Črhová

Světový meteorologický den je v roce 2022 věnován tématu

„Včasné varování a včasná akce: hydrometeorologické a klimatické informace pro snížení rizika katastrof“

Pozdravy ze sekretariátu Světové meteorologické organizace v Ženevě.

Nejvyšší prioritou WMO je chránit životy a životní zdroje před extrémním počasím, klimatem a vodou.

Každou minutu každého dne v roce.

Jsem proto velmi rád, že tématem Světového meteorologického dne 2022 je „Včasné varování a včasná akce“.

Téma oceňuje velké úspěchy národních meteorologických a hydrologických služeb v oblasti zdokonalených systémů včasného varování. Zdůrazňuje také zásadní práci složek věnujících se snižování rizika katastrof při zajišťování toho, aby tato včasná varování vedla ke včasné akci.

Ale nemůžeme být uspokojeni. Čelíme mnoha výzvám, zejména pokud jde o zajištění toho, aby se včasné varování dostalo co nejdříve k těm nejzranitelnějším, kteří je nejvíce potřebují.

Změna klimatu je již nyní velmi zjevná výskytem extrémnějšího počasí ve všech částech světa. Zaznamenáváme intenzivnější vlny veder a sucha a lesní požáry. V atmosféře máme více vodní páry, což vede k extrémním srážkám a zhoubným záplavám. Oteplování oceánu vede k silnějším tropickým bouřím a stoupající hladina moří zvyšuje navazující dopady.

Očekáváme, že tento negativní trend bude pokračovat. Koncentrace skleníkových plynů jsou na rekordních úrovních, což vede ke změně klimatu pokračující po celá desetiletí, s táním ledovců a stoupáním hladiny moří trvající až do staletí.

Kromě zmírňování změny klimatu je hlavní prioritou přizpůsobení se změně klimatu. Systémy včasného varování jsou účinným způsobem, jak je zajistit.

V loňském roce zveřejnila WMO zprávu o statistikách katastrof za posledních 50 let. Ukázalo se, že došlo k více než 11 000 katastrofám souvisejícím s počasím, klimatem a vodou, což se téměř rovná jedné katastrofě denně. Došlo ke 2 milionům úmrtí – neboli 115 za den.

Počet katastrof se za posledních 50 let zvýšil pětinašobně. A ekonomické náklady vzrostly.

Dobrou zprávou ale je, že počet obětí dramaticky klesl. V zachraňování životů jsme lepší než kdy předtím.

Superpočítače, satelity a pokroky ve vědě výrazně zvýšily přesnost našich předpovědí. Upozornění z mobilního telefonu a informace z aplikací o počasí mohou dosáhnout i do odlehlých oblastí.

WMO podporuje předpovědi založené na uvádění dopadů, tedy jaké bude počasí a co způsobí. To je potřeba ke zlepšení

připravenosti a včasného opatření u různých skupin uživatelů a zákazníků, kteří jsou závislí na počasí.

Zbývá však udělat mnohem více. Pouze polovina ze 193 členů WMO má zavedené systémy včasného varování před více riziky. Existuje také značná potřeba zlepšit schopnosti velké části členů v oblasti prognózování dopadů.

V Africe, některých částech Latinské Ameriky a na tichomořských a karibských ostrovech existují vážné nedostatky v meteorologických a hydrologických pozorovacích sítích. To oslabuje místní i globální prognózy.

Světová meteorologická organizace proto vytvořila mechanismus financování známý jako SOFF (The Systematic Observation Financing Facility) k podpoře investic do základního systému pozorování a doplnění chybějících dat.

WMO je implementačním partnerem v iniciativě Climate Risk and Early Warning Systems Initiative (CREWS), která vytváří odolnost v rámci zranitelných zemí a komunit.

WMO usiluje v čele nové koalice pro vodu a klima více se zaměřit na nebezpečí související s vodou a její nedostatek. Máme velmi úspěšné programy a projekty týkající se tropických cyklónů, pobřežních záplav, povodní a sucha.

V Ženevě jsme spojili síly s Úřadem OSN pro snižování rizika katastrof, abychom vytvořili centrum excelence pro změnu klimatu a katastrofy.

WMO vyvíjí podpůrný mechanismus pro poskytování spolehlivých a věrohodných informací humanitárním agenturám OSN, aby byly schopny optimalizovat humanitární pomoc před a po katastrofě způsobené počasím. Spolupracujeme s finančními institucemi, jako je Světová banka, Evropská unie, UNDP, Green Climate Fund, abychom vyčlenili více finančních prostředků na služby včasného varování a zajistili udržitelnost investic.

A samozřejmě, WMO se zavázala k mezinárodní agendě 2030 v oblasti klimatu, udržitelného rozvoje a snižování rizika katastrof.

Vizí WMO je, že do roku 2030 spatříme svět, kde všechny národy, zejména ty nejzranitelnější, budou odolnější vůči socioekonomickým důsledkům extrémního počasí, klimatu, vody a dalších ekologických událostí.

Včasné varování fungují. Musí být k dispozici všem. Musí vést k včasnému opatření.

Přeji vám všem šťastný Světový meteorologický den.

**Petteri Taalas, generální tajemník
Světová meteorologická organizace**



Meteorologické zprávy

Meteorological
Bulletin

Odborný recenzovaný časopis se zaměřením na meteorologii, klimatologii, kvalitu ovzduší a hydrologii. Dvuměsíčník

Reviewed journal specialized in meteorology, climatology, air quality and hydrology. Bi-monthly

Vydavatel (redakce) – Publishers

Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17,
143 06 Praha 4-Komořany

Czech Hydrometeorological Institute, Na Šabatce 2050/17,
143 06 Praha 4-Komořany, Czech Republic

e-mail: mz@chmi.cz, casmz.chmi.cz

Vedoucí redaktor – Chief Editor

R. Tolasz, Český hydrometeorologický ústav, Ostrava, Česká republika

Redaktor – Assistant Editor

H. Stehlíková, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

Redakční rada – Editorial Board

J. Bednář, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

R. Brožková, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

R. Čekal, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

Z. Horký, Praha, Česká republika

F. Hudec, Univerzita obrany, Brno, Česká republika

I. Hůnová, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

P. Huszár, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

M. Kučerová, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, Česká republika

K. Krška, Brno, Česká republika

M. Lapin, Univerzita Komenského, Bratislava, Slovenská republika

F. Neuwirth, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Austria

L. Němec, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

V. Pastirčák, Bratislava, Slovenská republika

D. Řezáčová, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, Česká republika

M. Setvák, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

J. Strachota, Praha, Česká republika

J. Sulan, Český hydrometeorologický ústav, Plzeň, Česká republika

F. Šopko, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

A. Vizina, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, Česká republika

H. Vondráčková, Praha, Česká republika

V. Voženílek, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, Česká republika

Abstracting and Indexing:

Meteorological and Geostrophysical Abstracts

Tisk:

Akontext s. r. o., Zárybníčná 2048/7, 141 00 Praha 4

ISSN 0026-1173

Registrační číslo MK ČR E 5107

© Meteorologické zprávy, Český hydrometeorologický ústav

Publikace vydané v nakladatelství ČHMÚ v roce 2021

1. **J. Brzezina, I. Černá, J. Halířová, F. Chuchma, J. Ivančicová, P. Münster:**
Mýty a fakta – O počasí, vodě a ovzduší. 188 stran. ISBN 978-80-7653-022-5
2. **M. Možný, L. Hájková, V. Vlach, V. Oušková: Nebezpečí přírodních požárů v České republice v letech 1971–2018.** Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu, sv. 66, 36 stran. ISBN 978-80-7653-014-0. ISSN 0232-0401
3. **Hydrologické dny 2021.** IX. národní konference českých a slovenských hydrologů a vodohospodářů.
 - ISBN 978-80-7653-019-5 [online]. Sborník rozšířených abstraktů.
 - ISBN 978-80-7653-016-4 [tištěná]. Sborník rozšířených abstraktů. 88 stran
 - ISBN 978-80-7653-032-4 [online]. Sborník plných článků.
4. **XXIX Danube Conference.** XXIX Conference of the Danubian Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management.
 - ISBN 978-80-7653-020-1 [online]. Conference proceedings – Extended abstract.
 - ISBN 978-80-7653-017-1 [tištěná]. Conference proceedings – Extended abstract. 128 stran
 - ISBN 978-80-7653-031-7 [online]. Conference proceedings – Full papers.
5. **J. Rožnovský, T. Litschmann (eds.): Hospodaření s vodou v krajině 2021.**
 - ISBN 978-80-7653-021-8 [CD]. Sborník příspěvků z mezinárodní konference
 - ISBN 978-80-7653-027-0 [tištěná]. Sborník abstraktů z mezinárodní konference. 44 stran
6. **National Greenhouse Gas Inventory Report of the Czech Republic. Submission under the UNFCCC and the Kyoto protocol reported inventories 1990–2019.**
ISBN 978-80-7653-015-7 [online].
7. **Hydrologická ročenka České republiky 2020.**
 - ISBN 978-80-7653-028-7 [tištěná]. 276 stran
 - ISBN 978-80-7653-030-0 [online].
8. **Klimatologická ročenka České republiky 2020.**
 - ISBN 978-80-7653-027-0 [tištěná]. 84 stran
 - ISBN 978-80-7653-029-4 [online].
9. **Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020.**
 - ISBN 978-80-7653-023-2 [tištěná]. 174 stran
 - ISBN 978-80-7653-024-9 [online].
10. **Air pollution in the Czech Republic in 2020.**
 - ISBN 978-80-7653-025-6 [tištěná]. 176 stran
 - ISBN 978-80-7653-026-3 [online].