

Meteorologické zprávy

ROČNÍK
75–2022

4

105 Zpráva Světové meteorologické organizace o stavu klimatu ve světě v roce 2021

117 Vývoj českých meteorologických slovníků v mezinárodním kontextu

Miloslav Müller – Petr Zacharov

123 Možnosti tvorby operativních map $PM_{2,5}$ s využitím modelu CAMx

Daša Damašková – Ondřej Vlček – Jan Horálek – Patrik Beshir

Meteorological
Bulletin

Český
hydrometeorologický
ústav



105 The WMO report on the Status of the Global Climate in 2021

117 Evolution of Czech meteorological glossaries in the international context

Miloslav Müller – Petr Zacharov

123 Possibilities of creation of near real-time PM_{2,5} maps using the CAMx model

Daša Damašková – Ondřej Vlček – Jan Horálek – Patrik Beshir



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

Zpráva Světové meteorologické organizace o stavu klimatu ve světě v roce 2021

The WMO report on the Status of the Global Climate in 2021

Since 1994 the World Meteorological Organization (WMO) has been publishing its annual “WMO Statement on the Status of the Global Climate”. The report has gradually gained in popularity and recently is a recognized authoritative source of information for the scientific community, the media and the general public. The report presented is the latest link of this successful sequence. The journal Meteorologické zprávy (Meteorological Bulletin) offers to its readers an abbreviated version of the report.

KLÍČOVÁ SLOVA: globální teplota průměrná – globální úhrn srážek – plyny skleníkové – ozon – hladina oceánu – obsah oceánu tepelný – acidifikace – led mořský

KEYWORDS: average global temperature – globally precipitations – greenhouse gases – ozone – sea level – ocean heat content – acidification – sea-ice

1. Klíčové ukazatele klimatu

Globální klimatické ukazatele poskytující široký pohled na změnu klimatu v celosvětovém měřítku, zahrnují složení atmosféry, energetické změny a odezvy pevniny, oceánu a ledu. Tyto ukazatele spolu úzce souvisí. Například nárůst CO_2 a dalších skleníkových plynů v atmosféře vede k nerovnováze energie, a tím k oteplování atmosféry a oceánu. Oteplování oceánu zase vede ke zvyšování hladiny moří, k čemuž přispívá také tání ledu na souši v reakci na zvyšující se teplotu atmosféry. Globální ukazatele se opírají o celé řady datových souborů, které jsou uvedeny na konci této zprávy a které jsou založeny na různých systémech pozorování. Tyto ukazatele společně vytvářejí konzistentní obraz oteplování se světa, který se dotýká všech částí planety.

Pro porovnání aktuálního stavu s historií se používají určitá období, obvykle trvající jednu nebo více dekád, s nimiž lze porovnávat současné podmínky. V této zprávě je použita řada období, která jsou v případě potřeby uvedena v textu a v popisu obrázků.

1.1 Skleníkové plyny

Koncentrace skleníkových plynů v atmosféře odráží rovnováhu mezi emisemi z lidské činnosti, přírodních zdrojů a změnami

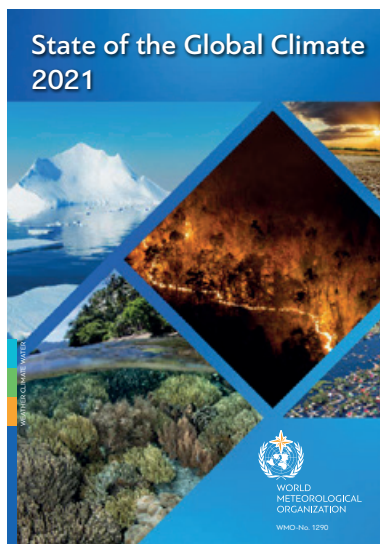
v biosféře a oceánech. Rostoucí úroveň skleníkových plynů v atmosféře způsobená lidskou činností je hlavní příčinou změny klimatu od poloviny dvacátého století. Globální průměrné koncentrace skleníkových plynů se vypočítávají z pozorování prováděných na mnoha místech v rámci programu Global Atmosphere Watch (GAW) SMO a partnerských sítí.

V roce 2020 dosáhly koncentrace skleníkových plynů nových maxim, přičemž globální průměrná povrchová koncentrace oxidu uhličitého (CO_2) byla na úrovni $413,2 \pm 0,2$ ppm, metanu (CH_4) na úrovni 1889 ± 2 ppb a oxidu dusného (N_2O) na úrovni $333,2 \pm 0,1$ ppb, což představuje 149 %, 262 % a 123 % předindustriální úrovně (1750). Nárůst atmosférické koncentrace CO_2 v letech 2019 až 2020 byl o něco nižší než nárůst pozorovaný v letech 2018 až 2019, ale nadprůměrný v posledním desetiletí. A to i přes pokles emisí CO_2 z fosilních paliv v roce 2020 o přibližně 5,6 % v důsledku omezení souvisejících s pandemií COVID-19. V případě CH_4 a N_2O byl nárůst od roku 2019 do roku 2020 vyšší než v letech 2018 a 2019 a také vyšší než průměrné roční tempo růstu za poslední desetiletí.

Aktuální údaje z konkrétních lokalit, včetně Mauna Loa (Havaj) a mysu Grim (Tasmánie), ukazují, že v roce 2021 se koncentrace CO_2 , CH_4 a N_2O nadále zvyšovaly. Nárůst metanu (CH_4) v atmosféře je znepokojivý, protože je nejen silným skleníkovým plynem, ale také prekurzorem troposférického ozonu, což má dopad na lidské zdraví, zemědělství a ekosystémy. Průměrný roční růst CH_4 se snížil z přibližně 12 ppb ročně na konci 80. let 20. století na téměř nulovou hodnotu v letech 1999–2006. Od roku 2007 se koncentrace CH_4 v atmosféře opět zvyšuje a v roce 2020 vzrostla o 11 ppb oproti hodnotám z roku 2019. Studie využívající měření CH_4 v rámci GAW naznačují, že pravděpodobnými příčinami tohoto nedávného nárůstu jsou zvýšené emise CH_4 z mokřadů v tropech a z antropogenních zdrojů ve středních zeměpisných šířkách severní polokoule. Tyto studie rovněž poukázaly na krátkodobé klimatické přínosy a efektivitu zmírnění emisí CH_4 . Taková zmírňující opatření byla představena v hodnocení metanu Programu OSN pro životní prostředí (UNEP) a týkají se hlavních emisních odvětví, konkrétně zpracování ropy a zemního plynu, zemědělství a nakládání s odpady.

1.2 Teplota

Globální průměrná teplota vzduchu v roce 2021 byla o $1,11 \pm 0,13$ °C vyšší



Obr. 1 Obálka publikace WMO.

Fig. 1. Cover of the WMO publication.

Klíčové události



Průměrná globální teplota v roce 2021 byla přibližně o $1,11 \pm 0,13$ °C vyšší než v období 1850–1900. V důsledku vlivu La Niña na začátku a na konci roku je to méně než v některých posledních letech. Posledních sedm let (2015 až 2021) bylo sedm nejteplejších let v historii.



Globální průměrná hladina moře dosáhla v roce 2021 nového rekordu, v období 2013–2021 stoupala v průměru o 4,5 mm ročně.



Ozonová díra nad Antarktidou dosáhla v roce 2021 maximální rozlohy 24,8 milionu km². Tato neobvykle hluboká a velká ozonová díra byla způsobena silným a stabilním polárním vírem a nadprůměrně chladnými podmínkami ve spodní stratosféře.



V Grónsku došlo v polovině srpna k mimořádnému tání a na stanici Summit Station, nejvyšším bodě grónského ledového příkrovu v nadmořské výšce 3 216 m, byly poprvé v historii zaznamenány dešťové srážky.



Výjimečná vedra lámala rekordy na západě Severní Ameriky a ve Středomoří. V Údolí smrti v Kalifornii bylo 9. července naměřeno 54,4 °C, což představuje stejně jako v roce 2020 nejvyšší hodnotu zaznamenanou přinejmenším od 30. let 20. století. Sicilské Syrakusy zaznamenaly 48,8 °C.



Hurikán Ida, který dosáhl pevniny v Louisianě dne 29. srpna, byl nejvýznamnějším hurikánem severoatlantické sezóny 2021 a nejničivějším v historii země s hospodářskými ztrátami odhadovanými na 75 miliard USD.



Smrtící a nákladné záplavy způsobily v provincii Che-nan v Číně ekonomické ztráty ve výši 17,7 miliard USD a západní Evropa zažila v polovině července jednu z nejzávažnějších záplav v historii. Tato událost byla spojena s ekonomickými ztrátami v Německu přesahujícími 20 miliard USD.



Mnoho částí světa zasáhlo sucho, včetně oblastí v Kanadě, USA, Íránu, Afghánistánu, Pákistánu, Turecku a Turkmenistánu. V Kanadě vedlo velké sucho k předpovídanému poklesu produkce pšenice a řepky o 35–40 % ve srovnání s rokem 2020. Ve Spojených státech klesla hladina nádrže Mead na řece Colorado 47 m pod plnou úroveň, což je doposud nejnižší zaznamenaná výška hladiny.



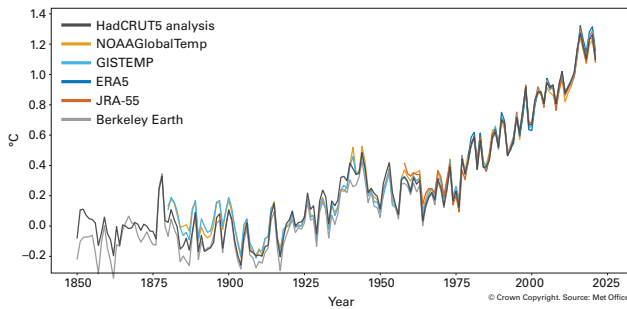
Souhrnné účinky konfliktů, extrémních povětrnostních jevů a hospodářských otřesů, které navíc prohloubila pandemie COVID-19, podkopaly desetiletí pokroku v zajištění potravinové bezpečnosti na celém světě.



Hydrometeorologická rizika nadále přispívala k vnitřnímu vysídlování. Zeměmi s nejvyšším počtem vysídlení zaznamenaným k říjnu 2021 byly Čína (více než 1,4 milionu), Vietnam (více než 664 000) a Filipíny (více než 600 000).

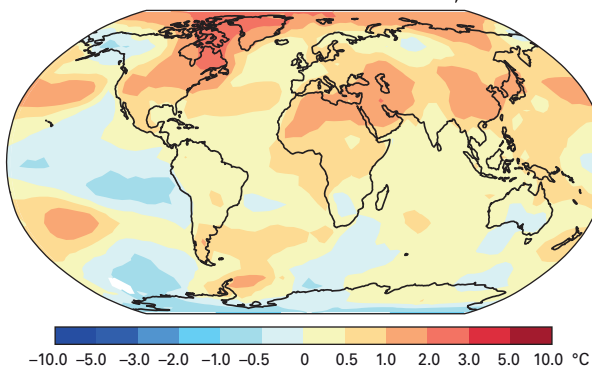
Obr. 2 Klíčové události.

Fig. 2. Key messages.



Obr. 3 Globální odchylka roční průměrné teploty vzduchu od předindustriálních podmínek (1850–1900) pro šest globálních datových souborů teploty. Podrobnosti o souborech dat a jejich zpracování najdete na konci plné verze této zprávy. Zdroj Met Office, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland.

Fig. 3. Global annual mean temperature difference from pre-industrial conditions (1850–1900) for six global temperature data sets (1850–2021). For details of the data sets and processing see Data sets and methods. Source: Met Office, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland.



Obr. 4 Odchylky povrchové teploty vzduchu v roce 2021 v porovnání s průměrem 1981–2010. Mapa ukazuje střední odchylku vypočítanou z pěti souborů dat: HadCRUT5, ERA5, GISTEMP, NOAA GlobalTemp a Berkeley Earth. Zdroj: Met Office, Spojené království.

Fig. 4. Near-surface temperature differences relative to the 1981–2010 average for 2021. The map shows the median anomaly calculated from five data sets: HadCRUT5, ERA5, GISTEMP, NOAA GlobalTemp and Berkeley Earth.

než průměrná teplota v letech 1850–1900 (obr. 3). Šest datových souborů použitých v analýze řadí rok 2021 mezi pátý až sedmý nejteplejší rok v celosvětovém měřítku a všech šest ukazuje, že posledních sedm let (2015 až 2021) bylo sedmi nejteplejšími roky v historii. Rok 2021 byl méně teplý než některé poslední roky, a to vlivem mírných jevů La Niña na začátku a na konci roku, známých jako „double-dip“ La Niña. La Niña má přechodný ochlazující účinek na globální průměrnou teplotu, který je nejsilnější v následujícím roce po události. Kromě slabé La Niña v roce 2018 se poslední významná událost La Niña odehrála v roce 2011. Rok 2021 byl přibližně o 0,22 °C až 0,29 °C teplejší než rok 2011. Rok 2016, který začal během silného El Niña, zůstává ve většině sledovaných datových souborů nejteplejším rokem v historii.

Povrchová teplota v roce 2021 byla nad průměrem let 1981–2010 v širokém pásmu Severní Ameriky a Grónska, severní a tropické Afriky, Středního východu a jižní Asie (obr. 4). Oblasti s podprůměrnými teplotami zahrnovaly části

severní Asie, Austrálie, jižní Afriky a severozápadní části Severní Ameriky. V tropickém Pacifiku je zřetelný vliv La Niña. Pro La Niña jsou charakteristické chladnější podmínky v jižní Africe, Indii a východní Austrálii. Nadprůměrně chladná oblast v severní Asii kontrastuje s rokem 2020, kdy v této oblasti panovaly mimořádně vysoké teploty. To částečně souvisí s rozdílnými fázemi arktické oscilace na začátku roku 2020 (silně pozitivní) a na začátku roku 2021 (silně negativní), které se podepsaly na průměru celého roku.

1.3 Oceány

Většinu přebytečné energie, která se v zemském systému hromadí v důsledku rostoucí koncentrace skleníkových plynů, pohlcuje oceán. Přidaná energie ohřívá oceán a následná tepelná roztažnost vody vede ke zvyšování hladiny moří, k čemuž také přispívá tání pevninského ledu. Povrch oceánu se otepluje rychleji než hlubší vrstvy, což se projevuje zvyšováním globální průměrné teploty mořské hladiny a zvyšováním výskytu mořských vln veder. S rostoucí koncentrací CO₂ v atmosféře roste i koncentrace CO₂ v oceánu. To ovlivňuje chemické složení oceánů a snižuje průměrné pH vody, což je proces známý jako okyselování (acidifikace) oceánů. Všechny tyto změny mají širokou škálu dopadů a změn v oceánu a pobřežních oblastech.

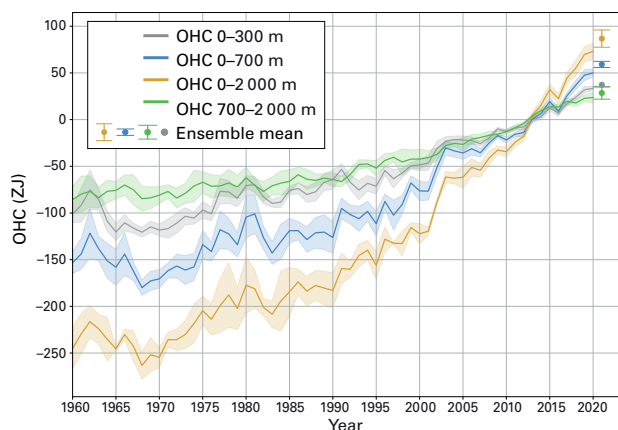
1.3.1 Obsah tepla v oceánu

Rostoucí lidské emise CO₂ a dalších skleníkových plynů způsobují pozitivní radiční nerovnováhu v horní části atmosféry – energetickou nerovnováhu Země (Earth Energy Imbalance, EEI) – což vede k akumulaci energie ve formě tepla v zemském systému, která je příčinou globálního oteplování. Přibližně 90 % tohoto akumulovaného tepla v zemském systému se ukládá do oceánu, což se měří pomocí tepelného obsahu (Ocean Heat Content, OHC). Kladný index EEI signalizuje, že klimatický systém Země stále reaguje na současný vliv, a že k dalšímu oteplování dojde i v případě, že se vliv dále nezvýší. To se následně projevuje v pokračujícím nárůstu obsahu tepla v oceánu. IPCC dospěl k jednoznačnému závěru, že vlivem člověka došlo k oteplení atmosféry, oceánu a pevniny a že vliv člověka byl velmi pravděpodobně hlavní příčinou oteplování oceánu pozorovaného od 70. let 20. století.

Různé výzkumné skupiny vypracovaly odhady globálního OHC a všechny výsledky ukazují na pokračující trend oteplování oceánů (obr. 5). Rozdíly mezi odhady v ročním až desetiletém měřítku vyplývají z různého statistického zpracování chybějících dat, volby klimatologie a použitého přístupu k zohlednění přístrojových zkreslení. Cílem bylo poskytnout pohled na globální vývoj oteplování oceánů do roku 2021.

1.3.2 Úroveň hladiny oceánu

Globální průměrná výška hladiny oceánu (GMSL) spojuje změny, ke kterým dochází v mnoha složkách klimatického systému. V meziročním až vícedekádním časovém měřítku jsou změny GMSL důsledkem oteplování oceánů prostřednictvím tepelné expanze mořské vody, tání pevninského ledu a změn hydrologického cyklu mezi pevninou a oceánem. GMSL měřená od počátku 90. let 20. století pomocí výsoce přesných výškoměrných družic se v letech 1993–2002 zvyšovala o 2,1 mm ročně a v letech 2013–2021 o 4,5 mm ročně, což představuje dvojnásobný nárůst mezi těmito obdobími, a to především v důsledku zrychleného úbytku ledovcové hmoty. V roce 2021 dosáhla GMSL nového rekordního maxima. V porovnání s předchozími

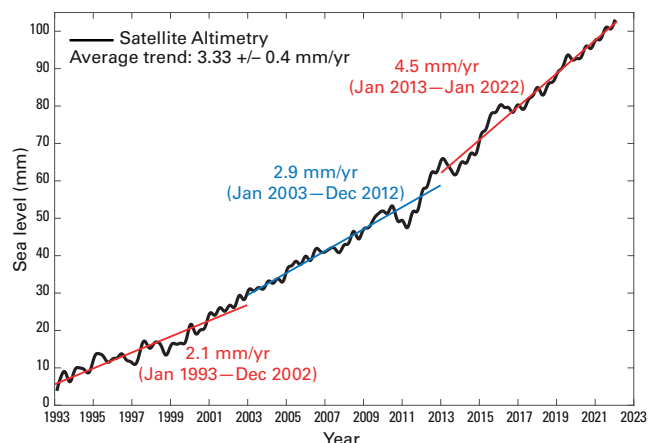


Obr. 5 Rozdíl průměru globálního OHC 1960–2021 od 2005–2017 a standardní odchylky (stínování) pro vrstvy 0–300 m (šedá), 0–700 m (modrá), 0–2 000 m (žlutá) a 700–2 000 m (zelená). Průměr souboru je aktualizací výsledku společného mezinárodního úsilí v oblasti dat a analýz a všechny použité produkty jsou uvedeny v části o údajích o obsahu tepla v oceánu. Hodnoty jsou uvedeny pro oblast povrchu oceánu mezi 60° j. š. a 60° s. š. a jsou omezeny na 300 m batymetrie každého produktu. Střední hodnoty odchylky OHC (0–2 000 m) souboru pro rok 2021 byly přidány jako samostatné body spolu s rozpětím souboru. Zdroj: Aktualizováno podle von Schuckmanna et al. 2016.

Fig. 5. 1960–2021 ensemble mean time series and ensemble standard deviation (2 standard deviations, shaded) of global OHC anomalies relative to the 2005–2017 average for the 0–300 m (grey), 0–700 m (blue), 0–2 000 m (yellow) and 700–2 000 m (green) depth layers. The ensemble mean is an update of the outcome of a concerted international data and analysis effort (see footnote 24), and all products used are referenced in the section on Ocean heat content data. Note that values are given for the ocean surface area between 60°S and 60°N and limited to the 300 m bathymetry of each product. The ensemble-mean OHC (0–2 000 m) anomalies for 2021 have been added as separate points, together with the ensemble spread. Source: Updated from von Schuckmann et al. 2016.

mi roky s El Niño a La Niña (například v letech 1997/1998, 2010/2011, 2015/2016), během nichž GMSL vykazovala dočasné kladné nebo záporné anomálie v řádu několika milimetrů, se rok 2021 vyznačoval nárůstem GMSL, který se blížil dlouhodobému trendu (obr. 6).

Přestože se hladina oceánu od roku 1993 zvýšila téměř všude, nezvýšila se všude stejně. Regionální trendy změny výšky mořské hladiny závisí na lokálních podmínkách obsahu tepla a slanosti oceánu. Některé regiony jsou i nadále postiženy rychlostí stoupání mořské hladiny, která je podstatně vyšší, než je globální průměr. Týká se to zejména západního tropického Pacifiku, jihozápadního Pacifiku, severního Pacifiku, jihozápadní části Indického oceánu a jižního Atlantiku. V jiných oblastech stoupá hladina moře v porovnání s globálním průměrem pomaleji, například v okolí Grónska, jižně od Islandu a v Jižním oceánu v okolí Antarktidy. Trendy vývoje mořské hladiny se za posledních 30 let éry altimetrie měnily jen málo a změny mezi jednotlivými roky jsou malé.



Obr. 6 Globální vývoj úrovně průměrné hladiny oceánu od ledna 1993 do ledna 2022 (černá křivka) na základě vysoce přesných satelitních měření. Barevné přímkové záznamy představují průměrný lineární trend ve třech po sobě jdoucích časových úsecích (leden 1993 až prosinec 2002; leden 2003 až prosinec 2012; leden 2013 až leden 2022). Zdroj: AVISO altimetrie (<https://www.aviso.altimetry.fr>).

Fig. 6. Global mean sea level evolution from January 1993 to January 2022 (black curve) based on high-precision satellite altimetry. The coloured straight lines represent the average linear trend over three successive time spans (January 1993 to December 2002; January, 2003 to December 2012; January 2013 to January 2022). Source: AVISO altimetry (<https://www.aviso.altimetry.fr>).

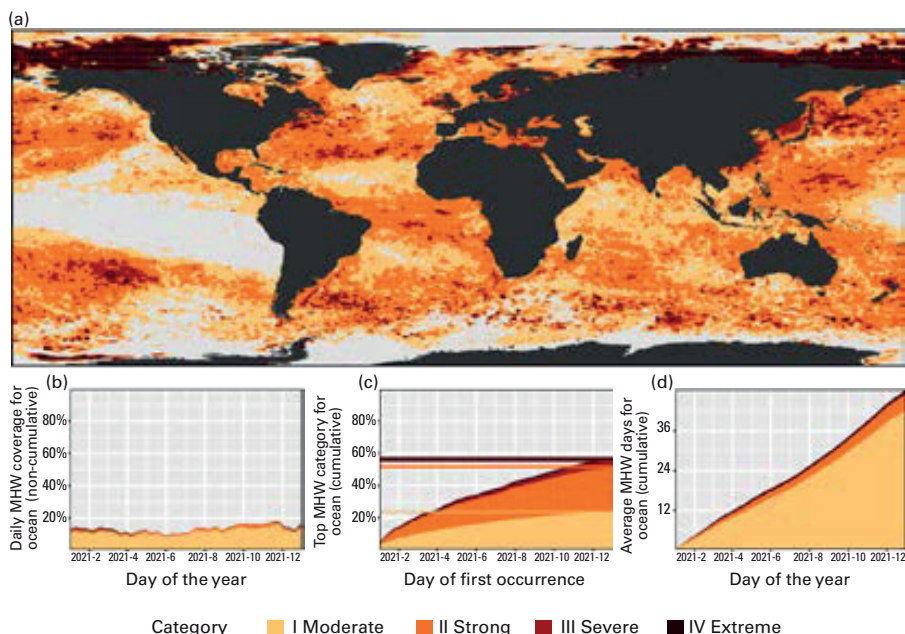
1.3.3 Mořské horké a studené vlny

Obdobně jako vlny veder a chladu na pevnině jsou mořské vlny veder (Marine HeatWaves, MHW) a mořské vlny chladu (Marine Cold Spells, MCS) delšími obdobími extrémního tepla nebo chladu postihujícími oceán. Mohou mít řadu důsledků pro mořské živočichy a na nich závislá společenstva. V průběhu dvacátého století se MHW vyskytovaly stále častěji. Ke sledování MHW a MCS se používají satelitní snímky teploty mořské hladiny a dělí se na střední, silné, závažné a extrémní.

Ve velké části oceánu se v roce 2021 vyskytla alespoň jedna „silná“ MHW (obr. 7). Vzhledem k podprůměrným teplotám mořské hladiny spojených s dvojitou La Niňou se MHW nápadně nevyskytovaly ve východním rovníkovém Tichém oceánu, který byl také jednou z mála oblastí světového oceánu, kde se v širším rozsahu vyskytovaly MCS (obr. 8). V mořích Laptěvů a Beaufortově se v období od ledna do dubna 2021 vyskytovaly „závažné“ a „extrémní“ MHW. Pozoruhodné „extrémní“ MHW se vyskytly v ledových oblastech východně od Grónska (srpen), severně od Špicberk (říjen) a východně od Rossova moře (prosinec). Téměř všechny MCS v roce 2021 byly klasifikovány jako „střední“, s výjimkou oblastí s vysokou variabilitou, podporovanou například posunem Gofského proudu směrem k pólu.

MHW v roce 2021 vykazovaly průměrné denní pokrytí 13 %, což je méně než rekordních 17 % v roce 2016 a 16 % v roce 2020. Již osmý rok po sobě byla i v roce 2021 nejčastější kategorií MHW kategorie „silná“ (28 %). Celkově se v roce 2021 vyskytla alespoň jedna MHW na 57 % povrchu oceánu (obr. 7c), což je méně než rekordních 65 % v roce 2016 a zároveň nejnižší roční pokrytí od roku 2012.

Průměrné denní pokrytí světového oceánu MCS v roce 2021 činilo 4 % (obr. 8b), což je nižší hodnota než rekordní hodnota z roku 1982 (7 %) a je srovnatelná s rokem 2020 (4 %). Celkem



Obr. 7 (a) Globální mapa ukazující nejvyšší kategorii MHW zaznamenané u každého pixelu v průběhu roku 2021 (referenční období 1982–2011). Světle šedá označuje, že v pixelu se po celý rok nevyskytla žádná MHW; (b) Procento oceánských pixelů zažívajících MHW v kterýkoli daný den v roce; (c) Kumulativní procento oceánu, který v průběhu roku zaznamenal MHW. Poznámka: Tyto hodnoty jsou založeny na tom, kdy v roce pixel poprvé zažil nejvyšší kategorii MHW, takže žádný pixel nebyl započítán více než jednou. Vodorovné čáry na tomto obrázku ukazují konečná procenta pro každou kategorii MHW; (d) Kumulativní počet MHW dnů zprůměrovaný na všechny pixely v oceánu. Poznámka: Tento průměr se vypočítá vydělením kumulativního počtu dní MHW na pixel pro celý oceán celkovým počtem oceánských pixelů (~ 690 000). Zdroj: Robert Schlegel

Fig. 7. (a) Global map showing the highest MHW category (for definitions, see Marine heatwave and marine cold spell data) experienced at each pixel in 2021 (reference period 1982–2011). Light grey indicates that no MHW occurred in a pixel over the entire year. (b) Stacked bar plot showing the percentage of the surface of the ocean experiencing an MHW on any given day of the year. (c) Stacked bar plot showing the cumulative percentage of the surface of the ocean that experienced an MHW over the year. Note: These values are based on when in the year a pixel first experienced its highest MHW category, so no pixel is counted twice. Horizontal lines in this figure show the final percentages for each category of MHW. (d) Stacked bar plot showing the cumulative number of MHW days averaged over the surface of the ocean. Note: This average is calculated by dividing the cumulative sum of MHW days per pixel weighted by the surface area of those pixels. Data are from the National Oceanic and Atmospheric Administration Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (NOAA OISST). Source: Robert Schlegel.

25 % povrchu oceánu zaznamenalo v roce 2021 alespoň jednu MCS (obr. 8c), což je také srovnatelné s rokem 2020 (25 %), ale mnohem méně než rekordní hodnota z roku 1985 (63 %).

1.3.4 Okyselení oceánu

Oceán absorbuje přibližně 23 % ročních emisí antropogenního CO₂ do atmosféry. To sice zpomaluje růst koncentrace CO₂ v atmosféře, ale CO₂ reaguje s mořskou vodou a snižuje pH oceánu, což je proces známý jako okyselování (acidifikace) oceánů. Současná globální rychlost okyselování oceánů převyšuje přinejmenším o řád rychlosti odvozené pro paleocenní-eocenní teplotní maximum (PETM), které nastalo přibližně před 56 miliony let a bylo spojeno s velkými poruchami globálního koloběhu uhlíku. Šestá hodnotící zpráva IPCC dospěla k závěru, že „existuje velmi vysoká pravděpodobnost, že pH na hladině otevřeného oceánu je nyní nejnižší za posledních nejméně 26 tisíc let a současná rychlost změn pH je přinejmenším od té doby bezprecedentní“. S klesajícím pH

oceánu klesá i jeho schopnost absorbovat CO₂ z atmosféry.

1.4 Kryosféra

Do kryosféry patří zamrzlé oblasti Země zahrnující mořský led, ledovce a pevninské ledovce, sníh a permafrost.

1.4.1 Mořský led

Arktida

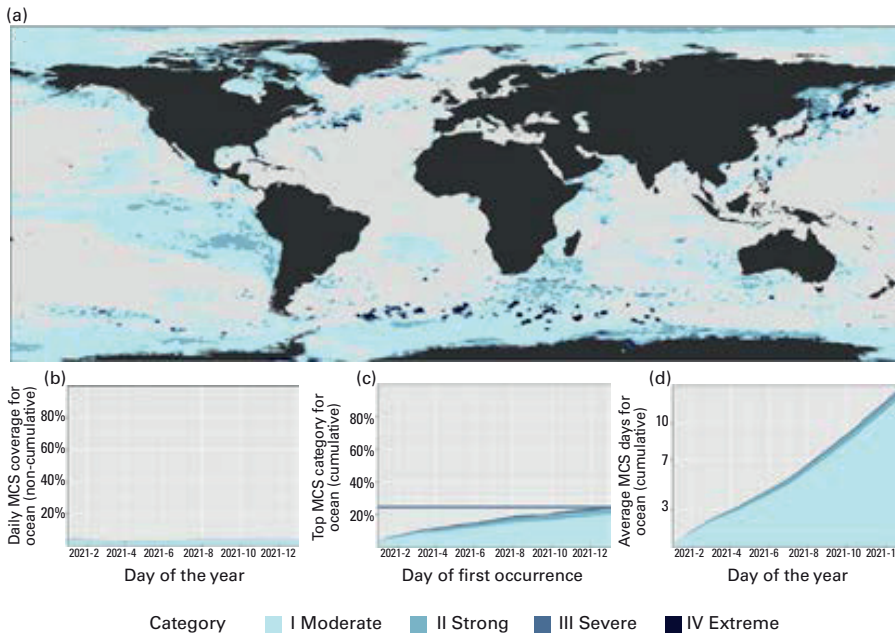
V průběhu arktické zimy 2020/2021 byla nad centrální částí Severního ledového oceánu zaznamenána anomálie vysokého tlaku vzduchu. Výsledné anticyklonální proudění větru způsobilo víceletý větší rozsah mořského ledu v Beaufortově moři. Maximálního rozsahu arktického mořského ledu 14,8 milionu km² bylo dosaženo dne 21. března. Březen 2021 byl devátým nebo desátým nejnižším zaznamenaným rozsahem (1979–2021), v závislosti na zdroji dat (obr. 9).

Rychlost tání mořského ledu se na začátku sezóny tání blížila průměru 1981–2010. Rozsah mořského ledu se však v červnu a na začátku července velmi rychle zmenšil v moři Laptěvů a ve východní části Grónského moře. V důsledku toho dosáhl rozsah mořského ledu pro roční období v Arktidě v první polovině července rekordního minima. Měsíční červencový průměr byl druhý až čtvrtý nejnižší v historii (shodný s roky 2012 a 2019), s velkými regionálními rozdíly. Jedinou výjimkou byl východ Karského moře, kde mořský led přetrvával po ce-

lou sezónu. Po červenci se podmínky rychle změnilly a v Arktidě pokračovalo chladnější počasí. To zpomalilo tání mořského ledu a srpen 2021 skončil s desátým nejnižším zaznamenaným rozsahem. Se zpomalením tání v srpnu bylo minimum v září větší než v posledních letech, ale stále hluboko pod průměrem let 1981–2010, což představuje dvanáctou nejnižší minimální rozlohu ledu z 43letého satelitního záznamu.

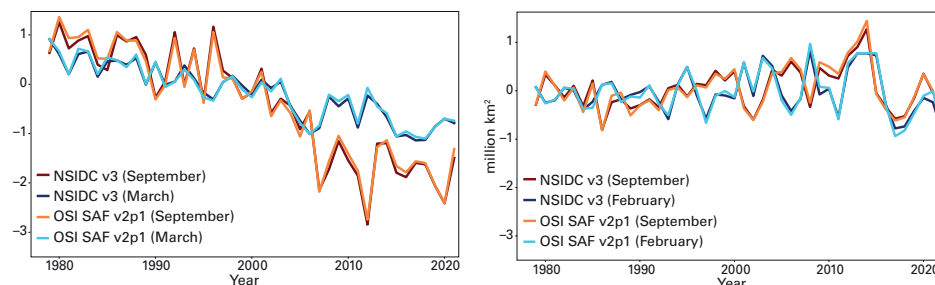
Antarktida

Rozsah mořského ledu v Jižním oceánu v roce 2021 byl obecně pod průměrem 1981–2010, s podprůměrnými rozsahy před únorovým minimem, mírně nadprůměrný po většinu zimy, výjimečně brzkým maximálním rozsahem ledu na konci srpna a výrazně podprůměrnými rozsahy koncem roku. Minimum v ročním cyklu 2021 nastalo 19. února, kdy mořský led pokrýval 2,60 milionu km², což je patnáctý nejnižší rozsah (od roku 1979). Antarktický mořský led dosáhl svého maximálního ročního rozsahu 18,80 milionu km² dne 30. srpna 2021.



Obr. 8 Obdobně jako na obrázku 7, ale místo MHW jsou zde zobrazeny MCS. Údaje pocházejí z optimální interpolace teploty povrchu moře (NOAA OISST) Národního úřadu pro oceán a atmosféru. Zdroj: Robert Schlegel.

Fig. 8. As for Figure 7, but showing MCSs rather than MHWs. Data are from the National Oceanic and Atmospheric Administration Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (NOAA OISST). Source: Robert Schlegel.



Obr. 9 Rozdíl rozsahu mořského ledu oproti průměru 1981–2010 v Arktidě (vlevo) a Antarktidě (vpravo) v měsíci s maximální ledovou pokrývkou (Arktida: březen; Antarktida: září) a minimální ledovou pokrývkou (Arktida: září; Antarktida: únor) od roku 1979. Zdroj: Data z EUMETSAT OSI SAF v2p1 a National Snow and Ice Data Center (NSIDC) v3 (Fetterer et al. 2017), podrobnosti v kapitole Datové sady a metodika.

Fig. 9. Sea-ice extent difference from the 1981–2010 average in the Arctic (left) and Antarctic (right) for the months with maximum ice cover (Arctic: March; Antarctic: September) and minimum ice cover (Arctic: September; Antarctic: February) from 1979 to 2021. Source: Data from EUMETSAT OSI SAF v2p1 and National Snow and Ice Data Centre (NSIDC) v3 (Fetterer et al. 2017) (see reference details in Sea-ice data).

1.4.2 Ledovce

Ledovce jsou tvořeny ze sněhu, který ztuhnutím vytvořil led, ten se může deformovat a stékat z kopce do nižších a teplejších nadmořských výšek, kde taje. Pokud ledovec končí v jezeře nebo oceánu, ke ztrátě ledu dochází také táním v místě dotyku ledu a vody, nebo otelením přední části ledovce za vzniku ledových ker. Ledovce jsou citlivé na změny teploty, na druh srážek a slunečního záření, jakož i na další faktory, jako jsou změny povrchu podloží nebo ztráta opěrných ledových šelfů.

V období 2000–2019 zaznamenaly světové kontinentální a horské ledovce (s výjimkou ledovců Grónska a Antarktidy)

průměrnou hmotnostní ztrátu 267 ± 16 Gt za rok. Na konci období 2015–2019 byla hmotnostní ztráta vyšší, 298 ± 24 Gt za rok. Ledovce v několika oblastech střední šířky se v letech 2015 až 2019 ztenčily na více než dvojnásobek celosvětového průměru ($0,52 \pm 0,03$ m za rok). Příklady zahrnují ztenčení o 1,52 m za rok na Novém Zélandu, 1,24 m za rok na Aljašce, 1,11 m za rok ve střední Evropě a 1,05 m ročně na západě Severní Ameriky (bez Aljašky). Pro glaciologický rok 2020/2021 předběžná data dostupná z 32 referenčních ledovců naznačují průměrnou globální hmotnostní bilanci $-0,77$ m vodní hodnoty (v. h.). Jedná se o menší hmotnostní úbytek, než je průměr za poslední desetiletí ($-0,94$ m v. h. od roku 2011 do roku 2020), ale je větší než průměrný hmotnostní úbytek za období 1991–2020, $-0,66$ m v. h. (obr. 10).

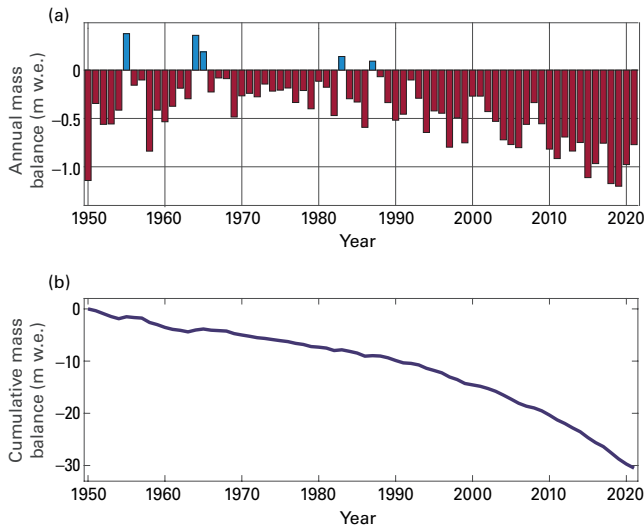
1.4.3 Kontinentální ledovce

Ledový příkrov je ledová masa, která pokrývá terén a je větší než 50 000 km². Alternativní český název je ledový štít (lze se setkat i s názvem „kontinentální ledovec“). Jediné současné ledové příkrovy se nachází v Antarktidě a Grónsku.

Grónský ledovec

Změny v celkové hmotnostní bilanci grónského ledovcového příkrovu odrážejí kombinované účinky: bilance hmotnosti povrchu, definované jako rozdíl mezi sněhovými srážkami a odtokem tající vody z ledového příkrovu; bilancí mořské hmoty, což je součet ztrát hmoty na okrajích z telení ledovců a tání ledovcových jazyků při kontaktu s oceánem; a bazální hmotnostní bilance, která sestává z bazálního tání v důsledku geotermálního tepla a třecího tepla generovaného klouzáním spodku ledovce a deformací ledu.

Pro Grónsko poskytuje soubor regionálních klimatických modelů odhadovanou celkovou hmotnostní bilanci ve výši -166 Gt pro rok 2021 (září 2020 až srpen 2021). Odhady založené na satelitních pozorováních a síti povrchových meteorologických stanic PROMICE udávají celkovou hmotnostní bilanci -85 Gt za stejné období. Gravitační data družice GRACE zpracovaná NASA udávají pro stejné období celkovou hmotnostní bilanci -126 Gt. Odhadovaná velikost ztráty hmoty se



Obr. 10 Globální hmotnostní bilance ledovců 1950–2021, ze souboru přibližně 40 globálních referenčních ledovců. a) Průměrná roční hmotnostní bilance pro soubor referenčních ledovců. b) Kumulativní hmotnostní bilance od roku 1950. Jednotky jsou m vodní hodnoty. Zdroj: Data poskytuje World Glacier Monitoring Service, <http://www.wgms.ch>.

Fig. 10. Global glacier mass balance 1950–2021, from a set of approximately 40 global reference glaciers. (a) Average annual mass balance for the set of reference glaciers. (b) Cumulative mass balance since 1950. Units are m w.e. Source: Data are provided by the World Glacier Monitoring Service, <http://www.wgms.ch>.

liší v důsledku různých metod a předpokladů, ale panuje shoda v tom, že grónský ledovec měl zápornou hmotnostní bilanci již 25. rok v řadě. V období od září 1986 do srpna 2021 klimatické modely ukazují, že grónský ledovec ztratil celkem 5 511 Gt ledu, což je průměrná hmotnostní ztráta 157 Gt za rok.

Antarktický ledovec

Antarktický ledovec ve srovnání s Grónskem zažíval zanedbatelné povrchové odtávání, ale k určitému tání obvykle dochází na Antarktickém poloostrově mezi listopadem a únorem, stejně jako na některých nízko položených ledovcových šelfech a v pobřežních zónách. Letní období tání 2020/2021 v Antarktidě bylo mírné a bylo pod průměrem let 1990–2020. Severní Filchnerův ledovcový šelf ve Wedellově moři zažil výrazné, ale krátké období tání v polovině prosince 2020. Letní období tání v Antarktidě skončilo v polovině února 2021. Nejsilnější pozitivní anomálie tání v tomto roce byly nad zbytky ledovcových šelfů Larsen B a C na Antarktickém poloostrově, většina ostatních míst zaznamenala téměř normální rozsah tání ve srovnání s průměrem let 1990–2020.

Navzdory téměř normálnímu povrchovému tání v Antarktidě v létě 2020/2021 naznačují gravitační data družice GRACE-FO, že antarktický ledovec na začátku roku 2021 nadále ztrácel hmotu, což souvisí s oteplením a táním mořského ledovcového příkrovu v sektoru Amundsenova moře v západní Antarktidě. Ztráta hmoty antarktického ledovce od roku 2010 je z velké části způsobena ztenčováním a ústupem čelní linie ledovce Thwaites, vyvolaná oteplením oceánu v této oblasti. Údaje GRACE-FO57 naznačují, že Antarktida ztratila od listopadu 2020 do listopadu 2021 hmotnost 296 Gt, což

je zhruba dvojnásobek průměrné rychlosti úbytku ledu v Antarktidě v letech 2002 až 2021.

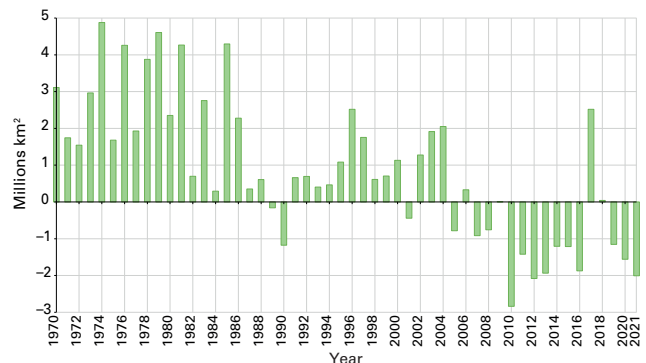
1.4.4 Sníh

Sezónní sněhová pokrývka na severní polokouli na konci jara a v létě dlouhodobě klesá, spolu s důkazy relativní stability nebo nárůstu sněhové pokrývky na podzim. Rozsah sněhové pokrývky v roce 2021 odpovídal těmto dlouhodobým trendům, byla však zaznamenána anomálie sněhové pokrývky v květnu: –2 miliony km², což je na základě analýz produktu Rutgers Northern Hemisphere (NH) Snow Cover Extent (SCE) třetí nejnižší hodnota v záznamu z let 1970–2021 (obr. 11). Snížení rozsahu jarní sněhové pokrývky na severní polokouli je konzistentní napříč soubory dat a v roce 2021 to bylo způsobeno podnormální sněhovou pokrývkou ve vysokých zeměpisných šířkách. Rozsah euroasijské arktické sněhové pokrývky v květnu a červnu 2021 byl pátý a třetí nejnižší zaznamenaný za období 1967–2021.

1.4.5 Permafrost

Permafrost se vyskytuje asi pod jednou osminou volné pevniny na Zemi. Je to půda, kde zůstává teplota kolem nebo pod 0 °C po dobu nejméně dvou po sobě následujících let. Tání permafrostu může vést k nestabilitě krajiny a dalším dopadům, včetně emisí skleníkových plynů z dřívě zmrzlého organického materiálu. Když se teplota permafrostu blíží 0 °C, změny teploty v zemi bohaté na led se zastavují kvůli fázovým změnám mezi ledem a vodou. Zatímco zvýšení teploty se může v důsledku fázových změn vyrovnat na několik let nebo desetiletí blízko 0 °C, dopady oteplování a tání permafrostu na stabilitu půdy (sesuvy a pohyby půdní masy), hydrologii, ekosystémy a infrastrukturu jsou často jasně viditelné (obr. 12).

Od devadesátých let 20. století shromažďuje globální měřicí síť pro permafrost (Global Terrestrial Network for Permafrost, GTN-P) datové soubory teploty permafrostu (teplota měřená ve vrtech) a tloušťky aktivní vrstvy (maximální tloušťka sezónně rozmrzlé vrstvy nad permafrostem). Aby produkty GTN-P udržely aktivitu, spoléhají většinou na výzkumné projekty. Dlouhodobé datové řady z národních a regionálních sítí působících



Obr. 11 Květnová odchylka rozsahu sněhové pokrývky (SCE) na severní polokouli (NH) od roku 1970 ve srovnání s průměrem let 1991–2020. Zdroj: Produkt Rutgers Northern Hemisphere Snow Cover Extent <https://snowcover.org>.

Fig. 11. May snowcover extent (SCE) anomaly in the northern hemisphere (NH) for the period 1970–2021, relative to the 1991–2020 average. Source: Rutgers Northern Hemisphere Snow Cover Extent product: <https://snowcover.org>.



Obr. 12 Nedávná nestabilita svahu spojená s táním permafrostu, včetně sesuvů aktivní oddělené vrstvy a zpětného tání poklesů. V popředí se do řeky sesunulo velké množství materiálu a vytvořil se jazyk. Úpatí pohoří Mackenzie jižně od Norman Wells v severozápadní Kanadě. Zdroj: Government of Northwest Territories, Kanada.

Fig. 12. Recent slope instability associated with permafrost thaw, including active layer detachment slides and retrogressive thaw slumps. In the foreground, large amounts of material have pushed into the river to form a debris tongue. Foothills of the Mackenzie Mountains south of Norman Wells, north-western Canada. Credit: Government of Northwest Territories, Canada.

v horských a polárních oblastech ukazují na novějších údajích až do roku 2020 pokračující trend oteplování.

1.5 Stratosférický ozon

V návaznosti na úspěšný Montrealský protokol bylo ukončeno používání halonů a chlor-fluorovaných uhlovodíků (CFC), přesto jsou jejich hladiny v atmosféře nadále sledovány. Vzhledem ke své dlouhé životnosti zůstávají tyto sloučeniny v atmosféře po mnoho desetiletí. I v případě, že by nedošlo k žádným novým emisím, je v atmosféře stále přítomno více než dost chloru a bromu, aby od srpna do prosince způsobily úplné zničení ozonu nad Antarktidou. V důsledku toho je vytváření antarktické ozonové díry (oblasti s nízkou koncentrací ozonu) i nadále každoroční jarní událostí, jejíž meziroční změny velikosti a míry zeslabení jsou z velké části ovlivněny meteorologickými podmínkami.

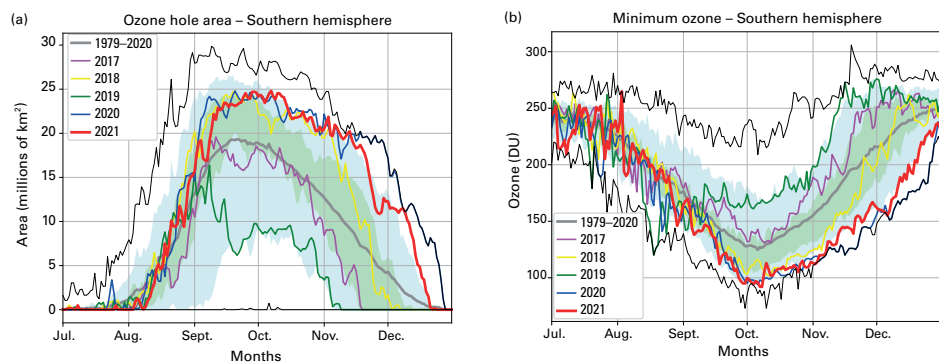
Ozonová díra v Antarktidě vznikla v roce 2021 poměrně brzy a dále se pak zvětšovala. Dne 24. září se rozšířila na rozlohu 24 milionů km² a v blízkosti této hodnoty se držela až do poloviny října 2021. Vývoj ozonové díry, její rozsah a závažnost byly podobné jako v sezónách 2020 a 2018. Podle analýzy Národního úřadu pro letectví a vesmír (NASA) dosáhla ozonová díra maximální rozlohy 24,8 milionu km² 7. října 2021, což je podobná rozloha jako v letech 2020

a 2018, blízká nejvyšším hodnotám pozorovaným v dřívějších letech, například 28,2 milionu km² v roce 2015 a 29,6 milionu km² v roce 2006 (obr. 13 vlevo).

Pokud jde o celkový sloupec ozonu, zaznamenala NASA minimální hodnotu ozonu 92 DU (Dobsonových jednotek) 7. října 2021, což byla nejnižší hodnota nejen za sezónu 2021, ale i za posledních 17 let (obr. 13 vpravo). Od října 2021 se koncentrace stratosférického ozonu nad Antarktidou trvale snižovala na hodnoty blízké nule ve výšce 15 až 20 km. Jak uvádí Národní úřad pro oceán a atmosféru (NOAA), spolu se sezónou 2020 se jedná o jedny z nejnižších hodnot ozonu, které kdy byly pomocí sond na antarktických stanicích naměřeny. Ozonová díra v roce 2021 byla větší a hlubší než 70 % ozonových děr od roku 1979. K zániku této díry došlo v druhé polovině prosince. Zařadila se jako třináctá největší ozonová díra podle rozlohy a šestá nejhlubší z hlediska minima ozonu. Tato neobvykle hluboká a rozlehlá ozonová díra byla způsobena silným a stabilním polárním vírem a nadprůměrně chladnými podmínkami ve stratosféře.

2. Extrémní události

Ačkoli je důležité porozumět rozsáhlým změnám v klimatu, nejakutnější následky počasí a podnebí jsou často pocítovány během extrémních meteorologických jevů, jako jsou silný déšť a sněžení, sucha, vlny veder, studené vlny a bouře, včetně tropických bouří. Tyto mohou způsobit nebo zhoršit další události s velkými následky, jako jsou záplavy, sesuvy půdy, požáry a laviny. Rizika a důsledky spojené s těmito událostmi jsou popsány ve stejnojmenné kapitole.



Obr. 13 Vlevo: Plocha ozonové díry (v milionech km²). Vpravo: Minimum ozonu s celkovým množstvím ozonu pod 220 DU. Rok 2021 je znázorněn červeně. Pro srovnání jsou uvedeny poslední roky, jak je uvedeno v legendě. Hladká tlustá šedá čára je průměr let 1979–2020. Modře stínovaná oblast představuje 10. až 90. percentil a zeleně stínovaná oblast představuje 30. až 70. percentil pro období 1979–2020. Tenké černé čáry znázorňují maximální a minimální hodnoty pro každý den v období 1979–2020. Zdroj: Graf byl vytvořen ve WMO na základě dat NASA Ozone Watch. (<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>). Údaje NASA vycházejí z družicových pozorování přístrojů OMI a TOMS.

Fig. 13. Left: Ozone hole area (millions of km²). Right: Minimum ozone, where the total ozone column is less than 220 Dobson Units. The year 2021 is shown in red. The most recent years are shown for comparison as indicated by the legend. The smooth, thick grey line is the 1979–2020 average. The blue shaded area represents the 10th to 90th percentiles, and the green shaded area represents the 30th to 70th percentiles for the period 1979–2020. The thin black lines show the maximum and minimum values for each day in the 1979–2020 period. Source: The plot was generated at WMO on the basis of data downloaded from the NASA Ozone Watch (<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>). The NASA data are based on satellite observations from the OMI and TOMS instruments.

2.1 Horko a požáry

Západní oblasti Severní Ameriky v červnu a červenci několikrát postihly mimořádné vlny veder. Podle některých měřítek byla nejextrémnější vlna koncem června na severozápadě USA a na západě Kanady. V Lyttonu na jihu centrálních oblastí Britské Kolumbie bylo 29. června naměřeno 49,6 °C, čímž byl o 4,6 °C překonán dosavadní kanadský národní rekord. Na východním předměstí Vancouveru a ve vnitrozemí ostrova Vancouver se teplota vzduchu blížila čtyřicítce. Byla také o více než 5 °C vyšší než dosavadní nejvyšší známá teplota severně od 50° s. š. V důsledku horka došlo k velkému počtu úmrtí, jen v Britské Kolumbii bylo mezi 20. červnem a 29. červencem hlášeno 569 a v Albertě 185 úmrtí. V USA bylo v podobném období v důsledku horka hlášeno 154 úmrtí ve státě Washingtonu a nejméně 83 v Oregonu. Mnoho stanic překonalo teplotní rekordy o 4 °C až 6 °C, včetně Portlandu v Oregonu (46,7 °C). Na jihozápadě Spojených států se také vyskytlo několik vln veder. V Údolí smrti v Kalifornii bylo 9. července naměřeno 54,4 °C, což vyrovnalo hodnotu z roku 2020 a jde o nejvyšší zaznamenanou teplotu na světě přinejmenším od 30. let 20. století. Toto léto se stalo nejteplejším zaznamenaným létem na území kontinentálních Spojených států.

Během vln veder a po nich došlo k mnoha velkým požárům (včetně jednoho, který den po teplotním rekordu z velké části zničil město Lytton). Požár Dixie v severní Kalifornii, který vypukl 13. července, zasáhl asi 390 000 hektarů, než byl v říjnu zcela zlikvidován, a stal se tak doposud největším požárem v Kalifornii. Vzácný zimní požár způsobil 30. prosince velké materiální škody východně od Boulderu v Coloradu, kde bylo zničeno nebo poškozeno více než 1 000 domů a dalších budov. Celková plocha spálená během požárů v USA byla mírně podprůměrná, avšak v Kanadě byla výrazně nadprůměrná. V Ontariu byla zaznamenána největší sezónní spálená plocha a v Britské Kolumbii třetí největší. Dlouhodobé znečištění kouřem postihlo během léta mnoho částí Severní Ameriky, přičemž Calgary hlásilo rekordních 512 hodin výskytu kouře nebo mlhy, zatímco dlouhodobý průměr činil 12 hodin.

V druhé polovině léta na severní polokouli zasáhla širší oblast Středomoří několikrát extrémní vedra. Nejvýjimečnější vedra panovala ve druhém srpnovém týdnu. Dne 11. srpna dosáhla agrometeorologická stanice poblíž Syrakus na Sicílii v Itálii 48,8 °C, což je prozatímní evropský rekord, zatímco v Kairouanu (Tunisko) bylo dosaženo rekordních 50,3 °C. V Montoru, kde bylo 14. srpna naměřeno 47,4 °C, byl zaznamenán španělský národní rekord. Ve stejný den byl zaznamenán také historicky nejteplejší den v Madridu (letiště Barajas) s 42,7 °C. Již dříve, 20. července byl naměřen turecký národní rekord v Cizre (49,1 °C). Ve stejný den byla zaznamenána také historicky nejvyšší teplota v Tbilisi v Gruzii (40,6 °C). V mnoha částech regionu došlo k rozsáhlým požárům, přičemž obzvláště silně bylo postiženo Alžírsko, jižní Turecko a Řecko. Při požárech v Alžírsku zahynulo více než 40 osob. Významné požáry v tomto období zaznamenaly také Francie, Itálie, Severní Makedonie, Libanon, Izrael, Libye, Tunisko a Maroko. Počet požárů v amazonské oblasti byl během vrcholné sezóny v srpnu až září nižší než v roce 2019 nebo 2020, avšak k rozsáhlé požární aktivitě došlo v jiných částech Brazílie, včetně Pantanalu.

2.2 Zima a sníh

Abnormálně chladné podmínky postihly v polovině února mnoho míst centrální části USA a severního Mexika. Největší

dopady byly zaznamenány v Texasu, kde byly obecně nejnižší teplota přinejmenším od roku 1989, přičemž v některých oblastech zůstávala teplota pod bodem mrazu nepřetržitě 6 až 9 dní. Dne 16. února klesla teplota v Oklahoma City na –25,6 °C a v Dallasu na –18,9 °C, což jsou nejnižší teploty od roku 1899 v Oklahoma City a od roku 1949 v Dallasu. Byla vážně narušena distribuce elektřiny a při kulminaci této události bylo bez proudu téměř 10 milionů lidí. Další významnou příčinou škod bylo zamrzlé potrubí. V USA bylo hlášeno celkem 226 úmrtí a ekonomické ztráty se odhadují na 24 miliard USD, což představuje nejzávažnější zimní bouři v historii Spojených států.

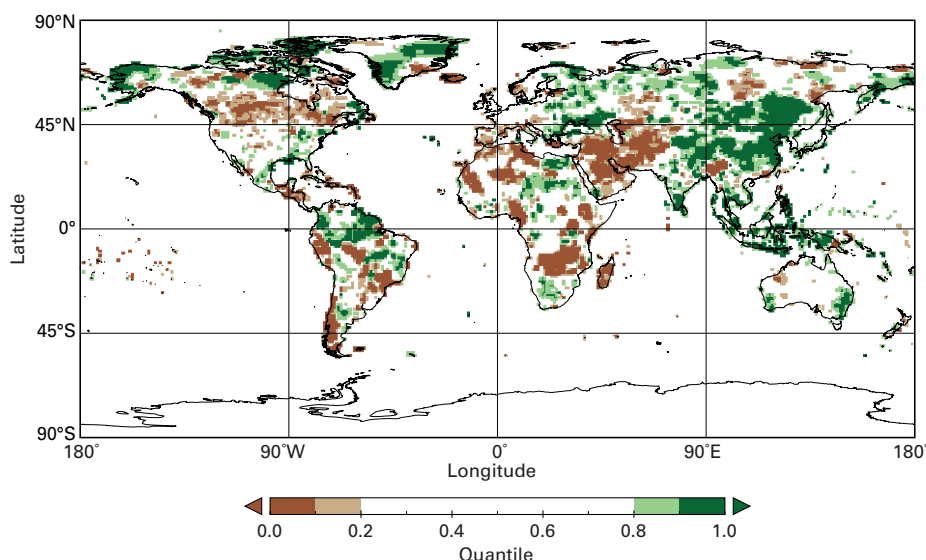
Zima 2020/2021 byla chladná také v mnoha částech severní Asie. Koncem prosince a začátkem ledna postihla podprůměrná teplota velkou část Japonska, kde několikrát hustě sněžilo. Na řadě míst na pobřeží Japonského moře na ostrově Honšú napadlo na začátku ledna nejvíce sněhu za 72 hodin v historii. Ve velké části Číny bylo v tomto období také neobvykle chladno, 7. ledna dosáhla teplota v Pekingu –19,6 °C, což je nejnižší teplota od roku 1966.

Od 7. do 10. ledna zasáhla mnoho částí Španělska silná sněhová bouře, po níž následoval mrazivý týden. V centrální části Madridu (Retiro) napadlo celkem 53 cm sněhu a silné srážky byly hlášeny i v mnoha dalších částech Španělska. Na některých místech, včetně Toleda (–13,4 °C) a Teruela (–21,0 °C), byla v důsledku bouře 12. ledna zaznamenána nejnižší teplota v historii. Došlo k výraznému narušení pozemní i letecké dopravy. Ve druhém únorovém týdnu zažilo Nizozemsko nejvýznamnější sněhovou bouří od roku 2010 a hustě sněžilo také v Německu, Polsku a Spojeném království. V důsledku bouře bylo 12. února v Braemarů zaznamenána teplota –23,0 °C, nejnižší ve Spojeném království od roku 1995. V jihovýchodní Evropě napadlo 15. února v Aténách nejvíce sněhu od roku 2009. Libye zažila neobvyklé sněhové srážky mezi 15. a 21. únorem a ve vyšších polohách znovu koncem prosince.

Abnormální zima zasáhla mnohé části Evropy také na jaře, začátkem dubna. Mezi rekordně nízké hodnoty dubnové teploty vzduchu ve Francii patřilo –7,4 °C 8. dubna v Saint-Etienne a –6,9 °C 6. dubna v Beauvais. V srbském Bělehradě napadlo 7. dubna nejvíce sněhu v historii. V Polsku to byl nejchladnější duben v jednadvacátém století. Ve vyšších polohách byly národní dubnové rekordy zaznamenány ve Švýcarsku (–26,3 °C na Jungfrauochu) a ve Slovinsku (–20,6 °C Nova Vas na Blokah). V Anglii byla v dubnu změřena nejnižší průměrná měsíční teplota od roku 1922. Škody způsobené mrazem v zemědělství byly rozsáhlé a vážné, přičemž jen ve Francii přesáhly ztráty na vinicích a dalších plodinách 4,6 miliardy USD. Velmi teplý byl konec března, kdy byl ve Francii 31. března zaznamenán nejteplejší březnový den v historii.

2.3 Srážky

Ve srovnání s teplotou vzduchu se srážky vyznačují větší prostorovou a časovou proměnlivostí. V roce 2021 patřily mezi oblasti s nadnormálními úhrny srážek (ve srovnání s obdobím 1951–2000) východní Evropa, jihovýchodní Asie, oblast ostrovů a moří mezi pevninskou jihovýchodní Asií a Austrálií a mezi Indickým a Tichým oceánem, dále pak severní části Jižní Ameriky a jihovýchodní části Severní Ameriky (obr. 14). Mezi velké oblasti s deficitem srážek patřila jihozápadní Asie a Blízký východ, části jižní Afriky, oblasti na jihu Jižní Ameriky a oblasti ve střední části Severní Ameriky.



Obr. 14 Roční úhrn srážek v roce 2021, vyjádřený jako percentil referenčního období 1951–2010 v oblastech se srážkou pod (hnědě) a nad 20. (zeleně) percentilem, tmavší odstíny hnědé a zeleně označují nejsušších, resp. nejvlhčích 10 %. Zdroj: Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), Deutscher Wetterdienst, Germany.

Fig. 14. Total precipitation in 2021, expressed as a percentile of the 1951–2010 reference period, for areas in the driest 20% (brown) and wettest 20% (green) of years during the reference period, with darker shades of brown and green indicating the driest and wettest 10%, respectively. Source: GPCC, Deutscher Wetterdienst, Germany.

2.4 Záplavy

Extrémní srážky, které byly umocněny přílivem vlhkosti vzduchu před tajfunem In-fa, zasáhly od 17. do 21. července provincií Che-nan ve střední Číně. Nejvíce postižená oblast byla v okolí města Čeng-čou (hlavní město provincie Che-nan), kde 20. července spadlo 201,9 mm srážek za jednu hodinu (čínský národní rekord) a 382 mm za 6 hodin. Za celou událost spadlo v této oblasti 720 mm, což je více než roční průměr v této lokalitě. Město postihly extrémní přívalové povodně, při nichž bylo zaplaveno mnoho budov, silnic a podzemních drah. Povodně si vyžádaly 380 mrtvých nebo pohřešovaných osob a byly hlášeny hospodářské ztráty ve výši 17,7 miliardy USD. K dalším záplavám došlo začátkem října, a to zejména v provinciích Shanxi a Hebei.

Západní Evropa zažila v polovině července jedny z nejsilnějších záplav v historii. Nejhuře postiženou oblastí bylo západní Německo a východní Belgie, kde ve dnech 14. a 15. července spadlo na rozsáhlém území 100 až 150 mm srážek na půdu, která byla již nasycená po nedávných vydatných srážkách. V německém Hagenu spadlo 241 mm srážek za 22 hodin. Na mnoha řekách došlo k extrémním záplavám, při nichž bylo zaplaveno několik měst, a došlo také k několika sesuvům půdy. Francie, Nizozemsko, Lucembursko a Švýcarsko se rovněž potýkaly se značnými záplavami. V Německu bylo hlášeno 183 mrtvých, v Belgii 36. Hospodářské ztráty v Německu přesáhly 20 miliard USD.

Vytrvalé přívalové deště v polovině března způsobily velké záplavy na východě Nového Jižního Walesu v Austrálii. Týden od 18. do 24. března byl v průměru na pobřeží Nového Jižního Walesu nejdeštivějším v historii. Největší záplavy se vyskytly na řekách Hastings, Karuah a Manning severně od Sydney, ale k významným záplavám došlo i v dalších oblastech, včetně částí západního Sydney. K povodním došlo také na mnoha vnitrozemských řekách, což vedlo k výraznému obnovení zásob vody značně vyčerpaných suchem v letech 2017–2019. Hlá-

šené hospodářské ztráty dosáhly více než 2,1 miliardy USD.

V Afghánistánu se v roce 2021 vyskytly dvě přívalové povodně spojené s lokálními přívalovými dešti, a to na začátku května na západě v okolí Herátu a 28.–29. července v centru Núristánů na východě země. Při obou povodních došlo ke značným ztrátám na životech, přičemž při květnové bylo hlášeno 61 úmrtí a při červencové 113 úmrtí.

Přívalové povodně se několikrát vyskytly také na pobřeží Středoziemního a Černého moře. Největší dopad měla událost na tureckém pobřeží Černého moře 10. srpna, kdy došlo k vážným škodám v několika městech a bylo hlášeno 77 úmrtí. V Bozkurtu bylo za 24 hodin zaznamenáno 399,9 mm srážek. Tato událost byla spojena s tzv. medikánem (bouře, která se formuje mimo tropické oblasti, nicméně má charakteristiky tropické bouře) v Černém moři.

Mimořádné množství srážek spadlo dne 4. října v pobřežních oblastech Ligurie (severozápadní Itálie), například 496,0 mm za 6 hodin v Montenotte Inferiore nebo 740,6 mm za 12 hodin v Rossiglione.

Přetrvávající nadprůměrné srážky v první polovině roku v některých severních částech Jižní Ameriky, zejména v severní části povodí Amazonky, vedly v regionu k významným a dlouhotrvajícím záplavám. Hladina řeky Rio Negro v Manausu (Brazílie) dosáhla 20. června nejvyšší zaznamenané úrovně, a to 30,02 metru. Historicky nejrozsáhlejší záplavy byly hlášeny v severní Brazílii, ale postiženy byly také Guyana, Venezuela a Kolumbie.

Průběh a ústup indického monzunu se zpozdil, ale celkově se indické monzunové srážky blížily průměru, přičemž nadprůměrné srážky na západě byly kompenzovány podprůměrnými hodnotami na severovýchodě. V průběhu sezóny si záplavy vyžádaly 529 úmrtí v Indii a 198 v Pákistánu (k 30. září), další úmrtí byla zaznamenána v Bangladéši a Nepálu. Během severovýchodního monzunového období v říjnu a listopadu došlo k dalším záplavám ve východní Indii a Nepálu. Ve východní Asii byl oproti roku 2020 během monzunového období obecně méně vlhký východ Číny (s výjimkou Henanu), v Japonsku byl extrémně deštivý srpen. V západním Japonsku byl zaznamenán nejdeštivější srpen v historii, přičemž na některých místech spadlo mezi 11. a 26. srpnem více než 1400 mm srážek. V Malajsi došlo k závažným záplavám v důsledku tropické níže, která dosáhla ústí 16. prosince. V Selangoru a Kuala Lumpur bylo hlášeno nejméně 52 úmrtí. Na mezinárodním letišti v Kuala Lumpur spadlo 17. a 18. prosince za 12 hodin 230 mm srážek.

Období dešťů v africkém Sahelu se celkově blížilo průměru (1951–2000) a bylo méně deštivé než v posledních letech, přesto byly hlášeny značné záplavy, zejména v Nigeru, Súdánu a Jižním Súdánu a v Malí. K vážným událostem docháze-

lo také na některých afrických jezerech, např. hladina jezera Tanganika stoupla v květnu o více než 3 m nad svou obvyklou úroveň. Na břehu jezera v Burundi došlo k vysídlení místních obyvatel. Hladina Viktoriina jezera stoupla na nejvyšší úroveň od počátku satelitních údajů v roce 1992, a překonala tak své maximum z předchozího roku. Vysoké průtoky spolu se značným množstvím stojaté vody, která stále zůstává po povodních v roce 2020, přispěly k pokračujícím záplavám v některých částech Jižního Súdánu a Súdánu navzdory téměř normálním srážkám v roce 2021. V jižní Africe, jejíž velká část se potýkala s dlouhodobým suchem, byly srážky v období dešťů 2020/2021 v některých regionech nadprůměrné, včetně severní části Jihoafrické republiky a Zimbabwe, kde byly hlášeny záplavy, na rozdíl od regionů dále na severu, kde byly srážky blízké průměru nebo podprůměrné.

Západní Kanadu postihly v listopadu silné záplavy. Na mnoha místech na jihu Britské Kolumbie spadlo během 60 hodin 200 až 300 mm srážek, které způsobily záplavy a sesuvy půdy (v některých případech ještě zhoršené odtokem z oblastí zasažených dřívějším požárem). Vážně narušena byla doprava, většina hlavních tras spojujících Vancouver se zbytkem Kanady byla několik týdnů uzavřena a několik obcí bylo částečně nebo zcela zaplaveno. Bylo hlášeno šest úmrtí a hospodářské ztráty přesáhly 2 miliardy kanadských dolarů. Záplavy postihly také přilehlé oblasti na severozápadě USA. Seattle a Vancouver zažily nejdeštivější podzim v historii.

2.5 Sucho

Již druhý rok po sobě postihlo značné sucho velkou část subtropické Jižní Ameriky. Na většině území střední a jižní Brazílie, Paraguaye, Uruguaye a severní Argentiny byly srážky výrazně podprůměrné. Sucho vedlo ke značným zemědělským ztrátám, které ještě zhoršilo náhlé ochlazení na konci července, kdy maximální teplota vzduchu ve vyšších částech jižní Brazílie pět dní po sobě klesla pod 10 °C, a které přispělo ke škodám v pěstování kávy v mnoha brazilských oblastech. Nízké hladiny řek rovněž snížily produkci vodní energie a narušily říční dopravu. Brazilská vláda vyhlásila v povodí Paraná situaci kritického nedostatku vodních zdrojů, protože četné zásoby vody jsou na nejnižší úrovni za posledních 20 let nebo se této hranici blíží. Čtyřiařidvacetíměsíční standardizovaný srážkový index (SPI) v regionu dosáhl nejnižší úrovně od 60. let 20. století. Řeka Paraguay v Asunciónu klesla 6. října na rekordně nízkou úroveň 0,75 m pod referenční hladinu, což je o 0,21 m méně než předchozí minimum z roku 2020. V Chile, kde dlouhodobé sucho přetrvává již deset let, byl rok 2021 dalším suchým rokem, přičemž na většině míst byly srážky nejméně 30 % pod průměrem. Řada lokalit jižně od Santiaga měla v roce 2021 nejsušší rok v historii s úhrny 40 až 50 % pod normálem, včetně Concepción (559,2 mm), Valdivia (949,0 mm) a Puerto Montt (921,7 mm).

Rozsáhlé sucho v západní části Severní Ameriky, které se projevilo během roku 2020, se v roce 2021 rozšířilo a zesílilo. Do září zasáhlo extrémní až výjimečné sucho většinu území USA nad Skalístými horami a západně od nich, a to i přes mírné zmírnění od července v některých částech vnitrozemského jihozápadu v důsledku aktivního letního monzunu. Extrémní až výjimečné sucho se rozšířilo také na východ po obou stranách hranice USA s Kanadou a zasáhlo severní pohraniční státy až po Minnesotu a prérizní provincie Kanady. Dvacet měsíců od ledna 2020 do srpna 2021 bylo na jihozápadě USA nejsušších v historii, protože srážky byly o více než 10 % nižší než předchozí rekord. Předpokládaná produkce pšenice a řepky v Ka-

nadě v roce 2021 byla o 35 až 40 % nižší než v roce 2020. Ve Spojených státech klesla hladina přehrady Mead na řece Colorado v červenci 47 m pod úroveň plné zásoby, což je nejnižší zaznamenaná úroveň od plného zprovoznění nádrže. Sucho v Kalifornii zmírnilo vydatné deště na konci října a v prosinci (Sacramento mělo 24. října nejdeštivější den v historii se 138 mm), jen několik dní poté, co skončilo rekordní 211denní období bez měřitelných srážek, nicméně sucho pokračovalo i mimo západní pobřeží a na konci roku se rozšířilo dále na východ přes jih a střed USA.

V roce 2021 postihlo výrazné sucho také rozsáhlé oblasti jihozápadní Asie. V chladném období 2020/2021 spadlo v oblastech zahrnujících většinu Íránu, Afghánistánu, Pákistánu, jihovýchodního Turecka a Turkmenistánu výrazně podprůměrné množství srážek. V Pákistánu byl zaznamenán třetí nejsušší únor a páté nejsušší období leden–březen v historii. Sněhová pokrývka v horách byla rovněž výrazně podprůměrná, přičemž rozsah sněhové pokrývky v Íránu byl po většinu ledna a února přibližně poloviční oproti dlouhodobému průměru, což vedlo ke snížení průtoku v řekách závislých na tání sněhu a ke snížení dostupnosti vody pro zavlažování.

Po třech po sobě jdoucích podprůměrných obdobích dešťů se během roku 2021 v oblasti Velkého afrického rohu objevilo sucho, které postihlo zejména Somálsko, Keňu a některé části Etiopie. Období dešťů říjen–prosinec bylo obzvláště špatné, a to navzdory dešťům v Keni koncem sezóny.

Jižní část Madagaskaru nadále sužuje velké sucho, které trvá již nejméně dva roky. Srážky za 12 měsíců od července 2020 do června 2021 byly v regionu přibližně 50 % pod normálem. V oblasti se vyskytly značné problémy s potravinovou bezpečností a naléhavou pomoc potřebovalo v srpnu 2021 podle Světového potravinového programu 1,14 milionů obyvatel.

2.6 Tropické cyklony

Aktivita tropických cyklon byla v roce 2021 po celém světě téměř průměrná (1981–2010). Druhý rok po sobě byla velmi aktivní sezona v severním Atlantiku s 21 pojmenovanými bouřemi, což je výrazně nad průměrem z let 1981–2010, který činil 14 bouří. Aktivní sezona byla také na severu Indického oceánu, ale aktivita v západní a východní části severního Pacifiku byla blízko průměru nebo pod průměrem. Sezóna 2020/2021 na jižní polokouli v Tichém i Indickém oceánu byla také mírně podprůměrná.

Nejvýznamnějším hurikánem severoatlantické sezóny byla Ida. Ida vstoupila na pevninu v Louisianě (USA) jako systém 4. kategorie dne 29. srpna s průměrnou minutovou rychlostí větru 240 km/h, nejsilnější v historii státu. Způsobila velké škody větrem a přívalovou záplavou. Systém poté pokračoval severovýchodním směrem, kde působil další extrémní záplavy, zejména v oblasti New York City. New York, který již dva týdny předtím zažil záplavy způsobené hurikánem Henri, měl rekordní hodinovou srážku 80 mm, přičemž úhrny za 24 hodin v některých částech města přesáhly 200 mm. Před vznikem tropické cyklony Ida, způsobil tento systém také významné záplavy ve Venezuele. Celkem bylo Idě přímo připsáno 72 úmrtí. V USA a Venezuele jí bylo nepřímě připsáno 43 úmrtí a ekonomické ztráty v USA se odhadují na 75 miliard USD. Dalším významným hurikánem byla Grace, která zasáhla Veracruz (Mexiko) jako hurikán 3. kategorie, který předtím postihl Haiti (zejména záplavami, čímž komplikoval obnovu po zemětrese- ní), Dominikánskou republiku, Jamajku, Trinidad a Tobago.

Na jižní polokouli byl nejvýznamnějším cyklonem roku 2021 Seroja v dubnu. Seroja vznikla jižně od Indonésie a postupovala jihovýchodně k západní Austrálii. Vpadla na pevninu poblíž Kalbarri (Austrálie) dne 11. dubna jako cyklon 3. kategorie, nejsilnější cyklon tak daleko na jihu v západní Austrálii od roku 1956. Nejzávažnější škody způsobily záplavy a související sesuvy půdy, kdy ještě jako tropická porucha postihla Východní Timor a indonéský region východní Nusa Tenggara. V Kupangu (Timor) za čtyři dny od 2. do 5. dubna spadlo 700,4 mm srážek. Se Serojou bylo spojeno celkem 226 úmrtí, 181 v Indonésii, 44 ve Východním Timoru a jedno v Austrálii. V lednu Eloise přispěla k záplavám v jižní Africe, škody a oběti byly hlášeny v Mosambiku, Jihoafrické republice, Zimbabwe, Eswatini (dříve Svazijsko) a na Madagaskaru. V jižním Pacifiku způsobily Ana a Niran záplavy a výpadky elektřiny na Fidži a v Nové Kaledonii. Nejsilnější cyklon v sezóně severního Indického oceánu byl Tauktae, který postupoval severně západním pobřežím Indie s maximální třiminutovou průměrnou rychlostí větru 50–53 m·s⁻¹, než 17. května mírně pod maximální intenzitou zasáhl Gudžarát, což se zde rovná dosud nejsilnějšímu zaznamenanému vpádu. Nejméně 144 úmrtí bylo hlášeno v Indii a 4 v Pákistánu. Cyklon Gulab koncem září překročil východní pobřeží Indie z Bengálského zálivu; zbytkový systém prošel Indií, než znovu zesílil v Arabském moři, kde byl přejmenován na Shaheen. Shaheen udeřil na pevninu 3. října na severním pobřeží Ománu severozápadně od Maskatu, což byl první cyklón od roku 1890, který se dostal na pevninu v této oblasti. V Al Suwaiqu naměřili 294 mm srážek za 24 hodin, což je asi trojnásobek ročního průměru regionu. V Indii, Pákistánu, Ománu a Iránu bylo hlášeno celkem 39 úmrtí, většinou v důsledku záplav. Nejvýznamnější tropickou cyklonou sezony na západě severního Pacifiku byl tajfun Rai (Odette), který 16. prosince překročil centrální Filipíny, po rychlém zesílení před vpádem dosáhl téměř nejvyšší intenzity s minimálním tlakem vzduchu 915 hPa v centru. Znovu zesílil 18. prosince poté, co vstoupil do Jihočínského moře, než zeslábl a rozplynul se, aniž by dosáhl pevniny. Na Filipínách došlo k vážným škodám, bylo hlášeno nejméně 406 úmrtí, záplavy nastaly také ve Vietnamu. Došlo k několika dalším významným vpádům, zejména tajfunu Chanthu na ostrovy Batanes (Filipíny). Chanthu a In-fa v červenci způsobily záplavy a narušily lodní dopravu v okolí Šanghaje. V září způsobila Dianmu záplavy v Thajsku poté, kdy nejdříve zasáhla Vietnam.

2.7 Silné mimotropické bouře

Ve druhé polovině června a v červenci došlo v západní a střední Evropě k několika silným bouřím. Nejsilnější zaznamenané tornádo v Česku síly F4 zasáhlo 24. června několik obcí na jižní Moravě a způsobilo velké škody, bylo hlášeno šest mrtvých (<https://www.essl.org/cms/report-published-on-the-joint-damage-survey-of-the-tornado-in-southeast-czechia-on-24-june-2021/>). Tornádo byla během června hlášena také v Belgii, Francii a Polsku. Velké kroupy (6–8 cm v průměru) byly hlášeny v několika zemích, včetně Česka, Slovenska, Švýcarska a Německa. Jen v Česku se ztráty pohybovaly kolem 700 milionů USD. Ve Spojených státech bylo v roce 2021 předběžně hlášeno 1 376 tornád, což je nad průměrem let 1991–2010. Významné ohnisko zasáhlo jihovýchod dne 25. března, s nejvážnějšími dopady v Alabamě a západní Georgii. Bylo hlášeno šest úmrtí a ekonomické ztráty ve výši 1,8 miliardy USD. Během prosince 2021 bylo potvrzeno 193 zpráv o tornádech, což je přibližně osminásobek prosincového průměru z let

1991–2010 (24 hlášení). To byl dvojnásobek předešlého rekordu (97) z roku 2002. Dne 10. prosince došlo v několika jihovýchodních a centrálních státech USA k historickému výskytu tornáda, při němž zemřelo 93 lidí, a byly hlášeny ekonomické ztráty ve výši 3,9 miliardy USD. Jednalo se o nejsmrtelejší prosincové tornádo v USA, které překonalo tornádo ve Vicksburgu v Mississippi z 5. prosince 1953, které si vyžádalo 38 úmrtí. Kroupy v Texasu a Oklahomě ve dnech 27.–28. dubna způsobily ztráty ve výši 3,3 miliardy USD.

2.8 Přisuzování událostí změně klimatu (attribution)

Vyhodnocení jednotlivých extrémních událostí může často trvat několik měsíců. Stále častěji je však možné provádět vyhodnocení téměř v reálném čase, s využitím recenzovaných metod a k dosažení závěrů během pouhých několika dnů po proběhlé události. Takové „rychlé atribuční“ studie byly připraveny pro vlnu veder na západě Severní Ameriky v červnu a červenci, pro povodně v západní Evropě v červenci a pro záplavy v Britské Kolumbii v listopadu. Tyto studie označily výskyt vlny veder na západě Severní Ameriky v dnešním klimatu jako vzácné a bez klimatických změn by byl jejich výskyt prakticky nemožný.

Pokud jde o povodně v západní Evropě, rychlá atribuce vyhodnotila, že zjišťování trendů extrémních srážek v takto velkém měřítku bylo náročné, dalšími faktory bylo nasycení půdy a místní hydrologie. V širší oblasti západní Evropy nicméně byly zjištěny významné trendy extrémních srážek a studie dospěla k závěru, že v tomto širším regionu změna klimatu zapříčiněná lidmi zvýšila pravděpodobnost výskytu extrémních srážek srovnatelných s těmi, ke kterým došlo.

Tyto extrémní události zapadají do širšího kontextu probíhající změny klimatu. IPCC vyhodnotil, že extrémní teploty v oblastech západní a severozápadní Severní Ameriky vzrostly a že existuje minimálně střední jistota pravděpodobnosti, že lidstvo přispívá k tomuto nárůstu. Podobně IPCC vyhodnotil, že v regionu západní a střední Evropy přibývalo vydatných srážek, ale že v současné době existuje malá jistota v přisuzování této změny lidskému vlivu.

Literatura:

WMO, 2022. State of the Global Climate 2021. WMO –No. 1290, Geneva, Switzerland. ISBN 978-92-63-11290-3 [online]. Dostupné z WWW: https://library.wmo.int/doc_num.php?expl-num_id=11178.

Přeložili a upravili Stanislav Toman a Ilona Zusková, ČHMÚ, Na Šabatce 2050/17, 143 00 Praha 4 – Komořany, stanislav.toman@chmi.cz, ilona.zuskova@chmi.cz.

Odkazy na datové zdroje využívané při přípravě této Zprávy a části věnované meziroční variabilitě klimatu, rizikům a dopadům souvisejícím se změnou klimatu jsou uvedeny v překladu dostupném na stránkách časopisu Meteorologické zprávy v části „Přílohy / Appendices“.

Lektor (Reviewer):
RNDr. Radim Tolasz, Ph.D.

Vývoj českých meteorologických slovníků v mezinárodním kontextu

Evolution of Czech meteorological glossaries in the international context

Miloslav Müller

Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.
Boční II. 1401, 141 00 Praha 4;
Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy
Albertov 6, 128 43 Praha 2
✉ muller@ufa.cas.cz

Petr Zacharov

Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.
Boční II. 1401, 141 00 Praha 4

The development of Czech meteorological glossaries is closely related to the history of other glossaries. The now rediscovered list of about 500 Czech meteorological terms from 1931 was part of a multilingual dictionary of the French provenance. B. Hruďička, who published a comprehensive list of terms in 1941, was one of the few pioneers of meteorological lexicography at that time. The first serious attempt for a Czech glossary was related to the publication of the International Meteorological Vocabulary in 1966. Only a separate bio-climatological glossary was created, which was, however, quite a unique achievement at that time. The completion of a meteorological glossary was delayed until 1987. It was published only in the first half of the 1990s, when a number of glossaries were published also in other countries. After 2000, meteorological glossaries started to be published online. The Czech glossary was made available in this way in 2015, and four years later it reached a fully electronic form. Thanks to the extent of its content and functions, it can rightly be ranked among the world's top meteorological glossaries, but there is still room for improvement, which would certainly be assisted through possible international cooperation.

KLÍČOVÁ SLOVA: terminologie meteorologická – slovník meteorologický výkladový – slovník meteorologický překladový

KEYWORDS: meteorological terminology – meteorological glossary – meteorological dictionary

1. Úvod

Od roku 2015 slouží české odborné i laické veřejnosti Elektronický meteorologický slovník (ČMeS 2022), umístěný na webové stránce <http://slovník.cmes.cz> a spravovaný terminologickou skupinou České meteorologické společnosti (ČMeS). Navazuje na mnoho desetiletí práce českých i slovenských meteorologů na poli odborné terminologie. Tato činnost přitom probíhala na pozadí rozsáhlých terminologických aktivit

v zahraničí, kterými se zabývá přehledový článek Müllera et al. (2022), jehož přílohou je soupis několika desítek tištěných i elektronických slovníků z různých zemí, doplněný údaji o počtu jejich hesel, cizojazyčných ekvivalentů apod.

Následující článek zasazuje do mezinárodního kontextu vývoj českých meteorologických slovníků. Jejich historie začíná v meziválečném období. Donedávna panovalo v odborné komunitě přesvědčení, že prvním počinem v tomto směru byl heslář s názvem Meteorologické názvosloví, sestavený Hruďičkou (1941), jak uvádí např. Krška (2014). Při analýze zahraničních meteorologických slovníků se však ukázalo, že ještě starší seznam českých meteorologických termínů vznikl právě na základě podnětu ze zahraničí.

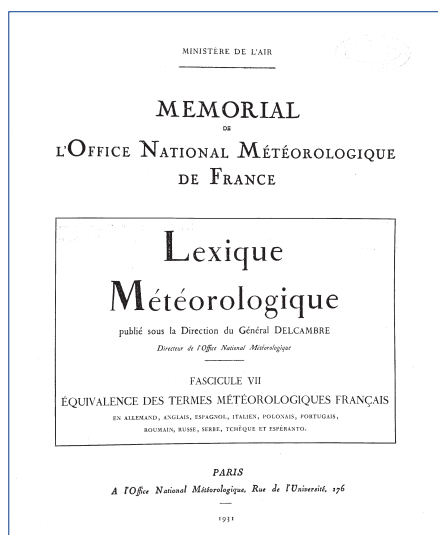
2. První soupisy českých meteorologických termínů

2.1 Znovuobjevený seznam českých termínů ve francouzském slovníku

První polovina 20. století byla obdobím vzniku prvních meteorologických slovníků v hlavních světových jazycích. Ve Velké Británii vydal Met Office svůj Meteorological Glossary (Shaw et al. 1916), který v prvním vydání obsahoval cca 300 termínů s explikacemi, často i několikastránkovými, doplněnými desítkami obrázků a tabulek. Druhé, podstatně přepracované vydání se objevilo v roce 1930, zpracovaných hesel bylo již 670. Navíc obsahovalo rejstřík ekvivalentů termínů z prvního vydání v devíti dalších jazycích, nikoli však v češtině; zastoupeny byly dánština, francouzština, holandština, italština, němčina, norština, portugalská, španělština a švédština.

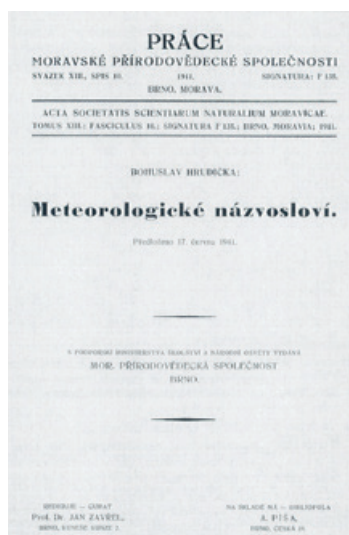
V téže době vznikl ve Francii podobně obsáhlý Lexique météorologique (Baldit et al. 1926–1931). V prvních šesti svazcích jeho autoři shromáždili 610 francouzských termínů s jejich vysvětlením. Sedmý svazek z roku 1931 obsahoval vybraných 466 termínů s jejich ekvivalenty v dalších jedenácti jazycích, z nichž jedním byla čeština; dalšími byly angličtina, italština, němčina, polština, portugalská, rumunština, ruština, srbská, španělština, a dokonce i esperanto (obr. 1). Ohledně autorství na české straně nemáme bližší informace; v předmluvě k 7. svazku slovníku se pouze uvádí, že ekvivalenty francouzských termínů poskytly příslušné zahraniční meteorologické služby. V případě českého překladu tedy vedou stopy do tehdejšího Československého státního ústavu meteorologického, kde R. Schneider a A. Gregor spolupracovali na meteorologických heslech Ottova slovníku naučného a Technického slovníku naučného (SÚM 1928) a na terminologické práci se podílel i G. Swoboda.

Uvedený přehled českých ekvivalentů francouzských termínů je nejstarším známým soupisem českých meteorologických ter-



Obr. 1 Titulní strana sedmého svazku francouzského meteorologického slovníku (Baldit et al. 1931), který obsahoval na 500 českých ekvivalentů francouzských meteorologických termínů.

Fig. 1. Cover page of the seventh volume of the French meteorological glossary (Baldit et al. 1931), which contained 500 Czech equivalents of French meteorological terms.



Obr. 2 Titulní strana prvního uceleného českého meteorologického hesláře sestaveného Hruďičkou (1941).

Fig. 2. Cover page of the first comprehensive list of Czech meteorological terms compiled by Hruďička (1941).

mínů. O jeho existenci věděl ještě v padesátých letech 20. století Vedral (1959), který francouzský slovník uvedl ve svém přehledu českých a slovenských lexikografických materiálů, pořízeném ovšem v USA. V domácí meteorologické komunitě povědomí o tomto soupise zřejmě postupně vymizelo. Obsahuje bezmála 500 českých termínů, které ovšem pochopitelně nebyly řazeny abecedně, jejich výběr byl omezen francouzským seznamem a v několika případech šlo zřejmě spíše o překlad francouzského termínu než o český termín. Většina termínů se používá dodnes, některé se poněkud změnily (např. *činné ústředí* na *akční centrum atmosféry*) a najdeme zde i zajímavé kuriozity (např. *průteplivost* místo *propustnost atmosféry*, *díl nasycení* jako synonymum pro *relativní vlhkost* nebo *mořská truba* či *pijavica* ve smyslu *vodní smršť*). Zajímavostí je, že místo termínu *oblak* je většinou použito slovo *mrak*, dnes vnímané jako neoborné.

Kromě anglického a francouzského seznamu termínů a jejich cizojazyčných ekvivalentů vznikly v meziválečném období ještě dvě obdobné práce v němčině, obě zařazené do příručky *Meteorologisches Taschenbuch*. Do druhého svazku vypracovali Kassner et al. (1933) seznam 620 německých termínů a přiřadili jim anglické a francouzské ekvivalenty. Již v následujícím svazku příručky se objevil šestijazyčný slovník Bergerona et al. (1938), v němž bylo 2 251 německých termínů doplněno termíny v angličtině, francouzštině, italštině, ruštině a španělštině.

2.2 Soupis pořízený Bohuslavem Hruďičkou

Meteorologické názvosloví Hruďičky (1941) vzniklo v počátcích 2. světové války (obr. 2). Autor v něm na 16 stranách shromáždil cca 1 100 termínů z oborů meteorologie a klimatologie, u několika desítek z nich uvádí v závorce i německý a anglický ekvivalent. Oproti seznamu ve francouzském slovníku je Hruďičkův heslář uceleným dílem; hesla jsou řazena abecedně, z dnešního pohledu nezvyklý je ovšem přímý pořádek slov u víceslovných termínů

(např. *horský vítr*), není však dodržován důsledně. I v tomto seznamu termínů najdeme pozoruhodné archaizmy (např. *čára úžlabí* ve smyslu *osa brázdy nízkého tlaku vzduchu* nebo *vzdušina* místo dnes používané *vzduchové hmoty*). Slova *mrak* i *oblak* používá autor jako synonyma, prvním z nich však dává přednost.

Vzhledem k charakteru Hruďičkovy publikace se nabízí srovnání s počinem amerického meteorologa C. F. Talmana, který se věnoval shromažďování meteorologických termínů i obecně pojmut používaných pro počasí. Během téměř třiceti let jich sesbíral více než 15 000, ovšem tiskem byl vydán pouze malý zlomek, než Talman v roce 1936 spáchal sebevraždu (Müller et al. 2022). Určitou podobnost můžeme najít i s prací katalánského meteorologa E. Fontserèho, který v podobně obtížné politické situaci svého národa dokázal vytvořit slovník 870 meteorologických termínů v katalánštině se stručnými definicemi a ekvivalenty v angličtině a francouzštině. Dokončil ho ve stejném roce jako Hruďička svůj heslář, vydal ho však mohl až o sedm let později (Fontserè 1948). Ve stejném roce vyšel i první španělsky psaný meteorologický slovník (Osorio 1948), jehož název napovídá, že autor počítal s jeho pozdějším rozpracováním.

Také Hruďička chtěl v práci na poli meteorologické terminologie dále pokračovat, což zmínil v průvodním slově ke svému hesláři. Jako pravděpodobná se jeví hypotéza, že jeho záměrem bylo heslář převést do podoby výkladového slovníku. K tomu však již nedošlo, neboť autora čtyři měsíce po předložení rukopisu do tisku zatkl gestapo a zemřel v koncentračním táboře Mauthausen (Krška, Šamaj 2001).

Lze konstatovat, že v meziválečném období byla česká meteorologická terminologie na srovnatelné úrovni s dalšími evropskými jazyky. Hruďičkovo Meteorologické názvosloví představovalo solidní základ pro další lexikografickou práci, avšak jeho násilnou smrtí byl slibný vývoj přerušeno.

3. Dlouhá cesta k českému výkladovému meteorologickému slovníku

3.1 Stagnace české terminologie oproti zahraničí v období 1945–1966

V období po skončení druhé světové války nebyla terminologická problematika v Československu rozvíjena. Novým impulzem bylo až založení Československé meteorologické společnosti (ČSMS) v roce 1958 a ustavení její odborné skupiny pro českou a slovenskou terminologii pod vedením A. Gregora v následujícím roce. Až do poloviny 60. let se však její činnost omezila na příspěvky do vznikajících naučných slovníků jiných oborů; aktivitu dále vyvíjela skupina odborníků zaměřujících se na bioklimatologii, viz kap. 3.2.

V mezinárodním kontextu jsou dvě první poválečná desetiletí napak obdobím rozmachu terminologických prací. V USA převzal po C. F. Talmanovi štafetu meteorologické terminologie A. H. Thiessen, který svůj slovník vydal rok po skončení 2. světové války (Thiessen 1946). Již v roce 1952 Americká meteorologická společnost

(AMS) iniciovala práce na novém americkém slovníku (Huschke 1959), v němž 41 přispěvatelů během sedmi let práce shromáždilo 7 247 odborných termínů s výkladem nebo odkazy. Mezitím vznikly rozsáhlé meteorologické výkladové slovníky také v němčině (Keil 1950; Schindler 1953), ruštině (Chromov, Mamontova 1955), španělštině (Hernández, Wittenberger de Apai 1953) a japonštině. Třetího vydání se dočkal britský slovník, který důkladně přepracoval McIntosh (1963), vícejazyčný rejstřík byl však z tohoto i dalších vydání vypuštěn. Z méně frekventovaných jazyků se svého meteorologického slovníku dočkala např. rumunština (Țaștea et al. 1965) s ekvivalenty termínů v pěti dalších jazycích.

Kromě meteorologických slovníků v jednotlivých zemích probíhala v padesátých letech 20. století i mezinárodní terminologická iniciativa na poli Světové meteorologické organizace (WMO). Jejím cílem bylo vytvořit dvě publikace, totiž International Meteorological Vocabulary a Multilingual Meteorological Nomenclature. Druhá z plánovaných publikací by bývala zřejmě zahrnovala i českou terminologii, nikdy však bohužel nevznikla. Podařilo se sestavit pouze slovník (WMO 1966), který obsahoval cca 2 200 hesel; termíny byly uvedeny v angličtině, francouzštině, ruštině a španělštině, jejich vysvětlení pak v angličtině a francouzštině. Pozoruhodné bylo uspořádání tohoto slovníku, neboť hesla nebyla řazena abecedně, nýbrž tematicky podle Mezinárodního desetinného třídění; k vyhledávání termínů sloužily rejstříky v jednotlivých jazycích.

3.2 Bioklimatologický slovník terminologický a explikativní

Od poloviny šedesátých let 20. století se konečně rozběhly práce na české odborné terminologii. Vzhledem k oddělení Československé bioklimatologické společnosti (ČSBkS) od ČSMS v roce 1965 došlo i k osamostatnění skupiny, která se již od roku 1963 zabývala bioklimatologickou terminologií; označovala se jako slovníková komise. V této době měla 19 členů, zastupujících dílčí disciplíny bioklimatologie. Pod vedením V. Krečmera vytvořila nejprve předběžnou verzi bioklimatologického slovníku (ČSBkS 1970), která vyšla ve strojopisné formě. Jejím hlavním redaktorem byl E. Veselý. Slovník obsahoval cca 1 700 hesel, z nichž se však vzhledem k povaze bioklimatologie jakožto hraniční vědní disciplíny pouze část, jakkoliv větší, týkala atmosféry.

Finální verze bioklimatologického slovníku byla publikována o deset roků později (Krečmer 1980). Autorský kolektiv se rozrostl na 56 členů, z nichž pouze třetina byla členy slovníkové skupiny. Oproti předběžné verzi se počet hesel zvětšil o polovinu na 2 252. Krška a Munzar (1980) zmínili některé drobné nedostatky slovníku, celkově ho však zhodnotili jako velmi zdařilý. Ze závěru jejich recenze je zřejmé, že bioklimatologický slovník posloužil jako inspirační zdroj tvůrcům pozdějšího meteorologického slovníku.

Z hlediska mezinárodního srovnání český bioklimatologický slovník výrazně předběhl svou dobu. Mezinárodní čistě biometeorologický slovník byl totiž vydán až v roce 2014, a to pouze ve formě časopiseckého článku obsahujícího 171 odborných termínů a jejich vysvětlení (Gosling et al. 2014).

3.3 Meteorologický slovník výkladový a terminologický

V druhé polovině šedesátých let 20. století byly zahájeny i práce na meteorologickém výkladovém slovníku. Informace o je-

jich průběhu můžeme čerpat např. z předmluvy slovníku posléze vydaného Sobiškem et al. (1993) a z článku Kršky (2014).

Proces vzniku meteorologického slovníku trval více než dvě desetiletí a lze ho rozdělit do dvou hlavních etap. První je spjata s Vojenskou akademií Antonína Zápotockého v Brně, kam se těžiště aktivit terminologické skupiny ČSMS přesunulo v roce 1966. Práce na slovníku tam probíhaly pod vedením plk. Václava Čejky až do roku 1971. Podoba cca 1600 tehdy zpracovaných hesel se do značné míry opírala o definice v tehdy právě vydaném mezinárodním slovníku (WMO 1966), viz kap. 3.1. I když svá hesla dodalo na 20 autorů, některé tematické oblasti zůstaly nezpracovány a v průběhu 70. let aktivita terminologické skupiny jako celku opadla.

Novým impulzem byla až iniciativa K. Kršky a J. Munzara, kteří spolu s B. Sobiškem práce na meteorologickém slovníku v r. 1979 obnovili. Terminologická skupina nejprve podstatně rozšířila soubor odborných termínů, k nimž byly poté vypracovány explikace. Autorský kolektiv se postupně rozšířil na 37 členů a počet hesel stoupl na 4 111, z nichž 3 222 je výkladových. Termíny byly rovněž opatřeny cizojazyčnými ekvivalenty, a to kromě slovenštiny také v angličtině, francouzštině, němčině a ruštině, takže v době svého dokončení v roce 1987 se dílo označovalo jako Šestijazyčný meteorologický slovník terminologický a explikativní. Protože hledání vydavatele slovníku trvalo několik let, vyšla nakonec dřív populárně orientovaná encyklopedie sestavená jedním z hlavních autorů slovníku (Munzar et al. 1989). V přibližně 200 obsáhlejších heslech, místy doplněných obrázky, autoři rozvedli některá hesla budoucího slovníku a přidali např. i 39 biografických medailonů českých i zahraničních meteorologů. K. Krška, další z hlavních autorů slovníku, dále připravil normu Názvoslovie meteorologie, která však nikdy nevstoupila v platnost (Krška 2014).

Úsilí o český meteorologický slovník bylo nakonec završeno až po rozdělení Československa, kdy slovník konečně vyšel v knižní podobě (Sobišek et al. 1993). Publikace slovníku byla kvitována s povděkem, nelze se však divit, že některá jeho hesla působila již v době vydání poněkud archaicky (Škoda 1993). Slovník sice vyšel pouze česky, je však vhodné připomenout, že vznikl spoluprací českých i slovenských meteorologů (Tomlain 1993). Důležitým slovenským autorem byl M. Nedelka, který do meteorologického slovníku zpracoval hesla z oblasti letecké meteorologie, která později využil i ve svém slovníku letecké terminologie (Nedelka 1998).

V mezinárodním kontextu spadá vydání českého slovníku do zřejmě poslední větší vlny vydávání tištěných meteorologických slovníků. V podobné době vznikl např. nový německý slovník (Schirmer et al. 1987) nebo stručný polský slovník (Il'ko 1992); obsáhlejší polský slovník publikoval teprve Niedźwiedz (2003). V roce 1991 vyšlo šesté, dosud poslední vydání britského slovníku (Lewis 1991), o rok později pak druhé, podstatně přepracované vydání mezinárodního slovníku (WMO 1992) s cca 3 500 termíny ve čtyřech jazycích.

Při porovnání s uvedenými i dalšími slovníky z této doby lze konstatovat, že vydáním obsáhlého tištěného slovníku se čeština zařadila mezi jazyky s nejlépe zpracovanou meteorologickou terminologií vůbec. Z hlediska šíře autorského kolektivu český slovník mezi ostatními evropskými nápadně vybočoval a připomínal spíše slovník AMS. Ten vyšel znovu v roce 2000 (Glickman 2000), obsahoval přibližně 12 tisíc hesel, a kromě tištěné podoby byl dostupný i na CD-ROM, čímž předznamenal období, v němž se meteorologické slovníky z velké části přeusouvají do prostředí internetu.

4. Elektronický meteorologický slovník v mezinárodním kontextu

4.1 Mezinárodní a zahraniční elektronické meteorologické slovníky

Přestože by všeobecné rozšíření internetu mohlo vést k zesílení mezinárodní spolupráce i v oblasti meteorologické terminologie, skutečnost prozatím nedosahuje očekávání. WMO sice online zpřístupnila svou terminologickou databázi METEOTERM (WMO 2022), ta se však jeví jako silně zastaralá. Jejím základem je druhé vydání mezinárodního slovníku WMO (1992), u některých termínů přibýly ekvivalenty a definice v arabštině a čínštině. Kromě toho obsahuje další anglické a francouzské termíny shromážděné Proulxem (1971), avšak bez vysvětlení. Mnohé běžně užívané termíny zde chybí, např. *derecho*. V roce 2020 byla databáze METEOTERM převedena pod jednotnou terminologickou databázi UNTERM (UN 2022), po obsahové stránce však ke znatelnějšímu pokroku nedošlo. Terminologická iniciativa je tak v rukou meteorologických komunit jednotlivých států, případně národů.

Vzhledem k pozici angličtiny jakožto jazyka dnešní vědy je pro mezinárodní spolupráci rozhodující situace v anglicky mluvících zemích. Zde dominuje online verze amerického Glossary of Meteorology (AMS 2022), veřejně dostupná od roku 2012. Drtivá většina z více než 12 tisíc hesel pochází z jeho tištěné verze. Slovník umožňuje vyhledávání jednotlivých termínů i full-textové vyhledávání v explikacích hesel, která jsou mezi sebou propojena interaktivními odkazy. Přehled termínů začínajících určitým písmenem není na první pohled k dispozici, lze ho však snadno získat po zobrazení libovolného hesla od daného písmene výběrem kategorie (tedy pro seznam hesel od A stačí vyhledat např. *adiabat* a zaškrtnout *Category: Terms A*). Do slovníku je možné navrhovat nová hesla nebo úpravy stávajících, což následně projedná hlavní editor slovníku s příslušnými odborníky.

Obdobné, jen méně rozsáhlé meteorologické slovníky existují také v dalších široce používaných evropských jazycích; vydavateli jsou národní meteorologické služby. Název německého slovníku (DWD 2022) byl v roce 2021 rozšířen z Wetterlexikon [Slovník počasí] na Wetter- und Klimalexikon [Slovník počasí a klimatu]; v současné době jsou do něj doplňována především hesla z oboru klimatologie, k heslům jsou dále připojeny odkazy na produkty německé povětrnostní služby. Francouzský slovník (Météo France 2022) je pozoruhodný rozdělením explikací do až tří úrovní z hlediska odbornosti, určených různým uživatelům slovníku. Ve španělštině existují online minimálně tři meteorologické slovníky, z nichž slovník AEMet (2022) je zajímavý bohatým obrázkovým doprovodem všech hesel. Ruský slovník (Rosgidromet 2022) vyšel nejprve tiskem ve třech svazcích v letech 2008 a 2009, nyní je přístupný online na stránkách ruské hydrometeorologické služby.

Společným znakem výše uvedených národních meteorologických slovníků je absence cizojazyčných ekvivalentů, které je nutné vyhledávat v překladových slovníčích. Jinak je tomu ve slovníčích méně početných národů, jako např. v katalánském slovníku (TERMCAT 2022), kde najdeme ekvivalenty ve španělštině, angličtině a francouzštině. Slovník je elektronickou verzí staršího tištěného slovníku (Sánchez, Rivera 1992), navíc však umožňuje tematické třídění hesel do 35 skupin. Např. polština žádný elektronický meteorologický slovník nemá, stejně jako rumunština, v níž vyšlo nedávno pouze druhé, podstat-

ně rozšířené vydání tištěného slovníku (Runcanu et al. 2014) s ekvivalenty v angličtině, francouzštině, němčině, maďarštině, ruštině a španělštině. Je pozoruhodné, že v Rumunsku byl téměř současně publikován i další meteorologický slovník (Florescu et al. 2015), orientovaný spíše lingvisticky, který obsahuje mj. vysvětlení etymologie lidově používaných i odborných termínů týkajících se počasí.

4.2 Český Elektronický meteorologický slovník

Prudký rozvoj meteorologické terminologie, který byl v Česku ještě zesílen politickými změnami po roce 1989, vedl k rychlému zastarávání tištěného meteorologického slovníku. Česká meteorologická společnost na to reagovala v roce 2010 obnovou své terminologické skupiny pod vedením D. Řezáčové. Skupina převzala od editora původního slovníku B. Sobíška elektronickou verzi textu a pustila se do přípravy jejího zprovoznění pro účely publikace online a do revize slovníkových hesel. Opravami prošly i cizojazyčné rejstříky. Počátkem roku 2015 byl elektronický slovník zveřejněn na internetu (ČMeS 2022), a to především zásluhou P. Zacharova, který se i nadále stará o technické zajištění slovníku ve spolupráci s programátorem P. Slavíčkem. V této době měl slovník prozatím formu souvislého textu, v němž byly odkazy mezi hesly vyznačeny kurzívou, a bylo nutné je vyhledávat ručně.

V průběhu roku 2018, kdy vedení terminologické skupiny převzal M. Müller, došlo k plné elektronizaci slovníku jeho převedením na databázový systém. Každý odborný termín má nyní unikátní kód, pomocí něhož jsou vytvořeny interaktivní odkazy na další hesla; systém rovněž umožňuje tzv. full-textové vyhledávání. Od roku 2019 tak má česká meteorologická komunita i široká veřejnost k dispozici elektronický slovník, který je úrovní srovnatelný s meteorologickými slovníky podstatně rozšířenějších jazyků. Na rozdíl od nich má i funkci překladovou, protože hesla obsahují ekvivalenty v pěti dalších jazycích. Od roku 2021 je navíc možné vyhledávat hesla k určitému tématu pomocí tematického třídění do téměř 300 skupin, tvořících až šestistupňovou hierarchickou strukturu.

Nezastavily se ani práce na náplni slovníku. Terminologická skupina se schází přibližně čtyřikrát ročně a projednává další úpravy hesel, aby reflektovala současný stav poznání. Tematické třídění navíc umožňuje nacházet mezi termíny vzájemné vztahy, které postupně přenášíme do příslušných hesel formou vzájemných odkazů. Vzhledem k objemu slovníku je tento proces pozvolný a kvůli neustálému vývoji poznání zřejmě nikdy neskončí. Přibývají také nové termíny, které buď dosud ve slovníku chyběly, nebo se v meteorologické terminologii prosadily v posledních letech. Diskuzi je přitom často třeba vést i o podobě českého termínu; úlohou terminologické skupiny není zavádění novotvarů, nýbrž zachycení aktuální podoby odborného jazyka, a to i v případě převzetí termínu anglického. V některých případech nicméně předkládáme návrhy počestění takových termínů.

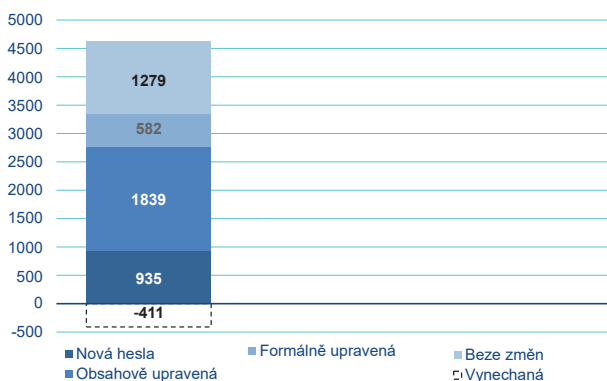
Na začátku roku 2022 celkový počet hesel přesahuje 4600, z nich téměř 80 % je výkladových. Nových hesel je přes 900 (20 % celkového počtu), jakkoliv nárůst počtu oproti tištěnému slovníku je jen o více než 500 hesel, neboť cca 400 původních hesel bylo vypuštěno (obr. 3). Z hesel ponechaných z původního slovníku byla přibližně polovina obsahově upravena. Hlavně přičiňním B. Kocánové z Filosofického ústavu AV ČR byly navíc jednoslovné termíny doplněny vysvětlením jejich etymologie a případně i poznámkou o historickém původu termínů, což uživateli umožňuje významu daného termínu hlouběji porozumět.

Přechod na databázový systém a následná propagace mezi potenciálními uživateli vedla k výraznému nárůstu jejich počtu (obr. 4). Ještě počátkem roku 2019 bylo detekováno cca 100 unikátních denních přístupů týdně, z čehož je zřejmé, že počet uživatelů slovníku byl v řádu desítek. Od konce téhož roku týdenní počty téměř neklesají pod 500 a v roce 2021 již v průměru atakovaly hodnotu tisíc. Okruh uživatelů slovníku tedy stoupl na několik set osob, z nichž zřejmě nemalou část tvoří studenti přírodovědných oborů, jak naznačuje kolísání počtu přístupů v souvislosti s průběhem akademického roku. Pro intuitivní vyhledání slovníku zakoupila ČMeS domény www.meteorologickyslovník.cz a www.meteorologicky-slovník.cz, odkud je návštěvník přesměrován na hlavní stránku slovníku <http://slovník.cmes.cz>. Pro případ výpadku existuje i záložní verze na stránce <http://slovník.ufa.cas.cz>.

5. Závěr

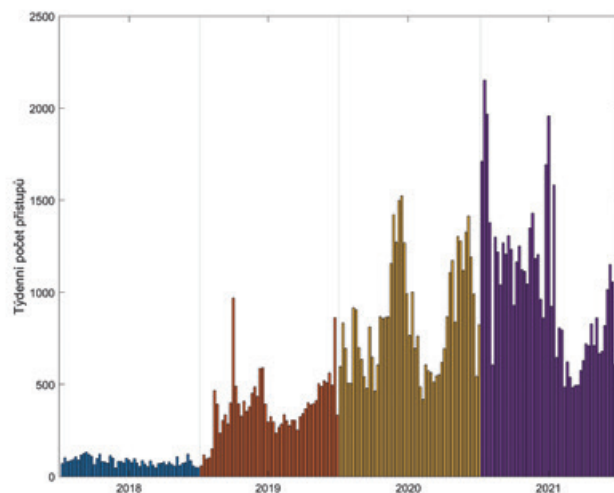
Znovunalezený soubor českých ekvivalentů ve francouzském meteorologickém slovníku z r. 1931 dokládá existenci ucelené české meteorologické terminologie již v meziválečném období. Nezbyvá než litovat násilné smrti B. Hrudíčky, která rozvoj české meteorologické terminologie na více než dvě desetiletí zabzdila. Ustavením terminologické skupiny v rámci nově založené Československé meteorologické společnosti v r. 1959 sice svítila naděje na pokrok v této oblasti, práce na projektu meteorologického slovníku se však naplno rozběhly až v druhé polovině šedesátých let 20. století, kdy však vznikl pouze samostatný bioklimatologický slovník. Na půdě meteorologie se tím prohloubila propast mezi českou a mezinárodní terminologií, neboť v téže době vznikla v zahraničí rozsáhlá lexikografická díla včetně mezinárodního slovníku WMO. Kýženeho stavu bylo dosaženo teprve opožděným vydáním Meteorologického slovníku výkladového a terminologického (Sobišek a kol. 1993), který nicméně snese srovnání s nejobsáhlejšími zahraničními slovníky z devadesátých let 20. století.

V novém tisíciletí se většina meteorologických slovníků elektronizuje, což umožňuje jejich kontinuální doplňování a nabízí řadu přidavných funkcí. Z tohoto důvodu vznikl i český Elektronický meteorologický slovník, který na tištěný slovník navazuje. Kromě více než 4 600 navzájem propojených hesel obsahuje ekvivalenty českých termínů v pěti jazycích, meteo-



Obr. 3 Počty hesel Elektronického meteorologického slovníku (ČMeS 2022) k 1. 4. 2022, rozdělených podle míry úprav oproti tištěnému slovníku Sobiška et al. (1993).

Fig. 3. Number of entries in the Electronic Meteorological Glossary (ČMeS 2022) as of 1 April 2022; the entries are listed according to the degree of modification compared to the printed glossary by Sobišek et al. (1993).



Obr. 4 Návštěvnost Elektronického meteorologického slovníku (ČMeS 2022) v období 2018–2021. Znáznorněn je počet unikátních denních přístupů za jednotlivé týdny.

Fig. 4. Frequency of accesses to the Electronic Meteorological Glossary (ČMeS 2022) in the period 2018–2021. The number of unique daily accesses per individual weeks is shown.

rologická i etymologická vysvětlení termínů a možnost tematického vyhledávání. Všechny tyto funkce a obsahy najdeme i u některých zahraničních slovníků, nicméně v žádném z nich nejsou pohromadě v takové šíři.

Věříme, že Elektronický meteorologický slovník se bude rozvíjet i nadále. Podrobné tematické třídění umožňuje nacházet další vztahy mezi příbuznými hesly, avšak k plné integritě slovníku zbývá ujit ještě dlouhý kus cesty. V některých oblastech se dosud nepodařila dostatečná aktualizace slovníku, což platí především pro klimatologii a agrometeorologii. Pro další rozvoj slovníku je dále možné hledat inspiraci v zahraničí. V úvahu připadá např. rozlišení úrovní explikací pro různé skupiny uživatelů podle vzoru francouzského slovníku, nebo doplnění obrazové dokumentace, jakou disponuje španělský slovník. Problematické jsou dále některé cizojazyčné ekvivalenty, které mohou být přes všechnu snahu spíše překladem českého termínu než skutečně používaným termínem. Velkou výzvou je tak zahraniční spolupráce především na poli vzájemného propojení sobě odpovídajících ekvivalentů do jednotné mnohojazyčné databáze, která by reflektovala i případné posuny ve významu ekvivalentů v jednotlivých jazycích. Na tomto poli by byla žádoucí aktivita WMO, bude však zřejmě lépe pokusit se o propojení terminologických skupin v jednotlivých zemích. Neméně důležitou výzvou je zapojení české meteorologické komunity do procesu tvorby nových termínů a jejich aktivního používání.

Nezbývá než na závěr zopakovat, že Elektronický meteorologický slovník naleznete na adrese <http://slovník.cmes.cz>. Přejeme Vám hodně úspěšně nalezených výkladů a překladů a budeme vděční za případnou zpětnou vazbu adresovanou na emailovou adresu slovník@cmes.cz.

Poděkování:

Článek vznikl v rámci projektu Grantové agentury České republiky 19-03834S Historický vývoj meteorologických teorií a terminologie v českých zemích. Poděkování dále patří oběma recenzentům za cenné připomínky a knihovnici Ústavu fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i. Kateřině Adamovičové za spolupráci při zjišťování údajů o zahraničních meteorologických slovnících.

Literatura:

- AEMet, 2022. MeteoGlosario Visual [online]. Agencia Estatal de Meteorología [cit. 2022-04-03]. Dostupné z WWW: <https://meteoglosario.aemet.es/>.
- AMS, 2022. Glossary of Meteorology [online]. American Meteorological Society [cit. 2022-04-03]. Dostupné z WWW: <http://glossary.ametsoc.org>.
- BALDIT, A. et al., 1926–1931. Lexique météorologique. Paris: Office national météorologique de France, 459 + 36 s.
- BERGERON, T., BROOKS, C. E. P., MÖRIKOFER, W., LINCKE, G., KNOCHE, W., ROMANOVSKAJA, V., 1938. Sechssprachisches meteorologisches Wörterbuch. In: Linke, F. (ed.): *Meteorologisches Taschenbuch*, Vol. 3. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 268 s.
- ČMeS, 2022. Elektronický meteorologický slovník [online]. Česká meteorologická společnost [cit. 2022-04-03]. Dostupné z WWW: <http://slovník.cmes.cz>.
- ČSBkS, 1970. Bioklimatologický slovník (terminologický a explikativní). Praha: Československá bioklimatologická společnost při ČSAV, 265 s.
- DWD, 2022. Wetter- und Klimalexikon [online]. Deutscher Wetterdienst [cit. 2022-04-03]. Dostupné z WWW: www.wetterlexikon.eu.
- FLORESCU, C., MANEA, L., TAMBA, E., PRICOP, A., CĂRĂBUȘ, C., APOSTOL, L., OLARIU, F., PATRAȘCU, M. I., 2015. Dicționarul fenomenelor atmosferice. In: *Terminologia meteorologică românească a fenomenelor atmosferice (științific versus popular)*. Iași: Editura Universității „Alexandru Ioan Cuza”, 711 s.
- FONTSERÈ, E., 1948. Assaig d'un vocabulari meteorologic català. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, 82 s.
- GLICKMAN, T. S. (ed.), 2000. Glossary of meteorology. 2nd edition. Boston: American Meteorological Society, 855 s.
- GOSLING, S. N., BRYCE, E. K., DYXON, P. G., GABRIEL, K. M. A., GOSLING, E. Y. et al., 2014. A glossary for biometeorology. *International Journal of Biometeorology*, Vol. 58, s. 277–308.
- HUSCHKE, R. E. (ed.), 1959. Glossary of meteorology. 1st edition. Boston: American Meteorological Society, 638 s.
- HERNÁNDEZ, H., WITTENBERGER DE APAI, R., 1953. Diccionario de meteorología. Montevideo: Casa del Estudiante, 328 s.
- HRUDIČKA, B., 1941. Meteorologické názvosloví. Práce Moravské přírodovědecké společnosti, sv. XIII, spis 10, 17 s.
- CHROMOV, S. P., MAMONTOVA, L. I., 1955. Meteorologičeskij slovar. Leningrad: Gidrometeoizdat, 455 s.
- IL'KO, J., 1992. Minileksykon – meteorologia. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 193 s.
- KASSNER, C., TALMAN, C. F., WEHRLÉ, P., 1933. Meteorologisches Wörterbuch. In: Linke, F. (ed.): *Meteorologisches Taschenbuch*. Vol. 2, Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 336 s.
- KEIL, K., 1950. Handwörterbuch der Meteorologie. Frankfurt am Main: Verlag Fritz Knapp, 604 s.
- KREČMER, V. (ed.) et al., 1980. Bioklimatologický slovník terminologický a explikativní. Praha: Academia, 242 s.
- KRŠKA, K., 2014. K vývoji českého meteorologického názvosloví. *Meteorologické zprávy*, roč. 67, č. 1, s. 27–30. ISSN 0026-1173.
- KRŠKA, K., MUNZAR, J., 1980. Recenze: Bioklimatologický slovník terminologický a explikativní. *Meteorologické zprávy*, roč. 33, č. 6, s. 189–190. ISSN 0026-1173.
- KRŠKA, K., ŠAMAJ, F., 2001. Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku. Praha: Karolinum, 565 s. ISBN 80-7184-951-0.
- LEWIS, R. P. W., 1991. Meteorological Glossary. 6th edition. London: Meteorological Office, 335 s.
- McINTOSH, D. H., 1963. Meteorological Glossary. 3rd edition. London: Meteorological Office, 288 s.
- Météo France, 2022. Glossaire [online]. Météo France [cit. 2022-04-03]. Dostupné z WWW: <http://files.meteofrance.com/files/glossaire/FR/glossaire/>.
- MÜLLER, M., KOCÁNOVÁ, B., ZACHAROV, P., 2022. Meteorological glossaries and dictionaries: A review of their history and current state. *Bulletin of the American Meteorological Society*. Vol. 103, s. E157–E180. ISSN 0003-0007.
- MUNZAR, J., KRŠKA, K., NEDELKA, M., PEJML, K., 1989. Malý průvodce meteorologií. Praha: Mladá fronta, 247 s.
- NEDELKA, M. a kol., 1998. Slovenský letecký slovník terminologický a výkladový. Bratislava: Magnet-Press Slovakia, 494 s. ISBN 80-968073-0-7.
- NIEDŹWIEDŹ, T. (ed.), 2003. Słownik meteorologiczny. Warszawa: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, 495 s.
- OSORIO, L. H., 1948. Iniciación a un diccionario meteorológico. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Ganadería, 50 s.
- PROULX, G. J., 1971. Standard Dictionary of Meteorological Sciences, English-French, French-English. Montréal: McGill-Queen's University Press, 307 s.
- Rosgidromet, 2022. Rosijskij gidrometeorologičeskij enciklopedičeskij slovar [online]. Federalnaja služba po gidrometeorologii i monitoringu okružajuščej sredy [cit. 2022-04-03]. Dostupné z WWW: http://meteovlab.meteorf.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=329&Itemid=133&lang=ru.
- RUNCANU, T., BACINSCHI, D., PESCARU, V. I., MAKKAI, G., TĂNCZER, T., 2014. Dicționar meteorologic. 2-a editie. București: Societatea Meteorologică Române, 1525 s.
- SÁNCHEZ, J. J., RIVERA, J. J., 1992. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 55 s.
- SHAW, W. N. (ed.), 1916. Meteorological Glossary. 1st edition. London: Meteorological Office.
- SCHINDLER, G., 1953. Meteorologisches Wörterbuch. Wels: Leitner, 131 s.
- SCHIRMER, H., BUSCHNER, W., CAPPEL, A., MATTHÄUS, H. G., SCHLEGEL, M., 1987. Meyers kleines Lexikon Meteorologie. Mannheim: Meyers Lexikonverlag, 496 s.
- SOBÍŠEK, B. et al., 1993. Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Praha: Academia a Ministerstvo životního prostředí České republiky, 594 s. ISBN 80-85368-45-5.
- SÚM, 1928. Státní ústav meteorologický v prvním desetiletí republiky 1918-1928. Praha: Státní ústav meteorologický, 91 s.
- ŠKODA, M., 1993. Recenze: Meteorologický slovník výkladový a terminologický. *Meteorologické zprávy*, roč. 46, č. 4, s. 105 a 110. ISSN 0026-1173.
- ȚĂȘTEA, D., BACINSCHI, D., NOR, R., 1965. Dicționar meteorologic. București: Institutul Meteorologic, 319 s.
- TERMCAT, 2022. Diccionari de meteorologia [online]. Centre de terminologia de la llengua catalana [cit. 2022-04-03]. Dostupné z WWW: <https://www.termcat.cat/en/diccionaris-en-linia/249>.
- THIESSEN, A. H., 1946. Weather Glossary. Washington DC: U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, 299 s.
- TOMLAIN, J., 1993. Recenze: Meteorologický slovník výkladový a terminologický. *Meteorologické zprávy*, roč. 46, s. 156. ISSN 0026-1173.
- UN, 2022. UNTERM [online]. United Nations [cit. 2022-04-03]. Dostupné z WWW: <https://unterm.un.org/>.
- VEDRAL, D., 1959. Czech and Slovak Lexicographic Materials and Dictionaries. Washington: U. S. Department of the Army, 80 s.
- WMO, 1966. International Meteorological Vocabulary. 1st edition. Geneva: World Meteorological Organization, XVI + 276 s.
- WMO, 1992. International Meteorological Vocabulary. 2nd edition. Geneva: World Meteorological Organization, 784 s.
- WMO, 2022. METEOTERM [online]. World Meteorological Organization [cit. 2022-04-03]. Dostupné z WWW: <https://public.wmo.int/en/resources/meteoterm>.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Karel Krška, CSc., prof. RNDr. Jan Bednář, CSc.

Možnosti tvorby operativních map $PM_{2,5}$ s využitím modelu CAMx

Possibilities of creation of near real-time $PM_{2,5}$ maps using the CAMx model

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 plans to publish near real-time maps of $PM_{2,5}$ concentrations on its website. In this article we propose the way of creating those maps in a situation when there is not a sufficient number of measurement stations and, moreover, they are unequally spatially distributed. The methodology doesn't differ from the usually applied approach for other types of pollutants – it involves a two-step method composed of a linear regression model, followed by interpolation of its residuals. To make the measurement stations network denser, we've included so-called “pseudo” stations at which the concentrations are estimated from a linear regression between $PM_{2,5}$ and PM_{10} . This auxiliary method is for the time being necessary, mainly in the case of rural map layer. Particularly wherever there is not enough number of real measurement stations to deduce reliable linear trend and where the interpolation of residuals might be strongly affected by their uneven distribution. In addition, we also apply the CAMx chemical transport model as a supplementary source of information, we use the best-fitting model output from a time window of -4 to $+4$ hours around the actual one. This kind of a more appropriate input value selection has proven to be of great help, because it remarkably improves the frequency of applicability of the model that brings into the map important information based on current meteorological situation, not provided by other supplementary data.

KLÍČOVÁ SLOVA: CAMx – fúze dat – kriging – regrese lineární – stanice „pseudo“ – částice jemné $PM_{2,5}$

KEYWORDS: CAMx – data fusion – kriging – linear regression – “pseudo” stations – fine particulate matter $PM_{2,5}$

1. Úvod

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) má mj. povinnost informovat veřejnost o aktuálním stavu kvality ovzduší na území České republiky (MŽP 2017). Operativní mapování koncentrací znečišťujících látek¹ je prováděno pro suspendované částice PM_{10} , oxid dusičitý NO_2 , přízemní ozon O_3 , oxid siřičitý SO_2 a oxid uhelnatý CO. Zlepšování současných metod prostorového mapování již bylo vyzkoušeno a realizováno pro mapy průměrných denních a hodinových koncentrací PM_{10} a výsledky byly shrnuty v článku Ďoubalová et al. (2020), dále pak pro hodinové koncentrace přízemního O_3 (Damašková et al. 2022). Výstupy těchto prací jsou dále rozvíjeny a aplikovány i v případě jemných částic $PM_{2,5}$, jejichž operativní mapy nejsou v současné době vytvářeny, jelikož tento polutant nemá legislativně (Zákonem o ochraně ovzduší, 2012) stanoven krátkodobý limit pro ochranu lidského zdraví² a jeho operativní mapování je limitováno hustotou monitorovací sítě. Pozornost tomuto polutantu v této práci věnujeme z důvodu jeho nepříznivých zdravotních účinků, které s menší velikostí (tedy snazším průnikem do dýchacího traktu a krevního řečiště) narůstají (viz např. Schwartz et al. 2000).

Jemné částice $PM_{2,5}$ představují velikostní frakci (aerodynamický průměr $<2,5 \mu m$) velice pestré skupiny látek, které se mohou lišit jak svými fyzikálně-chemickými a morfologickými vlastnostmi, tak i původem (tj. způsobem a místem vzniku). Souhrnně se celá skupina těchto látek (pevných, kapalných nebo směsných aerosolů) v odborné literatuře označuje jako suspendované částice (Larssen et al. 1996). Tyto částice mohou obsahovat například těžké kovy nebo mohou být nosičem polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH) (ČHMÚ 2020a), ale také pachově aktivních látek či mohou být samy organického původu; fyzikálně-chemickými reakcemi mohou z plynných prekurzorů navíc vznikat sekundární částice (pozn.: podíl sekundárních anorganických aerosolů na celkové koncentraci $PM_{2,5}$ se může v městském prostředí pohybovat mezi 20 až 40 % (ČHMÚ 2020a)), které mohou dále interagovat jak mezi sebou navzájem, tak i s částicemi primárními.

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

² V roce 2020 vstoupil v souvislosti s právními předpisy EU v platnost přísnější imisní limit $20 \mu g \cdot m^{-3}$ pro roční průměrnou koncentraci $PM_{2,5}$. Do roku 2019 včetně platil imisní limit $25 \mu g \cdot m^{-3}$.

Důležitou a u suspendovaných částic často užívanou charakteristikou je poměr koncentrací frakcí $[PM_{2,5}]/[PM_{10}]$, z něhož lze nepřímo dovodit podíl určitých zdrojů (lokálního vytápění, průmyslových, zemědělských a dopravních zdrojů – výfukových emisí ze spalovacích motorů, abraze pneumatik a vozovek, resuspenze (Grange et al. 2021) atp.) na znečištění ovzduší ve sledované oblasti. Je rovněž možno využít jej k modelování rozptylových procesů probíhajících v atmosféře nebo k rekonstrukci historických záznamů o znečištění částicemi frakce $PM_{2,5}$ při absenci přímých měření (Xu et al. 2017); je však třeba vzít v potaz, že tento indikátor není v čase ani prostoru konstantní – vykazuje sezónní průběh a odlišnosti mezi městem a venkovem (ČHMÚ 2020a; Wu et al. 2020). Tento sezónní průběh se ovšem neřídí výhradně lidskými aktivitami, ale přispívají k němu i meteorologické faktory (vzdušná vlhkost, rychlost větru), biogenní faktory (izoprenoidy, pyl, požáry vegetace) a sopečný prach. V našem případě jsme se omezili pouze na odhad koncentrací $PM_{2,5}$ ze známých koncentrací PM_{10} dle níže uvedeného regresního vztahu v kapitole 2. Metodika tvorby map.

2. Metodika tvorby map

2.1 Obecný popis

Pro výpočet operativních map $PM_{2,5}$ je zvolen metodicky shodný přístup používaný centrem ETC/ATNI³ při tvorbě map pro Evropskou agenturu pro životní prostředí i map publikovaných v ročence Znečištění ovzduší na území České republiky (např. ČHMÚ 2014). Jedná se o dvoukrokový přístup zahrnující lineární regresní model s následnou interpolací reziduí.

Operativní mapování $PM_{2,5}$ používající pouze naměřená data z automatického měřicího systému by bylo výrazně ovlivněno malým počtem stanic, zejména venkovských, a jejich nerovnoměrným prostorovým rozmístěním. Z toho důvodu jsou zavedeny i tzv. pseudostanice. Tento termín je použitý pro stanice, kde je hodnota koncentrace odhadnuta na základě jiné znečišťující látky; v tomto případě odhadujeme koncentraci $PM_{2,5}$ na základě lineární závislosti s PM_{10} . V prvním kroku je tedy zhotoven lineární model a jsou vypočteny regresní parametry z dat ze stanic, kde se měří obě znečišťující látky. Následně jsou na základě této závislosti odhadnuty koncentrace $PM_{2,5}$ v místech, kde se měří pouze PM_{10} (Denby et al. 2011). Tento odhad je stanoven pro každou hodinu v roce, ale z důvodu malého počtu v ČR dostupných stanic měřících obě látky není rozdělen podle klasifikace na městské (předměstské) a venkovské. Tyto „pseudo“ stanice, i když jsou zatíženy chybou odhadu, jsou následně v procesu mapování brány jako rovnocenné ke skutečným stanicím měřícím $PM_{2,5}$, ale není na nich běžně vyhodnocována nejistota.

Vztah popisující výpočet (odhad) koncentrace $PM_{2,5}$ je následující:

$$Y_{(i,t)} = a_{(t)} + b_{(t)} \cdot X_{(i,t)} + e_{(i,t)}, \quad (1)$$

kde $Y_{(i,t)}$ je odhad koncentrace $PM_{2,5}$ v bodě i a čase t (v místě „pseudo“ stanice), $X_{(i,t)}$ jsou koncentrace PM_{10} v bodě i a čase t , $a_{(t)}$ a $b_{(t)}$ jsou regresní koeficienty, $e_{(i,t)}$ je nejistota, která není

vysvětlena lineárním modelem a při výpočtu „pseudo“ stanic ji zanedbáváme.

Primárními daty pro tvorbu map znečištění ovzduší jsou koncentrace znečišťujících látek naměřené na stanicích imisního monitoringu. Tato data představují přesnou (v případě „pseudo“ stanic přibližnou), ale lokálně omezenou informaci. Doplňková (sekundární) data poskytují komplexní informaci o celém území a zároveň vykazují regresní závislost s měřenými daty. Mezi primárními a doplňkovými daty je tedy spočtena lineární regrese a následně je provedena interpolace zbývajících nevyšvětlené informace (reziduí) na stanicích.

Doplňková data jsou přitom použita pouze tehdy, pokud u dané mapy vykazují logicky orientovanou korelaci s měřenými daty (u nadmořské výšky negativní, u ostatních dat pozitivní). V případě, že žádná doplňková data tento předpoklad nesplňují, použije se prostá interpolace naměřených dat. Data s nelogickým regresním parametrem jsou postupně vyřazena na základě p -hodnoty (vyjadřující statistickou významnost). Po každém vyřazení je opět sestaven lineární model a postup je opakován až do doby, než všechna data splňují logickou podmínku. V posledním kontrolním kroku jsou zbývajících data podrobena ještě závěrečnému testu statistické významnosti a ta, která dosáhla p -hodnoty nad 0,3, se vypustí taktéž. Autoři si uvědomují mírnost této odborně odhadnuté hodnoty, ale velká prostorová variabilita v kombinaci s malým počtem stanic stěžuje odhalení případů, kdy lineární regrese mezi daty pravděpodobně neexistuje a je jenom výsledkem náhody (Halsey et al. 2015).

Interpolace zbývajících nejistoty (reziduí) je prováděna pomocí obyčejného krigingu (anglicky „ordinary kriging“). Kriging je geostatistická metoda, která zohledňuje strukturu imisního pole, a lze ji chápat jako dvoustupňový proces. Nejprve se vypočte prostorová kovarianční struktura (variogram) a proloží se funkcí, která minimalizuje chybu predikce. Dále se váhy odvozené z této kovarianční struktury používají k interpolaci hodnot mimo místa měření (Cressie 1993). Matematické vztahy jsou podrobně popsány v článku o operativním mapování PM_{10} (Ďoubalová et al. 2020).

Z důvodu odlišného charakteru městského a venkovského znečištění se přistupuje k oddělenému mapování příslušných vrstev (s použitím odpovídajících primárních i sekundárních dat) a výsledná mapa vzniká jejich sloučením pomocí gridu hustoty zalidnění (Horálek et al. 2007; De Smet et al. 2011). Tento přístup je založen na předpokladu, že suspendované částice vykazují vyšší koncentrace v městském prostředí. Pro oblasti, kde tento předpoklad není splněn, se použije třetí mapová vrstva vytvořená stejnou metodikou s použitím veškerých pozadových stanic bez rozlišení na městské a venkovské.

Sloučení vrstev do výsledné mapy probíhá následovně:

- pro území s méně než 200 obyvk·km⁻² se použije venkovská vrstva,
- pro území s více než 1000 obyvk·km⁻² se použije městská vrstva,
- pro ostatní území je mapa tvořena lineární kombinací venkovské a městské vrstvy (matematické vyjádření viz Ďoubalová et al. 2020).

Mapy jsou konstruovány v prostorovém rozlišení 1 km × 1 km.

³ European Topic Center on Air Pollution, Transport, Noise and Industrial Pollution (ETC/ATNI). WWW: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni>

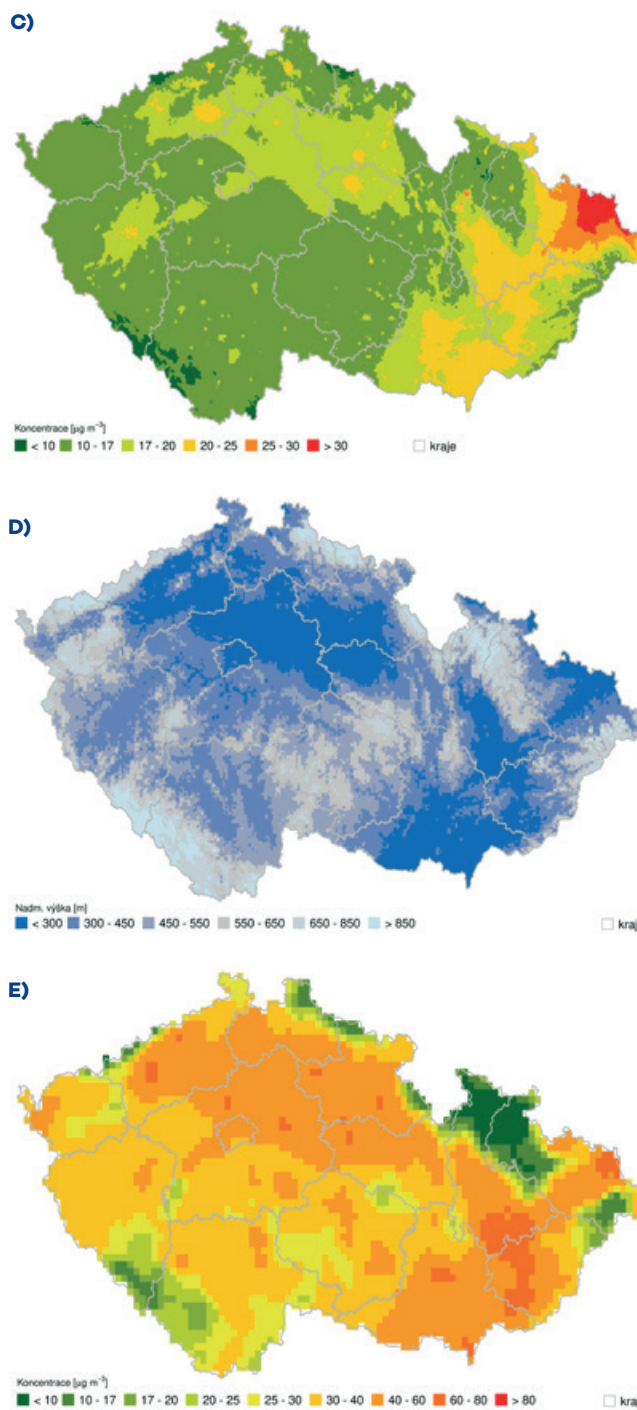
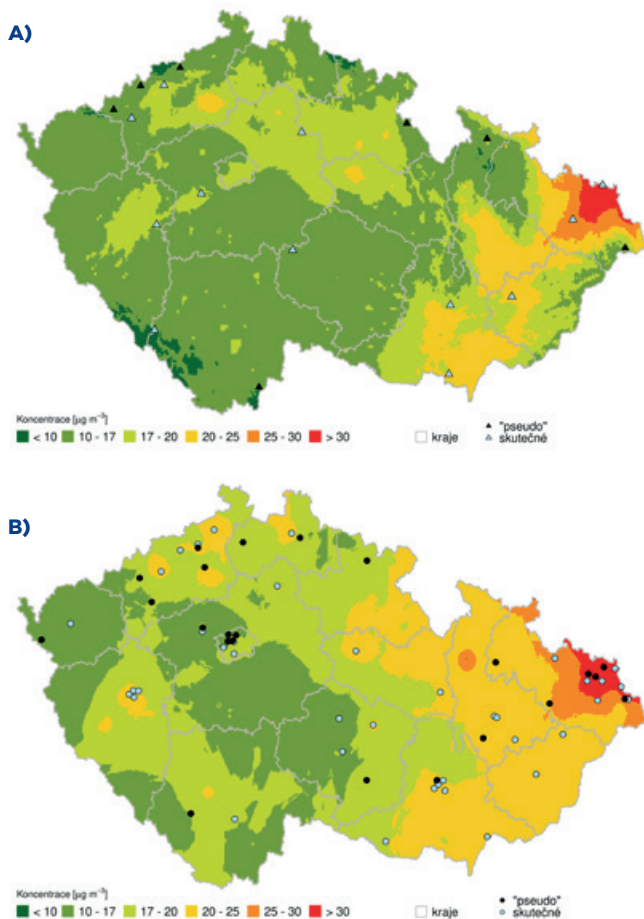
2.2 Odhad nejistoty

Pro vyhodnocení kvality mapy mimo místa měření je použita metoda křížového ověřování (cross-validation): postupné vyřazování vždy pouze jedné stanice a následný odhad koncentrace v místě této stanice pomocí zbývajících stanic. Nejistota příslušné mapy je následně statisticky vyjádřena porovnáním odhadnutých a naměřených hodnot pomocí ukazatelů: odmocnina střední kvadratické chyby (*Root Mean Square Error, RMSE*) a systematické vychýlení (*bias*). Na „pseudo“ stanicích není vyhodnocována chyba z cross-validation, jelikož samotný jejich výpočet je již zatížen chybou.

Metoda cross-validation je aplikována při vícenásobné lineární regresi i při interpolaci reziduí. Tento postup není totožný s přístupem uplatňovaným při vyhodnocování map pro ročenu Znečištění ovzduší na území České republiky (ČHMÚ 2015), kdy je cross-validation aplikována jenom při interpolaci reziduí. Lze očekávat, že ve většině případů, kdy do výpočtu vstupuje dostatečné množství dat, nezmění vynechání jedné stanice zásadně parametry lineární regrese. Ale jelikož mapování $PM_{2,5}$ je výrazně ovlivněno malým počtem stanic, tak cross-validation regresního modelu i krigingu reziduí je adekvátním přístupem a dává nám lepší informaci o nejistotě mapy.

2.3 Způsoby tvorby operativních map $PM_{2,5}$

Jako doplňkový zdroj informací jsou použity průměrné hodinové a denní koncentrace $PM_{2,5}$ z modelu CAMx pro rok 2015, nadmořská výška a pro tvorbu venkovské a městské mapové vrstvy odpovídající mapové vrstvy průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$, které byly použity pro tvorbu průměrné roční mapy



Obr. 1 Doplňková data při tvorbě operativních map $PM_{2,5}$: venkovská, resp. městská mapová vrstva průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$ (A a B), průměrná roční koncentrace $PM_{2,5}$ (C), nadmořská výška (D) a průměrné hodinové koncentrace $PM_{2,5}$ z modelu CAMx dne 6. 11. 2015 v 10:00 UTC (E). Pozadové venkovské a (před)městské skutečné a „pseudo“ stanice použité v tomto článku jsou zobrazeny na obrázcích A, resp. B.

Fig. 1. Secondary data used for near real-time mapping of $PM_{2,5}$ concentrations: rural and urban layer of annual $PM_{2,5}$ concentration (A and B), annual $PM_{2,5}$ concentration (C), terrain elevation (D) and 1-hour mean concentration map of $PM_{2,5}$ from CAMx model on 6th November 2015 at 10 a.m. UTC (E). Background rural and (sub)urban real and “pseudo” stations used in this article are displayed in the figures A and B respectively.

PM_{2,5} do ročenky 2013 (ČHMÚ 2014). Při tvorbě vrstvy s použitím všech stanic je využita ročková mapa pro rok 2013, model a nadmořská výška. Zvolené roky odpovídají nejnovějším podkladovým datům, která by byla dostupná při vytváření příslušných operativních map v roce 2015. Výstup modelu CAMx je k dispozici v horizontálním rozlišení 4,7 km × 4,7 km, ostatní podklady jsou v síti 1 km × 1 km. Fúze (kombinace) těchto dat se již osvědčila v případě tvorby map PM₁₀ (Ďoubalová et al. 2020). Použité podklady jsou znázorněny na obr. 1.

Jelikož hlavní problém při tvorbě map PM_{2,5} je nedostatek stanic a jejich nerovnoměrné rozmístění, tak se zaměřujeme převážně na primární data a vyhodnocujeme přínos navýšení počtu stanic o „pseudo“ stanice. Jejich použitím se pokoušíme docílit zvýšení robustnosti lineárního modelu. Jako další možnost, namísto „pseudo“ stanic, by se mohlo jevit použití mapy PM₁₀ z dané hodiny jako doplňkové informace. Ta by sice vykazovala silnou regresní závislost, ale mimo místa stanic by mohla být zatížena chybou, kterou nejde odhalit. Výsledek cross-validace by byl uměle vylepšen a použitý lineární model by vzhledem k malému počtu stanic nebyl dostatečně věrohodný. Proto tato doplňková data nebyla testována.

Dále navazujeme na předchozí článek věnující se mapování PM₁₀ (Ďoubalová et al. 2020), kdy se v případě hodinových dat diskutovalo možné vylepšení využitím toho výstupu modelu CAMx ze zvoleného okna kolem dané hodiny, který vykáže nejlepší shodu s měřeními daty. Hodnocení nevhodnějšího modelového výstupu je provedeno na základě koeficientu determinace R² regresního modelu mezi měřením a modelovým výstupem z časového okna -4 až +4 hodiny, včetně dané hodiny s indexem posunu 0 (toto časové okno je odborně odhadnuto na základě zkušeností se vstupy do chemických transportních modelů).

Na základě výše popsaných návrhů možného vylepšení jsou hodnocené následující způsoby tvorby operativních map PM_{2,5} (příčemž modelový výstup, nadmořská výška a ročková mapa, které jsou u všech způsobů společné, uvedeny nejsou):

- PM_{2,5} → **hodinové i denní mapy**,
- PM_{2,5} + „pseudo“ stanice → **hodinové i denní mapy**,
- PM_{2,5} + „pseudo“ stanice a nejlepší shoda s CAMx → **hodinové mapy**.

3. Použitá data

3.1 Měřená data ze stanic imisního monitoringu

Jako primární data jsou použita hodinová data (pro potřebu denních map jsou zprůměrována) ze stanic automatizovaného imisního monitoringu z databáze Informačního systému kvality ovzduší (ISKO), která jsou plynule dostupná v databázi jen s hodinovým zpožděním, a tudíž jsou vhodná pro operativní mapování. Používají se pouze pozadové stanice, které mají širší reprezentativnost, jelikož nejsou do takové míry zatíženy případným významným lokálním zdrojem – celkem se pro rok 2015 jedná o 40 městských a předměstských pozadových stanic a 12 venkovských pozadových stanic měřících PM_{2,5}.

Pro potřeby výpočtu regresní závislosti jsou použita hodinová data 40 městských a předměstských pozadových stanic a 11 venkovských pozadových stanic měřících zároveň PM₁₀

a PM_{2,5}. Regresní závislost je odhadnuta zvlášť pro každou hodinu a následně aplikována na data 23 městských a předměstských pozadových stanic a 7 venkovských pozadových stanic měřících PM₁₀, ale ne PM_{2,5}. Tyto stanice s vypočtenou koncentrací se dále nazývají „pseudo“ stanice.

Klasifikace stanic je podle databáze ISKO (ČHMÚ 2020b).

Polohy skutečných a „pseudo“ stanic jsou znázorněny na obr. 1.

3.2 Chemický transportní model CAMx

Pro výpočet hodinových polí koncentrací PM_{2,5} je využit chemický transportní model CAMx v5.41 (ENVIRON 2011), který na základě emisních a meteorologických vstupů modeluje na třírozměrném gridu rozptyl, chemické reakce a odstraňování znečišťujících látek z atmosféry. Byl použit chemický mechanismus Carbon Bond verze 6 (CB6) obsahující 218 reakcí mezi 114 látkami: 69 plynými, 22 složkami aerosolu a 23 radikály.

Je použit výstup stejného běhu modelu, jako tomu bylo v předcházejících článcích věnovaných suspendovaným částicím PM₁₀ (Ďoubalová et al. 2020) i přizemnímu O₃ (Damašková et al. 2022). Meteorologické vstupy do modelu CAMx byly získány z asimilačního cyklu numerického předpovědního modelu ALADIN/CE provozovaného v rozlišení 4,7 km s 87 vertikálními hladinami (Termonia et al. 2018). 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 ostatní emise byla využita evropská databáze CAMS-REGv1.1-AP (ECCAD 2018; Kuenen et al. 2014; Granier et al. 2012). Biogenní emise NMVOC (nemetanových těkavých organických látek) z rostlin a NO (oxidu dusnatého) z půdy byly vypočteny modelem MEGAN v2.1 (Guenther et al. 2012). Okrajové podmínky byly převzaty z globální předpovědi ECMWF CAMS IFS (ECMWF 2022). Pro detailní popis viz Ďoubalová et al. (2020).

Výsledky verifikace daného modelového běhu oproti měřením na stanicích vykazují výrazné podhodnocení modelu ve všech ročních obdobích kromě zimy. A taktéž je patrné silné ovlivnění modelových výstupů nastavenými emisními chody vstupujícími do výpočtu. V následujících verzích modelu CAMx došlo k významným změnám ve formování sekundárního aerosolu⁴. Taktéž jsou testovány výpočty emisí resuspenze pomocí větru (wind-blow dust); tyto změny by mohly pomoci v případě podhodnocení modelu (Liaskoni et al. 2021).

Denní chod modelových a měřených koncentrací je znázorněn na obr. 2.

3.3 Mapové vrstvy průměrných ročních koncentrací PM_{2,5}

Dalším doplňkovým zdrojem dat pro stávající způsob tvorby operativních map PM_{2,5} je venkovská a městská vrstva průměrné roční koncentrace pro rok 2013 a taktéž výsledná ročková mapa, která vzniká jejich spojením pomocí gridu hustoty zalidnění. Při jejich výpočtu jsou použité všechny stanice – automatické i manuální. Ročková mapa je tvořena za účelem hodnocení plnění imisního limitu stanoveného pro ochranu zdraví Zákonem o ochraně ovzduší (2012).

⁴ Pro konkrétní změny viz <https://www.camx.com/about/latest-release/>

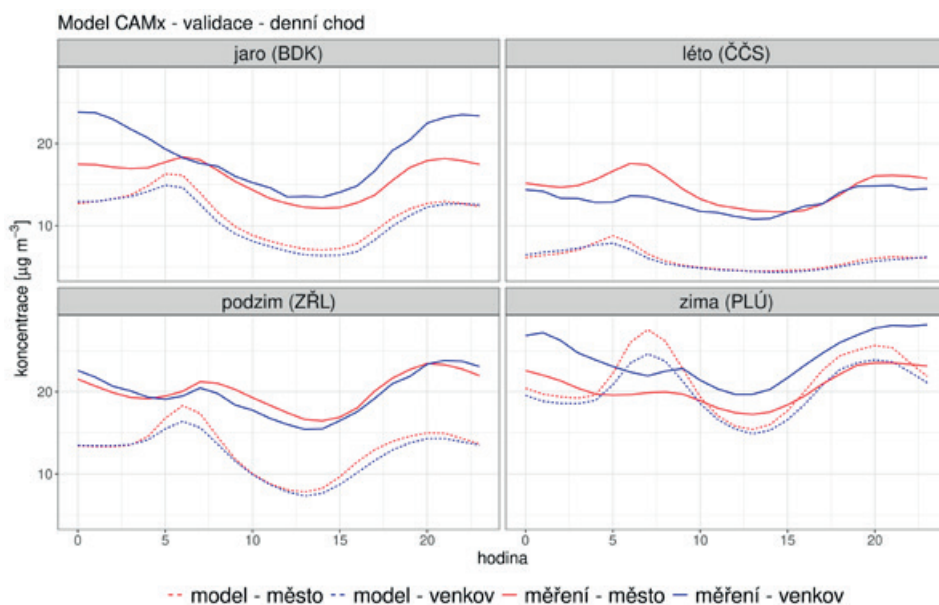
3.4 Ostatní doplňková data

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

4. Výsledky

Výsledky cross-validace pro hodnocené způsoby jsou porovnány pomocí ukazatelů RMSE a systematického vychýlení (tab. 1). V tabulce je taktéž uvedena stručná analýza odlehlých bodů pro jednotlivé statistické ukazatele, tedy hodnot, které se nacházejí za 1,5násobkem mezikvartilového rozpětí. Přehled použití jednotlivých sekundárních podkladů při tvorbě map $PM_{2,5}$ je uveden v tab. 2. Časový posun nejlepší shody modelu CAMx s měřením

je v tab. 3. Z důvodu podobnosti výsledků denních a hodinových map je tato část převážně věnována hodinovým datům.



Obr. 2 Denní chod měřených a modelovaných (CAMx) koncentrací $PM_{2,5}$ v jednotlivých sezónách roku 2015 – průměr ze všech venkovských a (před)městských pozadových stanic.

Fig. 2. Daily cycle of measured and modelled (CAMx) $PM_{2,5}$ concentrations for each season of the year 2015 – average over rural and (sub)urban background stations.

4.1 Výpočet koncentrací $PM_{2,5}$ na „pseudo“ stanicích

Nejlépe závislost koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ je v zimním období, kdy průměrný R^2 je 0,69, nejhorší v létě s průměrnou hodnotou 0,38. To lze vysvětlit skladbou zdrojů a typem aerosolu. V zimě je v podstatě celé území zatížené lokálním vytápěním s relativně stabilním poměrem jednotlivých frakcí PM (PM – suspendované částice bez rozlišení velikostí), naproti tomu v létě je tento poměr místně ovlivněn mj. resuspenzí z půdy a vozovky, odkud se uvolňují převážně částice větších roz-

Tab. 1 Výsledky křížového ověřování pro aplikované přístupy tvorby operativních map $PM_{2,5}$ – \bar{X} (průměr), $Q_{0,25}$ (spodní kvartil), med (medián), $Q_{0,75}$ (horní kvartil), n (počet odlehlých bodů), max (maximální hodnota), min (minimální hodnota).

Table 1. Results of cross-validation for the used approaches to near real-time $PM_{2,5}$ mapping – \bar{X} (mean), $Q_{0,25}$ (lower quartile), med (median), $Q_{0,75}$ (upper quartile), n (number of outliers), max (maximum value), min (minimum value).

Mapová vrstva $PM_{2,5}$	Použité stanice	RMSE [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]				Bias [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]				Odehlé body*				
		\bar{X}	$Q_{0,25}$	med	$Q_{0,75}$	\bar{X}	$Q_{0,25}$	med	$Q_{0,75}$	RMSE		Bias		
										n	max	n	max	min
Městská denní	$PM_{2,5}$ + „pseudo“	5,0	3,4	4,3	6,3	0,22	-0,18	0,08	0,45	14	17,8	35	5,8	-2,3
	$PM_{2,5}$	5,2	3,4	4,6	6,5	-0,03	-0,10	-0,03	0,04	15	18,9	53	0,8	-0,9
Venkovská denní	$PM_{2,5}$ + „pseudo“	6,8	3,4	5,3	8,0	0,05	-0,27	0,15	0,54	25	60,9	30	6	-6,4
	$PM_{2,5}$	8,0	3,6	5,5	8,3	-0,46	-0,50	-0,10	0,11	35	110	58	13,4	-20,5
Městská hodinová	$PM_{2,5}$ + „pseudo“	8,4	5,8	7,6	10,1	0,22	-0,38	0,10	0,67	386	46,7	641	10,9	-4,8
	$PM_{2,5}$ + „pseudo“ lepší shoda s CAMx	8,4	5,7	7,5	10,0	0,20	-0,41	0,09	0,65	378	46,7	621	11	-5,4
	$PM_{2,5}$	8,8	5,9	7,8	10,6	-0,08	-0,17	-0,04	0,04	388	49,4	1037	2,6	-4,9
Venkovská hodinová	$PM_{2,5}$ + „pseudo“	10,6	5,3	8,2	12,1	0,08	-0,59	0,20	0,96	596	177	842	15,7	-21,5
	$PM_{2,5}$ + „pseudo“ lepší shoda s CAMx	10,1	5,1	7,8	11,6	0,00	-0,64	0,14	0,90	580	135	790	24,7	-27,7
	$PM_{2,5}$	11,6	5,5	8,5	12,9	-0,63	-0,79	-0,05	0,13	654	285	1 499	47,7	-129

* Hodnoty, vzdálené od spodního, resp. horního kvartilu o více, než 1,5násobek mezikvartilového rozpětí.

* Values at a distance more than 1.5 times the interquartile range from the lower or upper quartile.

Tab. 2 Aplikované způsoby tvorby operativních map $PM_{2,5}$ – procento dní/hodin z roku 2015, kdy byla použita daná doplňková data pro tvorbu městské a venkovské vrstvy.

Table 2. Used approaches to near real-time $PM_{2,5}$ mapping – percentage of days/hours in 2015, when particular supplementary data were used in creating urban and rural layers.

Mapová vrstva $PM_{2,5}$	Použité stanice	Jen interpolace*	Ročenka	Nadmořská výška	CAMx
Městská denní	$PM_{2,5}$ + „pseudo“	1,6	82,2	15,1	58,1
	$PM_{2,5}$	2,0	68,8	20,0	66,6
Venkovská denní	$PM_{2,5}$ + „pseudo“	4,9	65,2	9,9	57,5
	$PM_{2,5}$	7,0	55,6	15,6	46,3
Městská hodinová	$PM_{2,5}$ + „pseudo“	11,3	59,0	19,3	49,4
	$PM_{2,5}$ + „pseudo“ lepší shoda s CAMx	7,5	53,3	16,4	66,7
	$PM_{2,5}$	13,9	53,3	18,6	51,9
Venkovská hodinová	$PM_{2,5}$ + „pseudo“	18,9	47,3	13,1	42,5
	$PM_{2,5}$ + „pseudo“ lepší shoda s CAMx	13,0	37,0	11,5	63,4
	$PM_{2,5}$	30,2	41,7	15,4	34,2

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

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

Tab. 3 Procento hodin z roku 2015 pro jednotlivé časové posuny výstupu modelu CAMx, kdy byla dosažena nejlepší shoda s měřením.

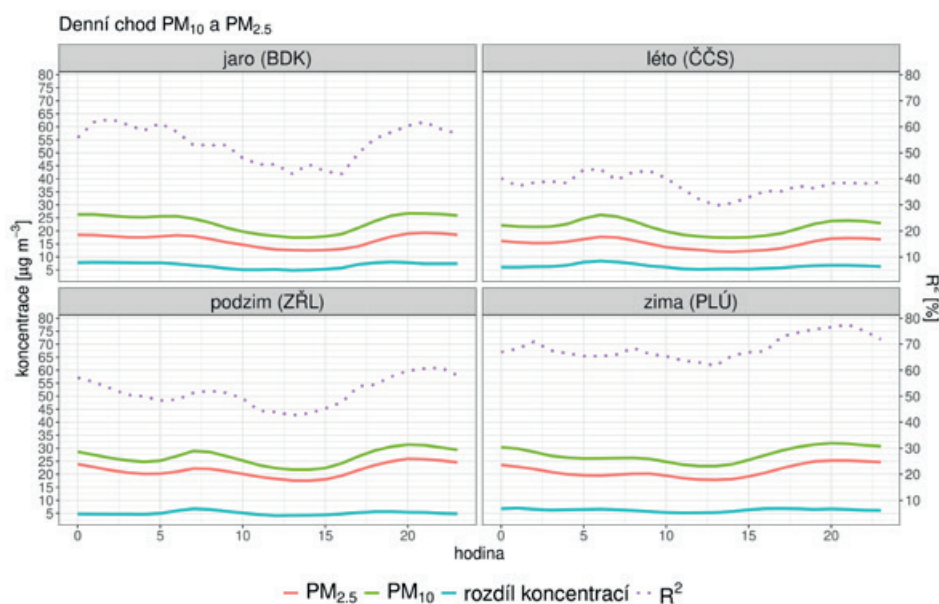
Table 3. Percentage of hours in 2015 for each examined time shift of the CAMx model output, when the best fit with observations were obtained.

Mapová vrstva $PM_{2,5}$	Časový index posunu modelového výstupu									
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	
Městská	19,1	11,0	11,0	11,3	10,3	9,0	7,8	6,9	13,6	
Venkovská	18,7	10,1	9,8	10,3	9,6	9,3	8,6	7,9	15,8	

měřů. Denní chod PM_{10} , $PM_{2,5}$, jejich rozdíl a taktéž R^2 je na obr. 3.

4.2 Denní mapy

Výstupy z cross-validace při použití „pseudo“ stanic ukazují výrazné vylepšení průměrného systematického vychýlení v případě venkovské vrstvy, ale zhoršení u městské vrstvy. V obou případech došlo při použití „pseudo“ stanic taktéž ke zvětšení mezikvartilového rozpětí. Nicméně procento odlehklých bodů⁵ je bez použití „pseudo“ stanic pro venkovskou vrstvu kolem 15 % (bias) a 10 % (RMSE), při použití doplňujících stanic je to 8 % a 6 %. Maximální RMSE zároveň kleslo díky „pseudo“ stanicím ze $110 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na $61 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Právě malý počet venkovských stanic, který může pro konkrétní hodinu z důvodu kalibrace měřící techniky, nebo jejího výpadku ještě klesnout, nemusí podchytit trend v lineárním modelu, především při výskytu několika málo výrazně nadhodnocených/podhodnocených hodnot. Ty jsou následně v procesu cross-validace chybně



Obr. 3 Denní chod měřených koncentrací $PM_{2,5}$ a PM_{10} , jejich rozdíl a R^2 v jednotlivých sezónách roku 2015 – průměr ze všech pozadových stanic měřících oba polutanty.

Fig. 3. Daily cycle of measured $PM_{2,5}$ and PM_{10} concentrations, their difference and R^2 for each season of the year 2015 – average over all background stations measuring both pollutants.

⁵ Procentuální vyjádření počtu hodin v roce s bias/RMSE, vzdálenými od spodního, resp. horního kvartilů o více než 1,5násobek mezikvartilového rozpětí.

odhadnuty. U městské vrstvy je pokles odlehlých hodnot v případě RMSE minimální, taktéž nedochází k výraznému snížení chyby. Systematické vychýlení vykazuje obdobně snížení počtu odlehlých hodnot jako u venkovské vrstvy, ale maximální hodnota se dokonce navýšila z $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na $5,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Jelikož se městské stanice vyskytují často ve slucích, může nejistota odhadu „pseudo“ stanice vnést chybu do cross-validačního odhadu, čímž by se vysvětlilo navýšení systematického vychýlení. Celkový přehled je uveden v tab. 1.

K pouhé interpolaci naměřených hodnot dochází u obou způsobů minimálně, při použití „pseudo“ stanic toto procento ještě mírně klesá. Využití modelu CAMx stouplu při zahrnutí „pseudo“ stanic u venkovské vrstvy o 11 %, ale u městské kleslo o 8,5 %, viz tab. 2. Použití městských „pseudo“ stanic zatížených větší chybou odhadu mohlo zhoršit regresní závislost s modelem CAMx, a proto častěji dochází k jeho vyřazování.

4.3 Hodinové mapy

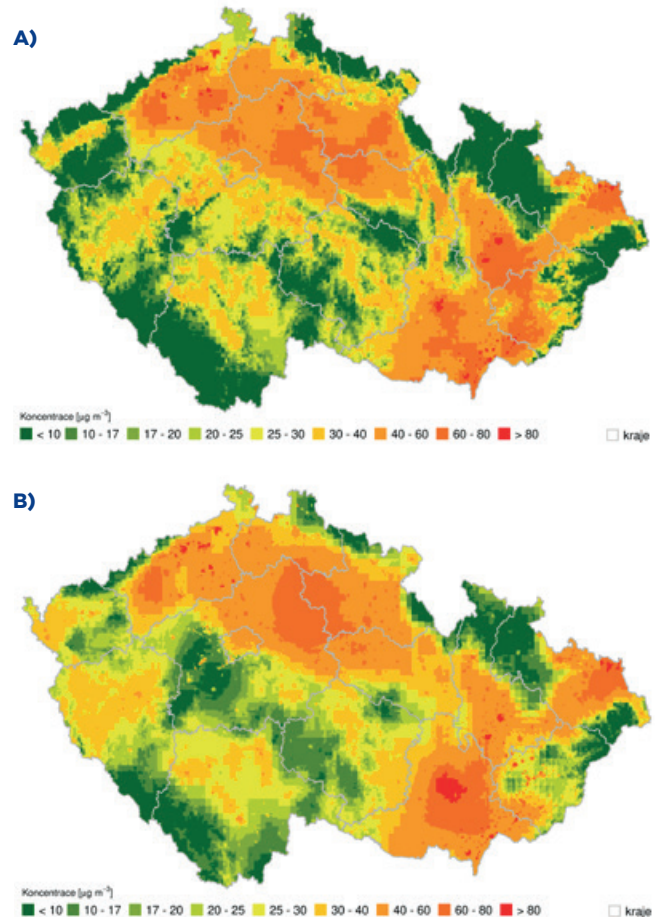
Z výsledků křížového ověřování na skutečných stanicích vyplývá, že použitím „pseudo“ stanic dochází k vylepšení průměrného RMSE i systematického vychýlení ve všech případech kromě městské vrstvy, kde se průměrný bias naopak zhorší. U hodinových dat, podobně jako u denních, se použitím „pseudo“ stanic zvětšuje mezikvartilové rozpětí systematického vychýlení; jedná se ale o desetiny $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Odlehlých bodů se u venkovské vrstvy s použitím jenom skutečných stanic vyskytuje 17 % (bias) a 7 % (RMSE), s použitím doplňujících stanic je to 10 % a 7 %. Maximální RMSE kleslo z $285 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na $177 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a při přístupu využívajícím nejlepší shody s CAMx dokonce na $135 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. U městské vrstvy, jak tomu je i u denních dat, nedochází k výraznému poklesu počtu odlehlých hodnot ani maximálních koncentrací vypočtených pomocí RMSE. V případě systematického vychýlení je pokles počtu odlehlých hodnot 5 %, ale maximální vychýlení vzrostlo ze $3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na $11 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Přehled statistik křížového ověřování je uveden v tab. 1.

U přístupu využívajícího jenom skutečné stanice není splněna podmínka kladné korelace naměřených dat s daty alespoň jedné doplňkové veličiny v přibližně 14 % případů pro městskou vrstvu a ve 30 % pro venkovskou vrstvu. V těchto případech je použita prostá interpolace naměřených hodnot. U přístupu s „pseudo“ stanicemi tato situace nastala přibližně v 11 % hodin pro městskou vrstvu a v 19 % pro venkovskou (resp. 8 % a 13 % při přístupu využívajícím nejlepší shody s CAMx). Právě testování a výběr vhodného výstupu modelu CAMx výrazně zvýšilo začlenění tohoto doplňkového podkladu rovnoměrně v rámci celého roku (tab. 2).

Časový posun nejhodnějšího výstupu modelu je v tab. 3. Pro obě vrstvy je nejčastěji využíván posun 4 hodiny zpětně, nebo 4 hodiny dopředu. Vhodnost výstupu pro konkrétní hodinu mapování nastává jenom v 10 % případů. Emisní vstupy (z dopravy, lokálního vytápění atd.) se do chemických transportních modelů zadávají zjednodušeně formou denních/týdenních/sezónních chodů, nebo jsou odvozeny na základě jiných parametrů (např. teploty). I samotný výstup meteorologického modelu, který dále vstupuje do chemického modelu, může být v čase nepřesný. Proto je tento posun nejhodnějšího výsledku modelu CAMx zcela očekávatelný.

Ukázka výsledných map je na obr. 4. Odpovídající výstup modelu CAMx je uveden na obr. 1. Je patrné, že mapy se liší především



Obr. 4 Výsledná kombinovaná mapa průměrné hodinové koncentrace $\text{PM}_{2.5}$ dne 6. 11. 2015 v 10:00 UTC – bez použití „pseudo“ stanic (A) a s použitím „pseudo“ stanic (B).
 Fig. 4. Hourly mean of $\text{PM}_{2.5}$ concentration on 6th November 2015 at 10 a.m. UTC. The final combined map – without “pseudo” stations (A), and including “pseudo” stations (B).

ve venkovském prostředí (Šumava, Jeseníky, Krušné hory, Karlovarská vrchovina), kde využití „pseudo“ stanic mírně zvýšilo koncentraci. Naproti tomu, v oblasti Křivoklátska došlo k výraznému poklesu vypočtené koncentrace. Analýza dat vstupujících do výpočtu těchto map ukázala, že v obou případech byl jako doplňková informace použit jenom výstup modelu CAMx. Koncentrace naměřená na stanici v této oblasti (Tobolka-Čertovy schody) byla $8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a příslušná modelová hodnota v tomto místě byla $41 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; model tedy výrazně nadhodnocoval. Díky „pseudo“ stanicím byl lépe odhadnut lineární trend a taktéž funkce prostorové kovarianční struktury reziduí, tudíž výsledná mapa korektněji zobrazuje skutečnou situaci.

5. Diskuze

V článku je pozornost převážně zaměřena na možné vylepšení mapování $\text{PM}_{2.5}$ zahuštěním sítě měřících stanic pomocí „pseudo“ stanic, na nichž se koncentrace odhaduje na základě lineárního vztahu mezi PM_{10} a $\text{PM}_{2.5}$. Nutnost navýšení počtu stanic (zejména venkovských) a zlepšení jejich prostorové distribuce je i na úkor toho, že je tato informace zatížena chybou, kterou dále vnášíme do mapování. Tyto stanice zlepšují robustnost lineárního modelu, například v odhadech extrémních/odlehlých

hodnot, takže větší nejistota se rozprostře v prostoru a lokálně dojde k vylepšení. Bohužel, nejsme schopni jednoznačně vyčíslit a porovnat tyto nejistoty, které na jedné straně vznikají malým počtem dat, na druhé použitím přibližných hodnot koncentrací. I když se od předmětného roku 2015 automatizovaný měřicí systém navýšil o 4 venkovské a 9 městských/předměstských pozadových stanic, tak je stále nezbytné tuto síť ještě zahustit, především při tvorbě venkovské vrstvy. K vylepšení odhadu „pseudo“ stanic by mohlo přispět použití vícenásobné lineární regrese např. s nadmořskou výškou, ale také zeměpisnými souřadnicemi, jelikož v ČR jsou v průměru vyšší koncentrace PM soustředěné na východě země. Tyto koncentrace pocházející z různých zdrojů mohou mít specifické zastoupení jemných a hrubých frakcí PM. Taktéž je možné tuto závislost odvodit nejen z českých stanic, ale použít data z Evropské databáze AirBase pro oblast centrální Evropy; v tom případě by bylo možné i rozdělení stanic podle klasifikace na městské a venkovské. I když počet skutečných městských stanic je dostačující, zatím není jednoznačné, zda je vhodné úplně vyloučení „pseudo“ stanic. Ale z důvodu zanášení možné chyby (zhoršuje se průměrný bias) by se mělo omezit jejich používání v případě, jestliže se nacházejí ve shlucích se skutečnými stanicemi. Této úvaze se budou autoři více věnovat v následujících pracích.

Dále se práce věnuje časovému posunu výstupu modelu CAMx, který do mapování vstupuje jako doplňková informace, která má odrážet aktuální imisní pole. Tento posun pomáhá korigovat možnou nesrovnalost způsobenou meteorologií, nebo zjednodušenými emisními chody. Výsledky ukazují snížení celkové nejistoty mapy a výrazné zvýšení počtu případů, kdy do mapování vstoupil i model CAMx. Obecně platí, že čím silnější je vazba mezi modelem a měřením, tím menší roli hraje interpolace reziduí.

6. Závěr

Pro rok 2015 byly testovány možnosti tvorby operativních hodinových a denních map $PM_{2,5}$. Důraz byl kladen na primární data vstupující do mapování, resp. na možný přínos zahuštění sítě měřících stanic pomocí „pseudo“ stanic. I když není možné jednoznačně porovnat nejistoty výsledných map vytvořených s/bez použitím doplňkových stanic, autoři se domnívají, že použití „pseudo“ stanic je momentálně nutností v případě venkovské vrstvy. Tedy tam, kde počet a rozmístění skutečných stanic není dostačující pro odvození spolehlivého lineárního trendu a následná interpolace reziduí je silně ovlivněna nepravidelným rozložením stanic. V případě městské vrstvy by se použití „pseudo“ stanic mělo prozatím omezit na lokality, ve kterých se nevyskytují skutečné stanice, aby se zamezilo zanášení možné chyby plynoucí z jejich odhadu.

Testování časového posunu výstupu modelu CAMx z důvodu lepší shody s měřením se ukázalo jako přínosné a tento přístup by mohl být aplikován nejen v případě operativních map $PM_{2,5}$, ale taktéž v případě ostatních znečišťujících látek, kterým se věnovaly předcházející články (Ďoubalová et al. 2020; Damašková et al. 2022).

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:

- CRESSIE, N., 1993. Statistics for spatial data. New York: Wiley.
- 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, 2020a. 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.
- ČHMÚ, 2020b. Souhrnný tabelární přehled: Komentář k souhrnnému ročnímu tabelárnímu přehledu. Praha: ČHMÚ [online]. [cit. 20. 5. 2022]. Dostupné také z WWW: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2020_enh/pdf/kom.pdf.
- DAMAŠKOVÁ, D., VLČEK, O., HORÁLEK, J., BESHIR, P., 2022. Zpřesnění operativních map koncentrací přízemního ozonu zahrnutím výstupu modelu CAMx, dalších doplňkových dat a využitím krigingu. *Meteorologické zprávy*, roč. 75, č. 2, s. 44–52. ISSN 0026-1173. Dostupné také z WWW: <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/casmz/index.html>.
- DENBY, B., GOLA, G., DE LEEUW, F., DE SMET, P., HORÁLEK, J., 2011. Calculation of pseudo $PM_{2,5}$ annual mean concentrations in Europe based on annual mean PM_{10} concentrations and other supplementary data. ETC/ACC Technical paper 2010/9 [online]. [cit. 25. 2. 2022]. Dostupné z WWW: file:///tmp/mozilla_dasa0/ETCACC_TP_2010_9_pseudo_PM2.5_stations.pdf.
- DE SMET, P., HORÁLEK, J., COŇKOVÁ, M., KURFÜRST, P., DE LEEUW, F. et al., 2011. European air quality maps of ozone and PM_{10} 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_spatqmaps_2008.
- ĎOUBALOVÁ, J., VLČEK, O., HORÁLEK, J., 2020. Zpřesnění operativních map PM_{10} 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.
- ECCAD, 2018. CAMS European anthropogenic emissions v1.1 – Air pollutants (CAMS-REGv1.1-AP) [on-line]. [cit. 12. 3. 2020]. Dostupné z WWW: <https://permalink.aeris-data.fr/CAMS-REGv1.1-AP>.
- ECMWF, 2022. About our forecasts. Operational configurations of the ECMWF Integrated Forecasting System (IFS) [on-line]. ECMWF CAMS IFS [cit. 12. 6. 2022]. Dostupné z WWW: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/documentation-and-support>.
- 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>.
- GRANGE, S. K., FISCHER, A., ZELLWEGGER, C., ALASTUEY, A., QUEROL, X. et al., 2021. Switzerland's PM_{10} and $PM_{2,5}$ environmental increments show the importance of non-exhaust emissions. *Atmospheric Environment X*, Vol. 12, 100145. Dostupné z doi: <https://doi.org/10.1016/j.aeoa.2021.100145>. Dostupné také z WWW: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/2022-01/010083801.pdf.
- GRANIER, C. et al., 2012. Report on the update of anthropogenic surface emissions, MACC-II deliverable report D_22.1.
- GUENTHER, A. B. et al., 2012. The Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature version 2.1 (MEGAN2.1): an extended and updated framework for modeling biogenic emissions. *Geoscientific Model Development*, Vol. 5, s. 1471–1492. Dostupné z WWW: <http://www.geosci-model-dev.net/5/1471/2012/>.

- 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_spat_aq.
- KUENEN, J. J. P., VISSCHEDIJK, A. J. H., JOZWICKA, M., DENIER van der GON, H., 2014. TNO-MACC II emission inventory; a multi-year (2003–2009) consistent high-resolution European emission inventory for air quality modelling. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 14, s. 10963–10976. Dostupné z WWW: <https://doi.org/10.5194/acp-14-10963-2014>.
- LARSEN, S., HAGEN, L. O., 1996. Air Quality in Europe, 1993: A Pilot Report. Copenhagen: European Environment Agency. ISBN 92-9167-057-X. ORDER ID (Catalogue Number): GH-03-97-749-EN-C. Chapter 6.4 Suspended particulates (TSP/SPM) [online]. [cit. 9. 3. 2022]. Dostupné z WWW: <https://www.eea.europa.eu/publications/2-9167-057-X/page021.html>.
- LIASKONI, M., BARTÍK, L., HUŠÁR, P., 2021. Modeling Wind-blown Dust Over Europe and Their Impact on the PM_{2.5} Concentrations. In: *WDS'21 Proceedings of Contributed Papers – Physics*, 67–76, 2021. Prague: Matfyzpress.
- 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>.
- SCHWARTZ, J., NEAS, L. M., 2000. Fine Particles Are More Strongly Associated than Coarse Particles with Acute Respiratory Health Effects in Schoolchildren. *Epidemiology*, Vol. 11, Issue 1, s. 6–10 [online]. [cit. 10. 3. 2022]. Dostupné z WWW: https://journals.lww.com/epidem/Fulltext/2000/01000/Fine_Particles_Are_More_Strongly_Associated_than.4.aspx.
- TERMONIA, P., FISHER, C., BAZILE, E., BOUYSSSEL, F., BROŽKOVÁ, R. et al., 2018. The ALADIN System and its canonical model configurations AROME CY41T1 and ALARO CY40T1. *Geoscientific Model Development*, Vol. 11, s. 257–281. Dostupné z WWW: <https://doi.org/10.5194/gmd-11-257-2018>.
- WU, X., WANG, Y., HE, S., WU, Z., 2020. PM_{2.5} / PM₁₀ ratio prediction based on a long short-term memory neural network in Wuhan, China. *Geoscientific Model Development*, Vol. 13, s. 1499–1511. Dostupné z doi: <https://doi.org/10.5194/gmd-13-1499-2020>. Dostupné také z WWW: <https://gmd.copernicus.org/articles/13/1499/2020/gmd-13-1499-2020.pdf>.
- XU, G., JIAO, L., ZHANG, B., ZHAO, S., YUAN, M. et al., 2017. Spatial and Temporal Variability of the PM_{2.5}/PM₁₀ Ratio in Wuhan, Central China. *Aerosol and Air Quality Research*, Vol. 17, s. 741–751. ISSN 1680-8584 (print), 2071-1409 (online). Dostupné z doi: 10.4209/aaqr.2016.09.0406. Dostupné také z WWW: <https://aaqr.org/articles/aaqr-16-09-0a-0406.pdf>.
- 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/zeni-20220201>.

Lektoři (Reviewers):**doc. RNDr. Iva Hůnová, CSc., Mgr. Peter Huszár, Ph.D.**

Konference GIS Esri v ČR

1. a 2. listopadu 2022

Novinky v geoinformaticce

Konference GIS Esri je největší konferencí věnovanou geoinformaticce v České republice. Vedle využití GIS v inženýrských sítích a veřejné správě patří mezi významná probíraná témata také **dálkový průzkum Země, ochrana přírody a ovzduší, monitoring změny klimatu i hlukové znečištění.**

Letošní konference se bude možné zúčastnit prezenčně i virtuálně.

Zajímá vás, co bylo na konferenci možné vidět v minulosti? Vybrané přednášky z předchozích ročníků, například o roli GIS v Centrálním řídicím týmu COVID-19 nebo o globálních změnách klimatu, si můžete kdykoliv prohlédnout na youtube.com/ArcdataPrahaTV.

Více informací o konferenci a přihlášku naleznete na stránkách www.arcdata.cz.

ARCDATA PRAHA
esri Official Distributor

Partner konference:



Mediační partneři:



COMPUTERWORLD



Meteorologické zprávy



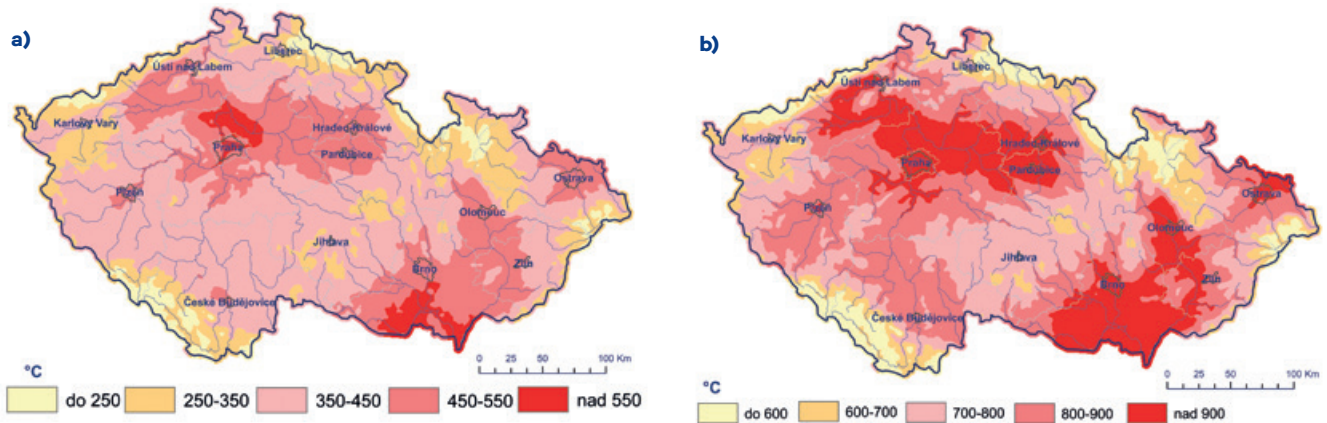
vesmír

POČASÍ A ROSTLINY

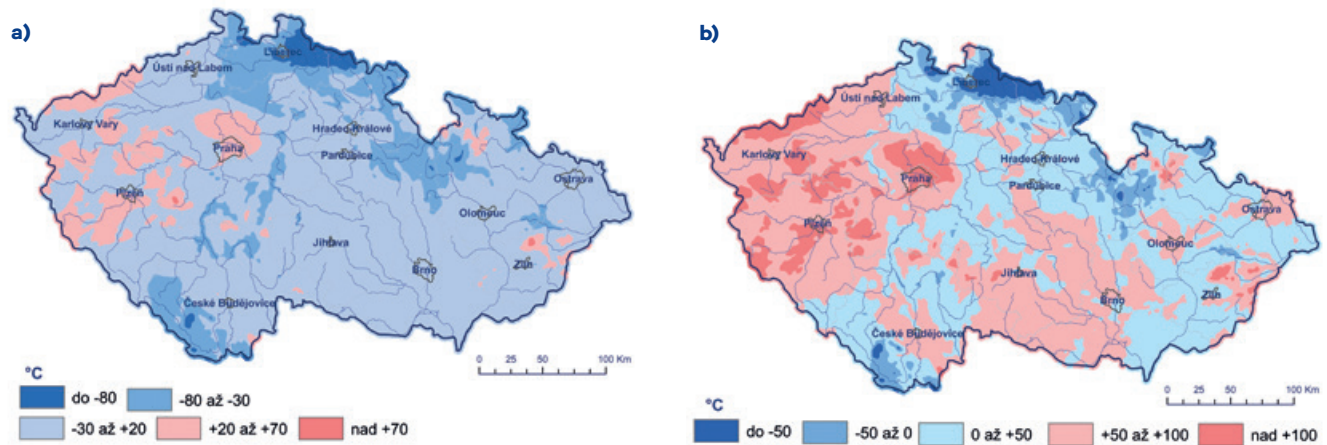
Fenologický vývoj na území ČR v květnu a v červnu 2022

V tomto čísle vyhodnotíme časové období od 1. ledna do 30. června 2022.

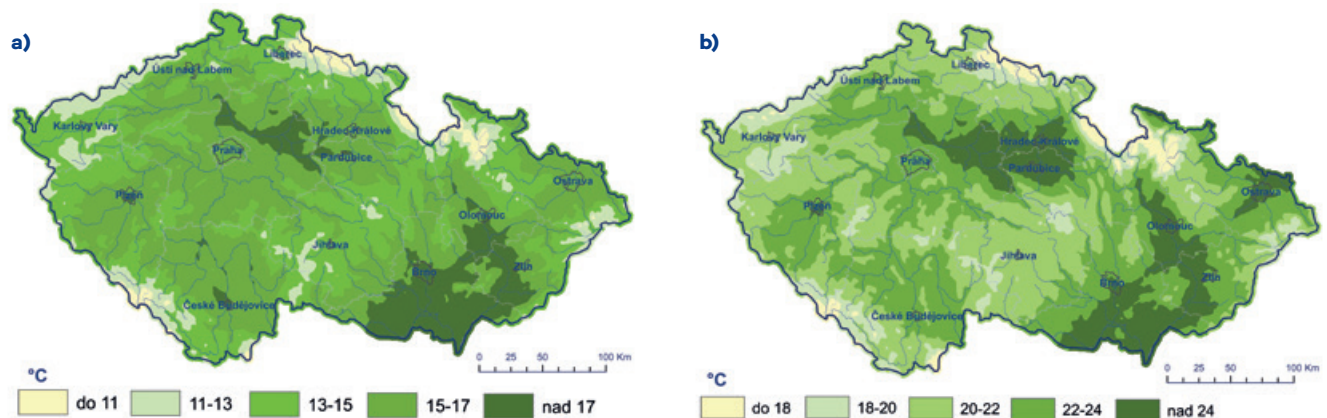
Celkovou sumu efektivních teplot nad 5 °C od 1. 1. 2022 do 31. 5. 2022 a 30. 6. 2022 a její srovnání s normálem 1991–2020 zobrazují následující mapy (obr. 1, 2). Absolutní hodnoty sumy efektivních teplot vzduchu nad 5 °C byly v květnu v rozmezí od 250 do 550 °C (v roce 2021 byly hodnoty v rozmezí 130 až 370 °C), v červnu od 600 do 900 °C (v roce 2021 byly hodnoty v rozmezí 460 až 860 °C). Nejvyšší hodnoty byly naměřeny na jižní a severní Moravě, v Polabské nížině a v části Pooohří. Odchytky od normálu 1991–2020 se v květnu pohy-



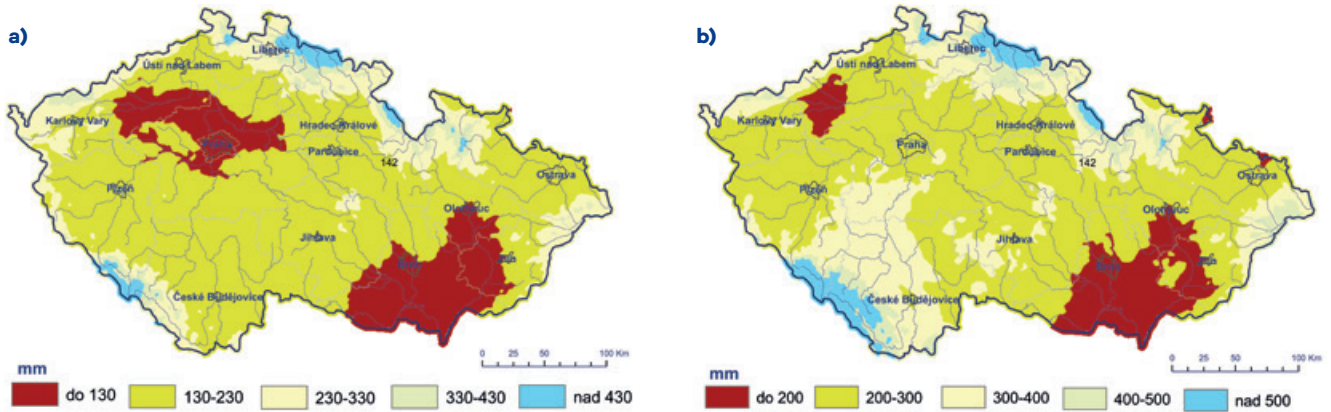
Obr. 1 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C od 1. 1. 2022 do 31. 5. 2022 (a) a do 30. 6. 2022 (b).



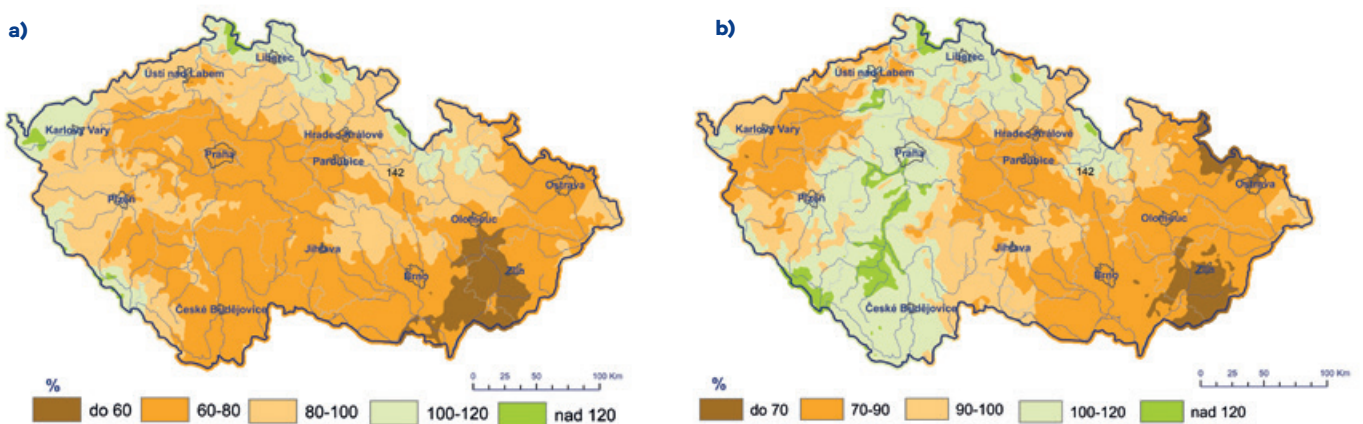
Obr. 2 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C – odchytka od normálu 1991–2020 od 1. 1. 2022 do 31. 5. 2022 (a) a do 30. 6. 2022 (b).



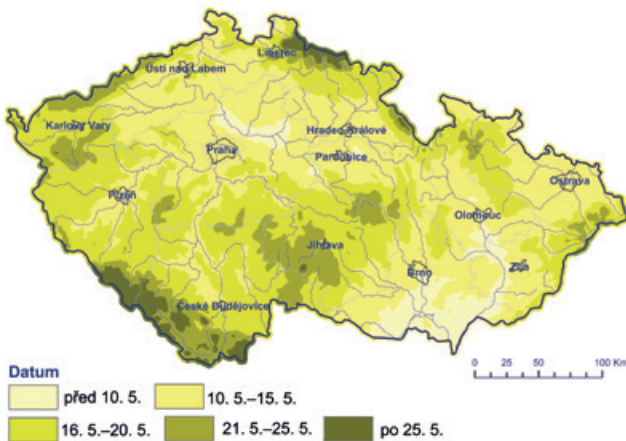
Obr. 3 Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 31. 5. 2022 (a) a 30. 6. 2022 (b).



Obr. 4 Kumulativní úhrn srážek k 31. 5. 2022 (a) a 30. 6. 2022 (b).



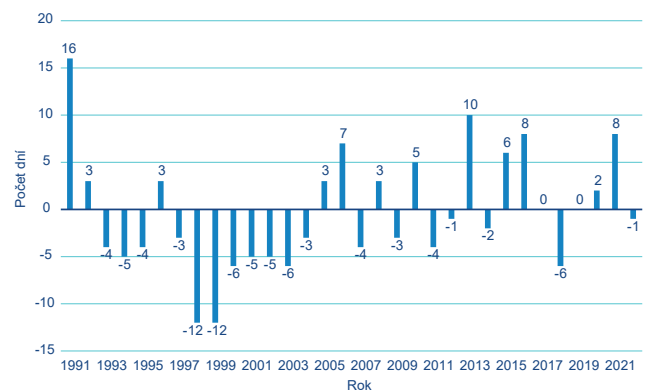
Obr. 5 Kumulativní úhrn srážek (procenta normálu 1991–2020) k 31. 5. 2022 (a) a 30. 6. 2022 (b).



Obr. 6 Počátek kvetení borovice lesní v roce 2022.

bovaly v rozmezí pod -80 až $+70$ °C a v červnu pod -50 až $+100$ °C. V červnu bylo výrazně tepleji a odrazilo se to na rychlosti vývoje vegetace. Nejvyšší kladné odchylky byly v květnu zaznamenány v západních, severních a středních Čechách, na Moravě jen sporadicky. V červnu byly nejvyšší odchylky v západních a severozápadních Čechách, v okolí Prahy a částečně na Zlínsku.

Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 31. 5. 2022 a 30. 6. 2022 je uvedena v obrázku 3. V květnu se průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm pohybovala v rozmezí 11 až 17 °C, v červnu 18 až 24 °C. Při srovnání s rokem 2021



Obr. 7 Počátek kvetení třezalky tečkované (odchylky od průměru 1991–2020) v období 1991–2022 na stanici Mšecké Žehrovice (460 m n. m.).

byly v květnu a červnu hodnoty průměrné denní teploty půdy v 10 cm v rozmezí 10 až 23 °C.

Kumulativní úhrn atmosférických srážek od 1. 1. 2022 do 31. 5. 2022 a 30. 6. 2022 a procentické vyjádření normálu 1991–2020 je vykreslen na obrázku 4 a 5. Nejnižší kumulativní úhrn srážek byl zaznamenán v části Poohří a Polabí a dále na jižní Moravě, Olomoucku a Zlínsku. Ve srovnání s normálem 1991–2020 dosahovaly hodnoty na většině na území 60 až 80 % normálu a na jižní Moravě méně než 60 % normálu. V červnu se vláhová situace mírně vylepšila.



Obr. 8 Květ borovice lesní.

Po výraznějším oteplení začátkem května se vegetace ve svém vývoji rozjela naplno. Byliny jarního aspektu odkvetly a začaly se výrazněji olistovat dřeviny. Ve středních polohách jsme stále mohli vidět rozkvetlé zlatice a blatouchy. V nížinách začaly kvést pryskyřníky, jahodníky, kaštany a šeříky. Rovněž naplno rozkvetly jabloně, hrušně a slivoně trnky. Na polích kvetla řepka ozimá. „Ledoví muži“ nás naštěstí letos nepotrápili a vegetace nebyla již více ohrožena mrazy (zejména rozkvetlé ovocné stromy a později vinná réva). V průběhu května začaly postupně rozkvétat i další dřeviny a byliny (např. akáty, jeřabiny, jehličnany, konvalinky či brusnice borůvky). Jehličnany letos kvetly v extrémní míře a jejich pyl výrazně zatěžoval populaci, pylový semafor byl v době jejich kvetení na nejvyšším stupni. Postupně se plně olistily všechny dřeviny a objevily se první listy rákosu. Začaly fruktifikovat a dozrávat jednotlivé druhy (např. jahody a třešně dozrávaly již začátkem června). U dubu a modřínu se objevily janské výhony (tj. druhý růst výhonů, nastává začátkem léta, když je vývoj normálních jarních výhonů zpravidla ukončen). U dřevin nastávala fenologická fáze tvorba pupenů a dřevnatění výhonů (tj. jarní výhon ztrácí dužnatost, je pevný, méně ohebný, pružný a na jeho povrchu se



Obr. 9 Květ třešalky tečkované.

vyvíjí kůra). V červnu dále kvetly např. šípkové růže, bez černý, kopretiny, svída krvavá, trávy, lípy a třešalky (lidově nazývané svatojánské kvítí).

Vegetace dohnala jarní zpoždění ve svém vývoji již v polovině května, o cca 3–4 týdnů dříve než v roce 2021.

Počasí má bohužel stále významnější negativní vliv na vegetaci vzhledem k vysokému výskytu extrémů v relativně krátkém časovém okamžiku. Od začátku roku byly zaznamenány následující agrometeorologické extrémy: jarní sucho především v nižších polohách, v dubnu se vyskytovaly mrazy již ve vegetačním období a v červnu nás potrápily vlny veder, krupobití a bleskové povodně.

Časový průběh počátku kvetení borovice lesní představuje obr. 6. Počátek kvetení třešalky tečkované (odchyly od průměru 1991–2020) na stanici Mšecké Žehrovice jsou uvedeny na obr. 7.

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

Lenka Hájková

INFORMACE – RECENZE

Rozšíření aerosolového měření v ČR o koncentrace kondenzačních a ledových jader

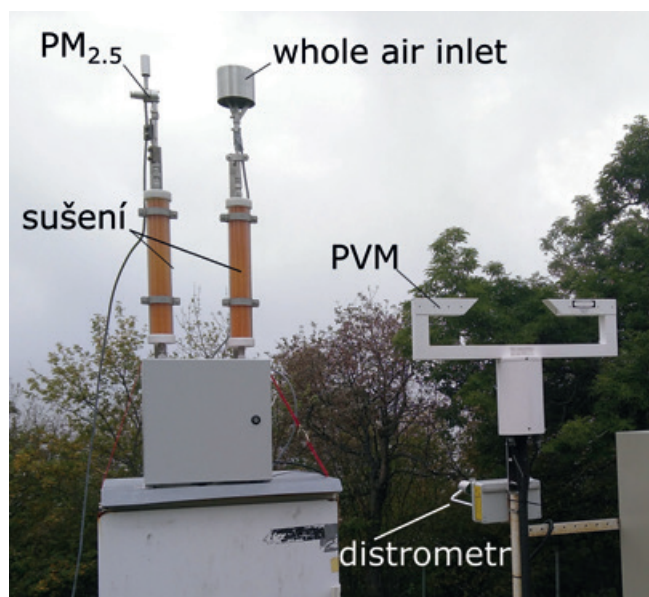
Troposférický aerosol má významný vliv nejen na lidské zdraví, ale také na klimatický systém. V připravované šesté hodnotící zprávě IPCC je s vysokou jistotou připisovaná nejvyšší hodnota efektivního radiačního působení aerosolu právě nepřímému aerosolovému efektu, tedy interakcím atmosférického aerosolu s oblačností, a to -1 [$-1,7$ až $0,3$] $W \cdot m^{-2}$ z celkových $-1,3$ [$-2,0$ až $-0,6$] $W \cdot m^{-2}$. Oproti páté hodnotící zprávě sice narostla hodnota aerosolového působení, ale snížila se celková nejistota odhadu, především díky lepšímu poznání fyzikálních dějů, pokroku v modelování, ale také díky zvýšené intenzitě výzkumu interakcí mezi aerosolem a oblačností. Stále však existuje relativně málo lokalit, kde se provádí dlouhodobé pozemní měření oblačnosti in-situ.

V rámci evropské výzkumné infrastruktury ACTRIS (Aerosol, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure) proto vzniklo nové tematické centrum pro měření fyzikálních a chemických vlastností oblaků – Centre for Cloud In Situ Measurements (CIS). Do CIS vstoupila i ČR, v plánu jsou měření na dvou stanicích – Milešovka a Národní atmosférická observatoř Košetice – a měřeny budou jak koncentrace kondenzačních, tak i ledových jader.

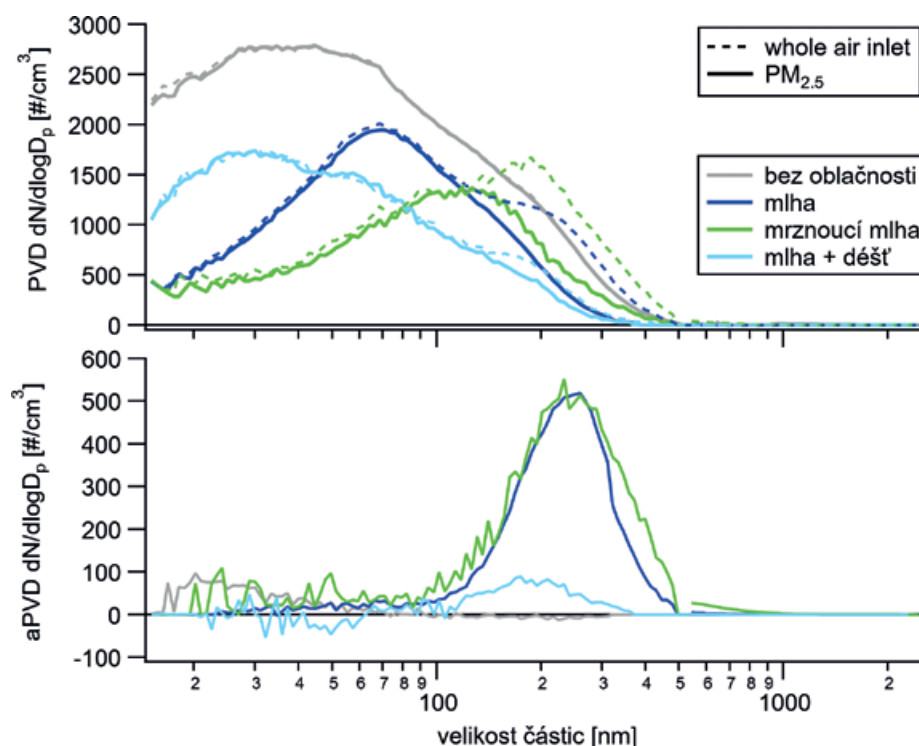
Koncentrace kondenzačních jader

Interakce mezi aerosolem a oblačností mohou být pozorovány i u mlhy, resp. nízké oblačnosti. Příkladem stanice vhodné k takovému výzkumu je observatoř Milešovka, kde se mlha vyskytuje více než 50 % dní v roce. V letech 2018 až 2020 byla na Milešovce ve spolupráci Ústavu chemických procesů a Ústavu fyziky atmosféry AV ČR a s podporou tříletého grantu měřena početní velikostní distribuce kondenzačních jader a jejich vliv na aktivaci do oblačných kapiček.

Koncentrace kondenzačních jader byly měřeny díky dvěma různým odběrovým hlavám, které byly přepínány pomocí trojcestného ventilu. Vzorkována tak byla buď jen frakce $PM_{2.5}$, tedy aerosol o velikostech 2,5 μm nebo menší, nebo byl nasáván aerosol i s oblačnými kapičkami v tzv. whole air inletu (WAI), který vzorkoval vše do velikosti 30 μm . Za oběma odběrovými hlavami bylo umístěno sušení, aby byla ze vzorku odstraněna voda, a vzorek putoval do klimatizovaného kontejneru, kde byla umístěna soustava spektrometrů SMPS a APS (Scanning Mobility Particle Sizer a Aerodynamic Particle Sizer), viz obr. 1.



Obr. 1 Měření koncentrací kondenzačních jader a doprovodná měření na Milešovce.



Obr. 2 Početní velikostní distribuce (PVD) aerosolu o velikostech 15 nm až 2,5 μm měřené odběrovými hlavami $PM_{2.5}$ a WAI (horní graf) a z jejich rozdílu vypočtená PVD kondenzačních jader při výskytu jednotlivých typů hydrometeorů (spodní graf).

Díky spektrometrům byly měřeny koncentrace aerosolu ve velikostech od 10 nm do 20 μm a z rozdílu koncentrací naměřených oběma odběrovými hlavami bylo možné vypočítat celkové množství a podíl aktivovaných jader z celkového počtu aerosolu v daném velikostním intervalu (obr. 2).

Bylo tak možné studovat aktivaci aerosolu při mlze a dešti se sníženou viditelností, naopak při kouřmu nebyla aktivace pozorována. Při mlze bylo aktivováno více než 90 % částic aerosolu větších než 450 nm, nejmenší aktivované částice měřily 130 nm (Zíková et al. 2020). V závislosti na relativní vlhkosti byly pozorovány různě stabilní rychlosti a efektivita aktivace, s mírnou závislostí na typu vzduchové hmoty a silnou závislostí na kapalném vodním obsahu (Zíková et al. 2021).

Koncentrace ledových jader

Měření koncentrací ledových jader v atmosféře je obtížnější než měření jader kondenzačních už jen z hlediska jejich koncentrace (cca 1 jádro v litru vzduchu). Aktivita ledových jader je navíc závislá na teplotě. Většina experimentů proto zatím probíhala pouze v laboratorních podmínkách a existuje jen několik dostupných přenosných přístrojů. Jedním z nich je Portable Ice Nucleation Experiment (PINE), což je přenosná expanzní komora, která dokáže určit koncentrace ledových jader při teplotách mezi -10 a -40 °C (Möhler et al. 2021). První měření koncentrací ledových jader touto komorou proběhlo na stanici Košetice na jaře 2021. Výsledky se zpracovávají a na jejich základě vzniká jednak vědecká studie, jednak byla obhájena bakalářská práce na ÚŽP PřF UK.

Související měření

Důležitou součástí výzkumu interakce aerosolu s oblačností je detailní popis oblačných a srážkových částic. Početní velikostní distribuce srážkových částic se měří na Milešovce i v Košetících pomocí distrometru (Laser Precipitation Monitor) od firmy Thies Clima. Ten detekuje druh padajících srážek, měří jejich intenzitu, velikost a pádovou rychlost. Na Milešovce probíhalo od roku 2001 in-situ měření kapalného vodního obsahu a střední velikosti oblačných kapiček přístrojem PVM-100 (Particulate Volume Monitor) od firmy Gerber Scientific Inc. (Fišák, Weignerová 2004). V Košetících je aktuálně instalováno měření velikostní distribuce oblačných kapiček přístrojem FM-120 (Fog Monitor) od firmy Droplet measurement technologies. Oblačný radar Mira 35c od firmy METEK na Milešovce je užitečným zdrojem doplňkových informací o výskytu oblačných a srážkových částic ve vertikálním profilu nad vrcholem Milešovky, o jejich vertikální rychlosti, druzích hydrometeorů (Sokol et al. 2018), nebo vodním obsahu.

Při analýze dat a interpretaci výsledků se na obou stanicích vyu-

žívají i údaje z automatického měřicího systému, které kromě hodnot základních meteorologických prvků obsahují také záznamy z detektoru počasí PWD52 od firmy Vaisala.

Výhled do blízké budoucnosti

V následujících letech by se mělo přístrojové vybavení obou stanic doplnit tak, aby bylo možné měřit jak kondenzační, tak ledová jádra. V Košetcích je plánován nákup expanzní komory PINE. Na Milešovku je plánován nový přístroj na měření kapalného vodního obsahu a spektra oblačných kapiček a expanzní komora.

Doufáme, že rozšířená měření umožní širší zapojení dalších vědeckých týmů a institucí s novými tématy, stejně jako studentů – ať už bakalářského či magisterského studia, nebo doktorandů.

Poděkování:

Príspevek vznikl za finanční podpory GAČR, v rámci projektu GJ18-15065Y.

Literatura:

- FIŠÁK, J., WEIGNEROVÁ, V., 2004. Závislost koncentrací polutantů ve vzorcích mlžné vody na vodním obsahu a celkovém povrchu kapiček vody v mlze. *Meteorologické zprávy*, roč. 57, č. 1, s. 11–14. ISSN 0026-1173.
- MÖHLER, O. et al., 2021. The Portable Ice Nucleation Experiment (PINE): A new online instrument for laboratory studies and automated long-term field observations of ice-nucleating particles. *Atmospheric Measurement Techniques*, Vol. 14(2), s. 1143–1166. ISSN 1867-8548.
- SOKOL, Z., MINÁŘOVÁ, J., NOVÁK, P., 2018. Classification of Hydrometeors Using Measurements of the Ka-Band Cloud Radar Installed at the Milešovka Mountain (Central Europe). *Remote Sensing*, Vol. 10(11), 1674. ISSN 2072-4292.
- ZÍKOVÁ, N., POKORNÁ, P., MAKEŠ, O., SEDLÁK, P. et al., 2020. Activation of atmospheric aerosols in fog and low clouds. *Atmospheric Environment*, Vol. 230, 117490. ISSN 1352-2310.
- ZÍKOVÁ, N., POKORNÁ, P., MAKEŠ, O., ROTREKL, J., SEDLÁK, P. et al., 2021. Variability in activation properties in relation to meteorological phenomena. *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 22(10), s. 2565–2579. ISSN 1525-7541.

Naděžda Zíková, Pavel Sedlák

Jacek Kerum – osobnost čs. letectví



RNDr. Jacek Kerum.
Foto: Archiv J. Keruma

Na květnovém zasedání podvýboru pro letectví a vesmírný program bylo Radou pro udělování ocenění osobností čs. letectví hospodářského výboru Poslanecké sněmovny Parlamentu ČR předáno ocenění panu RNDr. Jacku Kerumovi. Ocenění s názvem „Osobnost čs. letectví pro rok 2021“ spolu s čestným odznakem č. 111 převzal dr. Kerum společně s dalšími osmi oceněnými osobnostmi dne 25. května 2022 při příležitosti 14. slavnostního vyhlá-

šování této ceny za celoživotní činnost pro čs. letectví. Ocenění Jacka Keruma se konkrétně týká jeho mnohaletého působení ve vojenské a civilní meteorologii, v Ústavu fyziky atmosféry Akademie věd České republiky a jeho předsednictví ve sportovní komisi Aeroklubu ČR.

Připomeňme, že tento přední český odborník v oboru letecké meteorologie a aktivní pilot pracoval v letech 1976 až 1991 také v Českém hydrometeorologickém ústavu. Od roku 1976 na pozici meteorologa-synoptika letecké meteorologické služebny na letišti v Praze-Ruzyni a v období let 1983 až 1991 byl vedoucím zkušebny meteorologických přístrojů v rámci odboru přístrojové techniky ČHMÚ. Profesionální specializací oceněného je mj. meteorologické zabezpečení sportovního letectva a letů v malých výškách, metrologie, metodika a automatizace meteorologického měření, metodika měření a pozorování meteorologických prvků. Pan Kerum zájmově létá jako pilot a instruktor kluzáků a motorových kluzáků v Aeroklubu České republiky a od roku 1998 působí jako odborný pracovník Ústavu fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i. Nelze opomenout jeho významnou pedagogickou činnost v Letecké škole Řízení letového provozu na Ruzyni a v Ústavu letecké dopravy Dopravní fakulty ČVUT.



Ocenění pro osobnosti českého letectví pro rok 2021 na slavnostním vyhlášení v Poslanecké sněmovně Parlamentu ČR dne 25. května 2022. Skleněnou plastiku a pamětní odznak převzal také RNDr. Jacek Kerum za celoživotní činnost ve vojenské a civilní meteorologii. Zdroj: Klub leteckých novinářů.

Na působení pana Keruma ve vojenské meteorologii mám osobní vzpomínku, kdy na začátku 90. let minulého století s předstihem a inovativně zaváděl na letišti v Praze-Kbelích mezinárodní civilní normy pro meteorologické zabezpečení letectví. Právě zkušenosti ze zabezpečení létání v civilním i vojenském prostředí, perfektní znalost mezinárodních norem, praxe leteckého instruktora, bohatá lektorská činnost a osobní angažovaný přístup, patrný např. v neúnavném vysvětlování nebezpečných meteorologických jevů pro letectví, předurčily, že se dr. Kerum stal významným a vyhledávaným odborníkem a osobností v oboru mnohem dříve, než oficiálně přijal výše uvedené ocenění.

René Tydlitát

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. Kašpar, 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

E. Plavcová, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, Česká 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:

COLORA PrintHouse s. r. o., Husova 373/29, 757 01 Valašské Meziříčí

ISSN 0026-1173

Registrační číslo MK ČR E 5107

© Meteorologické zprávy, Český hydrometeorologický ústav

VEŘEJNÁ SPECIALIZOVANÁ KNIHOVNA ČHMÚ

Zahraniční časopisy odebírané specializovanou knihovnou ČHMÚ – výběr:

BAMS – USA

Climatic Change – Nizozemsko

Danube Watch – Rakousko

ECMWF – Velká Británie

ICAO Journal – Kanada

Időjárás – Maďarsko

International Journal of Climatology – Velká Británie

Journal of Applied Meteorology and Climatology – USA

Journal of the Atmospheric Sciences – USA

Journal of Hydrology and Hydromechanics – Slovensko

Journal of the Meteorological Society of Japan – Japonsko

La Météorologie – Francie

Meteorologický časopis (Meteorological Journal) – Slovensko

Meteorologische Zeitschrift – Německo

Monthly Weather Review – USA

Promet – Německo

Przegląd geograficzny – Polsko

Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society – Velká Británie

Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography – Dánsko

Tellus B: Chemical and Physical Meteorology – Dánsko

Vodohospodársky spravodajca – Slovensko

Weather – Velká Británie

Weather and Forecasting – USA

WMO Bulletin – Švýcarsko

<http://biblio.chmi.cz/>

Kontakt:

Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17

143 06 Praha 4-Komořany, tel.: 244 032 723, 244 032 733