

Meteorologické zprávy

ROČNÍK
78–2025

4

- 97 Měření celkového ozonu v Reykjavíku na Islandu pomocí Brewerova spektrofotometru**
Klára Čížková – Ladislav Metelka – Kamil Láška – Martin Staněk – Sibylle von Löwis
– Árni Sigurðsson
- 106 Obtížně předpovídané mrznoucí srážky 23. až 29. ledna 2023**
Marie Glofáková – Eva Houbová
- 112 Zpráva Světové meteorologické organizace o stavu klimatu ve světě v roce 2024**

Meteorological
Bulletin

Český
hydrometeorologický
ústav



**97 Total ozone observations in Reykjavík, Iceland,
using a Brewer spectrophotometer**

Klára Čížková – Ladislav Metelka – Kamil Láška – Martin Staněk
– Sibylle von Löwis – Árni Sigurðsson

**106 Difficult to predict freezing precipitation from
23 to 29 January 2023**

Marie Glofáková – Eva Houbová

**112 The WMO report on the Status
of the Global Climate in 2024**

Rozšiřuje – Free booking:

Český hydrometeorologický ústav, oddělení publikačních a informačních služeb
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, tel.: 244 032 721, 244 032 722

Czech Hydrometeorological Institute, Publications and Information Services Department
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Prague 4, Czech Republic, Phones: (+420) 244 032 721, (+420) 244 032 722

Měření celkového ozonu v Reykjavíku na Islandu pomocí Brewerova spektrofotometru

Total ozone observations in Reykjavík, Iceland, using a Brewer spectrophotometer

Klára Čížková

Český hydrometeorologický ústav
Solární a ozonová observatoř
Zámeček 456, 500 08 Hradec Králové;
Masarykova univerzita
Přírodovědecká fakulta
Geografický ústav
Kotlářská 267/2, 611 37 Brno
✉ klara.cizkova@chmi.cz

Ladislav Metelka

Český hydrometeorologický ústav
Solární a ozonová observatoř
Zámeček 456, 500 08 Hradec Králové

Kamil Láška

Masarykova univerzita
Přírodovědecká fakulta
Geografický ústav
Kotlářská 267/2, 611 37 Brno

Martin Staněk

Český hydrometeorologický ústav
Solární a ozonová observatoř
Zámeček 456, 500 08 Hradec Králové

Sibylle von Löwis

Islandský meteorologický ústav
oddělení infrastruktury
Bústaðavegur 7-9, 105 Reykjavík

Árni Sigurðsson

Islandský meteorologický ústav
oddělení infrastruktury
Bústaðavegur 7-9, 105 Reykjavík

The monitoring of total ozone and solar ultraviolet (UV) radiation in Reykjavík, Iceland, has been performed using an automated Brewer spectrophotometer (B199) since August 2021. A manual Dobson spectrophotometer (D050) has been in operation since the 1950s. The aim of the study was to compare the measurements of the two instruments and to assess the variability of total column ozone (TOC) in 2021–2024. The mean absolute and relative difference in the TOC measurements, defined as $TOC_{DOB} - TOC_{BRE}$, was -1.1 Dobson Units (DU, -0.35 %). After applying a correction for the effective

temperature of the ozone layer, the difference decreased to -0.8 DU (-0.26 %). The differences exhibited an annual cycle: in autumn and spring, the Dobson spectrophotometer underestimated total ozone, while in February and in summer, a slight overestimation was observed. February discrepancies were likely related to a frequent use of the Global Irradiance (GI) measurement mode in the Brewer spectrophotometer, which was associated with the largest positive differences between the two instruments. A statistically significant correlation was also found between relative differences, sulphur dioxide concentrations and atmospheric optical mass. During the study period, total ozone followed a standard annual course with maxima in spring and minima in autumn.

KLÍČOVÁ SLOVA: Arktida – spektrofotometr Brewerův – spektrofotometr Dobsonův – Island – ozon – oxid siřičitý – optická hmota atmosféry

KEYWORDS: Arctic – Brewer spectrophotometer – Dobson spectrophotometer – Iceland – ozone – sulphur dioxide – optical air mass

1. Úvod

Ochrana ozonové vrstvy, která absorbuje značnou část UV záření dopadajícího na zemský povrch, představuje jeden z prvních případů globální environmentální spolupráce založené na vědeckém konsenzu. Již v 80. letech minulého století byl v oblasti Antarktidy zaznamenán výrazný úbytek stratosférického ozonu v jarních měsících, který byl záhy spojen s působením antropogenních látek s obsahem chloru a bromu, známých jako freony a halony (Chubachi 1985; Farman et al. 1985; Solomon et al. 1986). Na základě těchto zjištění bylo používání látek poškozujících ozonovou vrstvu zakázáno či výrazně omezeno Montrealským protokolem z roku 1987 a jeho četnými dodatky. I přes jisté počáteční známky obnovy (např. Solomon et al. 2016) se však ozonová anomálie nad Antarktidou každoročně vyskytuje i v současnosti.

I když úbytek ozonu v jarním období způsobený aktivací látek poškozujících ozonovou vrstvu na částicích polárních stratosférických oblaků není v Arktidě tak výrazný jako v Antarktidě, v posledních desetiletích několikrát došlo

k výraznému ztenčení ozonové vrstvy, například v letech 1997, 2011 a 2020. V těchto letech byl v Arktidě pozorován pokles množství ozonu i o více než 40 % vůči dlouhodobému průměru, rekordní březnové minimum 221 DU bylo zaznamenáno v roce 2020 (Dameris et al. 2021). Úbytek byl způsoben pravděpodobně kombinací chemických a dynamických příčin, kdy vlivem velmi silného stratosférického polárního víru došlo k zablokování transportu ozonu z nižších zeměpisných šířek (např. Petkov et al. 2023). Je možné, že probíhající klimatické změny mohou zvýšit pravděpodobnost výskytu podobných událostí v budoucnosti (Chipperfield a Jones 1999).

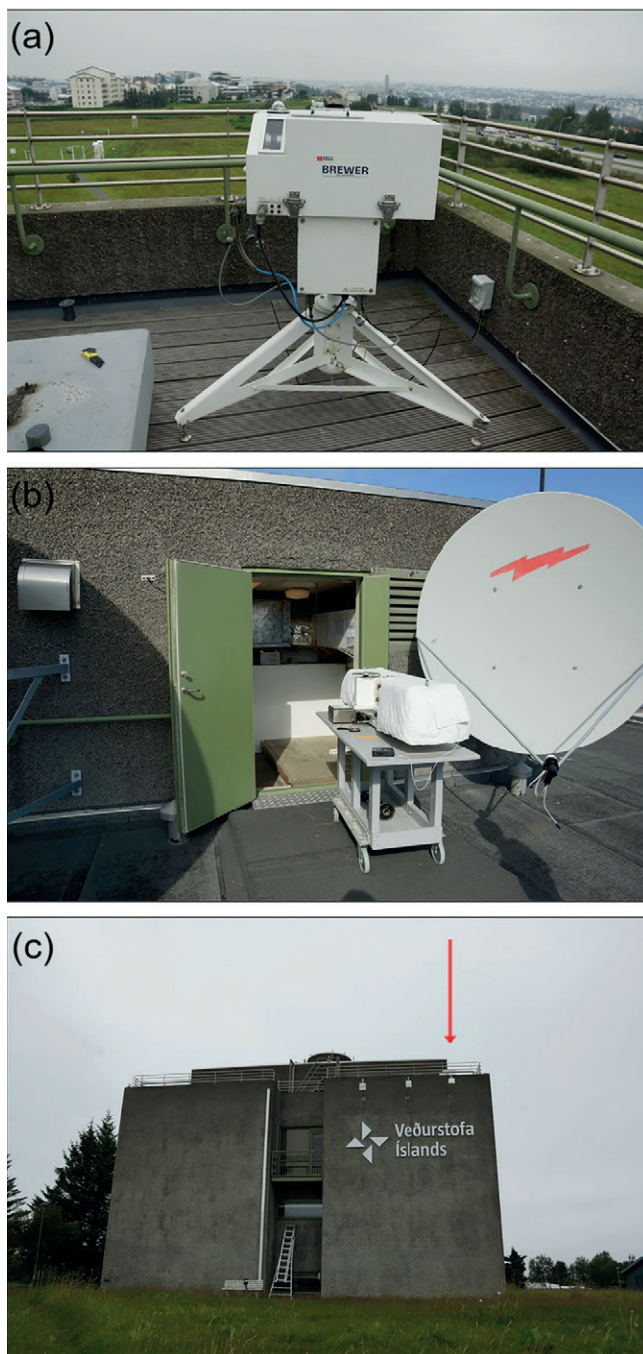
Sledování množství ozonu v severních polárních a subpolárních oblastech je z tohoto důvodu stále velmi důležité, a to jak s použitím pozemních, tak i satelitních přístrojů. Od roku 2021 k tomuto úkolu ČHMÚ přispívá měřením celkového ozonu a UV slunečního záření v islandském Reykjavíku pomocí Brewerova spektrofotometru, který je v současnosti považován za nejpřesnější přístroj pro monitorování těchto parametrů. Cílem této studie je porovnání měření Brewerova a Dobsonova spektrofotometru v Reykjavíku za období 2021–2024 včetně provedení opravy na efektivní teplotu ozonové vrstvy a zhodnocení vývoje celkového ozonu ve studovaném období na základě měření Brewerova spektrofotometru.

2. Data a metodika

2.1 Brewerův spektrofotometr č. 199

Brewerův spektrofotometr je v současnosti nejpřesnější, plně automatický přístroj pro měření ozonu a UV záření. Měření celkového sloupce ozonu (TOC) probíhají na základě spektrofotometrického principu založeného na Lambert-Beerově zákoně, který využívá různé absorpce UV slunečního záření na čtyřech odlišných vlnových délkách (více viz např. Vaníček et al. 2011). Tato pozorování jsou možná zejména v režimech Direct Sun (DS, použití přímého slunečního záření), Zenith Sky (ZS, rozptýlené záření ze směru od zenitu), a Global Irradiance (GI, globální záření). V režimu Focused Moon (FM) lze využít i měsíčního svitu, pokud je fáze měsíce blízká úplňku. Za nejlepší je považována metoda DS, která může dosáhnout přesnosti $\pm 1\%$, tu lze ale využít jen v případě viditelného slunečního disku. V případě ZS měření přesnost podle Kerra (2010) klesá na přibližně $\pm 2\%$. Více informací včetně podrobného popisu metody GI je obsaženo například v práci od Bernetové et al. (2023). Intenzita UV slunečního záření se měří jako množství záření dané vlnové délky dopadajícího na horizontální teflonový difúzor. Měření celého spektra trvá přibližně 3–7 minut v závislosti na použitých vlnových délkách a jeho přesnost dosahuje přibližně $\pm 3\%$ (Kerr 2010). Přístroj je dále schopný zaznamenat množství oxidu siřičitého (SO_2) s přesností přibližně 1–2 DU, lze odvodit i optickou hmotu aerosolů na 320 nm (AOD_{320}).

Český hydrometeorologický ústav vlastní tři Brewerovy spektrofotometry, a to č. 184 a č. 098, které jsou umístěny na střeše Solární a ozonové observatoře v Hradci Králové, a Brewerův spektrofotometr č. 199 (dále B199) vyčleněný pro měření ozonu a UV záření v polárních oblastech. B199 měří v oblasti vlnových délek 286,5–363,0 nm s krokem 0,5 nm. Je to přístroj verze Mark III, je tedy vybaven dvojím monochromátorem, který minimalizuje množství rozptýleného světla uvnitř přístroje.



Obr. 1 Přístroje pro měření celkového ozonu: (a) Brewerův spektrofotometr č. 199 a (b) Dobsonův spektrofotometr č. 050. Měření probíhají na střeše budovy Islandského meteorologického ústavu (c). Červená šipka znázorňuje umístění přístroje B199. Foto: Martin Staněk, ČHMÚ.

Fig. 1. Instruments for total column ozone observations: (a) the B199 Brewer spectrophotometer and (b) the D050 Dobson spectrophotometer. Measurements are taken on the roof of the Icelandic Meteorological Office building (c). The red arrow points to the location of the B199. Photo: Martin Staněk, Czech Hydrometeorological Institute.

Měření v UV oblasti spektra jsou z tohoto důvodu mnohem kvalitnější než ta, která jsou prováděna přístroji s pouze jedním monochromátorem (Kerr 2010).

V období od února 2010 do ledna 2020 byl B199 instalován na stanici Marambio v Antarktidě, kde byla vykonávána měření TOC, ozonových profilů a spektrálního UV slunečního záření (např. Čížková et al. 2023). Po stažení z Antarktidy do ČR prošel přístroj důkladnou údržbou, načež byl v srpnu roku 2021 převezen na Island, kde je v současnosti umístěn v jižní části střechy budovy Islandského meteorologického ústavu (IMO) v Reykjavíku (obr. 1a, c). Island byl vybrán z důvodu nedostatečného pokrytí regionu sítí Brewerových spektrofotometrů a kvůli své poloze na okraji severního polárního víru. Do instalace B199 na Islandu nebyl v oblasti severního Atlantiku mezi Grónskem a Skandinávií v provozu žádný jiný Brewerův spektrofotometr.

B199 je v souladu s platnými směrnici kalibrován každé dva roky pomocí cestovního standardu B017, poslední kalibrace proběhla v Reykjavíku v červnu 2025. Dále je každoročně prováděna kalibrace měření intenzity spektrálního UV záření za použití tří až pěti 50 W cestovních lamp. V současnosti přístroj poskytuje měření TOC, spektrálního UV slunečního záření, SO_2 a AOD_{320} v období přibližně od poloviny února do konce října. Příliš vysoký zenitový úhel Slunce (SZA) v zimních měsících (období od 5. 11. do 4. 2.) neumožňuje využití spektrofotometru s výjimkou režimu FM.

2.2 Dobsonův spektrofotometr č. 050

Dobsonův spektrofotometr je přístroj pro manuální měření ozonu založený na spektrofotometrickém principu (Dobson 1968). První přístroje tohoto typu byly zkonstruovány již ve 20. letech 20. století a poskytují tak nejdelší dostupné kontinuální řady pozorování TOC na světě. Intenzita dopadajícího UV slunečního záření se měří na několika dvojicích vlnových délek, přičemž vždy na jedné vlnové délce z každého páru je sluneční záření absorbováno ozonem silně, na druhé slabě. Pomocí vzorce prezentovaného například v práci od Stübiho et al. (2021) je následně dopočítán TOC. Přístroj funguje v režimech Direct Sun (DS – využití přímého slunečního záření), Zenith Blue (ZB – využití rozptýleného záření z bezoblačné oblohy ve směru od zenitu), a Zenith Cloud (ZC – stejně jako ZB, ale za přítomnosti oblačnosti v zenitu). Na rozdíl od Brewerova spektrofotometru, zejména verzí s dvojím monochromátorem, trpí měření TOC pomocí Dobsonova spektrofotometru přítomností rozptýleného světla uvnitř přístroje a závislostí na efektivní teplotě ozonové vrstvy, proto se jeho přesnost pohybuje kolem $\pm 2\text{--}4\%$ a bývají pozorovány její sezónní změny (např. Vaníček 2006; Voglmeier et al. 2024). Ještě výraznější odchylky jsou zaznamenány při SZA nad 75° (Komhyr et al. 1989).

Dobsonův spektrofotometr č. 050 (dále D050) funguje na Islandu od roku 1957. Tento přístroj je podobně jako B199 umístěn na střeše budovy IMO (obr. 1b) a pozorování TOC jsou vykonávána zaměstnanci této organizace. V současnosti je přibližně v poledních hodinách prováděno jedno měření TOC denně, a to i v zimním období. Údržba přístroje je prováděna pracovníky IMO dle platných směrnic (Bjarnason et al. 1993).

2.3 Oprava na efektivní teplotu ozonové vrstvy

Přesnost měření TOC Dobsonovým spektrofotometrem je závislá na efektivní teplotě ozonové vrstvy (T_{eff}), která je definována jako integrál vertikálního profilu teploty vzduchu vážený vertikálním profilem koncentrace ozonu a jejíž referenční hodnota pro využití při měření Dobsonova spektrofotometru je

$-46,3^\circ\text{C}$ (Vaníček et al. 2011). T_{eff} se ale ve skutečnosti může od referenční hodnoty poměrně výrazně lišit, například na Islandu se v období 2021–2024 pohybovala od přibližně -38°C v letním období po -73°C v lednu 2023. Závislost měření TOC z Dobsonova spektrofotometru na T_{eff} byla při použití statických absorpčních koeficientů ozonu (Bass a Paur 1985) stanovena na $0,133\%$ na 1°C T_{eff} (Redondas et al. 2014), korekce na skutečnou T_{eff} proto vypadá následujícím způsobem:

$$\text{Korekce } (\%) = 0,133 (T_{\text{eff}} - 46,3). \quad [1]$$

Pro opravu měření TOC z Dobsonova spektrofotometru jsou často využívány dlouhodobé klimatologické průměry T_{eff} pro stanice ve vysokých zeměpisných šířkách je ale vzhledem ke značné meziroční variabilitě efektivních teplot vhodnější využití časových řad založených na pozorovaných či reanalizovaných hodnotách. Podobně jako v článku od Vogelmeiera et al. (2024) byla pro opravu na efektivní teplotu v této práci využita časová řada služby TEMIS (z angl. Tropospheric Emission Monitoring Internet Service), která je založena na datech z Evropského centra pro střednědobé předpovědi počasí ECMWF (Van der A et al. 2010).

2.4 Přiřazení měření celkového ozonu z Brewerova a Dobsonova spektrofotometru

Za účelem porovnání měření TOC v islandském Reykjavíku v období 2021–2024 bylo ke každému měření D050 přiřazeno nejbližší měření B199. Aby nedošlo k ovlivnění proměnlivostí TOC na stanici, časový interval mezi měřeními nesměl přesáhnout ± 60 minut a SZA u žádného z měření nesměl být vyšší než 80° . U vyšších SZA totiž dochází z důvodu rozptýleného světla a větší optické hmoty atmosféry u měření Dobsonovým spektrofotometrem k nepřesnostem přesahujícím $\pm 2\%$ (Bernhard et al. 2005). V případě Brewerova spektrofotometru byla preferována měření v režimu DS, pokud nebyla pro daný časový interval k dispozici, bylo přiřazeno měření v režimu ZS nebo GI. FM měření nebyla brána v potaz.

Pro každou z takto získaných dvojic měření byly s využitím původních měření D055 i hodnot opravených na efektivní teplotu ozonové vrstvy vypočítány rozdíly, a to absolutní ($\text{D050} - \text{B199}$) i relativní $(\text{D050} - \text{B199}) / \text{B199}$. Všechny 18 dvojic měření, jejichž rozdíl přesahoval i po opravě na efektivní teplotu ± 50 DU, bylo odstraněno ze studovaného souboru, protože na základě porovnání s družicovými daty byla předpokládána chyba měření jednoho z přístrojů. Tímto způsobem bylo pro období 2021–2024 získáno 826 párů měření TOC přístroji B199 a D050.

Dále byly pro původní i opravená měření z D050 vypočteny základní statistické charakteristiky (např. průměr, kvantily, směrodatná odchylka) a chybové statistiky, jako například absolutní a relativní střední kvadratická chyba (RMSE) a Pearsonův korelační koeficient (r). Statistická významnost byla vždy posuzována na hladině $\alpha = 0,05$. Hodnocen byl vliv opravy na efektivní teplotu ozonové vrstvy, sezónní změny rozdílů mezi přístroji, ale i vliv režimu měření a proměnných jako SZA, optická hmota atmosféry, či množství SO_2 .

3. Výsledky a diskuse

3.1 Vliv opravy na efektivní teplotu ozonové vrstvy

Průměrný absolutní rozdíl mezi TOC naměřeným B199 a D050 činil před opravou na efektivní teplotu ozonové vrstvy $-1,10 \pm 12,16$ DU, což představuje relativní rozdíl $-0,35 \pm 3,58$ %. Po zmíněné opravě tento rozdíl klesl na $-0,82 \pm 11,61$ DU, resp. $-0,26 \pm 3,37$ %. Oba uvedené rozdíly jsou statisticky významné (tab. 1) U přístroji D050 tedy dochází k mírnému podhodnocení TOC naměřeného B199, které se po aplikaci opravy na efektivní teplotu ozonové vrstvy zmírňuje, ale zcela nemizí. Po provedení opravy je možné sledovat mírné zlepšení i v případě většiny ostatních statistických charakteristik uvedených v tab. 1. Aplikaci opravy došlo rovněž ke snížení korelačního koeficientu mezi relativním rozdílem TOC a efektivní teplotou ozonové vrstvy, a to přibližně o polovinu (obr. 2).

Tab. 1 Základní statistické charakteristiky pro absolutní a relativní rozdíly mezi TOC naměřeným přístroji B199 a D050, v případě D050 před i po provedení opravy na efektivní teplotu ozonové vrstvy. Minimum a maximum nebyly z důvodu ovlivnění definicí odlehklých hodnot zahrnuty.

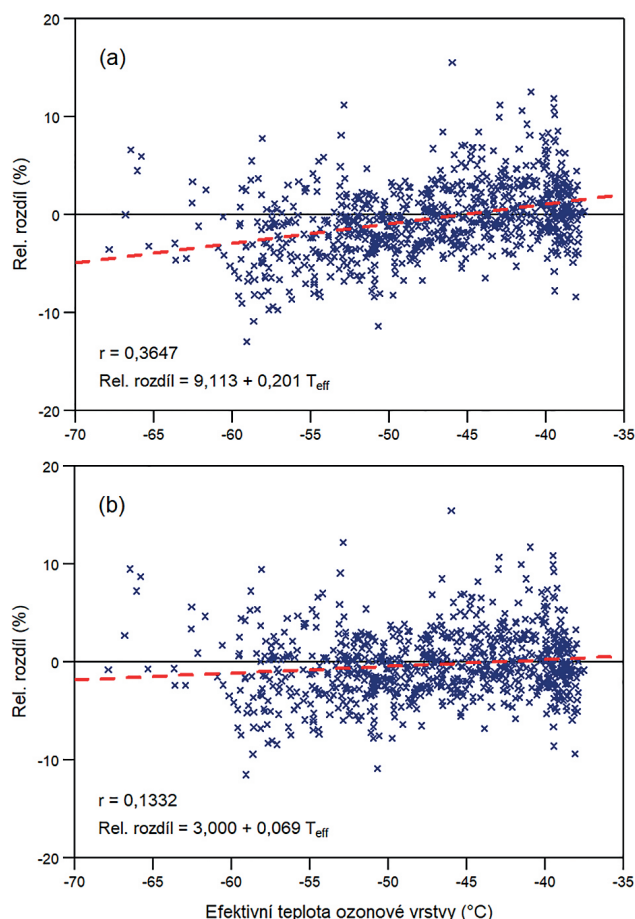
Table 1. Basic statistical characteristics of the absolute and relative differences between TOC measured by B199 and D050, in the case of D050 both before and after the application of the effective ozone layer temperature. Due to the removal of outliers, minimum and maximum were not included in this table.

Charakteristika	Absolutní (DU)		Relativní (%)	
	Neopravené	Opravené	Neopravené	Opravené
Průměr	-1,10	-0,82	-0,35	-0,26
Q10	-15,60	-14,16	-4,47	-4,10
Q25	-9,10	-8,35	-2,60	-2,46
Q75	6,78	6,04	1,92	1,78
Q90	13,05	13,19	3,73	3,78
Sm. odch.	12,16	11,61	3,58	3,37
RMSE	12,20	11,63	3,46	3,29
r	0,974	0,976	–	–
t-test (p)	0,009	0,042	–	–

K podobným výsledkům došli i další studie, které se zabývají porovnáním TOC z Brewerových a Dobsonových spektrofotometrů již od dob implementace Brewerových spektrofotometrů v 80. letech 20. století (například Čížková et al 2019; Kerr et al. 1988; Scarnato et al. 2010; Vaníček 2006). Rozdíly mezi TOC naměřeným Brewerovými a Dobsonovými spektrofotometry se lišily v závislosti na konkrétních použitých přístrojích, místních podmínkách a provedených opravách, v případě správně udržovaného Dobsonova spektrofotometru činily ale nejvýše ± 4 %. Korekce na efektivní teplotu ozonové vrstvy ale může zlepšit přesnost měření Dobsonových spektrofotometrů až o dva procentní body (Voglmeier et al. 2024).

3.2 Rozdíl mezi celkovým ozonem naměřeným Brewerovým a Dobsonovým spektrofotometrem

Po aplikaci opravy na T_{eff} činí průměrná odchylka mezi TOC naměřeným B199 a D050 přibližně $-0,3$ %. Rozdíly mezi TOC naměřeným přístroji B199 a D050 ale vykazují roční

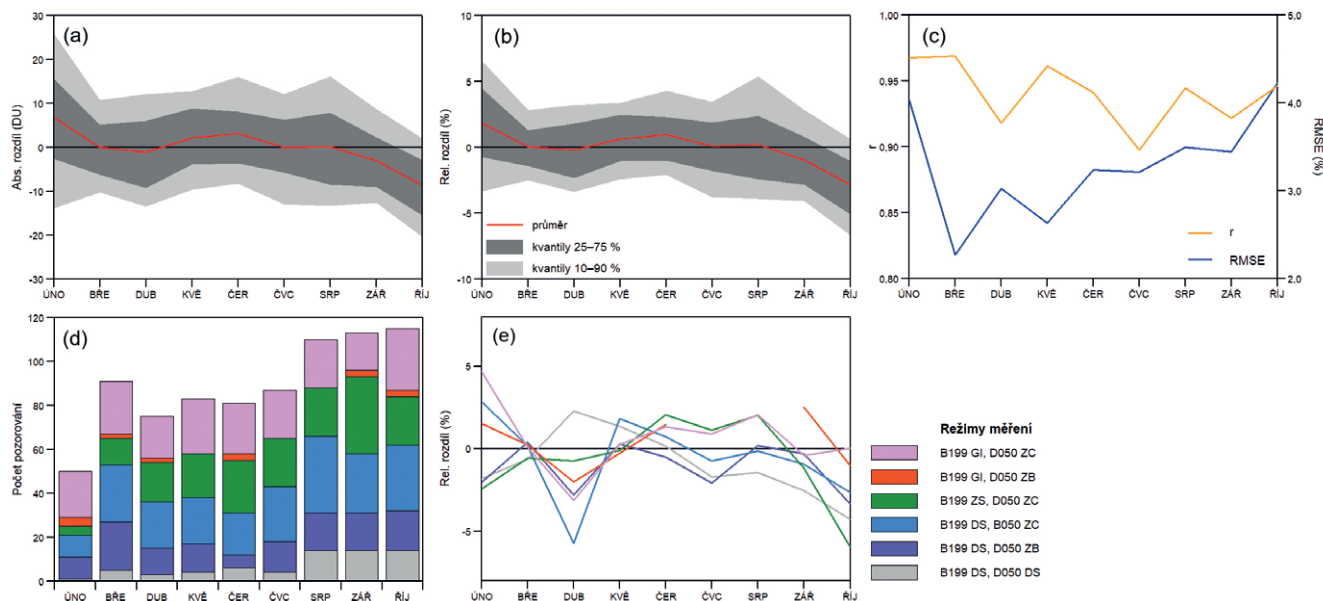


Obr. 2 Závislost relativních rozdílů mezi TOC naměřeným přístroji B199 a D050 na efektivní teplotě ozonové vrstvy (a) před použitím korekce na efektivní teplotu a (b) po aplikaci opravy, doplněný o korelační koeficient (r) a lineární proložení (červeně) včetně rovnice.

Fig. 2. The relationship between the TOC measured by B199 and D050 and the effective ozone layer temperature (a) before the application of the effective temperature correction, and (b) after the correction, supplemented by the correlation coefficients (r) and the regression line (red, dashed) including the formula.

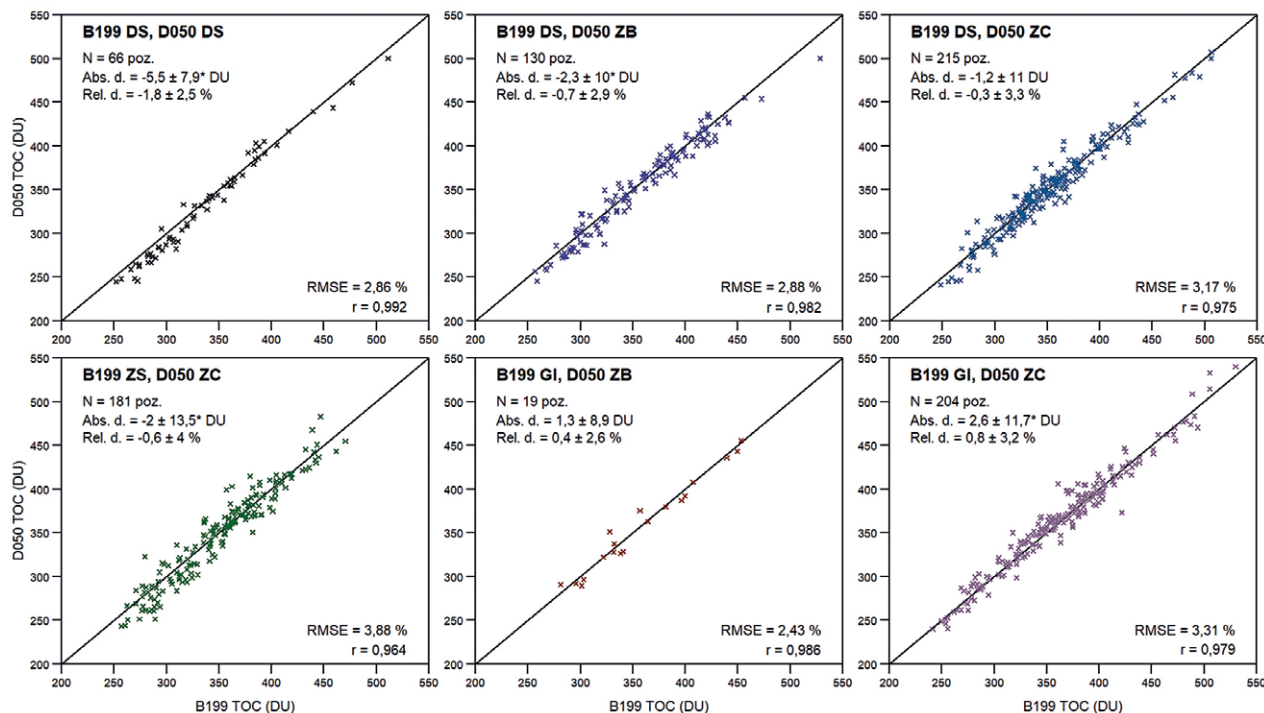
chod (obr. 3a, b), kdy k nejvýraznějšímu podhodnocení dochází v podzimních měsících (například v říjnu v průměru o $-8,6$ DU, tedy o $-2,9$ %), naopak v letních měsících a v únoru je TOC měřený D050 vzhledem k B199 nadhodnocen (například v únoru o průměrných $6,7$ DU, tedy o $1,8$ %). Korelační koeficient v každém z měsíců s výjimkou listopadu přesahuje hodnotu $0,89$, přičemž nejvyšší je březnu ($0,97$). RMSE je nejnižší v březnu ($2,27$ %) a nejvyšší v listopadu ($4,72$ %).

Sezónní rozdíly mezi měřeními Brewerova a Dobsonova spektrofotometru jsou běžně pozorovaným jevem (např. Čížková et al. 2019; Staehelin et al. 1998; Svendby a Dahlback 2002; Vaníček 2006). Ve většině případů byly zaznamenány výraznější rozdíly v zimním období, časté je i podhodnocení měření Dobsonova spektrofotometru v zimě a nadhodnocení v létě. Jak vysvětlují například Bernhard et al. (2005) či Moeini et al. (2019), nejvýznamnější příčinou výraznějších odchylek měření Dobsonova spektrofotometru v zimních měsících je vysoký SZA, a tedy větší podíl rozptýleného záření v atmosféře při její větší optické hmotě. Rozptýlené záření je průchodem přes ozonovou vrstvu ovlivněno méně než



Obr. 3 Roční chod průměrných (a) absolutních a (b) relativních rozdílů mezi TOC naměřeným přístroji B199 a D050 doplněný o hodnoty vybraných kvantilů, (c) roční chod korelačního koeficientu (r) a střední kvadratické chyby ($RMSE$) pro tato měření, (d) rozdělení počtu měření dle režimu pozorování, a (e) roční chod průměrných relativních diferencí podle režimu pozorování na stanici Reykjavík v období 2021–2024. Zobrazeny jsou pouze měsíce s více než 50 páry měření. Režimy měření: DS – Direct Sun, ZB – Zenith Blue, ZC – Zenith Cloud, ZS – Zenith Sky, GI – Global Irradiance.

Fig. 3. The annual variability of the mean (a) absolute and (b) relative differences of TOC measured by B199 and D050 supplemented by selected quantile values, (c) annual variability of the corresponding correlation coefficients (r) and root mean square errors ($RMSE$), (d) the distribution of TOC measurements by the measurement type, and (e) the annual variability of mean differences based on the type of measurement in Reykjavík, Iceland, in the period 2021–2024. Only the months with more than 50 pairs of TOC measurements are plotted. Measurement types: DS – Direct Sun, ZB – Zenith Blue, ZC – Zenith Cloud, ZS – Zenith Sky, GI – Global Irradiance.



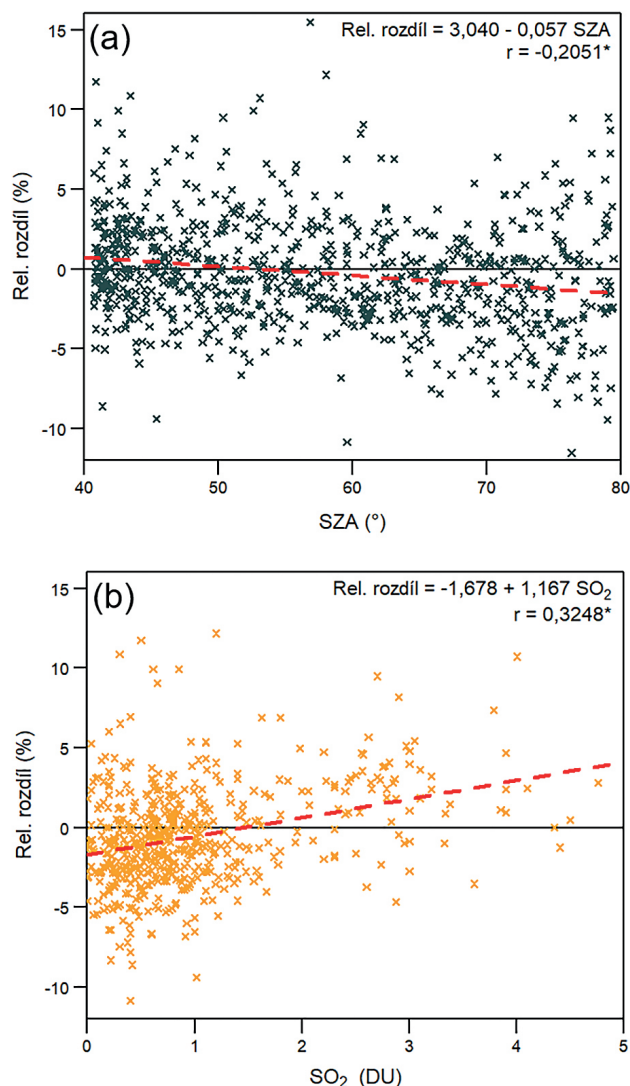
Obr. 4 Vztah mezi TOC naměřených přístroji B199 a D050 v Reykjavíku v období 2021–2024 podle režimu měření obou přístrojů doplněný o základní statistické údaje (průměrný rozdíl $\pm$ směrodatná odchylka, $RMSE$, r), diagonální linie značí ideální vztah $x = y$, hvězdičky u absolutních diferencí pak statistickou významnost rozdílů ($\alpha = 0,05$). Režimy měření: DS – Direct Sun, ZB – Zenith Blue, ZC – Zenith Cloud, ZS – Zenith Sky, GI – Global Irradiance.

Fig. 4. The relationship of TOC measured by B199 and D050 in Reykjavík in 2021–2024 by the type of measurements supplemented by basic statistical characteristics (mean difference $\pm$ standard deviation, $RMSE$, r), the diagonal line signifies the ideal relationship $x = y$, the asterisks by the absolute differences stand for the statistical significance of differences ($\alpha = 0.05$). Measurement types: DS – Direct Sun, ZB – Zenith Blue, ZC – Zenith Cloud, ZS – Zenith Sky, GI – Global Irradiance.

přímé UV záření, což vede k podhodnocení TOC. Druhým důvodem je zvýšená přítomnost rozptýleného záření v přístroji samotném. Vliv může mít také roční chod vertikálního zvrstvení ozonu v atmosféře.

Přesnost měření TOC pomocí Brewerových i Dobsonových spektrofotometrů se liší v závislosti na použitých režimech měření (viz sekce 2, také například Vaníček 2006). V případě, že D050 i B199 jsou nastaveny v režimu DS, rozptyl odchylek měření je velmi nízký, jak značí korelační koeficient $r = 0,99$. Zejména při nízkých hodnotách TOC ale dochází u D050 k podhodnocování TOC naměřeného pomocí B199 (obr. 4). V případě jiných režimů měření je rozptyl odchylek větší, a to zejména při použití kombinace B199 = ZS a D050 = ZC. Tyto režimy měření se používají při zatažené obloze a jsou obecně považovány za méně přesné (např. Evans et al. 2017). Průměr TOC z přístroje D050 je statisticky významně nižší než z B199 při nastavení B199 = DS a D050 = DS, B199 = DS a D050 = ZB, a B199 = ZS a D050 = ZC. Naopak statisticky významně vyšší průměrný TOC naměřený D050 byl zaznamenán při použití kombinace B199 = GI a D050 = ZC. Poslední zmíněná kombinace je relativně nejčastější v únoru, kdy bylo tímto způsobem získáno 21 z celkových 52 měření (přibližně 40 %), v ostatních měsících činí podíl kombinace GI a ZC měření od 15 % v září do 30 % v květnu. Rozdíly v relativních četnostech využití různých kombinací režimů měření mohly ovlivnit roční chod diferencí znázorněný na obr. 3, protože například při použití kombinace GI a ZC bylo nadhodnocení nejvýraznější právě v únoru (4,7 %), zatímco v ostatních sledovaných měsících nepřesáhlo 2,1 %.

Odchyly v TOC naměřeném Brewerovým a Dobsonovým spektrofotometrem mohou být kromě efektivní teploty ozonové vrstvy ovlivněny parametry jako SZA (obr. 5a), který určuje optickou hmotu atmosféry, nebo množství SO_2 (obr. 5b). Mezi SZA a relativními rozdíly TOC naměřeného přístroji B199 a D050 byl zjištěn statisticky významný negativní korelační vztah, který ale vysvětluje pouze přibližně 4 % celkové variance relativních rozdílů. Přesto je patrné, že při vyšších SZA dochází u přístroje D050 k výraznějšímu podhodnocení TOC, což pozorovali například Bernhard et al. (2005) nebo Vaníček (2006). Statisticky významný je i vztah relativních diferencí a SO_2 (obr. 5b). Vzhledem k vulkanické činnosti na Islandu může být v Reykjavíku naměřeno i 50 DU SO_2 (Čížková et al. 2024). Nejvyšší průměrná denní hodnota SO_2 ve studovaném období, 26,4 DU, byla naměřena při erupci sopky Fagradalsfjall 24. července 2023. Tyto extrémní případy nebyly do výpočtu na obr. 5b zahrnuty, ale nadhodnocení TOC přístrojem D050 se při SO_2 nad 10 DU pohybovalo kolem 6,5 %. Taktéž Svendby a Dahlback (2002) zaznamenali nadhodnocený TOC měřený Dobsonovým spektrofotometrem při vyšším množství atmosférického SO_2 . Důvodem je, že SO_2 absorbuje UV sluneční záření na podobných vlnových délkách jako ozon a při měření Dobsonovým spektrofotometrem se jeho vliv k účinkům ozonu přičítá, podrobněji například viz Komhyr a Evans (1980). Celkové množství ozonu nemělo na rozdíly mezi TOC naměřeným pomocí D050 a B199 statisticky významný vliv.

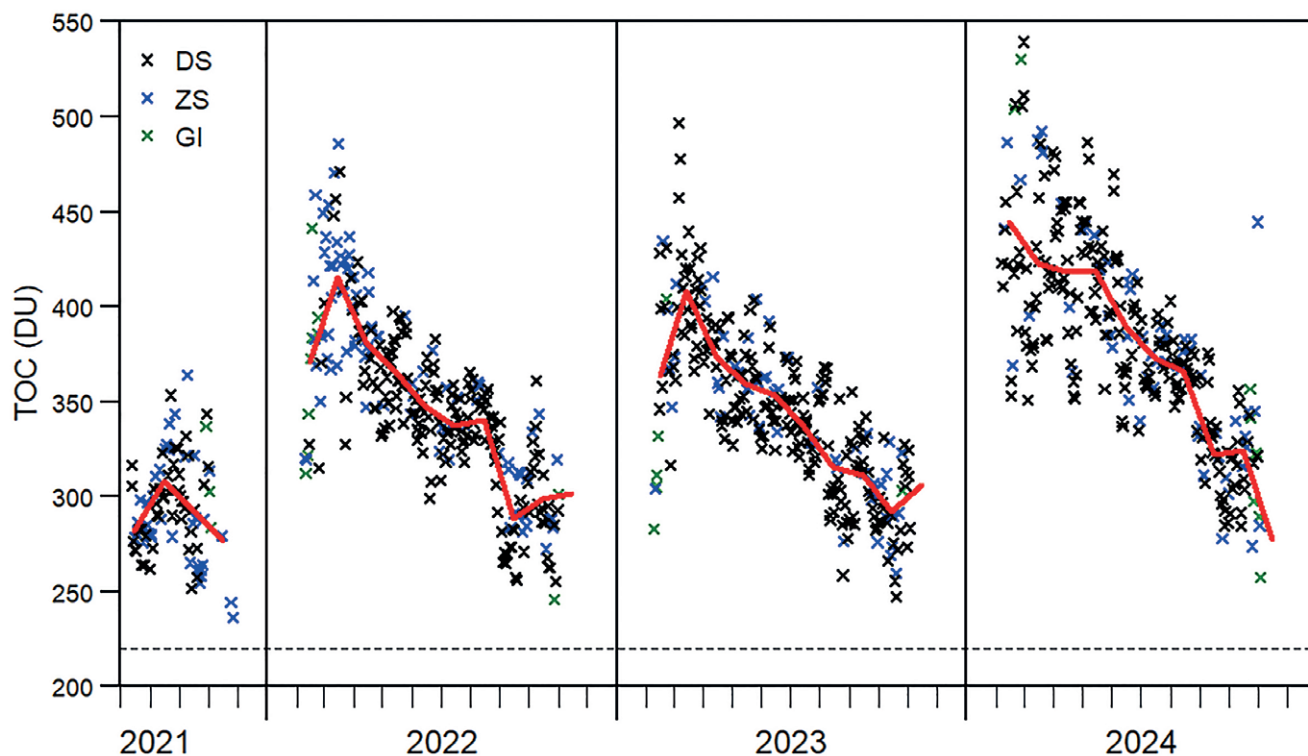


Obr. 5 Závislost relativních rozdílů mezi TOC měřeným pomocí B199 a D050 na (a) SZA, a (b) celkovém sloupci SO_2 v Reykjavíku v období 2021–2024, hvězdičky značí statistickou významnost korelačních koeficientů ($\alpha = 0,05$).

Fig. 5. The relationship of the relative differences of TOC measured by B199 and D050 and (a) SZA, and (b) total column SO_2 in Reykjavik in 2021–2024, the asterisks signify the statistical significance of correlation coefficients ($\alpha = 0.05$).

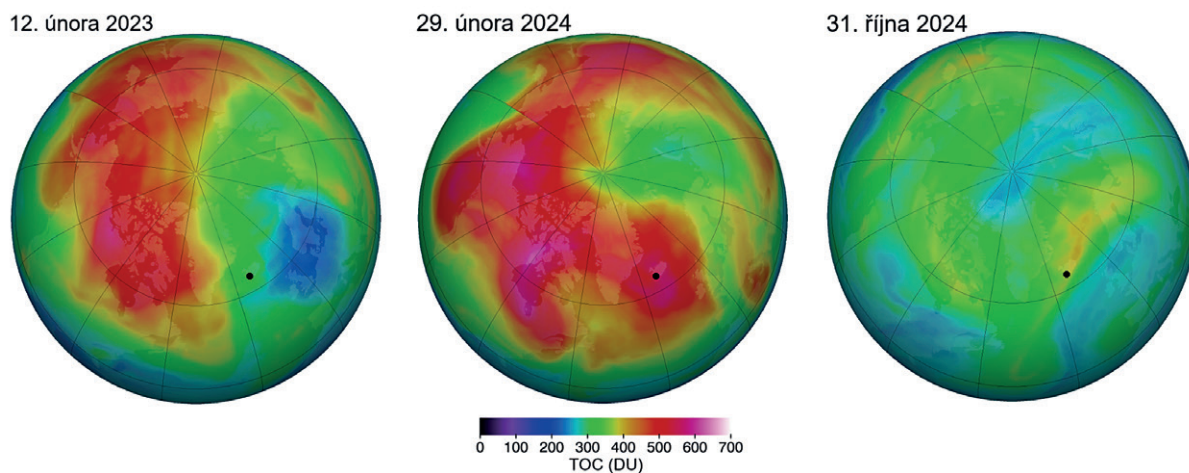
3.3 Variabilita celkového ozonu na Islandu v letech 2021–2024 na základě měření Brewerova spektrofotometru

Od srpna 2021 do prosince 2024 bylo přístrojem B199 v Reykjavíku provedeno celkem 31 110 měření TOC, z toho 5 539 v režimu DS, 11 510 v režimu ZS, 13 958 v režimu GI a 103 v režimu FM. Z těchto měření byly vypočítány denní reprezentativní hodnoty, které se stanovují jako průměrný TOC ze všech DS měření v daném dni. Nejsou-li k dispozici DS měření, počítají se denní reprezentativní hodnoty z měření v režimu ZS, případně GI. Měření v režimu FM nejsou brána v potaz. Denní reprezentativní hodnoty budou dále označovány jako denní průměry TOC.



Obr. 6 Denní průměry TOC z B199 podle režimu měření doplněné o průměrné měsíční hodnoty TOC (červeně) v Reykjavíku v období srpen 2021 – prosinec 2024.

Fig. 6. Daily mean values of TOC measured by B199 by the type of measurement, supplemented by the mean monthly TOC values (red line) in Reykjavik in August 2021 – December 2024.



Obr. 7 TOC v oblasti Arktidy ve dnech 12. února 2023, 29. února 2024, a 31. října 2024 podle NASA Arctic Ozone Watch (ozonewatch.gsfc.nasa.gov) s využitím dat ze satelitního přístroje OMPS; přibližná poloha Reykjavíku je označena černým bodem.

Fig. 7. Arctic total ozone on 12 February 2023, 29 February 2024, and 31 October 2024, according to NASA Arctic Ozone Watch (ozonewatch.gsfc.nasa.gov) using the OMPS satellite data; the approximate location of Reykjavik is marked by a black point.

Průměrný TOC v letech 2022–2024 v Reykjavíku činil 359,1 DU, přičemž v roce 2022 to bylo 348,5 DU, 344,9 DU v roce 2023, a 383,8 DU v roce 2024. Maximální denní hodnota, 539,4 DU, byla naměřena 29. února 2024, minimum, které činilo 236,4 DU, bylo zaznamenáno 26. listopadu 2021. Ani v jednom případě nebyl denní průměr TOC nižší než 220 DU, což je arbitrárně stanovená hodnota používaná pro vymezení situací s výrazně sníženým množstvím ozonu oproti dlouhodobému průměru (tzv. ozonová díra). Ve všech letech byl zaznamenán

typický roční chod TOC s maximy na konci zimy a minimy na podzim (obr. 6, popis a vysvětlení např. Bjarnason et al. 1993).

Ke snížení TOC v jarních měsících došlo ve studovaném období výrazněji pouze v roce 2023, kdy se v oblasti severní a střední Evropy 12.–16. února 2023 vytvořila oblast s nízkým množstvím ozonu. Podle Vargina et al. (2024) byl hlavní příčinou úbytku ozonu v tomto období nárůst výšky tropopauzy zapříčiněný výraznou anticyklónou při rozpadu polárního víru v důsledku náhlého oteplení stratosféry v polovině února. Zároveň

podél západního okraje této anticyklóny došlo k transportu subtropického vzduchu, který je přirozeně chudší na ozon, do vyšších zeměpisných šířek. Island se však nacházel mimo oblast s nejvýraznějším úbytkem ozonu (situace z 12. února 2023 je znázorněna na obr. 7), proto se hodnoty zaznamenané v Reykjavíku v první polovině února 2023 pohybovaly kolem 300 DU.

Naopak na jaře a v létě roku 2024 bylo v celé Arktidě zaznamenáno množství ozonu výrazně překračující dlouhodobý průměr, dle Newmana et al. (2024) byl v tomto roce průměrný březnový TOC v této oblasti nejvyšší od začátku satelitních měření v roce 1979. Důvodem byl nárůst množství ozonu ve spodní stratosféře zapříčiněný výraznou aktivitou planetárních vln a následným zeslabením polárního víru, což podporuje advekci na ozon bohatých vzduchových hmot směrem k pólu. Situace z 29. února 2024, kdy byl v Reykjavíku naměřen vůbec nejvyšší průměrný denní TOC ve studovaném období, je znázorněna na obr. 7.

K poměrně zajímavé situaci došlo rovněž 31. října 2024, kdy se průměrný denní TOC zvýšil v porovnání s předchozím dnem o 123,2 DU na 444,7 DU, přičemž 1. listopadu 2024 následoval pokles na 284,9 DU. Hodnota z 31. října by se mohla na první pohled jevit jako chybné měření, ale satelitní data (obrázky 7) potvrzují přechod úzkého pásu vzduchové hmoty bohaté na ozon přes území Islandu. Jak plyne z obr. 7, rozdíly v TOC mezi vzduchovou hmotou, která ovlivňovala Island 31. října 2024, a jejím okolím mohly snadno přesáhnout 100 DU.

4. Shrnutí a závěr

Měření celkového ozonu v islandském Reykjavíku probíhá od roku 2021 současně pomocí Dobsonova a Brewerova spektrofotometru, což umožňuje nezávislé srovnání obou přístrojů v lokalitě nacházející se na okraji arktického polárního víru. Shoda měření byla zejména po aplikaci opravy na efektivní teplotu ozonové vrstvy velmi dobrá, Dobsonův spektrofotometr podhodnocoval měření Brewerova spektrofotometru v průměru pouze o $-0,26\%$. Roční chod rozdílů byl zapříčiněn kombinací vlivu zenitového úhlu Slunce a relativní četnosti využití různých režimů měření v jednotlivých měsících. Zjištěna byla i korelace mezi diferencemi celkového ozonu a množstvím oxidu siřičitého. Pro budoucí využití časové řady celkového ozonu z Dobsonova spektrofotometru by tedy bylo vhodné uplatnit kromě opravy na efektivní teplotu ozonové vrstvy i korekce na množství oxidu siřičitého a na optickou hmotu atmosféry. Taktéž je nutné zkontrolovat dlouhodobou stabilitu přístroje v čase pomocí satelitních či reanalyzovaných dat.

Ve studovaném období byl na Islandu zaznamenán typický roční chod celkového ozonu s maximy na jaře a minimy na podzim, do variability ozonu se ale promítla i specifická atmosférická cirkulace v jednotlivých letech. Například v únoru 2023 byl zjištěn pokles množství ozonu z důvodu rozpadu polárního víru nad Skandinávií, zatímco v první polovině roku 2024 bylo pozorováno nezvykle vysoké množství ozonu v důsledku zvýšené aktivity planetárních vln. Vzhledem ke značně dynamickým procesům v arktické stratosféře a ke vzájemnému ovlivňování globální klimatické změny a ozonové vrstvy je důležité pokračovat v monitorování ozonu a UV slunečního záření v této oblasti satelitními i pozemními přístroji. Ukazuje se také, že volba Reykjavíku pro umístění Brewerova spektrofotometru č. 199 byla velice dobrá, přístroj může v dynamické severní subpolární oblasti poskytnout i informace, které pomocí samotného Dobsonova spektrofotometru není možné zjistit. To se projevuje i značným zájmem zahraničních odborníků, kteří chtějí využívat výsledky měření Brewerova spektrofotometru.

Poděkování:

Měření ozonu a UV záření v oblasti Islandu probíhá v rámci projektu DKRVO (Dlouhodobá koncepce rozvoje výzkumné organizace), oblast výzkumu 11: Měření a hodnocení vlastností ozonové vrstvy a UV záření v severních subpolárních oblastech. Tato studie byla rovněž realizována s podporou Českého antarktického výzkumného programu 2025–2027 (VAN 2025).

Autoři by rádi poděkovali Islandskému meteorologickému ústavu za možnost instalace Brewerova spektrofotometru v Reykjavíku i za sdílení dat z Dobsonova spektrofotometru. Taktéž děkují službě TEMIS za zpracování časové řady efektivní teploty ozonové vrstvy na základě dat ECMWF, která je volně k dispozici online (<https://www.temis.nl/climate/efftemp/overpass.php>).

Poděkování náleží i dvěma recenzentům za jejich konstruktivní návrhy a připomínky, které výrazně napomohly zvýšit kvalitu manuskriptu.

Literatura:

- BASS, A. M., PAUR, R. J., 1985. The ultraviolet cross-sections of ozone. I. The measurements, II – Results and temperature dependence. In: *Atmospheric ozone; Proceedings of the Quadrennial*, sv. 1, s. 606–616.
- BERNET, L., SVENDBY, T., HANSEN, G., ORSOLINI, Y., DAHLBACK, A. et al., 2023. Total ozone trends at three northern high-latitude stations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, roč. 23, s. 4165–4184. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/acp-23-4165-2023>.
- BERNHARD, G., EVANS, R. D., LABOW, G. J., OLTMANS, S. J., 2005. Bias in Dobson total ozone measurements at high latitudes due to approximations in calculation of ozone absorption coefficients and air mass. *Journal of Geophysical Research*, roč. 110, s. 1–10. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/2004JD005559>.
- BJARNASON, G. G., RÖGNVALDSSON, Ö. R., SIGFÚSSON, T. I., JAKOBSSON, T., THORKESSON, B., 1993. Total Ozone Variations at Reykjavík Since 1957. *Journal of Geophysical Research*, roč. 98, s. 23059–23077. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/93JD01912>.
- CHIPPERFIELD, M. P., JONES, R. L., 1999. Relative influences of atmospheric chemistry and transport on Arctic ozone trends. *Nature*, roč. 400, s. 551–554. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/22999>.
- CHUBACHI, S., 1985. A Special Ozone Observation at Syowa Station, Antarctica from February 1982 to January 1983. In: Zerefos, C. S., Ghazi, A. (eds.): *Atmos. Ozone*. Dordrecht: Springer, s. 285–289. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-94-009-5313-0_58.
- ČÍŽKOVÁ, K., LÁSKA, K., METELKA, L., STANĚK, M., 2019. Intercomparison of Ground- and Satellite-Based Total Ozone Data Products at Marambio Base, Antarctic Peninsula Region. *Atmosphere-Basel*, roč. 10, s. 1–26. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/atmos10110721>.
- ČÍŽKOVÁ, K., LÁSKA, K., METELKA, L., STANĚK, M., 2023. Assessment of spectral UV radiation at Marambio Base, Antarctic Peninsula. *Atmospheric Chemistry and Physics*, roč. 23,

- s. 4617–4636. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/acp-23-4617-2023>.
- ČÍŽKOVÁ, K., LÁSKA, K., TICHOPÁD, D., METELKA, L., STANĚK, M., SIGURDSSON, Á., 2024. Effect of volcanic sulfur dioxide during the 2023 Fagradalsfjall eruption in Reykjavík, Iceland. *Meteorologische Zeitschrift*, roč. **33**, s. 1–11. Dostupné z: <https://doi.org/10.1127/metz/2024/1224>.
- DAMERIS, M., LOYOLA, D. G., NÜTZEL, M., COLDEWEY-EGBERS, M., LEROT, C. et al., 2021. Record low ozone values over the Arctic in boreal spring 2020. *Atmospheric Chemistry and Physics*, roč. **21**, s. 617–633. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/acp-21-617-2021>.
- DOBSON, G. M. B., 1968. Forty Years' Research on Atmospheric Ozone at Oxford: a History. *Applied Optics*, roč. **7**, s. 387–405.
- EVANS, R. D., PETROPAVLOVSKIKH, I., MCCLURE-BEGLEY, A., MCCONVILLE, G., QUINCY, D., MIYAGAWA, K., 2017. Technical note: The US Dobson station network data record prior to 2015, re-evaluation of NDACC and WUDC archived records with Win-Dobson processing software. *Atmospheric Chemistry and Physics*, roč. **17**, s. 12051–12070. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/acp-17-12051-2017>.
- FARMAN, J. C., GARDINER, B. G., SHANKLIN, J. D., 1985. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction. *Nature*, roč. **315**, s. 207–210. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/315207a0>.
- KERR, J. B., ASBRIDGE, I. A., EVANS, W. F. J., 1988. Intercomparison of Total Ozone Measured by the Brewer and Dobson Spectrophotometers at Toronto. *Journal of Geophysical Research*, roč. **93**, s. 11129–11140. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/JD093iD09p11129>.
- KERR, J. B., 2010. The Brewer Spectrophotometer. In: W. Gao, J. R. Slusser, D. L. Schmoldt (eds.): *UV radiation in Global Climate Change*. Berlin, Heidelberg: Springer, s. 161–190. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-642-03313-1_6.
- KOMHYR, W. D., EVANS, R. D., 1980. Dobson spectrophotometer total ozone measurement errors caused by interfering absorbing species such as SO_2 , NO_2 , and photochemically produced O_3 , in polluted air. *Geophysical Research Letters*, roč. **7**, s. 157–160. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/GL007i002p00157>.
- KOMHYR, W. D., GRASS, R. D., LEONARD, R. K., 1989. Dobson Spectrophotometer 83: A Standard for Total Ozone Measurements, 1962–1987. *Journal of Geophysical Research*, roč. **94**, s. 9847–9861. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/JD094iD07p09847>.
- MOEINI, O., ZANJANI, Z. V., MCELROY, C. T., TARASICK, D. W., EVANS, R. D. et al., 2019. The effect of instrumental stray light on Brewer and Dobson total ozone measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, roč. **12**, s. 327–343. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/amt-12-327-2019>.
- NEWMAN, P. A., LAIT, L. R., KRAMAROVA, N. A., COY, L., FRITH, S. M. et al., 2024. Record High March 2024 Arctic Total Column Ozone. *Geophysical Research Letters*, roč. **51**, s. 1–8. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/2024GL110924>.
- PETKOV, B. H., VITALE, V., DI CARLO, P., DROFA, O., MASTRANGELO, D. et al., 2023. An Unprecedented Arctic Ozone Depletion Event during Spring 2020 and Its Impacts Across Europe. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, roč. **128**, s. 1–18. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/2022JD037581>.
- REDONDAS, A., EVANS, R., STÜBI, R., KÖHLER, U., WEBER, M., 2014. Evaluation of five laboratory-determined ozone absorption cross sections in Brewer and Dobson retrieval algorithms. *Atmospheric Chemistry and Physics*, roč. **14**, s. 1635–1648. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/acp-14-1635-2014>.
- SCARNATO, B., STAEHELIN, J., STÜBI, R., SCHILL, H., 2010. Long-term total ozone observations at Arosa (Switzerland) with Dobson and Brewer instruments (1988–2007). *Journal of Geophysical Research*, roč. **115**, s. 1–11. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/2009JD011908>.
- SOLOMON, S., GARCIA, R. R., ROWLAND, F. S., WUEBBLES, D. J., 1986. On the depletion of Antarctic ozone. *Nature*, roč. **321**, s. 755–758. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/321755a0>.
- SOLOMON, S., IVY, D. J., KINNISON, D., MILLS, M. J., NEELY, R. R., SCHMIDT, A., 2016. Emergence of healing in the Antarctic ozone layer. *Science*, roč. **353**, s. 269–274. Dostupné z: <https://doi.org/10.1126/science.aae0061>.
- STAEHELIN, J., RENAUD, A., BADER, J., MCPETERS, R., VIATTE, P. et al., 1998. Total ozone series at Arosa (Switzerland): Homogenization and data comparison. *Journal of Geophysical Research*, roč. **103**, s. 5827–5841. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/97JD02402>.
- STÜBI, R., SCHILL, H., BARRAS, E. M., KLAUSEN, J., HAEFELE, A., 2021. Quality assessment of Dobson spectrophotometers for ozone column measurements before and after automation at Arosa and Davos. *Atmospheric Measurement Techniques*, roč. **14**, s. 4203–4217. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/amt-14-4203-2021>.
- SVENDBY, T., DAHLBACK, A., 2002. Twenty years of revised Dobson total ozone measurements in Oslo, Norway. *Journal of Geophysical Research*, roč. **107**, s. 1–17. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/2002JD002260>.
- VAN DER A, R. J., ALLAART, M. A. F., ESKES, H. J., 2010. Multi sensor reanalysis of total ozone. *Atmospheric Chemistry and Physics*, roč. **10**, s. 11277–11294. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/acp-10-11277-2010>.
- VANÍČEK, K., 2006. Differences between ground Dobson, Brewer and satellite TOMS-8, GOME-WFDOAS total ozone observations at Hradec Králové, Czech. *Atmospheric Chemistry and Physics*, roč. **6**, s. 5163–5171. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/acp-6-5163-2006>.
- VANÍČEK, K., STANĚK, M., METELKA, L., SKŘIVÁNKOVÁ, P., 2011. Asimilace řad celkového ozonu z Hradce Králové, 1961–2010. *Meteorologické zprávy*, roč. **64**, s. 70–78. ISSN 0026-1173.
- VARGIN, P. N., KOVAL, A. V., GURYANOV, V. V., KIRUSHOV, B. M., 2024. Large-scale dynamic processes during the minor and major stratospheric warming events in January–February 2023. *Atmospheric Research*, roč. **308**, s. 1–18. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107545>.
- VOGLMEIER, K., VELAZCO, V. A., EGLI, L., GRÖBNER, J., REDONDAS, A., STEINBRECHT, W., 2024. The transition to new ozone absorption cross sections from Dobson and Brewer total ozone measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, roč. **17**, s. 2277–2294. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/amt-17-2277-2024>.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Pavla Skřivánková, RNDr. Peter Križan, Ph.D.

Obtížně předpovídané mrznoucí srážky 23. až 29. ledna 2023

Difficult to predict freezing precipitation from 23 to 29 January 2023

Marie Glofáková

Český hydrometeorologický ústav
pobočka Ostrava
K myslivně 3/2182
708 00 Ostrava-Poruba
✉ marie.glofakova@chmi.cz

Eva Houbová

Český hydrometeorologický ústav
pobočka České Budějovice
Antala Staška 1177/32
370 07 České Budějovice
✉ eva.houbova@chmi.cz

Between January 23rd and 29th there were low stratus clouds above most of the Czech Republic. Light freezing drizzle was falling, even though the entire cloud layer was within a temperature range below 0 °C. The drizzle was hard to detect, all the forecasters often relied on observation from professional weather stations and eyewitness reports from the public on social media. However, locally there were major complications, especially in transport. This freezing precipitation was caused by the so called SWRP (Supercooled Warm-Rain Processes). A bit unusual precipitation development on such a large scale and its complicated detection were a true challenge for forecasters on duty, and showed the importance of cooperation between professionals, amateurs and public. Also observations from professional weather stations showed their irreplaceability.

KLÍČOVÁ SLOVA: sondáž aerologická – ledovka – srážky mrznoucí – srážkotvorné procesy teplé

KEYWORDS: sounding of atmosphere – glaze – freezing precipitation – supercooled warm-rain processes

1. Úvod

Ledovka je jeden z nejnebezpečnějších jevů zejména v silniční dopravě, kdy kluzké povrchy komunikací působí četné komplikace při jízdě, prodloužení doby jízdy, zvýšenou nehodovost, jízda autem může být až nemožná. Způsobuje velké komplikace chodcům při chůzi včetně nebezpečí úrazů při uklouznutí, může způsobovat i lámání větví stromů a problémy v energetice. Ledovka se může vytvářet jak na rozsáhlém území, tak i lokálně, její výskyt může vést až ke kalamitnímu stavu, omezení

zásobování a služeb. Její předpověď představuje pro meteorologa ve službě velkou výzvu.

V tomto příspěvku se budeme zabývat ledovkovou epizodou, která se udála v poslední dekádě ledna 2023, potrápila postupně velkou část České republiky a předpovědní službě ČHMÚ přinesla další cenné zkušenosti.

Takové případy, jaké zde popisujeme, jsou v anglofonní literatuře označovány jako teplé srážkotvorné procesy s přechlazenou vodou (Supercooled Warm Rain Process, dále jen SWRP). Statistiku pro ČR neznáme, v USA se podle Huffmana a Normana (1988) podílí na výskytu ledovky ve 30 % případů. Pozdější práce (Rauber et al. 1999) ale naznačuje, že by toto procento mohlo být podstatně vyšší. Bernstein (2000) zdůrazňuje velký vliv např. místní topografie, což se shoduje i s pozorováními v rámci této situace.

2. Ledovka – definice, podmínky vzniku

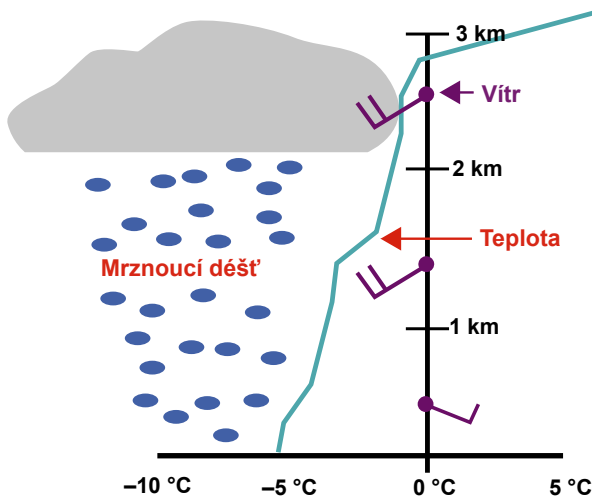
V Elektronickém meteorologickém slovníku (ČMeS 2019) je ledovka definována jako „souvislá, zpravidla homogenní průhledná ledová vrstva, která vzniká při mrznoucím mrholení nebo mrznoucím dešti, a to buď zmrznutím přechlazených vodních kapek při dopadu na zemský povrch nebo na předměty, jejichž teplota je záporná nebo slabě nad 0 °C, anebo zmrznutím nepřechlazených vodních kapek okamžitě při dopadu na zemský povrch nebo na předměty, jejichž teplota je výrazně záporná. Tvoří se na vodorovných a svislých či šikmých plochách, na větvích i kmenech stromů, na drátech, tyčích, na povrchu země, na chodnících, vozovkách atd. Při déletrvajících podmínkách vhodných pro její vytváření může vrstva ledu dosáhnout tloušťky několika cm. Měrná hmotnost ledovky bývá 700 až 900 kg·m⁻³.

Shrnutí: základní nutnost pro její vznik je tedy povrch vychlazený pod 0 °C a na něj dopadající kapalná voda. (Může ji vyvolat i zmrzlý déšť, jehož částice se po dopadu na zem rozbijí jako skořápky a kapalná voda se z nich vylíje a zmrzne.) Z hlediska synoptických podmínek při zemi studený vzduch, nad ním vzduch teplejší – ledové částice propadají teplou vrstvou (teplota vlhkého teploměru vyšší než 0 °C) dostatečně silnou na to, aby začaly tát.

3. SWRP

Co je tedy potřeba sledovat? Záleží na vertikálním profilu atmosféry, viz obr. 1. Podle Huffmana a Normana (1988) musí při SWRP nastat tyto podmínky:

- teplota v oblaku mezi 0 a –10 °C (spontánní krystalizace začíná při teplotách kolem –12 °C),



Obr. 1 Průběh teploty s výškou při SWRP (University of Illinois 2010): Teplota v oblasti zájmu neklesá pod -10°C . Vrstva s teplotou nad 0°C je nad oblačnou vrstvou a nezasahuje do srážkotvorných procesů. Modrozelená čára značí průběh teploty. Křivka T_d (rosného bodu) vzhledem k vysokému nasycení probíhá téměř totožně s křivkou teploty.

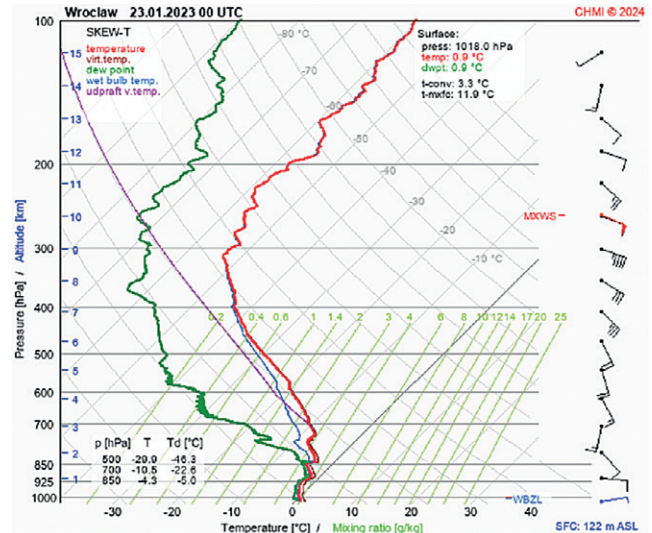
Fig. 1. Schematic vertical temperature profile during SWRP events (University of Illinois 2010): The temperature does not drop below -10°C . If there is a layer with positive temperature, it is above the cloud layer and thus not involved in the precipitation development.

- tloušťka oblaku dostatečná pro růst kapek,
- základna oblačnosti položená nízko, aby se kapky nestihly při pádu k zemi vypařit,
- nad oblakem musí být suchý vzduch. Podle Rauber et al. (1999) může nad oblakem být i teplá vrstva,
- pro růst kapek jsou důležité nízké koncentrace kondenzačních jader (čistá voda se snáze přechlazuje, při vyšší koncentraci kondenzačních jader se tvoří více malých kapiček, které padají pomaleji) a hodně vody ($> 0,25 \text{ g/m}^3$) (Huffman, Norman 1988).

Za mechanismus podporující koalescenci kapek lze považovat i změnu proudění v hladině 925 hPa (konvergence proudění) nebo setmění (ochlazení horní hranice oblačnosti). Pokud je podoblačná vrstva nenasyčená, vodní kapky se ochlazují výparem, čili podchlazování pokračuje i při neočekávané vyšší teplotě.

Vyvstává problém s tím, že reálné sondážní profily jsou k dispozici jen z omezeného počtu míst a v omezeném čase.

Proto jsou velmi užitečné i sondáže mimořádné, prováděné na základě požadavku meteorologů, a profily předpovědní, modelové, které mají předpovědní pracoviště k dispozici, např. v pracovní stanici Visual Weather.



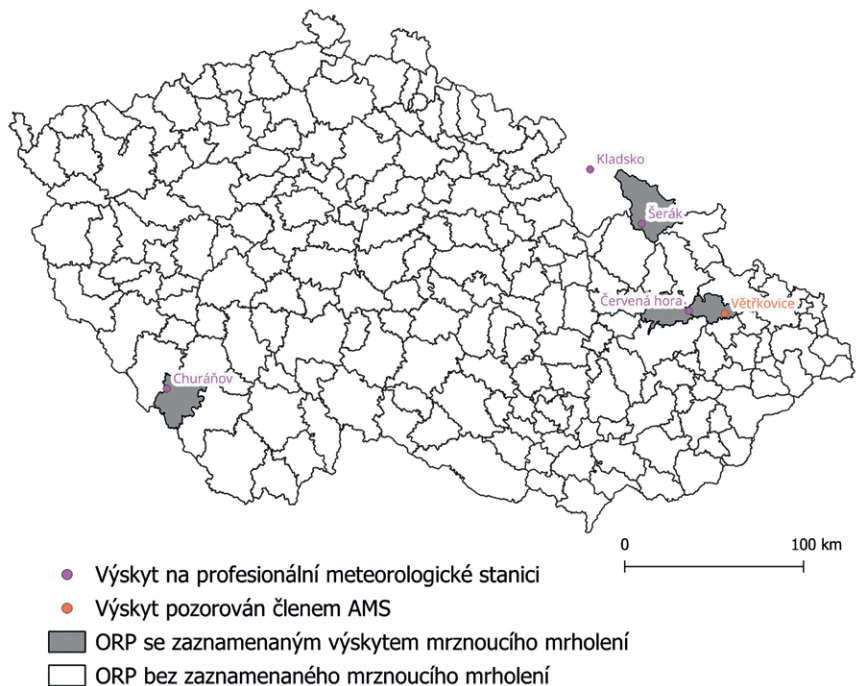
Obr. 2 Vlevo přízemní analýza DWD, vpravo sondáž z Wrocławu z 23. 1. 2023, 00:00 UTC.

Fig. 2. Left – ground analysis DWD, right – vertical profile from Wrocław, 23. 1. 2023, 00:00 UTC.

4. Přehled jednotlivých dnů epizody

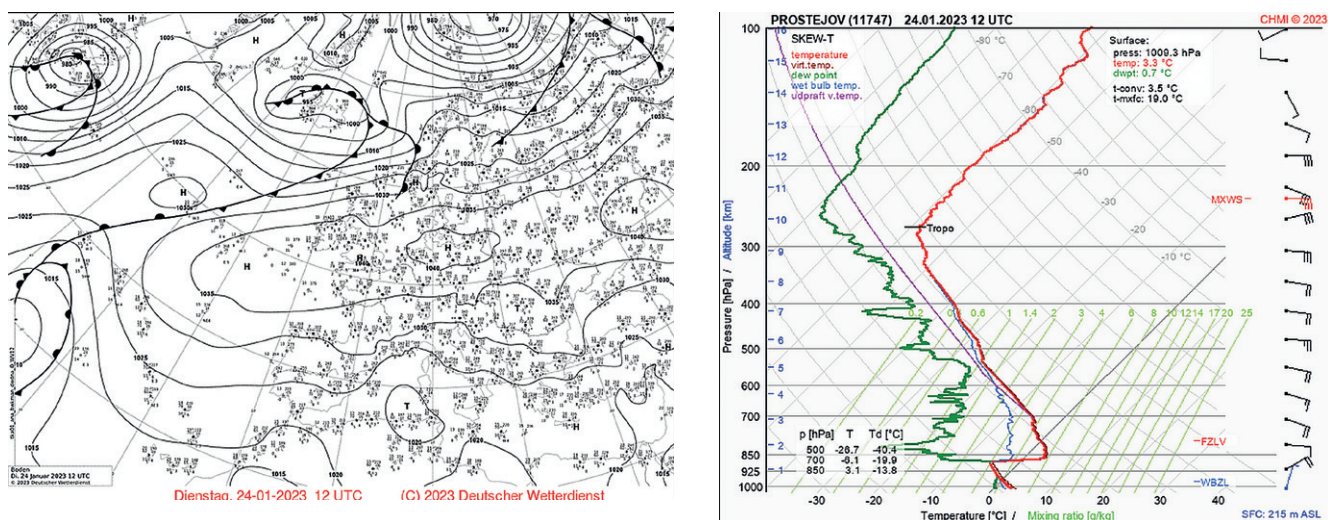
Pondělí 23. 1. 2023

Počasí na našem území ovlivňovala tlaková výše nad Baltským mořem a ještě mohutnější tlaková výše ve studeném vzduchu nad severním Ruskem. Nad Středomořím se nacházela poměrně výrazná a vertikálně rozsáhlá tlaková níže, kolem které k nám od východu proudil teplejší a vlhčí vzduch (obr. 2).



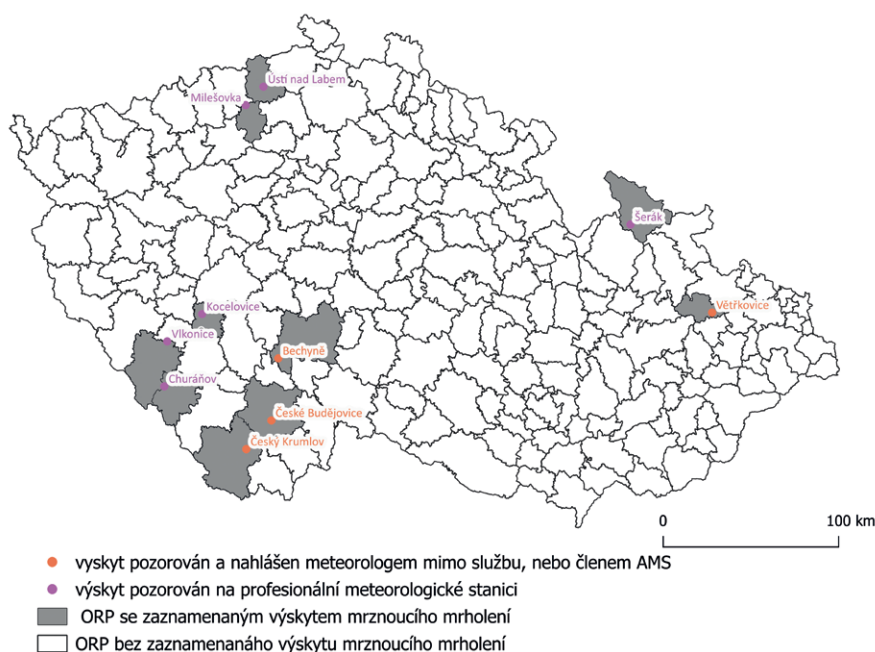
Obr. 3 Mapa výskytu mrznoucího mrholení 23. 1. 2023.

Fig. 3. Map of occurrence of freezing drizzle on 23. 1. 2023.



Obr. 4 Vlevo přízemní analýza DWD, vpravo sondáž z Prostějova z 24. 1. 2023, 12:00 UTC.

Fig. 4. Left – ground analysis DWD, right – vertical profile from Prostějov, 24. 1. 2023, 12:00 UTC.



Obr. 5 Mapa výskytu mrznoucího mrholení 24. 1. 2023.

Fig. 5. Map of occurrence of freezing drizzle on 24. 1. 2023.

Vzhledem ke směru proudění zde uvádíme sondáž z Wrocław, která byla za této situace reprezentativnější než sondáže české. Teplota v oblačné vrstvě se pohybovala mezi 0 a cca $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nad ní byl sušší vzduch. Je to sondáž typická pro výskyt SWRP. Srážky se vyskytly zejména na návětrích severních hor, a to v podobě mrholení, ve vyšších a během noci na úterý ve středních polohách mrznoucího. V nížinách se denní maximální teplota pohybovala nejčastěji mezi 0 až $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ve výškách nad cca 500 m se díky záporným teplotám, nízké oblačnosti a čerstvému větru mrznoucí srážky navíc kombinovaly s námrazou.

V ranních hodinách byla vydána výstraha na ledovku pro části Olomouckého, Moravskoslezského a Pardubického kraje, která měla platnost od 23. 1. 10:15 hod. do 24. 1. 18:00 hod. SEČ.

Ledovka byla hlášena v odpoledních hodinách ze Šeráku, večer z Větrkovic na Opavsku. Během noci na úterý pak z Klodzka

(Polsko), Červené, Lysé hory a Churáňova. Vesměs šlo o návětrné části horských oblastí (obr. 3).

Úterý 24. 1. 2023

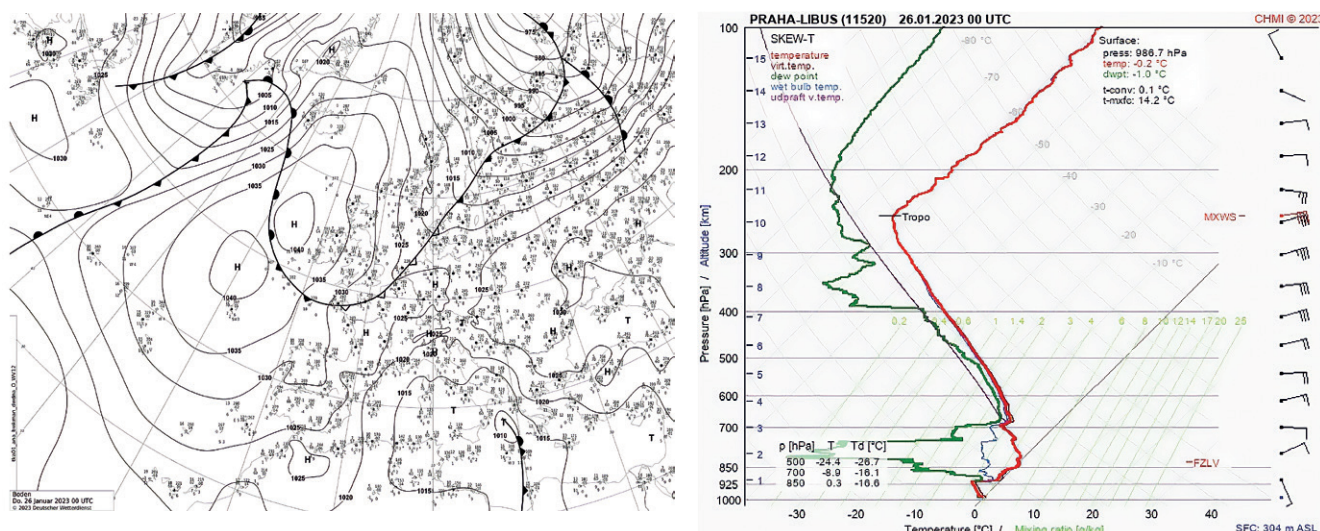
Hřeben vysokého tlaku vzduchu z Ruska se rozšířil dále k západu. Tlaková níže nad Středomořím se posunula k jihu a její výšková část se propojila s výškovou brázdou nad Ruskem a Černým mořem. Od západu se nad Dánsko nasunul výškový hřeben a naše území leželo na jeho jižní straně. Teplota dosahovala v oblastech s nízkou oblačností v minimech hodnot nejčastěji mezi $+1$ až $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, v maximech mezi 0 až $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vítr vál převážně slabý severovýchodní nebo proměnlivý, na severovýchodě mírný severovýchodní (obr. 4).

Na sondáži z Prostějova (pražská vypadala obdobně) bylo opět možné vidět chladnější vzduch ve spodních vrstvách atmosféry překrytý vrstvou teplejšího a suššího vzduchu kolem hladiny 850 hPa a nad ní. Během dne bylo na obou stanicích pozorováno zvětšování vertikální mohutnosti

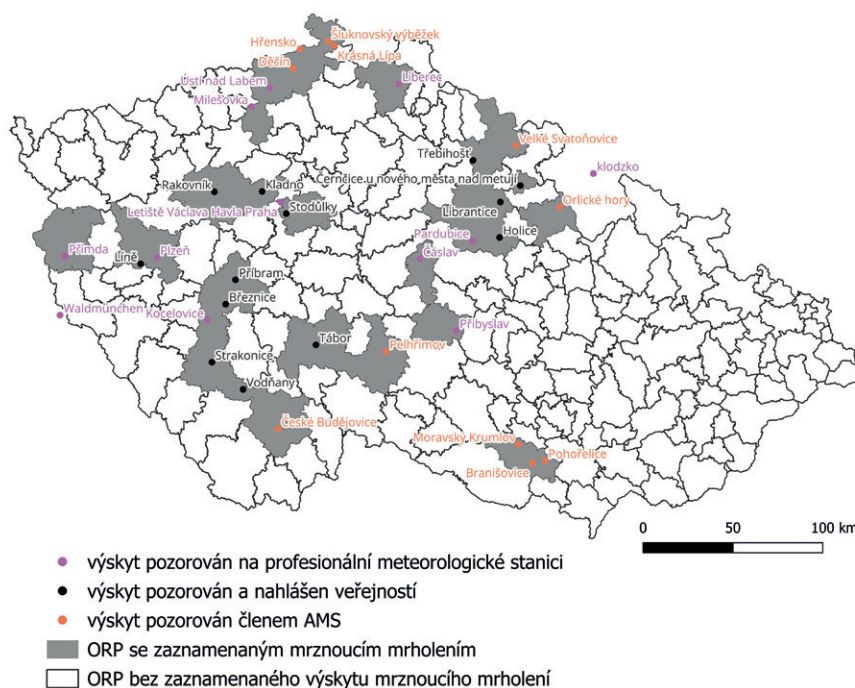
této vrstvy a výrazné vysušování vzduchu nad cca 925 hPa. Toto už jsou podmínky naprosto typické pro SWRP.

Konkrétně tedy: oblačná vrstva stratu se vyskytovala prakticky zcela v oblasti s teplotou mezi $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (zejména cca $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Nad ní se nacházela výrazná suchá vrstva a co je důležitější – rychlý pokles teploty rosného bodu (absolutní vlhkosti) (Huffmann, Norman 1988). Tato oblačnost je tedy tvořena pravděpodobně výhradně přechlazenou vodou.

Z tohoto dne existují jen sporé informace od veřejnosti a pozorovatelů, poměrně dost hlášení ale přišlo z profesionálních stanic, a to opět zejména na severních, respektive severovýchodních návětrích hor. Nejčastěji se přes den mrznoucí srážky vyskytovaly v polohách nad 400 m. Nejpodstatnější hlášení jsme dostali ve večerních hodinách od pana Ivo Rolčíka ze Šumavy, který hlásil nebezpečnou ledovku a námrazu (Rolčík 2023b).



Obr. 6 Vlevo přízemní analýza DWD, vpravo sondáž z Prahy Libuše, obojí z 26. 1. 2023, 00:00 UTC.
Fig. 6. Left – ground analysis DWD, right – vertical profile from Prague Libuš, both on 26. 1. 2023, 00:00 UTC.



Obr. 7 Mapa výskytu mrznoucího mrholení 26. 1. 2023.
Fig. 7. Map of occurrence of freezing drizzle on 26. 1. 2023.

Výstraha zůstala stejná jako předchozí den, a to včetně územní platnosti. Mrznoucí mrholení se ovšem vyskytovalo i po skončení její platnosti, hlášení byla zaznamenána z profesionálních stanic (např. Kocelovice, Temelín), viz obr. 5.

Středa 25. 1. 2023

Nad západem a středem Ruska se i nadále udržovala mohutná tlaková výše. Další se vytvořila nad Atlantikem a poměrně rychle zmohutněla. Nad Středomořím se dál vyskytovala tlaková níže, další byla nad Skandinávií. Od západu k nám zasahoval slábnoucí výškový hřeben vyššího tlaku vzduchu. Naše území se tedy díky tomuto vývoji ocitlo v nevýrazném tlakovém poli.

Z prostorových důvodů neuvádíme k tomuto dni obrázky, nicméně na sondážích byl vidět postupný pokles spodní hranice suché a teplé vrstvy až k 925 hPa, a tím i pokles horní hranice oblačnosti. I nadále pokračovaly podmínky vhodné pro SWRP. Oblačná vrstva byla ale poměrně málo mohutná, hlášení o mrznoucím mrholení přišlo jen minimum (Opavsko – Větrkovice, večer Náměšť nad Oslavou, ledovka na Děčínsku a v Hřensku). Většinou se mrznoucí srážky vyskytovaly ve středních a vyšších polohách v kombinaci s mrznoucí mlhou (i ta byla poměrně častá) a s tvorbou námrazy.

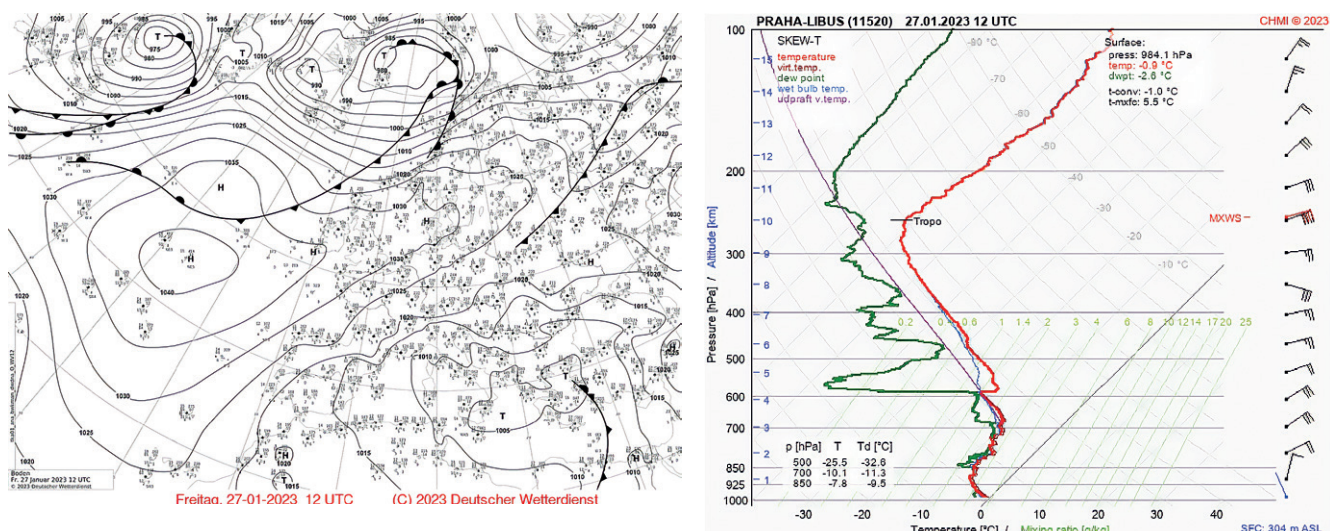
Středa byla z tohoto týdne, co se mrznoucích srážek týká, nejmírnějším dnem.

Čtvrtek 26. 1. 2023

Při zemi se naše území nacházelo v tlakovém sedle. Od severozápadu se k našemu území blížila výšková studená fronta, která se nad naším územím rozpadla (obr. 6 vlevo).

Na půlnoční sondáži z Prahy Libuše (obr. 6 vpravo) byla patrná vrstva oblačnosti s velmi nízkou základnou, sahající do cca 925 hPa. Její teplota se pohybovala mezi cca -1 až -5 °C. Nad ní byla výrazná suchá vrstva. Na její spodní hranici (obr. 6 vpravo) s výškou velmi rychle klesala teplota rosného bodu. Podobně vypadala i sondáž z Prostějova.

Taková sondáž je jedna z nejtýpějších pro SWRP, viz výše. Poměrně silná vrstva nízké oblačnosti tvořené kapkami přechlazené vody, podstupujícími teplé srážkotvorné procesy. Evidentně bez zdroje ledových krystalků, které by jinak rostly na úkor vodních kapiček depozicí vodní páry (protože napětí vodních par nad ledem je nižší než nad vodou) a sněžilo by.



Obr. 8 Vlevo přízemní analýza DWD, vpravo sondáž z Prahy Libuše, obojí z 27. 1. 2023, 12:00 UTC.
Fig. 8. Left – ground analysis DWD, right – vertical profile from Prague Libuš, both on 27. 1. 2023, 12:00 UTC.

Po celý den bylo na celém území republiky zataženo nízkou oblačností, nad kterou vyčnívaly jen nejvyšší polohy Jeseníků, Šumavy a Krkonoš. Teplota se pohybovala mezi +2 a –2 °C.

Od rána přicházela postupně hlášení od veřejnosti (obr. 7) z Pardubicka, Příbramska, Prahy, Moravského Krumlova, Brněnska, Děčínska, Trutnovska, Českobudějovicka a dalších oblastí.

Pátek 27. 1. 2023

Naše území leželo, podobně jako v úterý, na jižní straně hřebene vysokého tlaku vzduchu. Ve výšce naše území i nadále ovlivňovala výšková část tlakové níže nad Středomořím, která zesilovala, a oblačnost s ní spojená se začala dostávat nad naše území (obr. 8 vlevo).

Na pražské polední sondáži, viz obr. 8 vpravo, bylo vidět suchou vrstvu už výše a horní část oblačnosti má již teplotu pod –12 °C.

V ranních hodinách se ještě na relativně mnoha místech vyskytly mrznoucí srážky, zejména na návětrích severních a severovýchodních hor, postupně ale hlavně v Čechách přecházelo mrznoucí mrholení do sněžení. Lokálně teplota vystoupala nad 0 °C. Ve večerních hodinách opět začalo přibývat mrznoucích srážek (Šluknovský výběžek, Žďár n. S., Pacov, Jesenicko, Třeboňsko, Tábořsko, Trutnovsko), viz obr. 9.

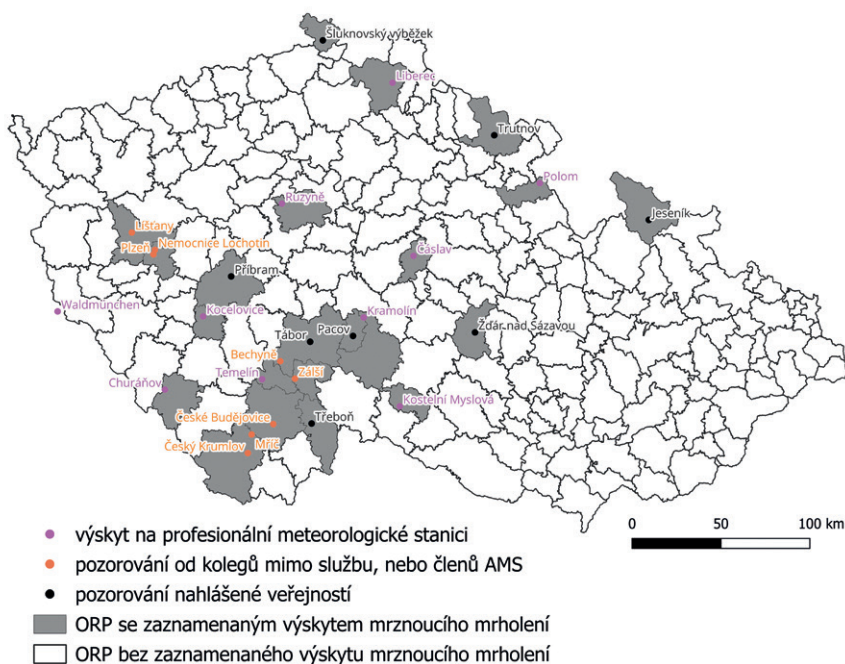
V noci na 28. 1. byl většinou hlášen opět přechod do sněžení.

Sobota 28. 1. a neděle 29. 1. 2023

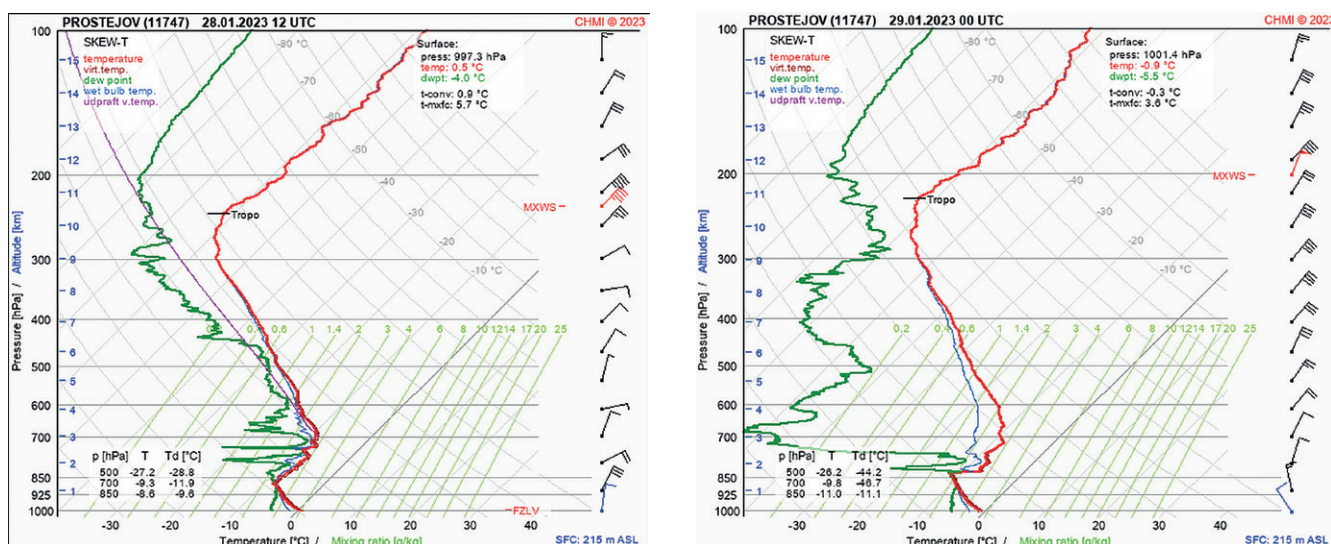
I nadále nad naše území od západu zasahoval hřeben vyššího tlaku vzduchu a kolem něj k nám od severovýchodu pronikal chladný vzduch. Výšková níže nad Středomořím slábla a nad naše území se od severu nasouval výškový hřeben vyššího tlaku vzduchu.

Na sondážích na obr. 10 je vidět, že pomalu mizela vlhká vrstva ve středních hladinách a namísto ní se do ČR opět dostával dosti suchý vzduch. Opět nastávaly ideální podmínky pro SWRP.

Mrznoucích srážek během dne přibývalo – k večeru nejvíce na severovýchodě území – bohužel v místech, kde je naprosté minimum profesionálních stanic (s výjimkou horských jen Ostrava-Mošnov). Zde v noci navíc přechodně zesílil severovýchodní vítr, zejména v nižších hladinách. V noci z 28. na 29. 1. se vyskytly poměrně intenzivní mrznoucí srážky. Z více míst na Jesenicku, Bruntálsku a Opavsku a poté na severovýchodním návětrí Šumavy byla hlášena silná ledovka, v polohách nad cca 500 m navíc v kombinaci s výraznou námrazou. (Česká televize 2023; Kutěj 2023; Procházka, Čáp 2023; Rolčík 2023a)



Obr. 9 Mapa výskytu mrznoucího mrholení 27. 1. 2023.
Fig. 9. Map of occurrence of freezing drizzle on 27. 1. 2023.



Obr. 10 Sondáže z Prostějova z 28. 1. 2023, 12:00 UTC, a 29. 1. 2023, 00:00 UTC.

Fig. 10. Vertical profiles from Prostějov on 28. 1. 2023, 12:00 UTC and 29. 1. 2023, 00:00 UTC.

5. Závěr

Ledovka jako důsledek teplé, okluzní nebo „maskované“ studené fronty je poměrně předvídatelná, srážkové pásmo bývá zřejmé. Ale v případě SWRP je suma očekávaných srážek nejistá a naměřené sondážní profily k posouzení srážkotvorných procesů jsou k dispozici jen ve velmi omezené míře, v ČR jen z Prahy Libuše a z Prostějova.

Situace SWRP se v našich podmínkách nevyskytují tak zřídka, jak bychom si mohli myslet, a podkladů pro jejich operativní předpověď není mnoho, zejména kvůli nedostatku reprezentativních sondáží.

Z dosavadních pozorování vyplývá, že mrznoucí srážky vzniklé těmito procesy bývají většinou menšího plošného rozsahu a vyskytují se zejména na návětrích hor. Shodou okolností jsou to často oblasti hůře pokryté staniční sítí.

Při severovýchodních situacích, které ve srovnání se situacemi jinými bývají příčinou mrznoucích srážek nejčastěji, jsou severní Morava, Slezsko a jižní Čechy k tvorbě těchto srážek náchylné podobně.

Za vhodných podmínek se může vytvořit i několikadenní výrazná situace, jako byla tato.

Je zásadně důležité mít kromě údajů z profesionálních stanic i jiné věrohodné zdroje informací: amatérští pozorovatelé, silniční meteorologické stanice (detekce stavu povrchu vozovky – ty ale bývají již chemicky ošetřené, čímž informaci pro meteorologa zkreslují), veřejnost, na jejichž základě bude moci výstražná služba rychle reagovat vydáváním a aktualizacemi výstrah.

Poděkování:

Děkujeme kolegům z předpovědních pracovišť ČHMÚ, kteří v popsaném období byli ve službách a také vydávali výstrahy na tento nebezpečný jev, a kolegům, kteří nám byli při psaní tohoto příspěvku nápomocni.

Literatura:

- BERNSTEIN, B. C., 2000. Regional and Local Influences on Freezing Drizzle, Freezing Rain, and Ice Pellet Events. *Weather and Forecasting*, Vol. 15, s. 485–508. ISSN 0882-8156, eISSN 1520-0434.
- ČESKÁ TELEVIZE, 2023. Události 29. 1. 2023 [online]. [cit. 5. 7. 2025]. Dostupné z WWW: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/1097181328-udalosti/223411000100129/cast/959403/>.
- Elektronický meteorologický slovník (eMS), 2019. [online]. Česká meteorologická společnost [cit 20. 02. 2024]. Dostupné z WWW: <http://slovník.cmes.cz>.
- HUFFMAN, G. J., NORMAN JR., G. A., 1988. The Supercooled Warm Rain Process and the Specification of Freezing Precipitation. *Monthly Weather Review*, Vol. 116, s. 2172–2182. ISSN 0027-0644, eISSN 1520-0493.
- KUTĚJ, R., 2023. Řidiči pozor! Ledovka sevřela téměř celý kraj, opatrní musí být také chodci [online]. [cit. 5. 7. 2025]. Dostupné z WWW: <https://opavsky.denik.cz/nehody/stav-silnic-ms-kraj-ledovka-ms-kraj-pocasi-ms-kraj.html>.
- PROCHÁZKA, J., ČÁP, S., 2023. Na Šumavě před koncem ledna ve znamení námrazy [online]. [cit. 5. 7. 2025]. Dostupné z WWW: <https://meteo-sumava.cz/aktuality/2023/na-sumave-pred-koncem-ledna-ve-znameni-namrazy/>.
- RAUBER, R. M., OLTHOFF, L. S., RAMAMURTHY, M. K., KUNKEL, K. E., 2000. The Relative Importance of Warm Rain and Melting Processes in Freezing Precipitation Events. *American Meteorological Society*, Vol. 39, s. 1185–1194. ISSN 0894-8763, eISSN 1520-0450.
- ROLČÍK, I., 2023a. Námraza ve Volarech [online]. [cit. 5. 7. 2025]. Dostupné z WWW: https://meteo-sumava.cz/aktuality/2023/namraza-ve-volarech/?fbclid=IwAR3F8iTLkE8xKWty7q9SzwpiHdSt-fhwIhLyLwSpio_j4aJESGYBXeD6DN4.
- ROLČÍK, I., 2023b. Od vyšších poloh tvorba ledovky [online]. [cit. 5. 7. 2025]. Dostupné z WWW: <https://meteo-sumava.cz/.../od-vyssich-poloh-tvorba-ledovky/>.
- University of Illinois, 2010. SWRP Sounding: supercooled warm-rain process [online]. [cit. 5. 7. 2025]. Dostupné z WWW: [http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/cld/prcp/zr/fcst/swrp.xml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/cld/prcp/zr/fcst/swrp.xml).

Lektoři (Reviewers):

RNDr. František Šopko, RNDr. Marek Kašpar, Ph.D.

Zpráva Světové meteorologické organizace o stavu klimatu ve světě v roce 2024

The WMO report on the Status of the Global Climate in 2024

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

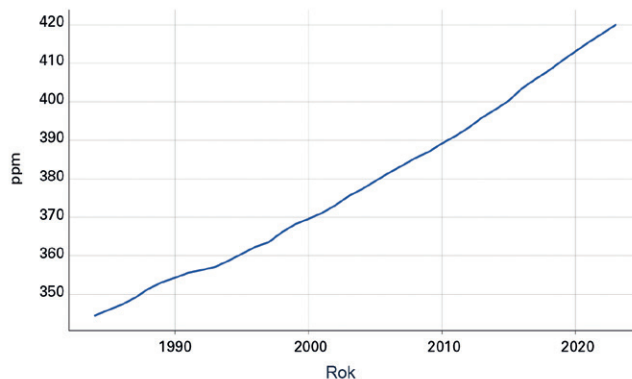
KEYWORDS: average global temperature – globally precipitations – greenhouse gases – ozone – sea level – ocean heat content – acidification – sea-ice

1. Klíčové ukazatele klimatu

1.1 Oxid uhličitý v atmosféře

V roce 2023 koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře a rovněž také koncentrace metanu a oxidu dusného dosáhly nejvyšší úrovně za posledních 800 000 let. Údaje v reálném čase z konkrétních lokalit ukazují, že hladiny těchto tří hlavních skleníkových plynů v roce 2024 nadále rostly. Celosvětový průměrný roční molární podíl oxidu uhličitého (CO_2) v atmosféře (atmosférická koncentrace) dosáhl v roce 2023 (což je poslední rok, pro který jsou k dispozici konsolidované celosvětové roční údaje) nového pozorovaného maxima (obr. 2). Koncentrace $420,0 \pm 0,1$ částic na milion (ppm) byla v roce 2023 o 2,3 ppm vyšší než v roce 2022 a představovala 151 % koncentrace před průmyslovou revolucí (v roce 1750). Koncentrace 420 ppm odpovídá 3276 Gt CO_2 v atmosféře.

V období od 1. ledna 2023 do 31. prosince 2023 se koncentrace CO_2 zvýšila o 2,8 ppm, což je čtvrtá největší změna v rámci jednoho roku od zahájení moderního měření CO_2 v 50. letech 20. století. Tempo růstu je



Obr. 2 Průměrná roční globální koncentrace oxidu uhličitého CO_2 (ppm) v letech 1984 až 2023. Zdroj: Údaje pocházejí ze Světového datového centra pro skleníkové plyny (WDCGG).

Fig. 2. Annual mean globally averaged atmospheric mole fraction of carbon dioxide from 1984 to 2023 in parts per million (ppm). Source: Data are from the World Data Centre for Greenhouse Gases (WDCGG).

obvykle vyšší během podmínek El Niño v důsledku celkového nárůstu emisí z požárů a snížení čistých pozemních propadů uhlíku.

Koncentrace metanu (CH_4) a oxidu dusného (N_2O), dalších dvou klíčových skleníkových plynů, dosáhly v roce 2023 rovněž rekordně vysokých pozorovaných hodnot. Koncentrace CH_4 dosáhla $1\,934 \pm 2$ částic na miliardu (ppb), což je 265 % předindustriálních hodnot, a N_2O dosáhl $336,9 \pm 0,1$ ppb, což je 125 % předindustriálních hodnot. Údaje v reálném čase ukazují, že úrovně CO_2 , CH_4 a N_2O se v roce 2024 nadále zvyšovaly.

Zvýšení koncentrace CO_2 v atmosféře způsobené člověkem je největší hnací silou změny klimatu. CO_2 představuje přibližně 66 % radičního působení všech skleníkových plynů s dlouhou životností od roku 1750 a přibližně 79 % nárůstu za posledních desetiletí. Současné koncentrace CO_2 v atmosféře jsou vyšší než kdykoli za posledních nejméně 2 miliony let. Koncentrace CH_4 a N_2O jsou vyšší než kdykoli za posledních nejméně 800 000 let.

Atmosférické koncentrace CO_2 odrážejí rovnováhu mezi zdroji a spotřebou CO_2 . Antropogenní zdroje CO_2 souvisejí se spalováním fosilních paliv a výrobou cemen-



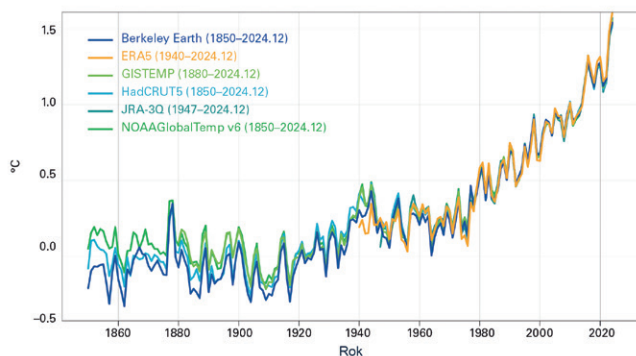
Obr. 1 Obálka publikace SMO.

Fig. 1. Cover of the SMO publication.

tu spolu se změnami ve využívání půdy, jako je odlesňování. K poklesu dochází pohlcováním CO_2 vegetací a oceánem. Část CO_2 emitovaného lidskou činností, která zůstává v atmosféře, se nazývá vzdušná frakce. V jednotlivých letech se liší v důsledku vysoké přirozené proměnlivosti propadů CO_2 , zejména na pevnině. Přírodní zdroje a úbytek CO_2 jsou rovněž ovlivňovány změnou klimatu v důsledku zvyšující se teploty a změn srážek a vlivem sucha náchylností k požárům biomasy. V období 2014–2023 zůstalo v atmosféře 48 % celkových emisí z lidské činnosti, což způsobilo nárůst koncentrace v atmosféře. Odhadované vstřebávání do oceánů představovalo 26 % emisí a odhadovaná spotřeba na pevnině 30 %.

1.2 Globální průměrná teplota

Průměrná roční globální teplota při zemském povrchu v roce 2024 byla o $1,55 \pm 0,13$ °C nad průměrem let 1850–1900, který se používá jako reprezentant předindustriálních podmínek. Rok 2024 byl nejteplejším rokem ve 175letém pozorovacím záznamu a jasně překonal předchozí nejteplejší rok 2023 s odchylkou $1,45 \pm 0,12$ °C nad průměrem let 1850–1900. Každý z posledních deseti let, 2015–2024, patřil samostatně mezi deset nejteplejších let v historii. Analýza je založena na syntéze šesti globálních souborů teplotních dat (obr. 3). Jeden rok s průměrnou roční globální teplotou více než 1,5 °C nad průměrem let 1850–1900 neznamena, že jsme překročili úroveň oteplení definované v Pařížské dohodě.



Obr. 3 Odchylka globální roční průměrné teploty vzhledem k předindustriálnímu období (1850–1900) zobrazené v období 1850–2024. Zdroj: Údaje pocházejí ze šesti datových souborů uvedených v legendě.

Fig. 3. Annual global mean temperature anomalies relative to a pre-industrial (1850–1900) baseline shown from 1850 to 2024. Source: Data are from the six datasets indicated in the legend.

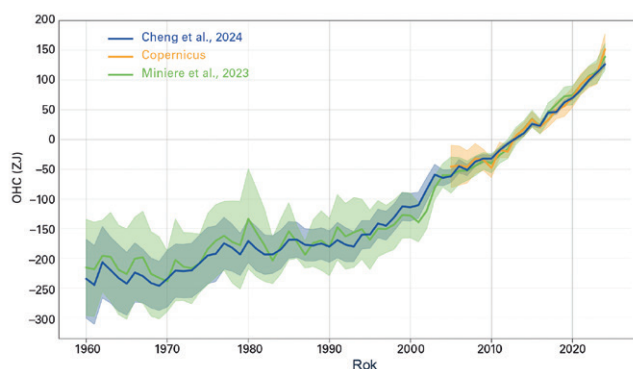
Globální průměrná teplota v roce 2024 byla zvýšena silným jevem El Niño, který dosáhl vrcholu na začátku roku. Rekordních hodnot však teploty dosahovaly již v roce 2023. V každém měsíci od června 2023 do prosince 2024 překonaly průměrné měsíční globální teploty všechny měsíční rekordy před rokem 2023. Globální průměrná teplota je ukazatel teploty při povrchu Země zprůměrovaný na celém jejím povrchu. Odhaduje se na základě teploty vzduchu měřené na meteorologických stanicích ve výšce přibližně 1,5 až 2 m a teploty mořského povrchu měřené na lodích a oceánských bójích. Údaje jsou kontrolovány z hlediska kvality a korigovány s ohledem na změny ve způsobu měření teplot, poté jsou mezery vyplněny pomocí statistických metod. Globální průměrnou teplotu lze také vypočítat pomocí reanalýz, které využívají modely předpovědi

počasí v kombinaci mnoha druhů měření, včetně satelitních. Odhady založené na reanalýzách jsou reprezentativní pro teplotu vzduchu na pevnině i v oceánech. Pro hodnocení globální teploty v této zprávě bylo použito šest datových souborů, včetně dvou reanalýz. Společně pokrývají období od roku 1850 do současnosti, i když ne každá datová sada pokrývá celé toto období (obr. 3). Mezi jednotlivými řadami jsou drobné rozdíly a v období, ve kterém se překrývají, vykazují do značné míry stejné výkyvy. Rozdíly jsou větší na počátku záznamu, což vede k pouze malým rozdílům v jejich hodnocení dlouhodobých změn (přibližně 0,1 °C). Tyto rozdíly jsou zohledněny v odhadech nejistoty anomálií vzhledem k období 1850–1900.

Globální průměrná teplota je základem dlouhodobého teplotního cíle Pařížské dohody. Obecně se však má za to, že Pařížská dohoda se vztahuje na dlouhodobé změny (desetileté nebo delší), nikoli na jednotlivé roky.

1.3 Obsah tepla v oceánu

V roce 2024 byl zaznamenán rekordní obsah tepla v globálním oceánu, který překonal předchozí rekord z roku 2023 o 16 ± 8 ZJ (obr. 4). V posledních osmi letech byl v každém roce překročen rekord pro obsah tepla v oceánu. Přístrojové záznamy začínají v roce 1960. Rychlost oteplování oceánu v posledních dvou desetiletích (2005–2024), $0,99\text{--}1,07$ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ neboli $11,2\text{--}12,1$ ZJ za rok, je více než dvojnásobná oproti hodnotám pozorovaným v období 1960–2005 ($0,27\text{--}0,34$ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ neboli $3,1\text{--}3,9$ ZJ za rok). Poslední zpráva Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) dospěla k závěru, že je prakticky jisté, že obsah tepla v oceánech se od 70. let 20. století zvýšil, a je velmi pravděpodobné, že hlavní příčinou je vliv člověka. Na základě zde použitých souborů dat se tepelný obsah globálního oceánu v průměru za období 1971–2024 zvýšil o $0,6 \pm 0,1$ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ($6,8$ ZJ za rok), což je v souladu se zprávou IPCC.



Obr. 4 Roční globální obsah tepla v oceánu do hloubky 2 000 m v období 1960–2024 v zetajoulech (10^{21} J). Stínovaná oblast označuje rozsah dvou směrodatných odchylek nejistoty každého odhadu.

Fig. 4. Annual global ocean heat content down to 2 000 m depth for the period 1960–2024, in zetajoules (10^{21} J). The shaded area indicates the 2-sigma uncertainty range on each estimate.

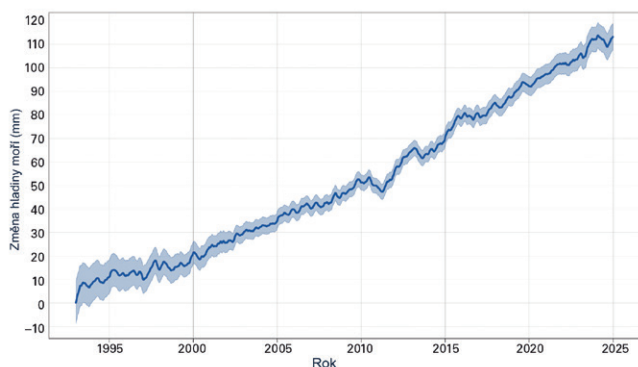
Pozorované oteplování oceánů naznačuje, že Země je v současné době mimo energetickou rovnováhu. Rychlost oteplování ukazuje, jak rychle zemský systém pohlcuje přebytečnou energii ve formě tepla z klimatických vlivů. Přibližně 5 % této přebytečné energie ohřívá pevninu, 1 % ohřívá atmosféru

a 4 % ohřívá a rozpouští kryosféru. Většina energie, přibližně 90 %, však přispívá k ohřívání oceánů. Ukazatel obsahu tepla v oceánech je proto klíčovým indikátorem změny klimatu. Integrace teploty oceánů od hladiny až do hlubin oceánu (obvykle do hloubky 2000 m) poskytuje měřítko obsahu tepla v oceánu. Teplota oceánů se měří výzkumnými loděmi již více než sto let, ale pozorování jsou příliš řídká na to, aby bylo možné vytvořit globální průměr před rokem 1960. Od 70. let 20. století se provádějí další měření pomocí vyměnitelných zařízení vypouštěných z lodí. Přibližně od roku 2005 zajišťují téměř globální pokrytí do hloubky 2000 m autonomní bóje Argo. Časové řady obsahu tepla v oceánu v globálním měřítku ukazují, že se světový oceán jednoznačně otepluje. Změny teploty světového oceánu jsou nevratné v časovém měřítku od jednoho století do jednoho tisíciletí a klimatické prognózy ukazují, že oteplování oceánu bude pokračovat po zbytek jednadvacátého století i v dalších letech, a to i v případě scénářů s nízkými emisemi. Oteplování oceánů má dalekosáhlé důsledky, například degradaci mořských ekosystémů, ztrátu biologické rozmanitosti a snížení ukládání uhlíku v oceánech. Podporuje tropické a subtropické bouře a zhoršuje pokračující úbytek mořského ledu v polárních oblastech. Oteplování oceánů spolu s úbytkem ledu na pevnině způsobuje zvyšování hladiny moří.

1.4 Globální průměrná hladina moře

Dlouhodobá rychlost stoupání mořské hladiny (obr. 5) se od počátku satelitního záznamu více než zdvojnásobila, a to z 2,1 mm ročně v letech 1993–2002 na 4,7 mm ročně v letech 2015–2024. V roce 2024 dosáhla průměrná globální hladina moře rekordní hodnoty v satelitním záznamu (od roku 1993 do současnosti).

Silný jev El Niño v letech 2023/2024 dočasně zvýšil průměrnou globální hladinu moře o několik milimetrů a svého maxima dosáhl v zimě 2023/2024 na severní polokouli. Dočasný pokles průměrné globální hladiny moře na počátku roku 2024 odpovídal konci El Niña a návratu k neutrálním podmínkám, i když k tomu mohly přispět i další faktory. Průměrná globální hladina moře se měří pomocí družic a radarových výškoměrů, které zaznamenávají dobu, za kterou radarový signál dosáhne mořské hladiny a vrátí se zpět k družici. Dlouhodobější záznamy o globální průměrné hladině moře existují na základě měření výskytu přílivu prováděných podél pobřeží po celém světě



Obr. 5 Sezónní změna průměrné globální hladiny moře od roku 1993 pro období 1993–2024. Z údajů byl odstraněn sezónní cyklus. Stínovaná oblast označuje nejistotu. Zdroj: Data z AVISO CNES.

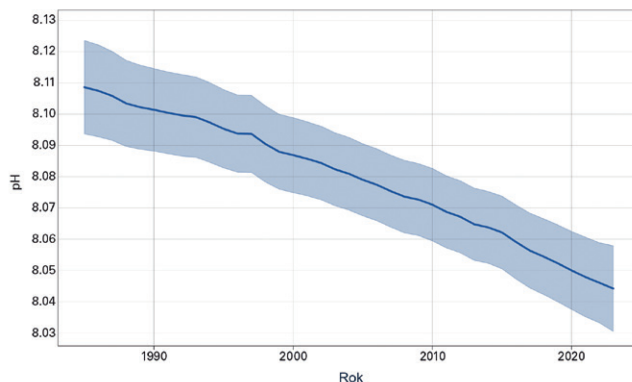
Fig. 5. Seasonal global mean sea level change from 1993 shown for 1993–2024. The seasonal cycle has been removed from the data. The shaded area indicates the uncertainty. Source: Data from AVISO CNES.

od konce devatenáctého století. Oteplování oceánů způsobuje rozpínání vody a zvyšování průměrné hladiny světového oceánu. Ke zvyšování hladiny moří přispívá také tání ledu na pevnině. Protože oteplování oceánů bude pokračovat po staletí, i kdyby emise skleníkových plynů ustaly, hladina moří bude ve stejném časovém měřítku stoupat i nadále. Změny mořské hladiny mají rozsáhlé dopady na pobřežní oblasti a obce. Zvyšování hladiny moře přinese kaskádovitě a závažné dopady, které povedou ke ztrátě pobřežních ekosystémů a ekosystémových služeb, zasolení podzemních vod, záplavám a poškození pobřežní infrastruktury. Tyto dopady se kaskádovitě promítají do rizik pro živobytí, osídlení, zdraví, blahobyt, zabezpečení potravin a vody, bezpečnost i kulturní hodnoty v blízkém až dlouhodobém horizontu.

1.5 pH oceánů

Celosvětově se pH povrchu oceánu v období 1985–2023 měnilo rychlostí $-0,017 \pm 0,001$ jednotky pH za desetiletí (obr. 6). Rok 2023 je posledním rokem, pro který máme k dispozici konsolidované globální údaje. Pokles pH se označuje jako okyselování oceánů. Rychlost změny pH je v souladu s odhadem nejnovější zprávy IPCC. Okyselování oceánů neprobíhá regionálně rovnoměrně. Nejintenzivnější poklesy pH na povrchu jsou pozorovány v Indickém oceánu, Jižním oceánu, východním rovníkovém Tichém oceánu, severním tropickém Tichém oceánu a některých oblastech Atlantského oceánu. V těchto oblastech, které tvoří 47 % odebraných vzorků světového oceánu, se povrch oceánu okyseluje rychleji, než je celosvětový průměr.

Přibližně čtvrtina CO_2 vypouštěného lidskou činností během desetiletí 2014–2023 byla absorbována oceánem. Tento proces způsobil změnu chemického složení uhlíčanů v oceánu, což vedlo k poklesu pH. Hodnota pH oceánu je vyšší než 7, takže voda v oceánu zůstává mírně zásaditá, ale pozorovaný pokles pH se označuje jako okyselování oceánu. Je dobře známo, že okyselování oceánů ovlivňuje mořský život. Reakce mořských organismů na kombinované účinky okyselování, oteplování oceánů a úbytek kyslíku (deoxygenace) se u různých skupin projevují na různých metabolických úrovních a zahrnují respirační stres a snížení tepelné tolerance. Účinky okyselování oceánů na plochu stanovišť, biologickou rozmanitost, funkci



Obr. 6 Roční průměrné globální pH povrchového oceánu v letech 1985 až 2023. Tmavá čára je centrální odhad a stínovaná oblast je rozsah nejistoty. Zdroj: Údaje z programu Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS).

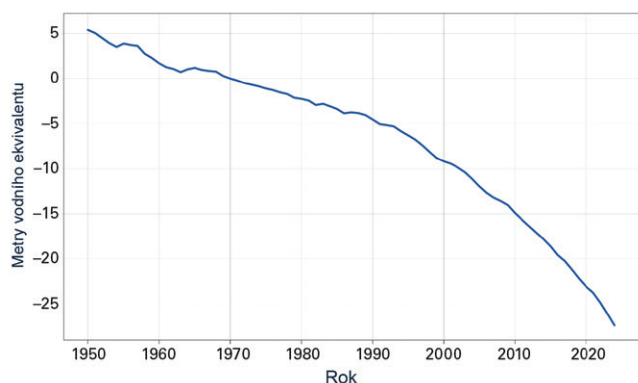
Fig. 6. Annual global mean surface ocean pH 1985 to 2023. The dark line is the central estimate and the shaded area is the uncertainty range. Source: Data from Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS).

ekosystémů a ekosystémové služby již byly jasně pozorovány a produkce potravin z akvakultury měkkýšů a rybolovu byla negativně ovlivněna. Teplovodní korálové útesy a skalnaté pobřeží s převahou nepohyblivých, vápnitých organismů, které vytvářejí schránky a kostry, jako jsou koráli, mlži a koryšci, jsou rovněž ovlivněny extrémními teplotami a změnami pH. Sledování pH povrchových vod oceánu se stalo předmětem mnoha mezinárodních vědeckých iniciativ a představuje jeden z cílů udržitelného rozvoje.

1.6 Hmotnostní bilance ledovců

Údaje o hmotnostní bilanci ledovců (množství hmoty získané nebo ztracené ledovci) za hydrologický rok 2023/2024 (září–srpen) ještě nejsou plně k dispozici, ale předběžná pozorování z přibližně 90 % údajů o ledovcích, které jsou každoročně hlášeny Světové službě pro monitorování ledovců, naznačují, že rok 2023/2024 byl celosvětově dalším rokem s mimořádně zápornou hmotnostní bilancí (obr. 7). Výjimečně záporná hmotnostní bilance byla zaznamenána v Norsku, Švédsku, na Špicberkách a v tropických Andách. Pouze dva ze 141 ledovců, které dosud podaly zprávu (z celkového možného počtu přibližně 160), měly kladnou hmotnostní bilanci a souhrnná hodnota z podskupiny 58 z přibližně 60 globálních referenčních ledovců ukazuje na průměrný úbytek hmotnosti odpovídající mimořádně záporné hmotnostní bilanci v letech 2021/2022 a 2022/2023, který se podle prognózy blíží $-1,1$ metru vodní hodnoty (m v.e.). Pokračuje tak trend zrychleného úbytku hmotnosti ledovců dvacátých let. Poslední tři roky (2021/2022 až 2023/2024) představují největší zápornou tříletou hmotnostní bilanci v historii. Sedm z deseti let s největší zápornou hmotnostní bilancí od roku 1950 nastalo od roku 2016.

Ledovce vznikají ze sněhu, který se zhutnil a vytvořil led, který se pak deformuje a stéká dolů. Ledovce se skládají ze dvou zón: akumulací zón, kde akumulace hmoty ze sněhových srážek převyšuje úbytek ledu, a ablační zóny, kde úbytek ledu (ablace) z tání a dalších mechanismů převyšuje akumulaci. Tam, kde ledovec končí v jezeře nebo oceánu, může docházet k úbytku ledu táním v místě, kde se led setkává s vodou, a odlamováním kusů ledovce.



Obr. 7 Kumulativní roční hmotnostní bilance referenčních ledovců s více než 30 lety průběžných glaciologických měření. Roční hodnoty změny hmotnosti jsou vyjádřeny v metrech vodního ekvivalentu, což odpovídá tunám na metr čtvereční ($1\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). Hodnota pro rok 2024 je předběžná.

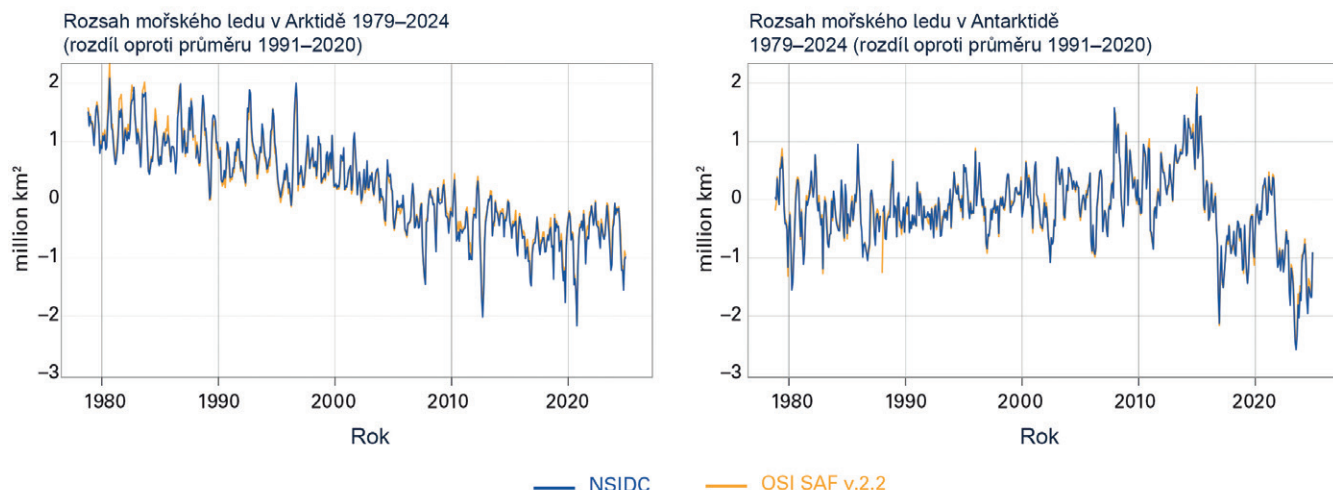
Fig. 7. Cumulative annual mass balance of reference glaciers with more than 30 years of ongoing glaciological measurements. Annual mass change values are expressed in metres water equivalent, which corresponds to tonnes per square metre ($1\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). The 2024 value is preliminary.

Hmotnostní bilance ledovce (množství hmoty, kterou ledovec získal nebo ztratil) se běžně vyjadřuje jako roční změna tloušťky zprůměrovaná na plochu ledovce, vyjádřená v metrech vodního ekvivalentu. Jeden metr vodního ekvivalentu je přibližně stejný jako jedna tuna na metr čtvereční. Úbytek ledu z ledovců se na celkovém vzestupu mořské hladiny v období 1993–2018 podílel přibližně 21 %, což je přibližně polovina růstu hladiny v důsledku oteplování oceánů (42 %), ale větší než příspěvek z tání ledových příkrovů v Grónsku (15 %) a Antarktidě (8 %). Hmotnostní bilance jednotlivých ledovců jsou ovlivňovány změnami teploty, srážek, vlhkosti a oblačnosti. Šestá hodnotící zpráva IPCC (AR6) dospěla k závěru, že vliv člověka je s velkou pravděpodobností hlavní příčinou globálního ústupu ledovců od 90. let 20. století, a uvedla, že „globální charakter ústupu ledovců od 50. let 20. století, kdy téměř všechny ledovce světa ustupují synchronně, je bezprecedentní přinejmenším za posledních 2 000 let“. Rychlost tání je také silně ovlivněna albedem ledovce, tedy podílem slunečního záření, které se odráží od povrchu ledovce. Odhalený ledovcový led je tmavší, a má proto nižší albedo než sezónní sněhová pokrývka; je také citlivý na ztmavnutí způsobené minerálním prachem, černým uhlíkem, činností řas a spadem z lesních požárů. Snížená sněhová pokrývka, dlouhá období tání a činnost lesních požárů soustřeďují na povrchu ledovce tmavší materiál, snižují jeho albedo, a tím zvyšují rychlost tání.

1.7 Rozloha mořského ledu

Rozsah mořského ledu v antarktické i arktické oblasti byl v roce 2024 v průběhu celého ročního cyklu pod příslušnými průměry z let 1991–2020 (obr. 8). Minimální denní rozsah mořského ledu v Arktidě v roce 2024 činil 11. září 4,28 milionu km^2 , což je sedmý nejnižší rozsah ve 46letém satelitním záznamu. To je o 1,17 milionu km^2 méně než průměrný minimální denní rozsah v letech 1991–2020. Všechny 18 nejnižších minim v satelitním záznamu se odehrály v posledních 18 letech. Minimální denní rozsah mořského ledu v oblasti Antarktidy v roce 2024 činil 20. února 1,99 milionu km^2 , což se vyrovnalo druhému nejnižšímu minimu v satelitní éře a znamenalo třetí rok po sobě, kdy minimální rozsah mořského ledu v Antarktidě klesl pod dva miliony km^2 . Jedná se o tři nejnižší minima antarktického ledu v satelitních záznamech. Rozsah antarktického ledu zůstal po celý rok pod průměrem let 1991–2020 a kolem 19. září dosáhl svého ročního denního maxima 17,16 milionu km^2 . Rozsah antarktického ledu zůstal po celý rok pod průměrem z let 1991–2020 a kolem 19. září dosáhl svého ročního maximálního denního rozsahu, 16 milionu km^2 . Šest dní chybějících dat poblíž maxima znamená, že existuje určitá nejistota ohledně přesného rozsahu a data. Pozorované maximum bylo o 1,55 milionu km^2 nižší než průměrný maximální denní rozsah antarktického ledu z let 1991–2020 a je druhým nejnižším maximálním rozsahem ledu v historii záznamů; pouze v roce 2023 byl nižší. Rok skončil s rozsahem mírně pod průměrem z let 1991–2020.

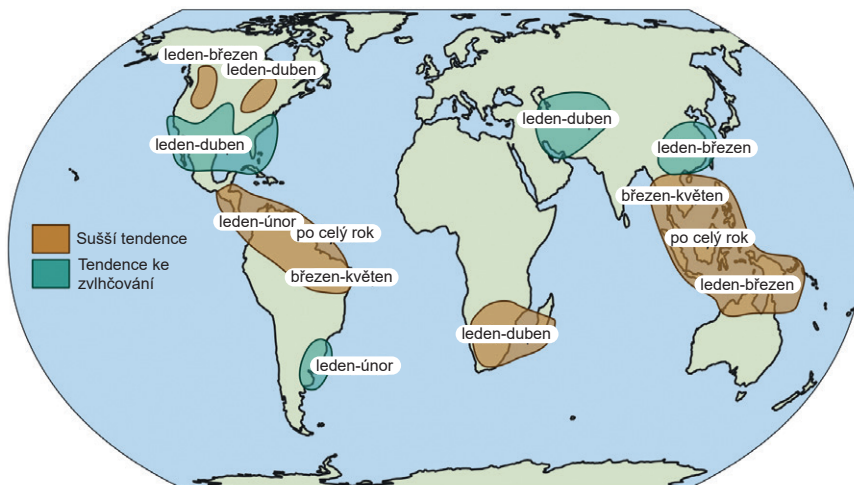
Mořský led je zmrzlá mořská voda, která plave na hladině oceánu. Mořský led se v polárních oblastech Země rozšiřuje každý podzim a zimu, protože voda v oceánu zamrzá v reakci na ochlazování atmosféry a oceánu. Letní oteplování velkou část tohoto sezónního ledu rozpustí, přičemž roční minima mořského ledu jsou na každé polokouli obvykle zaznamenána koncem léta nebo začátkem podzimu (září na severní polokouli, únor na jižní polokouli). Změny v pokrývce mořského ledu mohou ovlivnit oceánskou cirkulaci, dynamiku atmosféry a zahřívání povrchu. Rozloha mořského ledu je definována jako



Obr. 8 Měsíční odchylka rozsahu mořského ledu v Arktidě (vlevo) a Antarktidě (vpravo) (rozdíl oproti průměru let 1991–2020) v milionech km² v letech 1979–2024. Zdroj: Data z NSIDC a OSI SAF.

Fig. 8. Monthly Arctic (left) and Antarctic (right) sea-ice extent anomalies (difference from the 1991–2020 average) in millions of square kilometres from 1979 to 2024. Source: Data from NSIDC and OSI SAF.

plocha oceánu s alespoň 15 % pokrytím ledem. Jedná se o dynamickou veličinu, která se mění v závislosti na termodynamickém růstu (mrznutí) a rozpadu (tání) a také na pohybu ledové pokrývky vlivem větru a oceánských proudů. Rozloha mořského ledu a jeho pokrytí se mapuje pomocí mikrovlnných satelitních snímků. Dlouhodobé změny rozsahu arktického mořského ledu byly pozorovány v průběhu celého sezónního cyklu. Klesající trend minimálního rozsahu arktického mořského ledu od roku 1979 do roku 2024 činí přibližně 14 % průměru let 1991–2020 za desetiletí, což odpovídá úbytku mořského ledu o 77 000 km² ročně. Až do roku 2015 měl maximální rozsah mořského ledu v Antarktidě malý, ale pozitivní dlouhodobý trend. Po nedávných letech s nízkým rozsahem to však již neplatí. Ačkoli v posledních třech letech byla antarktická ledová pokrývky anomálně nízká, je třeba ještě zjistit, zda došlo ke změně režimu antarktického mořského ledu.



Obr. 9 Typické sezónní srážkové efekty El Niño pro období leden až červen na základě různých zdrojů. Nejedná se o předpověď, hodnoty vychází z historických souvislostí mezi jevem El Niño a srážkami.

Fig. 9. Typical El Niño seasonal precipitation effects for January to June based on various sources. Note this is not a forecast; it is based on historical associations between El Niño and precipitation.

1.8 El Niño–Jižní oscilace

Po dlouhotrvajícím období La Niña, které trvalo od roku 2020 do začátku roku 2023, se v září 2023 ustálilo El Niño. Událost dosáhla vrcholu v období listopad 2023–2024, kdy index oceánského Niña dosáhl 2,0 °C, což je nejvyšší vrchol od El Niña 2015/2016 a pátý nejvyšší vrchol od roku 1950, tedy od počátku časové řady. Od ledna 2024 začaly anomálie teploty mořské hladiny ve východním tropickém Pacifiku klesat a kolem června se vrátily k neutrálním podmínkám ENSO. Neutrální nebo slabě La Niña podmínky přetrvávaly i na konci roku 2024. Globální teploty v letech 2023 a 2024 byly vyšší než v předchozích letech, což je typické pro období El Niño. V každém měsíci roku 2024 bylo zaznamenáno rekordní nebo téměř rekordní teplo a průměrná roční teplota v tomto roce byla rekordní. Svou roli však pravděpodobně sehrály i další

faktory. Některé srážkové úhrny v roce 2024, například suché podmínky nad severní částí Jižní Ameriky a jižní Afrikou, byly charakteristické pro jev El Niño (obr. 9).

Přechod od El Niño k neutrálním podmínkám během roku 2024 byl pravděpodobně spojen také s dočasným poklesem globální průměrné hladiny moře. El Niño–Southern Oscillation (ENSO) je jedním z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují meziroční a sezónní proměnlivost počasí na celém světě. Je spojen se změnami výskytu a rozložení nebezpečných extrémů, jako jsou přívalem deště, povodně a sucha, vlny veder a chladná období. El Niño se vyznačuje nadprůměrnými teplotami povrchu moře ve východní části tropického Pacifiku a oslabením pasátů v regionu. Oslabení pasátů snižuje příliv chladnějších vod podél pobřeží Jižní Ameriky, což následně vede k vyšším teplotám mořské hladiny. La Niña, která se vyznačuje pod-

průměrnými teplotami povrchu moře ve středním a východním tropickém Pacifiku a zesílením pasátů, má obecně opačné účinky než El Niño. El Niño má obvykle dočasný oteplovací vliv na globální průměrnou teplotu a La Niña má obvykle dočasný ochlazující vliv. Největší oteplovací nebo ochlazovací účinky se obvykle projeví dva až tři měsíce po vrcholu události, protože je potřeba čas, aby se nadměrné oteplení nebo ochlazení v oceánu rozšířilo do atmosféry a proniklo do ní. El Niño a La Niña mají vliv na regionální srážkové úhrny po celém světě, které se mohou lišit v závislosti na síle a načasování události a dalších souběžných meteorologických faktorech. Na obrázku 9 jsou znázorněny některé typické srážkové anomálie, kterým podmínky El Niño přejí. Každé El Niño je však jiné a srážky ovlivňují i další faktory. Změna srážkových poměrů může mít vliv i na hladinu moře, přičemž během jevů El Niño je průměrná globální hladina moře vyšší a během jevů La Niña je průměrná globální hladina moře nižší.

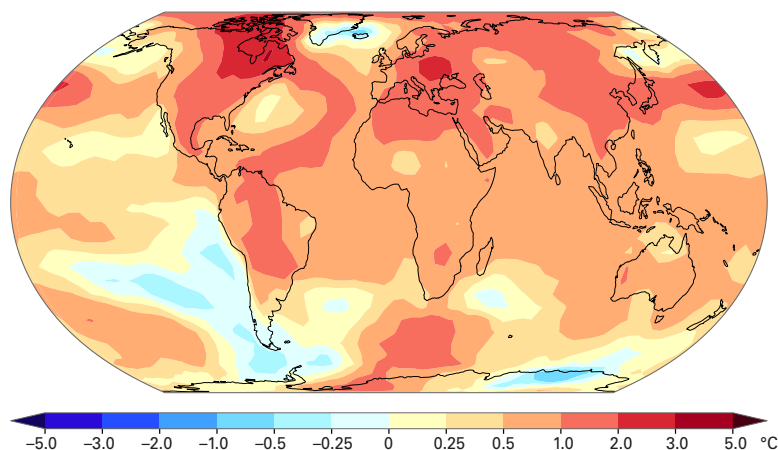
2. Globální průběh teploty a srážek

2.1 Teplota

Většina pevninských oblastí byla v roce 2024 teplejší než dlouhodobý průměr (1991–2020), s omezenými oblastmi s podprůměrnými teplotami v okolí Islandu, v části Antarktidy a jižním cípu Jižní Ameriky (obr. 10). Rekordní nebo téměř rekordní průměrné roční teploty byly pozorovány v rozsáhlých oblastech tropů od Jižní a Střední Ameriky na východ až po západní Pacifik. Mimořádně vysoké roční teploty byly zaznamenány i v dalších pevninských oblastech mimo tropy, včetně východní části Severní Ameriky, severní Afriky a Evropy a jižní a východní Asie. Teploty mořské hladiny dosáhly rekordních hodnot v tropickém a severním Atlantiku, v tropické části Indického oceánu, v částech západního Pacifiku a v částech Jižního oceánu. Navzdory podmínkám El Niño na začátku roku byly podél západního pobřeží Jižní Ameriky pozorovány chladnější vody, než je průměr, přičemž nadprůměrné teploty byly patrné spíše západněji podél rovníku.

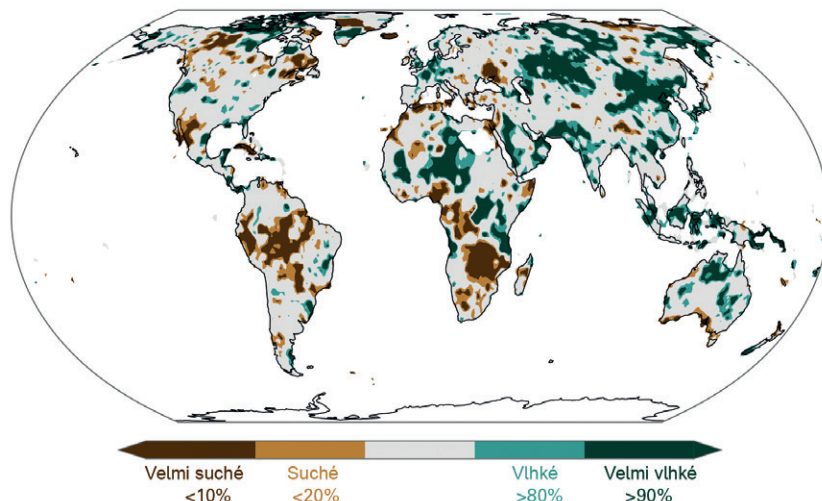
2.2 Srážky

V roce 2024 byly pozorovány sušší podmínky, než je průměr (1991–2020) (obr. 11), na většině území jižní Afriky, na některých místech v pobřežní západní Africe a podél severoafrického pobřeží. Velká část Jižní Ameriky, od Amazonské nížiny a severních And až po mokřady Pantanal, byla rovněž sušší než obvykle. Severozápadní Mexiko, některé ostrovy v Karibiku a části severu Severní Ameriky měly neobvykle nízké sráž-



Obr. 10 Odchylka průměrné roční teploty vzhledem k průměru let 1991–2020. Zobrazené hodnoty jsou mediánem z šesti globálních souborů teplotních dat. Zdroj: Údaje ze šesti globálních teplotních datových souborů.

Fig. 10. Annual average temperature anomalies relative to the 1991–2020 average. The values shown are the median of six global temperature datasets. Source: Data from six global temperature datasets.



Obr. 11 Roční úhrn srážek v roce 2024 vyjádřený jako percentily rozdělení v letech 1991–2020. Hnědé oblasti jsou neobvykle suché. Zelené oblasti jsou neobvykle vlhké. Zdroj: Údaje z Globálního klimatologického centra pro srážky (GPCC).

Fig. 11. Annual precipitation 2024 expressed as percentiles of the 1991–2020 distribution. Brown areas are unusually dry. Green areas are unusually wet. Source: Data from Global Precipitation Climatology Centre (GPCC).

kové úhrny. Oblasti podél jižního pobřeží Austrálie, severní části Nového Zélandu, Nová Kaledonie a střední a východní ostrovy v Polynésii měly nižší srážkové úhrny než obvykle. Také jižní a jihovýchodní Evropa byla sušší než obvykle. Části oblasti Sahelu a části střední a jižní části východní Afriky byly vlhčí než obvykle. Střední a západní Evropa byla rovněž vlhčí, než je dlouhodobý průměr. Západní ostrovy Polynésie, severní Melanésie a také jižní část Nového Zélandu a části východní a severní Austrálie byly vlhčí, než je průměr. Kanadské arktické ostrovy a některé lokality v okolí Mexického zálivu byly vlhčí než obvykle. Vyšší než obvyklé srážkové úhrny byly pozorovány ve velké části severovýchodní, východní a střední Asie a v menší míře také v jihovýchodní, jižní a jihozápadní Asii.

3. Události s velkým dopadem

Extrémní povětrnostní jevy v roce 2024 vedly k nejvyššímu počtu nových vysídlení zaznamenaných od roku 2008. Nové, opakované a dlouhodobé vysídlení se týkalo značného počtu lidí v nestabilních a konfliktních oblastech. Vedle ničení domovů, kritické infrastruktury, lesů, zemědělské půdy a biologické rozmanitosti tyto extrémní povětrnostní jevy podkopávají odolnost a představují významné riziko pro lidi v pohybu a pro ty, kteří již žijí ve vysídlení. Souhrnné účinky různých šoků, jako jsou silící konflikty, sucho a vysoké domácí ceny potravin, vedly v polovině roku 2024 ke zhoršení potravinové krize v 18 zemích světa. V osmi zemích se v roce 2024 potýkalo s akutní potravinovou nedostatečností nejméně o 1 milion lidí více než během maxima v roce 2023. Snížená celosvětová úroda obilovin je důsledkem rozsáhlého sucha, které je v některých regionech, například v jižní Africe, spojeno s podmínkami El Niño.

Tropické cyklóny byly příčinou mnoha událostí s největším dopadem v roce 2024. Tajfun *Yagi* na začátku září dosáhl pevniny v severním Vietnamu poté, co nejprve přešel přes Filipíny a nejnižší části Číny. Ve Vietnamu, na Filipínách, v Laoské lidové demokratické republice, Thajsku a Myanmaru byly hlášeny oběti na životech a vysídlené osoby. V Číně a na Filipínách došlo ke značným škodám způsobeným větrem. Hurikány *Helene* na konci září a *Milton* v říjnu zasáhly západní pobřeží Floridy jako silné hurikány. Oba měly při svém dopadu na pevninu velké následky a *Helene* způsobila mimořádné srážky a extrémní záplavy ve vnitrozemí jihovýchodní části Spojených států, zejména v západní části Severní Karolíny. Oba hurikány měly ekonomické dopady v řádu desítek miliard dolarů. S hurikánem *Helene* bylo spojeno více než 200 úmrtí, což je nejvíce úmrtí spojených s hurikánem na pevnině Spojených států od hurikánu *Katrina* v roce 2005. Na jižní polokouli v prosinci tropický cyklon *Chido* přešel přes francouzský departement Mayotte v Indickém oceánu, poté se dostal na pevninu v Mosambiku a pokračoval do Malawi, přičemž ve všech třech zemích způsobil velké škody a značné ztráty na životech. V Mosambiku cyklon *Chido* vyhnal z domovů přibližně 100 000 lidí, zničil domy a vážně poškodil silnice a komunikační sítě, což ztížilo úsilí o pomoc v oblastech, kde se již nacházelo velké množství vysídlených osob. Podobně zranitelné komunity na Mayotte čelily zvýšenému riziku kvůli zkáze, kterou přinesl cyklon *Chido*.

Afgánistán a sousední oblasti Pákistánu a Íránské islámské republiky postihla na konci zimy a na jaře řada katastrof: koncem února a začátkem března 2024 přišly abnormální mrazy a sněžení na horách, v následujících měsících pak několik povodní, z nichž nejhorší postihla Afgánistán mezi 10. a 17. květnem. Dne 30. května bylo zaplaveno přibližně 35 000 ha orné půdy. Při záplavách bylo hlášeno několik stovek mrtvých a vlna mrazů si rovněž vyžádala značné ztráty na životech.

Od poloviny roku přinesl abnormálně aktivní monzun velké záplavy do mnoha částí Sahelu v Africe. Téměř všechny země v regionu hlásily významné dopady, přičemž záplavy zasáhly velké plochy orné půdy a vedly ke značnému počtu úmrtí. V období od března do května zasáhly záplavy především rovníkovou východní Afriku, přičemž v zemích, jako je Keňa a Tanzanie, došlo k velkým ztrátám na životech, vysídlení obyvatel, zničení obdělávané půdy a ztrátám na hospodářských zvířatech. Viktoriino jezero dosáhlo rekordně vysoké hladiny

vody a následné záplavy po proudu silně zasáhly později v průběhu roku Jižní Súdán.

Naopak suché podmínky v období, které je obvykle obdobím dešťů, na přelomu let 2023 a 2024 způsobily výrazné sucho v severozápadní Africe a v mnoha částech vnitrozemí jižní Afriky, zejména v Zimbabwe, Zambii, Botswaně a Namibii. Silné sucho vedlo k významným dopadům na zemědělství a výrobu vodních elektráren.

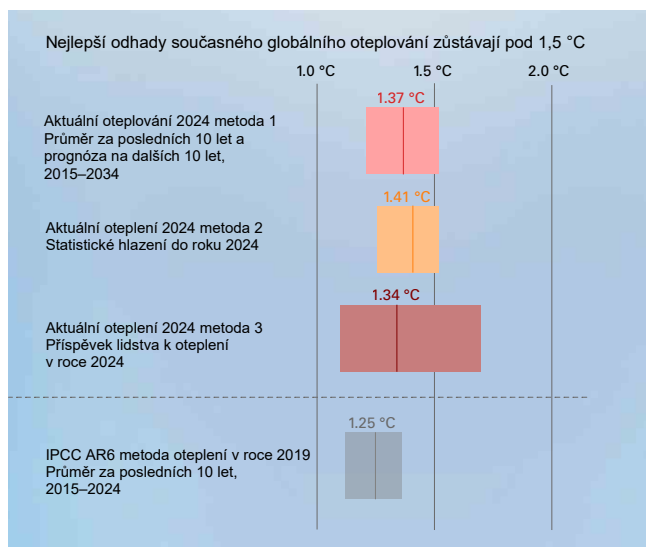
Počátkem roku postihly Chile ničivé lesní požáry. Požár v okolí města Viña del Mar, který vypukl 2. a 3. února, si vyžádal přes 300 obětí a škody na několika tisících nemovitostech, což patřilo k nejhorším ztrátám způsobeným požárem v tomto století na celém světě. Velmi aktivní byla také sezóna lesních požárů v Kanadě, kde byly emise uhlíku z lesních požárů druhé nejvyšší v historii (od roku 2003 do současnosti) a vypálená plocha patřila mezi pět nejvyšších v historii (od roku 1983 do současnosti). Západní část Spojených států měla rovněž aktivní sezónu lesních požárů. Celkem bylo v obou zemích hlášeno přes 300 000 přesunutých.

Sucho postihlo mnoho částí Ameriky; velké sucho v Mexiku a v některých částech Střední Ameriky v roce 2023 přetrvávalo až do prvních měsíců roku 2024, výrazné sucho panovalo také ve velké části vnitrozemí Jižní Ameriky. Řeka Rio Negro u Manausu a řeka Paraguay u Asunciónu dosáhly rekordně nízkých hladin a počet požárů v brazilské Amazonii byl největší od roku 2010. Výjimkou z obecně suchých podmínek v Jižní Americe byly záplavy na začátku května ve státě Rio Grande do Sul na jihu Brazílie. Vytrvalé přívalemé deště vedly k záplavám, které zaplavily velké části města Porto Alegre a mnoho okolních oblastí, což mělo značné dopady na zemědělství a rybolov a také více než 200 obětí.

Extrémní srážky vyústily 29. října ve Valencii ve Španělsku v rozsáhlé bleskové povodni, které souvisely s chladným vzduchem ve vyšších vrstvách nad jižním Španělskem. V Turisu na západě Valencie spadlo 185 mm srážek za jednu hodinu, což je španělský národní rekord. Za šest hodin spadlo 621 mm srážek a za 24 hodin bylo zaznamenáno 772 mm srážek. Srážky vedly k mimořádným záplavám na dolním toku řeky, které zasáhly zejména jižní část valencijské metropolitní oblasti. Ve Valencii a okolních oblastech bylo hlášeno více než 200 obětí a vážné škody.

V roce 2024 se vyskytlo mnoho významných vln veder, z nichž mnohé se vyznačovaly dlouhými obdobími horka a na mnoha stanicích na rozsáhlých územích byly překonány rekordy. Podle zprávy WMO o stavu klimatických služeb v roce 2023 jsou dopady extrémních veder a vln veder podhodnoceny a úmrtnost v důsledku veder by mohla být mnohonásobně vyšší, než jsou současné odhady. Během léta na severní polokouli byly vlnami veder obzvláště postiženy oblasti východní Asie, jihovýchodní Evropy, Středomoří a Blízkého východu a jihozápadní části Spojených států. Následovala rekordní vedra v mnoha částech tropů severní polokoule v předmonzunové období od konce března do května, včetně jihovýchodní Asie, západní Afriky a Sahelu, Střední Ameriky a severní Indie. Mezi nejvýznamnější události patřila červnová vlna veder v Saúdské Arábii, kdy teplota v okolí Mekky dosáhla během pouti Hajj pilgrimage 50 °C. Během pouti bylo hlášeno mnoho obětí, z nichž velká většina byla částečně nebo zcela způsobena extrémním horkem.

Systémy včasného varování se ukázaly být účinnými systémy, které mohou vlády využít k tomu, aby včas evakuovaly komu-



Obr. 12 Tři metody stanovení aktuálního odhadu současného globálního oteplování v roce 2024 ve srovnání s metodou IPCC AR6, která používá průměry za posledních 10 let a je reprezentativní pro oteplování do roku 2019. Nejlepší odhad vyplývající z každé metody je znázorněn tmavou svislou čarou a rozsah nejistoty je znázorněn stínovanou plochou.

Fig. 12. Three methods for establishing an up-to-date estimate of current global warming as of 2024, compared with the IPCC AR6 method, which uses averages over the previous 10 years and is representative of warming to 2019. The best estimate resulting from each method is shown as a dark vertical line, and the uncertainty range is shown by the shaded area.

nity mimo ohrožení katastrofou, nebo aby se zvládala událost na místě. Spolehlivé údaje a účinné politiky snižování rizika katastrof jsou pro záchranu životů klíčové. Rozčleněné údaje (ukazující četnost, spouštěče a posloupnost vysídlení) mohou pomoci krizovým štábům plánovat reakce a rozvíjet zmírnění dopadů na vysídlené osoby a hostitelské komunity.

4. Sledování globální teploty pro Pařížskou dohodu

Jednotlivé roky, kdy průměrná globální teplota překročila o 1,5 °C průměr z let 1850–1900, neznamenají, že cíl „usilovat o omezení nárůstu teploty do 1,5 °C nad předindustriální úroveň“, jak je stanoveno v Pařížské dohodě, je nedosažitelný. Globální teplota se nezvyšuje plynule z roku na rok (obr. 3). Kromě dlouhodobého oteplování způsobeného především emisemi skleníkových plynů (obr. 2) existuje značná meziroční přirozená variabilita klimatu způsobená jevy, jako jsou El Niño a La Niña, sopečná činnost a změny v oceánské cirkulaci.

IPCC definuje změnu klimatu jako stav, který přetrvává po delší dobu, obvykle desítky let nebo déle. Překročení oteplení o 1,5 °C a 2,0 °C uvedených v Pařížské dohodě by proto mělo být podobně chápáno jako překročení po delší dobu, i když samotná dohoda neposkytuje konkrétní definici. Vzhledem k tomu, že se planeta nadále otepluje, existuje politická potřeba jasně definovat, měřit a sledovat oteplování ve vztahu k cíli stanovenému v Pařížské dohodě. Poslední hodnotící zpráva IPCC definuje budoucí úroveň globálního oteplování jako 20leté průměry ve vztahu k průměru za období 1850–1900.

Rok překročení určité úrovně, například 1,5 °C, je středem dvacetiletého období, ve kterém byla tato úroveň poprvé překročena. Podle této definice by oteplení o 1,5 °C bylo potvrzeno až poté, co by pozorovaná teplota dosáhla této úrovně v průběhu dvacetiletého období. K uznání překročení dlouhodobého teplotního cíle a reakci na něj by tedy došlo až na konci daného 20letého období. A při použití kratšího průměru 10 let, jak je tomu v IPCC AR6 a v Prvním globálním hodnocení, až na konci daného 10letého období.

SMO a mezinárodní vědecká komunita zvažují několik přístupů, které by umožnily včasnější podávání zpráv. Tyto přístupy lze obecně rozdělit do tří kategorií. První kombinuje nejnovějších 10 let pozorovaných historických teplot s projekcemi klimatických modelů na příštích 10 let. Druhý přizpůsobuje trend nebo funkci historickým údajům, aby bylo možné lépe odhadnout, kde se dnes nachází dlouhodobé oteplování. Třetí odhaduje antropogenní vliv v historické změně odhadem základního oteplování vyplývajícího z historických změn klíčových antropogenních faktorů ovlivňujících klimatický systém, jako jsou například emise a koncentrace skleníkových plynů.

Nejlepší odhady současného globálního oteplení podle těchto tří přístupů se pohybují mezi 1,34 a 1,41 °C ve srovnání s referenční hodnotou z let 1850–1900; vzhledem k nejistotám však nelze vyloučit, že již prožíváme 20leté období, které překročí hranici 1,5 °C (obr. 12). Aby se tato otázka dále prozkoumala, svolala SMO tým mezinárodních odborníků, který má definovat vhodnou metriku a navrhnout metodu jejího monitorování v souladu s přístupy IPCC, aby bylo zajištěno konzistentní a spolehlivé sledování dlouhodobých změn globální teploty.

Nakonec je důležité si uvědomit, že bez ohledu na metodiku použitou ke sledování globální teploty má každá desetina stupně oteplení význam. Ať už se jedná o oteplení o méně než 1,5 °C nebo o více než 1,5 °C, každé další zvýšení globálního oteplení vede ke změnám v extrémních jevech a ke zvýšení rizik.

Literatura:

ČHMÚ, 2025. Zpráva SMO o stavu klimatu ve světě v roce 2024 [online]. Český hydrometeorologický ústav [cit. 12. 11. 2024]. Dostupné z WWW: https://chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/casmz/prilohy/WMO_2024_web.pdf

WMO, 2025. State of the Global Climate 2025. WMO No. 1368, Geneva, Switzerland. ISBN 978-92-63-11368-9. Dostupné z WWW: https://wmo.int/sites/default/files/2025-03/WMO-1368-2024_en.pdf

Přeložila a upravila Ilona Zusková, ČHMÚ, Na Šabatce 2050/17, 143 00 Praha 4-Komořany, 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 úplném překladu dostupném na stránkách časopisu Meteorologické zprávy v části „Přílohy/Appendices“, popřípadě v originále zprávy (WMO 2025).

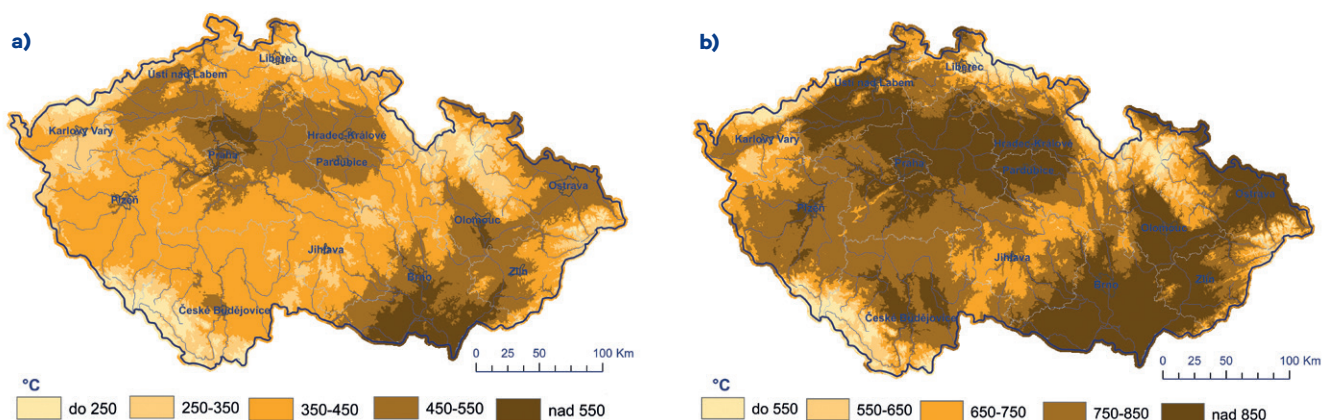
Lektor (Reviewer): RNDr. Radim Tolasz, Ph.D.

POČASÍ A ROSTLINY

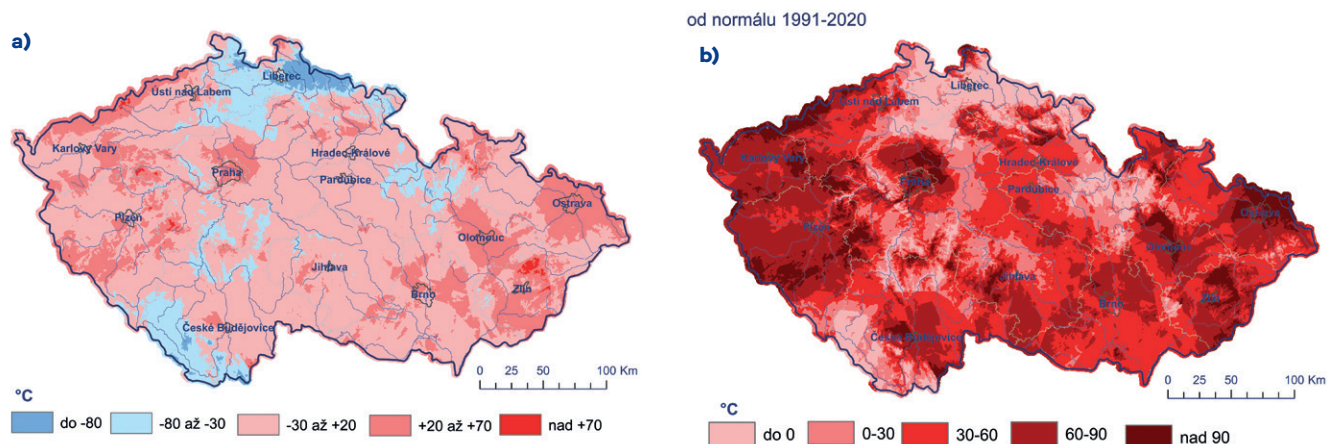
Fenologický vývoj na území ČR v květnu a v červnu 2025

V tomto čísle vyhodnotíme časové období od 1. května do 30. června 2025. Při hodnocení vybraných charakteristik je používán normál 1991–2020.

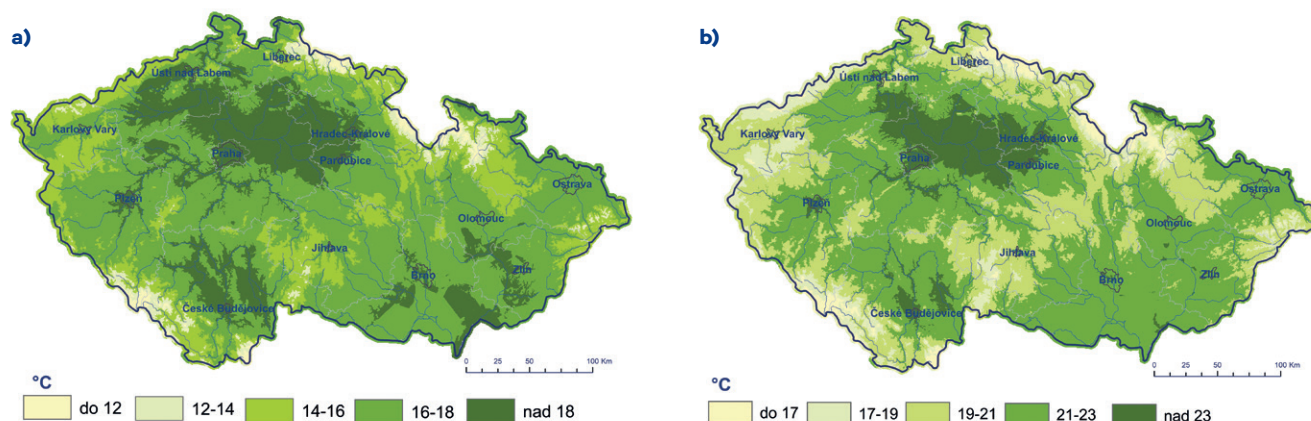
Celkovou sumu **efektivních teplot nad 5 °C** od 1. 1. 2025 do 31. 5. 2025 a 30. 6. 2025 a její srovnání s normálem 1991–2020 zobrazují následující mapy (obr. 1, 2). Absolutní hodnoty sumy efektivních teplot vzduchu nad 5 °C byly v ozmezi do 250 °C a nad 850 °C. Odchytky od normálu 1991–2020 byly v květnu části území ČR záporné (např. v jižních či severních Čechách), v červnu byly odchytky kladné na celém území ČR a pohybovaly se v rozmezí od 0 do 90 °C. Ve



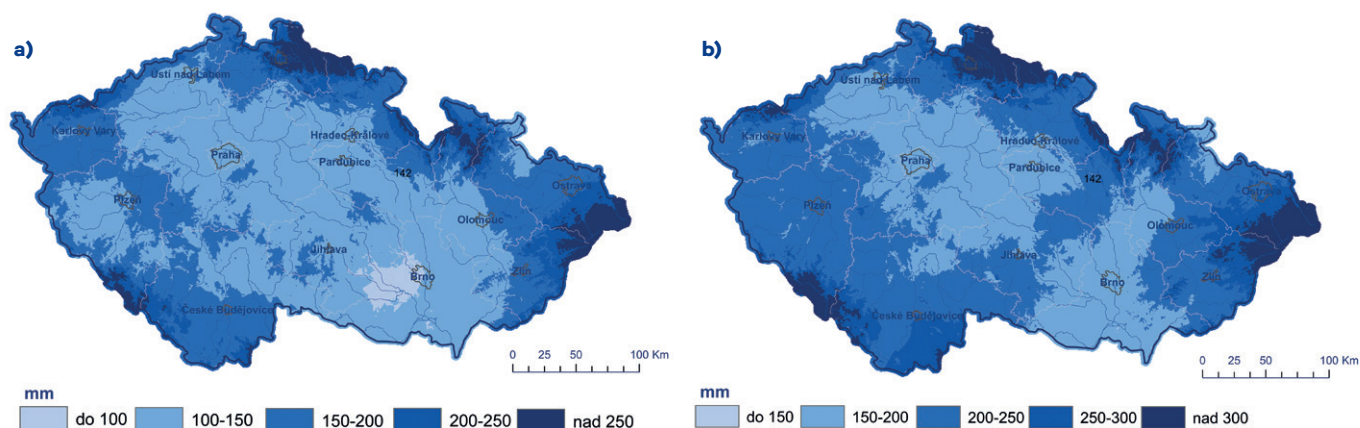
Obr. 1 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C od 1. 1. 2025 do 31. 5. 2025 (a) a do 30. 6. 2025 (b).



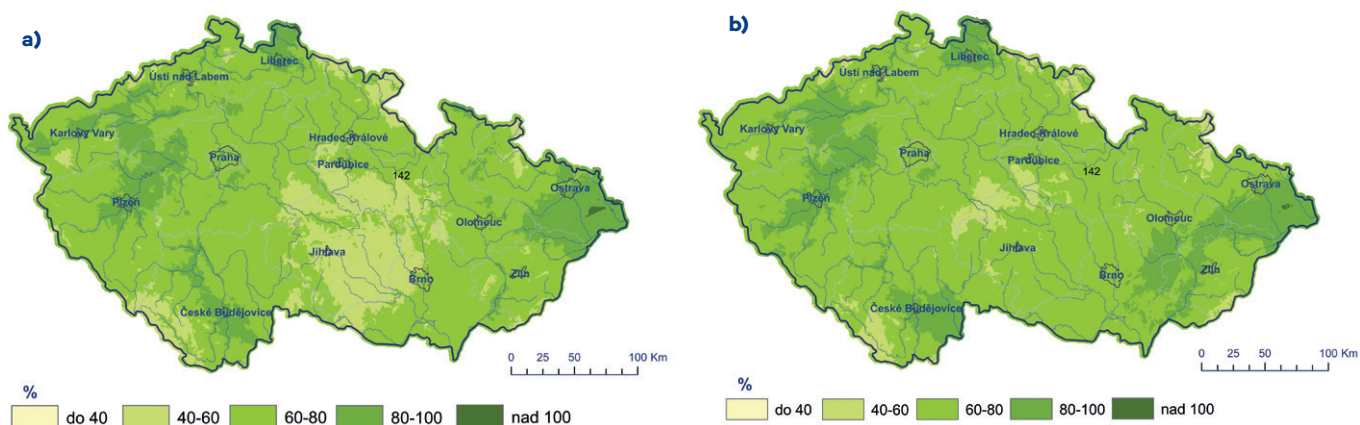
Obr. 2 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C – odchylka od normálu 1991–2020 od 1. 1. 2025 do 31. 5. 2025 (a) a do 30. 6. 2025 (b).



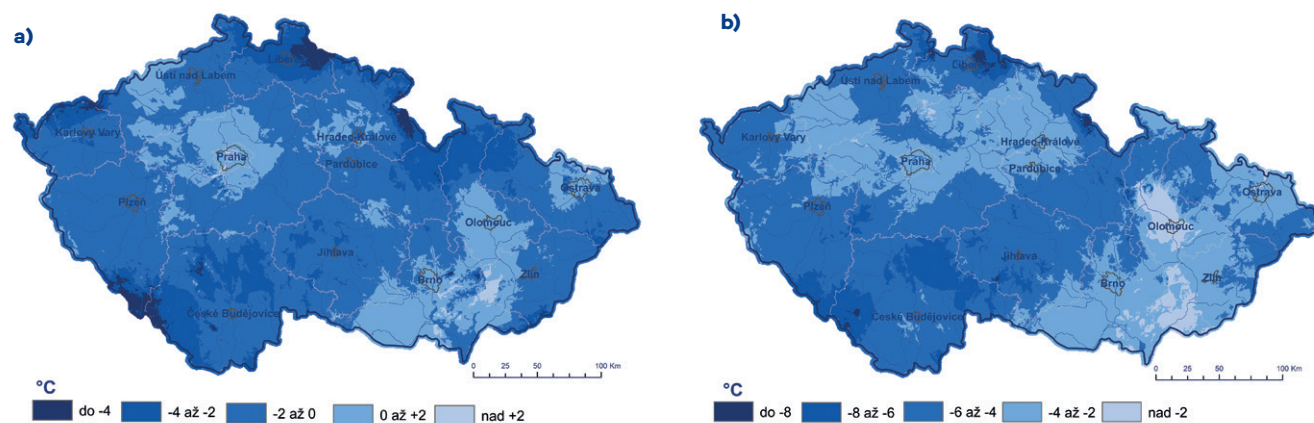
Obr. 3 Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 31. 5. 2025 (a) a 29. 6. 2025 (b).



Obr. 4 Kumulativní úhrn srážek k 31. 5. 2025 (a) a 30. 6. 2025 (b).



Obr. 5 Kumulativní úhrn srážek (procenta normálu 1991–2020) k 31. 5. 2025 (a) a 30. 6. 2025 (b).



Obr. 6 Minimální teplota vzduchu (2 m nad zemským povrchem) (a) a teplota přízemního minima (5 cm nad zemským povrchem) 9. 5. 2025 (b).

srovnání s rokem 2024 byly květnové a červnové odchylky výrazně nižší.

Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 31. 5. 2025 a 29. 6. 2025 je uvedena v obr. 3. Hodnoty květnu byly v rozmezí 12–18 °C, v červnu 17–23 °C. Ve srovnání s rokem 2024 byly teploty půdy v květnu i červnu nižší.

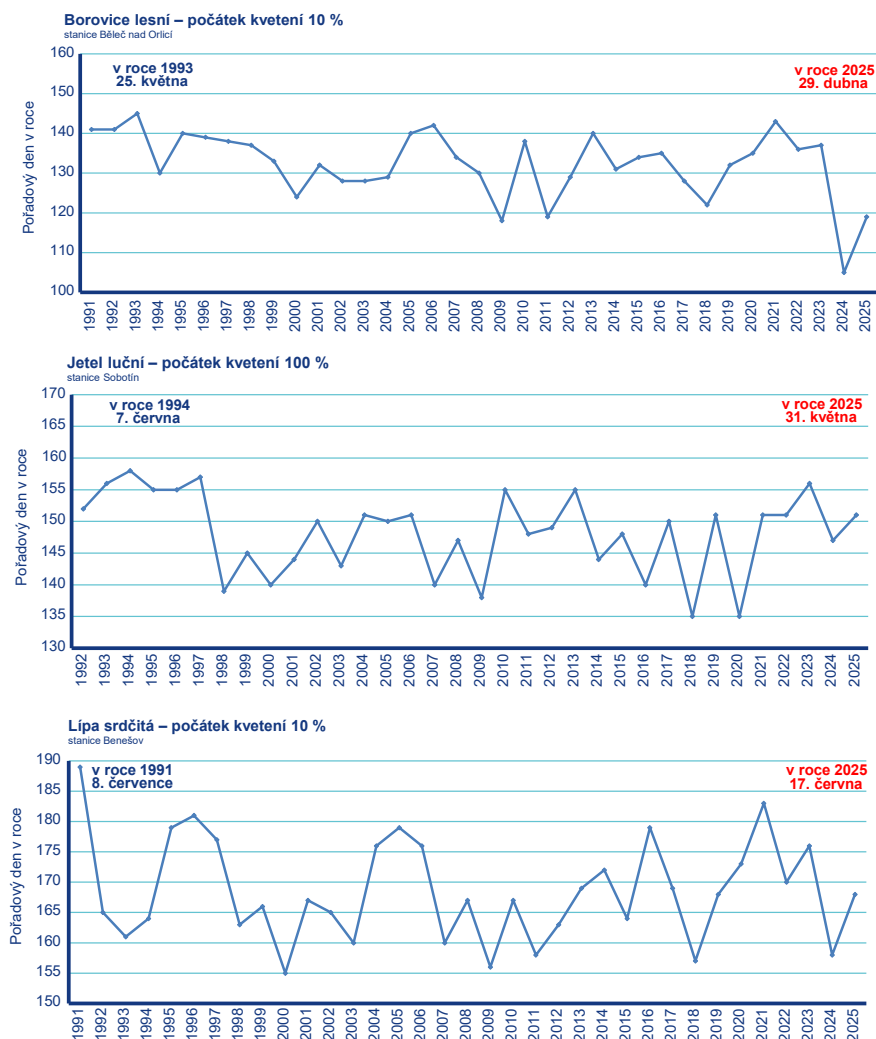
Kumulativní úhrn atmosférických srážek od 1. 1. 2025 do 31. 5. 2025 a 30. 6. 2025 a procentické vyjádření normálu 1991–2020 jsou vykresleny na obr. 4 a 5. Nejnižší kumulativní úhrn srážek ke konci května (do 100 mm) byl zazname-

nán v okolí Brna a ke konci června byl nejnižší kumulativní úhrn srážek (150 mm) zaznamenán zejména v severozápadních, středních, jižních a východních Čechách, a na jižní Moravě. Ve srovnání kumulativních hodnot srážek s normálem 1991–2020 dosahovaly hodnoty na většině území 40 až 100 % normálu.

V průběhu května nás opět potrápily mrazy, které ovlivňovaly vývoj vegetace (zejména ovocné dřeviny a polní plodiny). Vyskytly se ve dvou vlnách, v období od 7. do 14. května (na ledové muže) a 24. a 25. května 2025. Nejnižších hodnot dosaho-



Obr. 7 Květ borovice lesní a lípy srdčité, plody třešně.



Obr. 8 Počátek kvetení (10 %) borovice lesní, počátek kvetení (100 %) jetele lučního a počátek kvetení (10 %) lípy srdčité v období 1991–2025.

valy 9. května (obr. 6), a ve druhé vlně došlo v některých lokalitách k pomrznutí brambor.

Na začátku května již byla většina dřevin plně olistěná, začaly se olisťovat i jasan, duby a akáty. Vývoj vegetace byl výrazně zrychlený ale v polovině května se již dostal do normálu. V průběhu května kvetly hlohy, blatouchy, hluchavky, jahodníky, jeřabiny, akáty, kaštiny, jabloně, hrušně, řepka, zlatý děšť, svídy krvavé, konvalinky, brusnice borůvky, pryskyřníky a další byliny (obr. 7). V červnu kvetly třešalky, kopretiny, lípy, šípkové růže, bez černý, jetele luční a další. Na začátku června dozrávaly jahody a ve třetí dekádě června začaly dozrávat třešně. Senoseče začaly v polovině června. Na obr. 8 jsou vyznačeny počátky kvetení borovice lesní, jetele lučního a lípy srdčité.

Pylová sezóna byla v květnu a červnu v plném proudu. Z významných pylových alergenů v květnu kvetly duby, buky, platany, jehličnany, ořešáky a řepka. Ve druhé polovině května začala pylová sezóna trav a v červnu kvetly lípy, bez černý, šťovíky, kopřivy a jitrocele.

V dalším čísle Vám přineseme aktuální informace o vlivu počasí na vegetaci v průběhu prázdninových měsíců.

Lenka Hájková

INFORMACE

Česká meteorologická konference 2025

Ve dnech 23. až 25. září 2025 se v Praze, v historických prostorách Klementina, uskutečnila Česká meteorologická konference 2025. Česká meteorologická společnost (ČMeS), která tuto tradiční akci uspořádala, tak rozvíjí již mnohaletou tradici pravidelných setkávání české, dříve československé, odborné komunity lidí zabývajících se meteorologií, klimatologií, kvalitou ovzduší a příbuznými obory. Místo konání konference bylo zvoleno s ohledem na významné výročí, které si připomínáme v letošním roce. Uplynulo již 250 let od počátku souvislých měření v pražském Klementinu.

Konference byla v letošním roce organizována členy pražské pobočky České meteorologické společnosti a pracovníky Českého hydrometeorologického ústavu ve spolupráci s Ústavem fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i. a Matematicko-fyzikální fakultou Univerzity Karlovy.

Program konference

Odborný program konference byl rozdělený do 5 bloků do 2 dnů, závěrečný den konference byl věnován odborným a jiným exkurzím. Kromě ústních prezentací byla zařazena i posterová sekce.

Udělení Ceny profesora Hanzlíka a čestného členství v ČMeS

Hlavním bodem letošního valného shromáždění ČMeS konaného dne 24. září 2025 bylo udělení Ceny profesora Hanzlíka, kterou společnost uděluje za mimořádný přínos pro rozvoj meteorologie a příbuzných vědních oborů. Letošním, teprve třetím oceněným, byl prof. RNDr. Jan Bednář, CSc. Laureát toto ocenění získal zejména za celoživotní pedagogickou, odbornou a publikační práci v oborech fyzika mezní vrstvy, atmosférická optika, elektřina, fyzika oblaků a srážek a šíření znečišťujících příměsí v atmosféře. Ocenění mu bylo uděleno za jeho dlouholetou obětavou a nezištnou práci pro Československou meteorologickou společnost a později Českou meteorologickou společnost, a to jak koncepční a organizační, tak odbornou zejména v terminologické skupině.

Na návrh výboru ČMeS bylo valným shromážděním uděleno čestné členství RNDr. Luboši Němcovi a RNDr. Zdeňku Blažkovi, CSc. Čestné uznání společnosti bylo uděleno RNDr. Radimu Tolaszovi, Ph.D., RNDr. Janu Sulanovi a RNDr. Ladislavu Metelkovi, Ph.D.

Všem oceněným srdečně blahopřejeme.

Konference v číslech

O konferenci byl velký zájem, přijelo celkem 94 účastníků nejen z České republiky, ale i ze Slovenska. V 5 odborných blocích zaznělo celkem 28 příspěvků, bylo prezentováno 15 posterů.

Přínos konference

Meteorologické konference pořádané ČMeS jsou důležitou událostí pro českou meteorologickou komunitu. Nabízejí možnost setkání odborníků z akademické a vědecké sféry s kolegy ze státní správy, médií, zástupci komerčních subjektů i amatérských meteorologů. V rámci přednášek i mimo oficiální program jsou diskutována různá témata. Letošní konference důstojně završila akce uspořádané k 250. výročí pravidelných pozorování na stanici Praha, Klementinum. Kromě seznámení se s historií klementinských pozorování měli účastníci možnost si prohlédnout měřicí přístroje, které jsou zde využívány aktuálně.

Prostor byl i pro problematiku řešenou aktuálně, byly prezentovány výstupy projektu PERUN, zajímavé byly příspěvky zabývající se modelováním v městském měřítku i příspěvky zabývající se cirkulací větších měřítek, nebo prezentace moderních metod sledování počasí.

Výstupy z konference

Pro účastníky konference jsme připravili obvyklý sborník abstraktů, který byl k dispozici v elektronické podobě v době konání konference na webové stránce konference.

Více informací, fotodokumentaci konference a sborník abstraktů v PDF formátu najdete na stránce konference: <http://www.cmes.cz/web/ceska-meteorologicka-konference-2025/>.

Elektronická forma sborníku abstraktů z konference je v PDF formátu k dispozici na stránce: http://www.cmes.cz/web/wp-content/uploads/2025/09/Sbornik-abstraktu_CMeS_2025-1.pdf.

K organizaci České meteorologické konference 2026 se přihlásila brněnská pobočka ČMeS. Konference se bude konat v termínu 22. až 24. září 2026, lokalita zatím nebyla vybrána. Poznamenejte si tento termín do svých kalendářů. Jste srdečně zváni na jižní Moravu.

Lenka Crhová, Anna Valeriánová, Miloslav Müller a Pavel Lipina



Skupinová fotografie účastníků konference ČMeS 2025, která se uskutečnila ve dnech 23.–25. září 2025 v Praze v prostorách Klementina. Foto: H. Stehlíková.

Bloky a program konference:

Odborný blok I

Počátek Klementinských pozorování a jejich odkaz pro dnešek

Daňhelka J., Elleder L., Lipina P., Müller M., Tolasz R.

250 let meteorologického měření v Klementinu

Zusková I., Němec L.

Extrémy počasí v Praze podle klementinských měření a jejich porovnání s extrémy na Milešovce

Müller M.

Nejstarší měření vodních stavů a srážek v Klementinu v evropském dobovém kontextu

Elleder L.

Některé méně časté jevy zaznamenané v Klementinu

Jůza P.

Historická měření přízemního ozónu v pražském Klementinu

Hůnová I.

Odborný blok II

Impetus4Change – Improving near-term climate predictions for social transformation – Praha jako Demonstrator City

Halenka T.

Ventilace hlubokých uličních kaňonů

Nosek Š., Fuka V., Radović J., Babuková Z., Jaňour Z., Řezníček H.

Hledání kompromisů mezi tepelným stresem a kvalitou ovzduší při výsadbě stromů v městských ulicích

Geletič J. a kol.

Shody a rozdíly vertikálních profilů teploty vzduchu nad městskou zástavbou a předměstskou obytnou zónou – MS Praha Karlov a Observatoř Libuš

Keder J.

Nová definice hlavních režimů variability evropské atmosférické cirkulace

Řehoř J., Jones P. D., Brázdil R., Trnka M.

Odborný blok III

Otevřená data ČHMÚ a souvislosti

Černíkovský L. a kol.

GIS v meteorologii a klimatologii

Novotný J.

Atlas Dekarbonizace – jak se orientovat ve snižování emisí České republiky

Vítek M. a kol.

Využití výstupů PERUN pro potřeby Klimatického prověřování

Valík A.

Agroklimatická klasifikace ČR 1961–2020

Musil D., Dolák L., Řehoř J.

Odborný blok IV

Vnitřní variabilita klimatu

Holtanová E.

Aktuální studium vln veder

Dubrovský M., Plavcová E., Lhotka O.

Epizody sucha, vlny veder a přírodní požáry ve střední Evropě: jejich dopady a závažnost

Lukáš D., Plačková B., Řezníčková L., Řehoř J.

Tepelný diskomfort člověka ve výstražném systému ČHMÚ

Novák M., Hynčica M.

Simulace polarimetrických veličin pomocí programu CR-SIM

Horák J., Staněk M., Najman F.

Nový mobilní X-pásmový meteorologický radar – od konstrukčního řešení až po testování

Staněk M., Najman F., Horák J.

Odborný blok V

Změna charakteristik srážkových událostí při růstu teploty

Řezáčová D., Sokol Z.

Vliv atmosférické cirkulace na srážky ve středoevropských pohořích v období 1961–2024

Tichopád D.

Porovnání spekter kapek v nízkých stratiformních oblacích

Zíková N.

Nemusí pršet, stačí když CAPE

Zacharov P., Kvak R.

Komplexní tvar závislosti návrhových úhrnů srážek na délce časového okna

Müller M.

Plošná extremita srážek a cirkulační anomálie během povodní v září 2024

Kašpar M. a kol.

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

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 Geostrophical Abstracts

Tisk:

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

CC BY-NC-ND

ISSN 0026-1173

ISSN 2788-3140 (on-line)

Registrační číslo MK ČR E 5107

© Meteorologické zprávy, Český hydrometeorologický ústav

Výběr z novinek knihovny ČHMÚ

PETR BROŽ

Geostorky aneb Tak bude trochu tepleji

Praha: Pangea, 2025, ISBN 978-80-277-4495-4

LIBOR ELLEDER a kol.

Historické povodně na Rakovnickém potoce

Praha: VÚV TGM, 2024, 978-80-88484-09-7

PETER FRANKOPAN

Proměny Země: Dějiny člověka a klimatu

Praha: Vyšehrad, 2024, ISBN 978-80-267-3021-7

JITKA HOLASOVÁ

Klimasmutek: vnitřní dovednosti do časů krize

Praha: Host, 2024, ISBN 978-80-275-2200-2

ZBYNĚK HRKAL

Voda, náš osud: putování lidskou historií

Praha: Mladá Fronta 2025,
ISBN 978-80-204-6512-2

SVATAVA JANOUŠKOVÁ, TOMÁŠ HÁK

**Hodnocení kvality života a udržitelného
rozvoje. Data, indikátory, informace**

Praha: Karolinum, 2025, ISBN 978-80-246-5840-7

BARBORA KOCÁNOVÁ

**Meteorologie a předpovídání počasí ve
vzdělanosti středověkých Čech a Moravy**

Praha: Academia, 2025, ISBN 978-80-200-3534-9

**KRYŠTOF VERNER, LETA MEGERSA,
DAVID BURIÁNEK (eds.)**

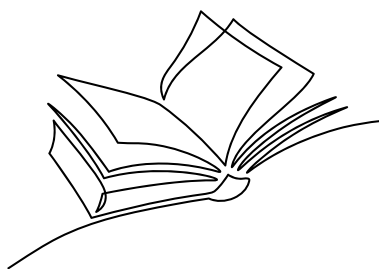
**Geology, soil environment and hydrogeology
of the Gamo Zone, Ethiopia**

Praha: Česká geologická služba,
2023, ISBN 978-80-7673-084-7

Knihovna ČHMÚ

Na Šabatce 2050/17

143 06 Praha 4 – Komořany



Více informací:

<https://www.chmi.cz/>

[o-chmu/publikace-a-vzdelavani/knihovna](https://www.chmi.cz/o-chmu/publikace-a-vzdelavani/knihovna)

**Český
hydrometeorologický
ústav**

