

Meteorologické zprávy

ROČNÍK
74–2021

4

- 105 Pamätné ochladenie na prelome rokov 1978 a 1979 na Slovensku z klimatologickej perspektívy**
Dalibor Výberči – Jozef Pecho – Helena Hlavatá – Pavol Faško – Pavel Matejovič
- 113 Vliv městského prostředí na tepelnou zátěž v centru Prahy**
Lucie Chlapcová – Aleš Urban – Jan Kyselý
- 121 Zimní epizoda s celodenními mrazy, ledovkou a sněžením v ČR v únoru 2021**
František Šopko

Meteorological
Bulletin

Český
hydrometeorologický
ústav



105 A memorable temperature drop at the turn of 1978 and 1979 in Slovakia from the climatological perspective

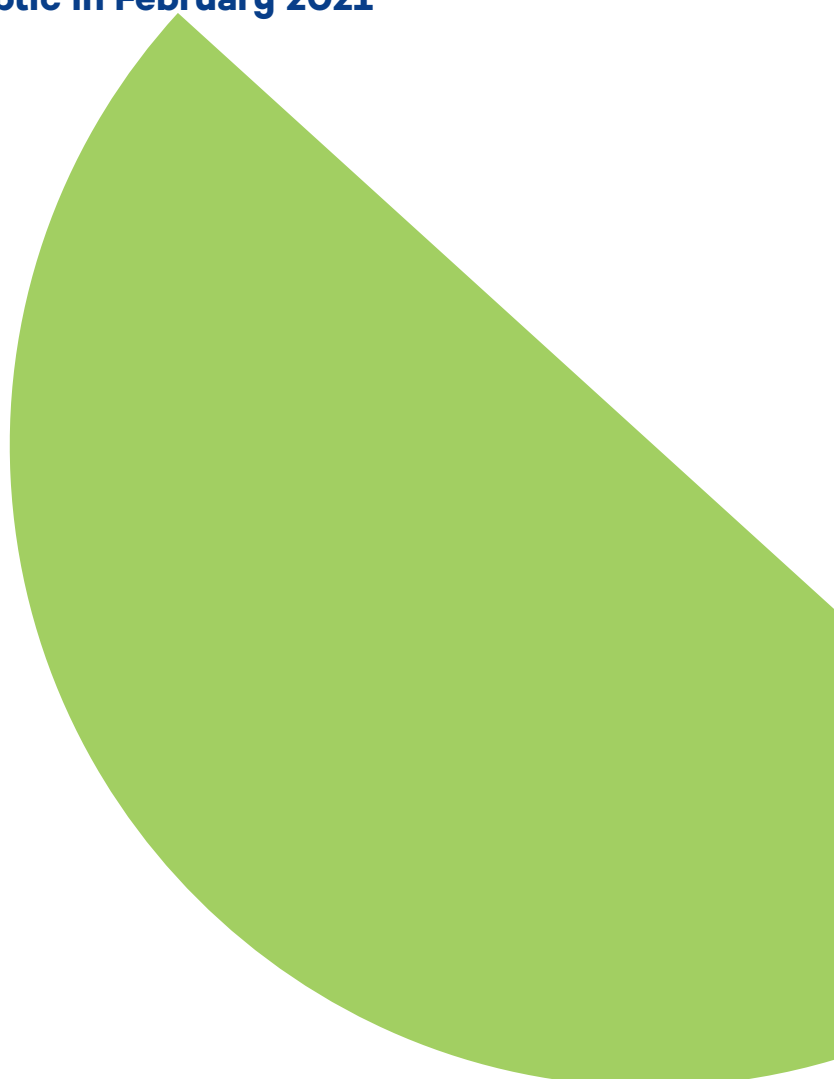
Dalibor Výberčí – Jozef Pecho – Helena Hlavatá – Pavol Faško – Pavel Matejovič

113 Influence of urban environment on heat stress in the Prague city centre

Lucie Chlapcová – Aleš Urban – Jan Kyselý

121 Winter episode with all-day frosts, glaze and snowfall in the Czech Republic in February 2021

František Šopko



Rozšiřuje – Free booking:

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

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

Pamätné ochladenie na prelome rokov 1978 a 1979 na Slovensku z klimatologickej perspektívy

A memorable temperature drop at the turn of 1978 and 1979 in Slovakia from the climatological perspective

Dalibor Výberči, Jozef Pecho

Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava
✉ daliborvyberci@gmail.com

Helena Hlavatá

Slovenský hydrometeorologický ústav
Dumbierska 26, 041 17 Košice

Pavol Faško

Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

Pavel Matejovič

Pedagogická fakulta Trnavskej univerzity
Priemyselná 4, 918 43 Trnava

A very intense and sudden temperature drop at the turn of 1978 and 1979 stands as a really noticeable historical meteorological event in the Central European region. In comparison to studies published to date, we performed a detailed analysis primarily in the climatological context. Adequately, we determined the event position in relation to the other registered most extreme temperature drop events according to the several characteristics. From the point of view of temperature interdiurnal change characteristics, the results show a dominantly superior position of the temperature drop at the turn of 1978 and 1979 among such weather events in Slovakia, at least in the last 60 years (1961–July 2021). However, brief additional results indicate that during the legendary days in February 1929, similar or even larger inter-daily intensity of selected characteristics was registered.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: extrémny počasie – náhla zmena počasie – advekcčné ochladenie – prudký pokles teploty vzduchu – veľká interdiurná premenlivosť – Slovensko

KEYWORDS: extreme weather – sudden weather change – advective cooling – abrupt air temperature drop – large interdiurnal variation – Slovakia

1. Úvod

Rapidné a intenzívne ochladenie na prelome rokov 1978 a 1979 (ďalej aj zjednodušene „ochladenie 1978/1979“, apod.) patrí medzi najvýraznejšie poveternostné udalosti modernej histórie v našom regióne. Možno pritom hovoriť o udalosti doslova nezabudnuteľnej, na ktorú si mnohí jej pamätníci spomínajú veľmi zreteľne. Okrem meteorologických prejavov zostala totiž do histórie zapísaná ďalšími, veľmi charakteristickými sprievodnými skutočnosťami, z ktorých hneď prvým nápadným momentom zostáva symbolické načasovanie situácie počas silvestrovsko-novoročných osláv. Predovšetkým však po ochladení nasledovala dopravná a najmä energetická kalamita s markantnými dôsledkami v mnohých sférach fungovania spoločnosti. Boli medzi nimi napríklad vyše trojtýždňové tzv. uhoľné prázdniny, legendárne predovšetkým pre generáciu narodenú v šesťdesiatych rokoch 20. storočia (Matejovič 2011). Okrem vážnych bezprostredných dôsledkov sa však vyskytli aj následky dlhodobejšieho charakteru. Napríklad v poľnohospodárskej produkcii štátu sa postupne prejavili nezanebateľné straty na siatinách či ovocí a iné škody (Rein, Štekl 1981). Iným dôkazom, že ochladenie malo aj výrazne negatívny biotropný účinok bolo tiež kalamitné poškodenie lesných ekosystémov (Musil 1982; Surovec et al. 1989).

Vhodné cirkulačné podmienky, ktoré predchádzali pamätnému ochladeniu sa vytvorili už v decembri 1978 s prevládajúcim meridiálnym prúdením, v dôsledku čoho sa v Európe vytvoril veľký teplotný kontrast. Na konci mesiaca sa tak v priestore strednej a západnej Európy nachádzalo veľmi nápadné a výrazné teplotné rozhranie. Pri intenzite ochladenia môže hrať nezanedbateľnú rolu vrcholenie teplého prúdenia pred zmenou počasia (studeným frontom), preto je potrebné celkom jasne zohľadniť a zdôrazniť už skutočnosť, že Slovensko sa s ohľadom na ročnú dobu (koniec decembra) nachádzalo v rozsiahlej oblasti relatívne veľmi teplého vzduchu, ktorý sa rozpriestieral nad južnou polovicou Európy. Naopak studený arktický vzduch vo východnej a severnej časti európskeho kontinentu zotrval niekoľko dní takmer bez pohybu, avšak jeho vpád aj do južnej časti strednej Európy bol iba otázkou času (Matejovič 2011). Na to adekvátne upozorňovali aj českí a slovenskí meteorológovia z vtedajšieho Hydrometeorologického ústavu už asi dva dni vopred (Kakos 1979). Pretože spomínaný arktický vzduch sa, nie celkom štandardne, hromadil severne od nášho územia bez potenciálu ďalšieho vývoja vskutku dlhý čas, spôsobovalo to isté komplikácie v dobových predpovediach počasia, čo následne viedlo k určitej miere nedôvery obyvateľstva voči meteorologickým prognózam vývoja predmetnej

poveternostnej situácie. „Súperenie“ vzduchových hmôt pri naďalej narastajúcom horizontálnom teplotnom gradiente napokon ukončila hlboká tlaková níz, ktorá práve na prelome rokov pomerne rýchlo postupovala zo západnej Európy nad Ukrajinu. Po jej zadnej strane sa arktický vzduch vylial aj na územie Slovenska, pričom najväčšie problémy znamenala kombinácia náhleho a prudkého poklesu teploty vzduchu a intenzívneho dažďa, prechádzajúceho do sneženia (Matejovič 2011). Studený front, prechod ktorého je priamo spojený s touto historickou zmenou počasia (Rein a Štekl 1981), býva populárne označovaný ako „front storočia“ (Čašek 2017). Na tomto mieste je vhodné uviesť, že zo synoptického hľadiska už v príslušnej citovanej literatúre predmetná situácia bola bohato popísaná. V tomto článku sa preto týmto aspektom ochladenia 1978/1979 ďalej, resp. bližšie venovať nebudeme. Dodajme, že ešte výraznejšie prejavy ochladenia so snehovou kalamitou sa vyskytli v západnej časti Strednej Európy, obzvlášť v Nemecku a Poľsku (napr. Wege 1979; Emmrich 1983).

Z bývalého Československa sa v hodnoteniach situácie do predia dostávajú najmä výsledky z územia dnešnej Českej republiky (Kakos 1979; Rein, Štekl 1981; Jůza 2013; Součková et al. 2018; Abrahánek, Rušar 2021), kde bolo ochladenie z objektívnych príčin (severnejšia geografická poloha, skorší prechod frontu, orografický vplyv, špecifické cirkulačné podmienky) vo všeobecnosti razantnejšie než na Slovensku. Udalosti bola navyše doteraz v našom regióne venovaná iba pomerne malá pozornosť z klimatologickej perspektívy, teda v porovnaní s inými zaznamenanými extrémnymi ochladeniami. Malé výnimky predstavujú niektoré pasáže a zmienky v publikáciách Reina a Štekla (1981), Kalvovej a Zettlitzerovej (1983), Matejoviča (2011) a Výberčího (2013). Pamätnému prelomu 1978/1979 sa v našej (historicko)klimatologickej štúdii venujeme z pohľadu viacerých meteorologických charakteristík, použitie ktorých pri hodnotení prudkých ochladení prichádza do úvahy.

2. Použitý materiál a metodika spracovania

Pre analýzu boli dostupné a spracované všetky údaje z klimateckej databázy Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ), prevažne od 1. januára 1961 (z niekoľkých staníc aj staršie) do 31. júla 2021 vrátane. Tieto údaje sme pred spracovaním doplnili o niektoré ďalšie nedatabázované údaje z archivovaných výkazov meteorologických pozorovaní. Okrem toho boli ako ďalší zdroj využité aj hodinové vyčíslenia termografických pásov z profesionálnych meteorologických staníc, uložené v archívoch SHMÚ v Bratislave-Kolibe a Košiciach.

Práve z prelomu rokov 1978 a 1979 boli disponibilné a analyzované údaje z celkovo 99 slovenských meteorologických staníc s klimatologickým programom meraní a pozorovaní, vrátane 17 profesionálnych staníc, z ktorých sa podarilo dohľadať hodinové vyčíslenia termografických pásov. Zo stanice Dolný Kubín boli vykázané údaje za január 1979 revíziou označené ako nespoľahlivé, a preto neboli spracované.

Pri geografickej lokalizácii meteorologických staníc sú použité aktuálne zaužívané názvy v súlade so súčasným administratívnym členením. V prípade staníc, pri ktorých sa ich lokalita pozorovania v priebehu času (z)menila, sú uvádzané lokality, kde stanica pozorovala počas príslušnej prezentovanej situácie.

Primárny záujem pri spracovaní prirodzene predstavovali všetky základné denné charakteristiky teploty vzduchu: termínové

hodnoty, priemerná teplota (počítaná z termínových hodnôt metódou váženého priemeru podľa vzťahu $(T_7 + T_{14} + 2 \times T_{21}) / 4$), extrémne hodnoty a amplitúda.

Hodnotené charakteristiky ochladenia sú postupne uvedené priamo v jednotlivých podkapitolách nasledujúcej výsledkovej časti práce. Na označenie zmeny konkrétnej meteorologickej charakteristiky medzi dvoma susednými dňami náležitý termín uprednostňujeme v tvare *interdiurný*, tak ako je definované v Meteorologickom slovníku (Česká meteorologická spoločnosť 2021), pred morfológicky azda korektnejším variantom *interdiurnálny* (Balážová, Bosák 2005). Záporné znamienko pri rôzne definovaných zmenách prezentovaných teplotných charakteristík indikuje pokles teploty vzduchu, t. j. ochladenie.

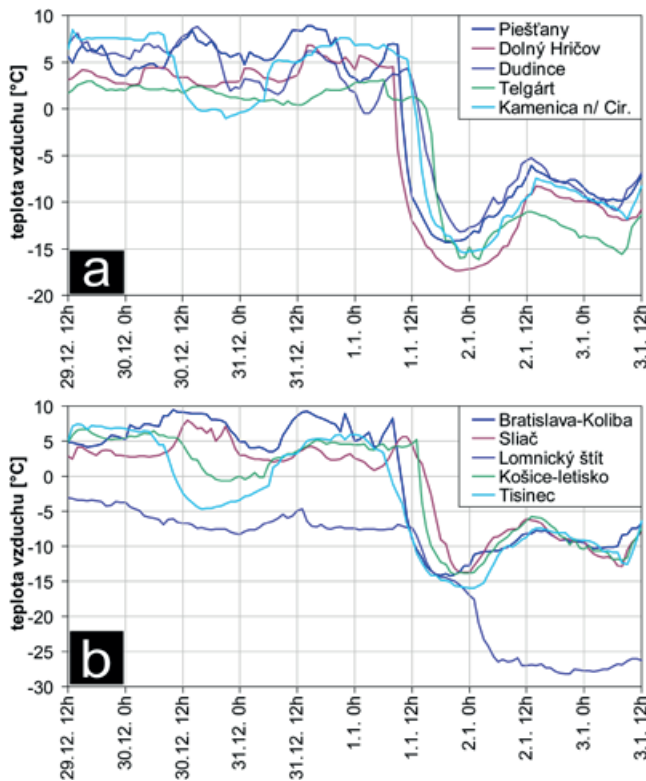
3. Charakterizácia ochladenia na prelome rokov 1978 a 1979 v klimatologickom kontexte

Pred ochladením vystúpila maximálna teplota vzduchu na našom území najvyššie v Štúrove dňa 30. decembra 1978 na +13,0 °C. Najnižšie teplotné minimum v rámci Slovenska po ochladení bolo zaregistrované na Chopku dňa 2. januára 1979 s hodnotou –29,5 °C. V oboch týchto prípadoch ide zároveň o celoslovenské maximum, resp. minimum teploty vzduchu celého príslušného kalendárneho mesiaca (v mimohorských polohách bola zaznamenaná najnižšia teplota januára 1979 –27,5 °C v Rabči 7. januára). V rámci jednej konkrétnej lokality bolo najväčšie rozpätie teploty vzduchu v relatívne krátkom časovom horizonte pred/po ochladení pozorované v Tatranskej Javorine, s poklesom –31,5 °C (maximum teploty vzduchu 29. decembra 1978 +9,5 °C → minimum 2. januára 1979 –22,0 °C).

3.1 Priebeh ochladenia a jeho prudkosť podľa *n*-hodinovej zmeny okamžitej teploty vzduchu

Stabilný prílev relatívne veľmi teplého vzduchu do našej oblasti pred pamätným ochladením možno identifikovať aj podľa slabšie vyjadreného denného chodu teploty vzduchu v príslušných dňoch (obr. 1, rozdelený na dve časti a,b z dôvodu lepšej prehľadnosti). V tomto období ale bolo pozorované aj krátke prechodné ochladenie na východnom Slovensku, kam už cez deň 30. decembra 1978 prenikla malá dávka chladnejšieho vzduchu.

Prechod extrémne výrazného studeného frontu a začiatok následného masívneho vpádu arktického vzduchu sa u nás napokon odohral v priebehu prvého kalendárneho dňa roka 1979 (obr. 1; Rein, Štekl 1981). Ako je pri podobných poveternostných situáciách obvyklé (Molnár 1991), ochladenie sa najskôr prejavilo na Orave a Kysuciach, a to ešte v skorých ranných hodinách pred východom Slnka. Aj na západe územia došlo k teplotnému zvratu väčšinou ešte dopoludnia, v mimohorských oblastiach ďalej na východ (okrem krajného severu) až popoludní; v najlepšie chránených lokalitách až po 15. hodine (napr. Telgárt na obr. 1a). Napokon, z vysokehorských polôh Vysokých Tatier (Lomnický štít) bol ľahší, relatívne teplejší vzduch vytlačený fakticky v dvoch vlnách, pričom najvýraznejšie krátkodobé poklesy teploty vzduchu boli v tejto lokalite zaregistrované až v prvých hodinách dňa 2. januára 1979 (obr. 1b).



Obr. 1 Vývoj okamžitej teploty vzduchu v hodinovom intervale na vybraných meteorologických staniciach na Slovensku na prelome rokov 1978 a 1979.

Fig. 1. Hourly progress of actual air temperature at the selected meteorological stations in Slovakia at the turn of 1978 a 1979.

Tab. 1 Najväčšie záporné n-hodinové zmeny okamžitej teploty vzduchu ΔT [°C], zaregistrované na meteorologických staniciach na Slovensku počas výrazného ochladenia na prelome rokov 1978 a 1979.

Table 1. The largest negative n-hour changes of actual air temperature ΔT [°C] registered at the meteorological stations in Slovakia during the abrupt temperature drop event at the turn of 1978 and 1979.

n	Stanica	Z termínu	Na termín	ΔT [°C]
1	Dolný Hričov	1. 1. 1979 8 h	1. 1. 1979 9 h	-8,8
	Košice-letisko (Barca)	1. 1. 1979 13 h	1. 1. 1979 14 h	
2	Piešťany	1. 1. 1979 9 h	1. 1. 1979 11 h	-13,3
3	Piešťany	1. 1. 1979 9 h	1. 1. 1979 12 h	-16,3
4	Piešťany	1. 1. 1979 9 h	1. 1. 1979 13 h	-17,4
5	Bratislava-Koliba	1. 1. 1979 8 h	1. 1. 1979 13 h	-18,7
6	Bratislava-Koliba	1. 1. 1979 8 h	1. 1. 1979 14 h	-19,9
7	Bratislava-Koliba	1. 1. 1979 8 h	1. 1. 1979 15 h	-21,2
8	Bratislava-Koliba	1. 1. 1979 8 h	1. 1. 1979 16 h	-21,8
9	Bratislava-Koliba	1. 1. 1979 8 h	1. 1. 1979 17 h	-22,3
10	Bratislava-Koliba	1. 1. 1979 8 h	1. 1. 1979 18 h	-22,5
12	Bratislava-Koliba	1. 1. 1979 8 h	1. 1. 1979 20 h	-22,6
14	Myjava	1. 1. 1979 7 h	1. 1. 1979 21 h	-23,8
17	Čadca	31. 12. 1978 21 h	1. 1. 1979 14 h	-25,7
18	Dolný Hričov	1. 1. 1979 3 h	1. 1. 1979 21 h	-22,7
24	Trstená-Ústie nad Priehradou	31. 12. 1978 21 h	1. 1. 1979 21 h	-28,2
31	Trstená-Ústie nad Priehradou	31. 12. 1978 14 h	1. 1. 1979 21 h	-27,1
34	Radobica	31. 12. 1978 21 h	2. 1. 1979 7 h	-25,8
36	Hurbanovo	31. 12. 1978 12 h	2. 1. 1979 0 h	-24,0
48	Trstená-Ústie nad Priehradou	30. 12. 1978 21 h	1. 1. 1979 21 h	-26,0

Najvýraznejší 1-hodinový teplotný skok zhodne zaregistrovali meteorologické stanice Dolný Hričov a Košice-letisko, kde teplota vzduchu za 60 minút poklesla o takmer 9 °C (obr. 1 a tab. 1), konkrétne z +4,5 na -4,3 °C, resp. z +5,2 na -3,6 °C. Priemerné tempo zmeny teploty vzduchu -5 °C·h⁻¹ bolo minimálne na jednej z merajúcich staníc zachytené na 1- až 3-hodinovej škále, tempo -3 °C·h⁻¹ ešte aj na 7-hodinovej. Najmarkantnejšia 2- až 4-hodinová teplotná zmena bola detekovaná v Piešťanoch, v sledovaných časových úsekoch od 5 až do 12 hodín teplota pre zmenu najviac klesala na bratislavskej Kolibe. Najnižšiu hodnotu 24-hodinovej, teda interdiurnej zmeny okamžitej teploty vzduchu zaevidoval dobrovoľný pozorovateľ v Trstenej-Ústí nad Priehradou, kde sa medzi silvestrovským a novoročným večerom ochladilo o vyše 28 °C z +7,2 na -21,0 °C.

3.2 Rýchlosť vetra a vetrom spolupodmiernená pocitová teplota

K teplotnému „šoku“, ktorý sa na úvod roka 1979 na Slovensku odohral, markantne prispieval aj vietor, ktorý bol v jednotlivých lokalitách najsilnejší spravidla s určitým časovým odstupom po prechode frontu. V hlavných klimatologických termínoch bola mimo horských polôh zaznamenaná najvyššia priemerná 10-minútová rýchlosť vetra 16 m·s⁻¹ (57,6 km·h⁻¹; prudký vietor = 7 °B), ktorá bola dosiahnutá dňa 1. januára 1979 večer v Košiciach na letisku a Michalovciach a 2. januára 1979 ráno v Gabčíkove. V rámci horských polôh bola ráno 2. januára 1979 na Chopku zaznamenaná mohutná víchrica o rýchlosti 32 m·s⁻¹ (115,2 km·h⁻¹; 11 °B), čo je podľa Beaufortovej stupnice len tesne pod hranicou orkánu.

Na ilustráciu panujúcich pomerov z pohľadu vnímania ľudským organizmom sme v hlavných klimatologických termínoch vypočítali hodnoty pocitovej teploty, vyjadrenej známym indexom „wind chill“ (veterný chlad; Oscewski, Bluestein 2005). Tab. 2 podáva najnižšie dosiahnuté hodnoty tohto indexu pocitovej teploty pri ochladení 1978/1979 na jednotlivých meteorologických staniciach Slovenska. Ako je vidieť, v kotlinových a horských polohách „wind chill“ klesol pod -30 °C, pričom na vrcholoch Nízkyh a Vysokých Tatier sa dokonca blížil k -50 °C. Omrzliny sa podľa Oscewského a Blusteina (2005) môžu vyskytovať už pri hodnote danej veličiny -18 °C.

V období 1961-júl 2021 sa však na Slovensku vyskytlo aj niekoľko ďalších situácií s ešte nižšími dosiahnutými hodnotami indexu „wind chill“. V registri najextrémnejších hodnôt nájdeme nasledovné záznamy: v mimohorských polohách bolo 11. januára 1968 ráno v Brezne takto na pocit až -44,5 °C a na našich vysokohorských vr-

Tab. 2 Najnižšie hodnoty pocitovej teploty vzduchu podľa indexu „wind chill“, zaregistrované v hlavných klimatologických termínoch na meteorologických staniciach na Slovensku počas výrazného ochladenia na prelome rokov 1978 a 1979.

Table 2. The lowest values of the new wind chill equivalent temperature registered in the main climatological observation times at meteorological stations in Slovakia during the abrupt temperature drop event at the turn of 1978 and 1979.

Stanica	Termín	T [°C]	Vietor [m·s ⁻¹]	WCT [°C]
Lomnický štít	2. 1. 1979 14 h	-27,0	22	-48,1
Chopok	2. 1. 1979 7 h	-24,0	32	-46,4
Dubník	1. 1. 1979 21 h	-21,2	12	-36,2
Krížna	2. 1. 1979 7 h	-20,0	15	-35,8
Malatiná	1. 1. 1979 21 h	-20,7	9	-33,9
Skalnaté pleso	2. 1. 1979 14 h	-18,4	15	-33,7
Tatranská Javorina	1. 1. 1979 21 h	-20,6	6	-31,6
Štrbské Pleso	1. 1. 1979 21 h	-22,0	4	-31,3
Poprad	1. 1. 1979 21 h	-16,8	13	-30,7
Banská Štiavnica	1. 1. 1979 21 h	-16,9	12	-30,4
Červený Kláštor	1. 1. 1979 21 h	-17,8	9	-30,1

cholvých meteorologických staniciach pre zmenu -53,0 °C na Chopku 17. januára 1963 ráno, resp. -53,8 °C na Lomnickom štíte 3. marca 1987 večer. Osobitne hodný zmienky je aj „wind chill“ -42,4 °C na bratislavskej Kolibe vo večernom klimatologickom termíne 9. februára 1956.

3.3 Interdiurná zmena priemernej dennej teploty vzduchu

Interdiurná premenlivosť priemernej dennej teploty vzduchu je v klimatológii často používaným kritériom hodnotenia (u nás hlavne v minulosti, napr. Petrovič 1962; Kol. autorov 1969), ktorý sa pri analýze výrazných ochladení ponúka ako jeden z fundamentálnych prístupov (Faško et al. 2010; Výberčí 2013).

Najväčšie záporné interdiurné zmeny priemernej dennej teploty vzduchu na prelome rokov 1978 a 1979 dosiahli na troch meteorologických staniciach na Kysuciach a Orave hodnotu menej než -22 °C (tab. 3). Z 31. decembra 1978 na 1. januára 1979 poklesol denný priemer teploty vzduchu v Čadci z +7,1 na -16,7 °C, v Rabči z +5,2 na -17,2 °C a v Trstenej-Ústí nad Priehradou z +6,4 na -16,0 °C. Ďalšími oblasťami s najvýraznejším poklesom priemernej dennej teploty boli predovšetkým Severný Spiš, Stredné a Horné Považie, Stredné Ponitrie, Turiec, Borská nížina, ďalšie lokality na Podunajskej pahorkatine a Malé Karpaty (tab. 3). Mi-

Tab. 3 Prípady interdiurnej zmeny priemernej dennej teploty vzduchu ΔT_{pr} [°C] s hodnotou -15,0 °C alebo nižšou, zaregistrované na meteorologických staniciach na Slovensku počas výrazného ochladenia na prelome rokov 1978 a 1979. Na stanici Lomnický štít bola táto zmena zaregistrovaná zo dňa 1. 1. 1979 na deň 2. 1. 1979, zatiaľ čo v ostatných uvedených prípadoch z 31. 12. 1978 na 1. 1. 1979.

Table 3. The cases of daily mean air temperature interdiurnal change ΔT_{pr} in [°C] of -15.0 °C, or lower, registered at meteorological stations in Slovakia during the abrupt temperature drop event at the turn of 1978 and 1979. At the Lomnický štít station, the corresponding change was registered from 1 to 2 January 1979, whereas in the rest of the presented cases from 31 December 1978 to 1 January 1979.

Stanica	ΔT_{pr} [°C]	Stanica	ΔT_{pr} [°C]
Čadca	-23,8	Pohronský Ruskov	-16,1
Rabča	-22,4	Bodorová	-16,0
Trstená-Ústie nad Priehradou	-22,4	Dolný Hričov	-15,9
Oravská Lesná	-18,8	Trenčín-Biskupice	-15,6
Plaveč	-17,9	Podhájska	-15,6
Žilina	-17,6	Malacky	-15,5
Veľký Klíž-Vrchhora	-17,4	Žikava	-15,5
Tatranská Javorina	-17,3	Dvorníky-Posádka	-15,4
Malý Javorník	-17,2	Beluša	-15,4
Malatiná	-17,2	Lomnický štít	-15,4
Radobica	-17,0	Hurbanovo	-15,3
Kuchyňa	-16,9	Bardejov	-15,3
Topoľčany	-16,9	Tisinec	-15,2
Veľký Klíž	-16,3	Nitra-Mikov dvor	-15,0

Tab. 4 Situácie s interdiurnou zmenou priemernej dennej teploty vzduchu ΔT_{pr} [°C] s hodnotou -15,0 °C alebo nižšou, zaregistrované v sieti meteorologických staníc na Slovensku od 1. 1. 1961 do 31. 7. 2021.

Table 4. Situations with daily mean air temperature interdiurnal change ΔT_{pr} [°C] of -15.0 °C, or lower, registered within the meteorological stations network of Slovakia from 1 January 1961 to 31 July 2021.

Stanica	Zo dňa	Na deň	ΔT_{pr} [°C]	Na ďalších staniciach [°C]
Čadca	31. 12. 1978	1. 1. 1979	-23,8	pozri tab. 3
Liesek, Oravské Veselé	21. 1. 2006	22. 1. 2006	-17,4	Rabča -17,0; Čadca -15,9
Tatranská Javorina	11. 5. 2020	12. 5. 2020	-17,4	Liesek -17,1; Rabča, Plaveč -16,8; Oravská Lesná, Oravské Veselé, Osadné -16,6; Kamenica nad Cirochou -16,4; Tisinec -16,1; ďalších 7 staníc -15,5 až -15,1
Kamenica nad Cirochou	19. 5. 1965	20. 5. 1965	-17,2	Tisinec -16,9; Plaveč -16,8; Medzilaborce -16,7; Trebišov -16,5; Štós-kúpele -16,2; Dubník -16,0; ďalších 8 staníc -15,6 až -15,2
Oravské Veselé	7. 12. 1991	8. 12. 1991	-17,0	Červený Kláštor -16,9; Rabča -16,3
Červený Kláštor	18. 12. 1975	19. 12. 1975	-16,0	
Lomnický štít	17. 12. 1975	18. 12. 1975	-15,6	
Lomnický štít	6. 1. 1982	7. 1. 1982	-15,6	
Červený Kláštor	22. 11. 1988	23. 11. 1988	-15,5	
Plaveč	8. 1. 1970	9. 1. 1970	-15,4	
Lomnický štít	1. 1. 1979	2. 1. 1979	-15,4	
Dudince	11. 1. 1987	12. 1. 1987	-15,4	
Lomnický štít	22. 11. 1989	23. 11. 1989	-15,3	
Oravská Lesná	2. 1. 1987	3. 1. 1987	-15,2	Rabča -15,1
Čadca	6. 1. 1987	7. 1. 1987	-15,1	

moriadny interdiurný pokles denného priemeru teploty vzduchu bol zaznamenaný aj v štítových polohách Tatier (stanica Lomnický štít), tu však až z 1. na 2. januára 1979 (tab. 3).

Najväčšia magnitúda interdiurného poklesu priemernej dennej teploty vzduchu v rámci Slovenska zachytená medzi posledným dňom roka 1978 a prvým dňom roka 1979 zaujíma veľmi dominantnú pozíciu v porovnaní s ďalšími poprednými ochladeniami v období 1961–júl 2021 (tab. 4). Napríklad informácia z prác Petroviča (1962) a kolektívu autorov (1969) však evokuje, že toto popredné postavenie môže byť platné pre oveľa dlhší časový horizont, keď v Oravskom Podzámku bola za obdobie 1871–1960 miestnym extrémom uvedenej charakteristiky hodnota $-16,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (3. → 4. februára 1893). Taký interdiurný pokles priemernej dennej teploty ako pri ochladiení na prelome rokov 1978 a 1979 zdá sa nebol dosiahnutý ani vo februári 1929; napríklad vo Východnej podľa originálneho výkazu $-21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ z 9. na 10. februára 1929.

V histórii prevádzky mnohých meteorologických staníc na Slovensku sa až doteraz nikdy nevykytol výraznejší interdiurný pokles priemernej dennej teploty vzduchu než práve pri pamätnom ochladiení z prelomu rokov 1978/1979. Platí to jednoznačne aj v prípade Hurbanova s najdlhším slovenským pozorovaním teploty vzduchu od roku 1872 (tab. 5; viď tiež Faško et al. 2010). Pre stanicu Čadca predstavuje odstup od historicky druhej najnižšej hodnoty tejto charakteristiky od roku 1951 až $7,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (tab. 4).

Tab. 5 Prípady interdiurnej zmeny priemernej dennej teploty vzduchu ΔT_{pr} [$^{\circ}\text{C}$] s hodnotou $-12,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alebo nižšou, zaregistrované na meteorologickej stanici v Hurbanove od 1. 1. 1872 do 31. 7. 2021.

Table 5. The cases of daily mean air temperature interdiurnal change ΔT_{pr} [$^{\circ}\text{C}$] of $-12,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, or lower, registered at the Hurbanovo meteorological station from 1 January 1872 to 31 July 2021.

Zo dňa	Na deň	ΔT_{pr} [$^{\circ}\text{C}$]
31. 12. 1978	1. 1. 1979	-15,3
25. 8. 1890	26. 8. 1890	-13,8
9. 2. 1929	10. 2. 1929	-13,7
12. 8. 1921	13. 8. 1921	-13,3
18. 1. 1892	19. 1. 1892	-13,0
14. 1. 1886	15. 1. 1886	-12,6
3. 2. 1893	4. 2. 1893	-12,6
27. 12. 1890	28. 12. 1890	-12,5
10. 1. 1950	11. 1. 1950	-12,3
8. 2. 1956	9. 2. 1956	-12,3
12. 5. 1968	13. 5. 1968	-12,1
20. 12. 1887	21. 12. 1887	-12,0

3.4 Zmena priemernej dennej teploty vzduchu za trojdňové obdobie

Keďže hodnota priemernej dennej teploty vzduchu v deň nástupu ochladienia závisí od časového priebehu (načasovania) ochladienia, sledovali sme zmenu denných teplotných priemerov aj na rozšírenej škále troch dní (rozumej rozdiel hodnôt v dňoch d a $d-2$).

Počas ochladienia na prelome rokov 1978 a 1979 boli najväčšie záporné zmeny priemernej dennej teploty vzduchu za trojdňové obdobie menej výrazné než najväčšie zachytené interdiurné zmeny. Najviac poklesla priemerná denná teplota

vzduchu na trojdňovej škále na Lomnickom štíte: z $-6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 31. decembra 1978 na $-27,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2. januára 1979, teda so zmenou $-20,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ďalej v Rabči $-20,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v Trstenej-Ústí nad Priehradou $-20,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ medzi 30. decembrom 1978 a 1. januárom 1979). Z tohto pohľadu pritom išlo až o ôsme najvýraznejšie ochladienie v sieti slovenských meteorologických staníc v období 1961–júl 2021; prvá pozícia patrí jednému z výrazných ochladiení v priebehu januára 1987, kedy bol zaznamenaný pokles denného priemeru teploty vzduchu za trojdňové obdobie o $24,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ v Rabči z $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 6. januára na $-27,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 8. januára 1987.

3.5 Interdiurná zmena minimálnej dennej teploty vzduchu

Na rozdiel od priemernej dennej teploty vzduchu, interdiurné zmeny extrémnych denných teplôt vzduchu všeobecne nepatria medzi klimatologicky často využívané charakteristiky. Pri ochladiení ale najmä interdiurná zmena denných teplotných miním môže predstavovať jeho určite zaujímavú charakteristiku.

Rozdiel v denných minimách teploty vzduchu 31. decembra 1978 a 1. januára 1979 bol na viacerých meteorologických staniach Slovenska aj 20-stupňový (tab. 6); najvýraznejšie v Trstenej-Ústí nad Priehradou, kde bola minimálna denná teplota vzduchu uvedených dní $+3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, resp. $-21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tab. 6 Prípady interdiurnej zmeny minimálnej dennej teploty vzduchu ΔT_{min} [$^{\circ}\text{C}$] s hodnotou $-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alebo nižšou, zaregistrované na meteorologických staniach na Slovensku počas výrazného ochladienia na prelome rokov 1978 a 1979. Vo všetkých uvedených prípadoch ide o zmenu zo dňa 31. 12. 1978 na deň 1. 1. 1979.

Table 6. The cases of daily minimum air temperature interdiurnal change ΔT_{min} [$^{\circ}\text{C}$] of $-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, or lower, registered at the meteorological stations in Slovakia during the abrupt temperature drop event at the turn of 1978 and 1979. In all the presented cases, the corresponding change was registered from 31 December 1978 to 1 January 1979.

Stanica	ΔT_{min} [$^{\circ}\text{C}$]	Stanica	ΔT_{min} [$^{\circ}\text{C}$]
Trstená-Ústie nad Priehradou	-24,2	Čadca	-21,0
Rabča	-23,5	Kuchyňa	-20,7
Oravská Lesná	-23,0	Bystrička	-20,5
Veľký Klíž-Vrchhora	-22,3	Ružomberok	-20,5
Malatiná	-22,3	Liptovská Mara	-20,3
Dubník	-21,2	Žilina	-20,1
Štrbské Pleso	-21,1	Tatranská Javorina	-20,1
Radobica	-21,0	Bodorová	-20,0

V období 1961–júl 2021 evidujeme na meteorologických staniach na Slovensku spolu 19 prípadov interdiurnej zmeny denného minima teploty vzduchu s hodnotou $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ alebo nižšou (tab. 7). Až 16 z nich sa pritom vyskytlo pri situácii na prelome rokov 1978 a 1979 (tab. 6). Klimatologická pozícia ochladienia 1978/1979 sa tak aj z hľadiska tejto charakteristiky ochladienia javí ako výrazne superiórna, avšak vo februári 1929 bola zaregistrovaná obdobne vysoká hodnota danej charakteristiky; napr. vo Zvolene z 9. na 10. februára 1929 $-24,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. V Hurbanove (viď tiež Faško et al. 2010) je interdiurný pokles denného teplotného minima $-17,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ medzi 31. de-

Tab. 7 Situácie s interdiurnou zmenou minimálnej dennej teploty vzduchu ΔT_{\min} [°C] s hodnotou $-19,0$ °C alebo nižšou, zaregistrované v sieti meteorologických staníc na Slovensku od 1. 1. 1961 do 31. 7. 2021.

Table 7. Situations with daily minimum air temperature interdiurnal change ΔT_{\min} [°C] of -19.0 °C, or lower, registered within the meteorological stations network of Slovakia from 1 January 1961 to 31 July 2021.

Stanica	Zo dňa	Na deň	ΔT_{\min} [°C]	Na ďalších staniciach [°C]
Trstená-Ústie nad Priehradou	31. 12. 1978	1. 1. 1979	-24,2	15 staníc $-23,5$ až $-20,0$ (tab. 6); Žikava $-19,9$; Banská Štiavnica $-19,7$; Dolný Hričov, Liptovský Mikuláš $-19,6$; Liptovská Osada $-19,5$; Trenčín-Biskupice, Malý Javorník $-19,4$; Myjava, Piešťany $-19,3$; Beluša, Liptovský Hrádok $-19,0$
Oravská Lesná	27. 1. 1967	28. 1. 1967	-20,4	
Oravské Veselé	7. 12. 1991	8. 12. 1991	-20,3	
Oravské Veselé	21. 1. 2006	22. 1. 2006	-20,1	Rabča, Liesek $-19,0$
Medzilaborce	20. 12. 1995	21. 12. 1995	-19,5	
Rabča	17. 12. 1975	18. 12. 1975	-19,4	
Dudince	11. 1. 1987	12. 1. 1987	-19,0	

cembrom 1978 a 1. januárom 1979 markantne najvýraznejším takýmto poklesom od začiatku roka 1901, odkedy je k dispozícii neprerušovaný časový rad minimálnej dennej teploty vzduchu z tejto stanice (v časoch nekontinuálneho merania minimálnej teploty v 19. storočí tam však zaznamenali interdiurnú zmenu denného minima teploty $-17,7$ °C, 18. → 19. januára 1892).

3.6 Zmena minimálnej dennej teploty vzduchu za troj- a štvordňové obdobie

Z pohľadu poklesov denného minima teploty vzduchu v rámci predĺženého obdobia troch a štyroch dní (rozdiel hodnôt v dňoch d a $d-2$, resp. d a $d-3$) sa ochladenie 1978/1979 na vedúcej pozícii v dlhodobom časovom horizonte (1961–júl 2021) nenachádza. Najnižšia zmena minimálnej teploty vzduchu na trojdňovej škále pri predmetnej udalosti predstavovala $-25,0$ °C (Trstená-Ústie nad Priehradou, 31. decembra 1978 → 2. januára 1979) a na štvordňovej $-24,9$ °C (Chopok, 30. decembra 1978 → 2. januára 1979).

Dlhodobu najväčšiu zaregistrovanú zápornú zmenu v období 1961–júl 2021 v tomto ohľade však dosiahli až takmer -30 °C; v Červenom Kláštore pri vpáde studeného vzduchu na prelome januára a februára 1991 $-29,3$ °C (29. → 31. januára 1991) pre trojdňové, resp. $-29,8$ °C (29. januára → 1. februára 1991) pre štvordňové obdobie.

3.7 Interdiurná zmena maximálnej dennej teploty vzduchu

Zatiaľ čo 1. januára 1979 ešte stihla teplota vzduchu na Malom Javorníku na hrebeni Malých Karpát vystúpiť na vyše $+10$ °C (presne $+10,3$ °C), ďalší deň niesol

na tejto stanici prívlastok „arktický“ s maximom teploty $-10,2$ °C. Tento prípad je jediným vyše 20-stupňovým poklesom maxima teploty vzduchu medzi za sebou nasledujúcimi dňami, zaregistrovaným na niektorej zo slovenských meteorologických staníc v období rokov 1961–júl 2021 (tab. 8).

V klimatologickom kontexte však vedúce postavenie pamätného ochladenia nie je z pohľadu tejto charakteristiky tak dominantné ako v prípade interdiurných poklesov priemernej a minimálnej dennej teploty vzduchu. Menej výrazný je napríklad tiež odstup od najväčšej zachytenej interdiurnej zmeny teplotného maxima počas ďalších situácií v období 1961–júl 2021 (tab. 8).

Počas najpamätnejších dní zimy 1928/1929 sa na Slovensku medzi 9. a 10. februárom 1929 vyskytol dokonca ešte o desaťinu stupňa Celzia výraznejší interdiurný pokles maximálnej teploty $-20,6$ °C v Tatranskej Lomnici. V hurbanovskom časovom rade patrí hodnota dosiahnutá za začiatku roka 1979 ($-13,5$ °C) až do druhej desiatky najvýraznejších interdiurných poklesov maxima teploty vzduchu od roku 1901; doteraz najnižšia hodnota $-15,6$ °C bola zaznamenaná 12. → 13. apríla 2021.

3.8 Rozdiel minimálnej dennej teploty daného dňa a maximálnej dennej teploty predchádzajúceho dňa

Pre stanovenie úplnej magnitúdy teplotnej zmeny býva v hodnoteniach ochladení s výraznou výmenou vzduchovej hmoty často používané porovnanie minima teploty vzduchu určitého dňa, dosiahnutého po ochladení, s maximom teploty vzduchu predchádzajúceho dňa, dosiahnutým ešte pred ochladením (Kakos 1979; Rein, Štekl 1981; Součková et al. 2018). Z meteorologického hľadiska sa však takto definované mimoriadne teplotné poklesy objavujú nielen pri ochladení s význam-

Tab. 8 Situácie s interdiurnou zmenou maximálnej dennej teploty vzduchu ΔT_{\max} [°C] s hodnotou $-17,0$ °C alebo nižšou, zaregistrované v sieti meteorologických staníc na Slovensku v období od 1. 1. 1961 do 31. 7. 2021.

Table 8. Situations with daily maximum air temperature interdiurnal change ΔT_{\max} [°C] of -17.0 °C, or lower, registered within the meteorological stations network of Slovakia from 1 January 1961 to 31 July 2021.

Stanica	Zo dňa	Na deň	ΔT_{\max}	Na ďalších staniciach [°C]
Malý Javorník	1. 1. 1979	2. 1. 1979	-20,5	Tatranská Javorina $-18,5$; Liptovský Hrádok $-17,8$; Bratislava-Kolíba, Čadca $-17,4$; Veľký Klíž-Vrchhora, Malatiná $-17,2$; Trstená-Ústie nad Priehradou $-17,0$
Lomnický štít	9. 12. 2010	10. 12. 2010	-18,6	Skalnaté pleso $-17,4$
Lomnický štít	26. 2. 1991	27. 2. 1991	-17,4	
Oravská Polhora	26. 7. 1963	27. 7. 1963	-17,3	
Malý Javorník	12. 4. 2021	13. 4. 2021	-17,3	Modra-Piesok $-17,2$; Senica $-17,0$
Nový Smokovec	19. 5. 1965	20. 5. 1965	-17,2	
Kráľová pri Senci	16. 7. 2001	17. 7. 2001	-17,2	Žihárec $-17,1$

Tab. 9 Situácie s rozdielom minimálnej dennej teploty vzduchu daného dňa a maximálnej dennej teploty vzduchu predchádzajúceho dňa $\Delta T_{\max} \rightarrow T_{\min}$ [°C] s hodnotou $-30,0$ °C alebo nižšou, zaregistrované v sieti meteorologických staníc na Slovensku od 1. 1. 1961 do 31. 7. 2021.

Table 9. Situations with the difference between the given day's minimum air temperature and the previous day's maximum air temperature $\Delta T_{\max} \rightarrow T_{\min}$ [°C] of $-30,0$ °C, or lower, registered within the meteorological stations network of Slovakia from 1 January 1961 to 31 July 2021.

Stanica	Zo dňa	Na deň	$\Delta T_{\max} \rightarrow T_{\min}$	Na ďalších staniciach [°C]
Červený Kláštor	26. 2. 1963	27. 2. 1963	-32,4	Trstená-Ústie nad Priehradou -31,0; Víглаš-Pstruša -30,1
Oravská Lesná	7. 1. 1987	8. 1. 1987	-31,3	Červený Kláštor -30,8
Červený Kláštor	30. 1. 1991	31. 1. 1991	-30,5	
Spišské Vlachy	19. 3. 1990	20. 3. 1990	-30,4	Červený Kláštor -30,3
Švedlár	18. 3. 1990	19. 3. 1990	-30,1	

ným advekčným vplyvom, ale aj počas radiačne-podmienečných ochladení vnútri vzduchovej hmoty. Pri interpretácii výsledkov klimatologickej analýzy je preto pochopiteľne dobré si tieto dva typy situácií všimnúť a rozlišovať ich.

Najväčšia záporná zmena maximum \rightarrow minimum teploty vzduchu medzi za sebou idúcimi dňami bola v rámci ochladenia na prelome rokov 1978 a 1979 (advekčný typ situácie) zaznamenaná v Trstenej-Ústí nad Priehradou, kde teplota vzduchu klesla o 29,2 °C, keď na Nový rok 1979 bolo na tejto meteorologickej stanici dosiahnuté denné maximum teploty +7,2 °C a 2. januára 1979 minimum $-22,0$ °C. Podľa dostupných údajov vieme pritom hodnoverne odhadnúť, že takmer 30-stupňová zmena sa tu odohrala nanajvýš za približne 24 hodín (viď aj tab. 1).

Najvýraznejšie zaznamenané teplotné poklesy tohto druhu v období 1961–júl 2021 boli na slovenských meteorologických staniciach aj vyše 30-stupňové (tab. 9), s najväčším zachyteným poklesom v Červenom Kláštore na konci februára 1963 (maximum teploty vzduchu 26. februára 1963 $-2,0$ °C \rightarrow minimum 27. februára 1963 $-34,4$ °C), ktorý sa odohral taktiež pri výraznej studenej advekcií. Pri nástupe najtuhších mrazov vo februári 1929 bola dokonca v Tatranskej Lomnici podľa originálneho výkazu zaznamenaná hodnota danej charakteristiky až $-37,6$ °C (maximum 9. februára 1929 $+0,6$ °C \rightarrow minimum 10. februára 1929 $-37,0$ °C).

3.9 Denná amplitúda teploty vzduchu

V čase ochladenia na prelome rokov 1978 a 1979 sme si inšpirovaní Júzom (2013) napokon tiež všimli aj výskyt mimoriadne vysokých denných amplitúd teploty vzduchu. Najvyššia hodnota 28,4 °C bola zaevidovaná pre prvý deň roka 1979 pri maxime teploty vzduchu +7,2 °C a minime $-21,2$ °C v Trstenej-Ústí nad Priehradou. Ďalšie poradie najvyšších dosiahnutých teplotných amplitúd na Slovensku pre 1. január 1979: Čadca 28,0 °C, Malý Javorník 27,7 °C, Tatranská Javorina 27,1 °C, atď.

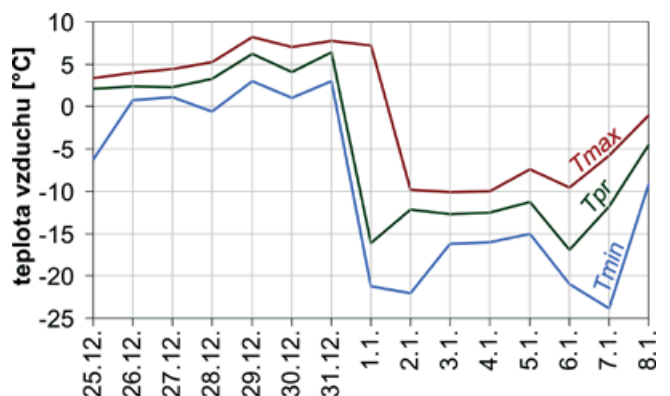
Na základe publikovanej práce kolektívu autorov (1974) sme sa dopracovali k informácii, že ešte vyššia hodnota dennej teplotnej amplitúdy pri studenej advekcií bola dosiahnutá pre 9. február 1929 v Tatranskej Lomnici s hodnotou 31,0 °C, ktorá zodpovedá maximu teploty vzduchu $+0,6$ °C a minimu $-30,4$ °C. V prípade dosahovania extrémne vysokých hodnôt dennej teplotnej amplitúdy však majú typicky významnejšie postavenie situácie s prevládajúcim anticiklonálnym charakterom počasia: jednak dni s prudkým advekčným oteplením

a jednak dni s dominantným radiačným typom počasia a ním podmieneným výrazným denným chodom teploty vzduchu. Z evidovaných prípadov podľa klimateckej databázy SHMÚ boli na Slovensku dosiahnuté tieto najvyššie denné teplotné amplitúdy: 33,9 °C v Oravskej Lesnej 15. marca 1953 (minimum teploty vzduchu $-26,0$ °C / maximum $+7,9$ °C; viď tiež Švec 2012), 32,4 °C rovnako v Oravskej Lesnej 9. marca 1952 ($-25,0$ °C / $+7,4$ °C) a po roku 1960 32,1 °C v Spišských Vlachoch 19. marca 1990 ($-8,1$ °C / $+24,0$ °C).

4. Záver

Zima 1978/1979 ako celok skončila na Slovensku v porovnaní s normálom 1961–1990 ako teplotne normálna, a to iba vďaka studenému januáru. Extrémne ochladenie na prelome príslušných rokov sa však stalo jej veľmi významným symbolom a v našom geografickom priestore je vari najznámejšou a najlegendárnejšou udalosťou tohto druhu a zmenou počasia vôbec. Z výsledkov analýzy je zjavné, že uvedená situácia bola na Slovensku celkovo najpozoruhodnejšia akiste v oblasti Oravy a Kysúc (ilustračne ešte pripájame obr. 2). Ochladenie však v extrémnej podobe zasiahlo prakticky celú severnú polovicu Slovenska, nížiny západného Slovenska a k nim prilahlé pohoria. Naopak najmenej intenzívne z pohľadu analyzovaných charakteristík bolo predmetné ochladenie vo všeobecnosti v Turnianskej kotline, v juhozápadnej časti Košickej kotliny, na Gemeri, Horehroní a v Juhoľstrenskej kotline.

Možno konštatovať, že z klimatologickej perspektívy bolo pamätné ochladenie na prelome rokov 1978 a 1979 poprednou poveternostnou udalosťou svojho druhu na Slovensku najmä z hľadiska najväčších zaznamenaných hodnôt interdiurnej



Obr. 2 Chod základných denných charakteristík teploty vzduchu (T_{\max} – maximum, T_{\min} – minimum, T_{pr} – priemer) na meteorologickej stanici v Trstenej-Ústí nad Priehradou na prelome rokov 1978 a 1979.

Fig. 2. Basic daily characteristics of air temperature (T_{\max} – maximum, T_{\min} – minimum, T_{pr} – average) at the Trstená-Ústie nad Priehradou meteorological station at the turn of 1978 and 1979.

zmeny priemernej, minimálnej aj maximálnej dennej teploty vzduchu, a to minimálne za posledných 60 rokov (obdobie 1961–júl 2021). Obzvlášť podľa interdiurnej zmeny priemernej dennej teploty pritom môže byť jeho vedúce postavenie platné aj za podstatne dlhšie obdobie.

Ako sa však ukazuje z niektorých doplnujúco zhromaždených výsledkov, v dávnejšej histórii sa už na našom území vyskytlo ochladenie podobnej, a pri niektorých charakteristikách dokonca aj o čosi väčšej interdiurnej intenzity; a to situácia, ktorá priamo predchádzala historickým mrazivým dňom 10. a 11. februára 1929 (Faško et al. 2009). Pri danej studenej advekcii sa tiež podľa všetkého vyskytli krajne extrémne krátkodobé (*n*-hodinové) poklesy teploty vzduchu, keď napríklad vo Východnej za 10 hodín medzi večerom 9. februára a ránom 10. februára 1929 teplota vzduchu poklesla o 25,9 °C. Operatívne komplexné spracovanie tejto udalosti, a rovnako aj ďalších významných ochladení spreď roku 1961, resp. 1951, je však výrazne limitované doterajšou nezdigitalizovanosťou údajov vtedajších meteorologických pozorovaní.

PodĎakovanie:

Ďakujeme obom recenzentom za posúdenie nášho príspevku a cenné obsahové pripomienky. Taktiež Ďakujeme Radimovi Tolaszovi z Českého hydrometeorologického ústavu za pomoc pri zhromažďovaní literatúry.

Literatúra:

- ABRAHÁMEK, D., RUŠAR, P., 2021. Extrémni jevy na Jesenicu pohľadom meteorologa 1978–2018. *Meteorologické zprávy*, roč. **74**, č. 2, s. 56–64. ISSN 0026-1173.
- BALÁŽOVÁ, L., BOSÁK, J. (ed.), 2005. Slovník cudzích slov (akademický). Bratislava: Slovenské pedagogické nakladateľstvo – Mladé letá. ISBN 80-10-00381-6.
- ČAŠEK, M., 2017. Prudké mezidenní poklesy teploty vzduchu a jejich sezonalita. [Bakalárska práca]. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta.
- ČESKÁ METEOROLOGICKÁ SPOLEČNOST, 2021. Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS). [online]. [cit. 20. 3. 2021]. Dostupné z WWW: <http://slovník.cmes.cz>.
- EMMRICH, P., 1983. Bemerkungen zur numerischen Vorhersage des spektakulären Wintereinbruchs in Mitteleuropa zum Jahreswechsel 1978/79 – eine synoptische Fallstudie. *Meteorologische Rundschau*, roč. **36**, č. 4, s. 180–189. ISSN 0026-1211.
- FAŠKO, P., MATEJOVIČ, P., PECHO, J., 2009. Najtuhšia zima 20. storočia na Slovensku. *Meteorologický časopis*, roč. **12**, č. 1, s. 37–41. ISSN 1335-339X.
- FAŠKO, P., MIKULOVÁ, K., PECHO, J., KAJABA, P., BOCHNÍČEK, O., NEJEDLÍK, P., ŠŤASTNÝ, P., 2010. Interdiúrna a viacdňová premenlivosť vybraných charakteristík teploty vzduchu v časovom rade z Hurbanova v období 1901–2009. In: ČELKOVÁ, A. (ed.), *Zborník recenzovaných príspevkov, 18. posterový deň s medzinárodnou účasťou a deň otvorených dverí na ÚH SAV – Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda-rastliny-atmosféra*. Bratislava, 11. 11. 2010. Bratislava: Ústav hydrológie SAV a Geofyzikálny ústav SAV, s. 6. ISBN 978-80-89139-21-7.
- JŮZA, P., 2013. Teplotní amplituda před 35 lety. Infomet – informační stránky ČHMÚ [online]. Český hydrometeorologický ústav [cit. 20. 3. 2021]. Dostupné z WWW: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1388528272>.
- KAKOS, V., 1979. Teplotní charakteristika zimy 1978/79. *VTEI*, roč. **21**, č. 5, s. 167–172. ISSN 0322-8916.

- KALVOVÁ, J., ZETTLITZEROVÁ, M., 1983. Ostré zlomy v časové řadě denních průměrů teploty. *Meteorologické zprávy*, roč. **36**, č. 1, s. 22–25. ISSN 0026-1173.
- KOLEKTÍV AUTOROV, 1969. Podnebí Československé socialistické republiky: Souborná studie. Praha: Hydrometeorologický ústav.
- KOLEKTÍV AUTOROV, 1974. Klíma Tatier. Bratislava: Veda.
- MATEJOVIČ, P., 2011. Zima a.d. 1500–2010: História a podoby zím v Európe a na Slovensku. Bratislava: Veda. ISBN 9788022412087.
- MOLNÁR, F., 1991. Vpády arktických vzduchových hmôt na územie Slovenska. In: *Zborník prác SHMÚ*, zv. **30**, Bratislava: ALFA, s. 307–340.
- MUSIL, I., 1982. K některém příčinám kalamitní zimy 1978–1979 v lesích Beskyd. *Lesnická Práce*, roč. **61**, č. 7, s. 316–317. ISSN 0322-9254.
- OSCZEWSKI, R., BLUESTEIN, M., 2005. The new wind chill equivalent temperature chart. *Bulletin of the American Meteorological Society*, roč. **86**, č. 10, s. 1453–1458. ISSN 0003-0007.
- PETROVIČ, Š., 1962. Interdiurná zmena priemernej dennej teploty a termínové priemery teploty vzduchu v Oravskom Podzámku. *Meteorologické zprávy*, roč. **15**, č. 6, s. 164–167. ISSN 0026-1173.
- REIN, F., ŠTEKL, J., 1961. The extremeness of the cold front of Dec. 31, 1978 over the ČSR. *Travaux Géophysiques*, roč. **29**, č. 566, s. 379–404. ISSN 0231-5548.
- SOUČKOVÁ, M., DOLEŽAL, J., JŮZA, P., 2018. Byla zima roku 1978–79 extrémně chladná? Silvestr 1978 přinesl ochlazení až o 34 °C. Infomet – informační stránky ČHMÚ [online]. Český hydrometeorologický ústav [cit. 20. 3. 2021]. Dostupné z WWW: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1545930912>.
- SUROVEC, D. et al., 1989. Hlavné škodlivé činitele v lesoch SSR za roky 1975–1986. Lesnícke štúdie 45. Výskumný ústav lesného hospodárstva vo Zvolene. Bratislava: Príroda. ISBN 80-07-00095-X.
- ŠVEC, M., 2012. Rekordné októbrové amplitúdy [online]. Slovenský hydrometeorologický ústav [cit. 20. 3. 2021]. Dostupné z WWW: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=388>.
- VÝBERČI, D., 2013. Extrémne zmeny počasia na Slovensku a ich vplyv na úmrtnosť obyvateľstva. [Rigorózna práca]. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta.
- WEGE, K., 1979. Der Wintereinbruch zum Jahreswechsel 1978/79 und zugehörige Vorhersagen des feucht-baroklinen Modells des Deutschen Wetterdienstes. *Meteorologische Rundschau*, roč. **32**, č. 6, s. 175–181. ISSN 0026-1211.

**Lektoři (Reviewers): RNDr. Vít Květoň, CSc.,
Ing. Dáša Richterová**

Vliv městského prostředí na tepelnou zátěž v centru Prahy

Influence of urban environment on heat stress in the Prague city centre

Lucie Chlapcová

Fakulta životního prostředí
Česká zemědělská univerzita v Praze
Kamýcká 1176, 165 00 Praha 6
✉ chlapcova@gmail.com

Aleš Urban

Fakulta životního prostředí
Česká zemědělská univerzita v Praze
Kamýcká 1176, 165 00 Praha 6
Ústav fyziky atmosféry AV ČR
Boční II 1401, 141 00 Praha 4
✉ urban@ufa.cas.cz

Jan Kyselý

Fakulta životního prostředí
Česká zemědělská univerzita v Praze
Kamýcká 1176, 165 00 Praha 6
Ústav fyziky atmosféry AV ČR
Boční II 1401, 141 00 Praha 4
✉ kyselý@ufa.cas.cz

The area which includes the right bank of the Vltava River near Charles Square is one of the most popular places to visit during summer in the Prague city centre. The riverbank part, called Náplavka, is an especially popular location due to many social and cultural events that take place there. However, given the north-south orientation of the Vltava riverbed, in addition to lack of greenery and shade on the riverbank, the question arises as to what extent thermal conditions are comfortable during hot summer days at Náplavka. The aim of this study is to compare biometeorological conditions at eight measurement sites, located along a path loop between Charles Square and the Náplavka riverbank. Meteorological parameters (including air temperature, relative humidity, wind speed, globe temperature, Heat Index (HI) and Wet-bulb Globe Temperature (WBGT)) were measured and recorded, using the Kestrel 5400 portable tool, every two hours between 08:00 and 18:00 CEST on nine days during summer 2019. We analysed data from the seven warmest days divided into three groups: dry tropical days ($T_{\max} > 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, small cloud cover and air humidity), moist tropical days ($T_{\max} > 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, larger cloud cover and air humidity), and summer days ($27\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\max} < 30\text{ }^{\circ}\text{C}$). Results of the measurements showed that although the highest temperature was recorded on dry tropical days, thermal stress (HI, WBGT) was more intense on moist tropical days. In addition, while Náplavka's thermal conditions were most comfortable in the morning across all locations, the heat stress

increased rapidly in this location during the day. Consequently, the afternoon thermal conditions at Náplavka were the most stressful (across all measurement sites) on dry tropical days and the third most stressful on moist tropical days. Our results suggest that on hot summer days, the relocation of whole-day events from Náplavka to other places (e.g. Charles Square) should be considered.

KLÍČOVÁ SLOVA: prostředí městské – zátěž tepelná – teplota vzduchu – Heat Index – Wet-bulb Globe Temperature

KEYWORDS: urban environment – heat stress – air temperature – Heat Index – Wet-bulb Globe Temperature

1. Úvod

Zvyšování počtu obyvatel ve městě, přeměna přírodních ploch na nepropustné povrchy, znečištění ovzduší a v neposlední řadě změna reliéfu a drsnosti povrchu vlivem výstavby mění klima města. V důsledku toho vznikají odlišné tepelné poměry ve městě a jeho okolí, které se projevují mj. rozdíly teploty. Tomuto jevu se říká tepelný ostrov města (TOM) a je nejnepříjemnějším aspektem městského klimatu (Oke et al. 2017).

Specifické vlastnosti městského prostředí ovlivňují kromě teploty i další meteorologické parametry (např. relativní vlhkost či vítr) (Kralický et al. 2020). Městský povrch je na rozdíl od okolní krajiny spojen s výrazně nižším obsahem vláhly z důvodu nižšího podílu ztrátové vegetace a rychlého odtoku srážkové vody do kanalizací (Hao et al. 2018). V důsledku toho se ve městech vypařuje méně vody než v jeho okolí a vzniká tzv. suchý ostrov města (Kralický et al. 2020).

Městské prostředí má také vliv na větrné podmínky. Všeobecný předpoklad je, že rychlost větru dosahuje ve městech v průměru nižších hodnot než v jejich okolí v důsledku větší drsnosti povrchu (Oke et al. 2017; Kralický et al. 2020). Za specifických podmínek je však možné pozorovat tzv. větrný ostrov města, kdy je ve městě rychlost větru mírně vyšší než na venkově (o 0,5 až $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Tento jev je důsledkem existence TOM a mocnější mezní vrstvy atmosféry ve městě než v okolní krajině města. Větrný ostrov města se nejčastěji objevuje odpoledne při nepříliš vysokých rychlostech větru (do $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) a v relativně nízké zástavbě (do 12 m) (Droste et al. 2018).

Existence TOM negativně ovlivňuje tepelný komfort obyvatel měst a ohrožuje jejich zdraví. Vysoká teplota může způsobit přehřátí organismu a závažné zdravotní komplikace, které mohou vést až k předčasnému úmrtí (Zare et al. 2018). Problematice vlivu horkého počasí na lidské zdraví a jejich zhodnocení v podmínkách ČR se v Meteorologických zprávách věnovali např. Kyselý, Huth (2004); Urban, Kyselý (2014); Hanzlíková et al. (2016).

Tepelný komfort lze definovat jako subjektivní pocit, který člověk vnímá při pobytu v daném prostředí při dané teplotě (Epstein, Moran 2006). Ovlivňují ho mj. faktory okolního prostředí jako je teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, rychlost větru a sluneční záření, ale také fyziologické procesy v lidském těle související s fyzickou aktivitou, věkem, oblečením apod. (Mathauerová 2007). Aby bylo možné definovat podmínky pro tepelný komfort, byly vyvinuty indexy, které jsou vhodné pro horké počasí (např. Heat Index, Wet-bulb Globe Temperature), pro chladné počasí (např. Wind chill index) nebo pro obojí (Physiological Equivalent Temperature, Universal Thermal Climate Index) (Potchter et al. 2018).

V souvislosti se změnou klimatu je i v Praze pozorován dlouhodobý růst průměrné roční teploty vzduchu. Patrný je zejména od 60. let 20. století, s tempem 0,3 °C/desetiletí za období 1961–2015 na stanici Praha, Klementinum (UrbanAdapt 2015). Skalák et al. (2015) uvádějí, že z pohledu jednotlivých částí se nejvíce otepluje střed města, kde také dochází k nejvyššímu růstu počtu dní s extrémně vysokou teplotou vzduchu.

Tyto trendy vedou logicky k růstu intenzity TOM (tj. rozdílu mezi teplotou v centru města a jeho okolí). Intenzita TOM dosahuje obecně nejvyšších hodnot v nočních hodinách, kdy dochází k intenzivnímu vyzařování tepla ze zahřátých umělých povrchů do atmosféry (Oke et al. 2017). Z toho důvodu je také intenzita největší při radiačním (anticyklonálním) typu počasí s malou oblačností a slabým větrem (Beranová, Huth 2003). Podle Skaláka et al. (2015) dosahoval v období 1991–2013 TOM Prahy největší intenzity v teplém půlroce (duben–září), kdy měsíční průměry denního minima teploty vzduchu na stanici Praha, Klementinum přesahovaly o více než 2 °C průměr ze tří stanic v okolí Prahy (Brandýs nad Labem, Dobříchovice, Tuháň). Intenzita TOM byla o 0,5–0,7 °C vyšší než za stejné měsíce v období 1961–1990.

Zesilování intenzity TOM je nutné chápat jako negativní signál, zejména pokud by tento trend měl pokračovat i do budoucna. Proto je důležité řešit možnosti snižování vlivu TOM na obyvatele při dalším rozvoji města. Mezi obvyklá řešení patří zejména realizování zeleně a vodních prvků (Pokorný et al. 2018). Sídlní zeleně (stromy, parky a travnaté plochy) a vodní prvky (vodní toky, kašny, nádrže) akumulují méně tepla než zastavěné plochy, a tím přispívají k ochlazení okolního prostředí. Na rozdíl od zastavěných ploch navíc využívají rostliny přijatou energii na proces evapotranspirace. Tímto jevem dokážou ochlazovat nejen sebe, ale i vzduch a povrchy v blízkém okolí (Pokorný et al. 2018).

Důležitým prvkem městské zeleně jsou zejména vzrostlé stromy, jejichž koruny kromě ochlazení vzduchu pomocí evapotranspirace zachytávají sluneční záření a vytvářejí stín (Pokorný et al. 2018). Ten je účinným nástrojem pro snižování tepelné zátěže zejména při horkých dnech s malou oblačností a nízkou vlhkostí vzduchu (Oliveira 2011). Jelikož ve městech bývá problém s nedostatkem míst pro zajištění sídlní zeleně a vodních ploch, alternativním řešením může být realizování prvků zeleně na budovách (zelené fasády, střešní zahrady) (Pokorný et al. 2018).

Účinky TOM mají negativní vliv na tepelný komfort a zdraví obyvatel ve městě zejména v letních měsících. I z toho důvodu obyvatelé a návštěvníci měst vyhledávají ve volném čase městské parky a vodní plochy (Thorsson et al. 2004). V Praze je velmi populárním místem pro odpočinek a setkávání oblast Náplavky na Rašínově nábřeží. V letních měsících se zde koná řada společenských a kulturních akcí, často přes celý den. Otázkou ovšem je, zda je pobyt u řeky, kde chybí zeleně, opravdu příjemný z hlediska míry tepelné zátěže. Cílem této studie proto bylo porovnat biometeorologické podmínky na Náplavce

s dalšími vybranými stanovišti v centru Prahy a analyzovat, jak se mění během dne a za různých meteorologických situací. Problematikou vlivu městského prostředí na míru tepelné zátěže v ulicích měst se v ČR zabývalo již několik studií (např. Dobrovolný et al. 2012 v Brně; Lehnert et al. 2020 v centrech čtyř středně velkých měst). Žádná studie o vyhodnocení tepelné zátěže pomocí terénních měření se však zatím nezabývala situací v centru Prahy.

2. Data a metody

2.1 Sledované ukazatele tepelné zátěže

V této práci byly sledovány dva biometeorologické indexy. Prvním z nich je Heat Index (HI, do češtiny lze přeložit jako index horka), který je kombinací teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu a udává teplotu referenčního prostředí za aktuální teploty a vlhkosti vzduchu (Steadman 1979). Jedná se o široce používaný ukazatel tepelné zátěže v epidemiologických studiích (např. Basu 2009; Sung et al. 2013) i operativní předpovědi počasí (např. NWS 2020; BOM 2010). S rostoucí teplotou vzduchu a relativní vlhkostí stoupá hodnota Heat Indexu, tedy i míra tepelné zátěže (NWS 2020). Vzorec NWS vycházející z vícenásobného regresního vztahu mezi teplotou (T) a vlhkostí (RH) vzduchu a upravený pro výpočet Heat Indexu z teploty ve °C uvádí Blazejczyk et al. (2011):

$$HI = -8,784695 + 1,61139411 \cdot T + 2,338549 \cdot RH - 0,14611605 \cdot T \cdot RH - 1,2308094 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 - 1,6424828 \cdot 10^{-2} \cdot RH^2 + 2,211732 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \cdot R + 7,2546 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot RH^2 - 3,582 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 \cdot RH^2, \quad (1)$$

Druhým použitým indexem je Wet-bulb Globe Temperature (WBGT, do češtiny lze přeložit jako teplota vlhkého kulového teploměru), který byl vyvinut pro definování rizikových podmínek z hlediska vlivů tepelné zátěže na zdraví účastníků vojenského výcviku (Yaglou, Minaed 1957). Tento index zohledňuje ve výpočtu kromě teploty a vlhkosti vzduchu také vliv rychlosti větru a slunečního záření (teplota kulového teploměru – globe temperature). Hodnoty WBGT v přístroji Kestrel 5400 jsou počítány na základně vzorce pro venkovní prostředí (Epstein et al. 2006):

$$WBGT = 0,7 \cdot T_{wb} + 0,2 \cdot T_g + 0,1 \cdot T_a, \quad (2)$$

který zahrnuje do výpočtu teplotu vzduchu (T_a), teplotu vlhkého teploměru (T_{wb}) a teplotu kulového teploměru (T_g). T_{wb} je určena kombinací teploty a vlhkosti vzduchu, zatímco T_g je výsledkem krátkovlnného (slunečního) a dlouhovlnného (tepelného) záření a ochlazení kulového teploměru větrem (Lemke, Kjellstrom 2012). Díky zahrnutí dalších faktorů je WBGT vhodnější než HI pro měření tepelné zátěže ve venkovním prostředí (např. na přímém slunci). Jedná se o jeden z nejpou-

Tab. 1 Znárodnění rizika zdravotních potíží souvisejících s tepelnou zátěží pro člověka při zvýšené fyzické námaze (např. u sportovců) (Epstein, Moran 2006).

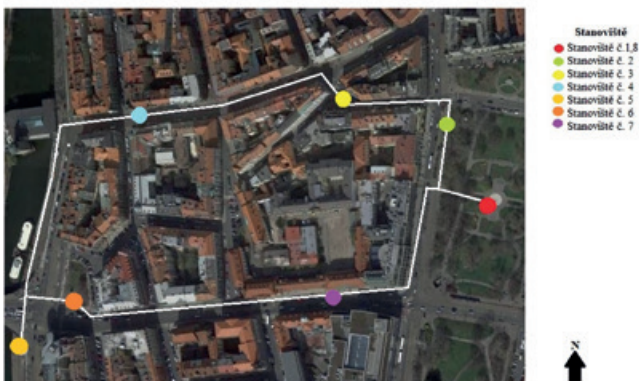
Table 1. Risk of heat disorders with prolonged exposure and/or strenuous physical activity (e.g. athletes).

	RIZIKO	WBGT [°C]
	malé	<18,0
	střední	18,1–23,0
	vysoké	23,1–28,0
	extrémní	>28,0

žívanějších indexů z hlediska stanovení limitů tepelné zátěže v mnoha odvětvích lidské činnosti, např. pro vojáky, sportovce, pro školy a pracovní prostředí obecně (Epstein, Moran 2006). Pro stanovení míry rizika tepelné zátěže chodců v ulicích města jsme použili limity pro sportovce (tab. 1).

2.2 Popis lokality

Vliv městského prostředí na tepelnou zátěž byl vyhodnocen na základě terénních měření v okruhu, který byl veden z Karlova náměstí k Rašínovu nábřeží a zpět a měřil cca 1,5 km (obr. 1). Délka okruhu a počet stanovišť byly zvoleny tak, aby bylo možné celý okruh absolvovat během 2 hodin, přičemž čas potřebný na měření na každém stanovišti byl 7 minut a okruh tvořil uzavřenou smyčku. Data byla získávána měřením na osmi vybraných stanovištích tohoto měřicího okruhu ve dvouhodinových intervalech od 08:00 do 18:00 SELČ, v devíti dnech v období od června do srpna 2019. Kromě údajů sbíraných automaticky (viz níže) bylo během měření ručně zaznamenáváno množství a druh oblačnosti, počet lidí na stanovišti a jeho zastínění (zástavbou, vegetací nebo oblačností). První a poslední stanoviště okruhu se nacházelo na stejném místě za účelem kvantifikace vlivu změny pozadových podmínek během jednoho okruhu měření.



Obr. 1 Schematický plán zkoumaného území s vyznačenými stanovišti (upraveno podle www.maps.google.cz).

Fig. 1. Schematic plan of the study area with measurement sites (edited according to www.maps.google.cz).

Meteorologické prvky (teplota a vlhkost vzduchu, rychlost větru a teplota kulového teploměru) a z nich automaticky vypočtené biometeorologické indexy (HI a WBGT) byly zaznamenávány přenosným přístrojem Kestrel 5400, který byl umístěn na stavivu ve výšce 1,2 m nad zemským povrchem. Pro získávání dat potřebných pro výpočet WBGT tento přístroj zahrnuje kulový teploměr, což je měděná koule černé barvy o průměru 25 mm, a vrtuli anemometru. Údaje na každém stanovišti byly zaznamenávány v 6minutových intervalech s frekvencí 5 sekund a v rámci těchto intervalů následně zprůměrovány.

Tab. 2 Základní vlastnosti měřicích stanovišť. Symboly (✓) a (×) značí přítomnost/absenci vodního prvku nebo zeleně.

Table 2. Basic characteristics of the measurement sites, including the site number, name, dominant surface, and the presence (✓) or absence (×) of a water element or urban greenery.

	1, 8	2	3	4	5	6	7
	Karlovo náměstí	zastávka Novoměstská radnice	ulice Odborů	ulice Myslíkova	Náplavka	Jiráskovo náměstí	ulice Resslerova
Povrch	asfalt	dlažební kostky	dlažební kostky	dlažební kostky	dlažební kostky	písečný	dlažební kostky
Vodní prvek	✓	×	✓	×	✓	×	×
Zeleň	✓	✓	✓	✓	×	✓	×

Interval 6 minut (+1 minuta na nastavení přístroje) byl zvolen na základě testovacích měření jako minimální čas nezbytný pro aklimatizaci přístroje na změnu prostředí pro přesné měření teploty kulového teploměru a následný výpočet hodnoty WBGT. Z toho důvodu byly v případě teploty kulového teploměru a WBGT uvažovány poslední hodnoty naměřené během 6minutového intervalu, nikoliv průměrné hodnoty za celý interval. Další podrobnosti jsou uvedeny v bakalářské práci Chlapcová (2020).



Obr. 2 Fotografie měřicích stanovišť.

Fig. 2. Images of the measurement sites.

Největší plocha zeleně se vzrostlými stromy a vodním prvkem se nachází v parku na Karlově náměstí (č. 1) (obr. 2). Naopak stanoviště v přilehlé ulici Resslerova (č. 7) se nachází v blízkosti vysoké zástavby a v letních měsících je cca do 16:00 SELČ vystaveno přímému slunečnímu záření. Na stanovišti v ulici Odborů (č. 3) je celý den stín způsobený zástavbou a stromy. Náplavka (č. 5), která je populární zejména ve večerních hodinách a o víkendech, je tvořena kamennou dlažbou a nenachází se zde žádné prvky zeleně ani jiné stínící prvky.

2.3 Analýza naměřených hodnot

Do zpracování v rámci této studie bylo zařazeno 7 dní s maximální naměřenou teplotou vyšší než 27 °C. Dny byly rozděleny na základě rozdílných podmínek do tří skupin: suché tropické dny s malou oblačností a nízkou vlhkostí vzduchu (skupina 1), vlhké tropické dny s větší oblačností a vyšší vlhkostí vzduchu (skupina 2) a referenční letní dny (skupina 3).

Biometeorologické indexy HI a WBGT jsou navrženy zejména pro měření v horkém počasí, proto je v tomto článku věnována pozornost hlavně dnům z první a druhé skupiny. Ve třetí skupině nepře-

sáhla maximální teplota 30 °C a výše zmiňované indexy také nedosáhly hodnot zvýšené tepelné zátěže. Tato referenční skupina tedy odpovídá podmínkám během běžného letního dne.

Rozdíly v charakteru počasí a průměrný průběh biometeorologických podmínek během dne jsou na základě naměřených dat analyzovány v kapitolách 3.1 a 3.2. Pro relevantní vyhodnocení rozdílů v tepelné zátěži mezi jednotlivými stanovišti v kapitole 3.3 bylo nutné naměřené hodnoty sledovaných ukazatelů (teplota, Heat Index a WBGT) ošetřit o jejich pozadový růst či pokles mezi prvním a posledním měřením v rámci jednotlivých okruhů. Proto byly všechny naměřené hodnoty v jednotlivých okruzích standardizovány vzhledem k hodnotám na stanovišti č. 5 Náplavka. To znamená, že byl vypočítán teplotní rozdíl mezi hodnotami prvního a posledního měření v rámci jednoho okruhu. Zjištěný rozdíl byl vydělen počtem minut trvání okruhu, čímž byl vypočten teplotní gradient v rámci jednoho okruhu. Tento gradient byl vynásoben časovým rozdílem mezi měřeními na jednotlivých stanovištích a měřením na stanovišti Náplavka (č. 5). V případě, že byl teplotní gradient v rámci okruhu kladný, byla výsledná hodnota přičtena k teplotě (odečtena od teploty) naměřené na stanovištích před (za) stanovištěm č. 5. V případě záporného gradientu byl postup opačný.

3. Výsledky

3.1 Rozdíly v charakteru počasí mezi skupinami dnů

Základní charakteristiky tří skupin měřících dnů jsou shrnuty v tab. 3. Pro dny ze skupiny 1 (27. 6. a 2. 7.) bylo charakteristické jasné počasí s celodenním slunečním svitem (průměrná oblačnost v obou dnech 0/8), oproti dnům ze skupiny 2 (27. 8.

a 28. 8.), kdy převažovalo polojasno až oblačno (průměrná oblačnost 4/8, 5/8). Rozdílný charakter počasí se odráží i v relativní vlhkosti vzduchu, která byla ve dnech skupiny 1 výrazně nižší (průměr 33 % a 39 %) než ve skupině 2 (58 % během obou dnů).

Ve dnech ze skupiny 1 byla naměřena vyšší maximální teplota než ve dnech ze skupiny 2. Nejvyšší maximální teplota byla naměřena 27. 6. na stanovišti č. 7 v Resslerově ulici během čtvrtého okruhu (34,2 °C). Naopak vyšší hodnoty HI a WBGT, tj. vyšší tepelná zátěž, byly zaznamenány ve dnech ze skupiny 2. Nejvyšší hodnota HI (35,6 °C) byla naměřena 27. 8. během čtvrtého okruhu na stanovišti č. 7 v Resslerově ulici. Ve stejný den na stejném stanovišti byla během třetího okruhu zaznamenána maximální hodnota WBGT (30,4 °C). Stejně tak z hlediska celodenního průměru naměřených hodnot byla ve dnech ze skupiny 1 zaznamenána nejvyšší průměrná teplota vzduchu (29,3 °C dne 27. 6.), zatímco nejvyšší průměrné HI a WBGT byly zjištěny v rámci skupiny 2 (29,3 °C a 24,9 °C shodně dne 28. 8.). Tyto rozdíly lze vysvětlit právě vyšší relativní vlhkostí vzduchu ve dnech ze skupiny 2 v porovnání se skupinou 1 (tab. 3).

Maximální hodnoty teploty vzduchu, HI a WBGT ve dnech ze skupiny 3 představovaly hodnoty typické pro běžné letní dny, které z hlediska průměrné WBGT nedosahovaly míry vysokého rizika tepelné zátěže. Proto se v dalším zpracování zaměřujeme na porovnání skupin 1 a 2.

Vliv relativní vlhkosti na tepelnou zátěž ve dnech ze skupiny 2 ukazuje i porovnání průměrných hodnot teploty, HI a WBGT na jednotlivých stanovištích (tab. 4). Z hlediska teploty vzduchu byly na třech (Novoměstská radnice, ulice Myslíkova a ulice Resslerova) z osmi stanovišť ve skupině 1 naměřeny vyšší hodnoty než ve skupině 2. Bylo to způsobeno tím, že ve dnech ze skupiny 1 bylo převážně jasno. Tato stanoviště se nacházela v blízkosti budov a povrchů, které mohly akumulovat při

Tab. 3 Srovnání naměřených hodnot ze všech stanovišť v rámci tří skupin analyzovaných dnů. Tučně jsou označeny nejvyšší hodnoty (u oblačnosti nejnižší).

Table 3. Comparison of data collected at all sites within three groups of measurement days. The highest (the lowest for cloud cover) values are highlighted in bold.

Skupina dnů	Datum	Max. teplota [°C]	Průměrná teplota [°C]	Max. HI [°C]	Průměrná hodnota HI [°C]	Max. WBGT [°C]	Průměrná hodnota WBGT [°C]	Průměrná oblačnost	Průměrná vlhkost vzduchu [%]
1	27. 6.	34,2	29,3	32,3	28,0	30,3	24,4	0/8	33
	2. 7.	32,6	25,4	31,2	24,1	28,5	21,6	0/8	39
2	27. 8.	32,7	27,0	35,6	28,0	30,4	24,1	4/8	58
	28. 8.	32,0	27,9	34,2	29,3	28,8	24,9	5/8	58
3	4. 7.	29,8	23,7	27,6	21,9	26,0	20,1	1/8	33
	5. 7.	27,6	23,6	25,5	22,9	24,6	18,8	6/8	35
	28. 6.	29,3	24,0	27,9	21,9	27,1	21,8	2/8	44

Tab. 4 Průměrné hodnoty teploty vzduchu, Heat Indexu (HI) a Wet-bulb Globe Temperature (WBGT) na jednotlivých stanovištích v rámci skupin 1 a 2. Zeleně je znázorněn kladný rozdíl a červeně záporný rozdíl mezi dny ze skupin 2 a 1.

Table 4. Average air temperature, Heat Index and Wet-bulb Globe Temperature (WBGT) at each measurement site on days in Groups 1 and 2. Green/red colour denotes the positive/negative difference between Group 2 and 1.

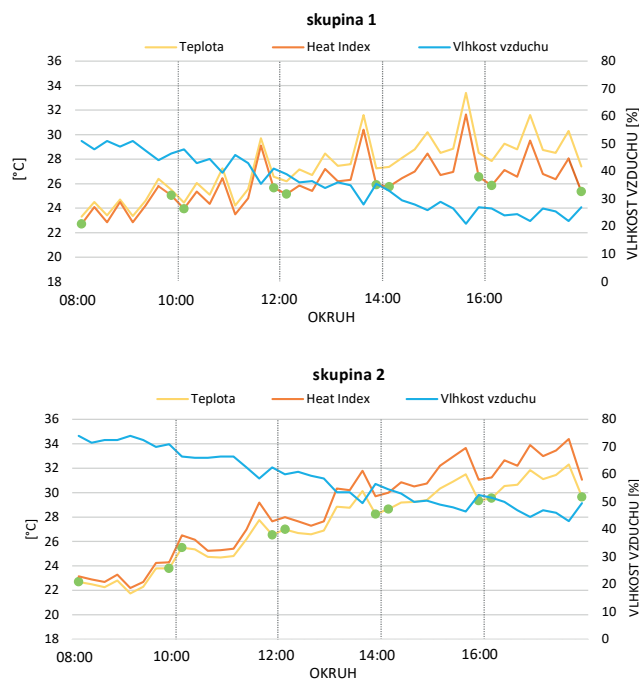
	č. st	Teplota [°C]		Rozdíl teploty	HI [°C]		Rozdíl HI	WBGT [°C]		Rozdíl WBGT
		sk. 1	sk. 2		sk. 1	sk. 2		sk. 1	sk. 2	
Karlovo náměstí – začátek	1	25,8	26,7	0,9	24,7	27,8	3,1	21,7	24,5	2,8
zastávka Novoměstská radnice	2	27,0	26,9	-0,1	25,8	28,0	2,2	23,7	23,6	-0,1
ulice Odborů	3	26,6	26,7	0,1	25,2	27,6	2,4	20,2	22,8	2,6
ulice Myslíkova	4	28,4	27,1	-1,3	27,2	28,2	1,0	23,3	24,0	0,7
Náplavka	5	26,5	27,4	0,9	25,2	28,6	3,4	22,6	24,6	2,0
Jiráskovo náměstí	6	27,0	27,9	0,9	25,7	29,3	3,6	23,9	25,5	1,6
ulice Resslerova	7	30,3	29,1	-1,2	29,0	30,7	1,7	26,5	26,4	-0,1
Karlovo náměstí – konec	8	26,9	27,5	0,6	25,7	28,8	3,1	22,4	24,3	1,9

jasném počasí více tepla, a díky následnému ohřevu vzduchu byla zaznamenána vyšší teplota. Na stanovištích ulice Myslíkova a ulice Resslerova dosahovaly rozdíly hodnot více než 1,0 °C, což bylo nejvíce ze všech stanovišť.

Naopak průměrné hodnoty HI byly ve dnech ze skupiny 2 na všech stanovištích vyšší než ve skupině 1. Na stanovištích Karlovo náměstí, zastávka Novoměstská radnice, ulice Odbořů, Náplavka a Jiráskovo náměstí dosahovaly rozdíly mezi skupinami 1 a 2 více než 3,0 °C. Stejně tak hodnoty WBGT byly na většině stanovišť vyšší ve dnech ze skupiny 2, kromě stanoviště zastávka Novoměstská radnice a ulice Resslerova, kde však byly zjištěny minimální rozdíly (0,1 °C).

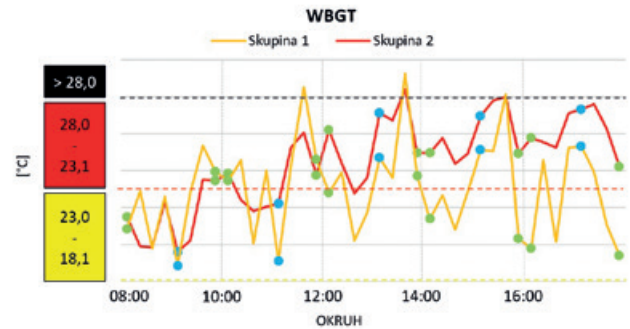
3.2 Vývoj tepelné zátěže během dne

Obrázek 3 ilustruje průměrný vývoj teploty, HI a vlhkosti vzduchu během pěti okruhů měření ve dnech ze skupin 1 a 2. Toto srovnání zřetelně demonstrovuje vliv vlhkosti vzduchu na hodnoty HI. Zatímco ve skupině 1 je teplota vzduchu během celého dne vyšší než HI, ve skupině 2 převyšuje HI (zejména v odpoledních hodinách) teplotu vzduchu až o 2 °C. Tyto rozdíly jsou způsobeny především výrazně vyšší vlhkostí v průběhu celého dne ve dnech ze skupiny 2 (modrá křivka na obr. 3). Vyšší vlhkost vzduchu a větší oblačnost ve dnech ze skupiny 2 mají za následek menší kolísání hodnot mezi jednotlivými stanovišti a jejich plynulejší růst během dne. Oproti tomu výraznější kolísání hodnot ve skupině 1 je způsobeno nižší vlhkostí a jasným počasím, tedy větším vlivem



Obr. 3 Průměrný průběh teploty [°C], Heat Indexu [°C] a relativní vlhkosti vzduchu [%] ve dnech ze skupin 1 a 2. Čísla na vodorovné ose značí hodinu začátku měřicího okruhu. Jednotlivé okruhy jsou odděleny svislými přerušovanými čarami. V grafech jsou zastoupena všechna stanoviště v pořadí měření. Zelená tečka značí první a poslední stanoviště jednoho okruhu (Karlovo náměstí).

Fig. 3. Average air temperature [°C], Heat Index [°C] and relative humidity [%] during days in Groups 1 and 2. The x-axis indicates the hour of the beginning of the measurement loop. The individual circuits are separated by vertical dashed lines. Green points represent the first and the last measurement site in a single loop (Charles Square).



Obr. 4 Průměrný průběh WBGT [°C] během dne ve dnech ze skupiny 1 a 2. Modrá tečka znázorňuje stanoviště Náplavka (č. 5) a zelená Karlovo náměstí (č. 1).

Fig. 4. Average WBGT [°C] during days in Groups 1 and 2. Blue points represent the Náplavka measurement site (no. 5) while green points Charles Square (no. 1).

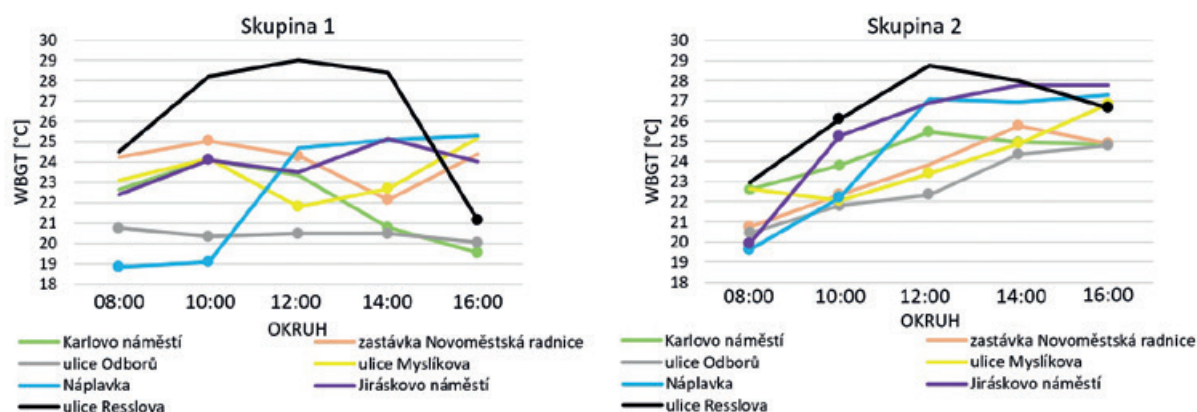
přímého slunečního záření a rozdíly mezi jednotlivými stanovišti, z nichž některá mohou být zastíněna. Tyto rozdíly jsou i důvodem toho, že zatímco ve skupině 1 dosahovala průměrná teplota a průměrná hodnota HI z obou dnů maximálních hodnot v předposledním okruhu, ve skupině 2 byly nejvyšší průměrné hodnoty zaznamenány až v posledním okruhu.

Oproti teplotě a HI byly průměrné maximální hodnoty tepelné zátěže z hlediska WBGT v obou skupinách zaznamenány již během třetího okruhu. Zatímco ve dnech ze skupiny 1 bylo během dne třikrát překročeno extrémní riziko tepelné zátěže (více než 28 °C – během druhého, třetího a čtvrtého okruhu), ve skupině 2 k tomu došlo pouze jednou (během třetího okruhu). Ve všech případech byla hranice extrémního rizika překročena na stanovišti č. 7 v ulici Resslerova. V obou skupinách došlo během všech měřicích okruhů k dosažení vysokého rizika tepelné zátěže (23,1–28,0 °C). Zatímco ale ve skupině 2 spadala všechna odpolední měření (4., 5. okruh) do kategorie vysokého rizika tepelné zátěže, v případě skupiny 1 převažovalo na nejchladnějších stanovištích okruhu (Karlovo náměstí – zelené body na obr. 4) po celý den pouze střední riziko (18,1–23,0 °C).

Stanoviště na Karlově náměstí patřilo obecně k nejstabilnějším z hlediska vývoje WBGT během dne. Naproti tomu největší změna tepelné zátěže byla v obou skupinách dnů zaznamenána na stanovišti č. 5 na Náplavce (modrý bod na obr. 4). Zatímco během prvního a druhého okruhu byly v rámci skupiny 1 na Náplavce nejnižší hodnoty tepelné zátěže ze všech stanovišť (18,9 °C a 19,1 °C), od třetího okruhu do konce měření patřila Náplavka ke stanovištím s nejvyšší mírou zátěže (24,7–25,3 °C). Ve skupině 2 byl růst WBGT mezi prvním (19,6 °C) a posledním (27,3 °C) okruhem ještě výraznější.

3.3 Rozdíly v tepelné zátěži mezi stanovišti

Výše uvedené výsledky ukazují, že se tepelná zátěž na jednotlivých stanovištích mění nejen v průběhu dne, ale zároveň i během jednotlivých okruhů. Průměrné hodnoty teploty, HI a WBGT na stanovištích (tab. 4) naznačují, že rozdíl mezi měřeními na Karlově náměstí (výchozí i koncové stanoviště) v rámci jednoho okruhu (cca 90 min) dosahuje v průměru přibližně 1 °C. Tento růst je největší během dvou dopoledních okruhů (obr. 3 a obr. 4), zatímco v odpoledních hodinách nejsou změny během jednoho okruhu významné.



Obr. 5 Průměrný denní chod standardizovaných hodnot WBGT [°C] na jednotlivých stanovištích během dnů ze skupiny 1 a 2. Barevné tečky značí aktuální zastínění stanoviště způsobené zástavbou nebo vegetací. Rozdíly v zastínění stanovišť mezi dny ze skupiny 1 a 2 jsou způsobeny různou roční dobou měření (přelom června a července vs. konec srpna) a tudíž rozdílnou polohou Slunce na obloze.

Fig. 5. Average daily patterns of standardized WBGT [°C] at individual measurement sites on days in Groups 1 (left) and 2 (right). Circle points indicate shade conditions (due to buildings or vegetation) at the time of measurement. Differences between shade conditions in Groups 1 a 2 are due to different time of measurements with respect to the Sun's position in the sky (the turn of June and July vs. end of August).

Tab. 5 Průměrné standardizované hodnoty WBGT [°C] ve dnech ze skupiny 1 na jednotlivých stanovištích dopoledne (1. a 2. okruh měření), odpoledne (4. a 5. okruh) a za celý den. Nejnižší/nejvyšší hodnoty jsou zvýrazněny modře/červeně.

Table 5. Average standardized WBGT [°C] in the morning, in the afternoon and during the whole day at individual measurement sites on days in Group 1. The lowest/highest values are highlighted in blue/red.

	Dopoledne/ morning	Odpoledne/ afternoon	Celý den/ whole day
Karlovo náměstí	23,4	20,2	22,1
zastávka Novoměstská radnice	24,7	23,3	24,0
ulice Odborů	20,6	20,3	20,4
ulice Myslíkova	23,6	24,0	23,4
Náplavka	19,0	25,2	22,6
Jiráskovo náměstí	23,3	24,6	23,8
ulice Resslova	26,4	24,8	26,3

Tab. 6 Průměrné standardizované hodnoty WBGT [°C] ve dnech ze skupiny 2 na jednotlivých stanovištích dopoledne (1. a 2. okruh měření), odpoledne (4. a 5. okruh) a za celý den. Nejnižší/nejvyšší hodnoty jsou zvýrazněny modře/červeně.

Table 6. Same as Table 5 but for days in Group 2.

	Dopoledne/ morning	Odpoledne/ afternoon	Celý den/ whole day
Karlovo náměstí	23,2	24,9	24,3
zastávka Novoměstská radnice	21,6	25,3	23,5
ulice Odborů	21,1	24,6	22,8
ulice Myslíkova	22,4	25,9	24,0
Náplavka	20,9	27,1	24,6
Jiráskovo náměstí	22,6	27,8	25,5
ulice Resslova	24,5	27,3	26,5

Standardizované hodnoty WBGT v průběhu dnů ze skupin 1 a 2 jsou zobrazeny v tab. 5 a 6 a na obr. 5 spolu s informací o zastínění stanoviště. Blízkost řeky Vltavy a přítomnost stínu v ranních a dopoledních hodinách (během prvních dvou měření) na Náplavce přispívá k tomu, že nejnižší dopolední míra tepelné zátěže byla zaznamenána právě zde, a to v obou skupinách dnů. Zatímco ve skupině 1 byla dopolední WBGT na Náplavce o 4,4 °C nižší než na Karlově náměstí, ve skupině 2 činil rozdíl 2,3 °C. Během dne však začalo na Náplavku dopadat přímé sluneční záření (obr. 5), které způsobilo prohřátí dlažebních kostek a kamenné zdi v blízkosti měřicího stanoviště. Výsledkem byl růst WBGT v odpoledních hodinách (čtvrté a páté měření) v průměru o více než 6,0 °C (tab. 5 a 6) oproti dopoledním okruhům. Díky tomuto výraznému oteplení byla odpolední míra tepelné zátěže na Náplavce o 5,0 °C (skupina 1) a 2,9 °C (skupina 2) vyšší než na Karlově náměstí a ve skupině 1 byla Náplavka dokonce stanovištěm s nejvyšší mírou tepelné zátěže vůbec. Park na Karlově náměstí byl naopak díky velkému počtu stromů, které během nejvyšších teplot fungují jako přírodní klimatizace) v průměru nejchladnějším odpoledním stanovištěm ve skupině 1 a druhým nejchladnějším ve skupině 2. Ve skupině 2 byla nejnižší odpolední míra tepelné zátěže zaznamenána na stanovišti č. 3 v ulici Odborů (tab. 6, obr. 6). Naopak nejvyšší míra tepelné zátěže byla v tuto dobu naměřena na stanovišti č. 6 na Jiráskově náměstí.

Z pohledu celého dne byla v obou skupinách dnů nejvyšší míra tepelné zátěže na stanovišti č. 7 v ulici Resslova a nejnižší v ulici Odborů (č. 3) (tab. 5 a 6). Stanoviště č. 3 bylo celý den ve stínu okolních budov (obr. 5), což výrazně přispělo k nízkým hodnotám WBGT během tropických dnů. Stanoviště v Resslově ulici (č. 7) mohlo naopak být vystaveno přímému slunečnímu záření po celý den s výjimkou posledního okruhu, kdy docházelo k poklesu tepelné zátěže zejména v případě slunečných dnů ze skupiny 1. Výrazný vliv zastínění na míru tepelné zátěže je patrný i na ostatních stanovištích (obr. 5).

4. Diskuze

V této studii jsme se zaměřili na porovnání biometeorologických podmínek na vybraných stanovištích v centru Prahy na základě terénního měření. Míru tepelné zátěže jsme zkou-

mali v sedmi vybraných dnech na měřicím okruhu zahrnujícím sedm stanovišť mezi Karlovým náměstím a Náplavkou na Rašínově nábřeží. Výsledky měření potvrdily hlavní předpoklady studie, že míra tepelné zátěže ve městě se liší v závislosti na typu stanoviště, denní době a meteorologických podmínkách, a umožnily tyto rozdíly kvantifikovat.

4.1 Vliv městské zeleně a vodních prvků

Městská zeleň má výrazně pozitivní vliv na snižování tepelné zátěže v ulicích (Oliveira et al. 2011). Ochlazující účinek městských parků se nejvíce projevuje v nejteplejších částech dne při slunečném počasí (Žák, Zahradníček 2017). Příkladem v této studii je Karlovo náměstí, které patřilo v odpoledních hodinách během horkých dnů k nejchladnějším stanovištím v rámci celého okruhu.

Naopak umělé povrchy (silnice, chodníky, parkoviště, stěny a střechy budov vyrobené z materiálů jako je beton, asfalt a cihla) akumulují více tepla než půda a vegetace a přispívají k oteplování okolního prostředí (Rohli, Vega 2018). Typickým příkladem je Resslova ulice, kde bylo zjištěno v průměru nejvyšší riziko tepelné zátěže. Toto stanoviště bylo umístěné v ulici bez jakékoliv zeleně, poblíž jižně orientované stěny budovy a po většinu dne vystaveno přímému slunečnímu záření.

Přítomnost vodních prvků je často zmiňována jako účinný způsob zmírňování účinků TOM a tepelné zátěže v ulicích měst (Pokorný et al. 2018). Naše měření na Náplavce tento předpoklad ovšem nepotvrzují. Toto stanoviště umístěné v blízkosti řeky Vltavy bylo sice nejchladnější během dopoledních okruhů, během dne však kamenné povrchy akumulovaly velké množství tepla, které bylo v odpoledních hodinách uvolňováno do okolí. V důsledku toho patřila Náplavka v odpoledních hodinách mezi vůbec nejteplejší místa z hlediska teploty vzduchu i indexů tepelné zátěže (WBGT, HI). Výsledky podporují zjištění z nedávné studie ve čtyřech českých městech, která ukázala zanedbatelný účinek vodních prvků na tepelnou zátěž v ulicích (Lehnert et al. 2020). Stejně tak Ampatzidis, Kershaw (2020) zjistili ve svém přehledovém článku nejednoznačný vliv vodních prvků na zeslabování TOM, který výrazně závisí na velikosti a tvaru vodní plochy.

Růst tepelné zátěže během dne na Náplavce byl vůbec největší ze všech stanovišť, když průměrný rozdíl mezi ranními a odpoledními hodnotami WBGT za všechny měřicí dny dosáhl 7,6 °C. Zatímco v prvním okruhu byla hodnota WBGT na Náplavce v průměru o 3,3 °C nižší než na Karlově náměstí, při posledním měření zde byla tepelná zátěž o téměř 4 °C vyšší. Přítomnost vzrostlé zeleně a značná rozlehlost parku na Karlově náměstí mají za následek nejstabilnější podmínky ze všech měřicích stanovišť (změny WBGT během dne v průměru jen 2,3°C).

Náplavka bývá v letních měsících hojně navštěvovaným místem z důvodu konání kulturních a společenských akcí. Výsledky měření naznačují, že zejména v odpoledních hodinách může být tepelná zátěž ve srovnání s jinými místy v centru Prahy vysoká. Příhodná orientace boční zdi nábřeží vůči slunci a absence jakýchkoliv stínících prvků vytvářejí během horkých dní výrazné zátěžové podmínky i přes bezprostřední blízkost řeky. Oproti Náplavce jsou v tuto denní dobu podmínky uvnitř městské zástavby a zejména v parku na Karlově náměstí z hlediska tepelné zátěže výrazně příznivější.

Z výsledků vyplývá, že v horkých letních dnech je třeba zvážovat vhodnost konání některých (zejména celodenních) kulturních akcí na Náplavce. Na základě měření se nabízí možnost přesunutí akce například na Karlovo náměstí, kde jsou v odpo-

ledních hodinách výrazně příhodnější podmínky. V případné nemožnosti přesunu do jiné lokality a/nebo jiné části dne doporučujeme na Náplavce věnovat zvýšenou pozornost opatřením zmírňujícím tepelnou zátěž. Podmínky zde sice nejsou příhodné pro rozsáhlé vysazování stromů a zavádění jiných prvků zeleně, měření z ulice Odborů, která byla v průměru nejchladnějším ze všech stanovišť, naznačují, že významné zastoupení zeleně není nezbytné pro udržování relativně nízké úrovně tepelné zátěže. Mnohé studie prokázaly, že míra zastínění stanoviště je v tomto ohledu rozhodujícím faktorem (Middel et al. 2016). V případě Náplavky se proto nabízí opatření ve formě umělých stínících prvků, které by zamezily dopadu slunečních paprsků zejména v odpoledních hodinách.

4.2 Vliv meteorologických podmínek

Zajímavé rozdíly v biometeorologických podmínkách byly zjištěny při srovnání údajů z měřicích dnů na základě meteorologické situace. Zatímco suché tropické dny ze skupiny 1 (27. 6. a 2. 7.) byly typické jasným počasím a nízkou relativní vlhkostí (v průměru 36 %), vlhké tropické dny ve skupině 2 (27. 8. a 28. 8.) se vyznačovaly větší oblačností (polojasno až oblačno) a výrazně vyšší relativní vlhkostí (58 %). V důsledku výrazně vyšší vlhkosti vzduchu byly během těchto dnů zaznamenány vyšší hodnoty tepelné zátěže, přestože maximální teplota vzduchu byla naměřena v suchých tropických dnech. Případná měření v dalších letech by umožnila tyto rozdíly mezi suchými a vlhkými tropickými dny přesněji charakterizovat.

Charakter počasí z hlediska vlhkosti vzduchu může hrát významnou roli v celkové tepelné zátěži na lidský organismus. Rozdílné teplotně-vlhkostní podmínky mohou působit rozdílné zdravotní komplikace způsobené horkem. Ve studii kardiovaskulární úmrtnosti v Praze (Urban, Kyselý 2018) bylo zjištěno, že zatímco suché tropické vzduchové hmoty představují významné riziko zejména pro pacienty s ischemickou chorobou srdeční, během výskytu vlhké tropické vzduchové hmoty dochází k významnému zvýšení úmrtnosti na cerebrovaskulární onemocnění. Z výše uvedeného vyplývá, že při vydávání výstrah je třeba nejen brát v úvahu i vliv dalších meteorologických prvků, zejména vlhkosti vzduchu, ale také cílit vydávaná varování podle charakteru meteorologické situace na různé rizikové skupiny například z hlediska chronických zdravotních problémů.

5. Závěr

Článek předkládá výsledky z měření tepelné zátěže v centru Prahy na stanovištích s odlišným městským prostředím. Cílem bylo porovnat biometeorologické podmínky na těchto stanovištích a analyzovat, jak se měnily během dne a za různých povětrnostních podmínek. Data byla naměřena na osmi stanovištích v centru Prahy ve dvouhodinových intervalech od 08:00 do 18:00 SELČ, v devíti dnech v období od června do srpna 2019. Data byla měřena přenosným přístrojem Kestrel 5400. Během měřicích dnů na přelomu června a července 2019 převládalo horké počasí s malou oblačností, nízkou vlhkostí vzduchu a nejvyššími denními maximy teploty. Naopak srpnové dny se vyznačovaly větší oblačností, vyšší vlhkostí vzduchu a dusným počasím, které mělo za následek zvýšené hodnoty indexů tepelné zátěže.

Výsledky studie prokázaly příznivý vliv městské zeleně a zastínění na tepelný komfort v městském prostředí a umožnily rozdíly mezi stanovišti kvantifikovat, včetně změn v průběhu dne. Na stanovištích s výskytem zeleně, tedy na Karlově náměstí a v ulici Odborů, byly naměřeny nižší hodnoty tepelné zátěže než na sta-

novištích umístěných přímo v zástavbě a vystavených po většinu dne přímému slunečnímu záření (na Náplavce, v ulici Resslerova, na Jiráskově náměstí, v ulici Myslíkova). Na Náplavce docházelo v průběhu dne k vůbec největšímu růstu tepelné zátěže ze všech stanovišť. Zatímco v dopoledních hodinách zde byla míra tepelné zátěže nejnižší, v odpoledních hodinách naopak jedna z nejvyšších. Oproti tomu nejstabilnější podmínky během dne byly zjištěny na stanovišti na Karlově náměstí, kde byly hodnoty v odpoledních hodinách výrazně nižší než na Náplavce. Z uvedených výsledků vyplývá, že z hlediska tepelného komfortu je během horkých letních dnů vhodné zvážit konání některých (zejména celodenních) kulturních akcí na Náplavce a možnost jejich přesunu na jinou lokalitu – např. do parku na Karlově náměstí.

Poděkování:

Článek vznikl v rámci projektu GA ČR 18-22125S.

Literatura:

- AMPATZIDIS, P., KERSHAW, T., 2020. A review of the impact of blue space on the urban microclimate. *Science of The Total Environment*, roč. **730**. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139068.
- BERANOVÁ, R., HUTH, R., 2003. Pražský tepelný ostrov za různých synoptických podmínek. *Meteorologické zprávy*, roč. **56**, č. 5, s. 137–142. ISSN 0026-1173.
- BASU, R., 2009. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environmental Health*, roč. **8**, s. 40. ISSN 1476-069X.
- BLAZEJCZYK, K., EPSTEIN, Y., JENDRITZKY, G., STAIGER, H., TINZ, B., 2012. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, roč. **56**, č. 3, s. 515–535.
- BUREAU OF METEOROLOGY (BOM), 2010. Thermal Comfort observations [online]. [cit. 04. 12. 2020]. Dostupné z WWW: http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/.
- DOBROVOLNÝ, P., ŘEZNÍČKOVÁ, L., BRÁZDIL, R., KRAHULA, L., ZAHRADNÍČEK, P. et al., 2012. *Klima Brna. Víceúrovňová analýza městského klimatu*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 9788021060296.
- DROSTE, A. M., STEENEVELD, G. J., HOLTSLAG, A. A. M., 2018. Introducing the urban wind island effect. *Environ Res Lett*, roč. **13**. DOI: 10.1088/1748-9326/aad8ef.
- EPSTEIN, Y., MORAN, D., 2006. Thermal comfort and the Heat Stress Indices. *Industrial Health*, roč. **44**, s. 388–398.
- HANZLÍKOVÁ, H., KYSELÝ, J., PLAVCOVÁ, E., 2016. Vliv horkých a studených vln na kardiovaskulární úmrtnost a nemocnost v České republice. *Meteorologické zprávy*, roč. **69**, č. 3, s. 74–82. ISSN 0026-1173.
- HAO, L., HUANG, X., OIN, M., LIN, Y., LI, W., SUN, G., 2018. Ecological Processes Explain Urban Dry Island Effects in a Wet Region, Southern China. *Water Resources Research*, roč. **54**, č. 9, s. 6757–6771. DOI: 10.1029/2018WR023002.
- CHLAPCOVÁ, L., 2020. Vliv městského prostředí na tepelný komfort. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování, s. 55.
- KARLICKÝ, J., HUSZÁR, P., NOVÁKOVÁ, T., BELDA, M. ŠVÁBIK, F. et al., 2020. The “urban meteorology island”: A multi-model ensemble analysis. *Atmospheric Chemistry and Physics*, roč. **20**, s.15061–15077. DOI: 10.5194/acp-20-15061-2020.
- KYSELÝ, J., HUTH, R., 2004. Úmrtnost související se stresem z horka v České republice v současném a budoucím klimatu. *Meteorologické zprávy*, roč. **57**, č. 1, s. 113–121. ISSN 0026-1173.
- MATHAUSEROVÁ, Z., 2007. Mikroklimatické podmínky vnitřního prostředí pracovišť [online]. Státní zdravotní ústav [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z WWW: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/mikroklimaticke-podminky-vnitriho-prostredi-pracovist>.
- LEHNERT, M., TOKAR, V., JUREK, M. et al., 2020. Summer thermal comfort in Czech cities: Measured effects of blue and green features in city centres. *International Journal of Biometeorology*. DOI: 10.1007/s00484-020-02010-y.
- MIDDEL, A., SELOVER, N., HAGEN, B., CHHETRI, N., 2016. Impact of shade on outdoor thermal comfort – a seasonal field study in Tempe, Arizona. *International Journal of Biometeorology*, roč. **60**, s. 1849–1861.
- NATIONAL WEATHER SERVICE (NWS), 2020. Heat index [online]. [cit. 4. 12. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.weather.gov/safety/heat-index>.
- OKE, T. R., MILLS, G., CHRISTEN, A., VOOGT, J. A., 2017. *Urban Climates*. USA: Cambridge University Press, ISBN 978-1-107-42953-6.
- OLIVEIRA, S., ANDRADE, H., VAZ, T., 2011. The cooling effect of green spaces as contribution on the mitigation of Urban Heat: A case study in Lisbon. *Building and Environment*, roč. **46**, č. 11, s. 2186–2194.
- POKORNÝ, J., HESSLEROVÁ, P., JIRKA, V., HURYNA, H., SEJÁK, J., 2018. Význam zeleně pro klima města a možnosti využití termálních dat v městském prostředí. *Urbanismus a územní rozvoj*, roč. **21**, č. 1, s. 26–37.
- POTCHTER, O., COHEN, P., LIN, T. P., MATZARAKIS, A., 2018. Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. *Science of The Total Environment*, roč. **631–632**, s. 390–410.
- SKALÁK, P., ŽÁK, M., ZAHRADNÍČEK, P., HELMAN, K., 2015. Příspěvek projektu UHI k poznání klimatu Prahy. *Meteorologické zprávy*, roč. **68**, č. 1, s. 18–23. ISSN 0026-1173.
- STEADMAN, R. G., 1979. The assessment of sultriness, Part I: a temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, roč. **18**, s. 861–873.
- SUNG, T. I., WU, P. I., LUNG, S. C., LIN, C. Y., CHEN, M. J. et al., 2013. Relationship between heat index and mortality of 6 major cities in Taiwan. *Science of The Total Environment*, roč. **442**, s. 275–281. ISSN 0048-9697.
- THORSSON, S., LINDQVIST, M., LINDQVIST, S., 2004. Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. *International Journal of Biometeorology*, roč. **48**, s. 149–156.
- URBANADAPT, 2015. Praha [online]. UrbanAdapt: Adaptace měst na změnu klimatu [cit. 27. 03. 2020]. Dostupné z WWW: <https://urbanadapt.cz/cs/praha>.
- URBAN, A., KYSELÝ, J., 2014. Využití biometeorologických indexů pro hodnocení kardiovaskulární úmrtnosti a nemocnosti související se stresem z horka a chladu. *Meteorologické zprávy*, roč. **67**, č. 1, s. 6-12. ISSN 0026-1173.
- URBAN, A., KYSELÝ, J., 2018. Application of spatial synoptic classification in evaluating links between heat stress and cardiovascular mortality and morbidity in Prague, Czech Republic. *International Journal of Biometeorology*, roč. **62**, s. 85–96.
- YAGLOU, C., MINARD, D., 1957. Control of Heat Casualties at Military Training Centers. *A.M.A Archives of Industrial Health*, roč. **16**, č. 4, s. 302–316.
- ZARE, S., HASHEMINEJAD, N., SHIRVAN, HE., HEMMATJO, R., SAREBANZADEH, K. et al., 2018. Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year. *Weather and Climate Extremes*, roč. **19**, s. 49–57.
- ŽÁK, M., ZAHRADNÍČEK, P., 2017. Tepelný ostrov v Praze a možnosti zmírnění jeho negativních dopadů [online]. Portál životního prostředí Hlavního města Prahy [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z WWW: http://portalzp.praha.eu/public/41/bf/ab/2498938_800079_Tepelny_ostrov_vPraze_MZak.pdf.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Luboš Němec, RNDr. Lenka Crhová, Ph.D.

Zimní epizoda s celodenními mrazy, ledovkou a sněžením v ČR v únoru 2021

Winter episode with all-day frosts, glaze and snowfall in the Czech Republic in February 2021

František Šopko

Český hydrometeorologický ústav
Centrální předpovědní pracoviště
Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany
✉ frantisek.sopko@chmi.cz

The article describes meteorological situation with advection of the Arctic air and all-day frosts, snowfall and freezing rain with glaze creation in the Czech Republic in February 2021. Some of meteorological products used at the meteorological service that characterize the weather during this winter period are shown as well. Warnings against severe weather issued during the period are also presented. Dangerous weather, which occurred during the situation, significantly affects everyday human activities, transport, energetics, etc. So timely and accurate forecasts of this weather is an important component of forecasting and warning service of CHMI.

KLÍČOVÁ SLOVA: Aladin – mráz celodenní – předpovědní model numerický – situace synoptická – sníh – Systém integrované výstražné služby (SIVS) – únor 2021 – Visual Weather

KEYWORDS: Aladin – all-day frost – numerical weather prediction model – synoptic situation – snow – Integrated Warning Service System – February 2021 – Visual Weather

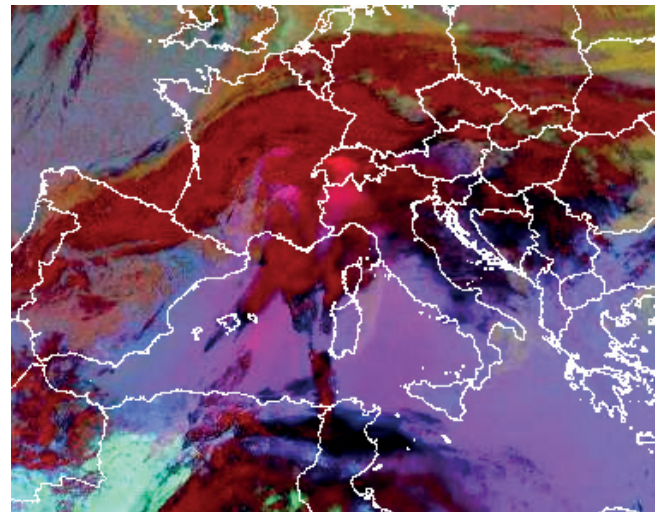
1. Vpád studeného vzduchu, sněžení a tvorba ledovky, písek ze Sahary

Začátkem února 2021 přinesly frontální systémy do střední Evropy teplý a vlhký vzduch od jihozápadu a odpolední teplota vzduchu tak 3. a 4. 2. dosáhla na většině území ČR na únor vysokých hodnot, převážně 4 až 11 °C. Během 4. a 5. 2. se nad střední Evropou vytvořilo výrazné frontální rozhraní oddělující teplý vzduch na jihu a jihozápadě od studeného, původem ze Sibíře, na severu a severovýchodě.

Během 5. 2. se postupně od jihozápadu vyskytly dešťové srážky, přecházející zejména na severu a severovýchodě ve sněhové. Dne 6. 2. ráno leželo na severu a severovýchodě 0 až 3 cm nového sněhu.

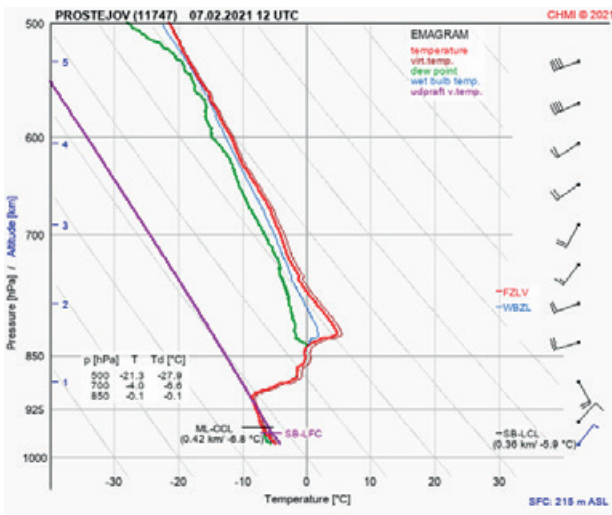
Během 6. 2. se zvolna od severovýchodu ochlazovalo, a tak srážky většinou přecházely ve sněhové, a ojediněle i namrzaly, hlavně v jihozápadních oblastech Čech a na jižní Moravě. V severní polovině ČR napadlo do rána 7. 2. do 4 cm nového sněhu, na severozápadě Čech až 16 cm, ale v jižní polovině ČR se sněhová pokrývka většinou nevytvořila. Srážky včetně sněžení 6. 2. v sobě obsahovaly písek, který se nad střední Evropou dostal s teplým vzduchem až ze Sahary (obr. 1). A tak si řada občanů všimla zbarvení nové sněhové pokrývky do oranžova. Sníh, který padal v dalších dnech ve studeném vzduchu, už saharský písek neobsahoval a byl bílý. Při odklizení sněhu, zejména 8. 2. v Čechách, si bylo možno všimnout kontrastu mezi spodní zbarvenou vrstvou a horní zářivě bílou vrstvou sněhové pokrývky.

Během noci a přes den 7. 2. teplota vzduchu ve 2 m nad zemí postupně od severovýchodu klesala na celém území ČR pod 0 °C, přičemž v jižní polovině území včetně střední Moravy a Ostravska se po většinu dne vyskytovaly kapalně srážky většinou ve formě mrholení, které namrzaly a vytvářely ledovku.

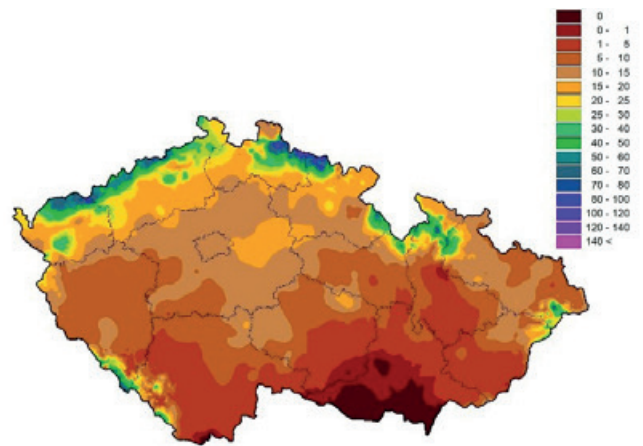


Obr. 1 Snímek z meteorologické družice MSG – mikrofyzikální produkt kombinující informace ze tří infračervených kanálů z 6. 2. 12:00 UTC detekující jasně růžovou barvou saharský písek v atmosféře nad západním Středomořím, jihovýchodní Francií, severní Itálií a Švýcarskem postupující k severu až severovýchodu.

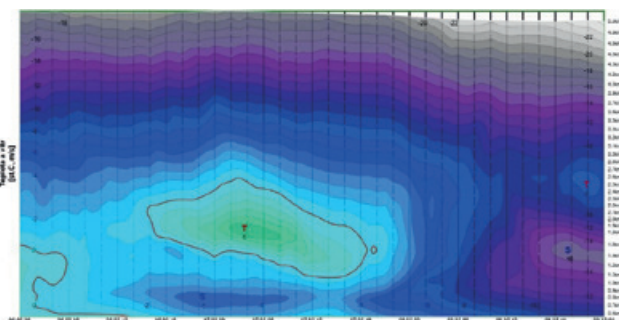
Fig. 1. Meteorological MSG satellite image – microphysical product combining information from three IR channels from 6th February 12:00 UTC detecting, by bright pink colour, Sahara sand in the atmosphere over the western Mediterranean, southeastern France, northern Italy, and Switzerland, moving north to north-east.



Obr. 2 Aerologický výstup ze stanice Prostějov ze 7. 2. 2021 12:00 UTC, kdy se vyskytovaly mrznoucí srážky.
 Fig. 2. Aerological profile from the Prostějov station from 7th February 12:00 UTC when freezing precipitation occurred.



Obr. 5 Výška celkové sněhové pokrývky 10. 2. 06:00 UTC. Nejvíce sněhu leželo v severních oblastech Čech, naopak jih Moravy byl téměř beze sněhu.
 Fig. 5. Total snow cover depth on 10th February 06:00 UTC. The most snow was in the northern regions of Bohemia, while the south of Moravia was almost without snow.

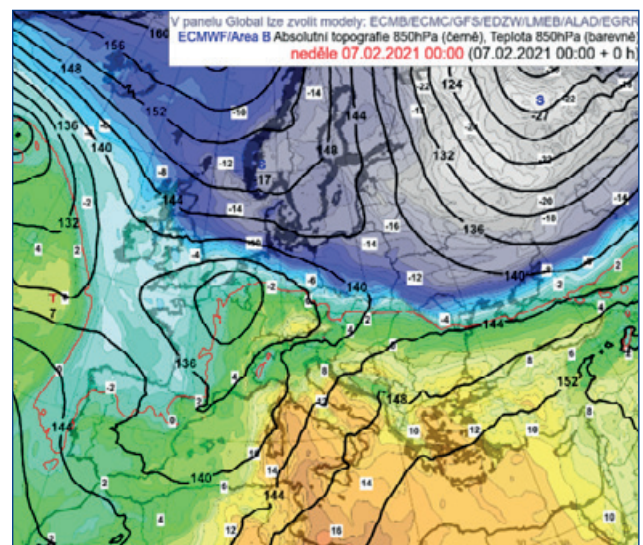
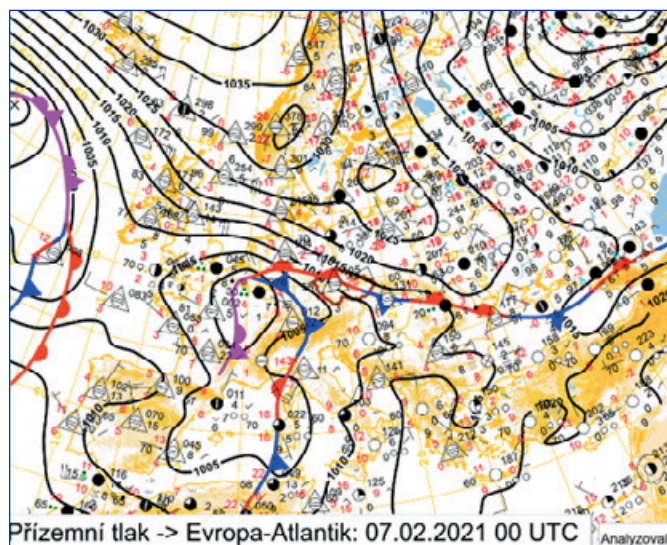


Obr. 3 Předpovědní vertikální profil z modelu Aladin pro Jihlavu z 6. 2. 00:00 UTC na 72 hodin dopředu.
 Fig. 3. Forecasting vertical profile from the Aladin model for Jihlava from 6th February 00:00 UTC for 72 hrs ahead.

Na Moravě se vyskytovalo mrznoucí mrhnutí při teplotě až $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, na jižní Moravě při teplotě kolem $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Večer srážky zesilovaly, v jižní polovině ČR byly ve formě mrznoucího deště, ojediněle i zmrzlého deště, přičemž až v noci na 8. 2. srážky postupně přešly ve sněhové.

Do rána 8. 2. napadlo většinou od 3 do 12 cm nového sněhu, avšak na jižní Moravě stále zůstala místa bez sněhové pokrývky. V dalších dnech už sněžilo většinou jen místy nejvýše do 5 cm za 24 hodin.

Situaci ve vyšších vrstvách atmosféry v den mrznoucích srážek znázorňuje aerologický výstup z Prostějova ze 7. 2. 12:00 UTC (obr. 2). Ve vrstvě atmosféry nad hladinou 850 hPa bylo teplejší jihozápadní proudění, zatímco ve spodní vrstvě atmosféry zesiloval v severovýchodním proudění nad naše území příliv studeného původem arktického vzduchu. Proto se



Obr. 4 Analýza přízemní synoptické situace a analýza mapy AT850 hPa ze 7. 2. 00:00 UTC. Studený vzduch v severní a severovýchodní Evropě je vyjádřen tmavě modrou až šedou barvou.
 Fig. 4. Surface synoptic situation analysis and AT850 hPa analysis from 7th February 00:00 UTC. Cold air in the northern and northeastern Europe is indicated in dark blue to grey colour.

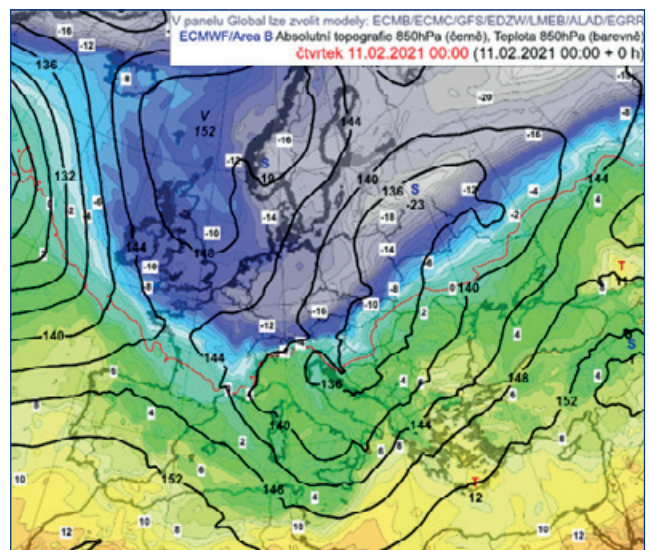
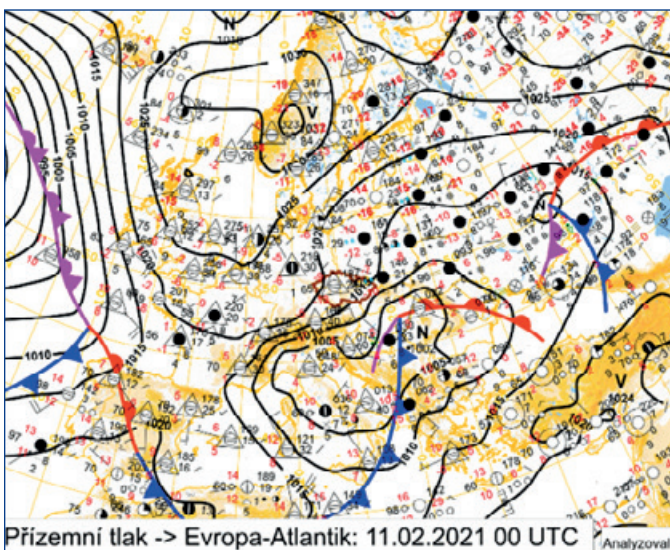
na našem území i přes den většinou ochlazovalo. Můžeme to vidět i na předpovědním vertikálním profilu pro Jihlavu z modelu Aladin z 6. 2. 00:00 UTC na 72 hodin dopředu (obr. 3). Profil sahá od povrchu země (cca 500 m nad mořem) do výšky 5 km nad mořem. Pro noc a den 7. 2. je dobře patrný teplý vzduch s maximem teploty +6 °C ve výšce kolem 1 700 m nad mořem. Zejména do spodní vrstvy atmosféry, kde byla teplota vzduchu pod bodem mrazu, se „tlačil“ studený vzduch od severovýchodu. Pro 8. 2. je už celý profil „zalitý“ studeným vzduchem.

Situaci ukazuje i analýza přízemní synoptické situace a analýza hladiny 850 hPa ze 7. 2. 00:00 UTC (obr. 4). Nad střední Evropou se vlní frontální rozhraní s teplejším vzduchem na jihozápadě a studeným na severovýchodě. Tlaková níže postupovala z Francie dále k východu až jihovýchodu a v jejím týlu k nám 8. 2. dále zesílil příliv studeného vzduchu od severovýchodu. Od tohoto dne srážky už byly jen sněhové.

Celkovou výšku sněhové pokrývky k termínu 10. 2. 06:00 UTC ukazuje obr. 5. V dalších dnech už přírůstky sněhové pokrývky byly většinou malé, v severní polovině Čech už prakticky nesněžilo.

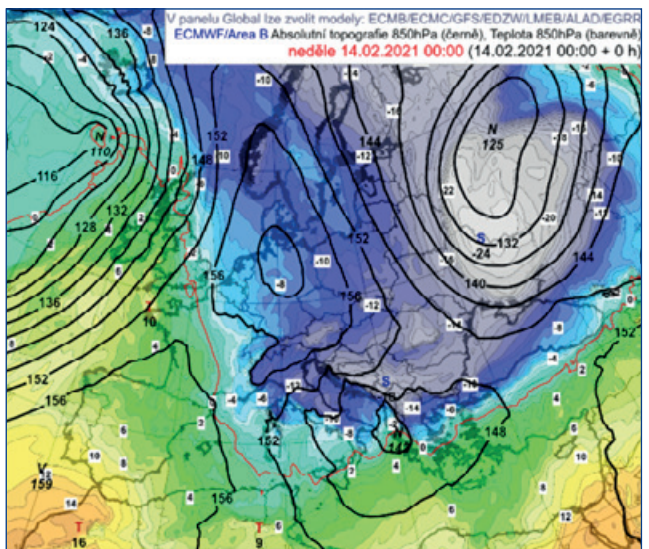
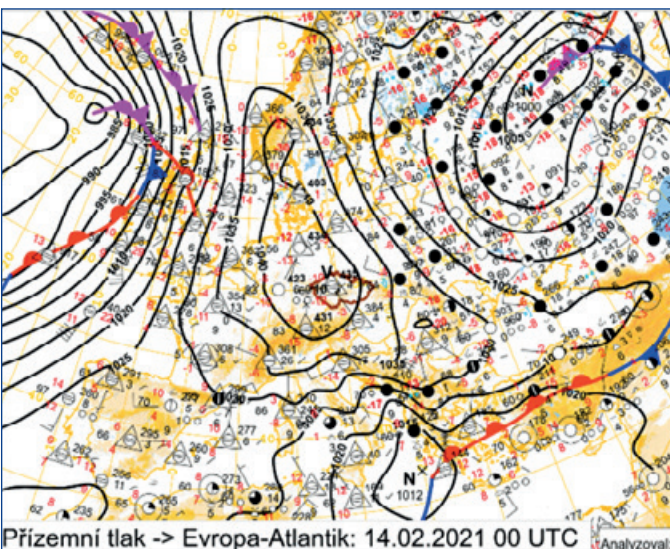
2. Období celodenních mrazů

V dalších dnech v oblasti nižšího tlaku nad střední Evropou k nám i nadále pronikal studený vzduch od severovýchodu. Jeho příliv vyvrcholil v týlu tlakové níže, která postoupila během 10. 2. ze západní Evropy nad Balkánský poloostrov (obr. 6). V hladině 850 hPa dosáhla teplota až k -20 °C. Současně se ze Skandinávie do střední Evropy rozšířila mohutná tlaková výše (obr. 7), ve které se vyjasnilo a při sněhové pokrývce a uklidnění větru teplota vzduchu ve dnech 12. 2. až 15. 2. klesala v nočních hodinách převážně na -10 až -18 °C, ojediněle i výrazně níže.



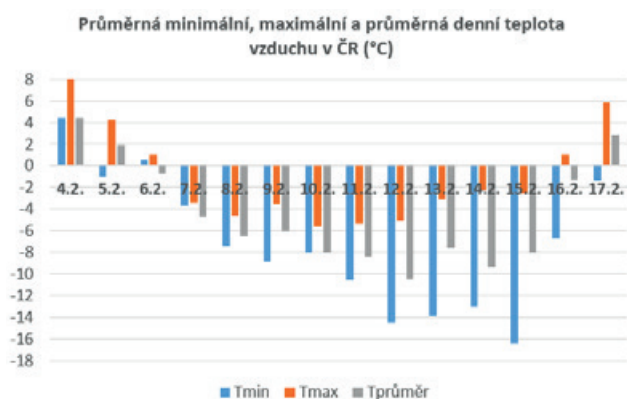
Obr. 6 Analýza přízemní synoptické situace a analýza mapy AT850 hPa z 11. 2. 00:00 UTC, kdy zesílil příliv arktického vzduchu do střední Evropy.

Fig. 6. Surface synoptic situation analysis and AT850 hPa analysis from 11th February 00:00 UTC when the flow of Arctic air into Central Europe intensified.



Obr. 7 Analýza přízemní synoptické situace a analýza mapy AT850 hPa ze 14. 2. 00:00 UTC, kdy mrazivé počasí zejména v nočních a ranních hodinách vrcholilo.

Fig. 7. Surface synoptic situation analysis and AT850 hPa analysis from 14th February 00:00 UTC when the freezing weather peaked, especially at nights and in the mornings.



Obr. 8 Průběh průměrné minimální, maximální a průměrné denní teploty vzduchu v ČR po dnech během období silných mrazů.

Fig. 8. Average minimum, maximum, and average daily air temperatures in the Czech Republic during the period of severe frosts.

Tab. 1 Teplota vzduchu ve 2 m nad zemí pod $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ naměřená během období silných mrazů.

Table 1. Air temperature 2 m above the ground below $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ measured during periods of severe frost.

Datum	Stanice	Nadm. výška	Minimální teplota
12. 2.	Rokytská slať	1 100	$-30,6$
14. 2.	Jelení, u mostu	852	$-32,7$
14. 2.	Rokytská slať	1 100	$-31,2$
14. 2.	Březník	1 139	$-30,7$
14. 2.	Kvilda-Perla, Jezerní slať	1 058	$-30,3$
15. 2.	Kořenov, Jizerka, Horní Jizera	823	$-31,8$
15. 2.	Kvilda-Perla, Jezerní slať	1 058	$-31,4$
15. 2.	Rokytská slať	1 100	$-31,3$
15. 2.	Březník	1 139	$-30,3$
15. 2.	Kořenov, Jizerka	858	$-30,3$

Průběh nejnižší noční (za období 21:00 až 07:00 SEČ) a nejvyšší denní (07:00 až 21:00 SEČ) teploty vzduchu spolu s průměrnou denní teplotou (00:00 až 24:00 SEČ) pro polohy pod 600 m nad mořem v ČR ukazuje obr. 8. Velká denní amplituda teploty ve druhé polovině období mrazů odpovídá vlivu tlakové výše a převážně malé oblačnosti. Ve známých „mrazových kotlinách“ teplota vzduchu ojediněle klesla i pod $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (tab. 1). Na řadě míst byly zaznamenány největší mrazy od roku 2012, na některých stanicích i déle. Mimo hory byla nejnižší teplota naměřena v pondělí 15. 2. na stanicích Adršpach a Velké Chvojno, a to $-25,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, Králíky $-24,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, Broumov $-24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a Teplice nad Metují-Zdoňov $-24,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na necelé čtvrtině stanic byla tento den minimální teplota $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nižší, na polovině stanic byla minimální teplota $-17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nižší.

Sněhová pokrývka se udržela zhruba 11 dní, po oteplení 17. 2. rychle roztála. Např. na území Prahy se sněhová pokrývka nad 10 cm (dle měření ze stanic Ruzyně, Kbely, Libuš a Karlov v rozmezí 11 až 18 cm) udržela po dobu devíti dnů. Udržela se tedy poměrně dlouho, na rozdíl od předcházejících teplých zim, kdy napadlý sníh, kterého většinou bylo málo, vydržel ležet jen krátce.

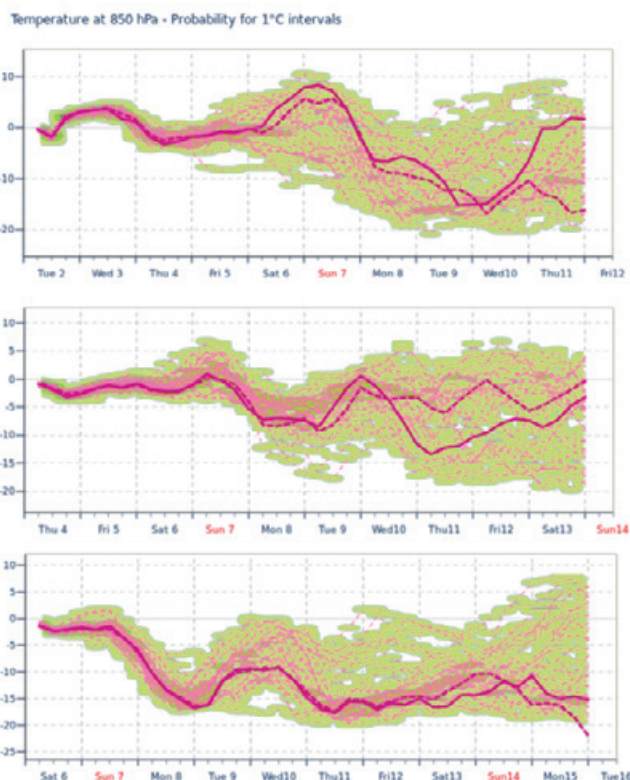
I přes více než týdenní období se silnými mrazy, měsíc únor 2021 byl v ČR průměrný. Průměrná měsíční teplota $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ byla o $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ vyšší, než je dlouhodobý normál (1981–2010).

Výrazné vpády studeného vzduchu od severu nastaly i v dalších týdnech postupně končící kalendářní zimy a nastupujícího jara. Duben i květen 2021 se zařadily mezi teplotně silně podnormální měsíce, ještě v dubnu se sněžení docela často vyskytovalo i v nižších polohách.

3. Vyhodnocení modelových výstupů a předpovědí ČHMÚ

3.1 Předpověď mrazů

Měsíční předpověď ECMWF pro hodnocené období mrazů byla neúspěšná. Je vydávána dvakrát týdně na 45 dní dopředu. Nová předpověď je k dispozici vždy v úterý (výpočet z pondělní 00:00 UTC) a v pátek (výpočet ze čtvrteční 00:00 UTC). Jejich výstupy jsou na šest následujících týdenních období, vždy od pondělí do neděle. Vzhledem k tomu, že mrazivé období začalo v podstatě v neděli a trvalo po celý následující týden, je možno snadno provést jednoduché porovnání. Výpočet z 1. 2. předpokládal období od 8. 2. do 14. 2. v ČR teplotně v mezích dlouhodobého normálu. Následující výpočet ze 4. 2. předpokládal toto období jen mírně podnormální, na jihu ČR stále normální. Tedy i výpočty s takto krátkým předstihem nedokázaly předpovědět období silných mrazů.



Obr. 9 Předpověď teploty vzduchu u hladině 850 hPa na 10 dní dopředu modelu ECMWF z 2. 2. 00:00 UTC (nahore), ze 4. 2. 00:00 UTC (uprostřed) a ze 6. 2. 00:00 UTC (dole). Z výrazných rozdílů mezi jednotlivými výpočty i z rychle narůstající šířky vleců již od cca 5. dne je patrná vysoká míra nejistoty předpovědi.

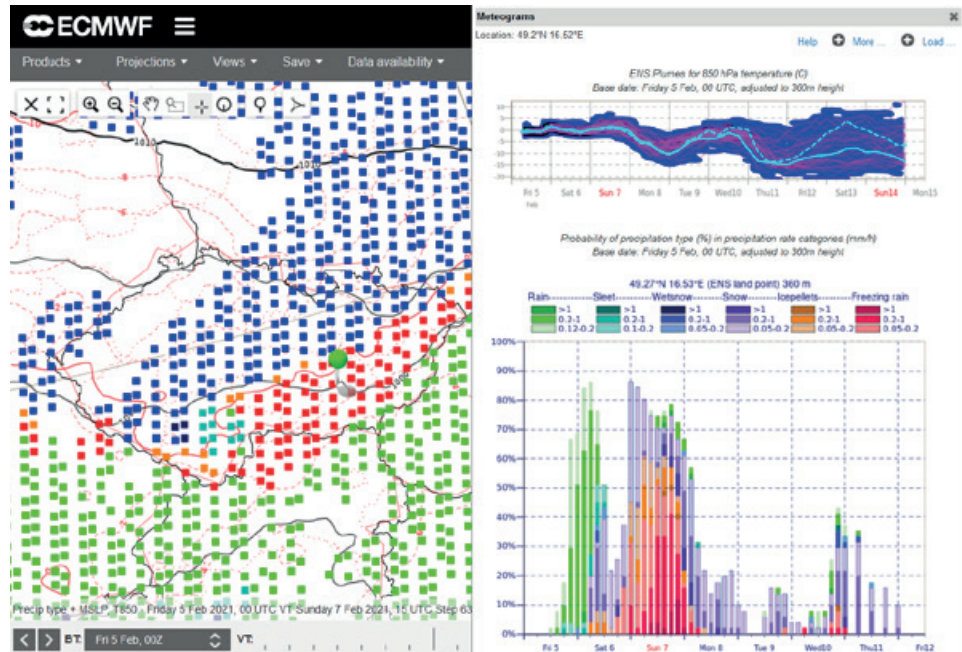
Fig. 9. Forecast of air temperature in the 850 hPa level for 10 days ahead of the ECMWF model from 2nd February 00:00 UTC (above), from 4th February 00:00 UTC (middle), and from 6th February 00:00 UTC (below). Considerable differences among individual runs and growing width of plumes from 5th day show high level of uncertainty of the forecast.

Vysoká míra nejistoty, zda do ČR pronikne velmi studený vzduch, byla ještě několik dní předem u všech numerických předpovědních modelů používaných v ČHMÚ. Tedy předpovědi ECMWF, ICON-EU, GFS (model národní meteorologické služby USA) i CMC (model kanadské národní služby). A to jak u jejich hlavních modelů, tak i ansámblových předpovědí. Na příkladu vleček teploty v hladině 850 hPa na 10 dní dopředu modelu ECMWF to ukazuje obr. 9. Nahoře je předpověď z 2. 2. 00:00 UTC ukazující vysokou pravděpodobnost vpádu studeného vzduchu během 8. a 9. 2. Uprostřed je předpověď ze 4. 2., která ukazovala na spíše mírné ochlazení při značné nejistotě předpovědi. Dole pak předpověď ze 6. 2. ukazující na vpád studeného vzduchu během 8. 2. a jeho pokračování v dalších dnech. Vysoká míra nejistoty je patrná i ze šířky rozpětí předpovědí (šířka „vleček“) od zhruba 5. dne předpovědi. Podobně velká míra nejistoty předpovědi a nekonzistence výstupů byla i u ostatních numerických modelů. Bylo to podmíněno zejména tím, že studený vzduch se dostával přes Polsko do blízkosti našich hranic a pak stačí i malá změna proudění vzduchu, na níž závisí, zda studený vzduch na území ČR pronikne nebo nikoli.

Od toho se odvíjela i úspěšnost předpovědi ČHMÚ. S ochlazením od 7. 2. počítaly střednědobé předpovědi meteorologů počínaje předpovědi z 31. 1. (v závěru předpovědi – vyhlídky). I v dalších dnech meteorologové očekávali příchod mrazů zhruba od 7. 2., ale míra očekávaného poklesu teploty byla s ohledem na numerické předpovědi a jejich nejistotu poněkud podcena. Až upřesnění předpovědi ze soboty 6. 2., které už počítalo se silnými mrazy, odpovídalo skutečnosti.

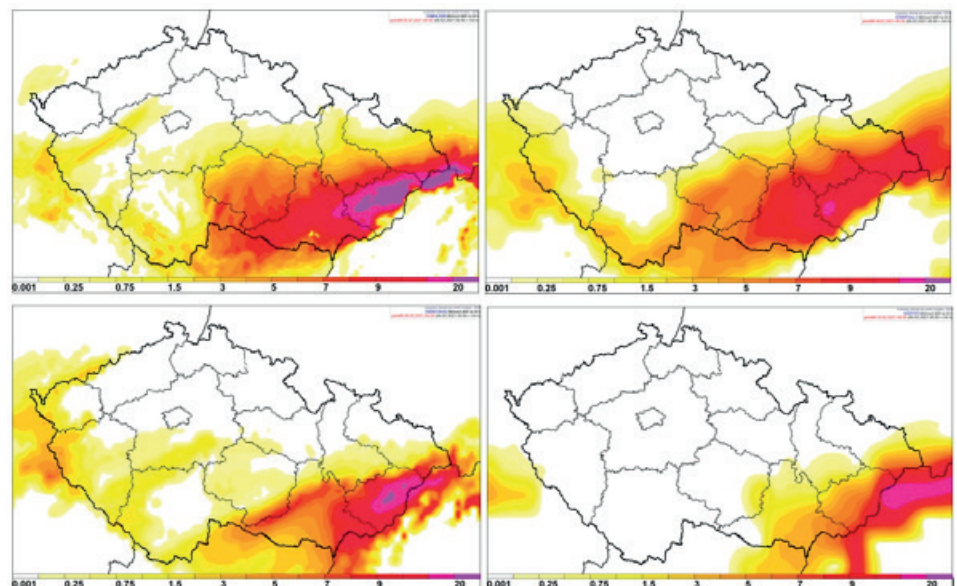
Na dny s nejsilnějšími mrazy, které trvaly od 12. 2. do 15. 2., byla vydána výstraha Systému integrované výstražné služby (dále jen SIVS). Ta byla postupně upřesňována v závislosti na tom, ve kterých regionech ČR se očekávaly mrazy pod $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je limit pro vydávání výstrah na silný mraz pro polohy pod 600 m nad mořem.

3.2 Předpověď tvorby ledovky a nové sněhové pokrývky



Obr. 10 Vlevo mapa předpovědi druhu srážek z hlavního (deterministického) modelu ECMWF z 5. 2. 00:00 UTC na 7. 2. 15:00 UTC. Vpravo na základě systému ansámblových předpovědí ECMWF pro zvolené místo (v tomto případě na jižní Moravě) vlečky teploty vzduchu v hladině AT850 hPa (nahore) a pravděpodobnost jednotlivých druhů srážek na 7 dní dopředu (dole). Zelená značí déšť, tyrkysová sníh s deštěm, modrá vlhký sníh, světle modrá suchý sníh, oranžová zmrzlý déšť a červená mrznoucí déšť.

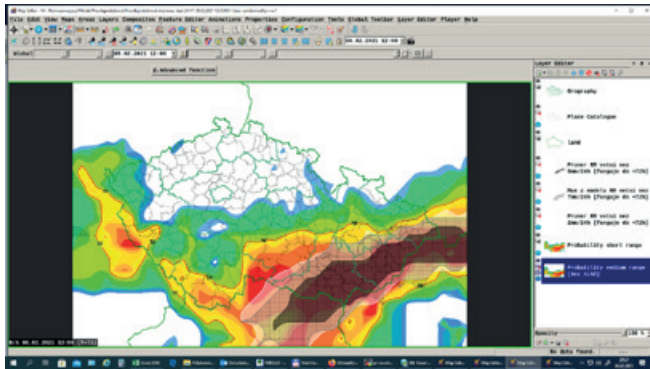
Fig. 10. On the left, map of precipitation type prediction from the main (deterministic) ECMWF model from 5th February 00:00 UTC to 7th February 15:00 UTC. On the right, the outputs based on the ECMWF ensemble prediction system for the selected place (in this case for South Moravia) plumes of the air temperature at the level of AT850 hPa (above) and the probability of individual types of precipitation for 7 days ahead (below). Green colour means rain, turquoise snow and rain, blue wet snow, light blue dry snow, orange frozen rain, and red freezing rain.



Obr. 11 Předpověď množství mrznoucích srážek [mm] za 24 hodin z termínu na 6. 2. 00:00 UTC na období 7. 2. 06:00 UTC až 8. 2. 06:00 UTC z UTC z numerických modelů Aladin (vlevo nahore), ECMWF (vpravo nahore), ICON-EU (vlevo dole) a GFS (vpravo dole).

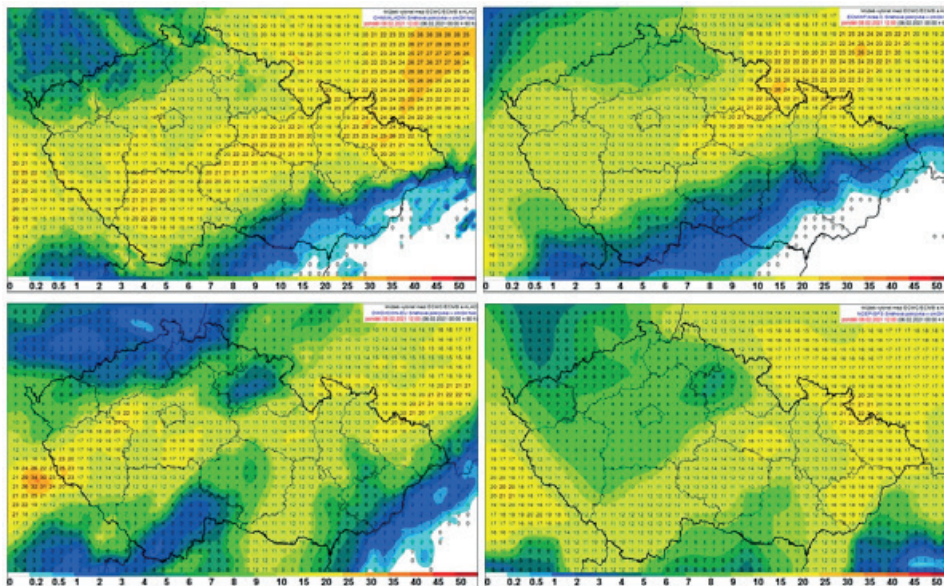
Fig. 11. Prediction of freezing precipitation amount in mm/24 hrs from 6th February 00:00 UTC for the period 7th February 06:00 UTC to 8th February 06:00 UTC from the Aladin (top left), ECMWF (top right), ICON-EU (bottom left), and GFS (bottom right) numerical models.

Příchod období mrazů a atmosférické procesy v nástupu mrazivého období, včetně vertikálního zvrstvení, byly předpověděny v zásadě úspěšně. Jednalo se o předpověď jak množství, tak i skupenství srážek, navíc dopadajících na postupně se prochlazující povrch země, což vytvořilo podmínky pro tvorbu ledovky, popř. i náledí. To se tvořilo v důsledku dešťových srážek majících původ v podstatě v oblasti teplého vzduchu



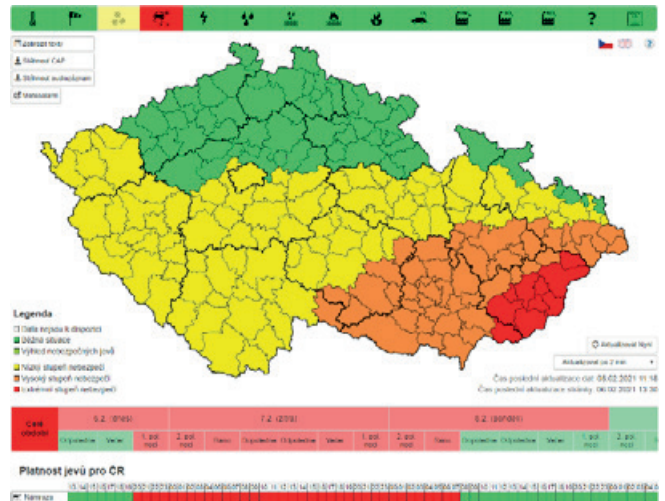
Obr. 12 Pravděpodobnost mrznoucích srážek v procentech (barevné pole) na základě čtyř numerických modelů z výchozího termínu 5. 2. 12:00 UTC na období 7. 2. 12:00 UTC až 8. 2. 12:00 UTC vytvořený ve VW. Výstup je doplněn šedým šrafováním v místech, kde průměr množství mrznoucího deště z těchto modelů přesahuje 5 mm/24 hodin, resp. maximum množství mrznoucího deště z některého z modelů přesahuje 7 mm/24 hodin, což je limit pro vydání výstrahy na extrémně silnou ledovku.

Fig. 12. Freezing precipitation probability in percentage (coloured field) based on four numerical models from 5th February 12:00 UTC for the period 7th February 12:00 UTC to 8th February 12:00 UTC. The output is completed by grey hatch in places where the average of freezing precipitation amount from these models exceeds 5 mm/24 hrs, or the maximum of freezing precipitation of any model exceeds 7 mm/24 hrs (the limit for issuing a warning for an extremely strong glaze).



Obr. 13 Množství nového sněhu v cm výšky z výchozího termínu 6. 2. 00:00 UTC předpovídaného na 24 hodinové období 7. 2. 12:00 UTC až 8. 2. 12:00 UTC z numerických modelů Aladin (vlevo nahoře), ECMWF (vpravo nahoře), ICON-EU (vlevo dole) a GFS (vpravo dole). Výstup nezahrnuje odtávání sněhové pokrývky.

Fig. 13. New snow cover prediction in cm from 6th February 00:00 UTC for the period 7th February 12:00 UTC to 8th February 12:00 UTC from the Aladin (top left), ECMWF (top right), ICON-EU (bottom left), and GFS (bottom right) models. Melting of snow is not included.



Obr. 14 Výstraha na ledovku a novou sněhovou pokrývkou vydaná ČHMÚ 6. 2. 2021 v 11:18 SEČ.

Fig. 14. Glaze and new snow cover warning issued by CHMI on 6th February 2021 at 11.18 CET.

ve vyšších vrstvách atmosféry při jejich dopadu na prochla-
zující se povrch země.

Lokalizaci a časový vývoj skupenství srážek bylo možno sledovat mimo jiné na výstupech ECMWF dostupných na webových stránkách tohoto centra (obr. 10). Podobně i výstupy ostatních modelů zobrazovaných v prostředí pracovní stanice meteorologů ČHMÚ Visual Weather firmy IBL soft (dále jen VW) ukazovaly na největší riziko mrznoucích srážek v jižních a západních Čechách a zejména na jižní, střední a východní Moravě (obr. 11). Barevný odstín zde ukazuje předpověď množství dešťových srážek spadlých na prochlazený povrch země za 24 hodin a je také ukazatelem tloušťky předpokládané ledovky.

Obr. 12 pak ukazuje pravděpodobnost mrznoucích srážek v procentech (barevné pole) na základě čtyř numerických modelů s doplněním šedým šrafováním v místech, kde numerické modely předpovídají větší množství srážek, tedy větší vrstvu i nebezpečnost ledovky.

Mezi předpověďmi ledovky u jednotlivých modelů nebyly zásadní rozdíly a tak lokalizace tvorby ledovky byla jimi převážně úspěšně předpověděná se zhruba třídením předstihem. Jen předpověď množství srážek byla modely mírně nadhodnocena, což se projevilo tím, že i tloušťka ledovky byla modely mírně nadhodnocena. Na jižní Moravě tak odpovídala vysokému (oranžovému) stupni nebezpečí, nikoli extrémnímu (červenému). A dále model GFS tím, že předpovídal sice jen o málo nižší teploty, předpokládal mrznoucí srážky v podstatě jen na jihovýchodě Moravy, naopak předpovídal zejména zde více srážek ve formě sněžení.

Za celé popisované období napadlo nejvíce nového sněhu během období 7. 2. 12:00 UTC až 8. 2. 06:00 UTC, převážně od 5 do 10 cm, v severozápadních a severních Čechách kolem 10 cm. Na Moravě s výjimkou hor to bylo do 5 cm, na jižní Moravě do 2 cm. Numerické předpovědní modely předpovídané množství většinou přecenily (obr. 13), předpovídaly převážně 8 až 18 cm, pro Ústecký a Liberecký kraj většinou 5 až 12 cm, pro jihovýchodní Moravu, s výjimkou GFS do 5 cm nového sněhu.

V předpovědích počasí byla poprvé uváděna předpověď tvorby ledovky dne 4. 2., a to na 7. 2. 2021. V dalších dnech byla její předpověď upřesňována. Výstraha SIVS na ledovku a novou sněhovou pokrývku byla poprvé vydána 5. 2. ve 12:17, a to pro většinu území ČR s výjimkou severních oblastí Čech. Byla vydána s nízkým stupněm nebezpečí (žlutá barva), avšak pro Českomoravskou vrchovinu a téměř celou Moravu byla výstraha na ledovku vydána s vysokým stupněm nebezpečí (oranžová).

Následujícího dne 6. 2. byla výstraha na novou sněhovou pokrývku a ledovku upřesněna (obr. 14). Na ledovku byla pro větší část Moravy opět vydána s vysokým stupněm nebezpečí (oranžová) a pro většinu Zlínského kraje s extrémním stupněm nebezpečí (červená).

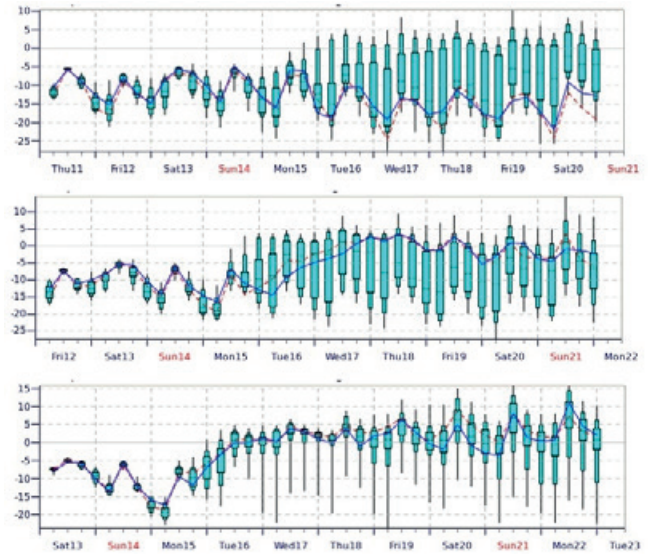
Výstraha byla v zásadě úspěšná, i když množství nového sněhu napadlo o něco méně, než meteorologové na základě výstupů numerických modelů očekávali a ve Zlínském kraji ledovka odpovídala spíše vysokému (oranžovému) stupni. Ledovka se tvořila nejen na silnicích a chodnících, ale také např. na strozech a drátech elektrického vedení, což působilo komplikace zejména při chůzi, v dopravě a v energetice.

4. Příliv teplého vzduchu, ledovka a konec mrazů

Předpoklad ukončení mrazivého období provázela ve výpočtech numerických modelů velká nejistota. Podle výstupů většiny numerických modelů z 9. a 10. 2. to vypadalo, že ve dnech 16. 2.–17. 2. se mrazy zmírní a odpolední teplota vzduchu dosáhne hodnot kolem 0 °C. Nicméně výstupy zejména ECMWF z 11. 2. ukazovaly na trvání mrazivého počasí nejméně do 21. 2. (obr. 15, graf nahoře). Zejména hlavní model (modrá křivka) ukazoval na pokračování silných mrazů s teplotami pod -10 °C. Následujícího dne 12. 2. předpověď zejména hlavního modelu ECMWF (graf uprostřed) již ukazovala zmírnění mrazů s teplotami kolem 0 °C od 17. 2. O den později, výstupy z 13. 2. již ukazovaly vysokou pravděpodobnost rychlého zmírnění mrazů během 16. 2. (graf dole) s odpoledními teplotami v dalších dnech postupně nad bodem mrazu. Tento vývoj se potvrdil, skutečně během 16. 2. se v důsledku přílivu teplejšího vzduchu od západu mrazů na území ČR rychle zmírňoval.

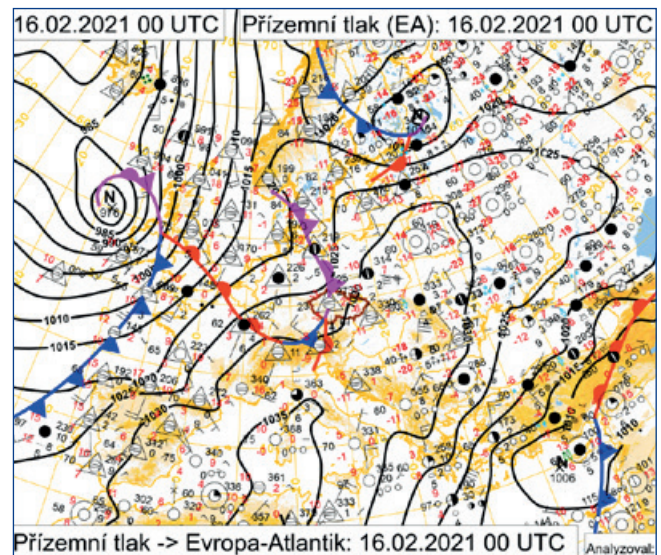
V noci na 16. 2. přecházel přes území ČR již téměř okludovaný frontální systém (obr. 16 a obr. 17), na kterém spadlo do 3 cm sněhu, v Čechách ojediněle přecházející v kapalně srážky padající většinou do sněhové pokrývky.

Následující noc a ráno 17. 2. od západu přecházel přes naše území další frontální systém. Teplota v hladině 850 hPa dosáhla přechodně až +5 °C, a tak sněžení rychle od západu přecházelo v déšť. Vzhledem ke stále záporným teplotám v Polabské nížině, ve východních Čechách a především na Moravě a ve Slezsku, srážky při dopadu na prochlazený zemský povrch namrzaly a vytvářela se ledovka.



Obr. 15 Předpověď teploty vzduchu ve 2 m nad zemí pro Prahu z ECMWF z výchozích termínů 11. 2. 00:00 UTC (nahore), 12. 2. 00:00 UTC (uprostřed) a 13. 2. 00:00 UTC (dole) na 10 dní dopředu z hlavního modelu (modrá křivka) a ansámblu 50 běhů (sloupcový graf ukazující míru nejistoty předpovědi).

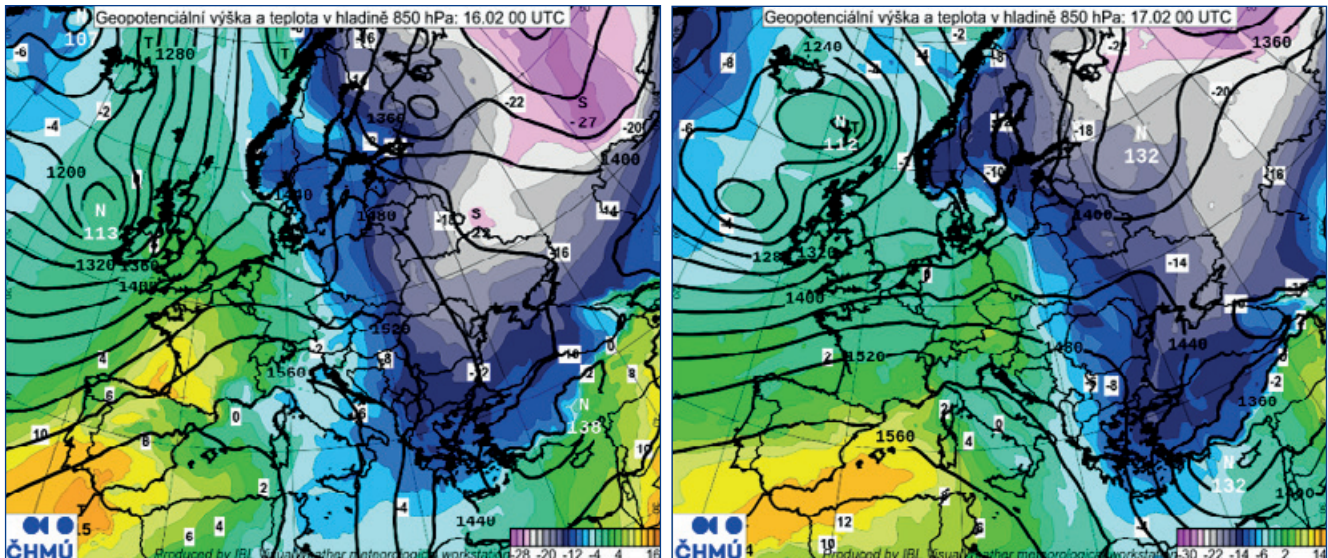
Fig. 15. Air temperature prediction at 2 m above the ground for Prague from ECMWF runs of 11th February 00:00 UTC (top), 12th February 00:00 UTC (middle) and 13th February 00:00 UTC (bottom) for 10 days ahead from the main model (blue curve) and an ensemble of 50 runs (bar chart showing the degree of prediction uncertainty).



Obr. 16 Analýza přízemní synoptické situace z 16. 2. 00:00 UTC.

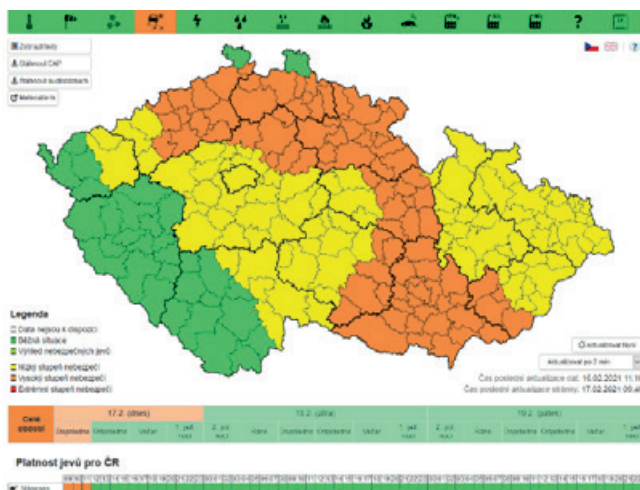
Fig. 16. Surface synoptic situation analysis from 16th February 00:00 UTC.

Ve střednědobé předpovědi byl výskyt mrznoucích srážek na tento den uváděn již od předpovědi z 12. 2., výhled výstrahy byl vydán 14. 2. a samotná výstraha na tvorbu ledovky vydána 16. 2. v 11:10 SEČ (obr. 18). Předpověď ledovky byla vydána v souladu s modelovými výstupy a s ohledem na promrzlou půdu a komunikace po předchozích mrazivých dnech a byla úspěšná.



Obr. 17 Analýza mapy AT850 hPa ze 16. 2. 00:00 UTC (vlevo) a 17. 2. 00:00 UTC (vpravo). Na obr. ze 17. 2. 00:00 UTC je dobře patrný teplý vzduch již nad střední Evropou (světle zelená až žlutá barva), který sem pronikl od jihozápadu v teplém sektoru frontálního systému během 16. 2.

Fig. 17. AT850 hPa analysis from 16th February 00:00 UTC (left) and 17th February 00:00 UTC. In the picture from 17th February 00:00 UTC, warm air over central Europe (light green and yellow colour) is already apparent, coming with warm sector of frontal system during 16th February.



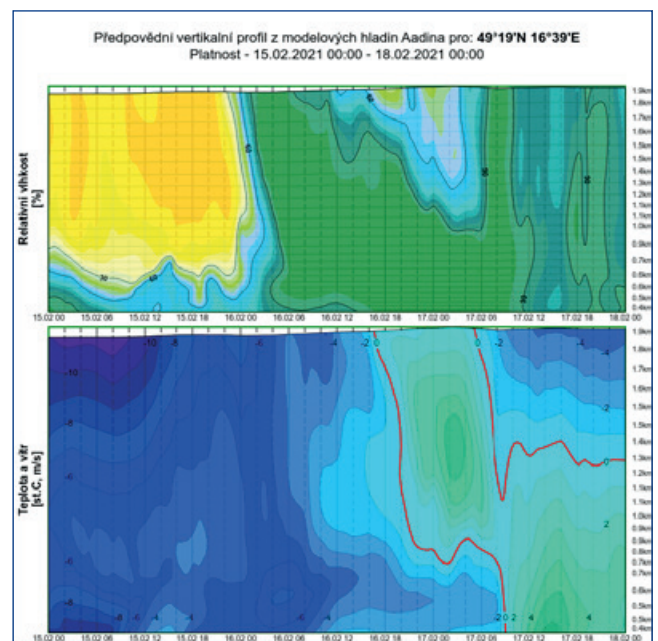
Obr. 18 Výstraha ČHMÚ vydaná 16. 2. v 11:10 SEČ na ledovku (žlutá barva) a silnou ledovku (oranžová) pro 17. 2. od 00:00 do 12:00 SEČ.

Fig. 18. Glaze and severe glaze warning of CHMI issued on 16th February at 11:10 CET for the period 17th February 00:00 to 12:00 CET.

V důsledku sněžení a zejména mrznoucích srážek s tvorbou ledovky došlo k problémům na komunikacích a ke zvýšenému počtu dopravních nehod.

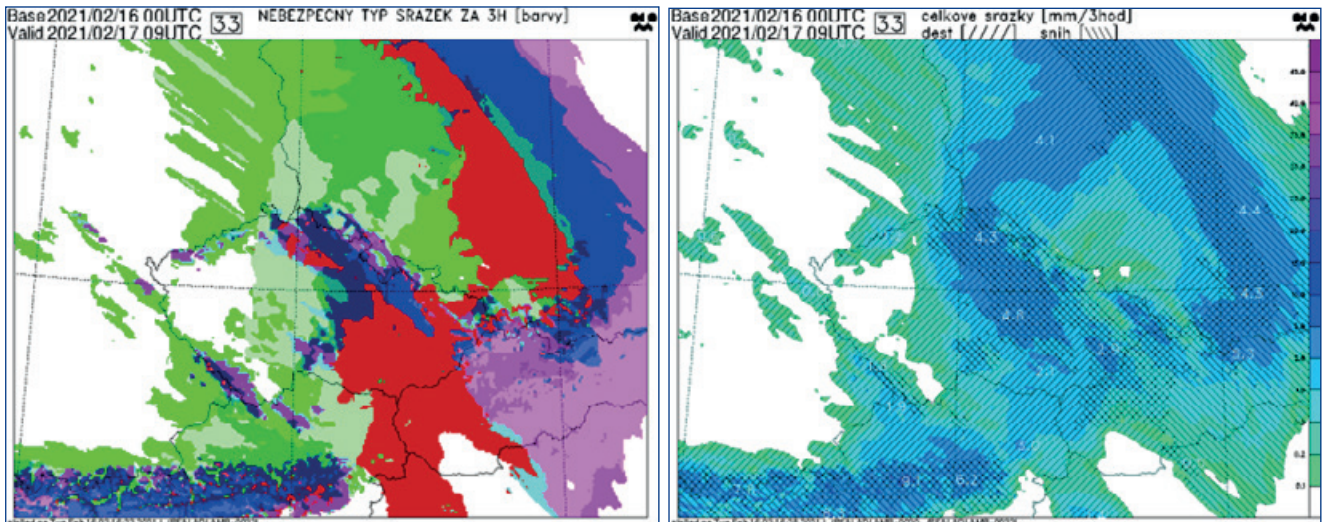
4.1 Hodnocení modelových výstupů v souvislosti s tvorbou ledovky

Na možný výskyt ledovky ukazovaly i vertikální předpovědní profily. V předpovědní službě se používají z modelu Aladin a z modelu ECMWF. Profil z modelu Aladin z výchozího termínu 15. 2. 00:00 UTC pro Brno (obr. 19) ukazoval pro noční



Obr. 19 Předpovědní vertikální profil pro Brno od povrchu země do výšky 2 km nad hladinou moře z modelu Aladin z 15. 2. 00:00 UTC na 72 hodin dopředu. Nahoře profil relativní vlhkosti vzduchu (žlutá značí nízkou vlhkost, modrá až zelená vysokou vlhkost; prvních 24 hodin bylo slunečné počasí), dole profil teploty vzduchu. Je zřejmá teplotní inverze v noci a v ranních hodinách 17. 2., kdy déšť při dopadu na prochlazený zemský povrch namrzal.

Fig. 19. Forecasting vertical profile for Brno from the ground to a height of 2 km above sea level. Output from the Aladin model on 15th February 00:00 UTC for 72 hours ahead. At the top, the relative humidity profile (yellow indicates low humidity, blue to green high humidity; the first 24 hrs was sunny weather), below, the air temperature profile. There is obvious temperature inversion at night and in the morning on 17th February when the rain froze hitting the cooled Earth's surface.



Obr. 20 Vlevo předpověď typu srážek z modelu Aladin ze 16. 2. 00:00 UTC na 17. 2. 09:00 UTC. Fialová značí suchý sníh, modrá vlhký sníh, červená mrznoucí srážky, zelená dešťové srážky. Vpravo předpověď množství srážek (barevná škála) a skupenství srážek (šrafování) ze stejného modelu a tříhodinové předpovědní období, šrafováním je rozlišeno skupenství srážek.

Fig. 20. On the left, precipitation type prediction from the Aladin model run from 16th February 00:00 UTC for 17th February 09:00 UTC. Violet colour indicates dry snow, blue wet snow, red freezing rain, green liquid precipitation. On the right, prediction of the amount of precipitation (colour scale) and the type of precipitation (hatching) from the same model and three-hour period.

a ranní hodiny 17. 2. teplotní inverzi, kde v několika spodních stovkách metrů nad terénem je teplota vzduchu stále pod bodem mrazu, zatímco nad ní je vrstva s teplotou nad bodem mrazu.

Od loňského roku je novým produktem modelu Aladin přímo spočtený nejnebezpečnější typ srážek a nejčastější typ srážek, v obou případech v předpovědním časovém kroku 3 hodiny až na +72 hodin. Ukázka tohoto produktu spolu s předpovědí celkových srážek pro tříhodinové období, kdy se zejména na Moravě vyskytlo nejvíce mrznoucích srážek, je na obr 20.

5. Závěr

Článek popisuje průběh a vývoj meteorologické situace v ČR, která nastala v únoru 2021. Situace byla spojena s vpádem arktického vzduchu, výrazným ochlazením s více než týdenním obdobím celodenních mrazů, mrznoucím deštěm s tvorbou ledovky a sněžením. Na počátku epizody padal i sníh obsahující písek původem ze Sahary. V článku jsou ukázány některé meteorologické výstupy používané v předpovědní a výstražné službě ČHMÚ, které blíže charakterizují vývoj a průběh počasí během popisovaného období. Jsou ukázány i některé předpovědní výstupy z numerických předpovědních modelů včetně vydaných výstrah SIVS. Výstrahy SIVS byly vydávány v souladu s vývojem meteorologické situace a výstupy numerických předpovědních modelů a byly úspěšné.

Také díky této více než desetidenní zimní meteorologické situaci se zima 2020/21 po několika teplých zimách s převážně minimální sněhovou pokrývkou zařadila mezi zimy v podstatě s normálním průběhem počasí, na které jsme byli v minulosti zvyklí. Avšak vpády studeného vzduchu, i když ne tak výrazné, pokračovaly až do května. Ještě v dubnu se vyskytovalo sněžné období i v nížinách.

Jevy, které se během popisovaného období vyskytly, podstatným způsobem ovlivňují každodenní lidské aktivity, mají vliv na schůdnost a sjízdnost komunikací, na energetiku a další sektory národního hospodářství. Včasná a správná předpověď těchto jevů včetně vydaných výstrah je proto důležitou součástí předpovědní a výstražné služby ČHMÚ.

Literatura:

- BRÁDKA, J., DŘEVIKOVSKÝ, A., GREGOR, Z., KOLESÁR, J., 1961. Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. Praha: HMÚ. 32 s.
- ECMWF, 2021. Evropské centrum pro střednědobé předpovědi [online]. Dostupné z WWW: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/charts>
- eMS, 2021. Meteorologický slovník výkladový a terminologický, ČMeS [online]. Dostupné z WWW: <http://slovník.cmes.cz>.
- SANDEV, M., 2007. Výjimečný průběh počasí v zimě 2006/2007 v Česku. *Meteorologické zprávy*, roč. 60, č. 4, s. 97–105. ISSN 0026-1173.
- ŠOPKO, F., 2016. Nástroje ČHMÚ pro předpovědi silné konvekce a vydávání výstrah. *Meteorologické zprávy*, roč. 69, č. 2, s. 54–59. ISSN 0026-1173.
- ŠOPKO, F., VLČEK, O., JURAS, R., ŠKÁCHOVÁ, H., 2017. Meteorologická analýza rozsáhlých smogových situací v ČR v lednu a únoru 2017. *Meteorologické zprávy*, roč. 70, č. 4, s. 107–113. ISSN 0026-1173.

Lektor (Reviewer):
RNDr. Jan Sulan

POČASÍ A ROSTLINY

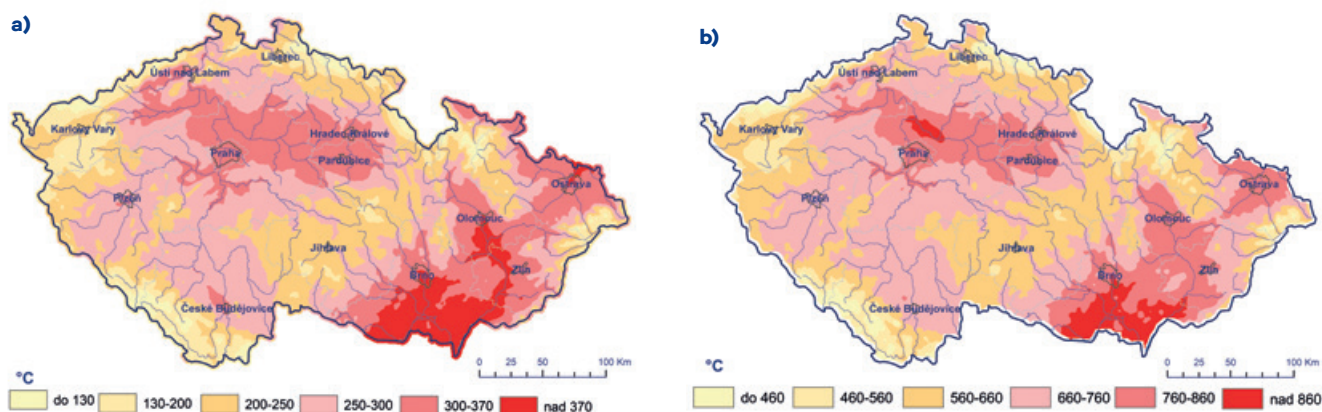
Fenologický vývoj na území ČR v květnu a červnu 2021

V tomto čísle Vás budeme informovat, jak se změnil vybrané agroklimatické charakteristiky a jaký byl vývoj vegetace v průběhu měsíců květen a červen 2021.

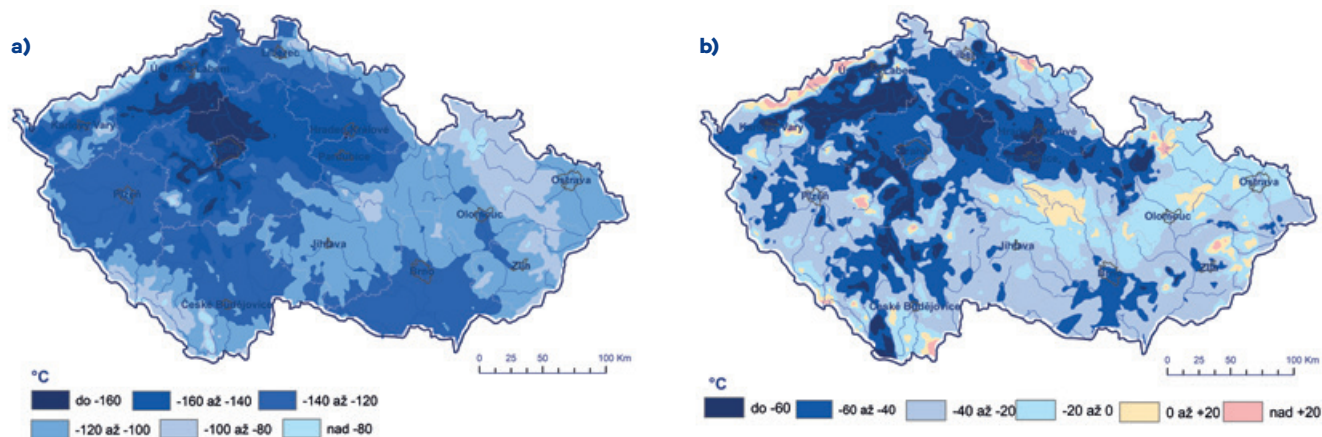
Suma efektivních teplot nad 5 °C od začátku roku k 31. 5. a k 30. 6. 2021 je uvedena v následujících mapách (obr. 1).

Ke konci května se sumy na většině území pohybovaly v rozmezí 130–370 °C a ke konci června v rozmezí 460–860 °C.

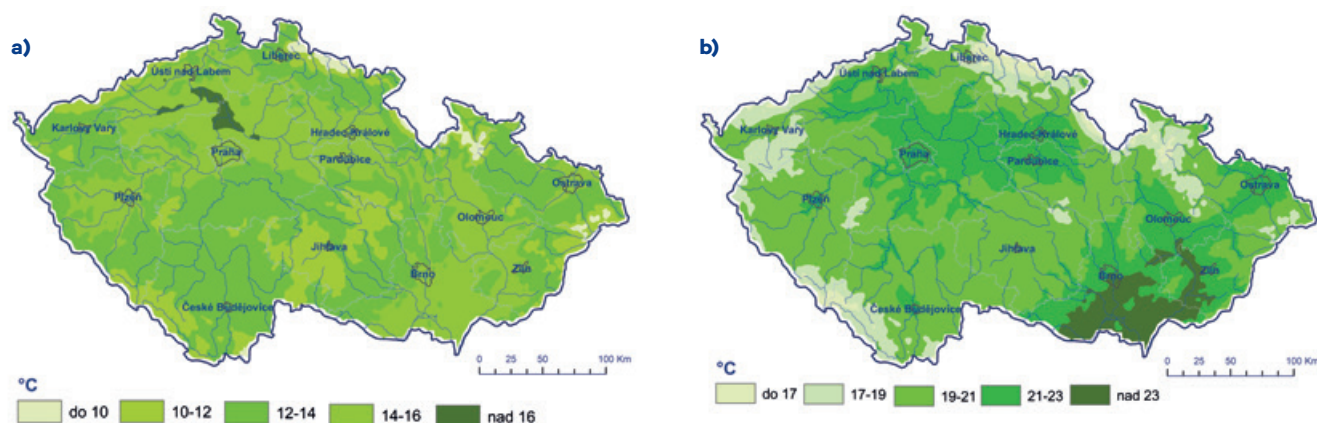
Odchytky sumy efektivních teplot vzduchu nad 5 °C od normálu 1981–2010 (obr. 2) ukazují, že i nadále pokračoval chladnější ráz počasí. Sumy efektivních teplot vzduchu nad 5 °C byly květnu pod normálem 1981–2010 na celém území, v červnu se místy vyskytovaly hodnoty odchylek kladné, zejména v horských polohách. V květnu byly nejvyšší záporné odchylky ve středních a severozápadních Čechách (pod -160 °C), v červ-



Obr. 1 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C k 31. 5. 2021 (a) a k 30. 6. 2021 (b).



Obr. 2 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C (odchylka od normálu 1981–2010) k 31. 5. 2021 (a) a k 30. 6. 2021 (b).

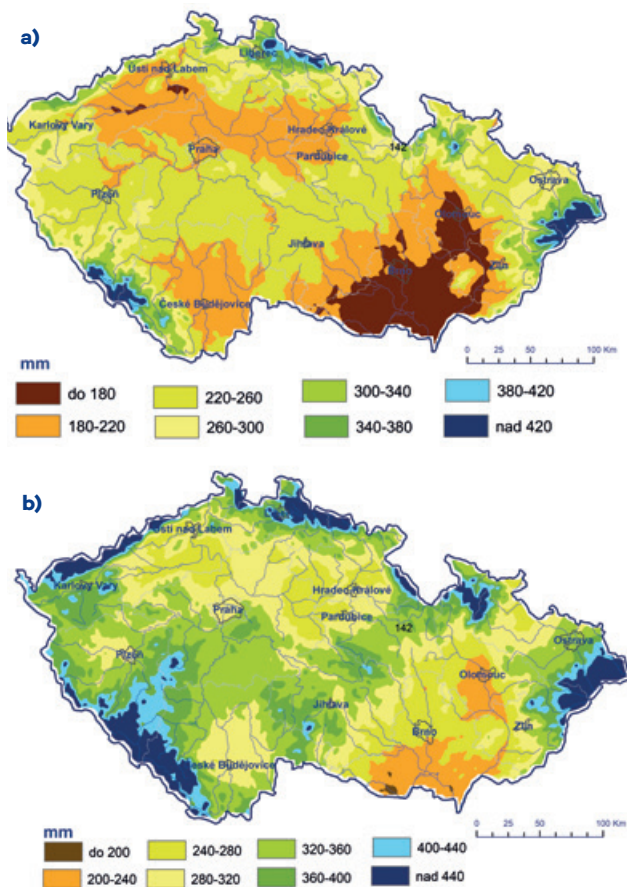


Obr. 3 Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 31. 5. 2021 (a) a 30. 6. 2021 (b).

nu byly nejnižší záporné odchylky pod $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ zejména v Polabské nížině, v Poohří, severozápadních, západních, středních a jižních Čechách a částečně na severní Moravě.

Teplota půdy v 10 cm se ke konci května pohybovala v rozmezí 10 až 16 $^{\circ}\text{C}$ (obr. 3), v červnu se zvýšila na 17 až 23 $^{\circ}\text{C}$.

Kumulativní úhrn atmosférických srážek (od 1. 1. 2021) k 31. 5. a 30. 6. je zobrazen v mapách na obr. 4. Při srovnání s normálem (obr. 5) dosahovaly v květnu úhrny srážek 90 až 130% normálu, v části středních, západních a severozápadních Čech a na severní Moravě byly srážkové úhrny nejvyšší. Ke konci června byl patrný velký rozdíl mezi Čechy a Moravou, kumulativní úhrny srážek dosahovaly 80 až 120% normálu.

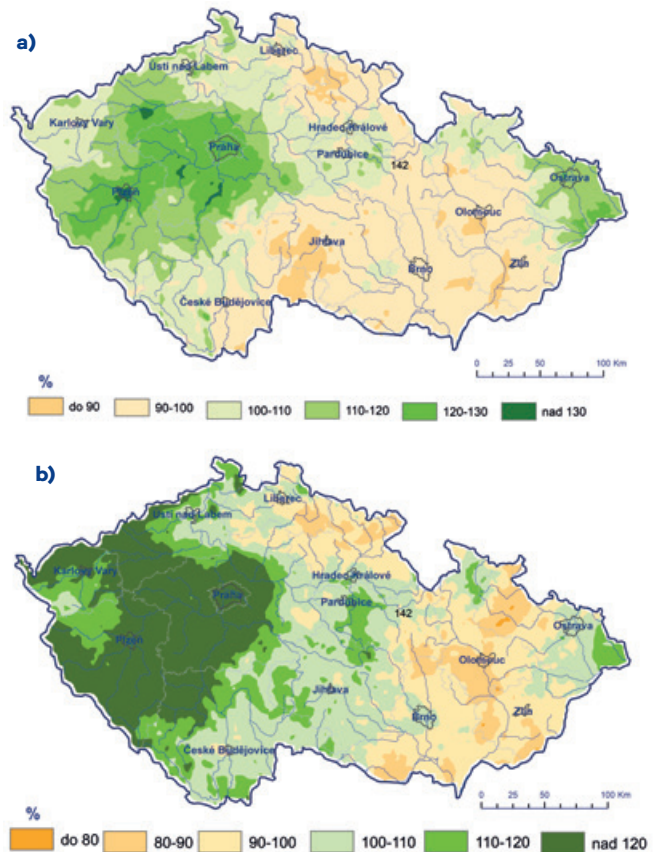


Obr. 4 Kumulativní úhrn srážek k 31. 5. 2021 (a) a k 30. 6. 2021 (b).

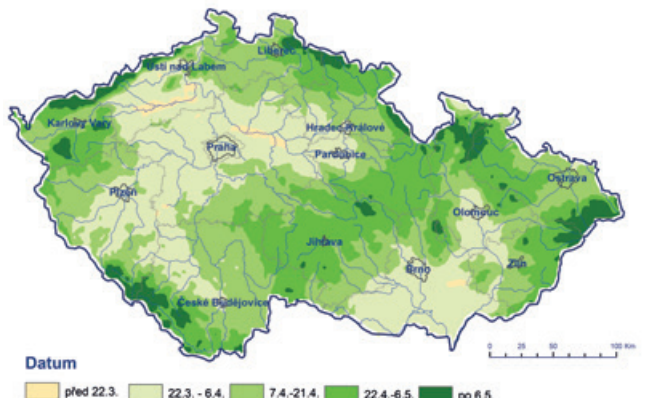
V prvním týdnu v květnu jsme zaznamenali výskyt jarních mrazíků. Na osluněných a chráněných lokalitách byly již rozkvetlé meruňky a broskvoně, rané odrůdy kulturních kulturů třešní, kříženci slivoní a pomalu se otvíraly i pupeny révy vinné – tyto druhy byly ohroženy výskytem přizemních mrazíků. A pomrzly i některé chráněné druhy, např. koniklece otevřené na jedné z lokalit na Litoměřicku. Jarní mrazíky nás naštěstí na „zmrzlé muže“ letos nepotrápily.

Začátek velkého vegetačního období (stanovené na základě průměrné denní teploty vzduchu nad 5 $^{\circ}\text{C}$) začal na většině území mezi 22. březnem a 6. květnem (obr. 6).

Již od počátku roku sumy efektivních teplot naznačovaly spíše chladnější počasí a pozvolný nástup fenologických fází v předjaří a v časném jaru. Významně podprůměrné teploty



Obr. 5 Kumulativní úhrn srážek (% normálu 1981–2010) k 31. 5. 2021 (a) a k 30. 6. 2021 (b).

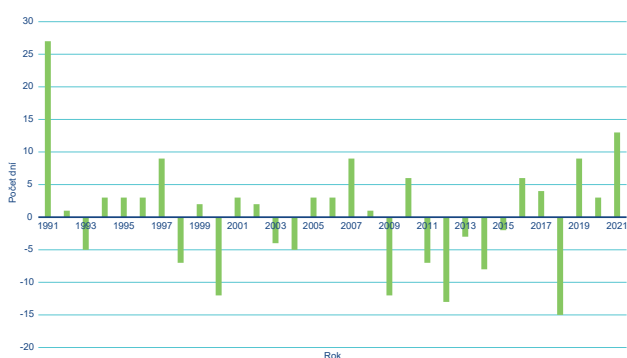


Obr. 6 Začátek velkého vegetačního období v roce 2021.

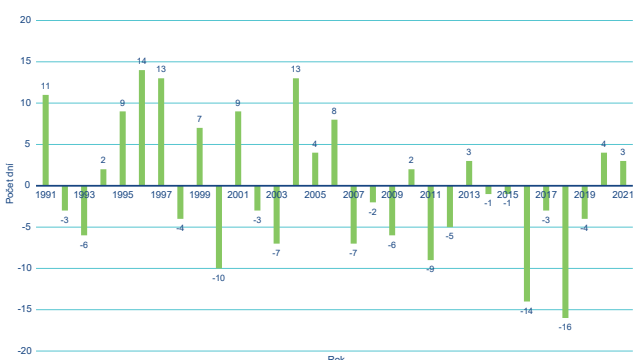
naměřené v březnu, dubnu a květnu následně zpomalily termíny většiny sledovaných fenologických fází, a to tak výrazně, že na řadě sledovaných lokalit probíhaly fenofáze později až o 21 dní oproti dlouhodobému průměru. Ve vývoji vegetace byl v průběhu května patrný velký rozdíl mezi nížinami, středními a vyššími polohami. Zlatice a dřiny začátkem května zdobily svými jasně žlutými květy krajinu v první a druhé dekádě května ve středních polohách, dále zde stále kvetly naplno byliny jarního aspektu. Bezy, vrby, lísky, hlohy a kaštany byly v nížinách již téměř olistěné a listy pozvolna dorůstaly do své finální velikosti, ve středních a vyšších polohách se postupně začaly olistovat. Začátkem května byly na jižní Moravě plně rozkvetlé trnky. Za prvomájovým polibkem jsme letos museli zajet do nížin, ve středních polohách třešně rozkvétaly jen velmi pozvolna v první dekádě května.



Obr. 7 Plný rozkvet slivoně trnky – odchylky od průměru 1991–2020.



Obr. 8 Počátek kvetení (50%) trnovníku akát – odchylky od průměru 1991–2020.



Obr. 9 Počátek kvetení (10%) třezalky tečkované – odchylky od průměru 1991–2020.

Až ve druhé dekádě května vývoj vegetace mírně pokročil, ale stále byl opožděn oproti předchozím rokům. V nejteplejších lokalitách začaly kvést šeříky, dále kvetl bez hroznatý, objevovaly se první listy konvalinek, pryskyřníky či jahodníky

začaly kvést v nejteplejších lokalitách (např. v Lednici). Bříza kvetla naplno i ve středních polohách a v nížinách začaly kvést duby. Buk, borovice, psárka a bez černý byly v nížinách ve stadiu butonizace (např. v Lednici). Na velké části území ČR začala kvést řepka ozimá. Slivoň trnka a třešně rozkvetly i ve středních polohách, v nížinách rozkvetaly hrušně a jabloně.

Ve třetí dekádě května se vegetace rozjela ve svém vývoji a snažila se dohnat zpoždění, které získala na začátku jara. Rozdíl mezi nížinami a vyššími polohami byl stále patrný ale pozvolna se zmírňoval. I na konci května zlatice stále zdobily svými jasně žlutými krajiny ve středních a vyšších polohách, dřívky v nížinách začaly fruktifikovat. Blatouchy byly ve středních polohách stále v plném květu, dále byly zde v plném květu střemchy. Naplno kvetly hluchavky, začínaly kvést jahodníky a brusnice borůvka (např. na stanici Příkosice). Konvalinka vonná, javor klen či svída krvavá byly na mnoha lokalitách ve stadiu butonizace. Trnky a třešně stále naplno kvetly ve středních polohách a rozkvetly i zde hrušně a jabloně. Třešně v nížinách již fruktifikovaly.

V první červnové dekádě byly dřeviny plně olistěné na celém území, v nejteplejších lokalitách začaly kvést trnovníky akáty a začaly dozrávat jahody a rané odrůdy třešní. Hlohy a šeříky v nížinách odkvétaly, naopak ve středních polohách kvetly naplno. Pozvolna začínala odkvétat řepka ozimá, začaly kvést brambory a rovněž začala senoseč. Borovice a smrky kvetly ve středních polohách naplno, v nížinách již byly odkvetlé. Začínala kvést svída krvavá, pole a krajnice zdobily svými červenými květy vlní máky (až do konce června).

Ve druhé dekádě června byly akáty již plně rozkvetlé a šeříky začaly ve středních polohách pozvolna odkvétat. Senoseč probíhala na většině území, naplno kvete bez černý, svída krvavá a růže šípková. Kvetly kopretiny a jetel plazivý.

Ve třetí červnové dekádě byly akáty a šeříky téměř odkvetlé. Bez černý, svída krvavá a šípková růže byly stále v plném květu, zejména ve středních polohách. Na dřevinách je postupně zaznamenávána fenologická fáze tvorba pupenů (tato fáze nastává po olistění, zpravidla ještě během dorůstání výhonu nebo záhy po jeho ukončení se v úžlabích listů objeví malé, pouhým okem však rozpoznatelné pupeny). Na většině území stále pokračovala senoseč. I nadále dozrávaly jahody a rané odrůdy třešní. Na konci června začaly kvést třezalky, lípy, začala fruktifikovat svída krvavá a začaly dozrávat borůvky. A na lokalitě v Doksanech jsme zaznamenali druhé kvetení jeřábu obecného! Ničivě tornádo, které se vyskytlo 24. června 2021 na jižní Moravě, nenávratně poničilo polní plodiny a vinohrady.



Obr. 10 Květy slivoně trnky (a), kopretiny luční (b) a třezalky tečkované (c).

Pylový semafor byl v období května na stupni 2 (mírné riziko) až 3 (střední riziko) a v červnu na stupni 3 (střední) až 4 (vysoké). Průběh pylové sezóny byl v květnu mírnější než v předchozích letech, hlavní pylová sezóna brízy nastala až v první polovině května, ale její průběh byl zmiřňován častým výskytem srážek. Ke zhoršení pylové situace došlo až ke konci května a začátkem června, kdy se vyskytovalo období bez srážek a kvetly duby, jehličnany a začala hlavní sezóna kvetení trav.

Vegetace ke konci června téměř dohnala jarní zpoždění, odchylky od dlouhodobého průměru vybraných fenologických fází jsou uvedeny na obr. 7–9. Pro dokreslení uvádíme i pár fotek rostlin typických pro období květen až červen (obr. 10). A nové informace za letní měsíce červenec a srpen vám přineseme v dalším čísle.

Lenka Hájková

INFORMACE

Opustil nás Václav Richter



Po krátké nemoci zemřel 31. července 2021 dlouholetý pracovník ČHMÚ, náš bývalý ředitel i kolega, pan Ing. Václav Richter. Narodil se 6. července 1936 v Petřvaldě u Karviné. Po maturitě vystudoval Vysokou školu zemědělskou a lesnickou v Brně. Krátce pracoval jako projektant v Krajském podniku zemědělsko-lesnických meliorací a 1. srpna 1962 nastoupil do HMÚ na hydrologické pracovi-

ště v Ostravě, kde byl později vedoucím oddělení. Významně se v té době zasloužil o výstavbu ostravské pobočky. Od roku 1973 pracoval u Severomoravských státních lesů v Krnově a zpět do HMÚ byl povolán 15. června 1977 do funkce ředitele ústavu. V této funkci prosadil postupné budování poboček ústavu, výstavbu Oborového výpočetního centra, budovy BRI v Komořanech, centrálního archivu v Brozanech včetně malé vodní elektrárny a inovaci komořanského spojovacího počítače. Byl stálým zástupcem ve Světové meteorologické organizaci, kde byl roce 1981 zvolen do výkonné rady. Byl poctěn několika státními i rezortními vyznamenáními.

Ve funkci ředitele ČHMÚ skončil v roce 1990. Jako vedoucí oddělení hydrologie pobočky Praha uplatnil své dlouholeté zkušenosti a vzpomínám, jak byl ve svém živilu, když mohl organizovat výjezdy měřících skupin v době povodní. Do našeho pobočkového kolektivu velmi rychle a úspěšně zapadl a byl pro nás přínosem nejen po pracovní stránce. Uplatnil se i jako předseda investiční komise ČHMÚ a naposledy pomohl rozběhnout projekt ISPA (vybudování stanic jakosti vody a nových vrtů). Vedoucím oddělení hydrologie na pobočce byl do 30. 6. 2001 a v ČHMÚ skončil v roce 2005.

Vaška jsme měli všichni rádi a budeme na něj ještě dlouho v dobrém vzpomínat. Čest jeho památce.

Luboš Němec

ČHMÚ slavnostně otevřel nové Centrální předpovědní pracoviště

Dosud sídlilo Centrální předpovědní pracoviště (CPP) ve skromné budově v prostorách ČHMÚ v Praze-Komořanech. Postupně se rozšiřovaly služby a bylo nutné propojovat meteorologii a hydrologii, proto dosavadní kapacita a technické vybavení budovy již nebyly dostačující.

Nová budova byla postavena ve stejném areálu. Prostory jsou koncipovány tak, aby vyhovely lepší spolupráci meteorologů a hydrologů. Všichni předpovědní meteorologové a hydrologové budou pohromadě v jedné budově, a budou tak moci lépe kooperovat i mimo směnný provoz. V budově bude pracovat celkem cca 35 lidí. Směnný provoz počítá s 20 zaměstnanci v jednom okamžiku.

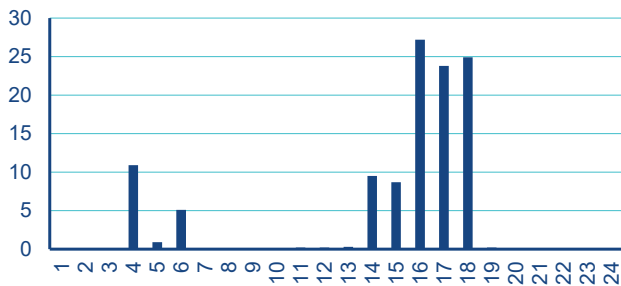
Stavba byla započata v roce 2019 a celková investice, včetně nábytku, IT vybavení, venkovních úprav a parkoviště byla 130 mil. Kč (včetně DPH). Architektonický návrh budovy a interiéru vytvořil Ing. arch. Václav Kruliš, hlavní projektant stavby byl Ing. Jan Roškot. Objekt je navržen v pasivním standardu.



Nové technologie umožní komfortnější spolupráci s regionálními pracovišti i se složkami integrovaného záchranného systému. Nová zasedací místnost umožní pořádat až dvě přednášky nebo porady najednou, nezávisle na sobě. Díky nahrávacímu studiu budou aktuální informace o očekávaných, či nebezpečných jevech lépe a rychleji publikovány. V natáčecím plánu jsou i informativní videa k počasí a výstrahám.

Hana Stehlíková

Povodně 17. 7. 2021 na Děčínsku

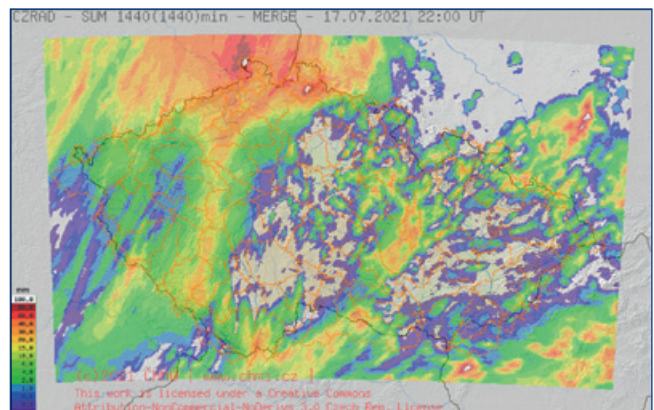


Obr. 1 Průběh hodinových srážek během 17. 7. 2021 z automatického srážkoměru v Lobendavě.

V průběhu druhého červencového týdne bylo počasí ve střední Evropě ovlivněno působením výškové tlakové níže, která nejprve přinesla extrémní srážky na západě Německa a posléze, při jejím ústupu na jihovýchod, i do Bavorska a Rakouska. U nás se projevila v podobě deště a bouřek, které obvykle zesilovaly v průběhu odpoledne.

Celkově vyšší nasycení na našem území bylo dále podpořeno srážkami, které v pátek zasáhly především Jizerské hory a severní část Krušných hor (Jablonecko, Liberecko, Děčínsko, Ústecko a Teplicko). Ojedinele napadlo až 40 mm srážek.

V průběhu noci na sobotu na Šluknovsku napršelo okolo 15 mm. Během sobotního dne se začaly srážky vytvářet nejprve nad západním Polskem, odkud se přesouvaly směrem



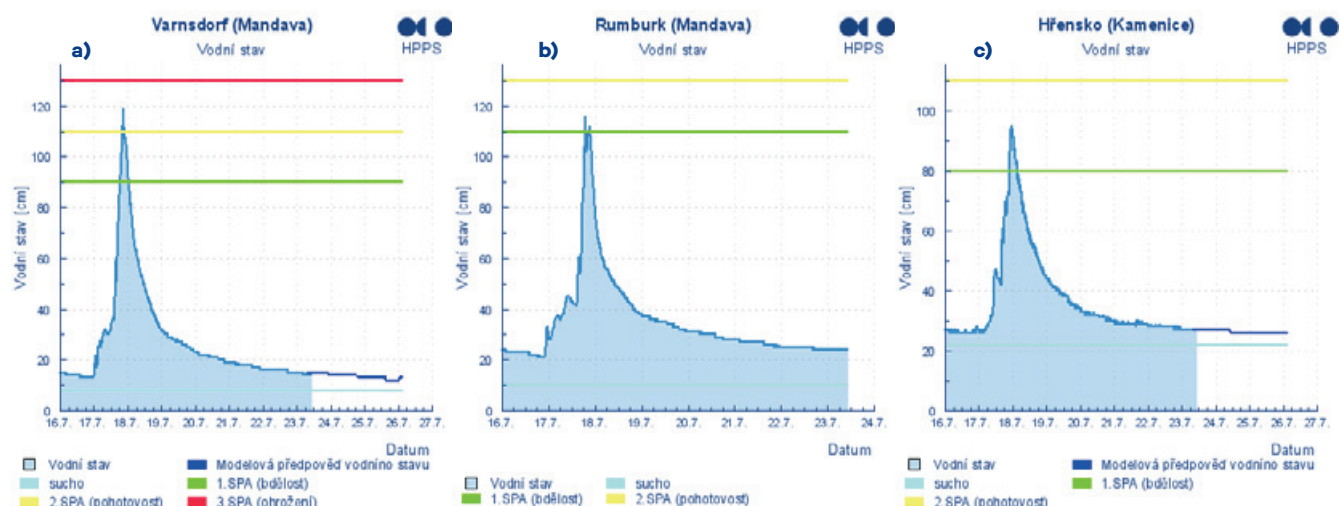
Obr. 2 Suma srážek během 17. 7. 2021 (00:00–24:00 SELČ) z dat meteorologických radarů. Nejvyšší srážkové úhrny (bílé oblasti) ukazují zasaženou Lobendavu a okolí Bedřichova v Jizerských horách.

na jihozápad a dále zesilovaly. Po 12:00 (SELČ) začaly významněji ovlivňovat území obcí Lobendava a Dolní Poustevna ve Šluknovském výběžku. Mezi 13:00 až 19:00 zaznamenal srážkoměr ČHMÚ v Lobendavě úhrn 94,1 mm (z toho 75,2 mm spadlo během 3 hodin mezi 15:00 a 18:00). Celkově za 24 hodin tak v Lobendavě napršelo 111,8 mm.

Luční potok, který odvodňuje zasaženou oblast, není monitorován v rámci státní sítě vodoměrných stanic, velikost průtoku a doba opakování povodně bude vyhodnocena pomocí hydrologického modelu, který je aktuálně zpracováván. S ohledem na morfologii terénu však nepříznivě působil tvar povodí, který

Tab. 1 Úrovně stupňů povodňové aktivity toků v Jizerských horách a na Děčínsku.

Stanice	Čas kulminace	Stav [cm]	Průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$]	Doba opakování [roky]	Dosažený SPA
Rumburk	19:00	116	13,4	<2	1
Frýdlant (Řasnice)	18:30	71	3,41	<2	1
Varnsdorf	20:50	119	24,5	2	2
Hrádek nad Nisou	22:10	218	81	2	2
Hřensko	23:00	95	22,3	<2	1
Liberec	23:50	158	34,7	2	2
Bílý Potok	00:10	87	20,7	<2	1
Proseč nad Nisou	00:30	121	20,8	2	2



Obr. 3 (a) Operativní záznam průběhu hladiny Mandavy ve Varnsdorfu, (b) Mandavy v Rumburku a (c) Kamenice v Hřensku.

stromovitě koncentruje vodu z několika přítoků do Lučního potoka a současné zasažení celého povodí.

Ze sledovaných toků v okolí nejvíce zasažené oblasti došlo ke vzestupům na Mandavě, kde byl ve Varnsdorfu dosažen 2. stupeň povodňové aktivity, 1. stupeň povodňové aktivity v Rumburku a na Kamenici ve Hřensku. Úrovně stupňů povodňové aktivity dosáhly i toky v Jizerských horách (viz tabulka). Ve všech sledovaných profilech kulminace odpovídala nejvýše 2leté povodni. Na Lučním potoce bude možné velikost povodně odhadnout až na základě výpočtu hydrologického modelu.

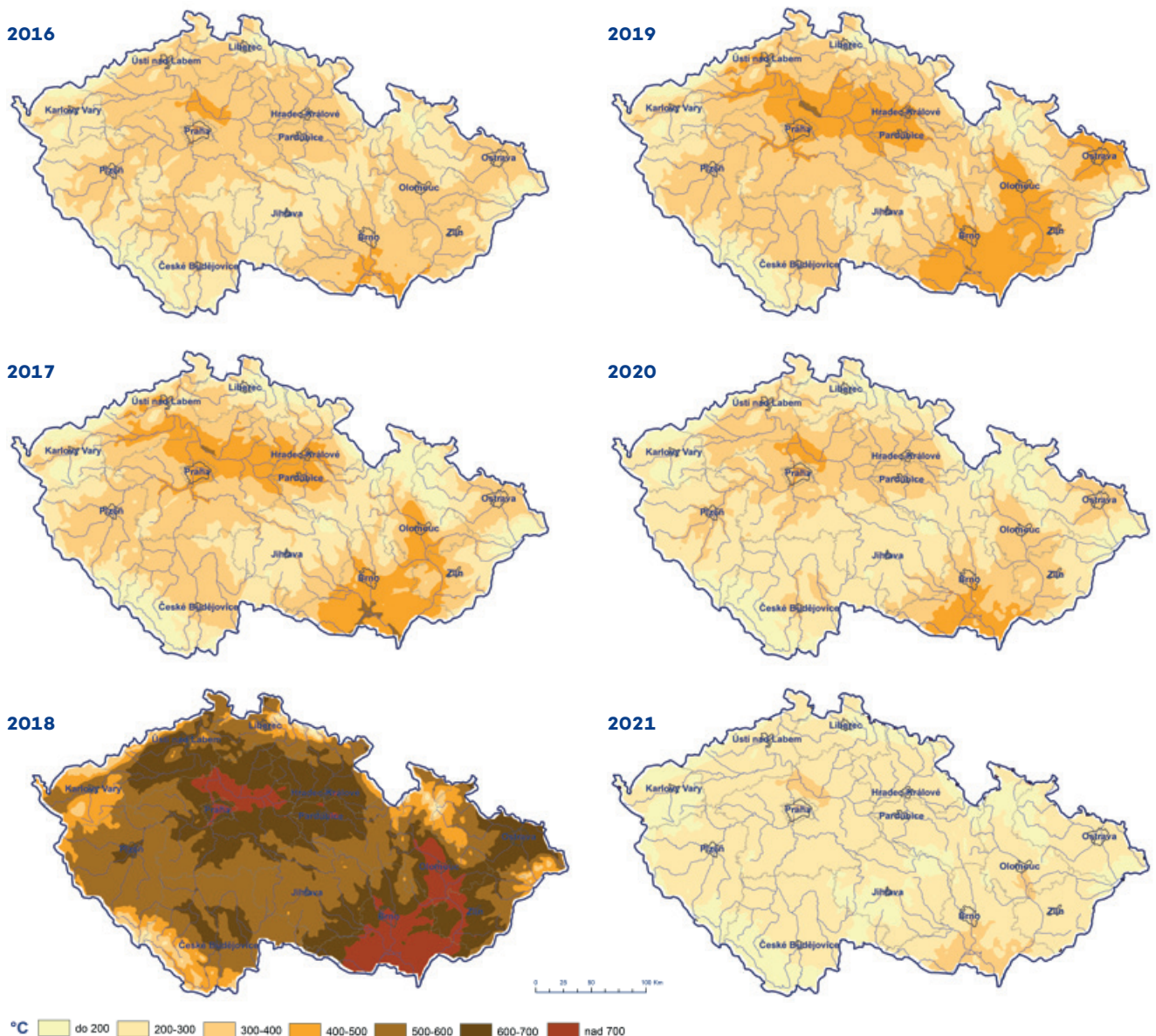
Jan Daňhelka

Porovnání sum efektivních teplot potřebných pro vývoj kůrovce v posledních 6 letech (2016–2021) k 15. 6.

Populační dynamiku kůrovce velmi významně ovlivňuje počasí, především teploty vzduchu, které rozhodují o rojení a počtu generací. Jak se suma efektivních teplot lišila v posledních šesti letech (2016–2021) ukazuje obr. 1 (mapy představují vývoj sum od data začátku rojení v jednotlivých letech). Data začátku rojení byla získána z portálu www.kurovcoveinfo.cz. Nejpozdější datum začátku rojení byl zaznamenán v letošním roce (10. května), nejdřívejší v roce 2017 (3. dubna) – údaje jsou uvedeny v tab. 1.

V mapách byla záměrně použita stejná barevná škála, aby byl vidět posun mezi jednotlivými roky. Světlejší mapa představuje nižší hodnoty sum teplot, tmavší mapa představuje vyšší hodnoty sum teplot.

Nejvyšší sumy efektivních teplot k datu 15. 6. byly zaznamenány v roce 2018, v tomto období sumy se pohybovaly v rozmezí 400 až 700 °C a na jižní Moravě, Olomoucku, v Polabí přesaho-



Obr. 1 Suma efektivních teplot od začátku rojení k 15. 6. v letech 2016–2021.

valy i 700 °C. Nejnižších hodnot dosahují sumy teplot v letošním roce (2021), sumy se pohybují v rozmezí 200 až 400 °C (téměř poloviční ve srovnání s rokem 2018).

Počet generací v roce je klíčová informace, protože určuje potenciální nárůst napadeného dříví v roce. Jak je vidět i ze sum teplot, v roce 2018 (suchý a teplý rok) bylo poprvé v historii dosaženo úplné třetí rojení.

Informace, jestli vývoj kůrovců zrychluje, nebo zpomaluje, je tedy klíčová pro rychlost včasného zpracování napadeného dříví. Počasí je v současnosti už tak proměnlivé, že původní poučky přestávají platit. Napadené stromy je přitom potřeba nejprve nalézt a následně asanovat. Na zpracování tak zbývá mnohem méně času. V letošním roce je zatím předpoklad, že by ke třetímu rojení nemuselo dojít, ale vše závisí na vývoji počasí, zejména teploty vzduchu.

Aktuální vývoj sum teplot uvádíme na stránkách ČHMÚ v sekci Počasí a kůrovec (www.chmi.cz/aktualni-situace/aktualni-stav-pocasi/ceska-republika/pocasi-a-kurovec).

Martin Možný, Lenka Hájková

Tab. 1 Datum začátku rojení kůrovce (zdroj: www.kurovcoveinfo.cz)

Rok	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Datum	2. květen	3. duben	9. duben	10. duben	13. duben	10. květen



Obr. 2 Kůrovec – lýkožrout smrkový (*Ips typographus*).

Konference GIS Esri v ČR

3. a 4. listopadu 2021

Novinky v geoinformatice

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

Letošní konference se bude možné zúčastnit virtuálně. Vybrané přednášky z předchozích ročníků, například o roli GIS v Centrálním řídicím týmu COVID-19 nebo o globálních změnách klimatu, si můžete kdykoliv prohlédnout na youtube.com/ArcdataPrahaTV.

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

ARCDATA PRAHA
esri Official Distributor

Partner konference:



Mediální partneři:



Meteorologické zprávy

Meteorological
Bulletin

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

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

Vydavatel (redakce) – Publishers

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

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

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

Vedoucí redaktor – Chief Editor

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

Redaktor – Assistant Editor

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

Redakční rada – Editorial Board

J. Bednář, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

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

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

Z. Horký, Praha, Česká republika

F. Hudec, Univerzita obrany, Brno, Česká republika

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

P. Huszár, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

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

K. Krška, Brno, Česká republika

M. Lapin, Univerzita Komenského, Bratislava, Slovenská republika

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

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

V. Pastirčák, Bratislava, Slovenská republika

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

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

J. Strachota, Praha, Česká republika

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

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

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

H. Vondráčková, Praha, Česká republika

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

Abstracting and Indexing:

Meteorological and Geostrophical Abstracts

Tisk:

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

ISSN 0026-1173

Registrační číslo MK ČR E 5107

© Meteorologické zprávy, Český hydrometeorologický ústav

NAKLADATELSTVÍ ČHMÚ

**Martin Možný, Lenka Hájková,
Vojtěch Vlach, Veronika Oušková**

Nebezpečí přírodních požárů v České republice v letech 1971 až 2018

Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu, sv. 66,
cena 109 Kč. ISBN 978-80-7653-014-0, ISSN 0232-0401

V současné době je téma nebezpečí požárů v krajině velmi aktuální. V posledních letech jsme téměř každý rok svědky masivních ničivých požárů vegetace na obrovské ploše (mj. Brazílie, Kanada, Portugalsko, Rusko, Španělsko, Řecko, USA a Austrálie). Tyto požáry mají velmi negativní vliv na růst skleníkových plynů v atmosféře a přímo ohrožují zdraví obyvatelstva. Na mnoha místech se ale v krajině požáry vyskytují celkem běžně, a to vlivem působení různých podmínek (suché a teplé klima, vhodné podloží a půdy, typ vegetace náchylný na požáry, vliv člověka). Tam kde se požáry vyskytují pravidelně, nebo v rámci území s neporušenou vegetací, typu národních parků, je jim vegetace přizpůsobena a menší požáry jsou důležité pro rozvoj flóry a fauny, např. vřesovišť, některých druhů stromů i brouků. Požáry, které v přírodě mimo sídla vznikají samovolně, nebo v důsledku neopatrnosti lidí, jsou nazývány přírodní požáry. Ve světě pro ně mají označení wildfires. Jedná se o požáry vzniklé nejen v lesích (lesní požáry), ale i na dalších plochách v krajině, jako jsou louky, pole, zahrady atp.

ČHMÚ již více než 10 let provozuje v operativním režimu předpověď Indexu nebezpečí vzniku a šíření požárů vegetace ve volné krajině. Tématu se věnuje i na úrovni výzkumu. Autorům se podařilo zpracovat hodnoty indexu ve vegetačním období za roky 1961 až 2015 (55 let). Publikace přináší podrobnější popis modelu hodnotícího příznivost meteorologických a vegetačních podmínek pro vznik přírodních požárů, včetně vedlejších výstupů využitelných např. pro monitoring sucha. Součástí sborníku je i hodnocení úspěšnosti předpovědí indexu na základě srovnání se skutečným počtem požárů a dále prezentace vybraných, zejména mapových, výstupů z dlouhodobého hodnocení i extrémních případů v období 1961 až 2015.

Publikaci lze objednat na adrese: nakladatelstvi@chmi.cz, tel.: 244 032 721

nakladatelstvi.chmi.cz