

Meteorologické zprávy

ROČNÍK
75–2022

1

2 Rok 2021 v Česku

Radim Tolasz – Radek Čekal – Anna Lamačová – Hana Škáchová

17 Tornádo na jihu Moravy 24. 6. 2021

Petr Münster

25 Pravděpodobnostní hydrologické předpovědi ve srážkoodtokovém modelu HEC-HMS

Alena Kamínková – Ondřej Kosík – Veronika Šustková

Meteorological
Bulletin

Český
hydrometeorologický
ústav



2 Year 2021 in Czechia

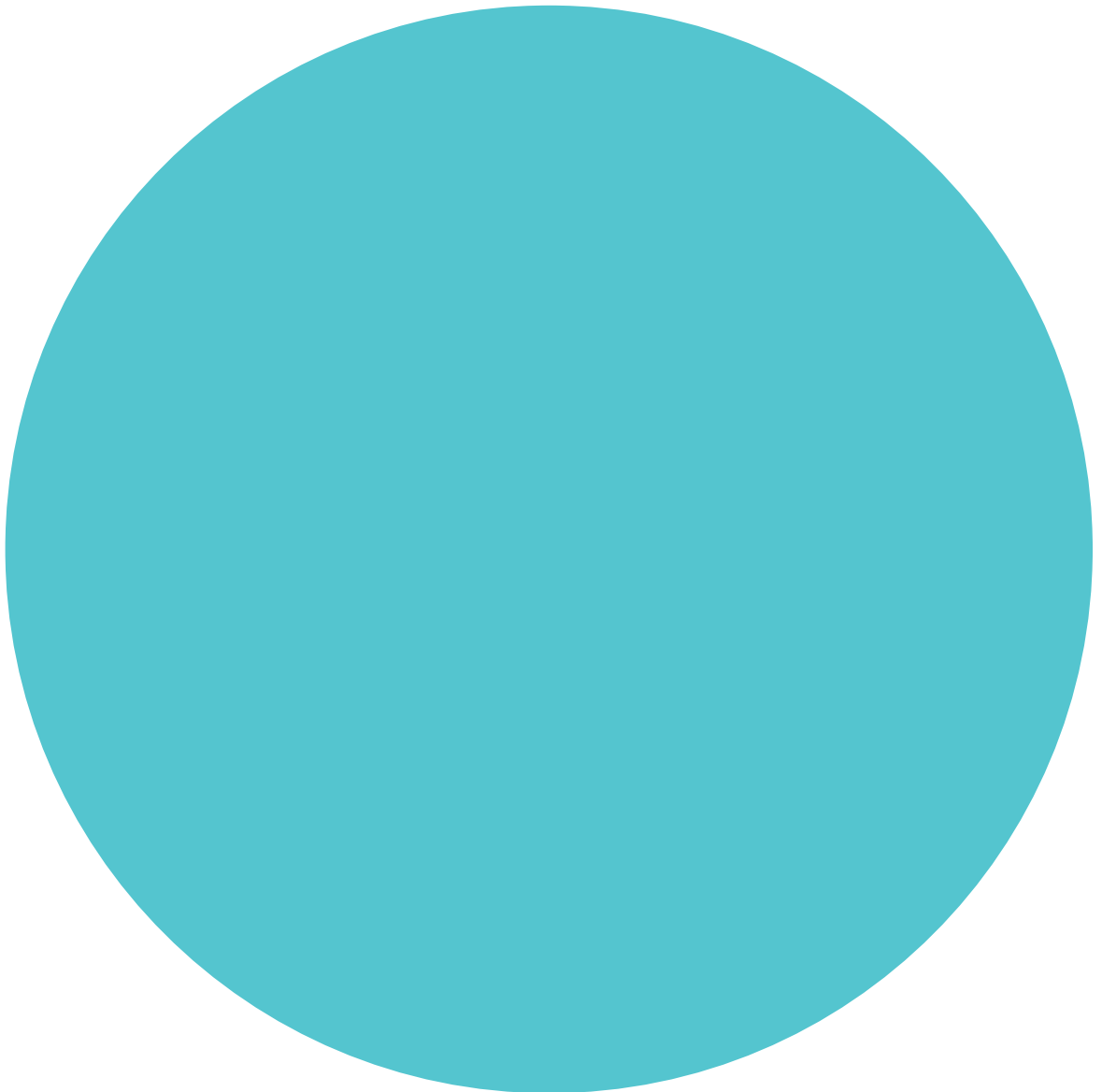
Radim Tolasz – Radek Čekal – Anna Lamačová – Hana Škáchová

17 Tornado in South Moravia June 24, 2021

Petr Münster

25 Hydrological ensemble forecasts used in the HEC-HMS rainfall-runoff model

Alena Kamínková – Ondřej Kosík – Veronika Šustková



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

EDITORIAL

75.
ročník
časopisu

Vážení přátelé Meteorologických zpráv,

společně jsme otevřeli první číslo 75. ročníku našeho odborného časopisu o meteorologii, klimatologii, hydrologii a o kvalitě ovzduší. Popularizace věd není jednoduchá disciplína a ne každý vědec je schopen a ochoten se popularizaci věnovat. Meteorologické zprávy jsou dnes volně dostupné ke stažení. Pro autory odborných článků je psaní pro takto širokou veřejnost velkou výzvou. Zároveň jsme v roce 2021 publikovali i více popisných nebo přehledových článků, které nepřinášejí vědu, ale jen informace. Slovní spojení „jen informace“ je protimluv, protože právě dostupnost kvalitních informací je nutným předpokladem pro správná rozhodnutí.

Dnes a denně každý z nás rozhoduje. Někdo jen za sebe, někdo svým rozhodnutím ovlivňuje mnohé z nás. Bez kvalitních informací je takové rozhodování problematické. Začtème se do prvního článku tohoto ročníku, který je přehledem významných událostí a naměřených hodnot v roce 2021 u nás. Už jsme si zvykli, že i v průběhu jen pár dní se naše plány mohou, a někdy i musí, úplně změnit. Naše rozhodování bývá často ovlivněno předpovědí počasí, množstvím vody v řekách nebo rozptýlovými podmínkami. Nemůžete si vzpomenout, jaké horké vlny nebo přívalové srážky se u nás vyskytovaly v roce 2015? Stáhněte si jeden ze starších přehledových článků, které v Meteorologických zprávách vychází pravidelně v prvním čísle každého ročníku již od roku 2008, a získáte informace z první ruky. Na rok 2021 však asi nikdo nezapomene a nadlouho si uchováme v paměti „břeclavské tornádo“. Petr Münster s kolegy připravili celkové vyhodnocení všech dostupných informací, které s tornádem síly F4 nějak souvisí – podmínky pro jeho vznik, vydané předpovědi, možnosti sledování tornáda dostupnými metodami dálkové detekce, popis škod i možnosti nějakého poučení do budoucna. Druhý článek v tomto čísle je stručným přehledem těchto informací. Informace to jsou více než zajímavé, podobně však už do Meteorologických zpráv dávat nechceme. Alena Kamínková, Ondřej Kosík a Veronika Šustková nám ve třetím článku ukazují, že předpovídat množství vody, které poteče v našich řekách zítra nebo pozítří, není úplně triviální



disciplína. Je to totiž informace postavená na kaskádě minimálně dvou předpovědí – podle předpovědi srážek v povodí je předpovídáno množství vody v řekách. Pomiňme teď předpověď zamrznání toků v zimě, nebo ucpání průtočného profilu materiálem, který velká voda v řekách unáší. Dobře připravená předpověď průtoků, je v tomto případě kombinace informací z různých oborů, které spolu v ČHMÚ dlouhodobě spolupracují. V Meteorologických zprávách se snažíme přinášet i informace aktuální, které budou odborníci teprve podrobně zpracovávat. Pravděpodobně nás všechny zaujala tlaková vlna, která od 15. ledna 2022 po sopečné erupci Hunga Tongy několikrát obletěla zeměkoulí. Že jsme tuto tlakovou vlnu zaznamenali i na meteorologických stanicích v Česku, si můžeme přečíst v informaci od Davida Rývy.

Důležitost informací jsem zmínil hned v úvodu mého zamyšlení na úvod ročníku s pěkně kulatou číslovkou. Meteorologické zprávy jsou již 75 let partnerem pro všechny, kdo informace potřebují. Věřím, že tomu tak bude nejen v roce 2022, ale i v letech dalších.

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D.
šéfredaktor časopisu

Rok 2021 v Česku

Year 2021 in Czechia

Radim Tolasz

Český hydrometeorologický ústav
K Myslivně 3/2182, 708 00 Ostrava-Poruba
✉ radim.tolasz@chmi.cz

Radek Čekal

Český hydrometeorologický ústav
oddělení hydrologických předpovědí
Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany
✉ radek.cekal@chmi.cz

Anna Lamačová

Český hydrometeorologický ústav
oddělení podzemních vod
Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany
✉ anna.lamacova@chmi.cz

Hana Škáchová

Český hydrometeorologický ústav
oddělení informačních systémů kvality ovzduší
Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany
✉ hana.skachova@chmi.cz

The article summarizes main events in months of 2021 in meteorology, climatology, hydrology and air quality. The average annual temperature of 8.0 °C with deviation of +0.1 °C above the 1981–2010 normal (and +0.5 °C from 1961–1990 normal) classifies the year as temperature normal. The annual precipitation of 684 mm classifies the year as normal compared to both the 1961–1990 and 1981–2010 normals. The highest and lowest temperatures, significant precipitation events and, where applicable, higher wind speeds and snowfall and groundwater characteristics are presented for each month. If a level of flood activity in Czechia was reached, it is also listed in the overview. Concerning the air quality, pollution exceeding limit values for human health protection, and smog situation announcement are listed. During the year, very good to good air quality prevailed and, compared to the ten-year average of 2011–2020, standard dispersion conditions prevailed. Only one smog situation was announced due to high PM₁₀ concentrations.

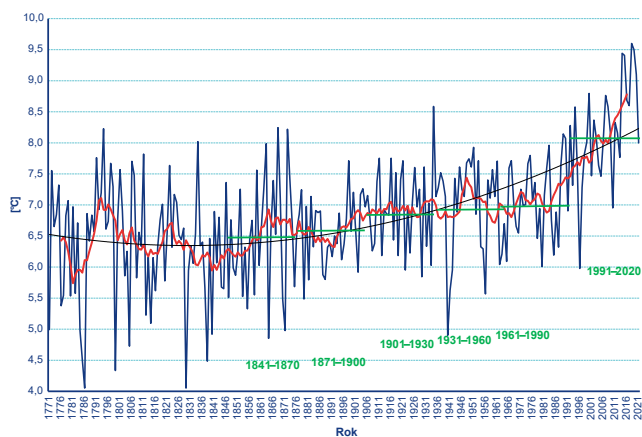
KLÍČOVÁ SLOVA: počasí – charakteristiky – povodeň – sucho – voda podzemní – kvalita ovzduší – Česko – 2021

KEYWORDS: weather – characteristics – floods – drought – groundwater – air quality – Czechia – 2021

1. Úvod

Rok 2021 byl s průměrnou teplotou 8,0 °C a s odchylkou +0,1 °C od normálu 1981–2010 (+0,5 °C od normálu

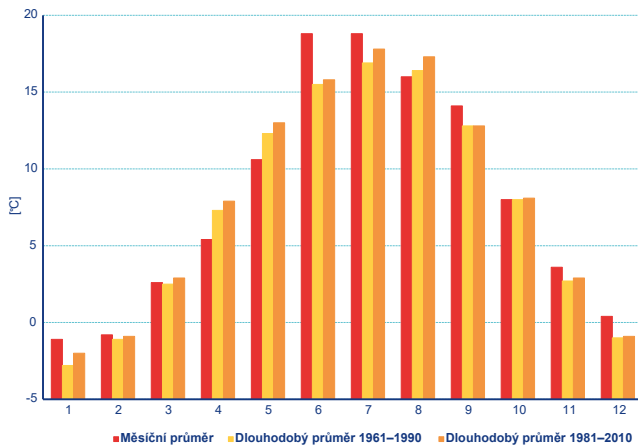
1961–1990 a –0,4 °C od připravovaného normálu za období 1991–2020) normální¹, roky 2019, 2018, 2015 a 2014 byly mimořádně nadnormální, rok 2020 silně nadnormální a rok 2016 nadnormální (obr. 1). Od posledního teplotně normálního roku 2013 s průměrnou teplotou 7,9 °C jsme tedy zaznamenali sedm let charakterizovaných různými stupni odchylky nad průměrem. Teplotní odchylka od normálu 1981–2010 v jednotlivých měsících (obr. 2) kolísala od +3,0 °C v červnu, teplotně silně nadnormální měsíc, až po –2,5 °C v dubnu, který tak byl měsícem teplotně silně podnormálním. V průběhu roku byla většina měsíců (leden, únor, březen, červenec, říjen, listopad a prosinec) teplotně normální. Zářij bylo teplotně nadnormální, srpen podnormální, duben a květen silně podnormální. Roční srážkový úhrn 678 mm řadí rok mezi roky srážkově normální (normál za období 1981–2010 je v Česku 686 mm). Nejvíce srážek, v průměru 107 mm, což bylo 122 % normálu, napadlo v Česku v červenci a nejméně, v průměru jen 19 mm, to je 44 % normálu, v říjnu. Červenec je i tak klasifikován jako měsíc srážkově normální, stejně jako dalších šest měsíců (leden, únor, duben, červen, listopad a prosinec). Nadnormální úhrn srážek byl zaznamenán jen v květnu a srpnu, srážkově podnormální byl březen a říjen, září bylo srážkově silně podnormální. (obr. 3). V průběhu roku bylo vydáno 148 výstrah a 54 informací o výskytu nebezpečného jevu.



Obr. 1 Průměrná roční teplota vzduchu v Česku od roku 1771 proložená 11letým klouzavým průměrem (červeně) a polynomem druhého stupně. Vložené úsečky (zeleně) ukazují 30leté průměry za jednotlivá normálová období od roku 1841. Historická data podle práce Štěpánek, 2005.

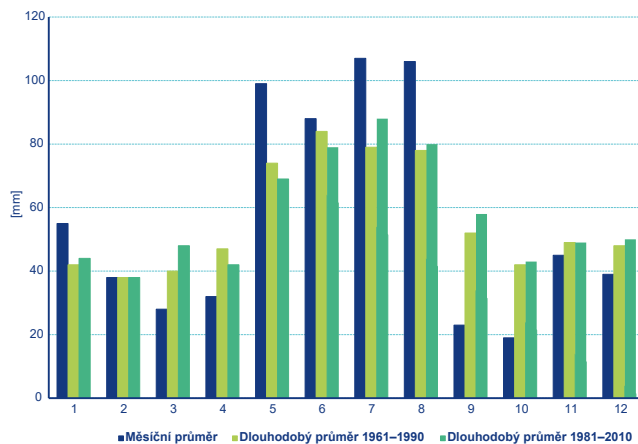
Fig. 1. Annual average of temperature since 1771 for Czechia with an 11-year moving average (red) and polynomial trend. The inset lines show the 30-year averages for each normal period since 1841 (green). Historical data see Štěpánek, 2005.

¹ Hranice intervalů pro hodnocení normálnosti územní teploty vzduchu a srážek byly vypočteny z územních průměrů teploty vzduchu a srážek na území Česka takto – mimořádně podnormální (<Q₂), silně podnormální (Q₂ až Q₁₀), podnormální (Q₁₀ až Q₂₅), normální (Q₂₅ až Q₇₅), nadnormální (Q₇₅ až Q₉₀), silně nadnormální (Q₉₀ až Q₉₈), mimořádně nadnormální (>Q₉₈), kde Q je příslušný kvantil.



Obr. 2 Roční chod teploty vzduchu v roce 2021 ve srovnání s dlouhodobými průměry za období 1961–1990 a 1981–2010 (plošné průměry teploty pro území Česka).

Fig. 2. The annual variation of air temperature in 2021 in comparison to long term averages for 1961–1990 and 1981–2010 periods (spatial air temperature averages for Czechia).



Obr. 3 Roční chod srážek v roce 2021 ve srovnání s dlouhodobými průměry za období 1961–1990 a 1981–2010 (plošné úhrny srážek pro území Česka).

Fig. 3. The annual variation of precipitation in 2021 in comparison to long term averages for period 1961–1990 and 1981–2010 (spatial precipitation totals averages for Czechia).

Z odtokového hlediska byl rok 2021 celkově relativně průměrný, a to ve většině hlavních sledovaných povodích. Celkově nejmenší průtoky byly zaznamenány v povodí Labe (86 %), naopak celkově mírně nadprůměrné, či průměrné, průtoky byly v povodích Olše (105 %) a Dyje (103 %). Z odtokového hlediska byl rok 2021 také vyhodnocen jako značně rozdílný, a to jak v jednotlivých hlavních povodích, tak zejména z pohledu hodnocení během roku. První dva měsíce roku, s výjimkou povodí Vltavy a Labe v lednu, byly ve zbývajících hlavních povodích průtokově nadprůměrné, průtoky dosahovaly převážně 1,5násobku dlouhodobých průměrů pro tyto měsíce. Naproti tomu březen a duben, s výjimkou Olše v dubnu, byly průtokově podprůměrné. V květnu byly průtoky v hlavních povodích díky povodňové epizodě nadprůměrné (120–190 %). Následující měsíce již byly převážně ve znamení podprůměrných průtoků, přerušených výskytem povodňových událostí. Největší hodnoty průměrných měsíčních průtoků u hlavních povodí byly zaznamenány v únoru v povodí Dyje (280 % Q_{II}) a v červenci v povodí Vltavy (214 % Q_{VII}). Naopak nejmenší průměrné

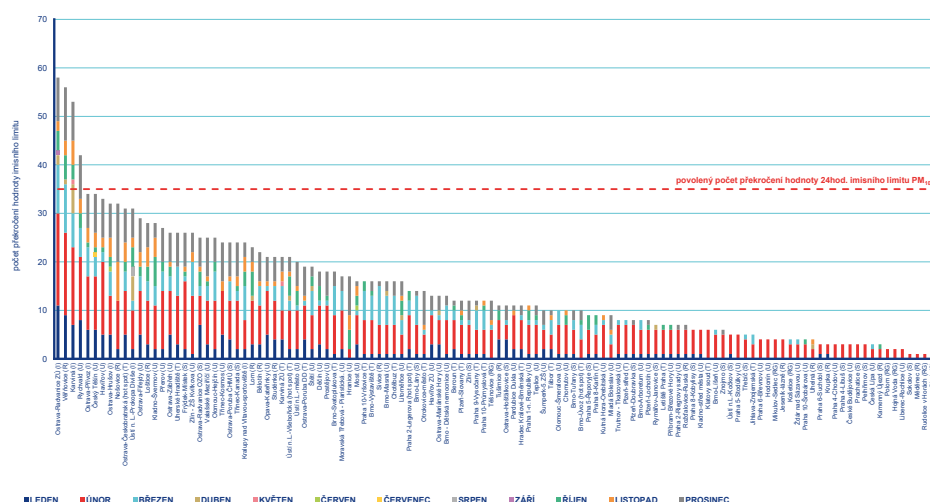
měsíční průtoky byly v červenci v povodí Olše (30 %) a Odry (33 %). Z hlediska počtu operativních hydrologických profilů, u nichž byl v roce 2021 indikován stav hydrologického sucha (to je průtok, který je v daném profilu dosažen nebo překročen průměrně 355 dní v roce), byl jako hydrologicky nejušší vyhodnocen přelom měsíců říjen a listopad. Největší podíl profilů (23 % všech hlásných profilů) indikující hydrologické sucha byl zaznamenán 31. října, přičemž nejvíce profilů pod úrovní hydrologického sucha Q_{355d} bylo v povodí Moravy po Dyji (51 %). Oproti předchozímu roku 2020 byl počet profilů s indikací hydrologického sucha v průběhu celého roku 2021, s výjimkou měsíců říjen a listopad, celkově výrazně nižší. V roce 2021, s výjimkou března, října a listopadu, se v každém měsíci vyskytla odtoková událost s dosažením některého ze stupňů povodňové aktivity (SPA²). Významnější odtokové události vzhledem k velikosti kulminačních průtoků byly v květnu, červnu a červenci, z hlediska velikosti zasaženého území pak zejména v červenci a květnu. Největší kulminační průtok, z hlediska doby opakování, byl v roce 2021 zaznamenán při povodňové epizodě od 11. do 15. května, kdy srážky vypadávaly na většině území. Největší vzestupy hladin způsobily vydatné lokální srážky dne 13. května na Hvozdnici v Jakartovicích, hodnota kulminačního průtoky zde dosahovala doby opakování 100 let. Vzestupy hladin byly výrazné i v řadě dalších profilů, avšak s kulminacemi na úrovni doby opakování ca 2 roky. Odtokové situace s překročením 3. SPA se v roce 2021, kromě povodňové epizody v květnu, vyskytly také v následujících měsících červnu, červenci a srpnu. Největší kulminační průtoky z hlediska doby opakování byly dosaženy 14. července na Brzině v profilu Hrachov a 18. července na Svitávce v Zákupech (v obou případech doba opakování 20 let). Stav podzemní vody v mělkém oběhu byl v roce 2021 celkově normální³. Ročního silně nadnormálního maxima dosáhla hladina v únoru, kdy byla silně nebo mimořádně nadnormální u 41 % vrtů. Poté následoval pokles do dubna na normální roční minimum. S výjimkou mírně nadnormálního stavu v květnu a červenci, byla po zbytek roku hladina normální. Situace však byla regionálně odlišná. Zatímco na západě a severozápadě republiky na začátku roku přetrvávalo místo až mimořádné sucha (povodí Ohře a dolního Labe), na Moravě byl stav mírně až silně nadnormální. K výraznému zlepšení na západě republiky došlo v červenci, kdy povodí Berounky dosáhlo mimořádně nadnormálního stavu a povodí Ohře a dolního Labe mírně nadnormálního stavu. Stav na Moravě se naopak ze silně až mimořádně nadnormálního únorového ročního maxima zhoršil na normální a tak setrval po většinu roku. Vydatnost pramenů byla rovněž celkově normální a roční chod měl podobný průběh jako v případě

² Stupeň povodňové aktivity vyjadřuje míru povodňového nebezpečí. 1. stupeň – bdělost – nastává při nebezpečí přirozené povodně a zaniká, pomínou-li příčiny takového nebezpečí. 2. stupeň – pohotovost – vyhláší příslušný povodňový orgán, když nebezpečí povodně přerůstá v povodeň a v době povodně, když však ještě nedochází k větším rozlívům a škodám mimo koryto. 3. stupeň – ohrožení – vyhláší příslušný povodňový orgán v době povodně při bezprostředním nebezpečí nebo při vzniku větších škod, ohrožení majetku a životů v záplavovém území.

³ Stav hladiny v mělkých i hlubokých vrtech, stejně jako vydatnost pramenů, jsou hodnoceny pomocí indexu SGI (Vlnas 2015), kdy je empirická měsíční křivka překročení (KP_m) aproximována teoretickou distribuční funkcí. Kategorie stavu podzemních vod: mimořádně, silně, mírně podnormální, normální, mírně, silně, mimořádně nadnormální jsou vymezeny pravděpodobností překročení 95, 85, 75, 25, 15 a 5 %. Hodnocení je prováděno pro jednotlivé objekty a souhrnně pro dílčí povodí, resp. skupiny hydrogeologických rajonů a je vztaženo k referenčnímu období 1981–2010.

mělkých vrtů. Mírně nadnormální maximum nastalo v únoru, poté se vydatnost zmenšovala, až dosáhla silně podnormálního ročního minima v dubnu, kdy 33 % pramenů mělo silně nebo mimořádně podnormální vydatnost. U hlubokých vrtů na části území Čech v menší míře pokračovalo sucho z předcházejícího roku. Hladina některých částí skupin hydrogeologických rajonů v Čechách byla po většinu roku silně nebo mimořádně podnormální. Nejvíce byla suchem postižená oblast severočeské křídly (oblast mezi Jizerou a dolním Labem), kde po celý rok s výjimkou mírně podnormálního stavu v červenci byl stav silně až mimořádně podnormální. Naopak stav hlubokých zvodní ve východních Čechách a na Moravě byl na začátku roku převážně silně nadnormální a v únoru byl stav většiny moravského terciéru dokonce mimořádně nadnormální. Stav hlubokých zvodní ve východočeské křídle, permokarbonský východních Čech a moravského terciéru byl od dubna do konce roku převážně normální až mírně nadnormální.

V článku je uvedeno i předběžné hodnocení kvality ovzduší v roce 2021 v návaznosti na meteorologické a rozptylové podmínky v ovzduší. Znečištění venkovního ovzduší suspendovanými částicemi frakce PM_{10} a $PM_{2,5}$, benzo[a]pyrenem a přízemním ozonem (O_3) představuje hlavní problémy kvality ovzduší Česka. Úroveň znečištění závisí nejen na množství emisí, ale i na převažujících meteorologických a rozptylových podmínkách v daném roce. Vzhledem k procesu získání a zpracování odebraných vzorků je do článku zahrnuto pouze hodnocení suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$, přízemního ozonu (O_3), oxidu dusičitého (NO_2) a oxidu siřičitého (SO_2). Ve všech případech se jedná o neverifikovaná data ze stanic automatizovaného imisního monitoringu (AIM) ČHMÚ a dalších dodavatelů imisních dat. Zároveň se jedná o stanice, které měřily celý rok a pro které jsou data dostupná každý měsíc. Do článku je zahrnut i index kvality ovzduší (IKO), který podává souhrnnou informaci o kvalitě ovzduší na konkrétní měřící stanici⁴. IKO byl navržen Úsekem kvality ovzduší ČHMÚ ve spolupráci se Státním zdravotním ústavem (SZÚ) a jeho výpočet je založen na vyhodnocení 3hodinových klouzavých koncentrací SO_2 , NO_2 a PM_{10} současně. V letním období (1. dubna až 30. září) do výpočtu vstupují navíc 3hodinové klouzavé koncentrace O_3 . Dále jsou v článku hodnoceny i rozptylové podmínky vyjádřené pomocí ventilačního indexu⁵. Verifikované koncentrace naměřené na stanicích AIM a koncentrace naměřené na manuálních stanicích budou vyhodnoceny až v rámci tabulární a grafické ročenky ČHMÚ, která vychází vždy ve druhé polovině následujícího roku.



Obr. 4 Počet dnů, kdy průměrná denní koncentrace PM_{10} překročila hodnotu svého imisního limitu ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) na stanicích AIM, 2021.

Fig. 4. Number of days when the average daily concentration of PM_{10} exceeded the value of its limit ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) at the AIM stations, 2021.

V jednotlivých regionech převládala v roce 2021 velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší, nejčastěji v Jihomoravském kraji bez aglomerace Brno. Naopak přijatelná až zhoršená až špatná kvalita byla nejčastěji zaznamenána v aglomeraci O/K/F-M⁶. V porovnání s desetiletým průměrem 2011–2020 panovaly v roce 2021 standardní rozptylové podmínky. Dobré rozptylové podmínky, vyjádřené pomocí ventilačního indexu byly v roce 2021 zaznamenány ve 300 dnech (82 %), mírně nepříznivé rozptylové podmínky v 61 dnech (17 %) a nepříznivé rozptylové podmínky ve čtyřech dnech (1 %). Denní imisní limit PM_{10} byl v roce 2021 překročen na čtyřech stanicích ze 117 (obr. 4), přičemž na počtu překročení hodnoty imisního limitu⁷ se nejvíce podílel měsíc únor. Maximální povolený počet překročení ($25\times$ v průměru za tři roky) hodnoty imisního limitu⁸ pro maximální denní 8hodinovou koncentraci O_3 ($120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byl překročen na šesti stanicích z 68 (obr. 5). S koncem roku je možné vyhodnotit i překročení ročních imisních limitů⁹, a to pro průměrnou roční koncentraci suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ a NO_2 . Na základě neverifikovaných dat ze stanic automatizovaného imisního monitoringu ČHMÚ a dalších dodavatelů imisních dat lze konstatovat, že imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM_{10} nebyl překročen na žádné ze 128 stanic AIM,

⁶ Aglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek

⁷ Hodnota imisního limitu pro průměrnou 24hodinovou koncentraci PM_{10} je dle zákona o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. v platném znění $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Legislativa připouští na dané lokalitě maximálně 35 překročení hodnoty imisního limitu za rok, při vyšším počtu je denní imisní limit považován za překročený.

⁸ Hodnota imisního limitu pro maximální denní 8hodinovou průměrnou koncentraci O_3 je dle zákona o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. v platném znění $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Legislativa připouští na dané lokalitě v průměru za tři roky maximálně 25 překročení hodnoty imisního limitu za rok, při vyšším počtu je imisní limit (max. denní 8hod. průměrná koncentrace) považován za překročený.

⁹ Hodnota imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci PM_{10} je $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; hodnota imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci $PM_{2,5}$ je $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (do roku 2019 byl imisní limit $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$); hodnota imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci NO_2 je $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (vše dle zákona o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. v platném znění).

⁴ http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/actual_3hour_data_CZ.html

⁵ Jedním ze způsobů číselného vyjádření rozptylových podmínek je ventilační index, který je definován jako součin výšky směšovací vrstvy a průměrné rychlosti větru uvnitř směšovací vrstvy (http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/mes_zpravy/mesprehledy.html#ventindex).

příčemž nejvyšší roční průměrná koncentrace $34,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ byla naměřena na průmyslové stanici Ostrava-Radvanice ZÚ. Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci $\text{PM}_{2,5}$ byl překročen na deseti stanicích z 87 stanic AIM (obr. 6). Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci NO_2 nebyl překročen na žádné stanici z 98, příčemž nejvyšší koncentrace $35,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ byla dosažena na dopravní stanici Brno-Úvoz (hot spot). V roce 2021 byla 27. až 29. prosince vyhlášena jediná smogová situace, a to v aglomeraci O/K/F-M bez Třinecka z důvodu vysokých koncentrací PM_{10} . Do 11. dubna byl v důsledku šíření nového typu koronavirového viru SARS-COV-2 vyhlášen nouzový stav. Hodnocení kvality ovzduší v tomto období je k dispozici v Příloze II ¹⁰ ročenky Znečištění ovzduší na území ČR v roce 2020 (ČHMÚ 2021).

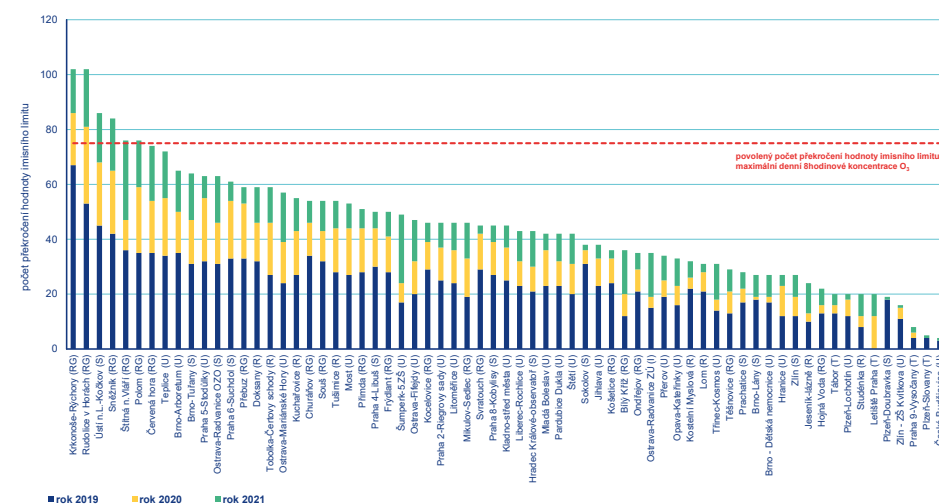
2. Situace v jednotlivých měsících

Leden

Na konci předchozího roku se pozvolna začalo ochlazovat, nástup zimy se sněžením a celodenním mrazem alespoň na horách však byl zaznamenán až na začátku ledna. Nejvíce nového sněhu v lednu napadlo na horských stanicích 16. ledna (tab. 6), sněhová pokrývka se na Labské boudě (okres Trutnov)¹¹ dostala přes 1 m (120 cm), maxima však bylo dosaženo s výškou 146 cm až 31. ledna. Na Sněžce byla 17. ledna zaznamenána nejvyšší rychlost větru $42,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejnižší minimální teplota měsíce byla naměřena 18. ledna $-27 \text{ }^\circ\text{C}$ na stanici Orlické

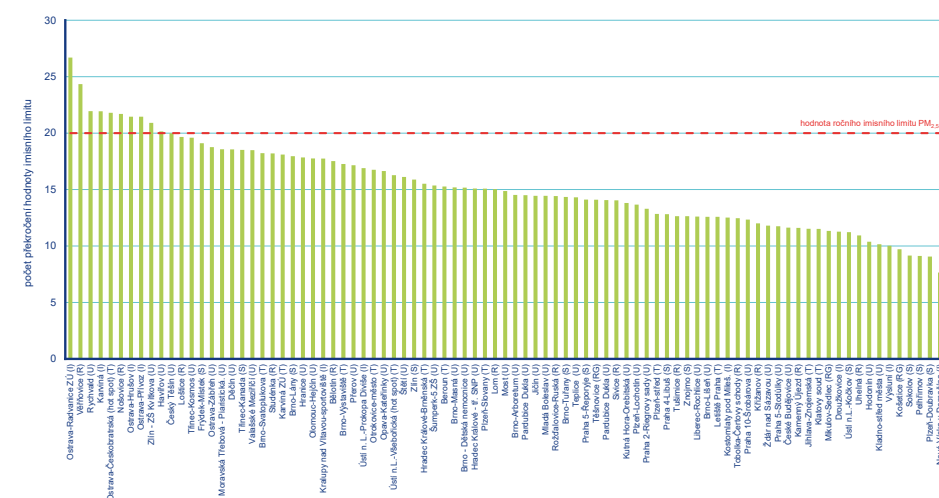
Záhoří (okres Rychnov nad Kněžnou). Ve druhé polovině ledna se významně oteplilo a 22. ledna přesahovala maximální teplota na mnoha stanicích $12 \text{ }^\circ\text{C}$, nejvyšší lednová hodnota $14,7 \text{ }^\circ\text{C}$ byla v tento den zaznamenána v Dobřichovicích (okres Praha-západ). Nejvyšší úhrn srážek v měsíci $43,8 \text{ mm}$ byl naměřen 29. ledna v Prášílech (okres Klatovy).

Z hlediska odtoku byl leden v povodí Labe a Vltavy celkově podprůměrným měsícem, zatímco v povodí Odry, Moravy a Dyje převládaly nadprůměrné hodnoty. Z hlavních povodí nejvíce vody odtéklo Odrou (155 % Q_j), nejméně Labem (57 % Q_j). Hladiny sledovaných toků byly v průběhu měsíce téměř setrvalé, nebo jen slabě kolísaly. K vzestupům vodních hladin v důsledku tání sněhové pokrývky a dešťových srážek došlo až na začátku třetí dekády měsíce. Na Bystřičce, Vsetínské Bečvě a Tiché Orlici byl 23. až 24. ledna dosažen 1. SPA. Zvýšené průtoky se na menších tocích udržovaly v důsledku tání sněhu a srážek až do konce ledna, kdy 30 až 31. byl překročen 1. SPA na tocích odvodňujících Šumavu a Českomoravskou vrchovinu, také v povodí Berounky a Dyje (Holoubkovský potok, Botič, Doubrava, Svatka, Jevíčka, Želetavka, Klabava, Berounka, Novohradka, Skalice, Šlapanka a Dyje). Stav podzemní vody v mělkých vrtech a u pramenů



Obr. 5 Počet dnů, kdy maximální denní 8hodinová koncentrace O_3 překročila hodnotu imisního limitu ($120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) na stanicích AIM, 2019–2021.

Fig. 5. Number of days when the daily maximum 8-hour O_3 concentration exceeded the limit ($120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) at AIM stations, 2019–2021.



Obr. 6 Roční průměrná koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ na stanicích AIM, rok 2021.

Fig. 6. Annual average concentrations of $\text{PM}_{2,5}$ at the AIM stations, 2021.

¹¹ Pojmenování a názvy měřicích stanic a lokalit podléhá v každém oboru vlastním pravidlům. V článku jsou vždy použity názvy podle dané oborové databáze, což může působit nesourodě, ale je to formálně správné. První výskyt stanice v textu je navíc pro snadnější orientaci doplněn okresem, není-li stanice v okresním městě nebo na obecně známém místě. Pro hydrologické profily je lokalizace na vodním toku dostatečná. Stanice čistoty ovzduší mají při prvním výskytu uvedeno i zařazení k typu stanic.

¹⁰ https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/20_priloha_II_v2.pdf

byl v lednu celkově normální. Situace však byla regionálně velmi odlišná. Na severozápadě v povodí Ohře a dolního Labe byl stav mělkých vrtů mimořádně podnormální, silně, nebo mimořádně podnormální hladiny zde dosahovalo 42 % vrtů. Na Moravě naopak převládala silně nadnormální stav, v povodí Moravy mělo silně nebo mimořádně nadnormální hladinu 66 % mělkých vrtů. Vydatnost pramenů byla mimořádně podnormální v povodí Berounky a Ohře a dolního Labe a silně podnormální v povodí horního a středního Labe, zatímco na Moravě byla vydatnost převážně mírně nadnormální a v povodí Dyje dokonce silně nadnormální. V hlubokých zvodních na většině území Čech převažovalo sucho, severočeská křída byla mimořádně podnormální. Naopak ve východních Čechách a na Moravě byl stav hlubokých zvodní východočeské křidy, permokarbonu východních Čech a moravského terciéru převážně silně nadnormální.

Na měřicích stanicích byla během ledna zaznamenána převážně velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší. Na městských a předměstských stanicích se velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší vyskytovala nejčastěji v Libereckém kraji, na venkovských stanicích pak v krajích Jihočeském, Královéhradeckém a Vysočina. Přijatelná a zhoršená až špatná kvalita ovzduší byla nejčastěji zaznamenána na stanicích v Moravskoslezském kraji. Rozptylové podmínky byly v lednu, v porovnání s desetiletým průměrem 2011–2020, standardní. Hodnota denního imisního limitu PM_{10} ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla překročena na 85 stanicích ze 121. Povolný počet překročení ($35\times$), a tedy ani denní imisní limit pro PM_{10} nebyl na konci ledna překročen na žádné stanici. Nejvyšší průměrné denní koncentrace PM_{10} ($163 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i $PM_{2,5}$ ($152 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byly naměřeny 3. ledna na dopravní stanici Ostrava-Českokobratrská (hot spot). Celorepublikový měsíční průměr koncentrací PM_{10} dosáhl v lednu nejnižší hodnoty za hodnocené období 2011–2021, průměr koncentrací $PM_{2,5}$ pak druhé nejnižší hodnoty.

Únor

Ve všech horských oblastech dosahovala sněhová pokrývka hodnot, které nebyly v této části zimy mimo Krkonoše zaznamenány několik let. Teplejší dny však zvláště v podhůřích způsobily výrazné odtávání sněhové pokrývky. 3. února byly naměřeny nejvyšší únorové úhrny srážek na Labské boudě (42,0 mm) a v Peci pod Sněžkou (41,2 mm) v okrese Trutnov a zároveň byla na Sněžce v tento den zaznamenána nejvyšší rychlost větru $44,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Na konci první dekády se na většině stanic sítě ČHMÚ vyskytla ledovka, sněžení a nastalo více než týdenní období celodenních mrazů. Zároveň byl v těchto dnech v Česku výrazný teplotní kontrast mezi severní a jižní částí území. Na severu území byly teploty kolem $-15 \text{ }^\circ\text{C}$, na jihu až $+5 \text{ }^\circ\text{C}$. Nejchladnějším dnem v roce podle průměrné denní teploty na všech stanicích mimo mrazové kotliny byl 12. únor s průměrem $-10,9 \text{ }^\circ\text{C}$. V těchto dnech od 12. do 15. února právě v mrazových kotlinách klesala minimální teplota pod $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ (tab. 2). Nejvyšší výška sněhové pokrývky v měsíci (163 cm) byla zaznamenána 18. února na Labské boudě. V poslední dekádě února maximální teplota v jižních Čechách a na severu Moravy přesahovala $20 \text{ }^\circ\text{C}$, nejvyšší maximální denní teplota $20,7 \text{ }^\circ\text{C}$ byla zaznamenána 24. února ve Vidnavě (okres Jeseník).

Měsíc únor byl z hlediska odtoku mírně nadprůměrným měsícem na celém území. Vzhledem k dlouhodobým únorovým normálům byly průměrné měsíční průtoky ve všech povodích nadprůměrné, nejčastěji v rozmezí 1 až 2násobku Q_{II} . Z hlavních povodí nejvíce vody odteklo Dyjí (280 % Q_{II}) a nejméně Labem (152 % Q_{II}). Výrazně nadprůměrných hodnot průtoky

dosahovaly na počátku měsíce, většinou 1,5 až 3násobku Q_{II} , místy v povodí Ohře 4,5násobku Q_{II} a v povodí Odry až 5násobku Q_{II} . Hladiny většiny vodních toků na našem území byly na počátku měsíce na poklesu, avšak hned v polovině prvního únorového týdne (3. až 5. února) došlo k rychlým vzestupům v závislosti na oblevě a vydatných dešťových srážkách. V povodí horního Labe ve dnech 4. a 5. února vystoupala nad úroveň 1. SPA hladina Metuje, dále místy hladiny toků v povodí Orlice. 1. SPA byly také dosaženy v povodí Loučné, Chrudimky, Doubravy, Cidlina, Mrliny, Jizeře a na Labi v Kostelci nad Labem, shodně při Q_{2} . Nad úroveň 2. SPA kulminovala 5. února hladina Tiché Orlice v Čermné nad Orlicí při Q_{2} . V povodí Vltavy již 3. února večer kulminovala nad úroveň 2. SPA Otava v Rejštejně při Q_{2} a dále byly dosaženy 1. SPA na Křemelné, Otavě a na Klabavě. Nad úroveň 1. SPA kulminovala během 4. a 5. února také Blanice, Skalice a toky na řadě profilů v povodí Lužnice, Sázavy a Berounky. Dvouletý průtok byl dosažen na Hamerském potoce v povodí Nežárky v Oldřiši a na Hamerském potoce v povodí Mže v Plané. Úroveň 2. SPA byla kromě Otavy v Sušici překročena také na Černovickém potoce v Tučapech a na Střeje v Plasech (Q_{2}). V povodí dolního Labe a Ohře byl 4. února překročen 2. SPA na Teplé v Tepličce a pod VD Březová (shodně při Q_{5}) a na Ohři pod VD Skalka (Q_{2}). 1. SPA byl dále překročen na dalších profilech v povodí Ohře, Ploučnici, Kamenice a na Labi v Ústí nad Labem a Děčíně (vše při Q_{2}). V povodí Odry nejvýrazněji na počátku měsíce stoupaly toky v české části povodí. Hladina Mandavy kulminovala 4. února nad úroveň 1. SPA (při Q_{2}). V povodí Moravy hladina Moravské Sázavy v Lupěném a Moravy v Moravičanech kulminovala 4., respektive 5. února nad úroveň 2. SPA, shodně při Q_{2} . Úroveň 2. SPA byla také překročena 4. února na Moravské Dyji v Janově (Q_{2}). Dále byly na řadě profilů v povodí horní a střední Moravy, horní Dyje a v povodí horní Svratky a Jihlavy překročeny 1. SPA. Vlivem zvýšení odtoku na Velké Stanovnici v povodí horní Bečvy byl 9. února krátkodobě překročen 2. SPA v profilu Karolinka pod nádrží. Již na konci prvního únorového týdne byly toky vlivem postupného ochlazování a ustávání srážkové činnosti opět na poklesu. Převažovaly výrazné poklesy hladin po povodňové epizodě a na zasažených tocích se ojedinele i nadále udržovaly klesající hladiny nad úroveň 1. SPA. V důsledku velmi silných mrazů docházelo k postupnému zamrzání hladin zejména menších toků ve všech povodích. V polovině měsíce tak bylo ovlivněno ledovými jevy přibližně na 35 % všech sledovaných stanic. Ovlivnění přetrvávalo ještě počátkem třetího týdne, ale v důsledku dalšího oteplení se na jeho konci zamrzlé toky téměř nevyskytovaly. Stav podzemní vody v únoru byl v mělkých vrtech a pramenech celkově silně, resp. mírně nadnormální a hladina i vydatnost dosáhla ročního maxima. V povodí Ohře a dolního Labe a Berounky se zlepšil stav hladiny na normální a na zbylém území byla hladina mírně až mimořádně nadnormální. V povodí Moravy dosahovalo dokonce 74 % mělkých vrtů silně nebo mimořádně nadnormální hladiny. Vydatnost pramenů v povodí Ohře a dolního Labe zůstala s 59 % pramenů se silně až mimořádně podnormální vydatností i v únoru celkově mimořádně podnormální. V povodí Berounky a horního a středního Labe byla vydatnost normální. Na zbylém území byla vydatnost silně až mimořádně nadnormální. Ke zlepšení stavu podzemní vody došlo i v hlubokých zvodních, stav severočeské křidy se zlepšil na silně podnormální, ve východních Čechách a na Moravě byla hladina mírně až mimořádně nadnormální (část moravského terciéru).

Na měřicích stanicích byla během února zaznamenána převážně velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší. Na městských a předměstských stanicích se velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší

vyskytovala nejčastěji v Karlovarském kraji, na venkovských stanicích pak v Jihočeském kraji. Přijatelná a zhoršená až špatná kvalita ovzduší byla nejčastěji zaznamenána na stanicích ve Zlínském kraji a v aglomeraci O/K/F-M. Rozptylové podmínky byly v únoru, v porovnání s desetiletým průměrem 2011–2020, zhoršené. Hodnota denního imisního limitu PM_{10} ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla v únoru překročena na 118 stanicích ze 120. Povolný počet překročení ($35\times$), a tedy ani denní imisní limit pro PM_{10} nebyl na konci února překročen na žádné stanici. Nejvyšší průměrná denní koncentrace PM_{10} ($220 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla naměřena dne 1. února na venkovské stanici Věřnovice (okres Karviná), nejvyšší průměrná denní koncentrace $PM_{2,5}$ ($156 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 10. února na městské stanici Týnec-Kosmos (okres Frýdek-Místek). Celorepublikový měsíční průměr koncentrací suspendovaných částic PM_{10} , resp. $PM_{2,5}$ dosáhl v únoru páté, resp. šesté nejnižší hodnoty za hodnocené období 2011–2020.

Březen

Nejdektivějším dnem měsíce byl 11. březen s nejvyšším úhrnem 33,2 mm v Bělé pod Pradědem na Červenohorském sedle (okres Jeseník) a nejvíce nového sněhu 18 cm napadlo 19. března v Hejnicích (okres Liberec) a na stanici Ktiš, Tisovka (okres Prachatice) a zároveň byla v tento den na Sněžce zaznamenána nejvyšší rychlost větru pro tento měsíc i rok $52,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Posledním arktickým dnem prvního pololetí (maximální denní teplota -10°C a méně) byl 20. březen na Sněžce ($-10,2^\circ\text{C}$). Nejnižší minimální teplota měsíce byla naměřena první jarní den 21. března $-24,6^\circ\text{C}$ na Kvildě-Perle (okres Prachatice). Výška sněhové pokrývky u nás dosahuje svoje maxima zpravidla na konci zimního období, což se v tomto roce potvrdilo v Krkonoších a Jizerských horách (tab. 5). Nejvyšší výška sněhu v roce (188 cm) byla zaznamenána 22. března na Labské boudě. Poslední březnový den byl s maximální teplotou $25,1^\circ\text{C}$ prvním letním dnem v roce na stanicích v Praze, Karlově a v Neumětělicích a zároveň dnem s nejvyšší naměřenou maximální teplotou v měsíci.

Měsíc březen byl z hlediska odtoku mírně podprůměrným měsícem. Průměrné měsíční průtoky byly vzhledem k dlouhodobým březnovým normálům ve všech povodích převážně podprůměrné, nejčastěji v rozmezí 35 až 90 % Q_{III} . Z hlavních povodí nejvíce vody oteklo Odrou (77 % Q_{III}) a nejméně Vltavou (58 % Q_{III}). Hladiny většiny vodních toků byly v průběhu března převážně setrvalé, či na poklesu. K mírnému kolísání docházelo opakovaně v průběhu celého měsíce na tocích odvodňujících horské oblasti vlivem odtávání sněhové pokrývky a občasných dešťových srážek, avšak bez dosažení SPA. Stav podzemní vody v mělkých vrtech a u pramenů byl v březnu celkově normální. Hladina na celém území klesala, nejvíce pak v povodí dolní Vltavy, kde výrazný pokles zaznamenalo 41 % vrtů. Na většině území, s výjimkou mírně nadnormální hladiny v povodí Moravy a mírně podnormální hladiny v povodí Ohře a dolního Labe, byla hladina normální. V povodí Ohře a dolního Labe se vydatnost zvětšila z mimořádně, na silně podnormální, na zbylém území převažovalo zmenšování vydatnosti. Nejvíce se vydatnost zmenšila v povodí dolní Vltavy, kde došlo k výraznému zmenšení u 50 % pramenů. Hladina podzemní vody v hlubokých vrtech převážně stagnovala, až mírně rostla (65 %). Oproti předcházejícímu měsíci se zlepšil stav části jihočeských pánví (z mimořádně na silně podnormální a z normálního na mírně nadnormální) a části podkrušnohorských pánví (z mimořádně, na mírně podnormální). Zhoršil se naopak stav části moravského terciéru (z mimořádně na mírně, resp. silně nadnormální).

Na měřicích stanicích byla během března zaznamenána převážně velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší. Na městských a předměstských stanicích se velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší vyskytovala nejčastěji v Karlovarském kraji, na venkovských stanicích pak v Jihočeském kraji. Přijatelná a zhoršená až špatná kvalita ovzduší byla nejčastěji zaznamenána na stanicích v aglomeracích Brno a O/K/F-M. Rozptylové podmínky byly v březnu, v porovnání s desetiletým průměrem 2011–2020, standardní. Hodnota denního imisního limitu PM_{10} ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla v březnu překročena na 80 stanicích ze 126. Povolný počet překročení ($35\times$) byl do konce března překročen na dvou stanicích (obě v aglomeraci O/K/F-M). Nejvyšší průměrná denní koncentrace PM_{10} ($117 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla naměřena 10. března na průmyslové stanici Brno-Zvonařka, nejvyšší průměrná denní koncentrace $PM_{2,5}$ ($83 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 9. března na venkovské stanici Věřnovice. Celorepublikový měsíční průměr koncentrací suspendovaných částic PM_{10} i $PM_{2,5}$ dosáhl v březnu čtvrté nejnižší hodnoty za hodnocené období 2011–2020.

Duben

Po velmi teplém posledním březnovém dni přesáhla maximální teplota hned 1. dubna na mnoha stanicích opět 25°C s nejvyšší hodnotou $26,6^\circ\text{C}$ ve Strážnici (okres Hodonín). Tato hodnota nebyla v průběhu dubna překonána. Na Sněžce byla 5. dubna zaznamenána nejvyšší rychlost větru $35,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejnižší minimální teploty byly zaznamenány 9. dubna v mrazových lokalitách Šumavy v okrese Klatovy (Rokytská slaf $-18,8^\circ\text{C}$, Březník $-18,1^\circ\text{C}$ a Kvilda-Perla $-18,0^\circ\text{C}$). Nejvyšší úhrn srážek v měsíci byl naměřen 13. dubna v Morávce, Lúčce (okres Frýdek-Místek) a 14. a 15. dubna se zima na horách ještě snažila dohnat zameškané a na Lysé hoře v Beskydech napadlo v tyto dva dny po sobě 36 a 42 cm nového sněhu a celková výška sněhu se za 4 dny od 13. do 17. dubna zvýšila z 56 cm o 105 cm na 161 cm. V nižších horských polohách sněhová pokrývka v těchto dnech rychle klesala, což vyvolalo odtokovou reakci na malých podhorských tocích.

Měsíc duben byl z hlediska odtoku podprůměrným měsícem ve většině hlavních povodí. Výjimkou bylo pouze povodí Olše a Odry. Průměrné měsíční průtoky většiny sledovaných vodních toků byly převážně v rozmezí 35 až 95 % Q_{IV} . Z hlavních povodí nejvíce vody oteklo Olší (121 % Q_{IV}) a nejméně Vltavou (35 % Q_{IV}). Menší hodnoty průtoků se obecně vyskytovaly do konce druhé dubnové dekády. Ty se pak vlivem srážek a odtávajícího sněhu z hřebenů hor zvýšily zejména v povodí Odry a Bečvy, kde v první polovině třetí dekády dosahovaly 2 až 3násobku Q_{IV} . Hladiny většiny vodních toků byly v průběhu měsíce převážně setrvalé nebo na slabém poklesu. K mírnému kolísání docházelo opakovaně v průběhu celého měsíce na tocích odvodňujících horské oblasti vlivem tání sněhové pokrývky a občasných dešťových srážek. Největší vzestupy byly na přelomu druhé a třetí dekády dubna na tocích v povodí Odry a Bečvy. Dne 20. dubna hladiny Ropičanky a Bystřičky kulminovaly nad úroveň 1. SPA shodně při Q_{2} . V dubnu nastalo u mělkých vrtů a pramenů roční minimum. Stav hladiny v mělkých vrtech byl celkově normální. Stav hladiny na západě a severozápadě Česka byl silně podnormální. V povodí Ohře a dolního Labe a Berounky bylo silně nebo mimořádně podnormálních 53 %, resp. 44 % mělkých vrtů. Na zbylém území Čech byla hladina mírně podnormální, na Moravě byla normální. Celkový stav vydatnosti se zhoršil až na silně podnormální. S výjimkou normální vydatnosti v povodí dolní Vltavy a mírně podnormální vydatnosti v povodí Lužické Nisy, byla na celém území Čech vydatnost silně nebo mimořádně podnormální.

Nejvíce pramenů se silně nebo mimořádně podnormální vydatností bylo v povodí horního a středního Labe (48 %) a Ohře a dolního Labe (47 %). Hladina podzemní vody většiny hlubokých vrtů zaznamenala stagnaci až mírný pokles (59 %). Ke zhoršení došlo například ve východočeské křídě a části moravského terciéru (ze silně nadnormálního na mírně nadnormální nebo normální).

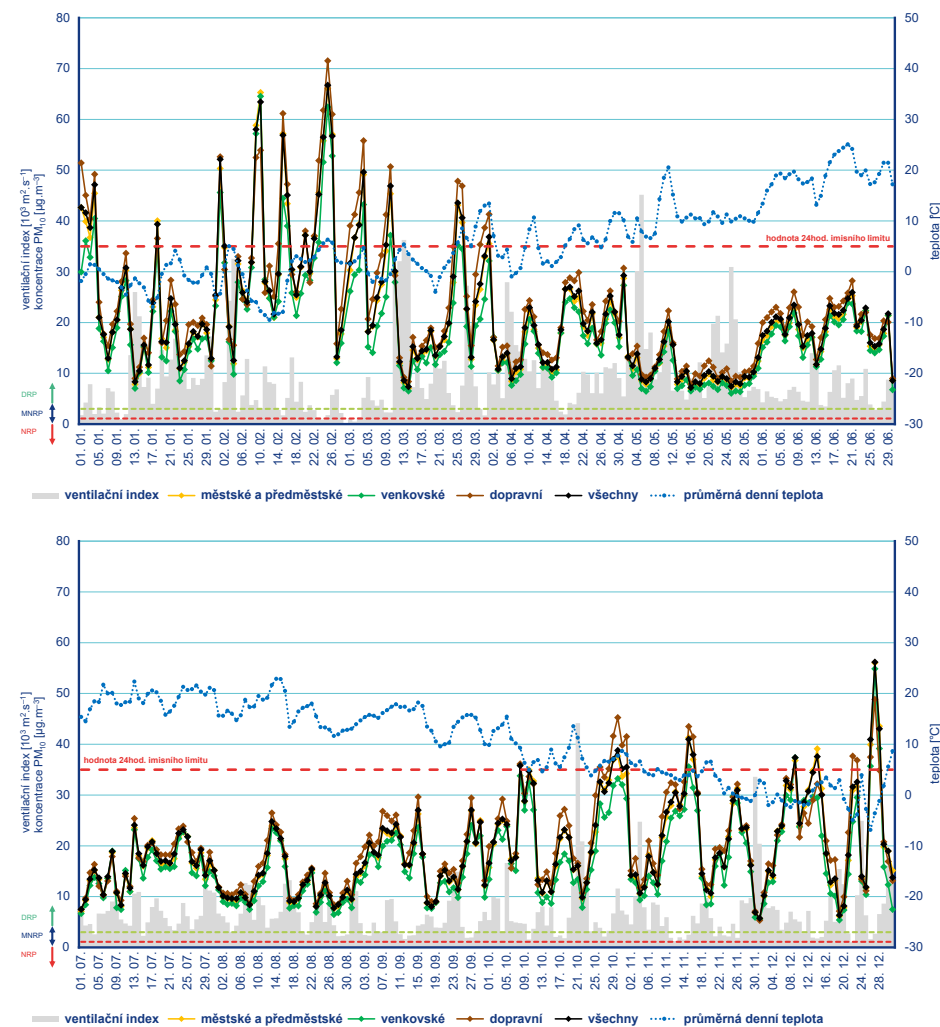
V letním půlroce (duben až září) dochází v porovnání se zimním půlrokem k méně častému překračování denního imisního limitu PM_{10} (obr. 7). V této sezoně nabývají větší významu zvýšené koncentrace O_3 , jde o období s příznivými meteorologickými podmínkami pro vznik O_3 v ovzduší (sluneční záření, vysoké teploty, nízká relativní vzdušná vlhkost; obr. 8).

Na měřicích stanicích byla během dubna zaznamenána převážně přijatelná kvalita ovzduší. Na městských a předměstských stanicích se velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší vyskytovala nejčastěji v Plzeňském kraji, na venkovských stanicích pak v Karlovarském kraji. Přijatelná a zhoršená až špatná kvalita ovzduší byla nejčastěji zaznamenána na stanicích v Ústeckém a Zlínském kraji. Rozptylové podmínky byly v dubnu, v porovnání s desetiletým průměrem 2011–2020, standardní. Hodnota denního imisního limitu PM_{10} ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla v dubnu překročena na 16 stanicích ze 122. Povolný počet

překročení (35×) byl do konce dubna překročen na třech stanicích (všechny v aglomeraci O/K/F-M). Nejvyšší průměrná denní koncentrace PM_{10} ($84 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla naměřena 28. dubna na průmyslové stanici Karviná, nejvyšší průměrná denní koncentrace $PM_{2,5}$ ($46 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 1. dubna na dopravní stanici Ostrava-Českosobotská (hot spot). Maximální povolený počet překročení (25× v průměru za tři roky) hodnoty denního imisního limitu maximální denní 8hodinové koncentrace O_3 ($120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byl na konci dubna překročen na dvou stanicích z celkového počtu 67. Nejvyšší maximální denní 8hodinové koncentrace O_3 ($129 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla naměřena 1. dubna na městské stanici Brno-Arboretum. Celorepublikový měsíční průměr koncentrací suspendovaných částic PM_{10} , dosáhl v dubnu třetí nejnižší hodnoty za hodnocené období 2011–2020. Celorepublikový měsíční průměr koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ a celorepublikový měsíční průměr 8hodinové maximální koncentrace O_3 dosáhly nejnižší hodnoty za hodnocené období 2011–2020.

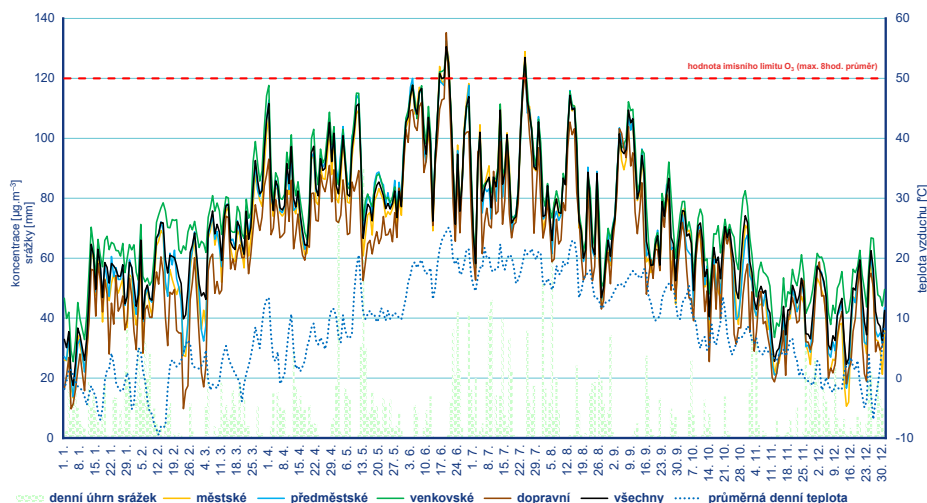
Květen

Měsíc začal deštivě, nejvyšší denní úhrn srážek 52,1 mm byl 1. května naměřen v Kostelci nad Černými lesy (okres Kolín), na mnoha stanicích středních a jihozápadních Čech úhrny překročily 30 mm. Na začátku měsíce byl 2. května je zaznamenán poslední nový sníh s výškou 14 cm na Labské a 10 cm na Luční boudě (okres Trutnov), poslední sněžení ve formě sněhových krupek bylo zaznamenáno ještě 30. května na Lysé hoře v Beskydech. Posledním ledovým dnem (celodenní mráz) byl 8. květen na Sněžce s naměřenou maximální teplotou $-1,7 \text{ }^\circ\text{C}$ a vzápětí byl 10. května zaznamenán první tropický den v roce na stanicích v Plzni a okolí (Plzeň, Bolevec $30,9 \text{ }^\circ\text{C}$, Plzeň, Dobřany $30,3 \text{ }^\circ\text{C}$ a Plzeň, Mikulka $30,2 \text{ }^\circ\text{C}$). Tento den byla naměřena nejvyšší maximální denní teplota května. Nejnižší minimální teplota měsíce byla 8. května $-9,1 \text{ }^\circ\text{C}$ na Rokytské slati. Teplota nad $25 \text{ }^\circ\text{C}$ byla po chladném dubnu zaznamenána až 9. května (Plzeň, Mikulka $27,6 \text{ }^\circ\text{C}$) a období od 9. do 12. května lze považovat za první významnější oteplení v roce. 12. května byl rovněž zaznamenán nejvyšší úhrn srážek v měsíci 65,6 mm v Olešnici, Čihálce (okres Rychnov nad Kněžnou). A podle definice SMO¹² lze na stanicích Brod nad Dyjí (okres Břeclav), Troubsko (okres Brno-venkov) a Rychnov nad Kněžnou období od 15. do 24. června označit jako horkou vlnu s dél-



Obr. 7 Vývoj průměrných denních koncentrací PM_{10} , celorepublikového denního průměru teploty vzduchu (T, model ALADIN) a ventilačního indexu (VI, model ALADIN), rok 2021.
 Fig. 7. Evolution of average daily concentrations of PM_{10} , regional daily temperature (T), and the ventilation index (VI), following the ALADIN model, 2021.

¹² Období alespoň 5 dní s maximální denní teplotou alespoň $5 \text{ }^\circ\text{C}$ nad dlouhodobým průměrem pro daný den.



Obř. 8 Vývoj průměrných maximálních denních 8hodinových koncentrací O_3 , celorepublikového maxima teploty vzduchu (T , model ALADIN) a celorepublikového denního úhrnu srážek (SRA, model ALADIN), rok 2021.

Fig. 8. Evolution of the average daily maximum 8-hour O_3 concentration, regional maximum temperature and regional precipitation following the ALADIN model, 2021.

kou trvání 10 dní. Na Sněžce byla 26. května zaznamenána nejvyšší rychlost větru $39,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Měsíc květen byl z hlediska odtoku nadprůměrným měsícem ve všech hlavních povodích. Průměrné měsíční průtoky většiny sledovaných vodních toků se nejčastěji pohybovaly v rozmezí od 90 do 200 % Q_v . Z hlavních povodí nejvíce vody oteklo Olší (192 % Q_v), nejméně Dyjí (119 % Q_v). Hladiny vodních toků v průběhu měsíce kolísaly v závislosti na srážkové činnosti a na celé řadě profilů byly dosaženy SPA. Vydatné srážky se vyskytly 1. a 2. května na celém území a v kombinaci s odtávajícím sněhem ve vyšších polohách, stoupaly hladiny většiny toků. Nejvýraznější vzestupy s dosažením 1. SPA vykazovaly toky v povodí Berounky, toky odvodňující pohraniční horské oblasti na severu Čech a také přítoky Vltavy na území hlavního města Prahy. Hladiny řek znovu výrazně stoupaly po vydatných a trvalých srážkách v období od 11. do 15. května a na řadě profilů došlo k překročení SPA. Na horním Labi došlo 11. května k překročení 1. SPA v důsledku řízeného zvýšeného odtoku z VD Labská, nad hranicí pro 1. SPA kulminovala v povodí horního Labe také Metuje, Loučná a Doubrava. V povodí Odry byl rovněž dosažen na několika místech 1. SPA. Vydatné lokální srážky však vedly k prudkému vzestupu na Hvozdnici v Jakartovicích, kde byl 13. května výrazně překročen 3. SPA při Q_{100} . Také v povodí Vltavy byly vzestupy hladin výrazné a v řadě profilů vedly k překročení SPA. Na Úslavě v Prádle byl 14. května překročen 3. SPA při Q_2 . Hladiny Červeného potoka v Hořovicích (při Q_{Q_2}), Botiče v Jesenici-Kocandě (Q_{Q_2}) a Průhonicích (Q_{Q_2}), Blanice v Louňovicích (Q_{Q_2}), Smutné v Ratajích (Q_{Q_2}), Úslavy v Koterově (Q_2), Chotýšanky ve Slovincích (Q_{Q_2}), Klabavy v Nové Huti (Q_{Q_2}), Berounky ve Zbečně (Q_{Q_2}) a Kocáby ve Štěchovicích (Q_2) překročily 2. SPA a v řadě profilů v povodí Lužnice, Blanice, Sázavy, Berounky a dolní Vltavy byl překročen 1. SPA. Také na dolním toku Dyje byl 16. května překročen 1. SPA. Vydatnější a trvalejší srážky, které vedly k překročení SPA se vyskytly také 17. května na východě republiky (v maximech zde napadlo kolem 50 mm za den). Na tocích v povodí Odry a Moravy došlo k překročení 1. SPA při kulminačních průtocích s dobou opakování menší než Q_2 , 2. SPA byl překročen pouze na Velké Stanovnici v profilu Karolinka pod nádrží. Po této odtokové epizodě hladiny většiny toků již převážně pozvol-

na klesaly až do konce měsíce. V květnu se stav podzemní vody v mělkých vrtech i pramenech výrazně zlepšil a byl celkově mírně nadnormální, resp. normální. Na většině území byl normální stav hladiny. K nejvýraznějšímu zlepšení stavu došlo v povodí Lužické Nisy (z normálního až na mimořádně nadnormální) a v povodí Berounky (ze silně podnormálního až na mírně nadnormální). V těchto povodích tvořil podíl vrtů se silně nebo mimořádně nadnormální hladinou 57 %, resp. 51 %. Vydatnost pramenů v povodí Ohře a dolního Labe zůstala nadále mimořádně podnormální. Na zbylém území s výjimkou silně nadnormální vydatnosti v povodí dolní Vltavy a horní Odry byla vydatnost normální. K nejvýraznějšímu zvětšení vydatnosti došlo v povodí

horní a dolní Vltavy, kde se oproti předchozímu měsíci výrazně zvětšila vydatnost u 42 %, resp. 40 % pramenů. Hladina podzemní vody v hlubokých vrtech stagnovala, až mírně klesala (57 % objektů). Ke zlepšení stavu došlo v části moravského terciéru (z normálního na mírně nadnormální), části jihočeských pánví (z mírně podnormálního na normální) a části permokarbonských středních a západních Čech (ze silně podnormálního na normální).

Na měřicích stanicích byla během května zaznamenána převážně přijatelná kvalita ovzduší. Na městských a předměstských stanicích se velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší vyskytovala nejčastěji v Plzeňském kraji, na venkovských stanicích pak v kraji Vysočina. Přijatelná a zhoršená až špatná kvalita ovzduší byla nejčastěji zaznamenána na stanicích v Ústeckém a Olomouckém kraji. Rozptylové podmínky byly v květnu, v porovnání s desetiletým průměrem 2011–2020, výrazně zlepšené. Hodnota denního imisního limitu PM_{10} ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla v květnu překročena na šesti stanicích ze 120. Povolený počet překročení ($35\times$) byl do konce května překročen na třech stanicích (všechny v aglomeraci O/K/F-M). Nejvyšší průměrná denní koncentrace PM_{10} ($65 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla naměřena 1. května na dopravní stanici Karviná ZÚ, nejvyšší průměrná denní koncentrace $PM_{2,5}$ ($57 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 1. května na dopravní stanici Praha 2-Legerova (hot spot). Maximální povolený počet překročení ($25\times$ v průměru za tři roky) hodnoty denního imisního limitu maximální denní 8hodinové koncentrace O_3 ($120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byl na konci května překročen na dvou stanicích z celového počtu 67. Nejvyšší maximální denní 8hodinové koncentrace O_3 ($131 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla naměřena 11. května na venkovské stanici Štítá nad Vlárí (okres Zlín). Celorepublikové měsíční průměry koncentrací suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ dosáhly v květnu nejnižší hodnoty za hodnocené období 2011–2020. Celorepublikový měsíční průměr 8hodinové maximální koncentrace O_3 pak druhé nejnižší hodnoty.

Červen

V mrazových lokalitách klesala minimální teplota ještě 1. června pod $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ (Kvilda-Perla $-6,4 \text{ }^\circ\text{C}$, Rokytická slať $-6,0 \text{ }^\circ\text{C}$, Březník $-5,8 \text{ }^\circ\text{C}$ a Horská Kvilda rovněž v okrese

Klatovy $-5,3$ °C). Poslední mrazový den prvního pololetí byl 17. června s minimální teplotou $-0,2$ °C zaznamenan na Kvildě-Perle a hned další den byla zaznamenána první tropická noc v roce (minimální noční teplota 20 °C a více) na stanicích Holovousy v okrese Jičín ($20,5$ °C) a Praha, Klementinum ($20,1$ °C). Nejteplejším dnem v roce podle průměrné denní teploty na všech stanicích byl 20. červen s průměrem $24,4$ °C, nejvyšší maximální červnová teplota byla o den dříve zaznamenána na stanicích v okolí Plzně (tab. 1). Nejvyšší denní úhrn srážek $97,2$ mm byl naměřen 23. června ve Volyni, Nihošovicích (okres Strakonice). Nechvalně proslulým dnem se nadlouho stane 24. červen, kdy bylo na jižní Moravě v oblasti Břeclavi zaznamenáno tornádo síly F4, které je podrobně popsáno v následujícím článku Münster a kol. (2021). V oblasti postižené tornádem není k dispozici standardní měření rychlosti větru, na nejbližších klimatických stanicích (20 až 30 km od postižené oblasti) maximální denní rychlost v tornádový den nepřesáhla 20 m·s⁻¹ (Kobylí $12,9$ m·s⁻¹, Lednice $19,3$ m·s⁻¹ a Strážnice $17,3$ m·s⁻¹). Tato maxima byla zaznamenána ve večerních hodinách v čase výskytu tornáda. Nejvyšší měsíční rychlost větru $35,1$ m·s⁻¹ byla zaznamenána na Sněžce až o den později.

Měsíc červen byl z hlediska odtoku podprůměrným měsícem ve všech hlavních povodích. Průměrné měsíční průtoky většiny sledovaných vodních toků se nejčastěji pohybovaly v rozmezí od 50 do 110 % Q_{VI} . Z hlavních povodí nejvíce vody odtéklo Labem (87 % Q_{VI}), naopak nejméně Odrou (56 % Q_{VI}). Až do začátku třetí červnové dekády byly hladiny většiny toků setrvalé nebo mírně kolísaly. Ve třetí červnové dekádě se vyskytovaly silné bouřky s vydatnými srážkami s denními úhrny i nad 50 mm téměř každý den, nejvýrazněji od 21. do 25. června. Vodní toky reagovaly prudkými vzestupy hladin. Již 21. června byl na Litavě a na Trkmance překročen 1. SPA (Q_{2}). Ve dnech od 22. do 24. června vystoupala nad úroveň 1. SPA hladina Bystřičky, Malé Hané, Hané, Želetavky a Jevišovky (Q_{2}). Na Jevišovce v profilu VD Jevišovice byl 24. června překročen 2. SPA (Q_{2}). V povodí Vltavy byly zaznamenány vzestupy 24. června, kdy v pásmu od Šumavy po Prahu napršelo během noci v průměru 45 až 55 mm srážek, nejvíce ve Volyni. Důsledkem bylo dosažení 3. SPA na Volyňce v profilu Sudslavice při Q_{10} a na Botiči v Praze-Nuslích při cca Q_{10} . Vzestupy ke 2. SPA byly zaznamenány na Otavě v Rejšejně a Sušici (Q_{2}), na Volyňce v Neměticích (Q_{2}), na Kocábě ve Štěchovicích (Q_{2}), na Botiči v Jesenicích-Kocandě (Q_{2}) a na Rokytce v Praze-Vyšochanech (do Q_{10}). Na několika dalších profilech v povodí horní Vltavy a v povodí Úslavy a Litavky byl dosažen 1. SPA. Opětovné vzestupy hladin toků proběhly po dalších srážkách v noci na 25. června v povodí Otavy, Blanice, Klabavy, Litavky a také Lomnice. Na Lomnici v profilu Dolní Ostrovec byl překročen 2. SPA při Q_{2} . Na Lučině a na Stonávce v Hradišti došlo ve dnech 21. a 25. června k překročení 1., respektive 2. SPA při vodnostech Q_{2} až Q_{5} . Vydatně přišlo na Moravě také 25. června, v důsledku čehož Bystřička, Litava a Malá Haná překročily 1. SPA při vodnostech Q_{2} . Hladina Hané ve Vyškově překročila 25. června úroveň 2. SPA (Q_{2}). V červnu byla hladina v mělkých vrtech i vydatnost pramenů celkově normální. Na celém území Česka, s výjimkou mírně podnormální hladiny v povodí Ohře a dolního Labe, byla hladina normální. Celkově hladina převážně klesala, nejvíce pak v povodí horní Odry (87 % vrtů) a v povodí horního a středního Labe (76 % vrtů). Oproti předcházejícímu měsíci vydatnost pramenů převážně stagnovala s tendencí k mírnému zmenšování (50 % pramenů). K nejvýraznější změně došlo v povodí horní Odry, kde se stav zhoršil ze silně nadnormálního až na normální a výrazně se zde

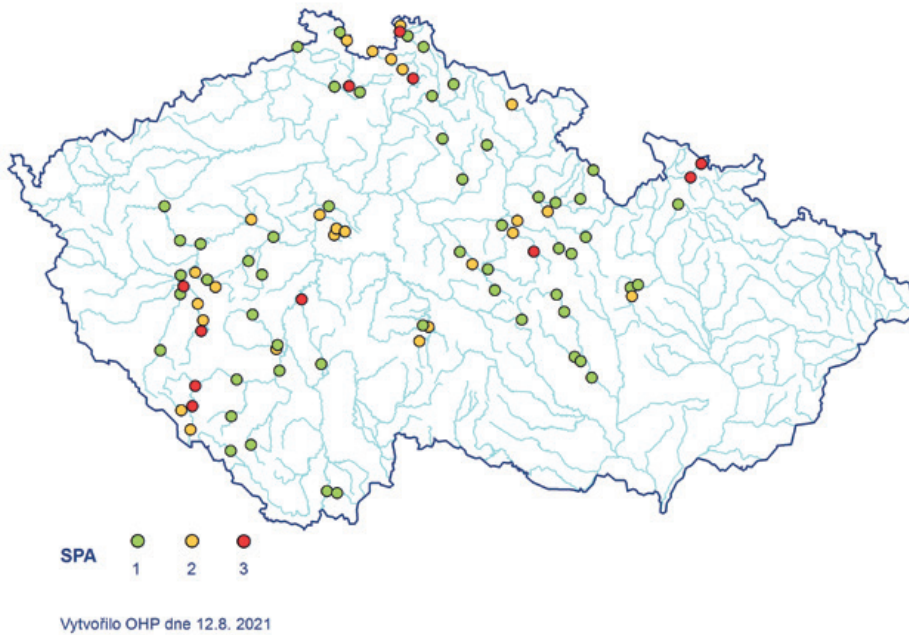
zmenšila vydatnost u 66 % pramenů. Hladina podzemní vody v hlubokých vrtech převážně stagnovala s tendencí k mírnému poklesu (67 % vrtů). Ke zhoršení došlo například v severočeské křídě (ze silně podnormálního na mimořádně podnormální stav).

Na měřicích stanicích byla během června zaznamenána převážně přijatelná kvalita ovzduší. Na městských a předměstských stanicích se velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší vyskytovala nejčastěji v Jihomoravském kraji bez aglomerace Brno, na venkovských stanicích pak v Karlovarském kraji. Přijatelná a zhoršená až špatná kvalita ovzduší byla nejčastěji zaznamenána na stanicích ve Zlínském kraji a v aglomeraci Praha. Rozptylové podmínky byly v červnu, v porovnání s desetiletým průměrem 2011–2020, standardní. Hodnota denního imisního limitu PM_{10} (50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla v červnu překročena na dvou stanicích ze 120. Povolený počet překročení (35 \times) byl do konce června překročen na třech stanicích (všechny v aglomeraci O/K/F-M). Nejvyšší průměrná denní koncentrace PM_{10} (122 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla naměřena 13. června na venkovské stanici Nový Malín (okres Šumperk), nejvyšší průměrná denní koncentrace $PM_{2,5}$ (56 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 15. června na dopravní stanici Beroun. Maximální povolený počet překročení (25 \times v průměru za tři roky) hodnoty denního imisního limitu maximální denní 8hodinové koncentrace O_3 (120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byl na konci června překročen na 64 stanicích z celkového počtu 67. Nejvyšší maximální denní 8hodinové koncentrace O_3 (154 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla naměřena 19. června na venkovské stanici Sněžník (okres Děčín). Celorepublikový měsíční průměr koncentrací suspendovaných částic PM_{10} , resp. $PM_{2,5}$ dosáhl v červnu čtvrté, resp. páté nejvyšší hodnoty za hodnocené období 2011–2020. Celorepublikový měsíční průměr 8hodinové maximální koncentrace O_3 dosáhl šesté nejnižší hodnoty za hodnocené období 2011–2020.

Červenec

Nejvyšší maximální teplota v roce byla 8. července naměřena ve Strážnici ($36,5$ °C). Na Sněžce byla 14. července zaznamenána nejvyšší rychlost větru $35,5$ m·s⁻¹. Ve dnech po 15. červenci byly naměřeny nejvyšší vícedenní úhrny srážek (tab. 4). Nejvyšší denní úhrn srážek v měsíci $118,3$ mm byl naměřen v Bělé pod Pradědem, Domašově 17. července. První mrazový den nadcházející „zimní sezóny“ byl zaznamenan již 21. července na Kvildě-Perle (minimální denní teplota $-1,5$ °C).

Z odtokového hlediska byl červenec nadprůměrným měsícem v českých povodích a naopak podprůměrným v povodích moravských (obr. 9). Průměrné měsíční průtoky sledovaných vodních toků se vzhledem k dlouhodobým červencovým normálům pohybovaly v širokém rozmezí, nejčastěji od 30 do 230 % Q_{VII} . Z hlavních povodí nejvíce vody odtéklo Vltavou (211 % Q_{VII}), naopak nejméně vody Olší (30 % Q_{VII}). Hladiny vodních toků na našem území byly na počátku července převážně setrvalé nebo pozvolna klesaly, v důsledku přeháněk a bouřek přetrvávajících z předchozího měsíce byly stále některé toky rozkolísané. Výrazněji kolísaly toky na severu Čech. K překročení 1. SPA tak došlo již 1. července na Lužické Nise. Další výrazné kolísání a významné vzestupy hladin nastaly po srážkách z 8. a 9. července, kdy spadlo v širokém pásmu od jihozápadu Čech až po severozápad Moravy 20 až 50 mm, v maximech až 70 mm srážek. K překročení 3. SPA došlo 9. července na Novohradce v profilu Luže (Q_{10}) a na Úslavě v Koterově (Q_{2}). Na Úslavě v Prádle (Q_{2}), Klabavě v Hrádku (Q_{2}) a Nové Huti (Q_{2}), Berounce ve Zbečně (Q_{2}), Loučné v Dašicích (Q_{2}), Novohradce v Úhřeticích (Q_{2}), Milevském potoce v Milevsku



Obr. 9 Dosažené SPA v červenci 2021.

Fig. 9. Flood activity levels reached in July 2021.

(Q_{-2}), Botiči v Nuslích (Q_5), Tiché Orlicí v Čermné nad Orlicí (Q_{-2}) a Doubravě v Pařížově (Q_2) stoupla hladina nad 2. SPA. Na mnoha dalších tocích došlo k překročení 1. SPA. Z moravských toků byla srážkami nejvíce zasažena Svratka, Třebůvka a Jevíčka, kde byl v pátek 9. července překročen 1., resp. 2. SPA. 12. a 13. července docházelo k vzestupům k 1. SPA v povodí Loučné a Doubravy. 14. července byl zaznamenán 3. SPA na Lužické Nise v Proseči nad Nisou (při vodnosti Q_5), Úslavě v Prádle (Q_{-2}) a na Brzině v profilu Hrachov, kde byl dosažen 3. SPA (pravděpodobně při dosažení Q_{20}). O den později 15. července dosáhl 2. SPA Botiči v Jesenici-Kocandě a v Průhonicích, Milevský potok v Milevsku a Lužická Nisa v Liberci (všechny Q_2). Na řadě profilů v povodí Bystřice, Doubravy, Cidliny, Úslavy, Střely, Lužické Nisy, opakovaně Botiče v Jesenici-Kocandě a Loučné (Q_2) byly 15. a 16. července překročeny 1. SPA. Nejvíce zasaženým povodím po vysokých srážkách doprovázených silnými bouřkami 17. července byla horní Otava, Úslava, Smědá. Dne 18. července byl překročen 3. SPA na Smědě ve Višňové (Q_{-2}), Otavě v Rejštejně (Q_2) a následně v Sušici (Q_2), na Úslavě v Koterově (Q_2), na Svitávce v Zákupech (Q_{20}) a na Bělé v Mikulovicích a Jeseníku (oba Q_5). 2. SPA byl překročen na Mandavě ve Varnsdorfu, Lužické Nise v Proseči, Liberci a Hrádku nad Nisou, Klabavě v Hrádku, Vydře v Modravě (všechny Q_2), Smědě v Předláníčích, Pitkovičském potoce v Kuří, Botiči v Jesenici-Kocandě, Křemelné ve Stodůlkách, Úpě v Horním Starém Městě, Lomnici v Dolním Ostrovci, Panenském potoce v Pertolicích a na Úslavě ve Žďirci (všechny Q_{-2}). Následovalo týdenní období, kdy hladiny toků zasažených srážkami postupně klesaly. Poslední vzestupy v červenci byly zaznamenány od večera 25. až do noci 27. července, kdy srážky postupovaly od jihozápadu a zasáhly postupně jih a východ Čech i Moravu. Největší vzestupy s překročením SPA, byly v povodí Blanice a Želivky. 2. SPA byl překročen 27. července na Želivce (Hejlovce) v Čakovcích (Q_2) a v Želivu při (Q_{-2}), 1. SPA na Blanici. V povodí Svratky byly zaznamenány krátkodobé přechodné vzestupy hladin s překročením 1. SPA. V červenci byla hladina v mělkých vrtech celkově mírně nadnormální a vydatnost pramenů byla normální. V Čechách byla hladina nadnormální, oproti

předcházejícímu měsíci stoupla, a to zejména na západě Čech, kde dosáhla v povodí Berounky až mimořádně nadnormálního stavu a podíl silně nebo mimořádně nadnormálních vrtů zde byl 60 %. Na Moravě byla hladina normální a naopak převážně stagnovala, až mírně klesala. V povodí horní Odry byl podíl výrazně klesajících vrtů dokonce 50 %. Vydatnost pramenů oproti předcházejícímu měsíci převážně stagnovala (70 % pramenů), což ale vzhledem k ročnímu chodu pramenů znamenalo zlepšení stavu. K nejvýraznější změně došlo v povodí horní Vltavy a Berounky, kde se stav zlepšil z normálního až na silně nadnormální a výrazně se zde zvětšila vydatnost u 53 %, resp. 24 % pramenů. Zlepšení bylo zaznamenáno i u hladiny podzemní vody v hlubokých vrtech a to zejména v severočeské křídě, kde se stav zlepšil z mimořádně

podnormálního až na mírně podnormální.

Na měřicích stanicích byla během července zaznamenána převážně přijatelná kvalita ovzduší. Na městských, předměstských a na venkovských stanicích se velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší vyskytovala nejčastěji v Karlovarském kraji. Přijatelná a zhoršená až špatná kvalita ovzduší byla nejčastěji zaznamenána na stanicích v aglomeracích O/K/F-M a Praha. Rozptylové podmínky byly v červenci, v porovnání s desetiletým průměrem 2011–2020, standardní. Hodnota denního imisního limitu PM_{10} ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla v červenci překročena na dvou stanicích ze 120. Povolný počet překročení ($35\times$) byl do konce července překročen na třech stanicích (všechny v aglomeraci O/K/F-M). Nejvyšší průměrná denní koncentrace PM_{10} ($81 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla naměřena 23. července na venkovské stanici Nový Malín, nejvyšší průměrná denní koncentrace $PM_{2,5}$ ($38 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 30. července na městské stanici Jihlava. Maximální povolený počet překročení ($25\times$ v průměru za tři roky) hodnoty denního imisního limitu maximální denní 8hodinové koncentrace O_3 ($120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byl na konci července překročen na čtyřech stanicích, přičemž tři stanice jsou charakterizovány jako regionální a leží v horských oblastech, jedna pak jako předměstská. Nejvyšší maximální denní 8hodinové koncentrace O_3 ($143 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla naměřena 24. července na městské stanici Ostrava-Fifejdy. Celorepublikový měsíční průměr koncentrací suspendovaných částic PM_{10} , resp. $PM_{2,5}$ dosáhl v červenci třetí, resp. druhé nejnížší hodnoty za hodnocené období 2011–2020. Celorepublikový měsíční průměr 8hodinové maximální koncentrace O_3 dosáhl čtvrté nejnížší hodnoty za hodnocené období 2011–2020.

Srpen

Nejvyšší denní maximální teplota $33,8 \text{ }^\circ\text{C}$ byla naměřena 14. srpna ve Strážnici a poslední tropický den v roce byl zaznamenán na mnoha stanicích jižní i severní Moravy 16. srpna s nejvyšší maximální teplotou $31,7 \text{ }^\circ\text{C}$ také ve Strážnici. V tento den byla zaznamenána i poslední tropická noc v roce

s minimální teplotou 20,8 °C v Praze, v Klementinu. Nejnižší minimální teplota měsíce –1,2 °C byla naměřena 21. srpna na stanicích Rokytská slat a Kvilda-Perla a 30. srpna na Kvildě-Perle se stejnou teplotou. Nejvyšší denní úhrn srážek v roce (128,2 mm) byl naměřen na Lysé hoře v Beskydech 31. srpna, v tento den byly denní úhrny srážek nad 100 mm naměřeny na více stanicích na severní Moravě – Horní Bečva, Kudlačena (okres Vsetín) 100,7 mm, Bílá, Hlavatá (okres Frýdek-Místek) 101,1 mm, Horní Bečva (okres Vsetín) 101,3 mm a Nýdek, Filipka (okres Frýdek-Místek) 104,4 mm. Ve stejný den byla Sněžce zaznamenána nejvyšší rychlost větru 33,1 m·s⁻¹.

Měsíc srpen byl z odtokového hlediska převážně průměrným až mírně nadprůměrným měsícem. Průměrné měsíční průtoky sledovaných vodních toků se vzhledem k dlouhodobým srpnovým normálům pohybovaly v širokém rozmezí, nejčastěji od 45 do 155 % Q_{VIII} . Z hlavních povodí nejvíce vody odtéklo Labem (124 % Q_{VIII}), nejméně Moravou (88 % Q_{VIII}). V průběhu srpna hladiny sledovaných toků kolísaly v závislosti na intenzitě srážkové činnosti. Vlivem vydatných srážek v druhé polovině první dekády měsíce stoupaly převážně toky odvodňující Beskydy, 5. srpna napršelo na návětrí Moravskoslezských Beskyd 40 až 70 mm (Lysá hora 88 mm). Zasažené toky v oblasti reagovaly rychlými vzestupy hladin až nad úroveň SPA. Na Stružce v Rychvaldě byl krátkodobě překročen 3. SPA (Q_2). Na Stonávce v Hradišti byl překročen 2. SPA (Q_2) a na dalších tocích v zasažené oblasti byl překročen 1. SPA. První SPA byl také dosažen 3. srpna na Jihlavě a 4. srpna na Rakovnickém potoce. Další vydatné srážky s bouřkami v noci na 8. srpen způsobily vzestup hladiny Lužické Nisy až nad úroveň 1. SPA (Q_2). K dalším výraznějším vzestupům, ojediněle až nad úroveň 1. a 2. SPA, došlo 24. srpna po vydatných srážkách v povodí horního Labe. Nad 2. SPA vystoupalo Labe ve Špindlerově Mlýně (Q_2) a v profilu Labská (Q_2), 1. SPA byl překročen na Mumlavě a Úpě, v obou případech při vodnostech menších než Q_2 . 30. srpna po bouřkách s přívalovými srážkami byl na Botiči krátkodobě překročen 1. SPA. Dne 31. srpna a v noci na 1. září se vyskytovaly trvalé vydatné srážky v severních a severovýchodních pohraničních horách (Jizerské hory, Krkonoše, Jeseníky a Beskydy). Již silně nasycená horská povodí z předchozích srážek v kombinaci s výraznými srážkovými úhrny vedla k rychlým vzestupům hladin vodních toků. Na Smědě v profilu Višňová byl krátkodobě překročen 3. SPA (Q_2). V Krkonoších vystoupaly na 2. SPA horní Labe v profilech Špindlerův Mlýn a Labská (Q_2) a Úpa v Horním Starém Městě (Q_2). Úroveň 2. SPA překročila také Rožnovská Bečva v profilu Horní Bečva a 1. SPA byl také dosažen na horním toku Jizery, avšak s vodností menší než Q_2 . V srpnu hladina v mělkých vrtech celkově klesla opět na normální stav a normální byla i vydatnost pramenů. Silně nadnormální hladina byla v povodí Berounky a mírně nadnormální v povodí horní Vltavy, v ostatních povodích byla hladina normální. Podíl vrtů s normální hladinou tvořil celkově 58 %. Oproti předcházejícímu měsíci vydatnost pramenů převážně stagnovala s tendencí k mírnému zmenšování. K nejvýraznější změně došlo v povodí Berounky, kde se stav zhoršil ze silně nadnormálního až na normální a výrazně se zde zmenšila vydatnost u 36 % pramenů. Na severozápadě v povodí Ohře a dolního Labe byla vydatnost i nadále silně podnormální. Hladina podzemní vody v hlubokých vrtech převážně stagnovala, až mírně klesala (64 % vrtů). Zhoršení bylo zaznamenáno například v severočeské křídě, kde stav zhoršil z mírně podnormálního až na mimořádně podnormální.

Na měřicích stanicích byla během srpna zaznamenána převážně velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší. Na městských a předměstských stanicích se velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší vyskytovala nejčastěji v Jihočeském kraji, na venkovských stanicích pak v Karlovarském kraji. Přijatelná a zhoršená až špatná kvalita ovzduší byla nejčastěji zaznamenána na stanicích v aglomeracích O/K/F-M a Praha. Rozptylové podmínky byly v srpnu, v porovnání s desetiletým průměrem 2011–2020, standardní. Hodnota denního imisního limitu PM_{10} (50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla v srpnu překročena na dvou stanicích ze 118. Povolený počet překročení (35×) byl do konce srpna překročen na třech stanicích (všechny v aglomeraci O/K/F-M). Nejvyšší průměrné denní koncentrace PM_{10} (163 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 14. srpna) i $PM_{2,5}$ (48 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 4. srpna) byly naměřeny na venkovské stanici Nový Malín. Maximální povolený počet překročení (25× v průměru za tři roky) hodnoty denního imisního limitu maximální denní 8hodinové koncentrace O_3 (120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byl na konci srpna překročen na čtyřech stanicích, přičemž tři stanice jsou charakterizovány jako regionální a leží v horských oblastech, jedna pak jako předměstská. Nejvyšší maximální denní 8hodinové koncentrace O_3 (138 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla naměřena 13. srpna na městské stanici Štětí. Celorepublikové měsíční průměry koncentrací suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ dosáhl v srpnu nejnižší hodnoty za hodnocené období 2011–2020. Celorepublikový měsíční průměr 8hodinové maximální koncentrace O_3 dosáhl druhé nejnižší hodnoty za hodnocené období 2011–2020.

Září

Tropický den se v září již nevyskytl. 10. září byla v Plzni, Mikulce naměřena maximální denní teplota 29,3 °C jako nejvyšší hodnota měsíce. Nejdelsí horká vlna roku podle výše uvedené definice SMO byla zaznamenána ve Vatině (okres Žďár nad Sázavou, nadmořská výška 558 m n. m.) v trvání 14 dní od 3. do 16. září s maximální denní teplotou od 21,5 do 24,8 °C. Naopak nejnižší minimální teplota měsíce –3,7 °C byla naměřena na stanici Kvilda-Perla 9. a 30. září. Na Sněžce byla 24. září zaznamenána nejvyšší rychlost větru 37,9 m·s⁻¹. Nejvyšší denní úhrn srážek 62,3 mm byl naměřen v Benecku (okres Semily) 27. září.

Z odtokového hlediska bylo září ve většině hlavních povodí podprůměrným měsícem, zatímco v povodí Odry byly průtoky převážně nadprůměrné. Průměrné měsíční průtoky sledovaných vodních toků se vzhledem k dlouhodobým zářijovým normálům pohybovaly v širokém rozmezí, nejčastěji od 45 do 120 % Q_{IX} . Z hlavních povodí nejvíce vody odtéklo Olší (168 % Q_{IX}). Naopak nejméně Moravou (75 %). Na počátku měsíce září byly hladiny většiny vodních toků na vzestupu v důsledku trvalých srážek, které vypadávaly 31. srpna a v noci na 1. září. V Krkonoších se ještě 1. září udržovala hladina na úrovni 2. SPA na horním Labi v profilu Labská (Q_2). Také na Rožnovské Bečvě přetrvával z konce srpna 1. SPA, který byl překročen také na Čeladenci a Olši (Q_2). I na řadě dalších toků odvodňující Beskydy byl dosažen 1. SPA, avšak při vodnostech menších než Q_2 . Po této významnější srážkoodtokové události na počátku září pak převažovala až do konce měsíce na většině vodních toků mírně klesající tendence, či setvalé stavy hladin. V září byla hladina v mělkých vrtech i vydatnost pramenů celkově normální. S výjimkou mírně nadnormální hladiny v povodí horní Vltavy a horní Odry, byla na celém území hladina normální. Celkově tvořil podíl vrtů s normální hladinou 63 %. Oproti předcházejícímu měsíci nejvíce poklesla hladina v povodí Berounky, kde byl po-

kles zaznamenán u 52 % vrtů, a celkově se zde stav zhoršil ze silně nadnormálního na normální. Vydatnost pramenů byla na většině území normální s výjimkou silně podnormálního stavu v povodí Ohře a dolního Labe a mírně nadnormálního stavu v povodí horní Odry. Podíl pramenů s normální vydatností tvořil 61 %. Hladina podzemní vody v hlubokých vrtech stagnovala, až mírně klesala u 79 % objektů. Stav hladiny v jednotlivých skupinách hydrogeologických rajonů se příliš nezměnil.

Na měřicích stanicích byla během září zaznamenána převážně velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší. Na městských a předměstských stanicích se velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší vyskytovala nejčastěji v Jihomoravském kraji bez aglomerace Brno, na venkovských stanicích pak v Karlovarském kraji. Přijatelná a zhoršená až špatná kvalita ovzduší byla nejčastěji zaznamenána na stanicích v Ústeckém kraji a v Jihomoravském kraji bez aglomerace Brno. Rozptylové podmínky byly v září, v porovnání s desetiletým průměrem 2011–2020, standardní. Hodnota denního imisního limitu PM_{10} ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla v září překročena na dvou stanicích ze 118. Povolný počet překročení ($35\times$) byl do konce září překročen na třech stanicích (všechny v aglomeraci O/K/F-M). Nejvyšší průměrná denní koncentrace PM_{10} ($58 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla naměřena 29. září na průmyslové stanici Ostrava-Radvanice ZÚ, nejvyšší průměrná denní koncentrace $PM_{2,5}$ ($44 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 27. září na městské stanici Mladá Boleslav. Maximální povolený počet překročení ($25\times$ v průměru za tři roky) hodnoty denního imisního limitu maximální denní 8hodinové koncentrace O_3 ($120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byl na konci září překročen na pěti stanicích, přičemž čtyři stanice jsou charakterizovány jako regionální a leží v horských oblastech, jedna pak jako předměstská. Nejvyšší maximální denní 8hodinové koncentrace O_3 ($129 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla naměřena 15. září na venkovské stanici Štítná nad Vláří. Celorepublikový měsíční průměr koncentrací suspendovaných částic PM_{10} , resp. $PM_{2,5}$ dosáhl v září šesté, resp. čtvrté nejnižší hodnoty za hodnocené období 2011–2020. Celorepublikový měsíční průměr 8hod. maximální koncentrace O_3 páté nejnižší hodnoty.

Říjen

Nejvyšší denní úhrn srážek 54,0 mm byl zaznamenán 5. října v Peci pod Sněžkou (okres Trutnov). První sněžení nadcházející zimy bylo zaznamenáno 11. října ve Slavkově (okres Český Krumlov). Celodenní mráz (ledový den) s maximální teplotou $-0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ byl již 12. října naměřen na Sněžce. V tento den byla zaznamenána i první sněhová pokrývka s výškou až 3 cm na Churáňově (okres Prachatice) a na Lysé hoře. Poslední letní den v roce s maximální teplotou $25,3 \text{ }^\circ\text{C}$ zaznamenala stanice v Českých Budějovicích až 20. října, nejvyšší maximální denní teplota $25,7 \text{ }^\circ\text{C}$ však byla naměřena v Hradci Králové už 10. října. Na Sněžce byla 21. října zaznamenána nejvyšší rychlost větru $40,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V tento den byl na většině území Čech silný nárazový vítr a bylo zaznamenáno nejvíce volání na tísňovou linku 112 za celý rok s hlášením četných pádů stromů a větví, poruch v energetice a zpoždění na železnici. Nejnižší minimální teplota měsíce byla naměřena 24. října $-11,5 \text{ }^\circ\text{C}$ na Rokytské slati.

Z odtokového hlediska byl říjen, s výjimkou povodí Vltavy a Labe, ve většině hlavních povodí podprůměrným měsícem. Průměrné měsíční průtoky sledovaných vodních toků se pohybovaly nejčastěji v rozmezí od 25 do 105 % Q_x . Z hlavních povodí nejvíce vody odtéklo Vltavou (116 % Q_x), naopak nejméně Moravou (44 % Q_x). Velmi nízké průtoky dosahovaly bě-

hem celého měsíce zejména toky v povodí Bečvy (15 až 30 % Q_x). Hladiny vodních toků byly v prvních dvou dekádách měsíce října převážně setrvalé nebo mírně rozkolísané. Nejvíce toky stoupaly po srážkách v noci z 5. na 6. října v povodí horní Úpy, horního Labe, Bystřice a horní Jizery, ovšem bez dosažení úrovně SPA. Ve třetí dekádě měly toky převážně setrvalou nebo mírně klesající tendenci. Počet profilů, které indikovaly úroveň hydrologického sucha, se pohyboval, až na drobné výkyvy, po většinu měsíce mezi 25 až 45 profily. V posledním říjnovém týdnu počet profilů se suchem vzrostl až na 65 profilů, což byl největší počet v roce 2021. V porovnání s říjnem roku 2020 byl počet profilů s úrovní hydrologického sucha v průběhu celého letošního října větší, ve druhé polovině měsíce i několikanásobně. V říjnu byla hladina v mělkých vrtech i vydatnost pramenů celkově normální. Normální hladina byla na celém území ČR s výjimkou mírně podnormálního povodí Ohře a dolního Labe. Celkově tvořil podíl vrtů s normální hladinou 69 %. Stav vydatnosti pramenů byl na celém území ČR, s výjimkou mimořádně podnormálního stavu v povodí Ohře a dolního Labe, normální. Hladina podzemní vody v hlubokých vrtech stagnovala, až mírně klesala u 85 % objektů. Stav hladiny hlubokých vrtů se oproti předchozímu měsíci příliš nezměnil, ke zlepšení nedošlo v žádné skupině hydrogeologických rajonů, ke zhoršení došlo například v oblasti východočeské křídly a permokarbonu východních Čech (z mírně nadnormálního na normální stav).

Na měřicích stanicích byla během října zaznamenána převážně velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší. Na městských a předměstských stanicích se velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší vyskytovala nejčastěji v Královéhradeckém kraji, na venkovských stanicích pak v Jihočeském kraji. Přijatelná a zhoršená až špatná kvalita ovzduší byla nejčastěji zaznamenána na stanicích v Ústeckém kraji. Rozptylové podmínky byly v září, v porovnání s desetiletým průměrem 2011–2020, standardní. Hodnota denního imisního limitu PM_{10} ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla v říjnu překročena na 48 stanicích ze 120. Povolný počet překročení ($35\times$) byl do konce října překročen na třech stanicích (všechny v aglomeraci O/K/F-M). Nejvyšší průměrná denní koncentrace PM_{10} ($97 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla naměřena 30. října na městské stanici Kladno-Švermov, nejvyšší průměrná denní koncentrace $PM_{2,5}$ ($76 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 30. října na průmyslové stanici Kralupy nad Vltavou-sportoviště (okres Mělník). Celorepublikový měsíční průměr koncentrací suspendovaných částic PM_{10} , resp. $PM_{2,5}$ dosáhl v říjnu páté, resp. čtvrté nejnižší hodnoty za hodnocené období 2011–2020.

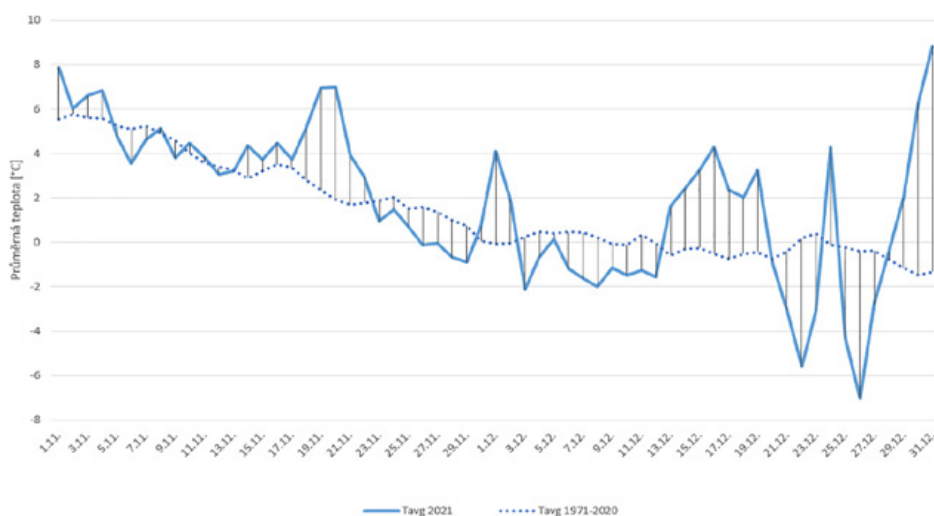
Listopad

Nejvyšší denní maximální teplota měsíce $18,7 \text{ }^\circ\text{C}$ byla naměřena 4. listopadu v Karviné. Ve stejný den byl v Krkonoších na Labské boudě zaznamenán nejvyšší denní úhrn srážek v měsíci 43,6 mm. Nejnižší minimální teplota měsíce $-14,8 \text{ }^\circ\text{C}$ byla zaznamenána 28. listopadu na Březníku. Po 20. listopadu se již na horách běžně vyskytovalo sněžení, nejvyšší hodnota nového sněhu 20 cm byla změřena na Klínovci 30. listopadu. Nejvyšší hodnota celkové sněhové pokrývky za měsíc 39 cm ležela ve stejný den na Šeráku a na Sněžce byla zaznamenána nejvyšší rychlost větru $44,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Z odtokového hlediska byl listopad ve všech hlavních povodích podprůměrným měsícem. Průměrné měsíční průtoky sledovaných vodních toků se nejčastěji vyskytovaly v rozmezí od 20 do 90 % Q_{XI} . Z hlavních povodí nejméně vody odtéklo Moravou (36 % Q_{XI}). Hladiny vodních toků byly v průběhu

listopadu poměrně vyrovnané. V povodí Vltavy a dolního Labe byly největší průtoky zaznamenány převážně v prvním týdnu, a to zejména v důsledku zvýšeného odtoku v VD Vrané. V závěru měsíce po vydatnějších srážkách stoupaly hladiny toků v povodí Odry a Moravy, avšak bez dosažení SPA. Počet profilů vykazující úroveň hydrologického sucha se až na drobné výkyvy v průběhu listopadu byl mezi 20 až 50 profily. Ke konci měsíce počet profilů se suchem klesl na 30. Oproti loňskému listopadu byl však počet profilů s indikací hydrologického sucha v průběhu celého letošního měsíce výrazně vyšší. V listopadu byla hladina v mělkých vrtech celkově normální, vydatnost pramenů byla celkově mírně podnormální. Hladina stagnovala u 94 % objektů a stejně jako v předchozím měsíci byla na celém území ČR, s výjimkou mírně podnormálního povodí Ohře a dolního Labe, normální. K nejvýraznější změně ve vydatnosti pramenů došlo v povodí horní Vltavy, kde se stav zhoršil z normálního na mírně podnormální a výrazně se zde zmenšila vydatnost u 12 % pramenů. Oproti předcházejícímu měsíci se stav hlubokých zvodní příliš nezměnil, pouze se mírně zhoršil stav části jihočeských pánví a moravského terciéru (z normálního na mírně podnormální). V žádné skupině hg rajonů, stejně jako v září a říjnu, nedošlo ke zlepšení stavu.

Na měřicích stanicích byla během listopadu zaznamenána převážně velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší. Na městských a předměstských stanicích se velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší vyskytovala nejčastěji v Jihomoravském kraji bez aglomerace Brno a v kraji Vysočina, na venkovských stanicích pak v Jihočeském a Královéhradeckém kraji. Přijatelná a zhoršená až špatná kvalita ovzduší byla nejčastěji zaznamenána na stanicích v aglomeraci O/K/F-M. Rozptylové podmínky byly v listopadu, v porovnání s desetiletým průměrem 2011–2020, standardní. Hodnota denního imisního limitu PM_{10} ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla v listopadu překročena na 45 stanicích ze 119. Povolený počet překročení ($35\times$) byl do konce listopadu překročen na třech stanicích (všechny v aglomeraci O/K/F-M). Nejvyšší průměrné denní koncentrace PM_{10} ($74 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i $PM_{2,5}$ ($72 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byly naměřeny 26. listopadu na venkovské stanici Nošovice (okres Frýdek-Místek). Celorepublikový měsíční průměr koncentrací suspendovaných částic PM_{10} , resp. $PM_{2,5}$ dosáhl v listopadu druhé, resp. třetí nejnižší hodnoty za hodnocené období 2011–2020.



Obr. 10 Chod průměrné denní teploty (Tavg) v listopadu a prosinci v roce 2021 a průměr za období 1971–2020.

Fig. 10. Average daily temperature (Tavg) in November and December 2021 and the average over the period 1971–2020.

Prosinec

Nejvyšší hodnota nového sněhu za měsíc 25 cm byla zaznamenána hned 1. prosince v Benecku. Na Sněžce byla 2. prosince zaznamenána nejvyšší rychlost větru $41,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. První zimní měsíc začal nízkými teplotami a na Sněžce byl 3. prosinec s maximální teplotou $-10,2 \text{ }^\circ\text{C}$ prvním arktickým dnem. Nejvyšší hodnoty celkové sněhové pokrývky se v prosinci přesunuly z Krkonoše a Beskyd na Šumavu, kde bylo 29. prosince na Plechém, Rakouské louce a na Březníku naměřeno 82 cm. Rok končil mimořádně vysokými teplotami na Silvestra. V Českých Budějovicích a v Děčíně byla naměřena maximální denní teplota $15,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Chod průměrné denní teploty byl v prosinci zcela standardní. Normální postupný pokles průměrné teploty již od začátku listopadu (obr. 10) byl přerušen hned první prosincové dny, poté v polovině prosince a stejně tak poslední prosincové dny.

Z odtokového hlediska byl prosinec ve všech hlavních povodích podprůměrným měsícem. Průměrné měsíční průtoky sledovaných vodních toků se nejčastěji pohybovaly v rozmezí od 30 do 120 % Q_{XII} . Z hlavních povodí nejméně vody odtoklo Moravou (47 % Q_{XII}). Hladiny většiny vodních toků vykazovaly v průběhu měsíce až do 24. prosince setrvalé stavy, či byly mírně rozkolísané. Na začátku třetí prosincové dekády pak v důsledku velmi nízkých teplot byla velká řada hydrologických stanic zejména na menších a horských tocích ovlivněna tvorbou ledových jevů. Změnu na většině sledovaných tocích způsobila „předvánoční a předsilvestrovská obleva“, kdy v důsledku výrazného oteplení v kombinaci s dešťovými srážkami docházelo na k výrazným vzestupům vodních hladin. Největší vzestupy s dosažením stupňů povodňové aktivity byly zaznamenány 31. prosince na horním toku Jizery v profilu Jablonec nad Jizerou, kde byl krátkodobě překročen 2. SPA (Q_{c2}). První SPA byl zaznamenán na horním toku Jizeřy, Vsetínské Bečvě a na Velké Stanovici, vše při vodnostech menších než Q_2 . V prosinci byla hladina v mělkých vrtech celkově normální, vydatnost pramenů byla mírně podnormální. Hladina stagnovala, až mírně rostla u 60 % objektů a stejně jako v říjnu a listopadu byla na celém území ČR, s výjimkou mírně podnormálního povodí Ohře a dolního Labe, normální. Vydatnost pramenů oproti předcházejícímu měsíci převážně stagnovala, až se mírně zmenšovala (51 % pramenů). Ke zhoršení stavu došlo zejména v povodí horního a středního Labe a Moravy (z mírně, na silně podnormální). Hladina podzemní vody v hlubokých vrtech zaznamenala stagnaci až mírný pokles u 60 % objektů. Stav hladiny v jednotlivých skupinách hydrogeologických rajonů se oproti předchozímu měsíci příliš nezměnil, ke zlepšení došlo v části moravského terciéru (z mírně podnormálního na normální). Ke zhoršení došlo například v části podkrušnohorské pánve (z normálního stavu na mírně podnormální).

Na měřicích stanicích byla během prosince zaznamenána převážně velmi dobrá až dobrá

Tab. 1 Denní maximum teploty [°C] v roce 2021.

Table 1. The highest maximum daily temperature [°C] in 2021.

ID stanice	Název	Okres	Nadm. výška [m n. m.]	Datum	Maximální teplota [°C]
B1STRZ01	Strážnice	Hodonín	176	8. 7.	36,5
L1PLZB01	Plzeň, Bolevec	Plzeň-město	331	19. 6.	35,7
L1PLMI01	Plzeň, Mikulka	Plzeň-město	360	19. 6.	35,3
P7PLZD01	Plzeň, Dobřany	Plzeň-jih	347	19. 6.	35,2
P2TUHA01	Tuhaň	Mělník	160	19. 6.	35,1

Tab. 2 Denní minimum teploty [°C] v roce 2021.

Table 2. The lowest minimum daily temperature [°C] in 2021.

ID stanice	Název	Okres	Nadm. výška [m n. m.]	Datum	Minimální teplota [°C]
L7JUMO02	Jelení, u mostu	Karlovy Vary	852	14. 2.	-32,7
P7KJHJ01	Kořenov, Jizerka, Horní Jizera	Jablonec nad Nisou	823	15. 2.	-31,8
C7JESL01	Kvílda-Perla	Prachatice	1 058	15. 2.	-31,4
C7ROSL01	Rokytská slať	Klatovy	1 100	15. 2. 14. 2.	-31,3 -31,2
C7BRZK01	Březník	Klatovy	1 139	14. 2.	-30,7
C7ROSL01	Rokytská slať	Klatovy	1 100	12. 2.	-30,6

Tab. 3 Nejvyšší denní úhrn srážek [mm] v roce 2021.

Table 3. The highest daily precipitation amount [mm] in 2021.

ID stanice	Název	Okres	Nadm. výška [m n. m.]	Datum	Denní úhrn [mm]
O1LYSA01	Lysá hora	Frýdek-Místek	1 322	31. 8.	128,2
O1BEDO01	Bělá pod Pradědem, Domašov	Jeseník	676	17. 7.	118,3
H1LUCB01	Luční bouda	Trutnov	1 413	23. 8.	112,5
O7BEAD01	Bělá pod Pradědem, Adolfovice, vodárna	Jeseník	558	17. 7.	105,6
O1NYFI01	Nýdek, Filipka	Frýdek-Místek	745	31. 8.	104,4

Tab. 4 Nejvyšší třídenní úhrn srážek [mm] v roce 2021.

Table 4. The highest value of threeday sum of precipitation [mm] in 2021.

ID stanice	Název	Okres	Nadm. výška [m n. m.]	Datum	Úhrn [mm]
O1BEDO01	Bělá pod Pradědem, Domašov	Jeseník	676	16. 7.–18. 7.	178,4
O1LYSA01	Lysá hora	Frýdek-Místek	1 322	30. 8.–1. 9.	159,7
O1BECS01	Bělá pod Pradědem, Červenohorské sedlo	Jeseník	1 010	16. 7.–18. 7.	150,8
O1NYFI01	Nýdek, Filipka	Frýdek-Místek	745	30. 8.–1. 9.	137,4
U2LOBE01	Lobendava ¹³	Děčín	350	16. 7.–17. 7.	134,0

Tab. 5 Nejvyšší výška celkové sněhové pokrývky [cm] v roce 2021.

Table 5. The highest value of snow cover [cm] in 2021.

ID stanice	Název	Okres	Nadm. výška [m n. m.]	Datum	Celková výška sněhu [cm]
H1LBOU01	Labská bouda	Trutnov	1 320	22. 3.	188
O1LYSA01	Lysá hora	Frýdek-Místek	1 322	17. 4.	161
P4RNVO01	Rokytnice nad Jizerou, Nad Voseckou	Semily	1 377	22. 3.	155
P4RPAN01	Rokytnice nad Jizerou, Pančavská louka	Semily	1 339	22. 3.	148
P4RZPL01	Rokytnice nad Jizerou, Zadní Plech	Semily	1 129	22. 3.	138

¹³ Pršelo jen dva dny

Tab. 6 Nejvyšší výška nového sněhu [cm] v roce 2021.

Table 6. The highest value of new snow [cm] in 2021.

ID stanice	Název	Okres	Nadm. výška [m n. m.]	Datum	Výška nového sněhu [cm]
O1LYSA01	Lysá hora	Frýdek-Místek	1 322	15. 4.	42
O3BENE01	Velké Karlovice, Benešky	Vsetín	855		
O7KUDL01	Horní Bečva, Kudlačena	Vsetín	660	16. 1.	40
O1MOLU01	Morávka, Lúčka	Frýdek-Místek	600	16. 1.	
O1LYSA01	Lysá hora	Frýdek-Místek	1 322	14. 4.	36
O3BECV01	Horní Bečva	Vsetín	565	16. 1.	34
O1HOLO01	Horní Lomná	Frýdek-Místek	582	13. 1.	
O7BECV02	Horní Bečva, U Ondrů	Vsetín	559	16. 1.	33

Tab. 7 Statistika význačných dnů v roce 2021.

Table 7. The review of significant days in 2021.

	První	Poslední	Počet v Česku ¹⁴ (průměr 1901–2000)	Maximální počet v roce	
				Stanice	Počet
tropický (TMA ≥ 30)	10. 5.	26. 9.	58 (35)	Strážnice	28
letní (TMA ≥ 25)	31. 3.	20. 10.	114 (96)	Strážnice	87
mrazový (TMI < 0)	21. 7.	17. 6.	278 (228) ¹⁵	Břežník	249
ledový (TMA < 0)	12. 10.	8. 5.	151 (133)	Sněžka	146
arktický (TMA ≤ -10)	3. 12.	20. 3.	11 (14)	Sněžka	10
s tropickou nocí (TMI ≥ 20)	18. 6.	16. 8.	11 (8)	Praha, Klementinum	10

kvalita ovzduší. Na městských a předměstských stanicích se velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší vyskytovala nejčastěji v kraji Vysočina, na venkovských stanicích pak v Jihočeském a Královéhradeckém kraji a v kraji Vysočina. Přijatelná a zhoršená až špatná kvalita ovzduší byla nejčastěji zaznamenána na stanicích v aglomeraci O/K/F-M. Rozptylové podmínky byly v prosinci, v porovnání s desetiletým průměrem 2011–2020, standardní. Hodnota denního imisního limitu PM_{10} ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla v prosinci překročena na 71 stanicích ze 117. Povolený počet překročení ($35\times$) byl do konce prosince překročen na čtyřech stanicích (všechny v aglomeraci O/K/F-M). Nejvyšší průměrné denní koncentrace PM_{10} ($225 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i $PM_{2,5}$ ($220 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byly naměřeny 27. prosince na venkovské stanici Nošovice. Na konci prosince byla vyhlášena jediná smogová situace roku 2021. Situace byla vyhlášena z důvodu vysokých koncentrací PM_{10} v aglomeraci O/K/F-M bez Třinecka 27. prosince v 01:51 SEČ a odvolána dne 29. prosince ve 12:00 SEČ. Celorepublikový měsíční průměr koncentrací suspendovaných částic PM_{10} , resp. $PM_{2,5}$ dosáhl v prosinci šesté, resp. sedmé nejnižší hodnoty za hodnocené období 2011–2020.

Literatura:

- ČHMÚ, 2021. Portál Českého hydrometeorologického ústavu [online]. [cit. 4. 1. 2022]. Dostupné z WWW: <http://www.chmi.cz>.
- ČHMÚ, 2021. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020 [online]. [cit. 4. 1. 2022]. Dostupné z WWW: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/Obsah_CZ.html.
- eMS, 2020. Meteorologický slovník výkladový a terminologický, ČMeS [online]. [cit. 4. 1. 2022]. Dostupné z WWW: <http://slovník.cmes.cz>.
- Infomet, 2021. Informační stránky Českého hydrometeorologického ústavu, ČHMÚ [online]. [cit. 4. 1. 2022]. Dostupné z WWW: <http://www.infomet.cz>.
- MÜNSTER, P., 2022. Tornádo na jihu Moravy 24. 6. 2021. *Meteorologické zprávy*, roč. 75, č. 1, 17–24. ISSN 0026-1173.
- ŠTĚPÁNEK, P., 2005. Variabilita teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových měření (Air Temperature Fluctuations in the Czech Republic in the Period of Instrumental Measurements). Disertační práce, Geografický ústav PřF MU, Brno. 136 s.
- TOLASZ, R. a kol., 2007. Atlas podnebí Česka. Praha: ČHMÚ, Olomouc: UP Olomouc, 1. vydání, 256 s., ISBN 978-80-86690-26-1, ISBN 978-80244-1626-7.
- VLNAS, R., 2015. Metodika pro stanovení mezních hodnot indikátorů hydrologického sucha. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka v. v. i., Praha, 18 s.

¹⁴ Den se vyskytl alespoň na jedné stanici v Česku

¹⁵ V síti měření minimální teploty se po roce 1990 zvýšil počet specializovaných stanic umístěných v „mrazových lokalitách“. Proto je pro mrazový, ledový a arktický den vypočten dlouhodobý průměr za období 1991–2020.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Luboš Němec, doc. RNDr. Iva Hůnová, CSc.

Tornádo na jihu Moravy 24. 6. 2021

Tornado in South Moravia June 24, 2021

Petr Münster

Český hydrometeorologický ústav
Úsek meteorologie a klimatologie
Regionální předpovědní pracoviště Brno
Kroftova 43, 616 67 Brno
✉ petr.munster@chmi.cz

The Czech Republic was hit by very strong thunderstorms within a waving cold front in the late afternoon, in the evening and at night on Thursday, June 24th 2021. All the strong convective storms were accompanied by various significant dangerous weather phenomena on a large part of the Czech Republic, in particular strong wind gusts and large or very large hail. One of supercells above Břeclav and Hodonín districts gave rise to a tornado at 7:14 PM local time (CEST). The tornado caused serious and devastating damage in landscape as well as inhabited areas, with hundreds of people injured and six people dead. The tornado was classified as F4, violent tornado on the Fujita scale. A detailed research started immediately to find out information about all the causes and consequences.

KLÍČOVÁ SLOVA: tornádo – jižní Morava – bouřka – bouře konvektivní – supercela

KEYWORDS: tornado – South Moravia – thunderstorm – convective storm – supercell

1. Úvod

Na přelomu jara a léta roku 2021 zasáhlo naše území hned několik extrémních událostí spojených s konvektivními bouřkami. Potvrzeny byly například extrémní lokální srážky, výskyt několika downburstů spojených se supercelami. Tím nejničivějším jevem ale bylo ničivé tornádo kategorie F4 na jižní Moravě, které se vytvořilo 24. června 2021 po 19. hodině na Břeclavsku v rámci výrazné supercely a jež zasáhlo dále i Hodonínsko. Vyžádalo si šest lidských životů, stovky zraněných a obrovské škody na soukromém i veřejném majetku. Svou intenzitou a dobou trvání se tornádo na jihu Moravy zařadilo mezi nebezpečné meteorologické jevy, které se v rámci Evropy vyskytují jen velmi vzácně, proto mu byla věnována zvláštní pozornost. Po prvních průzkumech byla týden po události vydána předběžná zpráva, v rámci následujících měsíců byla zpracovávána rozsáhlejší „Souhrnná zpráva k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy 24. 6. 2021“ s detailnějším pohledem na veškeré aspekty vzniku tornáda. Úplné zpracování velkého množství dokumentačních materiálů, měření a pozorování související s rozsáhlou činností studované konvektivní bouře a také výsledky další přeshraniční spolupráce budou zahrnuty do pří-

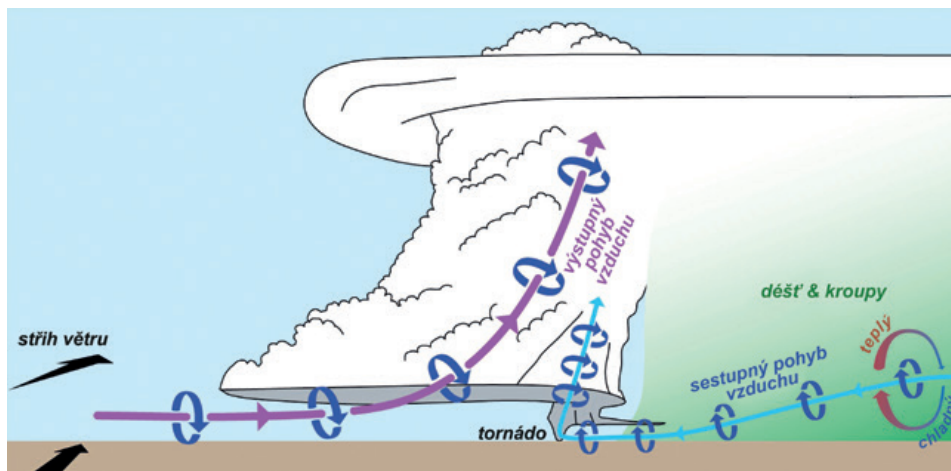
pravované monografie věnované výjimečně silnému tornádu na jižní Moravě a mimo to i do dalších publikací a odborných článků. Níže jsou stručněji zpracovány nejpodstatnější pasáže ze souhrnné zprávy.

2. Podmínky pro vznik tornáda

Tornadogeneze je velmi složitý proces, o kterém ani v současnosti není známo zdaleka vše a na dané téma i v současnosti probíhá velmi intenzivní výzkum, zejména ve Spojených státech amerických. Nicméně je zřejmé, že silná, resp. ničivá tornáda (kategorie F2, F3, resp. F4, F5) jsou téměř výhradně spojena se supercelami – silnými konvektivními bouřkami se silně rotujícím výstupným proudem. Proto je velká část souhrnné zprávy věnována právě supercelám, které je možné na meteorologických radarech detekovat.

Pro vznik konvektivní bouře jsou nutné 3 základní podmínky, podle kterých se možnost vzniku bouří posuzuje také v předpovědi počasí (podle Johnsa a Doswella (1992) tzv. „metoda přísad“ z angl. *ingredient-based methodology*). Nejdůležitější je vysoká vlhkost vzduchu ve spodních částech troposféry v kombinaci s instabilním teplotním zvrstvením – výrazným vertikálním teplotním gradientem ve střední troposféře (ve výšce 2–6 km). Kombinace těchto dvou podmínek vytváří tzv. energii instability v atmosféře označovanou jako CAPE (z angl. Convective Available Potential Energy). Ke vzniku bouří dojde pouze tehdy, pokud je přítomna třetí podmínka – spouštěcí mechanismus. Je to počáteční impuls, jenž způsobí výstup vzduchové částice alespoň do hladiny volné konvekce. Nejčastěji je takovým impulzem studená fronta, výrazná orografie, nebo čára konvergence, případně výtok chladného vzduchu z jiné konvektivní bouře.

Vzniklá bouře se po desítkách minut často rozpadne. Na vině je skutečnost, že výstupný proud teplého vzduchu je zahlcen padajícími srážkami, což vede k jeho zeslabení a bouře se po chvíli rozpadá. Krátké trvání bouře však limituje potenciál výskytu nebezpečných doprovodných jevů. Pro posouzení nebezpečnosti bouří se používá čtvrtá podmínka – vertikální stříh větru, který popisuje změnu horizontálního proudění s výškou. Právě odlišný vítr ve výškách může vést k tomu, že ve výšce vznikající srážkové částice nevypadávají zpět do výstupného proudu, ale padají vedle něj. Při jejich vypadávání do okolního vzduchu dochází částečně k jejich vypařování, a tím i ochlazení okolního vzduchu, který následně začne klesat a vytváří sestupný proud. Konvektivní bouře tvořící se v prostředí se silným vertikálním stříhem větru mohou za jistých okolností vykazovat výraznou rotaci výstupného proudu, kdy tato rotace vytváří ve střední části bouře tzv. *mezocyklonu*, která je mimo jiné doprovázena lokálním snížením tlaku vzduchu. O takové bouři hovoříme jako o tzv. *supercele*. Schematické znázornění supercely s pohyby vzduchu uvnitř bouře je na obr. 1. To vše vede nejen k tomu, že supercely mohou stabilně existovat dlouhé hodiny, ale i k tomu, že pravděpodobnost výskytu ne-



Obr. 1 Schéma supercelly a mechanismus vzniku tornáda. Zdroj originálního obrázku: <https://sites.psu.edu/pmarkowski/how-tornadoes-form/>.

Fig. 1. Scheme of tornadic supercell. Original image source: <https://sites.psu.edu/pmarkowski/how-tornadoes-form/>.

bezpečných doprovodných jevů je u tohoto typu bouří znatelně vyšší než u jiných typů konvektivních bouří. Nicméně jen malá část supercel dá vzniknout tornádu.

Pro vznik tornáda jsou totiž podstatná ještě další specifika. Tornádo je rotující sloupec vzduchu, který je ve své horní části spojen se základnou oblaku pod mezocyklonou mateřské supercelly a jehož spodní konec je v kontaktu se zemským povrchem. Vzduchový válec s tak výraznou rotací ale nevznikne sám od sebe. Impulsem je většinou tzv. gust fronta sestupného studeného proudu ze supercelly. Při kontaktu tohoto vhodně chladného sestupujícího vzduchu se stoupajícím teplým vzduchem do bouře může za vhodných podmínek prostředí vzniknout horizontální vorticity. Nejvhodnější prostředí pro podporu vzniku takovéto vorticity při povrchu lze popsat například vertikálním stříhem větru mezi výškami 0 a 1 km nad povrchem, jehož hodnota je alespoň kolem $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tento vzduch je nasáván vzestupným proudem do bouře, čímž je původně horizontální vorticity transformována na vertikální. Touto transformací vorticity jsou vytvořeny vhodné podmínky pro možný vznik tornáda.

Prostředí potenciálně vhodné pro silná tornáda jsou tedy:

- silná konvektivní bouře se silně rotujícím výstupným pohybem, která se nejlépe vytvoří při vysoké hodnotě CAPE,
- vertikální stříhu větru 0–6 km s hodnotou alespoň kolem $18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,
- vysoká hodnota relativní helicity vůči pohybu bouře (což zvyšuje tendenci pohybu nasávaného vzduchu po šroubovici),
- vhodný vertikální stříh větru 0–1 km s hodnotou alespoň kolem $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,
- optimální vlhkost a teplota vzduchu v oblasti downdraftu, aby vzduch nasávaný do bouře nebyl příliš těžký.

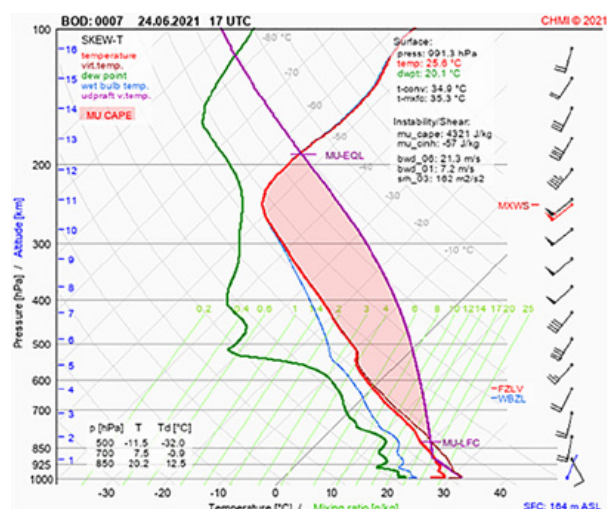
3. Meteorologické podmínky 24. 6. 2021

Počasí ve střední Evropě od 19. do 25. 6. 2021 ovlivňovala zvlněná studená fronta zvolna postupující k východu. Na její

přední straně se na našem území a zejména na Moravě hromadil tropický a vlhký vzduch, díky silnému výškovému proudění byl v oblasti zvlněné studené fronty výrazný vertikální stříh větru. Dne 24. 6. 2021 byly dosaženy maximální teploty vzduchu v Jihomoravském kraji až $34 \text{ }^\circ\text{C}$, výrazné byly rovněž teploty rosného bodu – přes $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Podrobnou analýzou pozemních měření ze stanic české, slovenské i rakouské meteorologické služby byla zjištěna přítomnost a poloha čáry konvergence, která podporovala vznik bouří na našem území ve večerních hodinách. Ty podle radarových dat začaly vznikat po 14. hodině nad východními Alpami a v jihozápadním proudění se postupně

zesilující bouře dostaly až na hranici Rakouska a jižní Moravy před 18. hodinou.

Konvektivní bouře se při svém vývoji a postupu nad naše území různě spojovaly, štěpily, zanikaly a vyvíjely. Bouře, která později vyprodukovala tornádo na Moravě, měla původně jinou dráhu. Před hranicemi s Českou republikou se vyvinula v supercelu, jejíž rotace krátce změnila i směr postupu na východ a před Mikulovem se tak přesunula nad Břeclav, odkud pokračovala již ve směru řídicího proudění na severovýchod. Přes Břeclavsko a Hodonínsko přecházely postupně celkem 4 bouře mezi cca 19. hodinou 24. 6. a 1 hodinou v noci 25. 6. 2021. Nevýraznější nebezpečné jevy se vyskytly na první bouři – kromě tornáda také kroupy obřích rozměrů (např. Valtice, Břeclav, Hrušky až 7 cm). Mimo tornádem zasaženou oblast nebyly změřeny nebo zjištěny další silné nárazy větru, úhrny srážek za celou epizodu byly změřeny mezi 10 a 40 mm, maximální úhrn 46,6 mm byl naměřen severněji na stanici Žďánice.



Obr. 2 Modelový vertikální profil (pseudosondáž) atmosféry pro bod Břeclav 24. 6. 2021 19:00 SELČ (17:00 UTC). Červeně teplota vzduchu, zeleně rosný bod, fialové virtuální teplota vzduchu vystupující částice.

Fig. 2. Model vertical profile of atmosphere in Břeclav at 19:00 CEST (17:00 UTC) on June 24, 2021.

4. Vertikální profily atmosféry

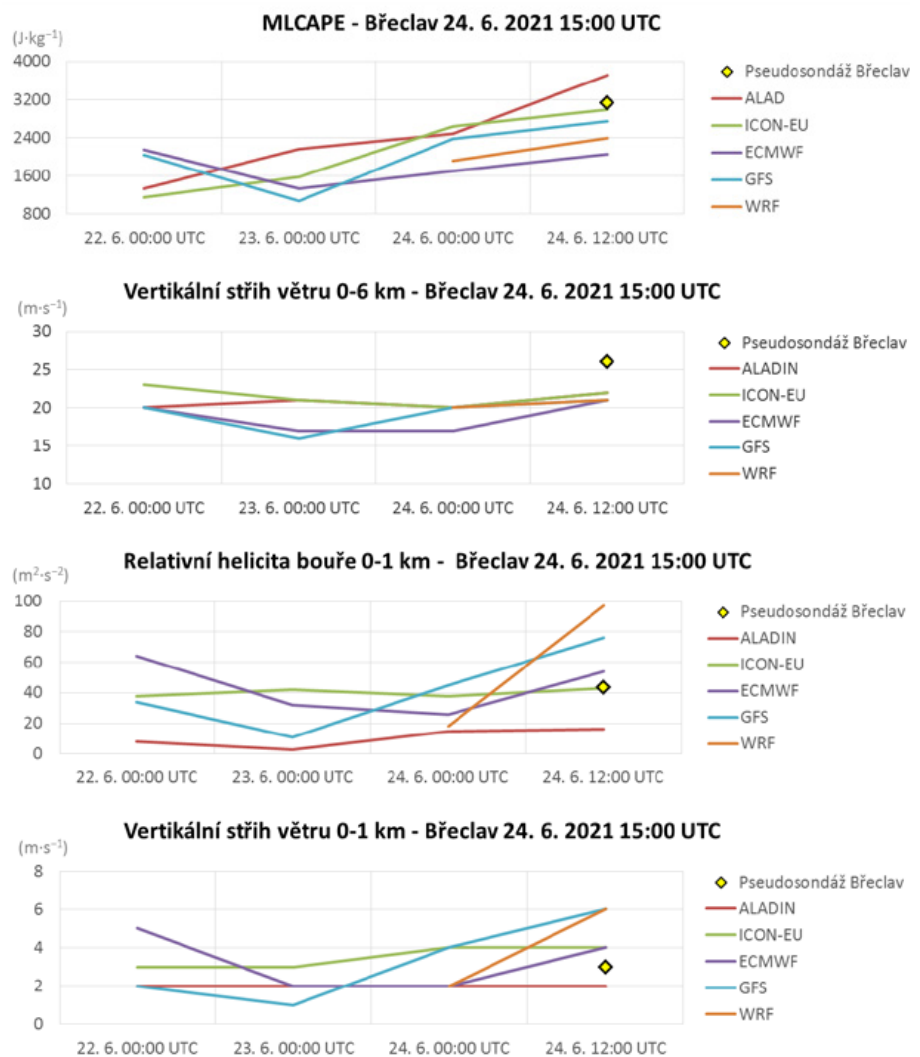
Reálné podmínky atmosféry v celém jejím profilu lze získat pouze radiosondážními měřeními, přičemž nejbližší oblasti výskytu tornáda byly výstupy sond v Prostějově a ve Vídni v 14:00 SELČ. Vzhledem k velké prostorové a časové variabilitě jednotlivých měřených parametrů atmosféry nejsou měřená data ze sond dostatečně reprezentativní pro přesnější popis podmínek na jihu Moravy, ale dávají alespoň rámcový přehled nad velkou oblastí Moravy a Rakouska v době před formováním bouří. Přesnější údaje o atmosféře na Břeclavsku a okolí bylo třeba doplnit pomocí kombinace předpovědních numerických modelů a dostupných měření.

Pro lepší odhad stavu atmosféry byly vypočteny v 10 vybraných bodech na pomezí jižní Moravy, Rakouska a Slovenska vertikální profily atmosféry, tzv. pseudosondáže. Podkladovými numerickými předpovědními modely byly ALADIN (ČHMÚ), GFS (NOAA/NCEP) a AM model (WRF12, Amper Meteo) z běhu 02:00 SELČ (00:00 UTC) i 14:00 SELČ (12:00 UTC) dne 24. 6. s předpovědí pro interval 14:00 až 20:00 SELČ 24. 6. 2021. Ze základních sledovaných parametrů atmosféry 10 pseudosondáží a 2 radiosondáží vyplynuly následující skutečnosti. Energie instability (CAPE) dosahovala vysokých až extrémních hodnot (MUCAPE = nejvyšší potenciální energie konvekce zjištěná v profilu) přes 5 000 J·kg⁻¹. Tyto extrémní hodnoty byly na území západního Slovenska a východě Moravy mnohem vyšší (někdy až dvojnásobné) vůči hodnotám v severním Rakousku a jemu přilehlé oblasti jižní Moravy. Vertikální stříh větru 0–6 km byl později odpoledne v době vzniku bouří naopak v západní části sledovaného území vyšší (Rakousko až 25 m·s⁻¹; Slovensko kolem 20 m·s⁻¹), ale v průběhu večera se zvolna hodnoty zvyšovaly. Podmínky ve vrstvě 0–1 km posuzované pro vhodnost tornadogeneze určovaly především relativní helicity a vertikální stříh větru. Obě tyto veličiny dosahovaly kolem poledne a odpoledne jen podlimitních hodnot a zvyšovaly se až ve večerních hodinách. V 19:00 SELČ byl vertikální stříh větru 0–1 km s hodnotami až 8 m·s⁻¹ modely naznačován spíše v Rakousku a Slovensku. Až později mohl dosáhnout hodnot kolem 10 m·s⁻¹ i na jižní Moravě. Relativní helicity plošně vzrůstala na hodnoty kolem 100 m²·s⁻², ve večerních hodinách s velkými prostorovými rozdíly pak hodnoty dosahovaly i nižších stovek m²·s⁻². Citlivost výstupních hodnot byla však značně ovlivněna použitým numerickým modelem, či podrobností výpočtu. Pro ukázkou grafu vertikálního profilu atmosféry byla vybrána pseudosondáž v Břeclavi v 19:00 SELČ (17:00 UTC) z modelu ALADIN (běh 00:00 UTC), viz obr. 2.

5. Předpovědi sledovaných parametrů a výstrahy ČHMÚ

Data čistě z numerických předpovědních modelů (NWP modely) nejpoužívanějších na ČHMÚ (ALADIN, ICON-EU, ECMWF, GFS a navíc WRF), která byla využita i pro konkrétní předpovědi počasí a nebezpečné jevy, byla porovnána z mezi sebou z výpočetních běhů 12:00 UTC 24. 6. 2021 a 00:00 UTC 24., 23. a 22. 6. 2021. Přičemž „polední“ běhy 24. 6. často nebylo možné v operativní předpovědi využít, neboť jsou dostupné až ve večerních hodinách. Vývoj sledovaných čtyř parametrů atmosféry je zobrazen v grafech pro bod Břeclav v čase před výskytem konvektivních bouří již v 17:00 SELČ (15:00 UTC), jelikož jednotný krok srovnávaných NWP modelů je 3hodinový (obr. 3). Pro jednotnost mezi modely byla ve srovnání energie instability použita hodnota MUCAPE (Mixed Layer), jejíž hodnoty jsou nižší než MUCAPE.

Zaměřením se na vývoj výše uvedených parametrů, které samostatně mohou pouze naznačovat potenciál k tvorbě silných konvektivních bouří, případně tornád, je patrné, že energie instability se v průběhu aktualizací modelů většinou výrazně zvyšovala, a i tak ji modely spíše podhodnotily. Stablní vysoké

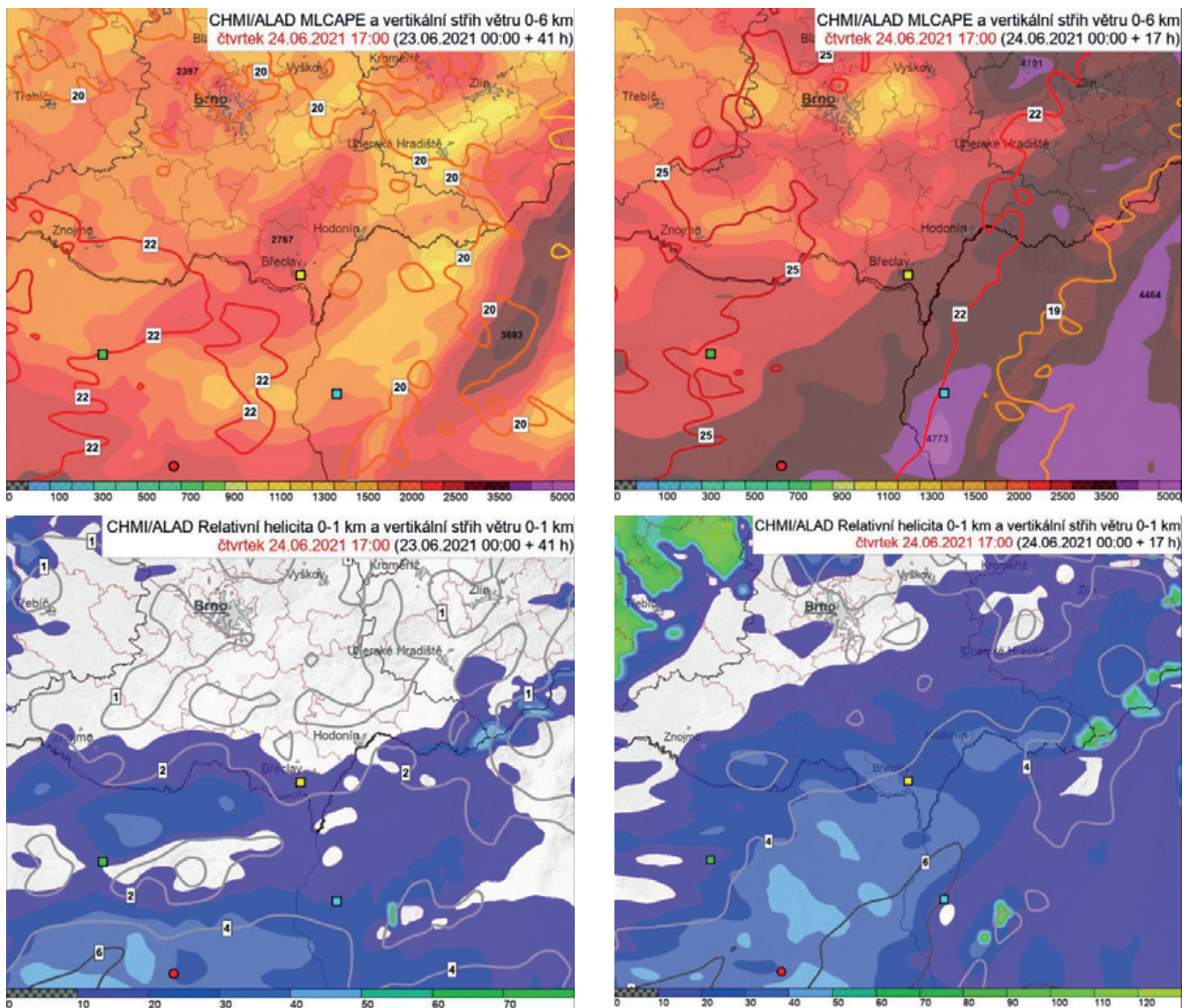


Obr. 3 Grafy sledovaných parametrů atmosféry v Břeclavi 24. 6. 2021 v 17:00 SELČ (15:00 UTC) z různých běhů vybraných NWP modelů.
 Fig. 3. Forecast of selected atmospheric parameters and several NWP models in Břeclav at 5:00 PM CEST (15:00 UTC) on June 24, 2021.

hodnoty vertikálního střihu větru 0–6 km za přítomnosti dostatku energie v atmosféře s velkým předstihem naznačovaly silné konvektivní bouře. V důsledku toho byl 24. 6. zvýšen stupeň nebezpečí výstrahy na jev „Velmi silné bouřky“. Vertikální střih větru 0–6 km byl celkově modely podhodnocen. Hodnoty relativní helicity bouře 0–1 km, která zvyšuje pravděpodobnost tornadogeneze díky tendenci k silné rotaci a vzniku nízkohladinové mezocyklony v bouři, se výrazně zvyšovaly ve večerních hodinách. Ale i na srovnání v čase 17:00 SELČ je vidět růst hodnot až s posledními dvěma aktualizacemi modelů (obr. 4). Vertikální střih větru 0–1 km byl v průběhu předpovědi také poměrně stabilním parametrem, větší rozdíly mezi modely a vůči odhadům hodnot ve sledovaných pseudosondážích se objevovaly hlavně ve večerních hodinách, kdy se hodnota tohoto parametru zvyšovala. V některých případech mohlo být výraznější podhodnocení způsobeno skutečností, že pseudosondáž uvádí vertikální střih větru 0–1 km vypočtený mezi 10 m nad zemí a 1 km, zatímco modelové hodnoty počítají horní hranici vrstvy na standardní tlakové hladině 925 hPa (toho času ve výšce cca 800 m).

Meteorologická situace při pohledu na předpovědní data pro den 24. 6. 2021 naznačovala složitý a dynamický průběh počasí s pravděpodobnými nebezpečnými jevy již s velkým předstihem. Proto se první náznaky o silných bouřkách v předpovědi počasí na území České republiky objevily už 19. 6. v týdenní předpovědi a postupně i v jednotlivých regionálních předpovědích.

Postupným upřesňováním a ustalováním předpovědních parametrů poukazujících na intenzitu, prostorové rozložení a časové rozpětí pravděpodobných konvektivních bouří byly začleny i výstrahy systému integrované výstražné služby ČHMÚ (SIVS). Konkretizace předchozího výhledu nebezpečných jevů se na základě domluvy s Generálním ředitelstvím Hasičského záchranného sboru České republiky (GR HZS ČR) a na základě požadavků Evropského výstražného systému (Meteoalarm) provádí s předstihem dvou dnů. Ve středu 23. 6. 2021 byla proto vydána výstraha na „silné bouřky (nízký stupeň nebezpečí)“ pro většinu České republiky s platností na čtvrteční večer a noc na pátek. Ve čtvrtek 24. 6. v poledne byla platnost výstrahy prodloužena do časového intervalu od „dnešních“ 17:00 do



Obr. 4 Ukázka vývoje předpovědních parametrů pro termín 24. 6. 2021 19:00 SELČ (17:00 UTC) z modelu ALADIN s předstihem 41, resp. 17 hodin.

Fig. 4. Forecast of selected thunderstorm (upper) and tornado (lower) parameters at 7:00 PM CEST (17:00 UTC) on June 24, 2021 from NWP ALADIN model of 41 hrs (left) and 17 hrs (right) lead times.

Tab. 1 Hodnocení výstrah podle vztahu mezi vydanou výstrahou a pozorovaným jevem v rámci ČR a jednotlivých krajů.

Table 1. Method for evaluation of warning success rate in CHMI.

Intenzita			Pozorovaný jev			
			0		1	2
Výstraha	0	okolí 0		chybějící výstraha	chybějící výstraha	chybějící výstraha
		okolí 1–3*		výstraha v okolí*	výstraha v okolí*	výstraha v okolí*
	1	falešný poplach	jev v okolí*	úspěšná	podhodnocená	podhodnocená
	2	falešný poplach	jev v okolí*	nadhodnocená	úspěšná	podhodnocená
	3	falešný poplach	jev v okolí*	nadhodnocená	nadhodnocená	úspěšná

* kategorie používaná pouze pro hodnocení krajů

pátku 06:00 a v souladu se zvýšením hodnot energie instability v aktualizovaných bězích NWP modelů byl zvýšen stupeň nebezpečí na vysoký. Zejména se předpokládaly kroupy větších rozměrů, nárazy větru kolem $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ v souvislosti s výtoky studeného vzduchu při srážkách, které v přívalech mohly dosahovat úhrnů kolem 50 mm. Na základě pozorovaných výrazných bouří nad severním Rakouskem, které postupně pronikaly nad naše území, byla po 18. hodině vydána výstraha před pozorovaným jevem „velmi silné bouřky s přivalovými srážkami“, přičemž v době vydávání této výstrahy bylo možné z radarových dat usuzovat na vyšší úhrny srážek a odhadovat potenciál krup s velikostí nad 2 cm na Znojemsku, případně Třebíčsku. První výstraha před pozorovanými konvektivními bouřemi pokrývala se stejnou pravděpodobností jejich výskytu a intenzity území celých krajů Vysočina, Jihomoravského a Pardubického s platností na následující 3 hodiny.

Úspěšnosti výstrah SIVS můžeme hodnotit na základě potvrzených nebezpečných jevů díky jejich přímému pozorování, nebo s pomocí měření, případně příslušných produktů (výstupy z radarových dat jsou rozebírány níže). Nehodnotí se výstraha jako celek, ale dílčí jevy v rámci nově vydaných nebo aktualizovaných výstrah. Hodnocení probíhá na úrovni celé ČR a samostatně pro jednotlivé kraje a jsou zařazována do 4 hlavních kategorií úspěšnosti: úspěšná, částečně úspěšná, neúspěšná a velmi neúspěšná. Jejich další dělení je znázorněno v tab. 1.

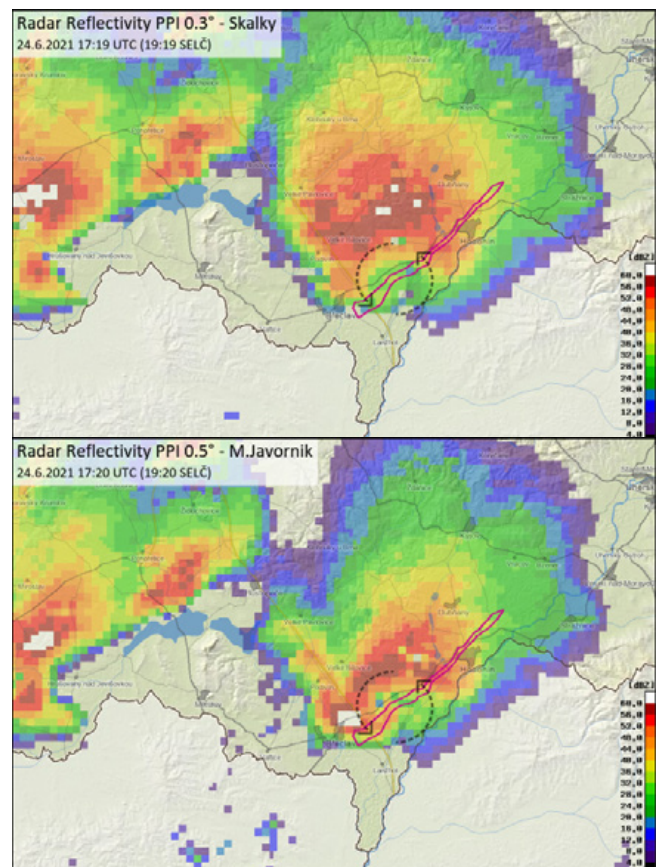
Výstrahy vydané pro Jihomoravský kraj 23. 6. a 24. 6. 2021 byly vyhodnoceny jako částečně úspěšné. Podařilo se předpovědět výskyt bouřek doprovázených nebezpečnými jevy, které budou splňovat daná kritéria SIVS. Vzhledem k výskytu a rozsahu škod velmi silného tornáda a na řadě míst i krup o průměru 4–8 cm byl ve zpětném vyhodnocení nebezpečných jevů přiřazen Jihomoravskému kraji pro 24. 6. nejvyšší, tj. extrémní stupeň nebezpečí. Stupeň nebezpečí vydaných výstrah proto byl podhodnocený, u výstrahy z 23. 6., tj. s předstihem dne a půl, o 2 kategorie stupně nebezpečí, u aktualizovaných výstrah z 24. 6. o 1 kategorii. Ostatní posuzované nebezpečné jevy (úhrn srážek a nárazy větru mimo tornádo) v rámci kritérií SIVS odpovídaly nízkému až vysokému stupni nebezpečí.

6. Sledování bouří metodami dálkové detekce (družice a radary)

Díky družicovým a radarovým pozorováním lze téměř v reálném čase sledovat, jak jsou naplňovány předpoklady očekávaných fyzikálních, resp. meteorologických procesů v atmosféře. Pokročilejším zpracováním jednotlivých snímaných kanálů na družicových snímcích a jejich kombinací lze sledovat různé vlastnosti oblačnosti, jako např. morfologii horní hranice

oblačnosti, její teplotu a mikro-fyzikální složení, které do značné míry vypovídají o charakteru jevů skrytých pod oblačností. Standardními významnými indikátory potenciálu nebezpečnosti bouří jsou tzv. studená-U nebo vlečky nad kovadlinami bouří (obojí zpravidla doprovázející supercely) a tzv. přestřelující vrcholy, které jsou generovány silnějšími výstupnými konvektivními proudy. V rámci konvektivních bouří 24. 6. 2021 se nad střední Evropou vyskytovaly poměrně čteně tyto indikátory, avšak samotná bouře na Břeclavsku nebyla na družicových snímcích nijak významná. Jediným význačnějším družicovým jevem byla nadstandardní výška přestřelujícího vrcholu. V době těsně před vznikem tornáda byla ze statického snímku družice NOAA-19 zjištěna výška přestřelujícího vrcholu kolem 2,5 až 3 km, která je pro území střední Evropy spíše méně obvyklá.

Více informací o struktuře bouří a některých procesech bylo možné získat z výstupů zpracovaných radarových dat a z dat detekce blesků. Tornádo přímo na výstupu z radarových dat



Obr. 5 Snímek radarové odrazivosti na jihu Moravy 19:20 SELČ (17:20 UTC) 24. 6. 2021 v porovnání s dráhou tornáda. Data z hlady PPI 0,3° z radaru ČHMÚ Skalky (nahore) a z hlady PPI 0,5° z radaru SHMÚ Malý Javorník (dole).

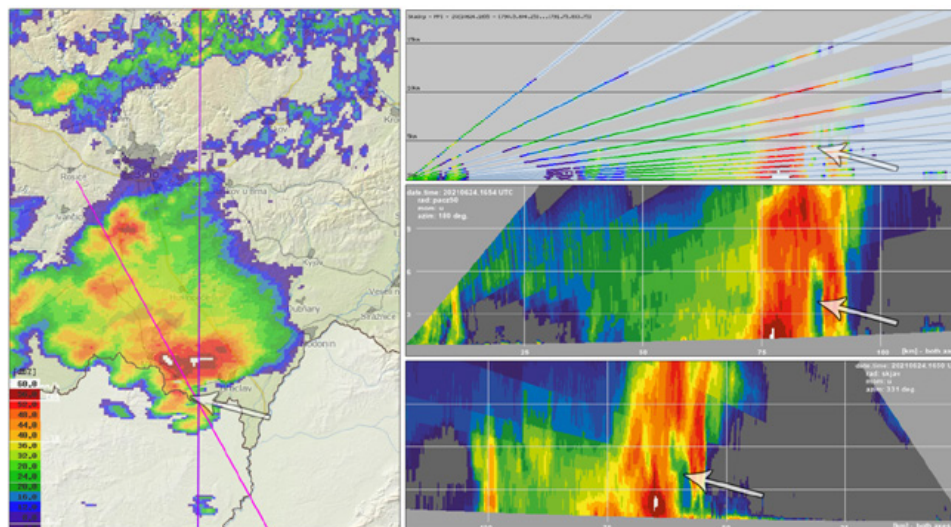
Fig. 5. Radar reflectivity image with the track of aerial footage based on tornado damages in South Moravia on June 24, 2021 highlighted (7:20 PM CEST). Data of the Skalky radar (CHMI) from elevation of 0,3° (upper) and the Malý Javorník radar (SHMI) from elevation of 0,5° (lower).

sledovat nelze, jednak díky jeho menším rozměrům vůči jejich prostorovému rozlišení, ale hlavně kvůli tomu, že tornádo je situováno pod základnou oblačnosti bouře, což je zpravidla méně než 1 km nad povrchem, takže i nejnižší radarový paprsek detekuje cíle výše nad ním. Podrobnější informace lze získávat o samotných bouřích, zejména odhad intenzity srážek, výškový profil maximální odrazivosti, rychlost a směr pohybu. Díky vyvíjenému nowcastingovému systému CELLTRACK lze pro jednotlivé identifikované buňky bouří určit navíc například maximální očekávanou velikost krup v nich, nebo historii trasy bouřkových buněk spolu s extrapolací trasy. Blíže o tomto nástroji v práci Kyznarové a Nováka (2009).

Tornadická supercela na Břeclavsku byla poměrně plošně rozsáhlá, a protože tvořící se mezocyklona byla situována na jižním okraji supercely, docházelo k výraznému útlumu signálu z radaru Skalky, který od severu procházel silnými srážkami skrze bouři. Méně zkruslená data vykazoval radar SHMÚ Malý Javorník, jehož signál se šířil od jihovýchodu s přímým výhledem na jižní stranu supercely. Dodatečnou úpravou pro následné vyhodnocení prošla data radarové odrazivosti a radiálních rychlostí ze specializovaného dopplerovského skenu radaru ČHMÚ Skalky a obdobná data z měření radaru SHMÚ Malý Javorník. Tato data umožnila lépe potvrdit přítomnost rotující mezocyklony pomocí dat radiálních rychlostí a zároveň porovnat kvalitu radarových pozorování z jednotlivých radarů. Na snímcích radarových odrazivosti z obou radarů

(obr. 5) je naznačena rotace mezocyklony. V levé části obr. 6 je na radarovém poli PseudoCAPPI 2 km z dat korigované odrazivosti radaru ČHMÚ Skalky patrné tzv. hákovité echo na jižním okraji bouře, nebo ve vertikálních řezech šipkami označené ohraničené oblasti zeslabeného echa (tzv. Bounded Weak Echo Region, BWER), což jsou charakteristické znaky mezocyklony.

ČHMÚ provozuje dva polarimetrické dopplerovské meteorologické radary Vaisala WRM-200 pracující v pásmu C (vlnová délka cca 5 cm) zaměřené na sledování srážkové oblačnosti a souvisejících srážek i na identifikaci a sledování konvektivních bouří podobně jako ostatní evropské meteorologické služby. V případě meteorologických radarů optimalizovaných pro operativní detekci silných bouří (např. radary ze sítě NEXRAD využívané národní meteorologickou službou USA) je možné výskyt tornáda odhadovat na základě zesílené a zúžené rotace identifikované v datech radiálních rychlostí na nízkých elevacích. Tento odhad je však zatížen značnou neurčitostí a výskyt tornáda je i tak často potvrzován lokálními pozorovateli. Nově jsou však využita i data polarimetrických veličin radarového měření, která dokáží i ve větších výškách identifikovat trosky nasáté tornádem. Nejdetailejší radarová pozorování tornadických supercel jsou prováděna pomocí specializovaných meteorologických radarů umístěných na automobilech (někdy označovaných jako Doppler on Wheel, DoW), které umožňují přiblížit se do blízkosti bouře a provádět tak velmi detailní měření. Tyto radary jsou nejčastěji používány v USA, avšak pouze v rámci výzkumných projektů pro analýzu vybraných bouří. Není možné je využívat k plošnému operativnímu monitorování všech bouří.



Obr. 6 Řez tornadickou supercelou z 18:55 SELČ (16:55 UTC) 24. 6. 2021 – (vpravo nahoře) operativně dostupný řez generovaný z dat korigované odrazivosti radaru ČHMÚ Skalky, (vpravo uprostřed) následně vygenerovaný řez z dat nekorigované odrazivosti radaru ČHMÚ Skalky, (vpravo dole) následně vygenerovaný řez z dat nekorigované odrazivosti radaru SHMÚ Malý Javorník, (vlevo) pole PseudoCAPPI 2 km z dat korigované odrazivosti radaru ČHMÚ Skalky s vyznačenými směry řezů, fialově vyznačen směr řezů z radaru Skalky a růžově vyznačen směr řezu z radaru Malý Javorník. Šipkami jsou vyznačeny charakteristické znaky mezocyklony: hákovité echo v poli PseudoCAPPI 2 km (vlevo) a oblast snížené odrazivosti BWER u vertikálních řezů (vpravo).

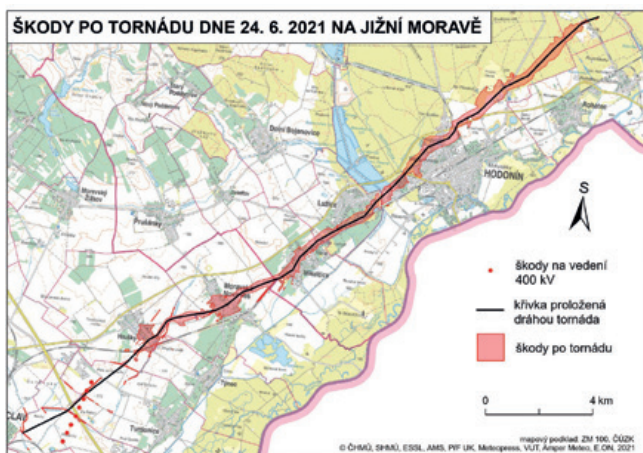
Fig. 6. Vertical cross-section through the tornadic supercell at 18:55 CEST (16:55 UTC) June 24, 2021 – (top right) operationally available vertical cross-section of corrected radar reflectivity generated from the CHMI Skalky radar, (middle right) non-operational vertical cross-section of uncorrected radar reflectivity generated from the CHMI Skalky radar, (bottom right) non-operational vertical cross-section of uncorrected radar reflectivity generated from the SHMI Malý Javorník radar, (left) PseudoCAPPI 2 km field of corrected radar reflectivity from the Skalky radar with depicted directions of the vertical cross-sections. Violet line shows the direction of vertical cross-sections from the Skalky radar, pink line shows the direction of vertical cross-sections from the Malý Javorník radar. Arrows indicate the characteristics of the mesocyclone: hook echo in the PseudoCAPPI 2 km field (left) and bounded weak echo region in the vertical cross-sections (right).

7. Hodnocení škod po tornádu

Rozsah a míra škod byla zjišťována pomocí pozemních i leteckých průzkumů po dobu zhruba 1 týdne od 25. 6. Díky spolupráci odborníků v několika týmech z ČHMÚ, SHMÚ, AMS, ESSL, Amper Meteo, PřF UK a Meteopressu se podařilo zajistit velké množství dokumentace pro zmapování oblasti poškozené tornádem a pro hodnocení škod, které slouží k určení intenzity tornáda. V rámci jednotnosti určení škod a jejich objektivnějšího vyhodnocení byla použita předběžná pracovní verze manuálu ESSL, který stanovuje hodnocení škod způsobených tornády a větrem dle Mezinárodní Fujitovy stupnice (International Fujitya Scale, dále jen IFS). Tato Mezinárodní Fujitova stupnice si klade za cíl přizpůsobit původní Fujitovu stupnici stavebním podmínkám i mimo oblast USA.

Na základě prvotního srovnání škod z leteckých snímků byly vytipovány lokality zasažených obcí, kde charakter škod odpočíval největší síle tornáda. Přímo v terénu byla posuzována míra poškození budov, velikost unášených předmětů, případně škody na vegetaci. V obcích Hrušky, Moravská Nová Ves, Mikulčice, Lužice i Hodonín byly zaznamenány v některých případech téměř kompletní devastace i poměrně solidně konstruovaných budov. Vozidla byla přemísťována i na poměrně velké vzdálenosti, případně byla poházena po obcích, transportu se nevyhnula ani některá větší vozidla. Všechny trosky se v tornádu staly letícími projektily a napomáhaly, či přímo způsobovaly poničení budov, sloupů, stromů a kromě toho představovaly i výrazné nebezpečí pro tamní obyvatele. Kromě silně poničených budov (přibližně 200 z cca 1 200 zasažených bylo určeno k demolicí¹) byly poškozeny hospodářské objekty, velká část železniční tratě v úseku Břeclav-Hodonín, síť vysokého napětí a velké škody byly v dráze tornáda i na lesních porostech a zemědělských plochách.

Na základě IFS nejvýraznější zjištěné škody skutečně odpovídají stupni IF4, resp. F4 a šlo tedy nejen o silné, ale dokonce o ničivé tornádo. To znamená, že odhadovaná maximální rychlost větru dosáhla hodnoty cca $105 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (cca $380 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Je důležité zdůraznit, že údaj o této rychlosti je velmi přibližný a může se lišit od této střední hodnoty o $\pm 31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (cca $110 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Jde o první takový potvrzený případ na našem území v moderní historii. Rovněž dobou trvání a velikostí zasažené plochy tornádo překonalo všechny dosavadní zdokumentované případy. Z informací o času pořízení dostupných fotografií a videí, na kterých bylo tornádo viditelné, bylo možné přesněji určit časový interval jeho výskytu na 19:14 až 19:53 SELČ. Přesným zmapováním byly získány parametry dráhy tornáda, která proložením křivky drahou škod činí 27,1 km délky mezi severovýchodním okrajem Břeclavi a jižní částí Ratíškovic. Šířka dráhy škod se pohybuje mezi 2,1 km jihozápadně od obce Hrušky a 250 metry v Hodoníně v průmyslové zóně Kapříská. Právě oblast mezi obcemi Břeclav a Hrušky, kde se objevily méně četné škody, ale v rozpětí dráhy až 2,1 km, je považována za místo, kde se tornádo formovalo pravděpodobně v kombinaci se silnými výtoky studeného vzduchu, tzv. downbursty. Celkový pohled na zasažené území nabízí mapa na obr. 7. Letecký snímek zobrazující rozsah škod v části obce



Obr. 7 Území zmapovaných škod po tornádu na jižní Moravě 24. 6. 2021.

Fig. 7. Map of tornado damages in South Moravia on June 24, 2021.

¹ Statistika z doby krátce po tornádu.



Obr. 8 Obec Hrušky po tornádu na jižní Moravě ze dne 25. 6. 2021.

Fig. 8. Damage caused by the tornado in Hrušky, South Moravia on June 25, 2021.



Obr. 9 Zdevastovaný dům v obci Mikulčice po tornádu na jižní Moravě ze dne 25. 6. 2021.

Fig. 9. Family house destroyed by the tornado in Mikulčice, South Moravia on June 25, 2021.

Hrušky je na obr. 8, ukázka míry poškození v obci Mikulčice je vidět na obr. 9.

8. Diskuse a závěr

Aktuální práce zahraničních autorů ukazují, že tornáda se ve střední Evropě vyskytují asi se čtvrtinovou četností na plochu a dobu trvání konvektivních bouří oproti centrální části USA. Silná tornáda (F2, F3) jsou ve střední Evropě oproti Spojeným státům ale méně četná a ničivá tornáda (F4, F5) se vyskytují jen s četností cca 17krát menší na plochu a trvání bouře ve srovnání s USA (Taszarek a kol. 2020). Za rok 2021 v celosvětovém měřítku patřilo tornádo na jižní Moravě mezi jedno ze čtyř nejsilnějších v kategorii ničivých tornád. Podle počtu obětí tornád v roce 2021 se Česko zařadilo hned za USA a Čínu. Tornáda přesto patří mezi méně časté nebezpečné jevy v rámci konvektivních bouří ve střední Evropě. Nicméně průměrně se na našem území objeví několik tornád ročně, zatímco výskyt supercel, na něž mohou být silná tornáda vázána, je na území ČR v řádu desítek za rok. Silné tornádo se objeví několikrát za desetiletí, a to občas včetně velmi silných (F3). Proto je potřeba šířit mezi obyvateli osvětu o silných konvektivních bouřích a jejich nebezpečných jevech. Součástí souhrnné zprávy bylo i doporučení, jak se chovat při výskytu tornáda, inspirované zahraničními zdroji.

Pro vznik tornáda je třeba správná kombinace mnoha parametrů a procesů v atmosféře ve správné míře a posloupnosti. Přičemž mnohé z parametrů jsou prostorově velmi variabilní a časově proměnlivé, čímž se jednoznačnost předpovědi výskytu tornáda stává nespílitelnou. Pro vznik silných tornád je nutná přítomnost supercely, ale jen malá část supercel dá vzniknout tornádu. Každopádně konvektivní bouře a jejich vývoj lze je poměrně dobře monitorovat, avšak je obtížné je s dostatečným předstihem předpovídat.

Na základě dostupných informací o meteorologických podmínkách během 24. 6. 2021 nebylo možné s jistotou očekávat tornádo ani na jižní Moravě, ani v zasažených obcích, a tak před ním varovat. Tornáda samotná nelze předpovídat s jednoznačným určením místa a času, proto jsou výstrahy ČHMÚ zacílené na silné konvektivní bouře, které nebezpečné jevy produkují. Vysoké hodnoty parametrů vhodných pro tvorbu konvektivních bouří očekávaných s velkým předstihem vedly k předpovědím „intenzivních bouřek“ a postupné zvyšování předpovídaných hodnot těchto klíčových parametrů vyústilo ke zvýšení stupně nebezpečí očekávaných jevů bouří. Předpovědní výstraha vydaná kolem poledne dne 24. 6. 2021 varovala před velmi silnými bouřkami (stupeň nebezpečí 2), zejména proto, že se nepředpokládaly extrémní projevy bouří, konkrétně obřích krup, navíc na tak velké ploše území ČR. Osamocené tornádo se vymyká kritériím SIVS, a proto je jeho zařazení do systému výstrah obtížné, a to kdekoliv na světě. Tornádo na Břeclavsku a Hodonínsku ukázalo, jak ničivé mohou být důsledky po střetu s ním. V kombinaci s efektivním tokem zjištěných informací směrem k Integrovanému záchrannému systému (IZS) a k veřejnosti, optimálně i v opačném směru, by mělo být možné alespoň částečně snížit dopady nebezpečných doprovodných jevů konvektivních bouří na životy a zdraví obyvatel.

Poděkování:

Tento článek vznikl díky společné práci na Souhrnné zprávě k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy 24. 6. 2021, na níž se podílely tři desítky odborníků z ČHMÚ, SHMÚ, AMS, ESSL, Amper Meteo, PĚF UK, Meteopressu, VUT a ZAMG.

Literatura:

- ČHMÚ, 2021. Souhrnná zpráva k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy 24. 6. 2021 [online]. Český hydrometeorologický ústav [cit. 30. 11. 2021]. Dostupné z WWW: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2021/Souhrnna_zprava_tornado_24.6.2021.pdf.
- ESSL, 2021. The International Fujita (IF) Scale. Tornado and Wind Damage Assessment Guide [online]. European Severe Storms Laboratory [cit. 20. 11. 2021]. Dostupné z WWW: https://www.essl.org/media/publications/IF-scale_v0.10.pdf.
- JOHNS, R. H., DOSWELL, C. A., 1992. III. Severe local storms forecasting. *Weather Forecast.*, Vol. 7, s. 588–612.
- KYZNAROVÁ, H., NOVÁK, P., 2009. CELTRACK – Convective cell tracking algorithm and its use for deriving life cycle characteristics. *Atmospheric Research*, Vol. 93, s. 317–327. ISSN 0169-8095.
- TASZAREK, M., ALLEN, J. T., PŮČIK, T., HOOGWIND, K. A., BROOKS, H. E., 2020. Severe Convective Storms across Europe and the United States. Part II: ERA5 Environments Associated with Lightning, Large Hail, Severe Wind, and Tornadoes. *Journal of Climate*, Vol. 33, Issue 23, s. 10263–10286. DOI: doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0346.1.
- TORNADA-CZ.CZ, 2021. Tornáda. ...a jevy příbuzné na území České republiky [online]. Český hydrometeorologický ústav a Amatérská meteorologická společnost – o. s. [cit. 30. 11. 2021]. Dostupné z WWW: www.tornada-cz.cz.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Martin Setvák, CSc., David Rýva

INFORMACE

RNDr. Vilibald Kakos (1935–2022)

Přesně po šesti letech od publikace příspěvku „K 80. narozeninám Vilibalda Kakose“ na stránkách Meteorologických zpráv (Müller a kol. 2016) nezbyvá než k tehdejšímu medailonu připsat závěr. Největší český meteorolog a hydrolog, jak jsme o něm v legraci mluvili kvůli jeho tělesné výšce, totiž 8. ledna 2022 po delší nemoci zemřel.

Pro připomenutí si přínosu našeho zemědělského kolegy pro českou meteorologii a hydrologii odkazujeme na zmíněný článek a na webovou stránku České meteorologické společnosti, jejíž pražské pobočky byl Vilda dlouholetým předsedou. Na webové stránce v sekci „Osobnosti české meteorologie“ najde zájemce také jeho podrobnou bibliografii, čítající téměř stovku prací. Měřeno dnešními měřítky by se mohlo zdát, že nejde o nijak závažné práce, vždyť Vilda v naprosté většině publikoval v českých a československých periodikách a sbornících. Při podrobnějším pohledu se však ukáže jejich hodnota v odborné kvalitě i poctivosti a silné provázanosti s praxí, které Vilda Kakos věnoval velkou část své profesní kariéry. Dělal věci ne proto, aby z nich získal odbornou slávu a citace článků, ale proto, aby k něčemu vedly v podobě zlepšení postupů a výsledků, které operativa a praxe přináší. V tom spočívala skutečná Vildova velikost, ale nejen v tom. Za ještě důležitější považujeme jeho

přátelský a rovný přístup ke všem bez ohledu na jejich postavení. Vůči vedoucím to mohlo působit jako opovržlivost, pro studenty a začínající vědce to však byl zásadní impulz při hledání jejich odborného sebevědomí. Rádi bychom za to Vildovi na tomto místě našim jménem i jménem řady jeho kolegů z Ústavu fyziky atmosféry AVČR, Českého hydrometeorologického ústavu, Armády ČR i Přírodovědecké fakulty UK vyjádřil obdiv a poděkování.

Jakkoliv byl Vilda velmi společenský člověk a jeho vyprávění i pověstná heligonka přispěly k mnohé zábavě, nepřál si veřejné smuteční rozloučení. Na rok 2022 nicméně připadá celá řada významných výročí povodní (1872, 1897, 1997, 2002). Když si tedy letos i v budoucnu budeme v našich odborných komunitách tyto hydrometeorologické extrémy připomínat, budeme myslet i na toho, který jejich výzkumu věnoval značné úsilí. Ačkoliv nás to moc mrzí, nezbyvá nám než jeho smrt přijmout v duchu Vildova vojenského pozdravu na rozloučenou: „Dovolte mi odejít.“

Literatura:

- MÜLLER, M., MUNZAR, J., ŘEZÁČOVÁ, D. a kol., 2016. K 80. narozeninám Vilibalda Kakose. *Meteorologické zprávy*, roč. 69, č. 1, s. 32. ISSN 0026-1173.

Miloslav Müller a Jan Daňhelka

Pravděpodobnostní hydrologické předpovědi ve srážkoodtokovém modelu HEC-HMS

Hydrological ensemble forecasts used in the HEC-HMS rainfall-runoff model

**Alena Kamínková, Ondřej Kosík,
Veronika Šustková**

Český hydrometeorologický ústav
K Myslivně 3/2182, 708 00 Ostrava-Poruba
✉ alena.kaminkova@chmi.cz, ondrej.kosik@chmi.cz,
veronika.sustkova@chmi.cz

During its existence, hydrological modelling has evolved from simple manual point discharge forecasts based on the method of progressive times to the creation of forecasts calculated with the help of rainfall-runoff models. The main task of the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) Hydrological Forecasting Service is the calculation, distribution, and interpretation of model hydrological forecasts for the relevant forecast profiles on watercourses, and based on these forecasts, to inform the public in a timely and quality way about flood risks and further situation. It is desirable, regarding the decision-making process on issuing warning information on flood phenomena, to have forecasts from as many numerical weather forecasting models as possible. Forecasts based on these models can be divided into deterministic forecasts based on a single meteorological input of precipitation and air temperature, and probabilistic forecasts based on computational ensemble members, and can express the uncertainty of the hydrological forecast. The text below describes the implementation of ensemble meteorological inputs from the ALADIN-LAEF and ECMWF EPS numerical weather forecasting models into the HEC-HMS rainfall runoff model.

KLÍČOVÁ SLOVA: Předpovědní povodňová služba – CLIDATA – modelování srážkoodtokové – HEC-HMS – ALADIN-LAEF – ECMWF EPS

KEYWORDS: Flood forecasting service – CLIDATA – rainfall-runoff modelling – HEC-HMS – ALADIN-LAEF – ECMWF EPS

1. Úvod

Předložený text je shrnutím prací a dosažených výsledků v řešené části projektu Ministerstva vnitra České republiky MV VI20192021166 „Hydrometeorologická rizika v České republice – změny rizik a zlepšení jejich predikcí“. Řešenou problematikou je oblast hydrologického modelování a posouzení vlivu zahrnutí alternativních hydrologických modelů do celkového ansámblu. Hlavním cílem řešené části projektu bylo ověření možností využití ansámblových vstupů z dostup-

ných numerických předpovědních modelů počasí, konkrétně ansámbly ALADIN-LAEF (Belluš et al. 2019) a ECMWF EPS (ECMWF 2012), pro výpočet hydrologických předpovědí v alternativních srážkoodtokových modelech, konkrétně v modelu HEC-HMS (USACE 2022).

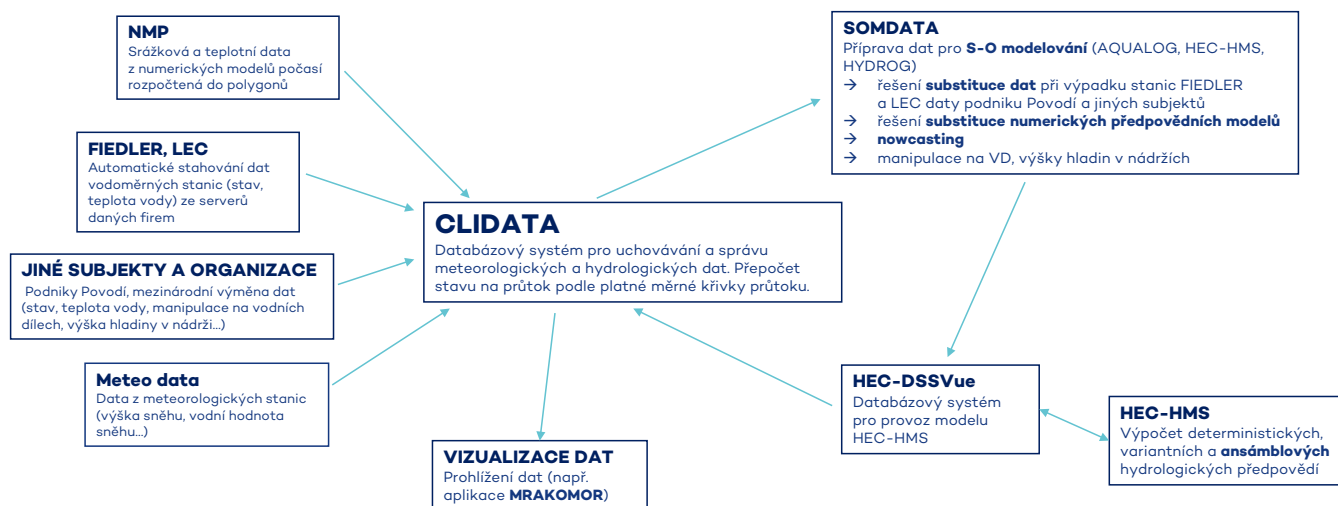
V současné době jsou na ČHMÚ vedle hydrologických deterministických předpovědí počítány i předpovědi variantní (pojem vysvětlen níže) a pravděpodobnostní (ansámblové). K výpočtům hydrologických předpovědí průtoků jsou historicky standardně využívány srážkoodtokové (S-O) modely AQUALOG na povodí Vltavy a Labe (Krejčí 2009) a HYDROG na povodí Odry a Moravy (Starý 1997). Deterministické hydrologické předpovědi jsou počítány na základě numerického předpovědního modelu počasí ALADIN (CNRM 2021). Variantní hydrologické výpočty pak využívají jiné dostupné numerické předpovědní modely počasí, a to konkrétně modely ICON-EU (DWD 2021), ECMWF (ECMWF 2021) a GFS (NOAA 2021).

Pravděpodobnostní hydrologické předpovědi jsou založeny na jednotlivých členech ansámblu numerických předpovědních modelů počasí ALADIN (ALADIN-LAEF, 16 členů) a ECMWF (ECMWF EPS, 50 členů). Ve S-O modelu AQUALOG dochází k pravděpodobnostním výpočtům předpovědí průtoků na základě obou výše uvedených ansámblových meteorologických vstupů, ve S-O modelu HYDROG však ansámblový výpočet ECMWF EPS ještě není implementován a jeho zavedení je realizováno v předpovědním systému FEWS (Deltares 2021). Tato otevřená platforma nabízí další možnosti přístupu k hydrologickému modelování a zobrazování výsledků a dat.

Kromě S-O modelů AQUALOG a HYDROG, které představují hlavní softwarové nástroje hydrologické předpovědní služby ČHMÚ, je od roku 2013 v operativním provozu na pobočce v Ostravě pro výpočty deterministických (ALADIN) a od roku 2017 i variantních (ICON-EU, ECMWF, GFS) hydrologických předpovědí pro všechna povodí v její působnosti využíván také S-O model HEC-HMS (USACE 2020). Rozšíření stávajících deterministických a variantních výpočtů ve S-O modelu HEC-HMS o výpočty ansámblové (ALADIN-LAEF a ECMWF EPS) se tak přímo nabízelo. Níže uvedený text podrobně popisuje jednotlivé kroky, které byly provedeny v rámci realizace řešené části projektu.

2. Metodika

Práce byly rozděleny do tří hlavních etap. Nejprve bylo nutné provést úpravy v databázi CLIDATA, ve které se ukládají a připravují data pro srážkoodtokové modelování. Tato etapa zahrnovala import vybraných vstupních dat numerických předpo-



Obr. 1 Schéma datových toků pro potřeby výpočtů modelu HEC-HMS.

Fig. 1. Data processing scheme for the HEC-HMS model calculation.

vědních modelů počasí do databáze CLIDATA spolu s úpravou výpočetních scénářů jednotlivých povodí. Scénáře tvoří hlavní strukturu databázové nadstavby SOMDATA (modul specializovaný pro potřeby srážkoodtokového modelování) a představují jednotlivá předem definovaná povodí. Tyto scénáře umožňují export vybraných časových řad hydrometeorologických prvků pro předdefinované polygony, které reprezentují meteorologické stanice v jednotlivých povodích (respektive spádové oblasti stanic) a příslušné vodoměrné stanice spolu s předpovědí z numerických předpovědních modelů. Více informací o struktuře a fungování modulu SOMDATA lze nalézt v práci Kosíka et al. 2017.

Dalším nezbytným krokem bylo provedení softwarových úprav CLIDATA, konkrétně možnosti exportu v sekci SOMDATA. Také bylo nutné vyřešit následný import výsledků ansámblových hydrologických předpovědí z databáze HEC-DSSVue modelu HEC-HMS zpět do databáze CLIDATA pro jejich další možné využití, např. pro vyhodnocování úspěšnosti ansámblových předpovědí nebo pro vizualizaci v navazujících produktech a aplikacích atp. (např. Mrakomor 2021). Stručné schéma datových toků je uvedeno na obr. 1.

V druhé etapě byla provedena úprava samotného srážkoodtokového modelu HEC-HMS. Tato etapa zahrnovala přidání vstupních dat ALADIN-LAEF a ECMWF EPS do každého povodí, vytvoření příslušných meteorologických modelů, propojení všech modulů programu a finální vytvoření výpočetních adresářů.

Meteorologický ansámblový předpovědní systém ALADIN-LAEF (ALADIN – Limited Area Ensemble Forecasting) byl vyvinut pro ohraničenou oblast střední Evropy s hlavním cílem poskytování pravděpodobnostní předpovědi s vysokým rozlišením pro národní meteorologické služby (Belluš et al. 2019). Předpověď je počítána s předstihem 72 hodin pro celkem 17 členů ansámblu (16+1 kontrolní). Do hydrologických modelů vstupuje jako zónový (CLIDATA) nebo gridový (FEWS) vstup.

Střednědobý ansámblový předpovědní systém Evropského centra pro střednědobou předpověď ECMWF EPS (European Centre for Medium-Range Weather Forecast – Ensemble Prediction System) obsahuje celkem 51 členů ansámblů (50+1 kontrolní) s předstihem předpovědi na 240 hodin (ECMWF

2012). Do modelu vstupuje jako gridový vstup. V současné době se hydrologické střednědobé předpovědi počítají ve dvou systémech. Pomocí srážkoodtokového modelu HYDROG na platformě FEWS (ve zkušebním režimu) a nově pomocí srážkoodtokového modelu HEC-HMS využívající databázi CLIDATA, sekci SOMDATA.

Srážkoodtokový model HEC-HMS, který vyvíjí americká armáda, je verifikován a validován řadou případových studií po celém světě. K dispozici je rozsáhlá dokumentace jak k samotné schematizaci modelu (USACE 2013), tak pro následný provoz modelu (USACE 2020) a také vlastní databázový systém a jeho vizualizace HEC-DSSVue (USACE 2021).

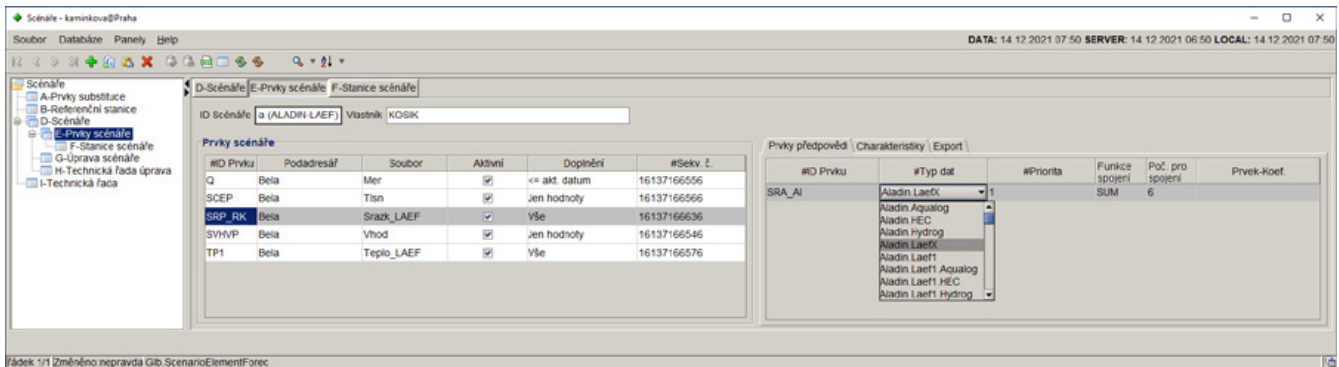
Po samotné úpravě modelu následovala etapa třetí, která zahrnovala samotné výpočty hydrologických ansámblových předpovědí a testování na vybraných povodňových epizodách.

3. Úpravy v databázi CLIDATA

3.1 Import vstupních dat do databáze CLIDATA a úprava výpočetních scénářů (workflow)

V databázovém systému CLIDATA došlo k rozšíření meteorologických prvků (numerických předpovědních modelů počasí) o typ dat ALADIN-LAEF a EMCWF EPS. Do databáze CLIDATA jsou pravidelně ukládány výstupy numerických předpovědních modelů počasí ALADIN, ICON-EU, ECMWF a GFS a dále také 3hodinový NOWCASTING (předpověď srážek na následující 3 hodiny vycházející z radarových měření). Tyto meteorologické vstupy jsou ukládány v různých formátech, časových krocích a rovněž s různou délkou předstihu předpovědi (více např. Kosík et al. 2017; 2018).

Např. výstup numerického předpovědního modelu počasí ALADIN je v CLIDATA uložen ve dvou prvcích, jako prvek *SRP_AL* (ALADIN GRID v 1hodinovém kroku rozpočtený na výpočetní polygony meteorologického modulu S-O modelu), ale rovněž jako *SRA_AL* (ALADIN ZÓNY v 6hodinovém kroku rozpočtený na výpočetní polygony meteorologického modulu S-O modelu a rozdělený do 1hodinového kroku). Délka před-



Obr. 2 Scénář (workflow) pro pravděpodobnostní výpočet, povodí Bělé. Ukázka propojení měřeného prvku SRP_RK pro srážky a ansámblů ALADIN-LAEF v prostředí databáze CLIDATA/SOMDATA.

Fig. 2. Ensemble forecast workflow for the Bělá basin. Example of combination of the measured precipitation element SRP_RK and ALADIN-LAEF ensembles in CLIDATA/SOMDATA database interface.

povědi numerického předpovědního modelu počasí ALADIN je v případě GRIDU 72 hodin, pro ZÓNY pak 54 hodin.

Obdobně je tomu i u numerického předpovědního modelu počasí ECMWF. V CLIDATA je pro ECMWF uložený prvek SRP_EC (ECMWF GRID v 3hodinovém kroku rozpočtený na polygony meteorologického modulu S-O modelu a rozdělený do 1hodinového kroku s délkou předpovědi 144 hodin), dále prvek SRP_E6 (ECMWF GRID v 6hodinovém kroku rozpočtený na polygony meteorologického modulu S-O modelu a rozdělený do 1hodinového kroku s délkou předpovědi 240 hodin) a SRA_EC (ECMWF ZÓNY v 6hodinovém kroku rozpočtený na polygony meteorologického modulu S-O modelu a rozdělený do 1hodinového kroku s délkou předpovědi 240 hodin).

Tyto prvky (numerické předpovědní modely počasí) je možno v CLIDATA v části SOMDATA libovolně kombinovat s měřenými daty a vytvářet scénáře (workflow) pro jednotlivá povodí, např. s prvky SRP_RK (radar kombinovaný se srážkoměrem), SRP_RA (pro radar adjustovaný), SRP_ST (pouze interpolovaná staniční síť) atd. Díky tomuto systému lze v případě výpadku některého z měřených a predikovaných prvků chybějící data automaticky nahradit jiným meteorologickým vstupem. Schéma vstupů a možných kombinací je uvedeno v práci Kosička et al. 2017. Uvedená substituce dat funguje v SOMDATA obdobně i pro hydrologická data vodních stavů a průtoků. Chybí-li data ze stanic ČHMÚ, jsou automaticky nahrazena daty ze stanic podniků Povodí a dalších subjektů (magistráty, organizace okolních států – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW), Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) atp.). Příprava dat pro hydrologické modelování pak probíhá exportem příslušného scénáře (workflow) pro jednotlivá povodí v SOMDATA, případně prostřednictvím skriptu s využitím příkazové řádky.

Jelikož již v CLIDATA existují prvky pro jednotlivé numerické předpovědní modely počasí (viz např. výše uvedený ALADIN – prvky SRP_AL, SRA_AL), bylo zapotřebí naimportovat jen jejich ansámblu, respektive všechny jejich členy (ALADIN-LAEF – 16 členů a ECMWF EPS – 50 členů). V rámci CLIDATA a SOMDATA tak došlo k rozšíření typu dat u příslušných prvků (numerických předpovědních modelů počasí). V případě importu dat ALADIN-LAEF se jednalo o shodné typy souborů jako v případě importu dat ALADIN ZÓNY, jsou rovněž v 6hodinovém kroku, bylo tak využito shodné importní metody a došlo k rozšíření typu dat u prvku SRA_AL (pro srážky) a TP1 (pro teplotu vzduchu) o 16 ansámblů (obr. 2). V případě dat ECMWF EPS se jednalo o shodné typy souborů jako v přípa-

dě importu dat ECMWF GRID, konkrétně prvku SRP_E6. Data jsou rovněž v 6hodinovém kroku, nejedná se o surové soubory jako v případě ansámblů ALADIN-LAEF, ale o výstupy ze SW VISUAL WEATHER (IBL 2021), které jsou předpřipraveny pro výpočetní polygony meteorologického modulu S-O modelu a exportovány přímo ze SW VISUAL WEATHER do CLIDATA. Pro import dat tak bylo využito shodné importní metody jako u importu dat prvku SRP_E6, rozšířil se opět pouze typ dat numerického předpovědního modelu počasí ECMWF o ansámblu ECMWF EPS.

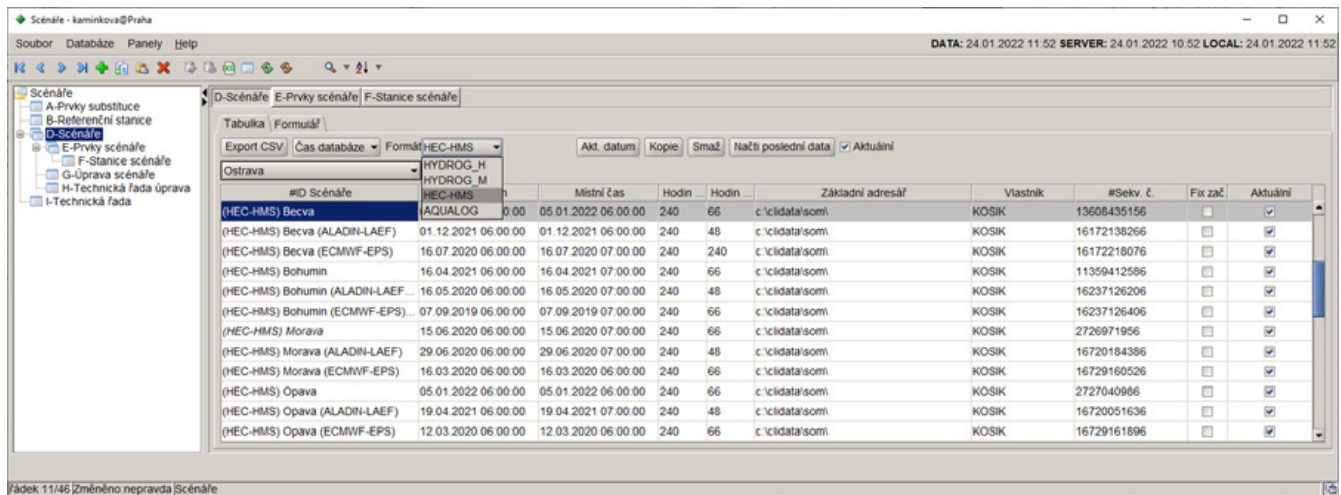
Teplotní data ansámblů ECMWF EPS v současnosti nejsou k dispozici. Data ALADIN-LAEF (16 souborů) a ECMWF EPS (50 souborů) jsou pravidelně automaticky nahrávána na importní FTP databázového systému CLIDATA (pro ansámblu ALADIN-LAEF se do začátku roku 2021 jednalo o soubory s příponou *.bull, pro ansámblu ECMWF EPS pak o soubory s příponou *.txt). Následně jsou tyto soubory importovány, zpracovány a v databázovém systému CLIDATA uloženy pod příslušné prvky a typy dat. Pro ansámblu ALADIN-LAEF tento systém fungoval do začátku roku 2021, vysvětlení problémů níže).

3.2 Softwarové úpravy v CLIDATA/SOMDATA a export dat

Pro potřeby exportu dat pro hydrologické modelování z databázového systému CLIDATA došlo v SOMDATA (modul určený pro Srážkoodtokové Modelování) k SW úpravě jedné ze čtyř exportních voleb umožňující exporty dat pro S-O modely AQUALOG, HYDROG v minutovém formátu, HYDROG v hodinovém formátu a model HEC-HMS, viz obr. 3.

Konkrétně došlo k rozšíření funkcionality exportní volby HEC-HMS, která nově umožňuje vyexportovat kompletně celou datovou sadu všech členů ansámblu ALADIN-LAEF do jednoho souboru, obdobně je tomu pak v případě dat ECMWF EPS. Lze samozřejmě exportovat jen jednotlivé běhy ansámblů ALADIN-LAEF (jen libovolné pořadnice např. 2, 5 atd.), ale volbou typu dat Aladin.LaeFX dojde k exportu kompletně všech pořadnic ALADIN-LAEF, v případě ECMWF se pak v SOMDATA jedná o typ dat Ecmwf.EpsX.

Pro meteorologické prvky (tedy srážky, teplotu vzduchu, celkovou výšku sněhu a vodní hodnotu) jsou taktéž využívány polygony reprezentující meteorologický modul S-O modelu (v CLIDATA označeny typem stanice SOMPOLYGON), pro hydrologické prvky (Q, stav hladiny v nádrži atd.) pak vodoměrné stanice.



Obr. 3 Exportní možnosti databázového systému CLIDATA a modulu SOMDATA. Export dat pro S-O modely AQUALOG, HYDROG a HEC-HMS.

Fig. 3. Export options in CLIDATA database system, SOMDATA module. Export data for the AQUALOG, HYDROG and HEC-HMS rainfall-runoff models.

3.3 Rozšíření importu výsledků ansámblových výpočtů do CLIDATA a vizualizace v interní internetové prohlížeče

V návaznosti na rozšíření výpočtů pravděpodobnostních hydrologických předpovědí (ansámby ALADIN-LAEF a ECMWF EPS) ve S-O modelu HEC-HMS došlo k rozšíření databázového systému CLIDATA o možnosti importu všech nově vzniklých výsledků (pro všechny pořadnice, respektive všechny členy ansámbly). Tímto krokem tak dochází k pravidelné archivaci všech deterministických, variantních a rovněž i pravděpodobnostních hydrologických předpovědí do jedné databáze. Pro možnost následného využití v navazujících aplikacích byly již dříve sjednoceny názvy výstupních souborů z jednotlivých S-O modelů pro import do CLIDATA (Kosík et al. 2018). Nově došlo k rozšíření o další výstupní soubor založený na ansámblovém meteorologickém vstupu ECMWF EPS (tab. 1).

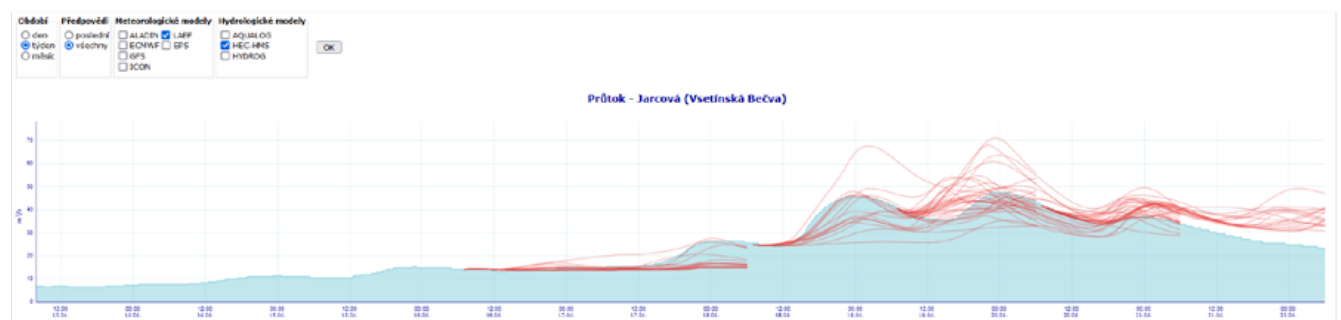
Pro potřeby vizualizace uložených dat byla upravena interní prohlížečka MRAKOMOR, která byla vytvořena pracovníkem RPP Ostrava a která slouží k zobrazování vybraných meteorologických a hydrologických dat (Mrakomor 2021). V současné době tak lze zobrazit různé druhy uložených hydrologických předpovědí, které vycházejí z různých meteorologických vstupů a hydrologických modelů (obr. 4).

4. Úprava S-O modelu HEC-HMS

Srážkoodtokový model HEC-HMS je na pobočce Ostrava používán od roku 2013, kdy byl postupně zaváděn a testován na jednotlivých povodích v rámci územní působnosti pobočky. Od roku 2015 je rutinně provozován pro výpočet deterministických a od roku 2017 i variantních hydrologických předpovědí. Více informací o modelu spolu s bohatou dokumentací lze nalézt na USACE 2020.

Po vyřešení importu vstupních dat do databázového systému CLIDATA a po provedení SW úprav v CLIDATA/SOMDATA došlo k samotné úpravě S-O modelu HEC-HMS. Bylo nutné rozšířit jednotlivé moduly modelu (Time Series Data, Meteorologic Model a Forecast Alternatives) a sjednotit názvy vstupních a výstupních *.dss souborů. Jako pilotní povodí pro zpracování bylo vybráno povodí Bělé.

Modul Times Series Data obsahuje všechna vstupní data (srážky, průtoky, teplotu vzduchu) pro všechna subpovodí, která jsou v daném povodí definována. Tato data jsou pak propojena s databází HEC-DSSVue, která slouží jako zdrojová importní databáze pro model HEC-HMS. V rámci tohoto modulu tedy došlo k přidání vstupních dat srážek a teploty vzduchu pro každé subpovodí uceleného výpočetního povodí a k propojení s databází HEC-DSSVue. Celkem bylo nově vytvořeno pro každé subpovodí 16 vstupů srážek a 16 vstupů teploty vzduchu pro výpočet ALADIN-LAEF a 50 vstupů srážek a 1 vstupu teploty vzduchu pro výpočet ECMWF EPS.



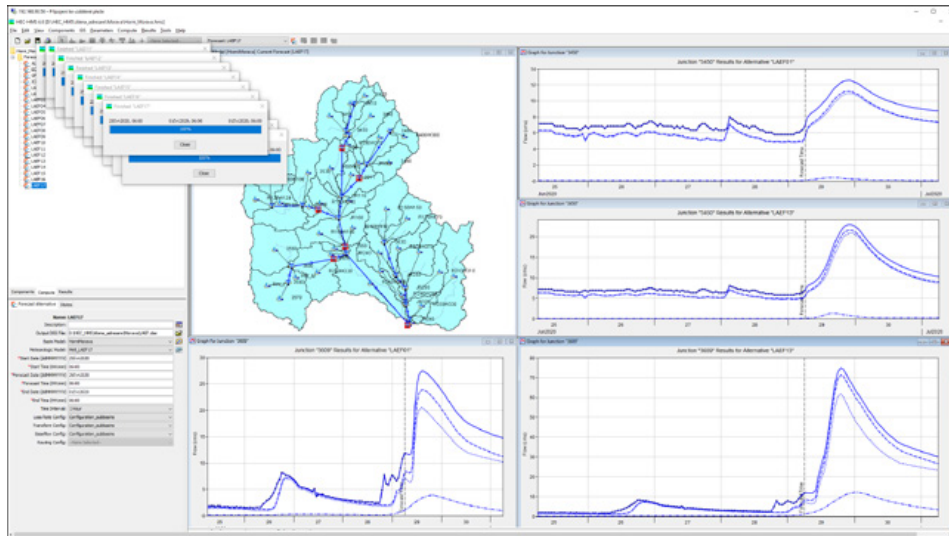
Obr. 4 Možnosti zobrazení ansámblových hydrologických předpovědí v interní prohlížeče (Mrakomor 2021).

Fig. 4. Hydrological ensemble forecasts presentation in an internal data viewer (Mrakomor 2021).

Tab. 1 Sjednocení názvů vstupních a výstupních souborů v databázi HEC-DssVue a výstupních souborů z jednotlivých S-O modelů pro potřeby importu do databáze CLIDATA na příkladu povodí Bělé.

Table 1. Name unification of input and output files in HEC-DSSVue database and output files from rainfall-runoff models for import to the CLIDATA database (Bělá basin example).

Předpovědní model	Názvy HEC-DssVue		Názvy import výsledků do CLIDATA		
	Vstupní *.dss	Výstupní *.dss	AQUALOG	HEC-HMS	HYDROG
Model ALADIN	Bela_ALADIN.dss	ALADIN.dss	BL.al.aq.csv	BL.al.hec.csv	BL.al.hyd.csv
Model ICON-EU	Bela_ICON.dss	ICON.dss	BL.ic.aq.csv	BL.ic.hec.csv	BL.ic.hyd.csv
Model ECMWF	Bela_ECMWF.dss	ECMWF.dss	BL.ec.aq.csv	BL.ec.hec.csv	BL.ec.hyd.csv
Model GFS	Bela_GFS.dss	GFS.dss	BL.gf.aq.csv	BL.gf.hec.csv	BL.gf.hyd.csv
ALADIN-LAEF	Bela_ALADIN.dss	LAEF.dss	BL.al.laef.aq.csv	BL.al.laef.hec.csv	BL.al.laef.hyd.csv
ECMWF EPS	Bela_EPS.dss	EPS.dss	BL.ec.eps.aq.csv	BL.ec.eps.hec.csv	BL.ec.eps.hyd.csv



Obr. 5 Ukázka prostřední HEC-HMS s modulem Forecast Alternatives.

Fig. 5. HEC-HMS graphical user interface with the Forecast Alternatives Module.

Dále bylo nutné nadefinovat nové vstupy srážek a teploty vzduchu do modulu Meteorologic Model. Tento modul definuje meteorologické podmínky pro jednotlivá subpovodí a propojuje je s daty v modulu Time Series Data. V rámci projektu bylo vytvořeno celkem 16 nových meteorologických modelů pro ALADIN-LAEF a 50 pro ECMWF EPS, následně došlo k propojení vstupních dat srážek a teploty vzduchu s jednotlivými meteorologickými modely.

Poslední úprava spočívala v nadefinování jednotlivých výpočtů v modulu Forecast Alternatives. Tento modul slouží k výpočtům hydrologických předpovědí. Bylo vytvořeno 16 možností výpočtů pro ALADIN-LAEF a 50 výpočtů pro ECMWF EPS, došlo k propojení s příslušným meteorologickým modelem a byly definovány výstupní adresáře. Ukázka výpočetního modulu je zobrazena na obr. 5.

Vzhledem k tomu, že model HEC-HMS byl pro každé povodí schematizován pracovníky RPP Ostrava zpočátku jen pro vstupní meteorologický model ALADIN, nebylo nutné tvořit koncepci *.dss souborů pro nahrávání vstupních dat a ukládání výsledků výpočtů z jednotlivých povodí. V průběhu času však došlo k postupnému rozšíření o další meteorologické vstupy (variantní výpočty), proto bylo nezbytné nutné vytvořit koncept vstupních a výstupních *.dss souborů pro jednotlivé meteorologické modely. Pro vstupní data byly *.dss soubory pojmenovány názvem povodí a příslušným meteorologickým modelem, např. Bela_Aladin.dss. Výstupní soubory pak nesou název použitého meteorologického modelu, např.

EPS.dss. Takto byly přejmenovány *.dss soubory ve všech povodích v rámci pobočky Ostrava a propojeny s jednotlivými moduly v modelu. Koncept pojmenování názvů souborů je uveden v tab. 1.

Po úpravě a implementaci ansámblových meteorologických vstupů u povodí Bělé a úpravě názvů *.dss souborů pokračovala implementace na další povodí pobočky Ostrava. V současné době je možnost počítat ansámblové hydrologické předpovědi ve S-O modelu HEC-HMS vycházející z modelu ALADIN-LAEF na celém území pobočky Ostrava, implementace řešení ansámblových vstupů ECMWF EPS však vzhledem k časové náročnosti i nadále pokračuje.

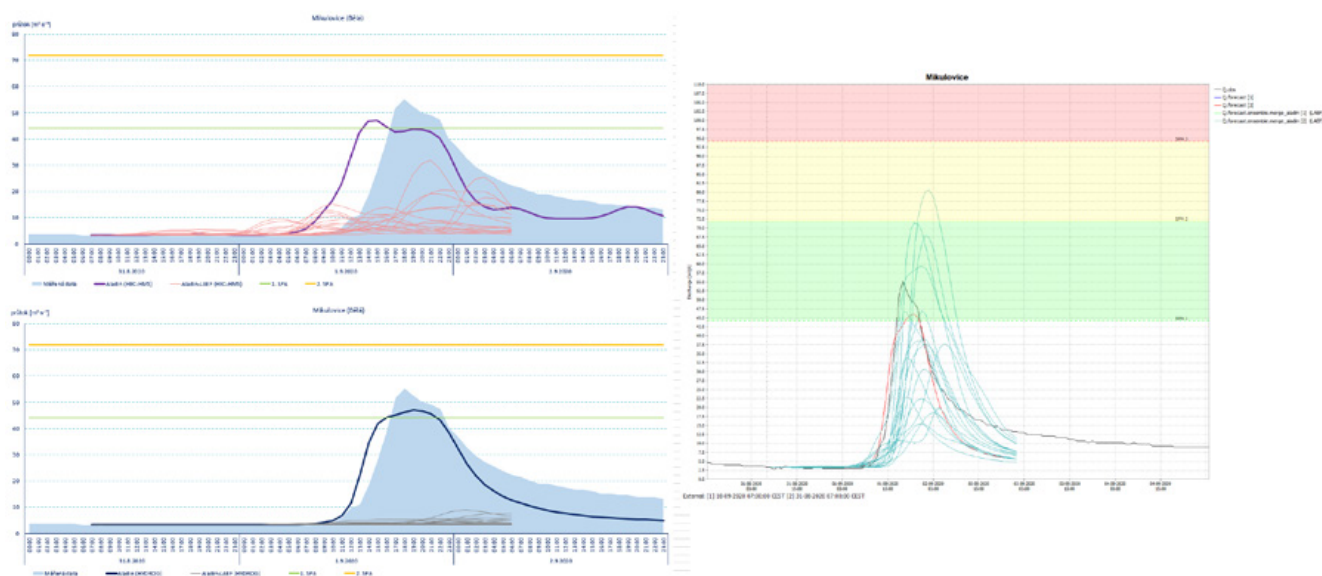
5. Výsledky

Hlavní náplní a cílem řešené části projektu bylo zprovoznění ansámblových hydrologických předpovědí v modelu HEC-HMS, otestování funkčnosti systému a testování výpočtů v reálném provozu. Tyto cíle byly kompletně splněny. Vzhledem k časové náročnosti některých prací a technickým problémům při výpočtech hydrologické předpovědi vycházející z meteorologických vstupů ALADIN-LAEF, které se však nedaly dopředu odhadnout a předvídat, bude implementace i nadále pokračovat.

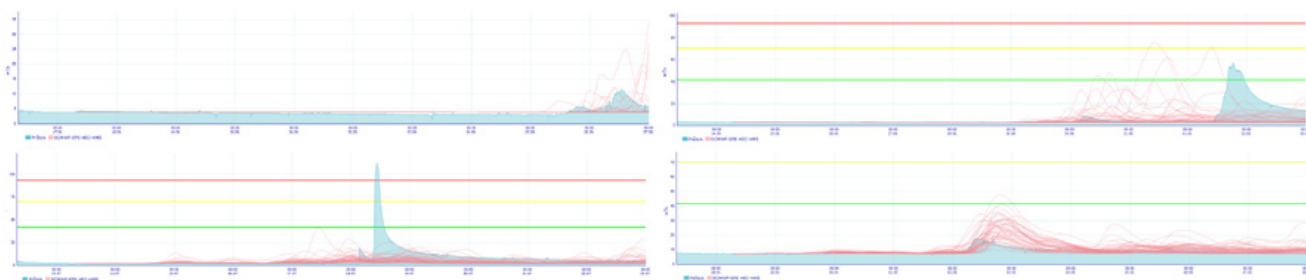
K testování výpočtů docházelo zejména během roku 2020. Na jedné straně byl rok 2020 bohatý na povodňové epizody a na možnosti testování. Na druhé straně jsou tyto epizody velmi časově náročné z hlediska práce hydroprognostika a ne vždy se podařilo provést výpočet hydrologických předpovědí ve všech dostupných systémech pro následné vzájemné porovnání výsledků. Vyskytly se ale epizody, které naznačily, že využítí ansámblových hydrologických předpovědí v dalším hydrologickém modelu je správným krokem pro budoucí vývoj a směřování hydroprognózy.

5.1 ALADIN-LAEF

Až do začátku roku 2021 bylo možné počítat krátkodobé ansámblové hydrologické předpovědi ve třech předpovědních systémech. Pomocí srážkoodtokového modelu HYDROG využívající CLIDATA a platformu FEWS a také pomocí srážkoodtokového



Obr. 6 Porovnání blokového vstupu ALADIN-LAEF (vlevo) a gridového vstupu (vpravo) do srážkoodtokových modelů.
 Fig. 6. Comparison of ALADIN-LAEF BLOCK input and ALADIN-LAEF GRID input into rainfall-runoff models.



Obr. 7 Ukázky výpočtů střednědobých ansámblových předpovědí ECMWF EPS v povodí Bělé.
 Fig. 7. Examples of medium term ECMWF EPS ensemble forecasts in the Bělá basin.

modelu HEC-HMS se vstupem dat z databáze CLIDATA. Bohužel na začátku roku 2021 došlo k ukončení poskytování zónových vstupů do databáze CLIDATA. Nebylo tedy možné dále v testování v modelu HEC-HMS pokračovat. V současné době se jedná o provozování gridových vstupů do databáze CLIDATA a znovu obnovení výpočtů. Na druhou stranu by tato úprava měla přinést zpřesnění výsledků u některých srážkových situací, což se ukázalo při porovnávání výpočtů vycházejících ze zónového a gridového vstupu. Jedna ze situací, kdy gridové vstupy do modelu dávaly přesnější výsledky, nastala 31. srpna 2020. Obr. 6 ukazuje porovnání výpočtů ze tří předpovědních systémů (HYDROG – CLIDATA a FEWS, HEC-HMS – CLIDATA).

5.2 ECMWF EPS

Mezi hlavní přednosti výpočtu střednědobé ansámblové hydrologické předpovědi v modelu HEC-HMS se řadí rychlost výpočtu, v případě potřeby nezávislost na výpočtu deterministické předpovědi, archivace výpočtů a možnost úprav a řešení problémů obsluhujícím hydrologem. Mezi hlavní negativum, na rozdíl od výpočtu v systému FEWS, je časově náročnější příprava modelu před samotným výpočtem. Do budoucna by tuto skutečnost vyřešila, jak už bylo uvedeno výše v textu, částečná automatizace nebo implementace do FEWS či CLIDATA.

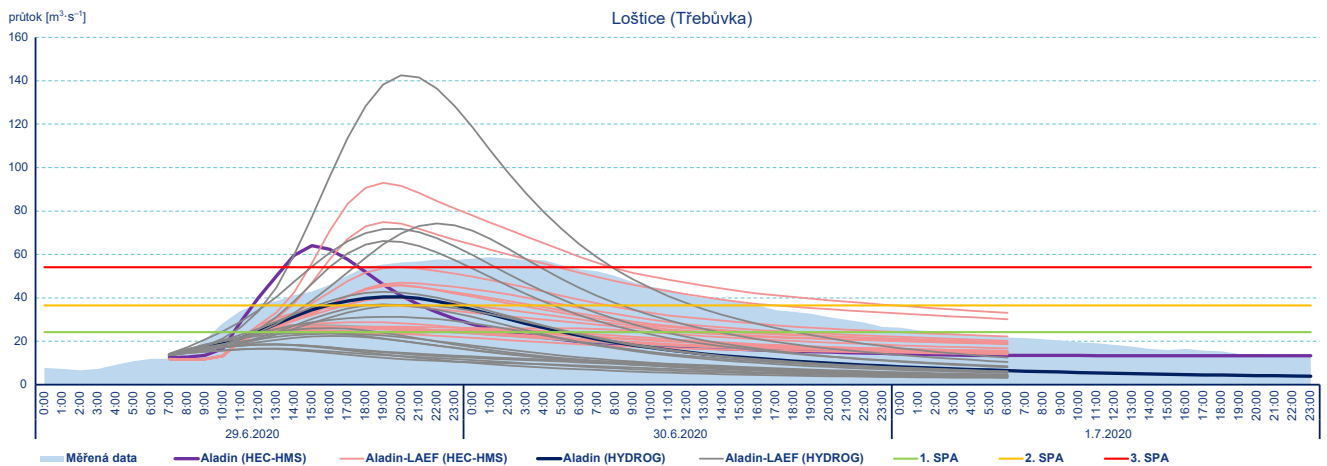
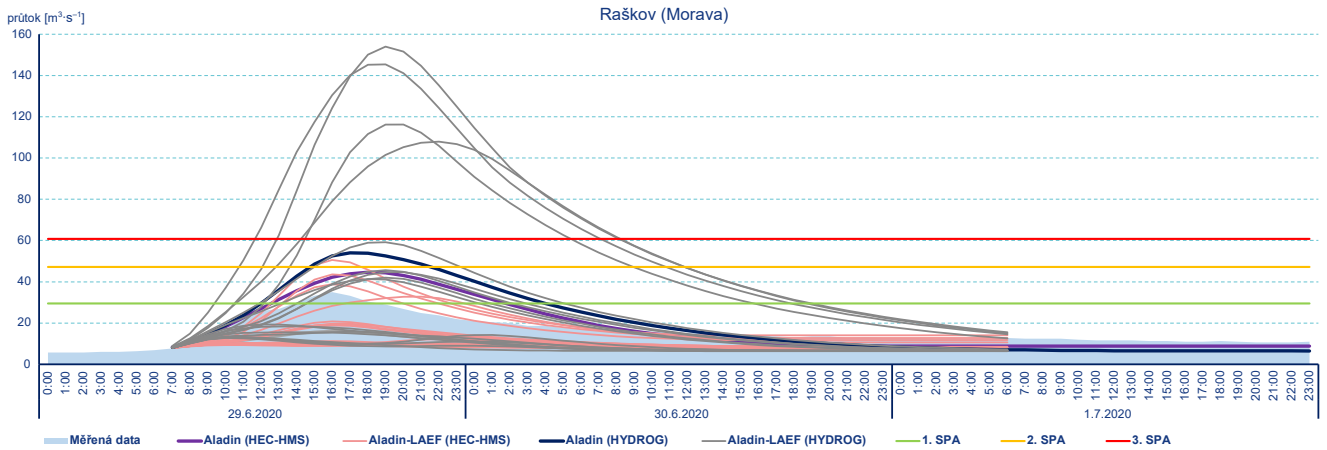
Výstupy z ansámblových předpovědí ECMWF EPS se v modelu HEC-HMS začaly počítat až na základě projektu MV a nezávisle

na něm pak zkušebně v rámci implementace FEWS na ČHMÚ (model HYDROG). Vzhledem k této krátké zkušenosti s výpočty stále pokračuje testování v obou systémech. Podle dosavadních výsledků lze říci, že střednědobé ansámblové výpočty naznačují potenciální riziko v delším časovém horizontu, vyjadřují nejistotu předpovědi. Vzhledem k prostorovému rozlišení meteorologických vstupů, ale nemusí podchytit krátkodobé srážky přívalového charakteru. Příklady výpočtů ukazuje obr. 7.

6. Diskuze

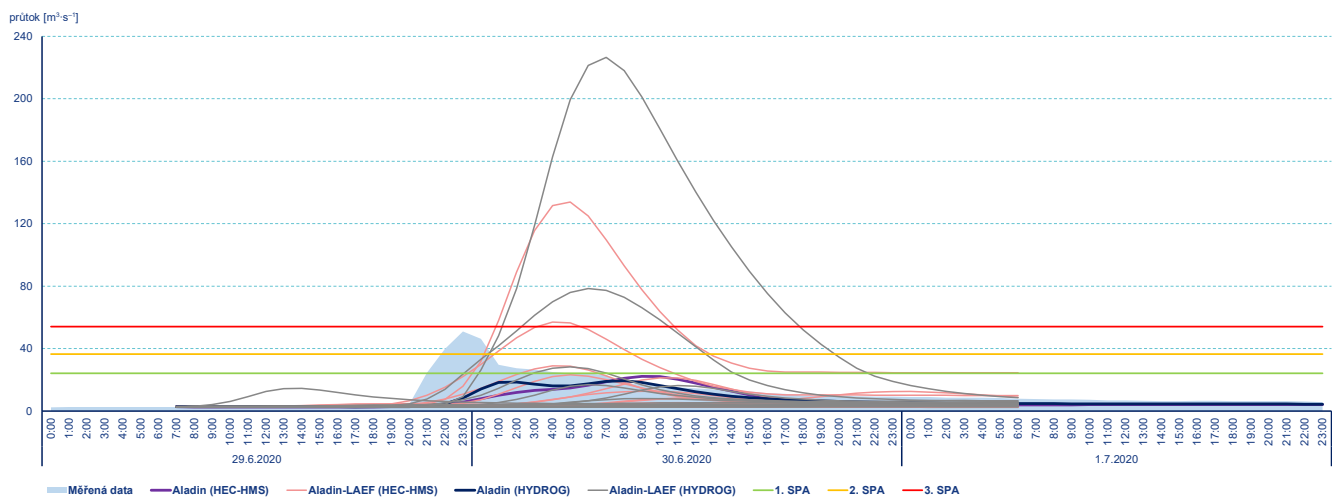
Jak už bylo uvedeno výše, za dobu trvání projektu byla provedena řada kroků vedoucích ke zprovoznění výpočtu jak krátkodobých, tak střednědobých ansámblových hydrologických předpovědí v modelu HEC-HMS. Celkový vývoj provozování modelu HEC-HMS na ostravské hydroprognóze je od roku 2013 publikován např. v Šustková et al. 2016; Kosík et al. 2018; Kamínková et al. 2020; Kamínková et al. 2021.

Při zpracovávání výsledků modelování a celkově při pohledu na povodňové situace se objevily otázky, návrhy nebo doporučení, na co se v dalších letech zaměřit, nebo co případně změnit. Z hlediska hydrologického modelování lze říci, že při situacích, kdy dochází k vzestupům hladin v důsledku déle trvajících plošně rozsáhlejších srážek, jsou výsledky hydrologického modelování velmi dobré a u tohoto typu povodňové situace se lze



Obr. 8 Deterministická a ansámblová hydrologická předpověď ze dne 29. června 2020 v profilu Raškov (Morava) a Loštice (Třebůvka).

Fig. 8. Deterministic and ensemble hydrological forecasts at the Raškov station (Morava River) and at the Loštice station (Třebůvka watercourse) on 20 June 2020.



Obr. 9 Deterministická a ansámblová hydrologická předpověď ze dne 7. června 2020 v profilu Šumperk (Desná).

Fig. 9. Deterministic and ensemble hydrological forecasts at the Šumperk station (Desná watercourse) on 7 June 2020.

ve většině případů velmi dobře spoolehnot na deterministický (obr. 8), příp. variantní meteorologický vstup. Rozptýl ansámblových výstupů nám podává doplňkovou informaci. Rozdílný rozptýl ansámblových výstupů u jednotlivých modelů (obr. 8) je dán nastavením konkrétního S-O modelu při simulaci a následné predikci průtoků u výpočtu deterministické předpovědi.

U povodňových situací vzniklých v důsledku přívalových srážek je situace složitější. Vzhledem k velké nejistotě prostorového i časového rozložení srážek spolu s velkým rozptylem srážkových úhrnů z jednotlivých výstupů meteorologických modelů je velmi obtížné správně nastavit hydrologický model. U těchto případů se dá ve větší míře využít ansámblových vstu-

pů srážek a vyjádřit tak nejistotu výstupů. Na obr. 9 je ukázána situace ze dne 7. června 2020 s rozptylem ansámblových výpočtů ALADIN-LAEF pomocí modelu HYDOG a HEC-HMS. Tento rozptyl napomohl k vydání výstražné informace na povodňové jevy v této oblasti, i když deterministická předpověď tento den žádné nebezpečí neukazovala.

Ansámblové předpovědi ALADIN-LAEF vycházejí z nastavení modelu pro deterministickou předpověď, na což je třeba myslet při předpovědi přívalových srážek, kdy je model upraven tak, aby na přívalovou srážku nereagoval tak výrazným vzestupem. Toto nastavení se pak přenáší do výpočtu ALADIN-LAEF, a pokud vstupní srážky nejsou tak extrémní, pak může být výpočet značně podhodnocen. Tento problém lze vyřešit výpočtem v modelu HEC-HMS, ve kterém výpočet vycházející z meteorologického vstupu ALADIN-LAEF nemusí vycházet z nastavení deterministické předpovědi. Nastavení a výběr výpočtu závisí tedy na zkušenostech obsluhujícího hydroprognostika.

Mezi hlavní výhody modelu HEC-HMS patří dostupnost, obsáhlá doprovodná dokumentace jak ke schematizaci modelu, tak pro následný provoz a také samotná rychlost výpočtů. Také lze v případě potřeby počítat ansámblovou hydrologickou předpověď bez nutnosti přebírání nastavení výpočtu deterministické předpovědi. Vzhledem k množství ansámbků se jako nevýhoda ukázala časová náročnost přípravy modelu před samotným spuštěním výpočtu ansámblových předpovědí. Tyto úkony by se však daly řešit částečnou automatizací modelu, nebo také případnou implementací do platformy FEWS či CLIDATA. Ansámblové výpočty se ukázaly jako vhodné doplňující informace k základní deterministické předpovědi.

7. Závěr

Hlavním cílem řešené části projektu MV bylo zprovoznění výpočtů krátkodobých a střednědobých ansámblových hydrologických předpovědí ve srážkoodtokovém modelu HEC-HMS. Hlavním přínosem pro hydroprognózní praxi je doplnění ansámblových předpovědí ke stávajícímu předpovědnímu systému srážkoodtokového modelu HYDOG a také rozšíření výpočtů o střednědobé ansámblové hydrologické předpovědi, které se do té doby na pobočce Ostrava nepočítaly. Vznikl tak plně funkční záložní výpočetní systém, který je využíván také při rozhodovacím procesu při vydávání výstražných informací na povodňové jevy. Implementace a další vývoj bude i nadále pokračovat s cílem vhodně a srozumitelně interpretovat výsledky široké veřejnosti.

Poděkování:

Práce byla vytvořena v rámci projektu MV VI20192021166 „Hydrometeorologická rizika v České republice – změny rizik a zlepšení jejich predikcí“.

Literatura:

BELLUŠ, M. et al. 2019. ALADIN-LAEF. *Advances. Science and Research*, roč. 16, s. 63–68 [online]. [cit. 20. 5. 2021]. Dostupné z WWW: <https://doi.org/10.5194/asr-16-63-2019>.

CNRM, 2021. Aladin [online]. [cit. 20. 5. 2021]. Dostupné z WWW: <https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article122&lang=en>.

DELTAIRES, 2021. Delft-FEWS [online]. [cit. 22. 2. 2021]. Dostupné z WWW: https://www.deltaires.nl/app/uploads/2015/01/Delft-FEWS_brochure-2017.pdf.

DWD, 2021. NWF forecast data [online]. [cit. 20. 5. 2021]. Dostupné z WWW: https://www.dwd.de/EN/ourservices/nwp_forecast_data/nwp_forecast_data.html.

ECMWF, 2012. The ECMWF Ensemble Prediction System [online]. [cit. 20. 5. 2021]. Dostupné z WWW: <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2012/14557-ecmwf-ensemble-prediction-system.pdf>.

ECMWF, 2021. About our forecasts [online]. [cit. 20. 5. 2021]. Dostupné z WWW: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/documentation-and-support>.

IBL, 2021. Visual Weather [online]. [cit. 04. 05. 2021]. Dostupné z WWW: <https://www.iblsoft.com/products/visualweather/>.

KAMÍNKOVÁ, A., KOSÍK, O., ŠUSTKOVÁ, V., 2020. Využití ansámblových meteorologických vstupů pro výpočet hydrologických předpovědí na RPP ČHMÚ Ostrava. In: *Výroční konference České meteorologické společnosti 2020* (Sborník abstraktů). ISBN 978-807653-004-1.

KAMÍNKOVÁ, A., KOSÍK, O., ŠUSTKOVÁ, J., 2021. Povodňové situace roku 2020 pohledem Regionálního předpovědního pracoviště ČHMÚ Ostrava. In: *Hydrologické dny 2021* (Sborník rozšířených abstraktů). ISBN 978-80-7653-016-4.

KOSÍK, O., KAMÍNKOVÁ, A., ŠUSTKOVÁ, V., 2018. Využití databázového systému CLIDATA a aplikační nadstavby SOMDATA pro přípravu variantních vstupních dat pro tvorbu hydrologických předpovědí za použití srážkoodtokových modelů AQUALOG, HEC-HMS a HYDOG. *Meteorologické zprávy*, roč. 71, č. 6, s. 179–185. ISSN 0026-1173.

KOSÍK, O., KŘÍŽKA, F., WALDER, J., ŽIDEK, D., 2017. Využití databázového systému CLIDATA v hydrologii. Praha: ČHMÚ. ISBN 978-80-87577-71-4.

KREJČÍ, J., 2009. The use of hydrological systém AquaLog for flood warning service in the Czech Republic [online]. [cit. 20. 5. 2021]. Dostupné z WWW: https://www.researchgate.net/publication/301358002_The_use_of_hydrological_system_AquaLog_for_flood_warning_service_in_the_Czech_Republic.

MRAKOMOR, 2021. © Petr Drobek, ČHMÚ Ostrava [online]. [cit. 1. 11. 2021]. Dostupné interně z WWW: <http://192.168.90.2/mrakomor>.

NOAA, 2021. NCEP Numerical Forecast [online]. [cit. 20. 5. 2021]. Dostupné z WWW: <https://www.emc.ncep.noaa.gov/emc/pages/ncep-numerical-forecast-systems.php>.

STARÝ, M., 1997. HYDROG-S. Popis programu. Brno: Hysoft. Nepublikováno. 112 s.

ŠUSTKOVÁ, V., KOSÍK, O., TÍŽKOVÁ, A., VOLNÝ, R., 2016. Zabezpečení hlášené a předpovědní služby na pobočce ČHMÚ Ostrava. In: *Sborník Symposia GIS Ostrava 2016*. Ostrava 16.–18. 3. 2016. ISBN 978-80-248-3902-8, ISSN 1213-2454.

USACE – HEC-DSSVue User’s Manual, 2021 [online]. [cit. 19. 1. 2022]. Dostupné z WWW: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/dssvuedocs/latest/hec-dssvue>.

USACE – HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension User’s Manual, 2013 [online]. [cit. 22. 2. 2021]. Dostupné z WWW: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/documentation/HEC-GeoHMS_Users_Manual_10.1.pdf.

USACE – US Army Corps of Engineers, 2020. Hydrologic Modeling System HEC-HMS User’s Manual [online]. [cit. 22. 2. 2021]. Dostupné z WWW: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.7/>.

USACE – US Army Corps of Engineers. The Hydrologic Engineering Centre, 2022 [online]. [cit. 19. 1. 2022]. Dostupné z www: <http://www.hec.usace.army.mil/>.

Lektoři (Reviewers):

Ing. Petr Janál, Ph.D., Ing. Radovan Tyl, Ph.D.

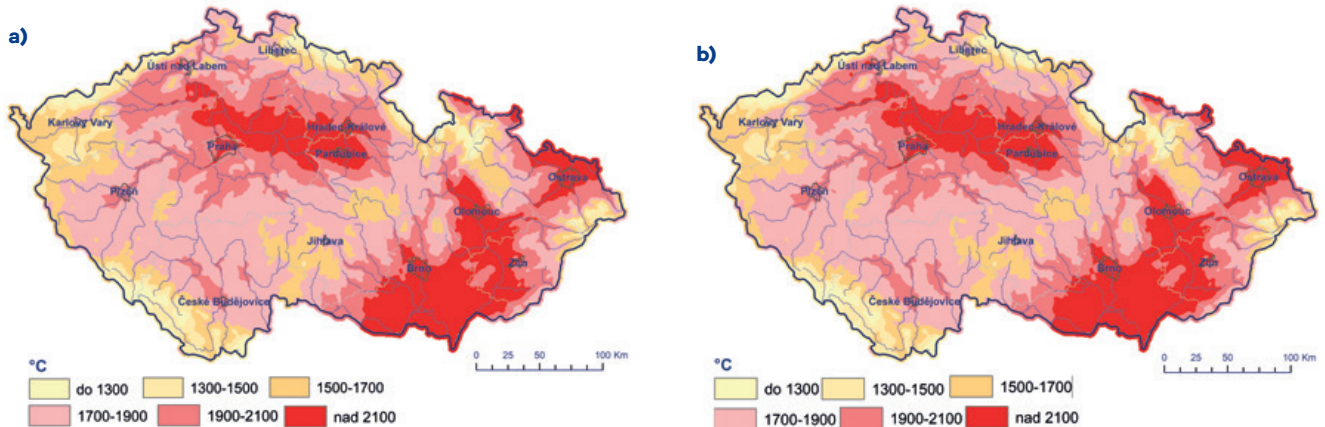
POČASÍ A ROSTLINY

Souhrn za rok 2021

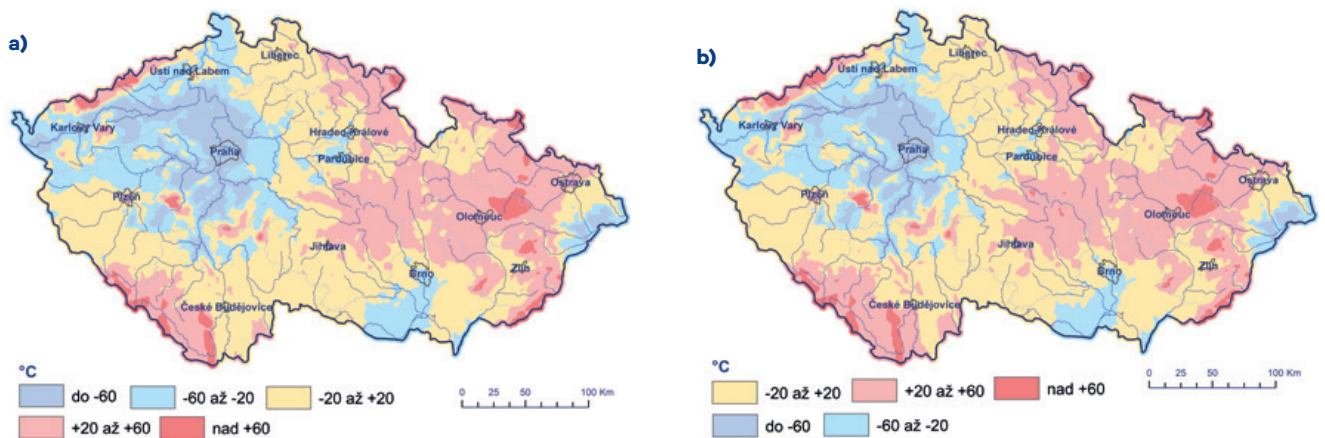
Celkovou sumu **efektivních teplot nad 5 °C** od 1. 1. 2021 do 30. 11. 2021 a 31. 12. 2021 a její srovnání s normálem 1981–2010 zobrazují následující mapy (obr. 1, 2). Absolutní hodnoty sumy efektivních teplot vzduchu nad 5 °C byly v rozmezí do 1 300 °C (nejvyšší horské polohy) a nad 2 100 °C

(např. jižní Morava, Polabí, Olomoucko, Zlínsko a Ostravsko). Odchytky od normálu 1981–2010 se pohybovaly v rozmezí do – 60 °C (převážně na území západních, severních a středních Čech) a nad +60 °C (příhraniční hory či na Olomoucko).

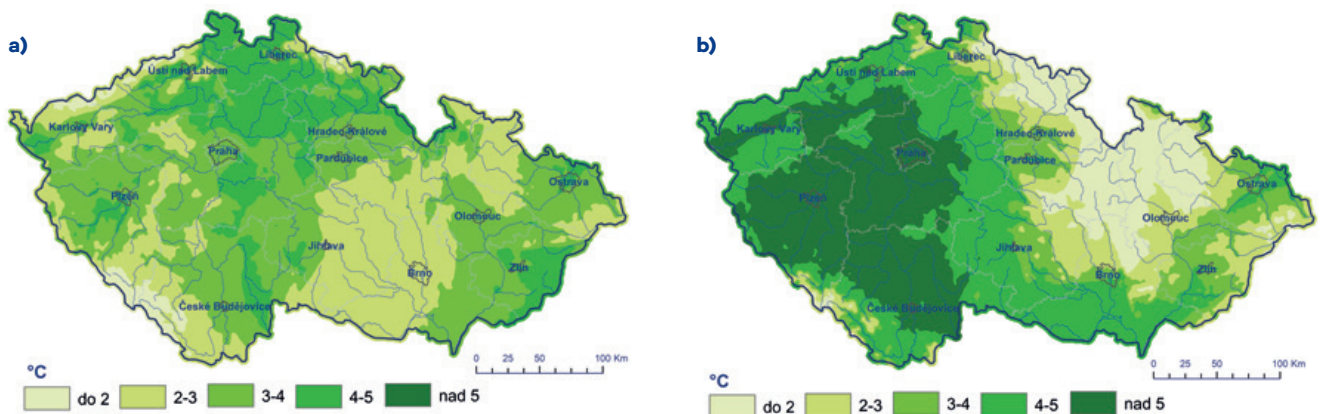
Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 30. 11. 2021 a 31. 12. 2021 je uvedena v obrázku 3. Vývoj průměrné denní teploty půdy v hloubce 10 cm v průběhu roku 2021 byl



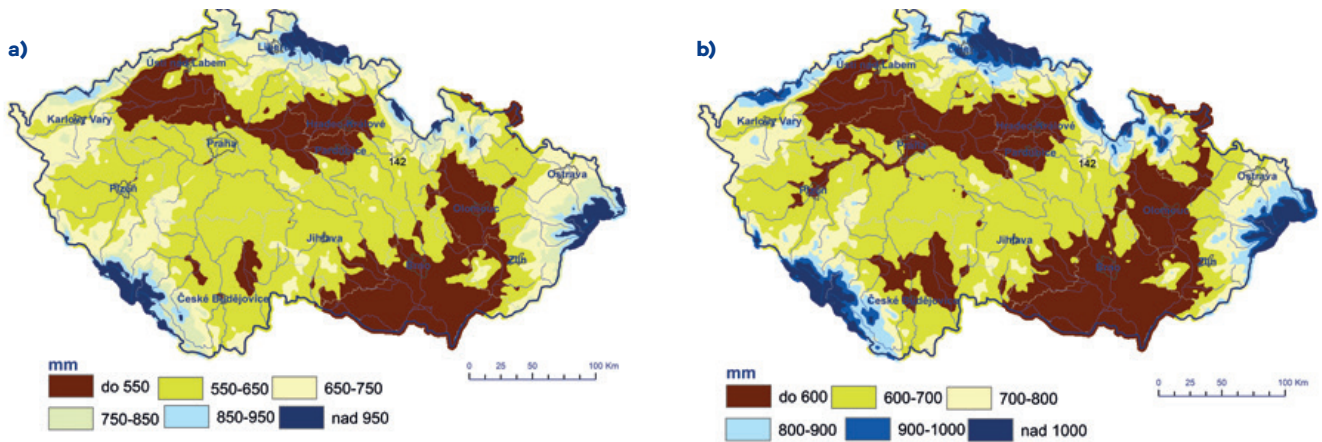
Obr. 1 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C od 1. 1. 2021 do 30. 11. 2021 (a) a do 31. 12. 2021 (b).



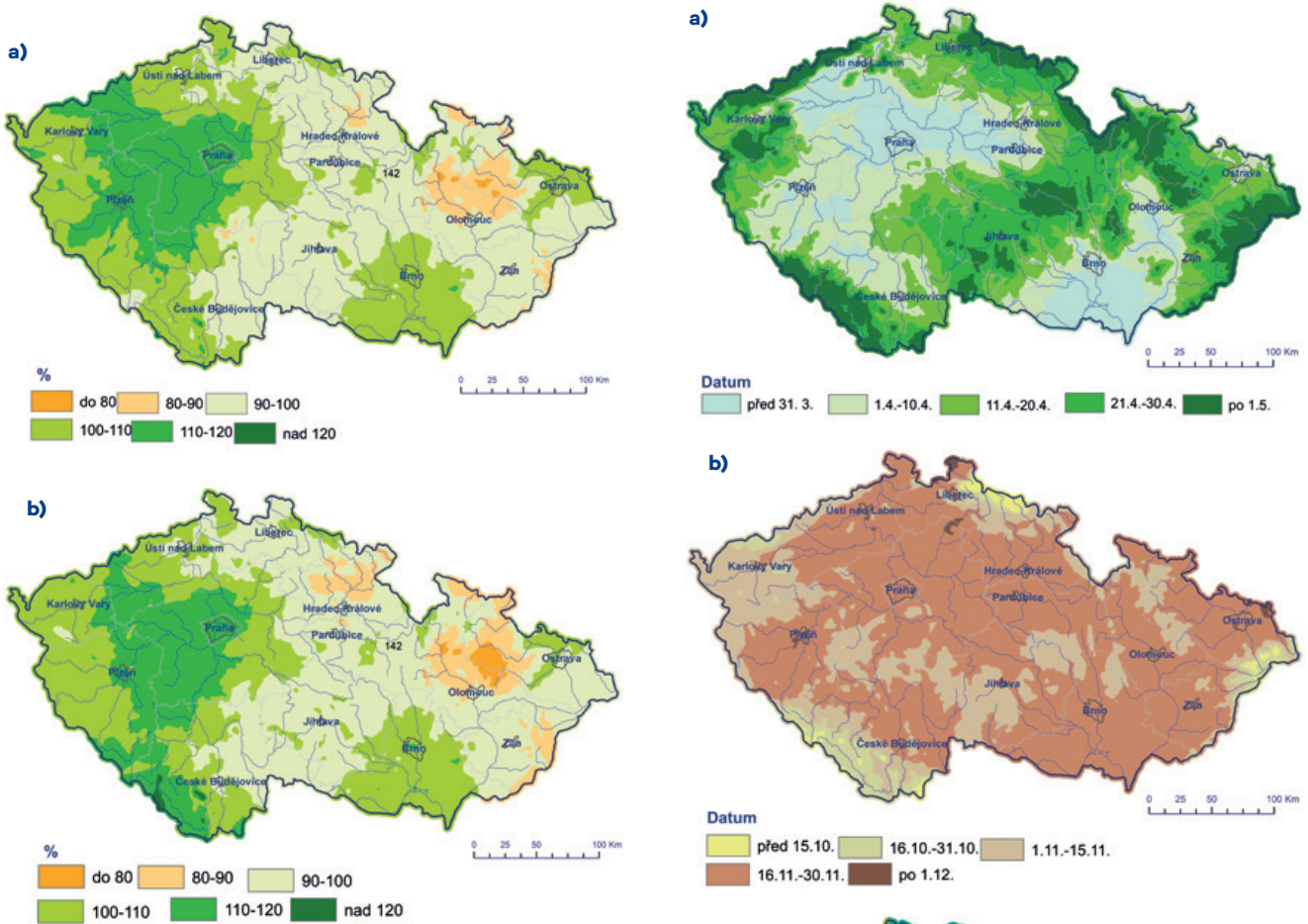
Obr. 2 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C – odchylka od normálu 1981–2010 od 1. 1. 2021 do 30. 11. 2021 (a) a do 31. 12. 2021 (b).



Obr. 3 Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 30. 11. 2021 (a) a 31. 12. 2021 (b).



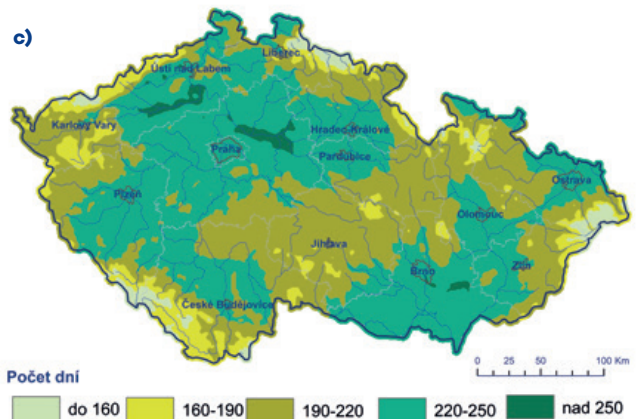
Obr. 4 Kumulativní úhrn srážek k 30. 11. 2021 (a) a 31. 12. 2021 (b).



Obr. 5 Kumulativní úhrn srážek (procenta normálu 1981–2010) k 30. 11. 2021 (a) a 31. 12. 2021 (b).

následující: 31. 1. (0 až 2 °C), 28. 2. (1 až 5 °C), 31. 3. (6 až 12 °C), 30. 4. (6 až 12 °C), 31. 5. (10 až 16 °C), 30. 6. (17 až 23 °C), 31. 7. (17 až 23 °C), 31. 8. (12 až 18 °C), 30. 9. (10 až 16 °C), 31. 10. (6 až 9 °C), 30. 11. (2 až 5 °C) a 31. 12. (2 až 5 °C). Nejvyšší hodnoty byly v prosinci naměřeny na většině území Čech (nad 5 °C).

Kumulativní úhrn atmosférických srážek od 1. 1. 2021 do 30. 11. 2021 a 31. 12. 2021 a procentické vyjádření normálu 1981–2010 je vykreslen na obrázku 4 a 5. Nejnižší kumulativní úhrn srážek (do 550 mm) byl zaznamenán zejména v Podkrušnohorské pánvi, v Poohří, Polabí, jižních Čechách,



Obr. 6 Začátek velkého vegetačního období (a), konec vegetačního období (b) a trvání vegetačního období (c) v roce 2021.

Tab. 1 Počátek kvetení 10 % sněženky podsněžník (fenologické předjaří), sasanky hajní (jarní aspekt) a třešně ptačí (fenologické časné jaro).

Stanice	Nadmořská výška	Sněženka podsněžník		Sasanka hajní		Třešeň ptačí	
		2021	Odchylka	2021	Odchylka	2021	Odchylka
Lednice	165	12. 3.	+9 dní	24. 3.	-5 dní	11. 4.	0
Chřibská	350	28. 2.	+2 dny	7. 4.	+4 dny	9. 5.	+12 dní
Příkosice	550	24. 2.	-7 dní	8. 4.	+4 dny	25. 4.	+5 dní
Měděnec	830	21. 4.	+20 dní	21. 4.	+3 dny	18. 5.	+4 dny

Tab. 2 Plné olistění lípy srdčité (fenologické plné jaro), počátek kvetení 10 % lípy srdčité (fenologické časné léto) a žloutnutí listů 10 % břízy bělokore (fenologický podzim).

Stanice	Nadmořská výška	Lípa srdčitá (plné olistění)		Lípa srdčitá (počátek kvetení)		Bříza bělokora	
		2021	Odchylka	2021	Odchylka	2021	Odchylka
Lednice	165	4. 6.	+10 dní	10. 6.	+1 den	30. 10.	+4 dny
Chřibská	350	29. 5.	+15 dní	1. 7.	+5 dní	25. 9.	+6 dní
Příkosice	550	13. 6.	+14 dní	30. 6.	+3 dny	23. 9.	+3 dny
Měděnec	830	14. 6.	+13 dní	15. 7.	+5 dní	6. 10.	+11 dní

dále na jižní Moravě, Olomoucku a Zlínsku. Nejvyšší srážkové úhrny (nad 1 000 mm) byly naměřeny v pohraničních horách. Ve srovnání kumulativních hodnot srážek s normálem 1981–2010 byly hodnoty vyšší na území Čech (převážně 110 až 120 % normálu).

V roce 2021 nás naštěstí nepotrápil výskyt sucha vzhledem k vyššímu množství srážek ve srovnání s předchozími roky. Ale zaznamenali jsme rozdíl v množství spadlých srážek mezi Čechy a Moravou (viz obr. 5b).

Mapy na obrázku 6 představují začátek, konec a trvání velkého vegetačního období v roce 2021 v jednotlivých oblastech ČR. Začátek a konec vegetačního období byl stanoven na základě průměrné denní teploty vzduchu. Za začátek vegetačního období se považuje první den uceleného období, kdy průměrná denní teplota vzduchu byla > 5 °C, a to minimálně 6 dní za sebou. Za konec vegetačního období se považuje poslední den uceleného období, kdy průměrná denní teplota vzduchu byla < 5 °C, a to minimálně 6 dní za sebou. Začátek velkého vegetačního období nastal v roce 2021 mezi 31. březnem až 1. květnem; konec velkého vegetačního období byl v časovém rozmezí 15. října až 1. prosince. Velké vegetační období trvalo 160 až 250 dní.

Nástup jarních fenologických fází byl cca o 3 týdny opožděn (nízké noční teploty vzduchu nástup vegetace zpomalovaly, na první jarní den jsme na mnoha lokalitách zaznamenali minimální teplotu vzduchu pod -10 °C a někde dokonce i pod -20 °C např. na stanici Kvilda-Perla (1058 m n. m., Šumava) byla naměřena minimální teplota vzduchu -20,6 °C. A v průběhu dubna bylo několikrát vydáváno upozornění na vegetační mrazy. Ovocnáři (zejména meruňky a broskvoně) museli začít dělat opatření, aby zabránili rozsáhlému poškození. Ale na „zmrzlé muže“ jarní mrazíky v roce 2021 nebyly.

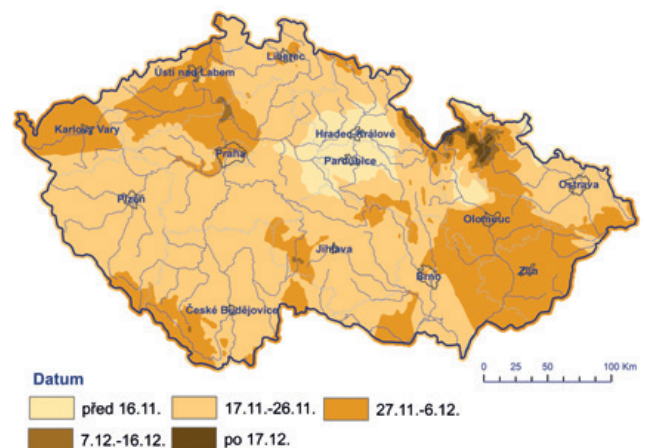
Vegetace dohnala své zpoždění na konci června, letní fáze probíhaly v obvyklých termínech.

Pylová sezóna začala o 14 dní později a nedošlo k překryvu kvetení alergenů, protože vegetace letos nastupovala pozvolna (vzhledem k chladnějšímu průběhu jara). Hlavní pylová sezóna břízy nastala až v první polovině května, ale její průběh byl zmírňován častým výskytem srážek. Nejhorší pylová situace

byla letos na konci května a začátkem června, kdy se vyskytovalo období bez srážek, a v tomto období kvetly duby, jehličnany a začala hlavní sezóna kvetení trav.

Kůrovec stihl ve svém vývoji jen dvě generace a aktivita klíšťat byla vzhledem k vlhčímu průběhu léta po většinu dní vysoká. Vzhledem k teplému a bezsrážkovému počasí v průběhu podzimu jsme si mohli užívat zbarvené listy déle než v minulých letech.

Fenologický průběh roku 2021 je prezentován v následujících tabulkách (tab. 1, 2) na vybraných fenologických stanicích po jednotlivých rostlinných druzích (řazeno dle fenologických ročních období). V tabulce je uveden aktuální nástup fenologické fáze v roce 2021 a odchylka od dlouhodobého průměru dané stanice.



Obr. 7 Opad listů 100 % modřínu opadavého.

Z dřevin jako poslední opadává modřín opadavý. Časový průběh v roce 2021 je zachycen na obr. 7.

Lenka Hájková

INFORMACE – RECENZE

Tlaková vlna z výbuchu Hunga Tongy

V sobotu 15. ledna 2022 v časných ranních hodinách světového času došlo k výjimečně mohutné sopečné erupci vulkánu Hunga-Tonga, jež je součástí souostroví Tonga. Okolní ostrovy byly několik hodin poté zasypány vrstvou popela, ale bohužel také zasaženy vlnami tsunami. Ty zde napáchaly značné škody, a došlo i ke ztrátám na životech, a to i na druhém konci Tichého oceánu v jižní Americe.

Svědectví i videa přímo ze souostroví zachytila příchod ohlušující rázové vlny z desítky kilometrů vzdálené exploze, jež byla slyšet až na několik tisíc kilometrů vzdálené Aljašce. Erupce podle současných odhadů dosáhla síly mezi 10 až 25 megatunami TNT. To je srovnatelné s testy jedněch z největších vodíkových pum v 50. a 60. letech minulého století. Stejně jako u těchto jaderných explozí, došlo i v případě erupce Hunga-Tongy k opakovaně měřitelnému obíhání tlakové vlny z výbuchu kolem celé Země. Podobný několikrát změněný oběh tlakové vlny kolem Země po vulkanické erupci byl popisován už v souvislosti s mohutným výbuchem vulkánu Krakatoa v Indonésii roku 1883. Příchod tlakové vlny ve večerních hodinách 15. ledna a delší cestou pak v druhé polovině noci na 16. ledna, byl velmi dobře patrný i na meteorologických stanicích v Česku.

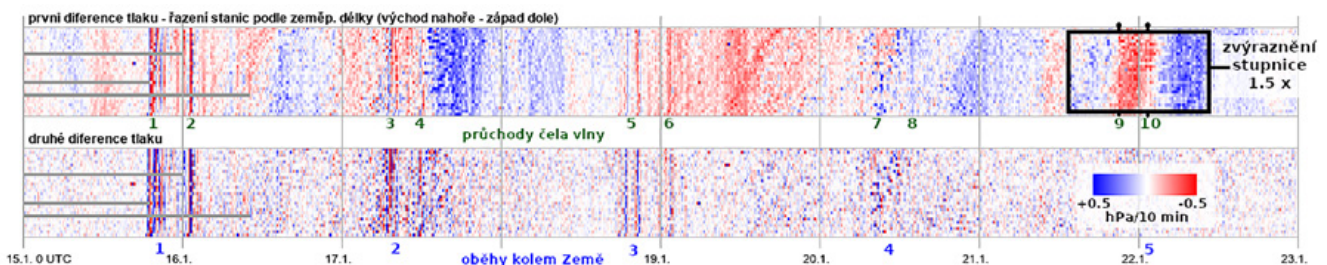
Velmi předběžnými výpočty bylo možno odhadnout oběžnou dobu kolem celé Země na přibližně 36 hodin a očekávat tak další průchody tlakové vlny. Následný třetí průchod čela vlny při druhém oběhu kolem Země byl patrný velmi dobře. Zato do času 4. průchodu se trefil přechod výrazné studené fronty s bouřkami, kdy dochází rovněž k náhlým změnám tlaku. Další oběh kolem Země bylo možno ještě tušit, ale pro jistější potvrzení bylo nutno využít data z více stanic a speciálním zpracováním vyhledat jen ty změny tlaku, jež jsou ve velmi úzkém časovém okně společné všem stanicím. Tlaková vlna pochybuje se rychlostí přes 1000 km/h se totiž, na rozdíl například

od fronty s pohybem jen desítky km/h, stihne projevit téměř zároveň na všech stanicích v naší malé republice.

Prostým zobrazením první a druhé derivace tlaku a seřazením časových řad ze všech stanic nejprve ve směru sever-jih a v druhém zobrazení zároveň ve směru západ-východ bylo možno snadno identifikovat 5 oběhů tlakové vlny kolem Země, přičemž přes naše území prošlo čelo vlny (idealizované) měřitelně zřejmě 10x. Velmi výrazně pomohla dostupnost minutových tlakových dat. Ta sice nejsou operativně běžně k dispozici a ani se nearchivují, ale při velmi výjimečných situacích je lze ještě po dobu několika málo týdnů zpětně využít. Tato měření byla průměrována v různém kroku od 10 do 30 minut. Ač jsou hlavně první nejostřejší vlny nejlépe patrné na 10 minutých průměrech tlaku, tak poslední ještě měřitelné průchody jsou lépe vidět na datech s průměrováním 15 a hlavně 20 minut.

To je v dobré shodě s předpokladem rychlejšího utlumování vyšších frekvencí. Už u prvních vln je zároveň jasně patrné, že za hlavní vlnou následují i další a že jejich následnou interferencí docházelo ke vzniku složitějšího systému vlnění. To potvrzuje i množství animací speciálně zpracovaných dat z geostacionárních družic. S ohledem na mimořádnost tohoto úkazu bude této události jistě věnováno množství odborných článků v nejbližších měsících, ale i letech.

David Rýva



Změny tlaku vzduchu na stanicích ČHMÚ od půlnoci 15. do 23. ledna 2022. Přechody tlakové vlny jsou patrné jako vertikální linky. K podobné změně tlaku dochází na všech stanicích téměř ve stejný čas, což se u meteorologických jevů, jako jsou přechody front, neděje. První tři oběhy (6 průchodů) vlny jsou patrné hlavně ve spodním diagramu druhých diferencí. Čtvrtý oběh už je lépe patrný v zobrazení prvních diferencí a bohužel narušený přechodem studené fronty s bouřkami. Pátý oběh Země už je na hranici rozeznatelnosti v šumovém pozadí a bylo nutno kvůli němu zvýraznit barevnou informací. Vertikální linky jsou pak ale dobře identifikovatelné i v tomto případě. To pak potvrzuje i další matematická zpracování.

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., Zárybničná 2048/7, 141 00 Praha 4

ISSN 0026-1173

Registrační číslo MK ČR E 5107

© Meteorologické zprávy, Český hydrometeorologický ústav



JIZERKA 2022

**Meteorologie a klimatologie středních a vyšších poloh
Česka i střední Evropy**

17. – 19. května 2022

v hotelu Pyramida na Jizerce
v Jizerských horách

Místo konání konference bylo záměrně zvoleno na Jizerce, která je meteorologicky velmi pozoruhodnou lokalitou, stejně jako celé Jizerské hory, pro svou mimořádnou historii a současnost meteorologických a hydrologických měření. Konference volně navazuje na předešlé akce konané na Lysé hoře (2017) a na Kvildě (2019).



Bloky konference:

Jizerské hory – historie, současnost a budoucnost. • Meteorologická a jiná měření v Jizerských horách • Problematika měření na horách – horské stanice v Česku a okolních státech • Meteorologické přístroje a technika na horách, metodika měření, automatické či manuální měření, nebezpečné meteorologické jevy • Klimatologická zpracování a charakteristiky území na horách • Problematika předpovědi počasí zejména ve středních a vyšších oblastech • Klimatická změna a adaptační opatření ve středních a vyšších nadmořských výškách • Hydrologie Jizerských hor • Kvalita ovzduší v Jizerských horách • Exkurze na nejen meteorologicky zajímavé lokality Jizerských hor