

Meteorologické zprávy

ROČNÍK
73–2020

5

**129 Vybrané případy supercelárních bouří
za roky 2018 a 2019 pohledem dopplerovských
polarimetrických radarů**

David Rýva

**139 Spôsobuje globálne otepľovanie
nestacionaritu extrémov zrážok?
Príklad zo Slovenska**

Milan Onderka – Jozef Pecho – Ladislav Markovič
– Pavol Nejedlík

**146 Internet věcí a crowdsourcing v meteorologii
a klimatologii**

Stanislava Kliegrová

Meteorological
Bulletin

Český
hydrometeorologický
ústav



**129 Selected cases of supercell storms in 2018 and 2019
as seen with Doppler dual polarisation weather radars**

David Rýva

**139 Are rainfall extremes becoming non-stationary due to global
warming? A case-study from Slovakia**

Milan Onderka – Jozef Pecho – Ladislav Markovič – Pavol Nejedlík

**146 Internet of Things and crowdsourcing in meteorology
and climatology**

Stanislava Kliegrová

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

nakladatelstvi@chmi.cz

casmz.chmi.cz

Vybrané případy supercelárních bouří za roky 2018 a 2019 pohledem dopplerovských polarimetrických radarů

Selected cases of supercell storms in 2018 and 2019 as seen with Doppler dual polarisation weather radars

David Rýva

Český hydrometeorologický ústav
Odbor distančních měření a informací
Generála Šišky 942, 143 00 Praha 4
✉ david.ryva@chmi.cz

Supercell convective storms, simply supercells, are one of several types of convective storm spectrum based on cellular structure of the convective system. Despite their name, these storms are not larger in dimensions than the other storm types. For their longevity, severity and isolation, they can also be very useful for testing broad variety of radar and lightning based algorithms. We would like to present some typical aspects of supercell behaviour observed for the first time in the Czech Republic but we mainly want to present some new results of storm updraft detection algorithm which is based on dual polarisation radar data. It could be very helpful for nowcasting to know the position and characteristics of updrafts. This product is under development at the Department of Remote Sensing and Information of CHMI.

KLÍČOVÁ SLOVA: bouře konvektivní – supercela – radar meteorologický – CZRAD – ZDR sloupec – proud konvektivní vzestupný – databáze supercel – amatérská meteorologie – ESWD databáze

KEYWORDS: convective storm – supercell – weather radar – CZRAD – ZDR column – updraft – database of supercells – amateur meteorology – ESWD database

1. Úvod

Po letech 2016 a 2017, kdy jsme zaznamenali velké množství pravděpodobných supercelárních bouří (Rýva 2018), následoval slabší rok 2018 a rok 2019, kdy byla četnost výskytu supercel opět velmi vysoká. Oba roky však přinesly několik velmi zajímavých situací, a to jak z pohledu nebezpečných projevů některých bouří, tak jejich vývoje a vnitřní struktury z pohledu radarových měření sítě CZRAD. Některé případy tak byly vybrány pro další zpracování a výzkumné účely v rámci programu Dlouhodobé koncepce rozvoje výzkumné organizace, do kterého je zapojen Odbor distančních měření a informací ČHMÚ. Opět se také ukázala nezastupitelná role spolupráce s amatérskými pozorovateli silných bouří, ale i s širší

veřejností, např. prostřednictvím sociálních sítí. U několika případů supercel jsme tak získali velmi cenné informace o lokalizaci výskytu krupobití, velikosti krup, ale i škodách jimi způsobených.

Už ručně kreslená archivní radarová data z Prahy-Libuše z první poloviny 70. let minulého století ukazují osamocené konvektivní buňky s dlouhým trváním, ale rovněž s velmi zajímavých tvarem a chováním. Můžeme jen odhadovat, že skutečně mohlo jít o supercely. I tak byl tento typ bouří u nás poprvé zmíněn zřejmě až při extrémním krupobití z 18. srpna 1986 (Pavlík et al. 1988). Autoři tehdy naprosto jasně poukázali na možnou supercelární povahu některých z bouří ve zmíněný den. Silná krupobití s výskytem někdy až extrémně velkých krup totiž patří k častým projevům tohoto typu bouří. Kroupami přitom mnohdy bývá zasažen dlouhý pás území, někdy v délce až stovek km. Může tedy docházet ke značným škodám na porostech, zemědělských plodinách, ale i majetku. Dlouhou dobu však byl tento typ bouří u nás považován za velmi zřídka se vyskytující a první nesporný důkaz o supercelární povaze bouře v ČR poskytl až podrobný rozbor radarových dat ze situace s výskytem supercel doprovázených tornády 31. května 2001 (Setvák et al. 2004). Následné postupné systematické sledování jejich výskytu, zpočátku zejména ze strany amatérských pozorovatelů konvektivních bouří (Drahokoupil et al. 2018), však ukázalo, že zřejmě nepůjde ani u nás o tak zřídka jev, jak se dříve soudilo. V posledních letech jsou supercelární bouře cíleně dohledávány a katalogizovány do databáze v rámci výzkumné činnosti ČHMÚ. Stále se to však děje za velmi významné externí podpory a spolupráce s amatérskými pozorovateli počasí, jejichž role je v této oblasti naprosto klíčová. S ohledem na častou izolovanost, výrazné projevy a rovněž dlouhou dobu trvání supercel jde o ideální objekty pro testování různých algoritmů detekujících riziko nebezpečných projevů kumulonimbů.

V současnosti je aktuální větší využití polarimetrických dat, která nám nové radary poskytují, a to mimo jiné pro účely detekce výstupných pohybů vzduchu v konvektivních buňkách (dále updraftů). Znalost polohy, intenzity a rozsahu updraftů jednotlivých konvektivních jader by mohla významně napomoci odhadu jejich dalšího vývoje. V neposlední řadě může jít o další významnou informaci, např. pro zabezpečení letového provozu, kdy velmi silné a rozsáhlé updrafty mohou být spojeny nejen se silnou turbulencí, náhlým prudkým stoupáním, ale i s výskytem velkých krup dokonce i ve velkých výškách.

Zároveň i pochopení podmínek, jež u nás vedou k výskytu tohoto typu konvektivních bouří, může výrazně napomoci

zlepšit výstražné informace. Současný výzkum a vývoj nových produktů v ČHMÚ tak přímo využívá data situací z dané databáze, ale jeho součástí je i další rozšiřování a průběžné doplňování této databáze pro případné navazující budoucí studie.

2. Databáze supercelárních bouří

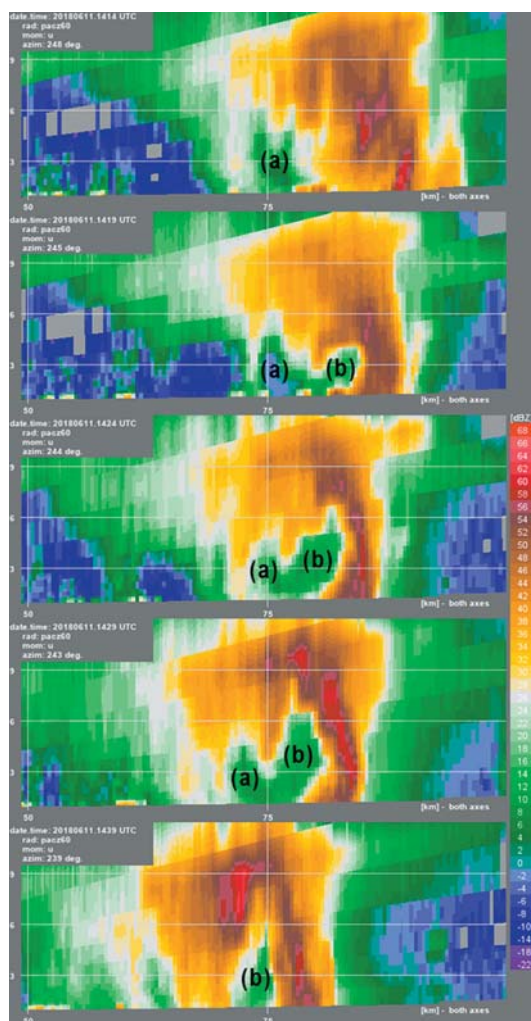
Databáze supercel v ČR vznikla původně jako jeden z pozorovacích projektů sdružení Amatérská meteorologická společnost (dále jen AMS z. s.) s cílem zmapovat jejich výskyt v ČR. Potvrzení supercelární povahy bouří však bylo bez potřebných dat často velmi problematické, a tak v databázi byly zpočátku jen opravdu výrazné případy, kde byla pravděpodobná povaha bouře zřejmá již podle veřejně dostupných radarových dat, ale i vizuální struktury zachycené fotograficky nasvědčovaly možnému supercelárnímu charakteru bouře. Výrazné zlepšení situace nastalo po poslední modernizaci radarové sítě CZRAD, odkdy pracujeme na vývoji softwaru s novými možnostmi zpracování radarových dat. Jemnější zobrazení objemových a dopplerovských měření totiž umožnilo analyzovat situaci mnohem detailněji, a tak identifikovat i jevy dříve přehlížené. Tento typ dat ovšem není veřejně dostupný mimo ČHMÚ a hlavní slovo ve vyhodnocování případů supercel tak přešlo právě na Radarové oddělení ČHMÚ. V současnosti probíhá příprava nové struktury databáze, jež byla v původních amatérských podmínkách AMS z. s. vedena formou tabulky v Excelu. Takové řešení je však s ohledem na další rozšiřování databáze nevyhovující, a to jak kvůli velkému množství případů, tak i možnosti následného dalšího zpracování obsahu do map, statistik apod.

3. Supercely v roce 2018

Tab. 1 Přehled dnů roku 2018 s výskytem pravděpodobných supercel a počet pravděpodobně supercelárních buněk v daný den.

Table 1. Overview of days in 2018 with probable supercells detected and with a number of probable supercells in particular days.

Datum	Počet buněk
23. 4.	1
3. 5.	1
11. 6.	4
24. 8.	1



Obr. 1 Pseudo-RHI řez konvektivní buňkou ukazuje postupný zánik původního BWER (a) a vytvoření nového (b).

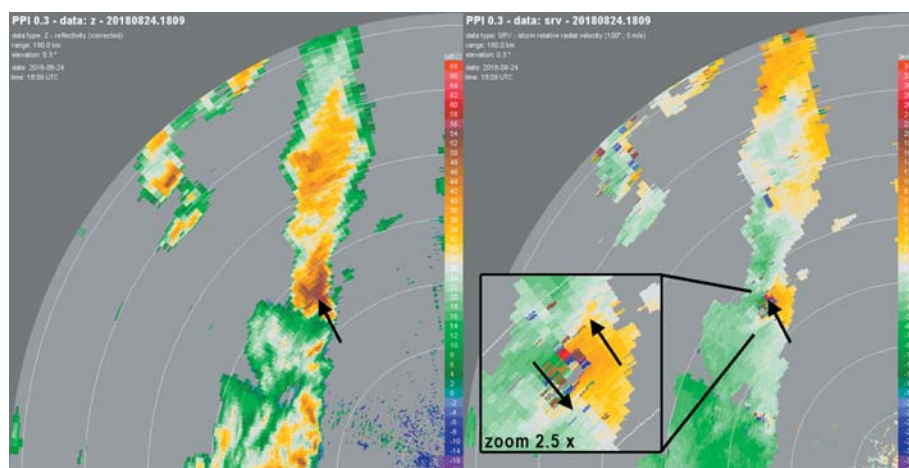
Fig. 1. Pseudo-RHI convective cell cross section shows that while the old BWER (a) was disappearing, the new one started to develop (b).

Jak už bylo zmíněno výše, rok 2018 nebyl na supercely rokem příliš bohatým (tab. 1), a to i z důvodu menší četnosti výskytu konvektivních bouří obecně. Přesto se však vyskytla situace, která stojí za podrobnější analýzu, a to 11. červen s výskytem extrémního krupobití na hranicích Bavorska a Čech v oblasti hraničního přechodu Folmava. Situace byla zdokumentována fotografiemi a videem jak od členů AMS z. s. (Opalecký et al. 2018), tak i Czech Thunderstorm Research Association. Už jen vizuální struktura bouře zachycená fotograficky ukazuje na velmi pravděpodobný supercelární charakter dané bouře a radarová data vykazují znaky, jež jsou typické pro supercelární bouře (např. Markovski, Richardson 2012). Vertikální i horizontální radarové řezy bouří (obr. 1) ukazují výrazné ohraničené oblasti snížené odrazivosti (dále BWER), hákovité echo (oblast vyšší radarové odrazivosti ve tvaru háku) v horizontálních řezech bouří v nejnižších hladinách a v některých termínech i výraznou rotaci bouře patrnou na datech radiálních dopplerovských rychlostí. To je v dobrém souladu se skutečností, že šlo o bouři výrazné intenzity. Kroupy zde dosahovaly průměru až přes 6 cm a způsobily značné škody jak na porostech, tak na automobilech, ale i viditelné škody na budovách. Původcem tohoto krupobití byla supercela, která vznikla už před polednem

světového času na území Německa a postupovala dále k východu a postupně v českém Pošumaví až téměř k jihovýchodu. Bouře nakonec zanikla kolem 17:00 UTC na Prachaticku. Oproti jiným případům bylo u této bouře možné na vertikálních radarových řezech pozorovat i „cyklování“ supercely. Jde o případy, kdy jeden updraft a s ním spojená uzavřená oblast snížené odrazivosti slábne, zatímco je průběžně nahrazována nově vzniklou, a to stále v rámci jedné konvektivní buňky.

V rámci jihozápadu Čech se v ten den vyskytly celkem 4 bouře s patrným supercelárním charakterem, ale zbylé 3 byly bez výrazných projevů, jaké byly pozorovány u popsané bouře.

Druhou situací roku 2018, jež krátce zmíníme, byla supercela ve východních Čechách 24. srpna. Na výskyt možné supercelární bouře upozornily fotografie a hlášení od amatérského meteorologa z Pardubicka (Michálek, Rýva 2018). Jde tak o velmi pěkný případ, kdy právě pozorování amatérů upozorní na jev, který bychom mohli jinak přehlédnout. K dispozici nejsou žádné informace o tom, že by tato bouře způsobila nějaké výrazné škody v zasažené oblasti. Zajímavé ale je, že ač bouře měla vizuálně výrazné supercelární



Obr. 2 Výřez z dopplerovského PPI scanu s dosahem 180 km. Radar Skalky je v pravém dolním rohu každého z obrázků a kružnice vzdálenosti jsou po 25 km. Levý obrázek ukazuje data korigované odrazivosti v dBZ, pravý obrázek pak data radiální rychlosti přepočtené relativně k pohybu bouře. Černou šipkou je vyznačena poloha středu rotace mezocyklony bouře a smysl rotace ve zvětšeném výřezu. Bouře v poli odrazivosti nejeví typické supercelární znaky.

Fig. 2. Zoomed PPI data from Doppler radar scan with a range of 180 km. The Skalky radar site is situated in the right bottom corner of each of the images and distance indicating circles are plotted every 25 km. Left image shows radar reflectivity and right image is a plot of storm relative radial velocity. Black arrow indicates the centre of rotation of the storm and the same location in the field of reflectivity where the storm doesn't show typical supercell characteristics.

vzezení, a dokonce i dopplerovská radarová měření ukazují déle trvající a poměrně výraznou mezocyklonu (obr. 2), tak vertikální ani horizontální řezy touto buňkou nenaznačují žádné výrazné supercelární znaky a v některých fázích vývoje se bouře jevila spíše multicelárně. To samo o sobě svědčí o jisté problematickosti naší snahy o jednoznačné odlišení multicel od supercel v podobě jakéhosi „škatulkování“, které mnohdy tak úplně nezapadá do reálné přírody, s jejím často spojitým „spektrem“ různých jevů. I jednoznačně prokázané supercely mohou vykazovat mnohé multicelární znaky, jen nahrazování nových buněk starými se děje v podstatě kontinuálně.

4. Supercely v roce 2019

Co do četnosti výskytu supercel měl rok 2019 značně odlišný charakter než rok 2018. Zaznamenali jsme mnohem více dnů se zdokumentovaným výskytem pravděpodobných supercel (tab. 2), ale celkově i jejich mnohonásobně větší množství. To je dáno samozřejmě i tím, že v některých dnech došlo opět na velmi četný výskyt bouří se supercelárním charakterem.

Tab. 2 Přehled dnů roku 2019 s výskytem pravděpodobných supercel a počet pravděpodobně supercelárních buněk v daný den.

Table 2. Overview of days in 2019 with probable supercells detected and with a number of probable supercells in particular days.

Datum	Počet buněk	Datum	Počet buněk
10. 6.	4	21. 7.	5
12. 6.	4	6. 8.	4
13. 6.	15	7. 8.	1
15. 6.	1	12. 8.	1
21. 6.	3	20. 8.	4
1. 7.	10		

4.1 Epizoda z 10.–13. června

Červen 2019 byl na našem území nejen výrazně teplotně nadprůměrný, ale zároveň přinesl více zajímavých bouřkových situací. Vrcholem celého měsíce, a mnohde i celého roku 2019, byla právě epizoda 4 dnů s bouřkami počínaje večerem 10. června (Džugan et al. 2019). Na naše území tehdy od jihozápadu dorazil konvektivní systém, který vznikl spojením více bouří už na území Bavorska. Jednou ze zárodečných bouří tohoto systému byla supercela, která o několik hodin dříve způsobila extrémní krupobití v dlouhém pásu táhnoucím se přes Mnichov a jeho okolí. Mnohé z krup dosahovaly průměru kolem 5 cm.

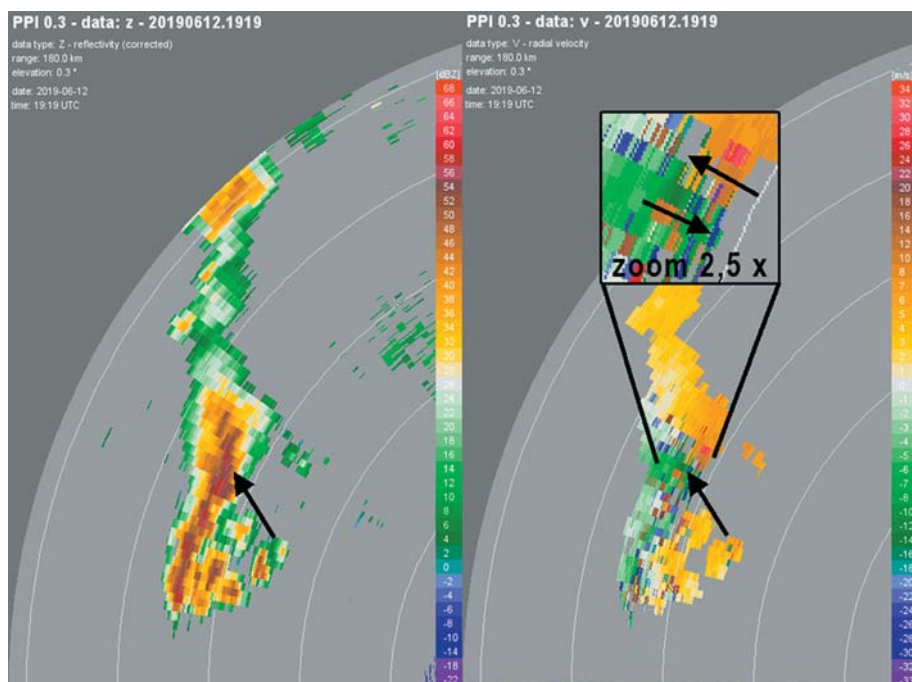
Následující den se bouře přesunuly do prostoru severně od Krušných hor a vyskytla se i jedna bouře s náznaky možného supercelárního chování i na západě Čech (Džugan et al. 2019).

Mnohem zajímavější bouře přinesl 12. červen, kdy intenzivní projevy v podobě silných krupobití zasáhly hlavně střední Čechy a jedna ze supercel doprovázená krupobitím přešla přímo přes Prahu. Severovýchodně od Prahy v ní pak byl hlášen dokonce výskyt velkých krup, kde hlavně v okolí Lysé nad Labem dosahoval průměr krup až kolem 4 cm. Další supercela, na kterou se v tomto rozboru zaměříme podrobněji, vznikla v oblasti Benešova a následně přešla Kolín jako součást většího konvektivního celku. Tato bouře, ač byla vizuální strukturou velmi působivá a s jasně patrnou výraznou mezocyklonou na dopplerovských radarových datech (obr. 3), se na vertikálních i horizontálních řezech neprojevila téměř žádnými znaky supercelárního charakteru bouře.

Tato konvektivní bouře přinesla do zasažené oblasti krupobití, ale bez hlášených velkých krup a byla doprovázena velmi intenzivní elektrickou aktivitou a přívalovými srážkami. Z pohledu četnosti blesků šlo o nejsilnější bouřku toho dne na území Česka.

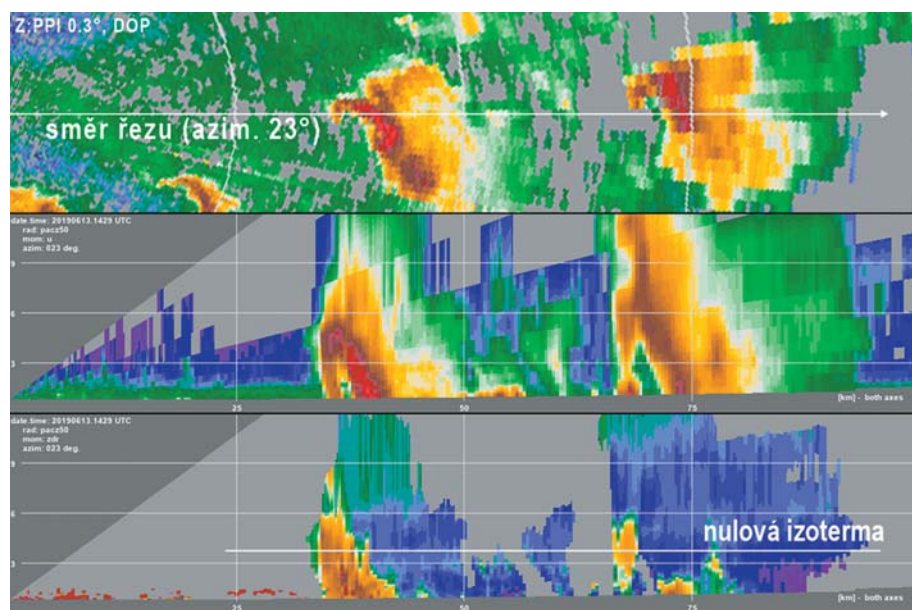
Poslední den této epizody, 13. červen, přinesl největší počet bouří se supercelárními znaky za celý rok 2019, a to zejména v pásu Břeclav – Vyškov – Zábřeh – Jeseník (Geryk et al. 2019). Několik supercel ale během následující noci zasáhlo ještě jižní Čechy a Vysočinu. Bouří s pravděpodobným supercelárním charakterem se celkem vyskytlo 15 a u dalších 4 je určení nejisté, kdy sice vykazují některé supercelární znaky, ale v mnoha jiných ohledech se chovají spíše multicelárně. U většího množství buněk lze pozorovat vznik typického hákovitého echa a BWER (obr. 4) aniž by došlo na viditelné štěpení (rozdělení jedné buňky ve dvě opačně rotující bouře).

Takové chování nastává obvykle v prostředí se silným stříhem větru ve směru, což se projevuje silně zakřiveným hodografem. To však neodpovídá hodografu z polední sondáže v Prostějově, kdy dynamika prostředí je jen mírná a zakřivení hodografu zejména v přízemní vrstvě není příliš příznivé. Bouře přesto



Obr. 3 Pohled z radaru Skalky ukazuje supercelu vnořenou v multicelárním systému přibližně v oblasti Kolína. Levý snímek je opět odrazivost a pravý je radiální rychlost vůči radaru Skalky. Poloha středu rotace je opět vyznačena černou šipkou.

Fig. 3. Supercell storm embedded in multicellular system located near Kolín (Central Bohemia). The left image shows reflectivity and the right one shows radial velocity relative to the Skalky radar site. Center of rotation is indicated with black arrow.



Obr. 4 Vertikální řez dvěma supercelami z pohledu radaru Skalky. Horní PPI obrázek radarové odrazivosti naznačuje směr vedení řezu, prostřední obrázek je odrazivost a spodní je polarimetrická veličina ZDR. Ta nabývá kladných hodnot směrem od bílé do teplých barev, záporných hodnot pak směrem do chladných barev. Výrazné kladné hodnoty jsou obvykle spojeny s velkými kapkami, jež mají větší horizontální průměr než vertikální. Zde jsou zjevně velké kapky vyneseny silným výstupným proudem do výšek až několik km nad nulovou izotermu.

Fig. 4. Vertical cross section of two supercells as seen with the Skalky radar. The upper PPI image shows the direction of the vertical cross section, image in the middle represents radar reflectivity and bottom image shows ZDR values. Warm colours of ZDR indicate positive values (associated usually with large water droplets having horizontal diameter larger than vertical), cold colours represent negative values. It is evident that larger water droplets were transported with the strong updraft of the storms up to several kilometres above a freezing level.

způsobily četná silná krupobití, kdy největší hlášené průměry krup dosahovaly až kolem 6 cm. Rovněž došlo na lokální škody větrem a četné případy lokálního zatopení v důsledku přívalových srážek. Popisovat zde však chování všech supercel z daného dne je nad rámec tohoto článku.

4.2 Další zajímavé situace

a) Četný výskyt supercel 1. července

Dalším dnem s výskytem silných bouří a zároveň i četných supercel byl 1. červenec, kdy máme potvrzených 10 pravděpodobných supercel na území ČR a v blízkém okolí (zejména v Polsku severně od Klodsko). Z mnoha míst Čech i Moravy přišla hlášení o výskytu silných krupobití, a to hlavně z okolí Č. Budějovic a poté z okolí Olomouce (Prouza et al. 2019). Oba pásy zřejmě souvisí s postupem supercel. Zejména pak ze střední Moravy jsou i hlášení o silné hůlavě, doprovázející přechod bouřkového systému. Rozsahem však zdaleka nedošlo k naplnění kritérií pro označení větrné události termínem derecho (viz např. Rýva 2016, nebo eMS 2020).

b) Supercely 21. července

Pět pravděpodobných supercel v dosahu sítě CZRAD přinesl i 21. červenec. Supercela s nejvýraznějšími radarovými příznaky opět jevila znaky cykličnosti, podobně jako supercela z 11. června 2018 a stejně jako ta se vyskytla opět na jihozápadě Čech. Opět došlo i na výskyt velkých krup (Švarc et al. 2019).

c) Lokální škody větrem a supercely 20. srpna

Poslední den roku 2019 s potvrzeným výskytem pravděpodobně supercelárních bouří byl 20. srpen, kdy Vysočinou a Moravou prošly 4 takové bouře. Nejzajímavější z nich byla ta, jež vznikla kolem 18:40 UTC v oblasti Týna nad Vltavou a postupovala během dalších hodin přes Jihlavu až do cca 23:00 UTC kdy zanikla v oblasti Budišova nad Budišovkou. V oblasti Moravičan a Uničova došlo v rámci této bouře ke vzniku značných lokálních škod větrem a spekulovalo se o výskytu tornáda, což se nepotvr-

dilo. Velmi pravděpodobně šlo o intenzivní microburst, nebo více microburstů. To by odpovídalo i velmi vysoké radarové odrazivosti až přes 68 dBZ zjištěné v dané bouři v zasažené lokalitě.

d) Podezření na výskyt tornáda na Litoměřicku 7. srpna

Tuto situaci jsme si nechali až na závěr, a porušili tak jinak předchozí chronologické řazení situací v tomto článku. Jde totiž o supercelu, na které se mohlo vyskytnout tornádo. Bouře opět z pohledu radaru jevila znaky cyklování s velmi dobře patrným hákovitým echem a mezocyklonou na dopplerovských měřeních. V čase a místě možného výskytu tornáda však vše vypadá spíše na výskyt downburstu, čemuž nasvědčuje i následný pozemní průzkum škod. I tato bouře byla bohatě zdokumentována větším počtem lovců bouřek (Novotný et al. 2019).

5. Radarová detekce updraftů bouří

5.1 Produkt ZDR column height (ZDRCH)

Pořízení polarimetrických radarů v roce 2015 znamenalo možnost začít testovat různá využití polarimetrických radarových veličin pro rozličné účely, od zlepšení filtrace nemeteorologických cílů z radarových dat až po produkty určující skupenství a další vlastnosti srážkových částic. Jednou z často využívaných polarimetrických veličin je ZDR, někdy označovaná jako rozdílová odrazivost. Ta umožňuje odhad poměru horizontálního a vertikálního poloměru srážkových částic. Například pro velké kapky vody, které jsou mírně zploštělé, dosahuje ZDR kladných hodnot v řádu jednotek dBZ, pro sníh a kroupy obvykle nabývá hodnot kolem nula dBZ a např. pro velké kroupy, které mnohdy padají orientované větším průměrem na výšku, nabývá ZDR záporných hodnot někdy až několik dBZ.

Jelikož v updraftech konvektivních bouří je vzduch často znatelně teplejší než jeho okolí a zároveň kapky vody se mohou udržet kapalné až do teplot výrazně pod bodem mrazu, lze usuzovat na skutečnost, že se zde mohou vyskytovat vodní kapky i ve výškách, kde je v okolí voda již zmrzlá a tvoří ledové krystalky. To se ale nutně musí projevit právě na hodnotách ZDR, kdy v oblasti updraftů bouří se výrazné kladné hodnoty ZDR objeví ve výšce někdy až několik kilometrů nad hladinou nulové izotermy. Tyto kladné hodnoty ZDR mají charakter jakýchsi sloupců (obr. 4, dolní část), jež lze snadno detekovat při zpracování objemových radarových dat. Takový produkt pak můžeme využít na lokalizaci a odhad síly updraftu dané konvektivní buňky (Snyder et al. 2015).

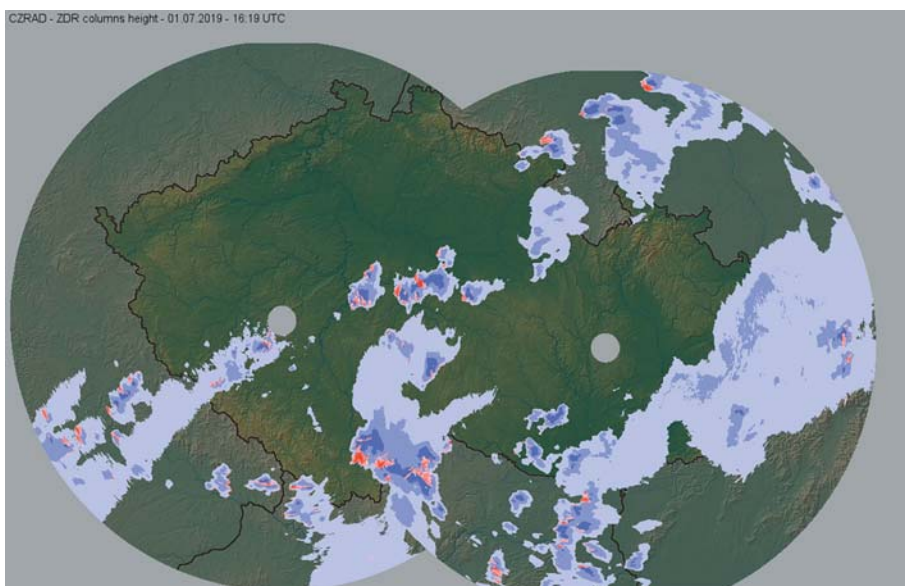
5.2 Zpracování dat

Použití samotné veličiny ZDR je ovšem často problematické, a to i pro vizuální interpretaci. Důvodem je velká variabilita hodnot ZDR zejména v oblastech s velmi nízkými hodnotami odrazivosti v okrajových částech srážkové oblačnosti. Z tohoto důvodu je vhodné použít i data samotné odrazivosti k filtraci dat ZDR a zamaskovat veškerá data pro odrazivosti nižší než nastavený práh. Po ozkoušení různých prahových hodnot se nejlépe osvědčila hodnota 16 dBZ. Výrazně se tak zlepší nejen čitelnost samotných dat ZDR pro vizuální interpretaci, ale i použitelnost pro automatickou detekci updraftů výše popsaným způsobem.

Další testování ale ukázala ještě na jednu komplikaci, se kterou se bylo nutno vyrovnat, a to chybné detekce updraftu v oblasti tzv. hail spike (celým názvem three body scatter spike). Jde o falešné odrazy, které vznikají za konvektivní buňkou ve směru od radaru tak, že mikrovlny vysílané radarem se od krup částečně odrazí i k zemskému povrchu, odtud se odrazí zpět na kroupy, které část signálu nakonec odrazí opět směrem k radaru (např. Markovski, Richardson 2012). Signál je radarem zpracován a jeví se jako falešný odraz v podobě jakési špičky za konvektivní buňkou (např. obr. 7).

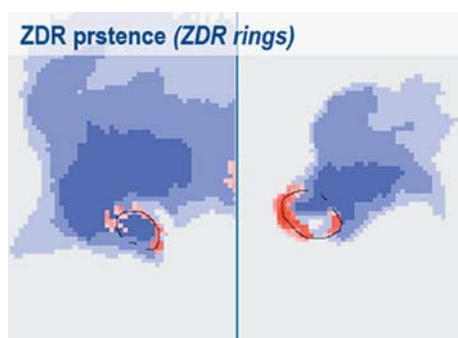
Naštěstí se našlo efektivní a jednoduché řešení, jak tyto falešné detekce eliminovat. Pro srážky detekované radarem jsou typické vysoké hodnoty korelačního koeficientu mezi odrazivostí v horizontální a vertikální polarizaci. Pro nemeteorologické cíle jsou tyto hodnoty obvykle výrazně nižší, a jelikož dochází při vzniku hail spikes i k odrazu od zemského povrchu, tak právě zde by měly rovněž být nižší hodnoty korelačního koeficientu, který tak lze využít jako další pomocnou veličinu pro filtrování dat ke zpracování.

Výsledné zpracování pak probíhá interpolací dat všech tří radarových veličin nejprve do hladiny CAPPI ve výšce 500 metrů nad nulovou izotermou s rozlišením 500 metrů na pixel. Tam, kde i přes použitou filtraci jsou detekovány hodnoty ZDR nad



Obr. 5 Ukázka pokrytí Česka kompozitem z obou radarů a v modro-červeném testovacím zobrazení ZDRCH (červeně) v kombinaci se zjednodušeným zobrazením odrazivosti (modře).

Fig. 5. Example of composite visualization from both Czech weather radars. Red colours represent ZDRCH test image (darker red means higher ZDR column) and blue shades represent simplified image of field of reflectivity (darker colour means higher reflectivity).



Obr. 6 Ukázka několika ZDR prstenců, které se občas objevují zejména u supercelárních bouří. Modře jsou zobrazeny radarové odrazivosti podle intenzity srážek (nad 16, 30 a 44 dBZ v hladině 500 metrů nad nulovou izotermou) a červeně pak detekované updrafty bouře.

Fig. 6. Example of several ZDR rings which can be connected with mostly supercell storms. Blue shades are values of reflectivity higher than 16, 30 and 44 dBZ at a level of 500 meters above the zero isotherm, and the detected storm updrafts are shown in red.

prahovou hodnotou, jsou postupně počítány tyto hodnoty i pro větší výšky v kroku 250 metrů do té doby, než hodnota ZDR poklesne pod prahovou hodnotu detekce. Rozdíl takto nalezené výšky oproti výšce nulové izotermy je pak považován za výšku ZDR sloupce (hodnota ZDRCH). Dosah zpracování je pro data z obou radarů uměle limitován na 180 km. Důvodem je velká šířka paprsku radaru ve větších vzdálenostech a s tím související mnohem větší množství falešných detekcí v podobě šumu. Dalším důvodem proč právě 180 km je skutečnost, že speciální nízkohladinová dopplerovská měření mají dosah právě oněch 180 km a těsně pokrývají celé území ČR.

5.3 Zobrazování výsledných dat

Pro operativní použití bude potřeba nalézt vhodné zobrazování dat detekce updraftů přes data odrazivosti, případně vhodné kombinace několika radarových produktů v jednom zobrazení. Pro účely prvotního posouzení vývoje během zájmové situace, ale i pro prezentaci v tomto článku jsme použili zjednodušené modro-červené zobrazení (obr. 5). Různými odstíny modré barvy jsou naznačeny hodnoty odrazivosti v hladině 500 metrů nad nulovou izotermou a to postupně nad 16, 30 a 44 dBZ s tím, že čím tmavší, tím vyšší hodnota. Podobně je tomu s detekovanou výškou ZDR sloupků s tím rozdílem, že je použita červená barva. Světle růžová představuje výšku ZDR sloupce nad 0,5 km, sytě červená pak až nad 4 km.

6. Ukázky chování vybraných bouří pohledem produktu ZDRCH

6.1 ZDR prstence a ZDR oblouky

U supercelárních bouří se občas stává, že oblast ZDR sloupce se v místě rotující mezocyklony zformuje do tvaru prstence nebo části prstence. To se projeví prstencovou strukturou i na produktu detekce updraftů (ZDRCH). V angličtině se tato signatura označuje jako ZDR-ring, tedy ZDR prstenec (obr. 6). Někdy updraft vytvoří podobné struktury na rozhraní se postupným proudem supercely a ty mají pak spíše tvar oblouku. V takovém případě hovoříme o tzv. ZDR-arc, neboli ZDR oblouku.

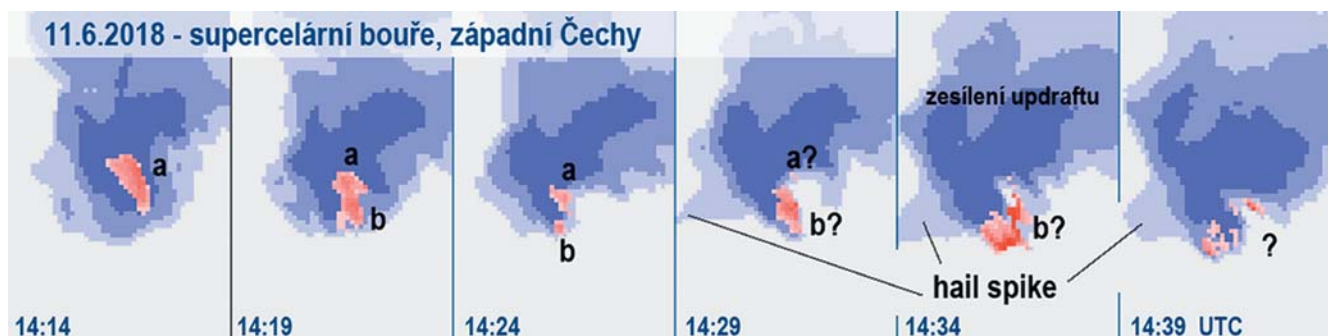
6.2 Cyklická supercela

Oblasti updraftu detekované s využitím produktu ZDRCH (obr. 7) nejsou dokonale totožné s odhadnutým rozsahem updraftu podle dohledání BWER ve vertikálních řezech (obr. 1). I tak lze ale vysledovat jistou paralelu v chování updraftu bouře mezi oběma způsoby detekce. Obě zobrazení ukazují na cyklické chování sledované supercelární bouře z 11. června 2018, kdy jeden pulz updraftu je plynule nahrazován jiným (obr. 7). Jde asi o první takto detailně zmapovaný příklad pozorování cyklické supercely na území ČR. Velmi podobné chování pak vykazovala i supercela z 21. července 2019, opět na jihozápadě Čech, a to navzdory tomu, že byla výrazně menší a slabší a lze ho dohledat i u některých dalších bouří.

6.3 Štěpení bouře a dělení updraftu

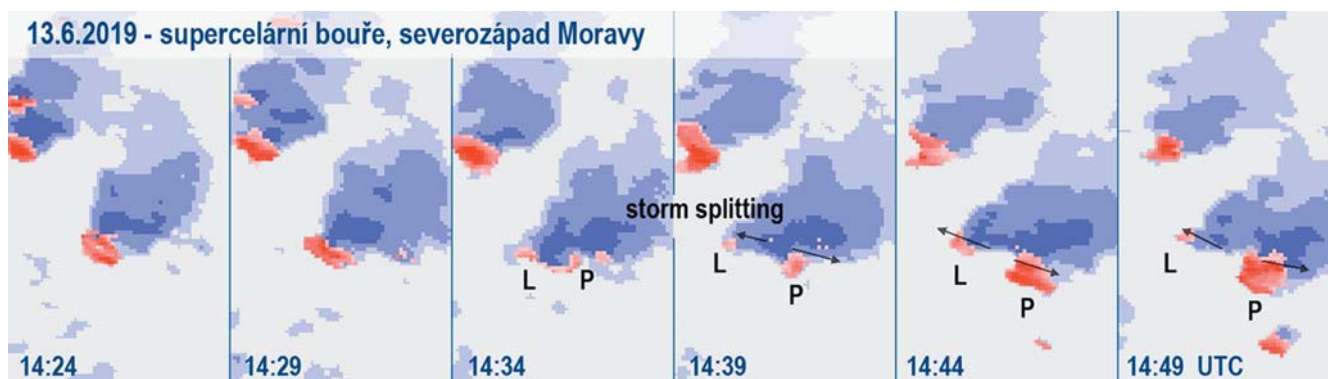
Štěpení konvektivní bouře je obvykle spojováno hlavně se vznikem supercel, ale může se objevovat opakovaně po dobu existence supercelárních bouří. Velmi dobře je to patrné na sérii snímků bouře z 13. června 2019 (obr. 8), která už jako existující supercela prošla štěpením, kdy došlo nejprve k protažení a rozdělení updraftu bouře na dva samostatné updrafty a následně samostatný vývoj levostáčivé(L) a pravostáčivé(P) bouře. Na severní polokouli poté mívá větší intenzitu obvykle pravostáčivá bouře, což se stalo i v tomto případě.

Klasickou ukázkou štěpení je pak např. případ z 1. července 2019 (obr. 9), kdy došlo ke vzniku konvektivní buňky na severní straně Krkonoš. Při jejím postupu dále k východu následovalo její rozštěpení na dvě samostatné buňky, kdy obě jsou pohledem radarových dat podobné intenzity.



Obr. 7 Testovací zobrazení produktu ZDRCH zobrazující tutéž bouři a tentýž vývoj jako na obrázku 1.

Fig. 7. The same storm as in Fig. 1 as presented by the ZDRCH product test image.



Obr. 8 Stejný způsob zobrazení produktu ZDRCH na pozadí radarové odrazivosti. Obrázek ukazuje velmi zajímavý vývoj bouře uprostřed obrázku, která byla supercelou (pravá bouře z obr. 4).

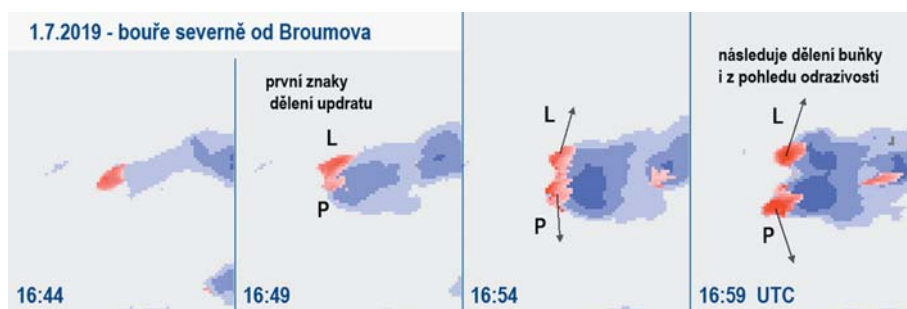
Fig. 8. The same storm as in Fig. 4 (at right) as presented by the ZDRCH product test image. The time sequence clearly shows the storm splitting an already existing supercell.

6.4 Kolísání intenzity updraftu vs. projevy bouře

Všechna pozorování supercel ukazují, že jejich updrafty nejsou tak jednoduché, stabilní a neměnné, jak se může z učebnic zdát. Dobře to ukázal už příklad cyklické supercely a plynulý vznik nového hlavního updraftu na úkor staršího. I každý jednotlivý updraft supercely vykazuje značné kolísání intenzity v podobě pulzů, přechodných zesílení a zase oslabení, což se může opakovat mnohokrát během životního cyklu takové bouře. Zajímavá může být souvislost mezi náhlými a prudkými pulzy updraftu a následným výskytem krupobití, kterou naznačuje už i naše prvotní testování na několika případech z léta 2017. Nejde o nic nečekaného, právě naopak. Stejně tak i případy interakcí multicel naznačují, že když dochází ke splnutí více bouří s různým směrem nebo rychlostí pohybu,

lze často detekovat přechodné zesílení updraftů a výrazné zvětšení jejich plošného rozsahu. S největší pravděpodobností jde o následek nuceného výstupu vzduchu mezi bouřemi, jenž je vyzdvižen čely jejich chladnějších výtoků. Následuje přechodné zintenzivnění projevů, často v podobě přechodné silného krupobití. Velmi názorným případem takového chování konvekce je situace z 16. června 2019 v oblasti Vyškovska (obr. 10).

U některých sledovaných případů bouří došlo k nejintenzivnějším projevům až v době, kdy došlo ke konečnému zeslábnutí dešetrávajícího silnému updraftu. Intenzivní projevy obvykle následovaly během následujících cca 5–15 min. To je případ jak supercely na Litoměřicku ze 7. srpna 2019, tak i zmíněného pravděpodobného microburstu v okolí Mohelnice 20. srpna 2019.



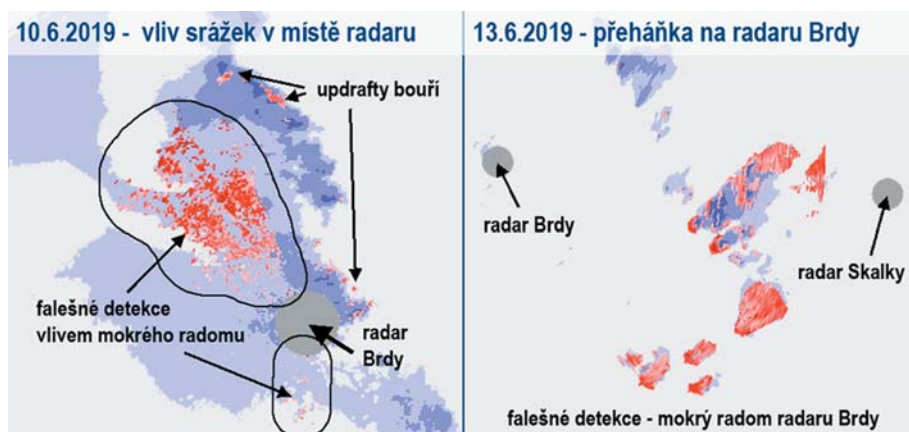
Obr. 9 Další ukázka štěpení konvektivní bouře pohledem detekce updraftů.

Fig. 9. Another example of a convective storm splitting as seen through updraft detection.



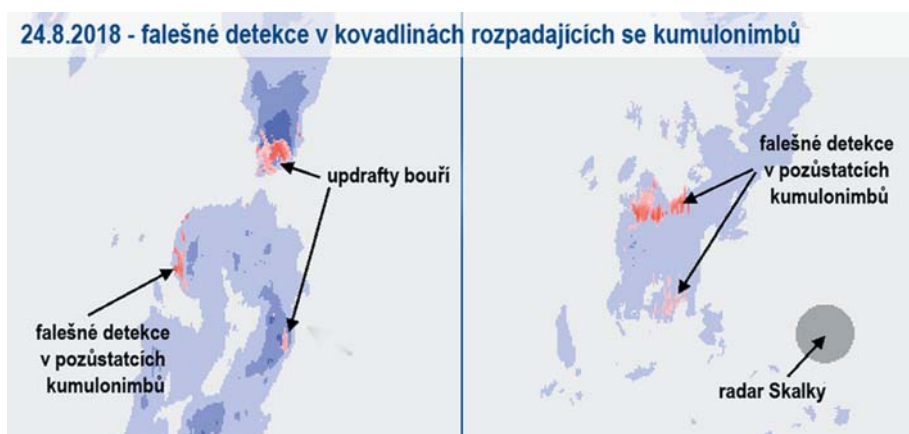
Obr. 10 Spojení dvou bouří provázené zesílením updraftů a následným silným krupobitím.

Fig. 10. Merging of two storms which led to intensification of updrafts of the storms and local severe hail storm.



Obr. 11 Vliv srážek v místě radarové stanice na detekci updraftů.

Fig. 11. An example of false detection caused by a wet radome during rain at the radar site.



Obr. 12 Falešné detekce v rozpadajících se kumulonimbech.

Fig. 12. Another type of false detections typical for dissipating remnants of cumulonimbus clouds.

7. Omezení produktu ZDRCH

Veškeré měřicí a detekční metody vždy mají i svá omezení a nedostatky, které ztěžují jejich plně automatickou interpretaci. U produktu ZDRCH lze takových omezení vytyčit více už jen z fyzikální podstaty věci. Výrazné zploštění tekutých vodních kapek se projevuje zejména u kapiček větších rozměrů a tam, kde jsou updrafty bouří vyplněné jen drobnými kapkami, nemusíme touto metodou updraft vidět, případně můžeme podcenit jeho intenzitu nebo rozsah. Může to být i případ výše zmíněných BWER v supercelách, kde v jádru updraftu dochází někdy ke značnému snížení odrazivosti, a to dokonce i pod námi používaný limit filtrování dat pro zpracování. Dalším problémem mohou být různé útlumy signálu v případech, kdy se mezi sledovanou bouří a radarem nachází jiná, velmi intenzivní bouře.

Velmi nepříjemným problémem je pak vliv stékající vody po radomu (ochranné kupoli) radaru při srážkách v místě radarové stanice. Vlivem vertikálního odtoku vody z radomu dojde k většímu útlumu právě ve vertikální polarizaci, a signál s horizontální polarizací se tak jeví relativně silnější (Frech 2009). To vede ke zvýšení zobrazené hodnoty ZDR někdy až o 1 dBZ oproti realitě, a tak falešnému detekování ZDR sloupců tam, kde žádné nejsou, a to třeba i na velkých plochách (obr. 11).

Další důvod falešných detekcí updraftu, který se občas objevuje na okrajích již starších zanikajících kovadlin konvektivních bouří (obr. 12), by podle nás mohl být způsoben mikrofyzikou oblačnosti (Melnikov 2013). V těchto oblastech lze totiž nalézt výrazné kladné hodnoty veličiny ZDR, které svědčí o převládající horizontální orientaci částic. Nehodláme se zde pouštět do spekulací o tom, proč tomu tak je, ale je dobré i tento typ falešných detekcí zmínit.

8. Závěr

Podrobnější rozbor významných bouřkových situací z let 2018 a 2019 opět potvrdil, jak obtížná je mnohdy snaha o odlišení supercelárních a multicelárních bouří. Z uvedených případů je zřejmé, že některé bouře nelze naprosto jednoznačně zařadit do učebnicově vymezené „škátulky“. Mnohé supercely s jasně patrnou rotací v poli dopplerovských radiálních rychlostí změřených radarem (navíc s vizuálně učebnicovou strukturou oblačné základny typickou pro supercely) mohou ve vertikálních i horizontálních řezech radarové odrazivosti jevit multicelární strukturu. Rovněž platí, že supercely mohou být součástí většího multicelárního celku. Dále se na několika případech ukázalo, že i u nás v Česku se vyskytují cyklické supercely u kterých lze pozorovat plynulé

nahrazování staršího hlavního updraftu jiným. Bohužel však lze jen málokdy sledovat slábnutí původní rotace a tvorbu a zesilování nové. Limitujícím faktorem je kvalita a schéma dopplerovských měření pole radiální rychlosti, která jsou velmi omezena na úkor nároků na hlavní objemové měření. Dalším často pozorovaným problémem dopplerovských měření u C-pásmových radarů je sama kvalita dopplerovských měření s využitím dual-PRF scanování. Často dochází ke vzniku velkého množství artefaktů právě v datech z oblasti konvektivních jader, která jsou při signálním zpracování mnohdy částečně vymazána, nebo jsou silně zašuměná. To vše vede mnohdy ke značnému zhoršení, nebo i znemožnění čitelnosti dat radiálních rychlostí právě v kritických oblastech.

Dalším neméně důležitým zjištěním je opětovné potvrzení poznatků z let 2016 a 2017 týkající se četnosti výskytu supercel na území České republiky. Supercelární bouře u nás totiž opravdu nejsou výjimečným jevem s opakováním jen jednou za několik let, jak se předpokládalo ještě před desetiletím, a i u nás je s nimi potřeba počítat jako s rizikovým jevem při některých situacích, kdy mohou působit velmi významné škody na majetku. Po letech 2016 a 2017 došlo i v roce 2019 ke dvěma situacím, kdy jsme zaznamenali 10 a více supercel za

jediný den. Některé z těchto bouří byly doprovázeny výskytem velkých krup a silným větrem působícím škody.

Ucelené zpracování většího množství situací nám pak poskytl poměrně dobrý prvotní přehled o celkovém chování, využitelnosti, ale i o slablinách lokalizace updraftu bouří na základě detekce ZDR sloupců. Pozitivními zjištěními je např. schopnost detekovat nové updrafty v multicelárních bouřích, detekovat rozštěpení updraftu mnohdy ještě před viditelným štěpením buňky při štěpení bouře v poli odrazivosti, ale i plynulé obnovování updraftu v rámci cyklických supercel. Velmi hodnotným poznatkem se zdá být zesilování updraftů při spojování několika konvektivních systémů s odlišným vektorem pohybu a jejich občasné následné utlumení, což může vést např. k přechodnému a lokálně silnému krupobití, ale i dalším projevům, jako jsou silné downbursty či lokálně intenzivní přiválové srážky v prostředí jinak vhodném spíše pro rychlý postup konvektivních jader se silným větrem jako hlavním rizikem.

Ačkoli jsme se v tomto článku zaměřili výhradně na situace z let 2018 a 2019, tak do zpracování a posuzování tohoto produktu už byly zahrnuty i vybrané situace z let 2016 a 2017 a rovněž i některé situace z roku 2020. Ze zpracovaného souboru situací tak plyne předběžné zjištění, že schopnost detekce se zdá být lepší při vyšších výškách nulové izotermy, tedy v teplejších vzduchových hmotách, kde je možné detekovat i updrafty zdánlivě slabších konvektivních buněk. Naopak v chladnějším prostředí se i u výrazných konvektivních jader s výskytem krup nemusí vyskytovat nijak rozsáhlé a silné updrafty (alespoň dle odhadu produktem ZDRCH). Tento poznatek nám naznačuje, že snaha o automatické vyhodnocování produktu ZDRCH na základě absolutních hodnot výšky ZDR sloupců, ale i jejich plošného rozsahu nebo objemu, může narazit na nemalé obtíže. Už sama znalost relativní polohy updraftu v konvektivní buňce a jejich chování v čase a prostoru ale může výrazně pomoci při odhadu dalšího vývoje konvektivních bouří. Stejně tak může jít o další velmi důležitou informaci např. pro zabezpečení letového provozu. Silné updrafty totiž mohou být spojeny s výskytem velkých krup i ve velkých nadmořských výškách, popř. mohou jejich tvorbu předsedem indikovat.

Pro širší a objektivnější využití produktu ZDRCH v operativním provozu však bude nutná další práce na verifikaci, a to nejen kvalitativně, ale i kvantitativně a na dostatečném množství dostatečně různorodých situací.

Poděkování:

Děkuji všem amatérským pozorovatelům bouřek, díky nimž je u nás k dispozici naprosto fantastická terénní dokumentace velkého množství případů silných konvektivních bouří, často s nebezpečnými projevy a následně i dokumentace škod jimi způsobených. Velké poděkování pak patří oběma recenzentům, jejichž připomínky a podněty pomohly ke zpřehlednění a zkvalitnění tohoto textu, ale rovněž byly podnětem pro další směřování výzkumných aktivit v oblasti využití polarimetrických radarových dat.

Literatura:

- DRAHOKOUPIL, J., NOVOTNÝ, T., RÝVA, D., Databáze supercel [online], Amatérská meteorologická společnost z. s. [cit. 9. 7. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.bourky.cz/projekt-database-supercel/>.
- FRECH, M., 2009. The effect of a wet radome on dualpol data quality. Extended abstract [online]. 34th Conference on Radar Meteorology [cit. 9. 7. 2020]. Dostupné z WWW: <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/155405.pdf>.
- DŽUGAN, J., OPALECKÝ, L., ERBAN, D., MÜLLEROVÁ, D., DRAHOKOUPIL, J., NOVOTNÝ, T., TUHÁČEK, L., JANOUŠEK, M., 2019. Silné bouřky v JZ Čechách 10. 6. 2019 [online]. Amatérská meteorologická společnost o. s. [cit. 9. 7. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.bourky.cz/silne-bourky-v-jz-cechach-10-6-2019>.
- DŽUGAN, J., OPALECKÝ, L., MÜLLEROVÁ, D., DRAHOKOUPIL, J., 2019. Bouřka vzhledově připomínající LP supercelu s trombami 11. 6. 2019 [online]. Amatérská meteorologická společnost o. s. [cit. 9. 7. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.bourky.cz/bourka-vzhledove-pripominajici-lp-supercelu-s-trombami-11-6-2019/>.
- eMS, 2020. Elektronický meteorologický slovník [online], Česká meteorologická společnost [cit. 9. 7. 2020]. Dostupné na WWW: <http://slovník.cmes.cz/>.
- GERYK, M., ŠVARC, J., ZÁHORCOVÁ, M., ČERNOCH, Z., VĚTRÍŠEK, L., 2019. Bouřky a supercely na Moravě 13. června 2019 [online]. Amatérská meteorologická společnost o. s. [cit. 9. 7. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.bourky.cz/bourky-a-supercely-na-morave-13-cervna-2019/>.
- MARKOVSKI, P., RICHARDSON, Y., 2012. Mesoscale Meteorology in Midlatitudes, Royal Meteorological Society. ISBN 978-0-470-74213-6.
- MELNIKOV, V., 2013. Wet ice cloud particles at subfreezing temperatures? Extended abstract [online]. 36th Conference on Radar Meteorology [cit. 9. 7. 2020]. Dostupné z WWW: <https://ams.confex.com/ams/36Radar/webprogram/Manuscript/Paper228616/WetIcePartcles.pdf>.
- MICHÁLEK, T., RÝVA, D., 2018. Bouřky na východě Čech 24. 8. 2018 [online]. Amatérská meteorologická společnost o. s. [cit. 9. 7. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.bourky.cz/bourky-na-vychode-cech-24-8-2018/>.
- NOVOTNÝ, T., TUHÁČEK, L., KOUŘIL, J., 2019. Supercela na Lounsku 7. 8. 2019 [online]. Amatérská meteorologická společnost o. s. [cit. 9. 7. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.bourky.cz/supercela-na-lounsku-7-8-2019/>.
- OPALECKÝ, L., DŽUGAN, J., ČASLAVA, R., ZÁHORCOVÁ, M., ŠVARC, J., 2018. Supercelární bouře v JZ Čechách 11. 6. a bouřky na Moravě 12. 6. 2018 [online]. Amatérská meteorologická společnost o. s. [cit. 9. 7. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.bourky.cz/supercelarni-boure-v-jz-cechach-11-6-a-bourky-na-morave-12-6-2018/>.
- PAVLÍK, J., KAKOS, V., STRACHOTA, J., 1988. Ničivé krupobití a hůlavy na území ČSR dne 18. 8. 1986. *Práce a studie*, č. 14, Praha: ČHMÚ.
- PROUZA, T., ŠVARC, J., ZÁHORCOVÁ, M., ČERNOCH, Z., BOHÁČ, O., GERYK, M., KAŇOVSKÝ, J., 2019. Silné bouřky a kroupová smršť 1. 7. 2019 [online]. Amatérská meteorologická společnost o. s. [cit. 9. 7. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.bourky.cz/silne-bourky-a-kroupova-smrst-1-7-2019/>.
- RÝVA, D., 2018. Mimořádná četnost supercelárních bouří a derech v Česku v roce 2017. *Meteorologické zprávy*, roč. 71, č. 6, s. 170–178. ISSN 0026-1173.
- SETVÁK, M., NOVÁK, P., ŠÁLEK, M., 2004. Tornáda 31. května 2001 na území České republiky. *Meteorologické zprávy*, roč. 57, č. 4, s. 101–112. ISSN 0026-1173.
- SNYDER, J. C., RYZHKOV, A. V., KUMJIAN, M. R., KHIAN, A. P., PICCA, J., 2015. A ZDR Column Detection Algorithm to Examine Convective Storm Updrafts. *Weather and Forecasting*, Vol. 30, Issue 6, s. 1819–1844. doi: <https://doi.org/10.1175/WAF-D-15-0068.1>.
- ŠVARC, J., ZÁHORCOVÁ, M., ČERNOCH, Z., 2019. Supercelární překvapení 21. 7. 2019 [online]. Amatérská meteorologická společnost o. s. [cit. 9. 7. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.bourky.cz/supercelarni-prekvapeni-21-7-2019/>.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Petr Zacharov, CSc.,

RNDr. Jan Sulan

Are rainfall extremes becoming non-stationary due to global warming? A case-study from Slovakia

Spôsobuje globálne otepľovanie nestacionaritu extrémov zrážok? Príklad zo Slovenska

Milan Onderka

Earth Science Institute, Slovak Academy of Sciences,
Department of Atmospheric Physics
Dúbravská cesta 9, Bratislava, SK-814 38, Slovakia
✉ milan.underka@savba.sk

Jozef Pecho

Slovak Hydrometeorological Institute,
Jeséniova 17, Bratislava, SK-833 15, Slovakia;
Faculty of Mathematics, Physics and Informatics,
Comenius University, Bratislava, SK-842 48, Slovakia

Ladislav Markovič

Slovak Hydrometeorological Institute,
Jeséniova 17, Bratislava, SK-833 15, Slovakia;
Faculty of Mathematics, Physics and Informatics,
Comenius University, Bratislava, SK-842 48, Slovakia

Pavol Nejedlík

Earth Science Institute, Slovak Academy of Sciences,
Department of Atmospheric Physics,
Dúbravská cesta 9, Bratislava, SK-814 38, Slovakia

Celosvetovo pribúdajú štúdie potvrdzujúce, že pozorované globálne otepľovanie má potenciál zmeniť frekvenciu výskytu, magnitúdu, ale aj priestorový dopad extrémov zrážok. Aby sme overili túto všeobecnú paradigmu aj v podmienkach Slovenska, vypočítali sme návrhové hodnoty zrážok predpokladajúc, že ročné maximálne zrážky sa správajú nestacionárne. Výpočet sme spravili pre štyri zrážkomery za obdobie rokov 1961–2009. V prvom kroku sme odhadli dekadálne zmeny ročných maxím zrážok pre doby trvania zrážok od 5 do 1440 minút. Ďalším našim cieľom bolo odhadnúť úhrny zrážok pre zvolené doby opakovania v nestacionárnych podmienkach. V prípade dažďov s trvaním ~ 15 až 60 minút majú ročné maximá tendenciu rásť, zatiaľ čo klesajúci trend (od 5,9 do 9,5 mm za dekádu) sme pozorovali v prípade dažďov s trvaním 1440 min. S použitím Zovšeobecneného rozdelenie extrémnych hodnôt (GEV) sme dokázali, že 30-minútové úhrny na stanici Hurbanovo, ktoré sa v minulosti javili ako 50-ročné zrážky, by sa dnes mali považovať za zrážku vyskytujúcu sa v priemere raz za desať rokov. V prípade zrážok s trvaním 1 440 minút v stanici Hurbanovo sa úhrn zodpovedajúci 50-ročným zrážkam znížil z 98,4 mm v roku 1961 na ~ 75 mm v roku 2009.

KEYWORDS: precipitation extremes – design values – nonstationarity

KLÚČOVÉ SLOVÁ: extrémny zrážkové – hodnoty návrhové – nestacionarita

1. Introduction

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2012) stressed the fact that continuation of the observed Earth warming would change the frequency, severity and spatial pattern of climatic extremes (IPCC 2012). A substantial reduction in the return period of an annual maximum precipitation amount with frequent occurrence of extreme rainfall events is predicted by the end of the 21st century (IPCC 2012). Climatic extremes are studied at a range of spatial and temporal scales (AghaKouchak et al. 2013; Diffenbaugh and Giorgi 2012; Jakob 2013; Kharin et al. 2007). Climate extremes including heavy precipitation and extreme hot days have substantially increased in the past few decades (Alexander et al. 2006; Vose et al. 2005). Global warming increases average temperature which in turn enhances atmospheric water holding capacity. These changes are responsible for higher frequency and/or intensity of extreme rainfall (Ganguli and Coulbaly 2017). O’Gorman (2015) found a dependency on air temperature between mean and extreme precipitation. This dependency has been ascribed to physical relation known as the Clausius-Clapeyron relation (O’Gorman and Schneider 2009; Wasko and Sharma 2017, 2015) according to which increased water-holding capacity of warmer air intensifies heavy rainfall at a rate of approximately 7–8% °C⁻¹ of warming. Lenderink et al. (2017) found that in the Netherlands, extreme precipitation of sub-hourly up to the 6-hour durations have increased above the Clausius-Clapeyron relation. Similar results are reported by other authors in Switzerland (Ban et al. 2015), Germany (Berg et al. 2013), the UK (Blenkinsop et al. 2015), in Australia (Schroeder and Kirchengast 2018; Wasko and Sharma 2017, 2015), North America (Shaw et al. 2011) and in China (Miao et al. 2015). This pattern of increasing annual extremes with air temperature is not valid for every place on the Earth. Observations published in relevant literature suggest that this relation is region-specific. For instance, in India (Ali and Mishra 2017) and northern Australia (Hardwick Jones et al. 2010), negative rates have been reported. In this paper we attempt to answer the question: “*Is climate change really bringing more severe rainfalls in Slovakia?*”

Rainfall extremes and their statistical properties are essential for proper estimation of design values in numerous engineering infrastructures such as urban drainage systems, bridges, railways, highways, rain harvesting systems and road culverts that can be designed more economically when the frequency of

extreme rainfall is known. For example, the return level with a T-year return period represents an event that has a $1/T$ chance of occurrence in any given year (Cooley et al. 2007). However, infrastructure design concepts still rely on stationary return levels which assume no change in the frequency of extremes over time. Ganguli and Coulibaly (2017) compared intensity-duration-frequency curves (IDF curves) constructed for non-stationary conditions with current design standards in Canada. They found that return periods (10 years or less), which are values typical for urban drainage design, require an update of up to 7%. For longer recurrence intervals (50–100 years), the authors conclude that updates ranging between 2 and 44% are needed.

The concept of frequency analysis inherently implies mutually independent rainfall events. Return periods are usually identified by analysing series of maximum annual rainfalls (the so called “block maxima approach”) with the largest event of one year being considered independent of the largest event from any other year (Bedient et al. 2008). Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves summarise conditional probabilities of rainfall average intensities (Bedient et al. 2008; Cheng and Aghakouchak 2015), or the probability that a certain average rainfall intensity will occur with a given duration. These curves are widely used also in municipal storm water management (Bara et al. 2009; Faško et al. 2000; Gaál and Lapin 2002). IDF curves are based on historical records of rainfall time series and capture the intensity and frequency of rainfall for different durations. Rainfall intensities corresponding to a particular duration (e.g., 1-hr, 2-hr, and 24-hr) are obtained by fitting a theoretical probability distribution to the annual extreme (Cheng and Aghakouchak 2015; Agilan and Umamahesh

Table 1. Description and location of study sites (climatological stations).

Tab. 1. Popis študovaných lokalít (klimatologických staníc).

Station ID	Station name	Altitude [m a.s.l.]	Latitude	Longitude	From	To
60120	Košice – airport	230	48.6706	21.2386	1961	2009
43400	Kamenica/Cirochou	173	48.9347	21.9942	1961	2009
20080	Štrbské Pleso	1322	49.1178	20.0625	1961	2009
19040	Hurbanovo	115	47.8725	18.1931	1961	2009



Fig. 1. Study sites.

Obr. 1 Študované lokality.

2018; Rosbjerg and Madsen 1998; Sarhadi and Soulis 2017). This assumption expects that the probability that an extreme precipitation event will occur will not change significantly over time (Cheng and Aghakouchak 2015). However, consequences of climate change often lead to altered intensity, duration or frequency of all rainfall extremes. Cheng and Aghakouchak (2015) showed that a stationary climate assumption may lead to underestimation of extreme precipitation by as much as

Table 2. Statistics of annual maxima for the period 1961–2009. Values are expressed as millimetres per duration in minutes.

Tab. 2 Štatistika ročných maxim za obdobie 1961–2009. Hodnoty sú uvedené v milimetroch na trvanie dažďa v minútach.

Duration [min]	1	2	5	10	15	20	30	45	60	120	180	240	360	720	1440
Station ID															
Košice – airport															
Mean	3.8	5.7	9.5	13.2	16.0	18.0	20.7	23.1	24.4	28.6	31.7	34.7	39.4	48.4	65.5
Median	3.3	4.9	8.7	12.2	13.9	16.2	19.1	23.0	23.5	25.4	29.2	31.7	35.6	46.1	64.2
Std	2.1	3.0	4.0	5.2	6.0	6.7	7.8	8.8	9.2	12.4	12.9	14.3	16.2	18.7	23.5
Max	9.5	17.3	23.0	32.8	36.3	38.9	40.1	44.3	49.7	74.6	80.0	89.0	105.1	129.5	144.4
Min	1.2	2.3	3.9	5.4	6.4	6.7	8.2	8.6	8.8	11.3	12.4	13.7	15.5	18.4	23.9
Kamenica nad Cirochou															
Mean	3.2	4.8	8.1	12.0	14.9	16.7	19.1	21.4	22.7	26.1	29.1	32.0	37.2	48.0	65.3
Median	2.7	4.1	8.0	11.6	14.1	15.8	16.9	20.8	23.0	25.2	28.2	30.6	37.3	47.6	61.8
Std	1.9	2.3	2.8	4.1	5.3	5.8	6.2	6.5	6.8	7.8	7.9	8.5	9.8	12.9	20.4
Max	8.7	12.6	15.1	22.4	32.4	37.8	40.4	40.9	41.0	41.9	45.0	49.2	58.8	90.7	122.5
Min	1.1	2.2	4.2	5.7	7.0	7.1	7.9	8.8	9.2	10.3	13.5	18.3	21.2	23.2	31.4
Štrbské pleso															
Mean	2.5	3.7	6.4	9.5	11.9	13.7	15.9	18.3	19.7	23.5	26.3	28.7	33.3	44.5	61.0
Median	2.1	3.4	6.0	9.2	11.6	13.8	15.2	17.7	19.1	22.6	26.4	27.9	32.5	42.2	62.0
Std	1.2	1.2	1.8	2.5	3.5	4.1	5.1	6.8	7.3	7.5	6.8	6.9	7.7	11.2	17.7
Max	6.1	7.5	11.4	17.5	23.0	25.7	35.6	43.8	48.3	48.4	48.4	48.4	50.3	70.2	97.4
Min	1.0	1.7	3.1	4.8	5.8	7.1	8.5	8.6	9.6	11.7	16.3	18.0	21.6	28.0	33.5
Hurbanovo															
Mean	2.6	3.7	6.0	8.8	11.0	12.2	14.1	15.7	16.7	20.0	22.5	24.5	28.0	36.4	50.2
Median	2.4	3.2	5.9	9.1	11.0	11.8	13.7	14.6	15.1	17.8	20.5	22.3	27.0	37.1	47.4
Std	1.4	1.6	2.0	2.8	3.5	4.0	5.1	6.4	7.2	7.9	8.2	7.9	7.9	9.7	16.8
Max	6.9	8.0	10.9	16.2	18.8	22.6	30.1	35.2	38.0	42.2	42.6	42.7	47.5	61.3	99.8
Min	1.0	1.8	2.9	3.9	4.7	5.4	6.5	7.2	7.4	9.5	10.1	12.9	14.3	18.9	22.4

60%, and that such underestimation ultimately may increase the risk of floods and failure of infrastructure. In Slovakia, the properties of extreme rainfall were studied e.g. by Faško et al. (2000). Statistical characteristics of 1-day precipitation totals were analysed in Pekárová et al. (2008).

The frequency of extremes has been changing and is likely to continue to change in Slovakia in the future. Therefore, concepts and models that can account for non-stationary of climate and hydrology extremes are needed (e.g. Cooley 2013; Parey et al. 2010; Salas and Obeysekera 2014). Katz et al. (2002) present nonstationarity in extremes in terms of changing quantiles (termed “effective return levels”) which vary as a function of time to keep the occurrence probability of an extreme event constant. Alternatively, Rootzén and Katz (2013) introduced the concept of “Design Life Level” to quantify the probability of exceeding a fixed threshold during the design life of a project.

To our best knowledge, nonstationarity of precipitation extremes induced by changing climate has not been considered in Slovakia so far. Our intention is to present the first results obtained from non-stationary modelling of return levels of precipitation for selected durations ranging from 5 to 1440 minutes (1 day).

The objectives of this paper are twofold: (i) to estimate the decadal changes in annual precipitation maxima for various aggregation levels; and (ii) to estimate return levels for non-stationary climatic conditions.

2. Background materials and methods

2.1 Data sources

Our investigations are based on data collected at four rain gauges located in Slovakia (Fig. 1) covering the time period 1961–2009 (Table 1). The choice of rain gauges was based on the length of the available time series and data quality so that we did not have to fill in missing data and remove suspicious outliers. To avoid freezing water in the rain gauges, precipitation was measured in the warm part of the year (from April to October) by self-registering rain gauges (ombrographs METRA 890-IBA) with 250 cm² capture area. In Slovakia, the use of METRA 890-IBA rain gauges was discontinued at the end of 2009 and replaced by electronic automatic rain gauges. The presented analyses reflect only the “warm” part of the year. The stations cover a broad range of altitudes (from 111 to 1322 m a.s.l.). We used the time-series of 1-min precipitation data (raw data) that were provided by the Slovak Hydrometeorological Institute. After visual inspection of the time series and checking their quality, we calculated the moving sums with different durations (aggregation times): 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 120, 180, 240, 360, 770 and 1440 minutes. The next step was to pick the highest rainfall (annual maximum) for each of the aggregation levels. The time series of annual maxima form the basis of further analyses.

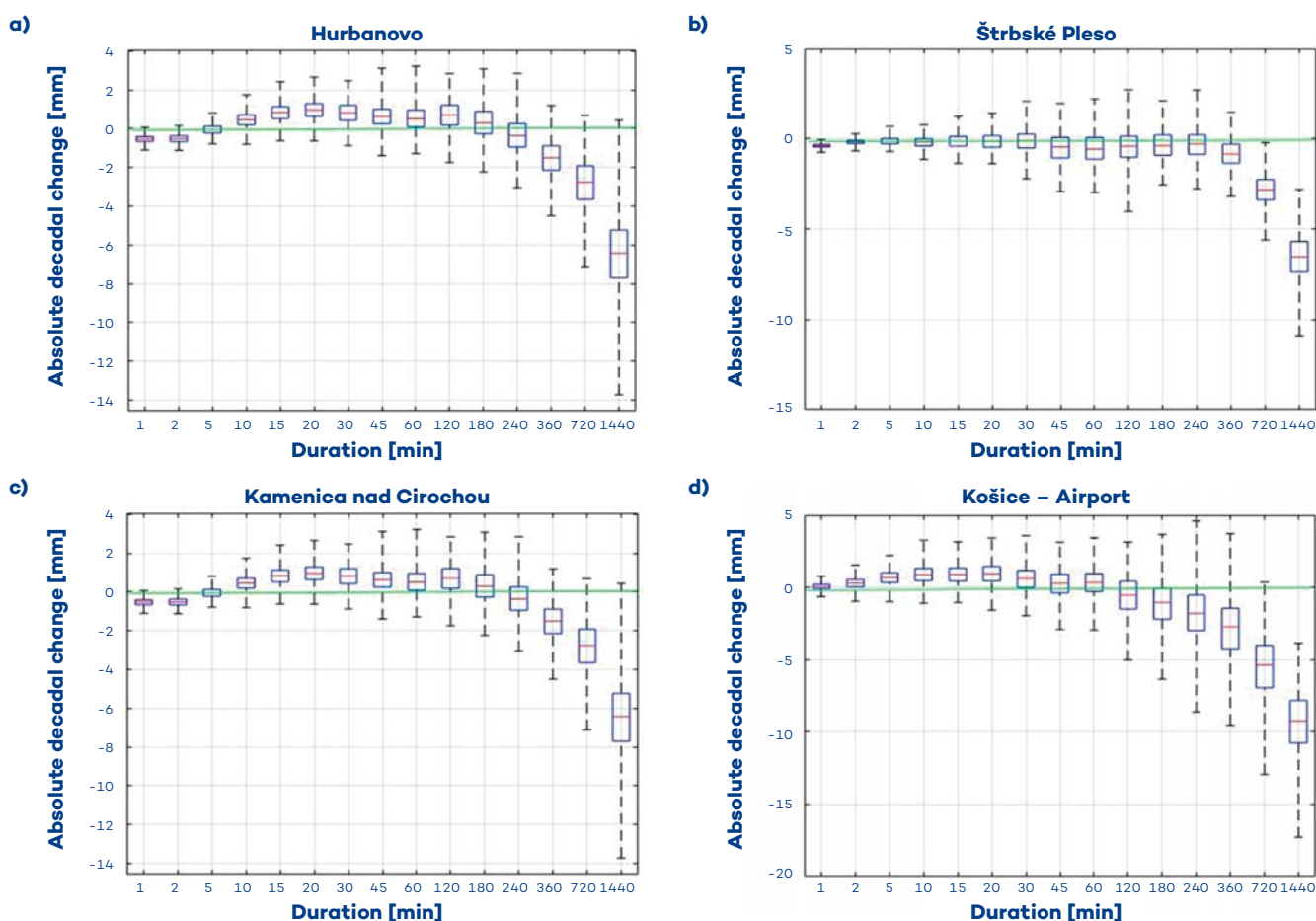


Fig. 2. Box plots of absolute decadal change in annual rainfall extremes at: (a) Hurbanovo; (b) Štrbské Pleso; (c) Kamenica nad Cirochou; (d) Košice-airport. On each box plot, the central line indicates the median value, the bottom and top edges indicate the upper and lower quartiles. The whiskers extend to the most extreme data points.

Obr. 2 Krabicové diagramy s dekadálnymi zmenami ročných zrážkových extrémov v staniciach: a) Hurbanovo, b) Štrbské Pleso, c) Kamenica nad Cirochou, d) Košice-Airport. Stredová čiara v každom diagrame označuje medián, horná a dolná hrana označuje horný a dolný kvartil. Extrémne hodnoty (max, min) sú označené ako koniec úsečky.

2.2 Trend estimation

To estimate the trend slopes and their confidence intervals we used bootstrapping. Bootstrapping is a non-parametric approach that requires no a priori distributional assumptions (such as normally distributed errors). Instead, bootstrapping uses the sample data to estimate relevant characteristics of the population. The sampling distribution of a statistic is then constructed empirically by resampling from the sample. Carpenter and Bithell (2000) suggested that bootstrap confidence intervals should be used whenever there is cause to doubt the assumptions underlying parametric confidence intervals, i.e. due to small sample size. The trends calculated in this paper were calculated as linear regression with bootstrapped parameters with time as regressor and the annual extremes as the dependent variable. We used the quantiles of the bootstrap sampling distribution of the estimators to establish the end points of a confidence interval non-parametrically. The confidence intervals were estimated by drawing 1000 samples with replacement from the entire time series of annual precipitation extremes. A linear trend slope was estimated for each of the resampled series. From the 1000 trend slopes, the

5th and 95th percentiles were calculated and are considered as a confidence interval of the slopes. The median (50th percentile) of the bootstrapped trends were used to calculate absolute decadal changes in annual precipitation extremes presented in Fig. 2.

2.3 Intensity-duration-frequency curves

The Generalized Extreme Value (GEV) distribution has been previously used to investigate annual precipitation extremes of different duration (Sarhadi and Soulis 2017). The GEV distribution represents the three common extreme value distributions: Gumbel, Frechet and Weibull distribution. In terms of nonstationarity, a new term “effective return levels” has been recently introduced (Cheng et al. 2014; Sarhadi and Soulis 2017). These effective return levels vary as a function of time to keep the occurrence probability constant. To estimate the intensity-frequency (IDF) curves and the corresponding return levels for multiple durations of rainfall we used the Non-stationary Extreme Value Analysis (NEVA) Software Package, Version 2.0 developed by Cheng et al. (2014). The NEVA software package facilitates the estimation of extreme value parameters with a Differential Evolution Markov Chain (DE-MC)

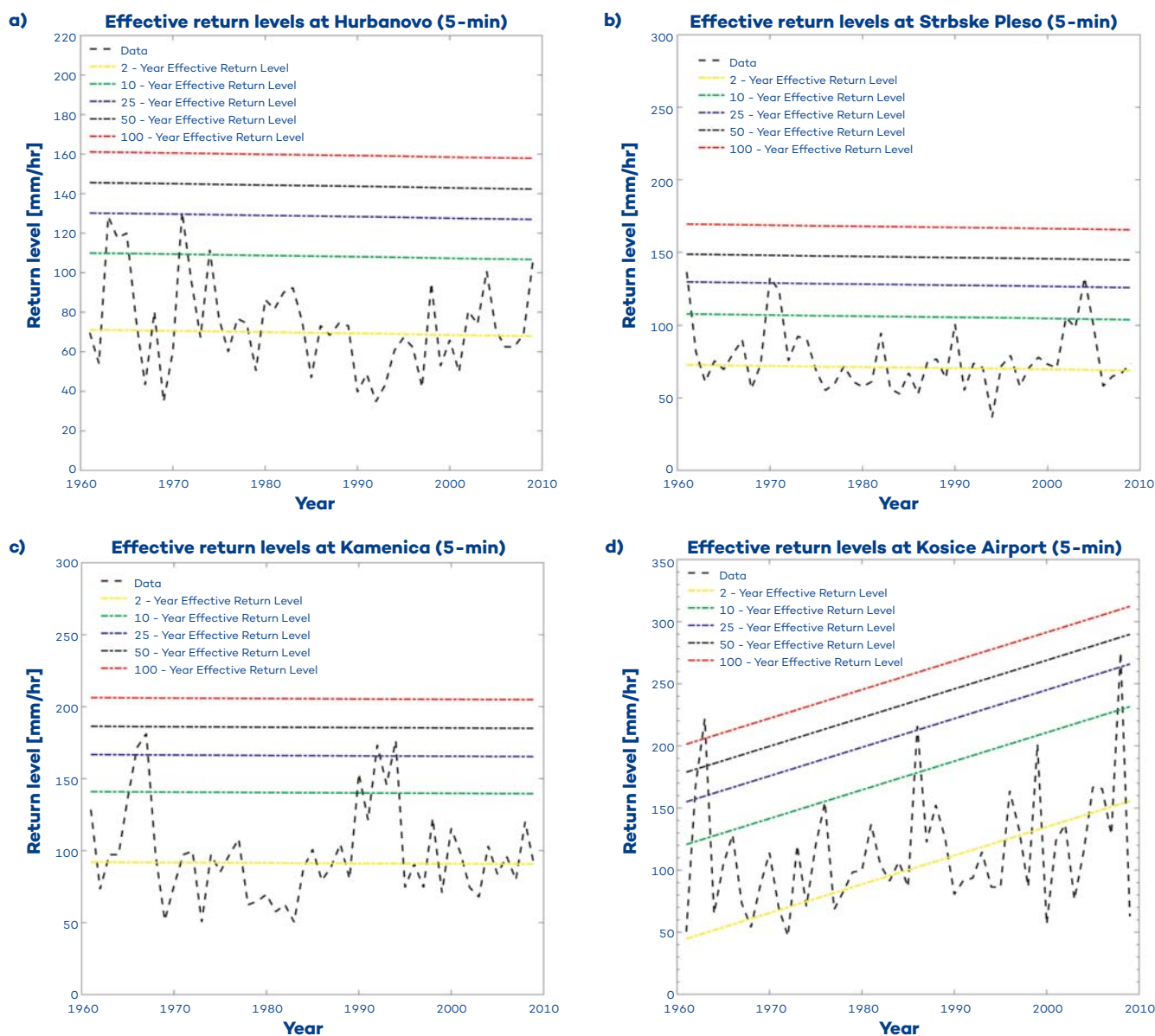


Fig. 3. Effective return levels under the assumption of nonstationarity in the annual 5-min maxima series.

Obr. 3 Efektívna doba opakovania nestacionárnych ročných maxím 5-minútových zrážok.

approach for global optimization. NEVA includes posterior probability intervals (uncertainty bounds) of estimated return levels through Bayesian inference. The posterior distributions used in this paper are used as the parameter estimates for the maximum likelihood statistics. The cumulative distribution function of the GEV is defined as follows:

$$F_{GEV}(x|\mu, \sigma, \xi) = \exp \left[- \left(1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right)^{-1/\xi} \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

F_{GEV} is defined for $\{x: 1 + \xi(x - \mu)/\sigma > 0\}$, $-\infty < \mu < \infty$, $\sigma > 0$. and $-\infty < \xi < \infty$ where μ is the location parameter, σ is scale parameter, and ξ is the shape parameter (Smith et al. 2001).

The probability density function of the time varying GEV was defined by Sarhadi and Soulis (2017) as:

$$f_{X_t}(x_t|\mu_t, \sigma_t, \xi) = \frac{1}{\sigma_t} \left[1 + \xi \left(\frac{x_t - \mu_t}{\sigma_t} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}-1} \cdot \exp \left[- \left(1 + \xi \left(\frac{x_t - \mu_t}{\sigma_t} \right) \right)^{-1/\xi} \right] \quad (\text{Eq. 2}),$$

where the location and scale parameters are assumed time

dependent, while the shape parameter remains constant. This creates a realistic quantile estimation that is consistent with the behaviour of the observed extreme precipitation (Cheng et al. 2014). The underlying parameters are then specified as functions of time-dependent trends estimated by applying linear models as follows:

$$\mu(t) = \mu_0 + \mu_1 t, \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\sigma(t) = \sigma_0 + \sigma_1 t, \quad (\text{Eq. 4})$$

where t is time in years and $\beta_\mu = (\mu_0, \mu_1)$ and $\beta_\sigma = (\sigma_0, \sigma_1)$ are the set of each linear model parameter. To allow the GEV distribution incorporate the temporal aspect of nonstationarity, the location and scale parameters in Eq. 2 are allowed to vary with time (Eq. 3 and Eq. 4).

3. Results

The descriptive statistics of the annual extremes for durations of 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 120, 180, 240, 360, 770 and 1440 minutes are shown in Table 2. Overall, the highest 24-hr rainfall

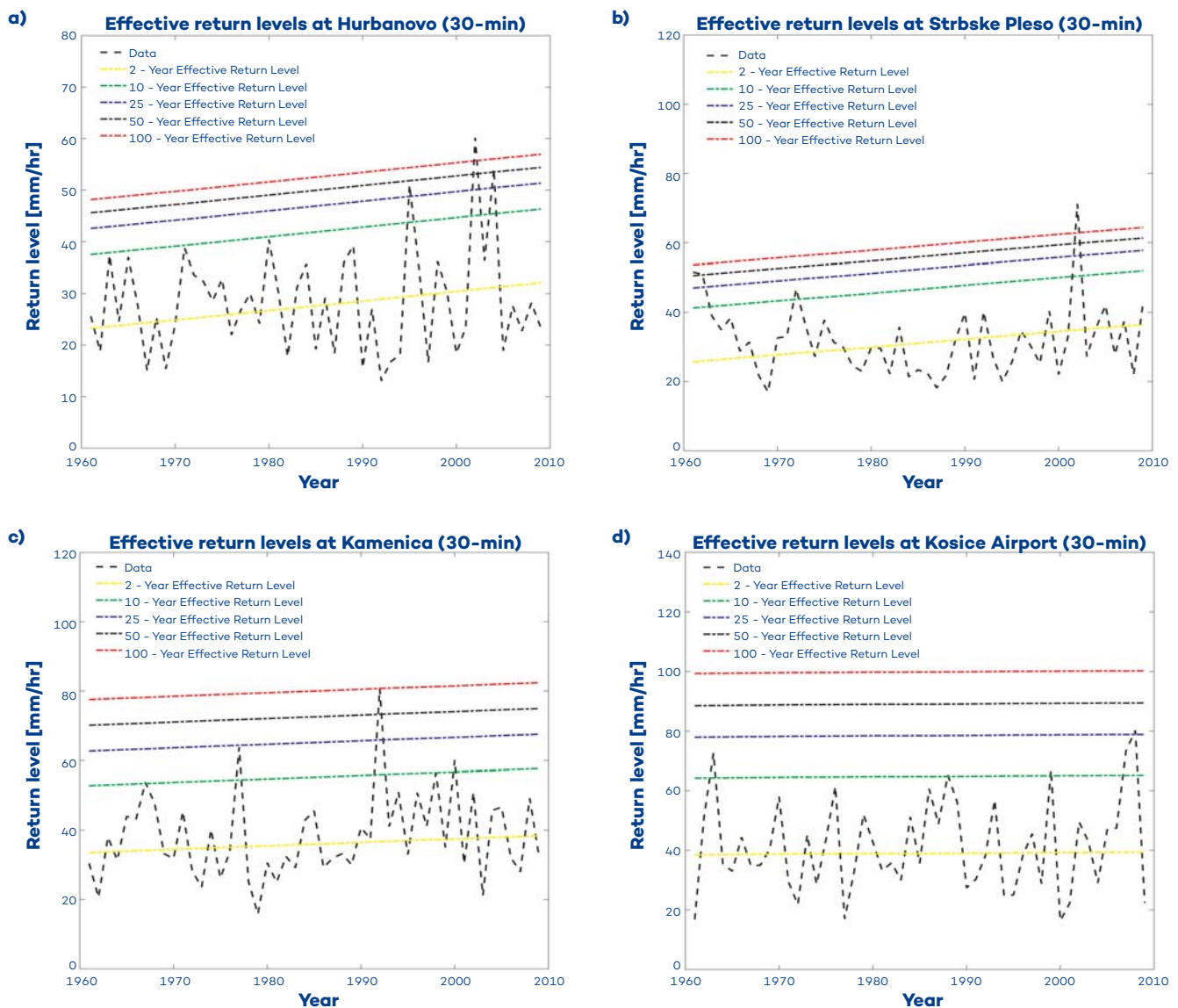


Fig. 4. Effective return levels under the assumption of nonstationarity in the annual 30-min maxima series.

Obr. 4 Efektívna doba opakovania nestacionárnych ročných maxím 30-minútových zrážok.

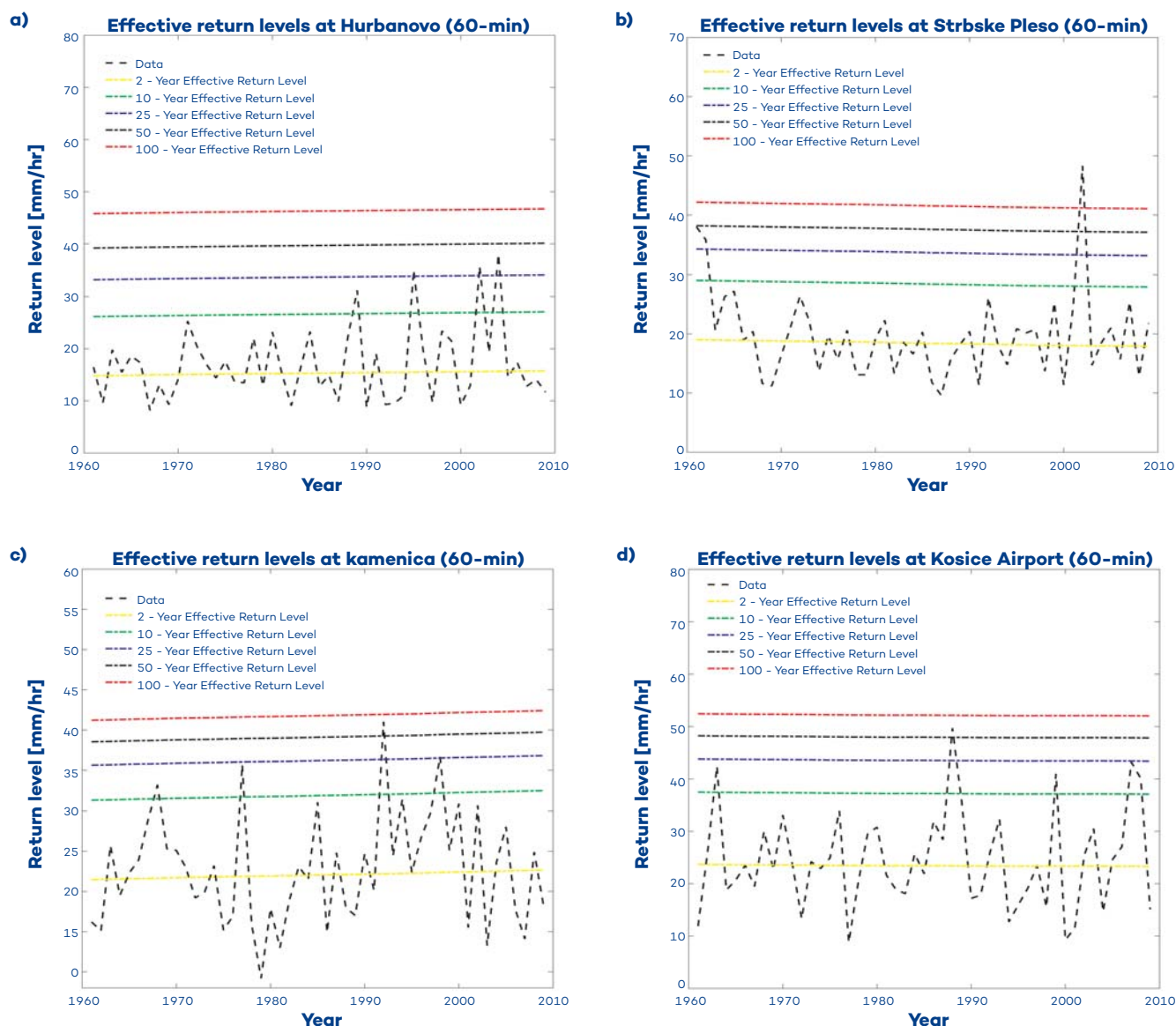


Fig. 5. Effective return levels under the assumption of nonstationarity in the annual 60-min maxima series.

Obr. 5 Efektívna doba opakovania nestacionárnych ročných maxím 60-minútových zrážok.

extreme was observed in 1963 at the Košice-airport station (station ID 60120) with the total rainfall depth of 144.4 mm.

The absolute decadal changes in annual precipitation extremes presented in Fig. 2 reveal that the daily annual maxima (1440-min) declined over the investigated period by a rate of ~5.9 to 9.5 mm per decade (in terms of median values). When it comes to sub-daily extremes ranging from ~15-min up to ~60-minute, our analysis showed consistently increasing trends for the stations at Hurbanovo, Kamenica nad Cirochou and Košice-airport. An exception is the Štrbské Pleso station which is located at an elevation of 1322 m a.s.l and represents a contrast to other three stations. The largest decline in precipitation with durations of 1440-min was observed at the Košice-airport station (median ~-9.5 mm per decade).

The effective return periods were calculated by the Generalized Extreme Value analysis assuming nonstationarity of the time series. The median of the return levels derived with NEVA represents the estimated return levels for particular return periods assuming non-stationary conditions. We estimated non-stationary return levels using the General Extreme Value

distribution function. The time-dependent parameters were inferred by the Bayesian approach. We have calculated the effective return levels durations of 5-min, 30-min, 60-min and 1440-min durations (Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5 and Fig. 6). The return levels calculated for the 5-min durations (Fig. 3) do not show any apparent change in the case of the stations at Štrbské pleso and Kamenica nad Cirochou. However, at the Košice station, a substantial increase is apparent. What was considered a 25-year precipitation extreme in the early 1960s seems to be a 2-year extreme in 2009. The return levels calculated for the 30-min durations (Fig. 4) show an increasing trend in the stations of Hurbanovo, Štrbské pleso and Kamenica. For example, at the Hurbanovo station, a 30-min rainfall with a return period of 50-years in 1960 appears to be a 10-year rainfall in 2010 (Fig. 4). The effective return levels for 60-min extremes do not show any apparent change during the investigated period 1961–1990 (Fig. 5). On the other hand, in the case of daily extremes (1440-min durations), the 50-year effective return level decreased during the 1961–2009 period from ~4.1 mm hr⁻¹ in 1961 to ~3.1 mm hr⁻¹ in 2009 (Fig. 6).

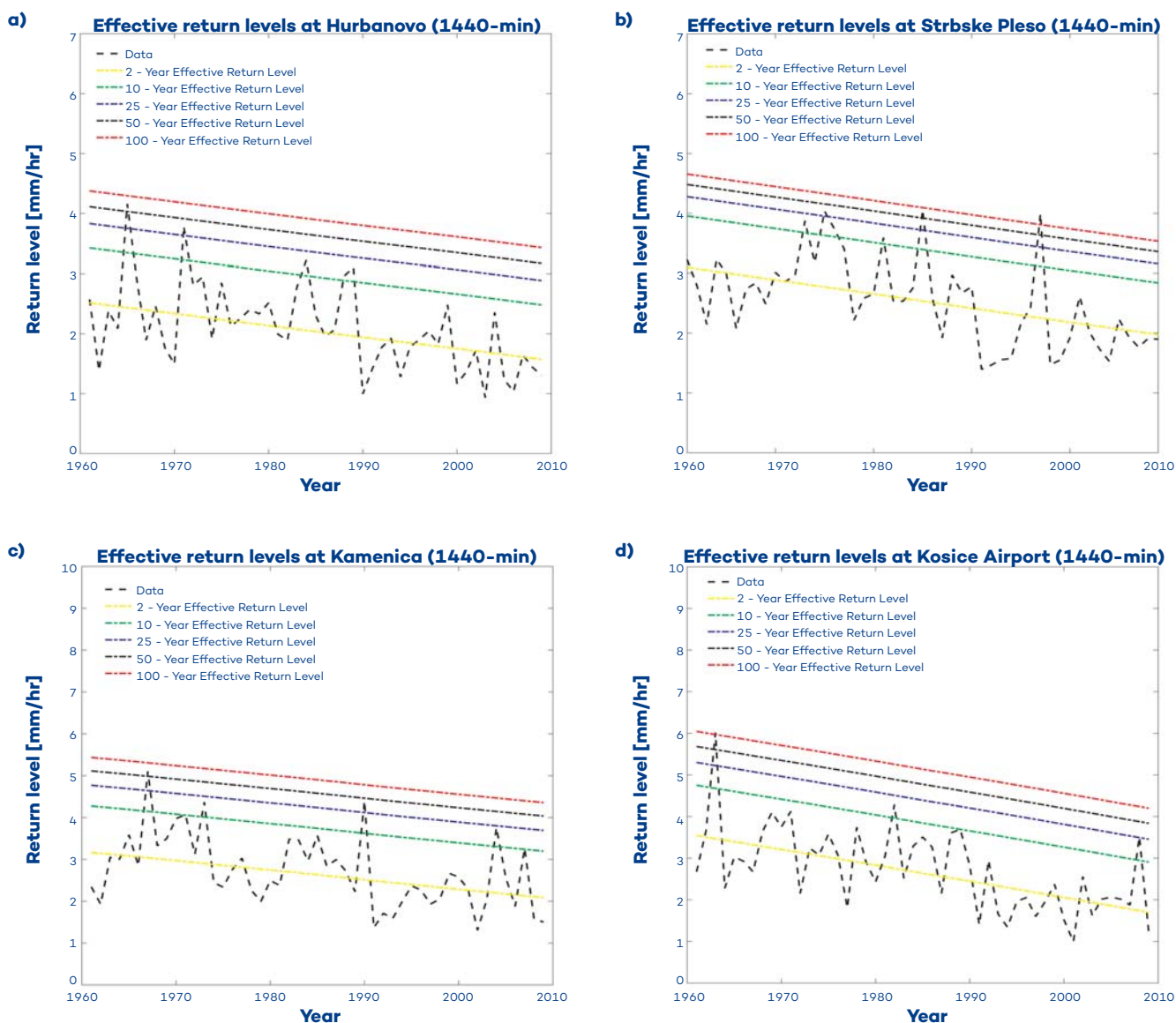


Fig. 6. Effective return levels under the assumption of nonstationarity in the annual daily maxima series.

Obr. 6 Efektívna doba opakovania nestacionárnych ročných maxím denných zrážok.

4. Discussion and conclusions

The absolute decadal changes in annual precipitation extremes reveal that the daily annual maxima declined over the investigated period by a rate of ~5.9 to 9.5 mm per decade. When it comes to sub-daily extremes ranging from ~15-min up to ~60-minute, our analysis showed consistently increasing trends at the investigated stations, although the absolute changes are far less pronounced compared to daily annual maxima. For instance, in the case of 15-min extremes, an increase of only 0.85 mm was observed in the data from Kamenica nad Cirochou and Košice-airport.

To reflect the nonstationarity of precipitation extremes induced by changing climate (rising air temperature) we have used annual maxima of rainfall durations ranging from a few minutes to one day (1440-min) and subsequently estimated the return levels using Generalized Extreme Value analysis. These effective return levels vary as a function of time to account for nonstationarity in precipitation. Treating precipitation as a non-stationary process has important implications for the estimates of return levels. In other words, what seemed to be a 50-year rainfall (30-min duration) in the past should

be considered as a more frequent event occurring on average once in ten years (10-year rainfall), as we have shown for the Hurbanovo station in Fig. 4. It is hard to generalize the results at this stage, as we have analysed data from only four stations. It will be interesting to analyse more stations with longer series in the future to see if the presented results will be consistent with a denser network of climatological stations. Also, in the future we intend to incorporate climatic indices such the North Atlantic Oscillation index and the Global Mean Land/Ocean Temperature index as covariates replacing the time covariate in the presented non-stationary GEV model.

Acknowledgement:

This publication is the result of the project implementation: "Scientific support of climate change adaptation in agriculture and mitigation of soil degradation" (ITMS2014+ 313011W580) supported by the Integrated Infrastructure Operational Programme funded by the ERDF; with additional support of VEGA grant 2/0015/18, Meso- and micro-meteorological exploration of the occurrence of hydrometeors in boundary layer of troposphere based on passive evaluation of changes of electromagnetic radiation from anthropogenic sources.

References:

- AGHAKOUCHAK, A., EASTERLING, D., HSU, K., SCHUBERT, S., SOROOSHIAN, S., 2013. Extremes in a Changing Climate: Detection, Analysis and Uncertainty. Dordrecht: Springer. ISBN 978-94-007-4479-0.
- AGILAN, V., UMAMAHESH, N. V., 2018. Covariate and parameter uncertainty in non-stationary rainfall IDF curve. *International Journal of Climatology*, Vol. **38**, s. 365–83. Online ISSN1097-0088.
- ALEXANDER, L. V., ZHANG, X., PETERSON, T. C., CAESAR, J., GLEASON, B. et al., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, Vol. **111**, s. D05109. ISSN 2156-2202.
- ALI, H., MISHRA, V., 2017. Contrasting response of rainfall extremes to increase in surface air and dewpoint temperatures at urban locations in India. *Scientific Reports*, Vol. **7**, s. 1228. ISSN 2045-2322.
- BAN, N., SCHMIDLI, J., SCHÄR, C., 2015. Heavy precipitation in a changing climate: Does short-term summer precipitation increase faster? *Geophysical Research Letters*, Vol. **42**, s. 1165–72. ISSN 1944-8007.
- BARA, M., KOHNOVÁ, S., GAÁL, L., SZOLGAY, J., HLAČOVÁ, K., 2009. Estimation of IDF curves of extreme rainfall by simple scaling in Slovakia. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, Vol. **39**, s. 187–206. ISSN 1338-0540.
- BEDIENT, P., HUBER, W., VIEUX, B., 2008. Hydrology and Floodplain Analysis: International Edition. Pearson Education (US). ISBN 10 0132422867.
- BERG, P. H. J., MOSELEY, CH. G., HAERTER, J. O., 2013. Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures. *Nature Geoscience*, Vol. **6**, s. 181–5. ISSN 1752-0908.
- CARPENTER, J., BITHELL, J., 2000. Bootstrap confidence intervals: when, which, what? A practical guide for medical statisticians. *Statistics in Medicine*, Vol. **19**, s. 1141–64. ISSN 0277-6715
- CHENG, L., AGHAKOUCHAK, A., GILLELAND, E., KATZ, R. W., 2014. Non-stationary extreme value analysis in a changing climate. *Climatic Change*, Vol. **27**, s. 353–69. ISSN 0165-0009.
- CHENG, L., AGHAKOUCHAK, A., 2015. Nonstationary Precipitation Intensity-Duration-Frequency Curves for Infrastructure Design in a Changing Climate. *Scientific Reports*, Vol. **4**, s. 7093. Doi: <https://doi.org/10.1038/srep07093>.
- COOLEY, D., NYCHKA D., NAVEAU P., 2007. Bayesian Spatial Modeling of Extreme Precipitation Return Levels. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. **102**, s. 824–40. ISBN 978-0-81-537944-7.
- COOLEY, D., 2013. Return Periods and Return Levels Under Climate Change, Springer, Dordrecht. s. 97–114. ISBN 978-94-007-4479-0.
- DIFFENBAUGH, N. S., GIORGI, F., 2012. Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble. *Climatic Change*, Vol. **114**, s. 813–22. ISSN 0165-0009.
- FAŠKO, P., LAPIN, M., ŠTASTNÝ, P., VIVODA, J., 2000. Maximum daily sums of precipitation in Slovakia in the second half of the 20th century. *Prace Geograficne*, Vol. **1008**, s. 131–8. ISSN 1644-3586
- GANGULI, P., COULIBALY, P., 2017. Does Nonstationarity in Rainfall Requires Nonstationary Intensity- Duration-Frequency Curves? *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. **21**, s. 1–31. ISSN 1027-5606.
- IPCC, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G.-K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor, and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, s. 582. ISBN 978-1-107-02506-6.
- JAKOB, D., 2013. Nonstationarity in Extremes and Engineering Design. Extremes in a changing climate: Detection, Analysis and Uncertainty. Springer. Vol. **65**, s. 363–417. ISBN 978-94-007-4479-0.
- KATZ, R. W., PARLANGE, M. B., NAVEAU, P., 2002. Statistics of extremes in hydrology. *Advances in Water Resources*, Vol. **25**, s. 1287–304. ISSN 0309-1708.
- KHARIN, V. V., ZWIERS, F. W., ZHANG, X., HEGERL, G. C., 2007. Changes in temperature and precipitation extremes in the IPCC ensemble of global coupled model simulations. *Journal of Climate*, Vol. **20**, s. 1419–44. ISSN 0894-8755.
- LENDERINK, G., BARBERO, R., LORIAUX, J. M., FOWLER, H. J., 2017. Super-Clausius-Clapeyron Scaling of Extreme Hourly Convective Precipitation and Its Relation to Large-Scale Atmospheric Conditions. *Journal of Climate*, Vol. **30**, s. 6037–52. ISSN 0894-8755.
- MIAO, C., ASHOURI, H., HSU, K. L., SOROOSHIAN, S., DUAN, Q., MIAO, C. et al., 2015. Evaluation of the PERSIANN-CDR Daily Rainfall Estimates in Capturing the Behavior of Extreme Precipitation Events over China. *Journal of Hydrometeorology*, Vol. **16**, s. 1387–96. ISSN 1525-755X.
- O'GORMAN, P. A., SCHNEIDER, T., 2009. The physical basis for increases in precipitation extremes in simulations of 21st-century climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. **106**, s. 14773–7. ISSN 1091-6490.
- O'GORMAN, P. A., 2015. Precipitation Extremes Under Climate Change. *Current Climate Change Reports*, Vol. **1**, s. 49–59. ISSN 2198-6061.
- PALEY, S., HOANG, T. T. H., DACUNHA-CASTELLE, D., 2010. Different ways to compute temperature return levels in the climate change context. *Environmetrics*, Vol. **21**, s. 698–718. ISSN 1099-095X
- PEKÁROVÁ, P., MIKLÁNEK, P., PEKÁR, P., OLBŘÍMEK, J., 2008. Analysis of the statistical characteristics of daily precipitation at Hurbanovo in different periods: Part I. Multiannual variability-Spectral analysis. *Acta Hydrol Slovaca*, roč. **9**, s. 64–76. ISSN 1335-6291.
- ROOTZÉN, H., KATZ, R. W., 2013. Design Life Level: Quantifying risk in a changing climate. *Water Resources Research*, Vol. **49**, s. 5964–72. ISSN 1944-7973.
- ROSBJERG, D., MADSEN, H., 1998. Design with uncertain design values. In: *Hydrology in a Changing Environment, Volume III*. Wiley, s. 155–163.
- SALAS, J. D., OBEYSEKERA, J., 2014. Revisiting the Concepts of Return Period and Risk for Nonstationary Hydrologic Extreme Events. *Journal of Hydrological Engineering*, Vol. **19**, s. 554–68. ISSN 1943-5584.
- SARHADI, A., SOULIS, E. D., 2017. Time-varying extreme rainfall intensity-duration-frequency curves in a changing climate. *Geophysical Research Letters*, s. 2454–2463. ISSN 1944-8007.
- SCHROEER, K., KIRCHENGAST, G., 2018. Sensitivity of extreme precipitation to temperature: the variability of scaling factors from a regional to local perspective. *Climate Dynamics*, Vol. **50**, s. 981–94. ISSN 1432-0894.
- SHAW, S. B., ROYEM, A. A., RIHA, S. J. et al., 2011. The Relationship between Extreme Hourly Precipitation and Surface Temperature in Different Hydroclimatic Regions of the United States. *Journal of Hydrometeorology*, Vol. **12**, s. 319–25. ISSN 1525-755X.
- SMITH, B., PRENTICE, I. C., SYKES, M. T., 2001. Representation of vegetation dynamics in the modelling of terrestrial ecosystems: comparing two contrasting approaches within European climate space. *Global Biology and Biogeography*, Vol. **10**, s. 621–37. ISSN 1466-8238.
- VOSE, R. S., EASTERLING, D. R., GLEASON, B., 2005. Maximum and minimum temperature trends for the globe: An update through 2004. *Geophysical Research Letters*, Vol. **32**. ISSN 1944-8007.
- WASKO, C., SHARMA, A., 2015. Steeper temporal distribution of rain intensity at higher temperatures within Australian storms. *Nature Geoscience*, Vol. **8**, s. 527–9. ISSN 1752-0894.
- WASKO, C., SHARMA, A., 2017. Continuous rainfall generation for a warmer climate using observed temperature sensitivities. *Journal of Hydrology*, Vol. **544**, s. 575–90. ISSN 0022-1694.

Reviewers (Lektoři):

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D.,

Mgr. Stanislava Klíegrová, Ph.D.

Internet věcí a crowdsourcing v meteorologii a klimatologii

Internet of Things and crowdsourcing in meteorology and climatology

Stanislava Kliegrová

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

The development of techniques and technologies is very rapid and affects significantly the atmospheric sciences. The paper explains the terms *Internet of Things* and *crowdsourcing*, focusing on their relationship to meteorology and climatology. The *Internet of Things (IoT)* means „smart things“ (sensors or devices) that are connected to the Internet. The crowdsourcing is used in the sense of „collecting (obtaining) large amounts of public data“. The advantages and disadvantages of public data sets for professional meteorology and climatology are discussed. Examples of the activities of European national meteorological services in this area are given.

KLÍČOVÁ SLOVA: Internet věcí – crowdsourcing – národní meteorologické služby – EUMETNET

KEYWORDS: Internet of Things – crowdsourcing – national meteorological services – EUMETNET

1. Úvod

Vývoj techniky a technologií je velmi rychlý a zasahuje do všech součástí našeho života. Meteorologie, klimatologie (a atmosférické vědy obecně) nejsou a nemohou být výjimkou. V tomto článku jsou vysvětleny stále populárnější pojmy *internet věcí* a *crowdsourcing*, a to se zaměřením na jejich vztah k meteorologii a klimatologii. Velká část textu je potom věnována konkrétním příkladům jejich využití v národních meteorologických službách.

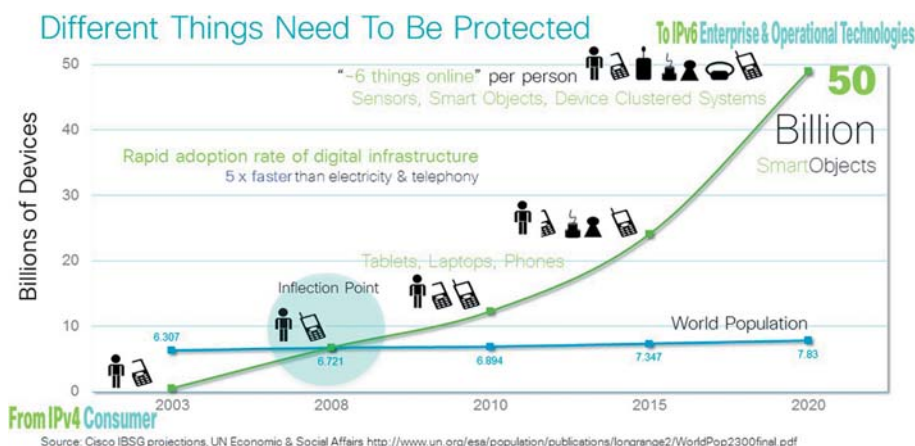
Internet věcí (anglicky Internet of Things, zkratka IoT) znamená „chytřé věci“ (čidla nebo přístroje), které jsou připojeny na internet. „Chytřé věci“ jsou vybaveny elektronikou, softwarem a připojením k internetu, které umožňuje těmto systémům se propojit a vyměňovat si data. Od roku 2008 je takovýto věcí on-line více než lidí, a proto je toto období (zhruba 2008–2009) považováno za období vzniku IoT. Podle průzkumů Strategy Analytics dosáhl počet připojených přístrojů ke konci roku 2018 počet 22 miliard (Helpnetse-

curity 2019). Křivka vývoje počtu „chytřích věcí“, kterou vidíme na obr. 1 (převzato z webu Cisco 2020), předpokládala až 50 miliard do roku 2020. Mnoho „chytřích věcí“ může být využito pro získávání meteorologických dat, ať už přímo (např. měření on-line dostupných meteorologických stanic, údaje o teplotě vzduchu, tlaku vzduchu a dalších prvcích z různých čidel určených pro jiné účely) nebo nepřímo (např. zapnutí stěračů u automobilu indikuje začátek výskytu srážek v dané oblasti), podrobněji dále v příspěvku (2.3 až 2.6).

Pojem crowdsourcing byl poprvé použit v červnu 2006 v časopise Wired Magazine (Howe 2006) ve smyslu a s myšlenkou „zadat úkol davům“, tedy pověřit úkolem veřejnost. Nyní je používán ve smyslu „sbírání (získávání) velkých objemů veřejných dat“ v mnoha vědeckých disciplínách. Co se týče atmosférických věd, informace mohou být nyní získávány z mnoha netradičních zdrojů, jako např. z amatérských meteorologických stanic a čidel, „chytřích věcí“ nebo sociálních sítí. Samostatnou kategorií je potom sběr pozorování od lidí, s důrazem na nebezpečné meteorologické jevy a jejich dopady. V každém případě lidé už nejsou pouhými konzumenty dat, ale také jejich producenty. Tyto typy dat budou hrát čím dál tím větší roli zejména v oblastech s hustým osídlením.

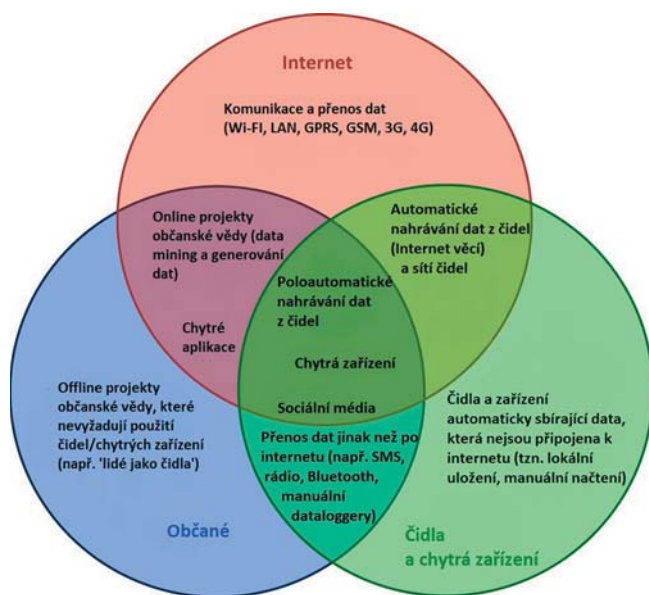
2. Popis a rozdělení crowdsourcingových aktivit

Rozdělení crowdsourcingových aktivit do kategorií není snadné a přístupy k tomu mohou být různé. Obsáhle se tomu ve svém článku věnuje Müller a kol. (2015). Dvě široké kategorie mohou být aktivity *neživotné* a *životné* (z anglického *inanimate* a *animate*). Zatímco *neživotné* aktivity získávají data a informace z čidel a sítí s čidly, *životné* aktivity potřebují v nějaké fázi jistý lidský zásah. Na crowdsourcing se můžeme dívat z hlediska přístupu také jako na *aktivní* a *pasivní* (Müller a kol.



Obr. 1. Odhad vývoje počtu „chytřích věcí“ od roku 2003 (Cisco 2020).

Fig. 1. An estimate of the growth rate of the number of „smart things“ since 2003 (source: Cisco 2020).



Obr. 2 Vennův diagram ukazuje interakci životných a neživotných crowdsourcingových aktivit a obsahuje aktivní i pasivní techniky (převzato a přeloženo od Müllera a kol. 2015).

Fig. 2. Venn diagram showing the interaction of *animate* and *inanimate* crowdsourcing components, including *active* and *passive* techniques (Müller et al. 2015).

2015). Při aktivním crowdsourcingu lidé informace poskytují aktivně a vědomě (instalace amatérských meteorologických stanic, publikování příspěvků na sociálních sítích, používání speciálních aplikací atd.). Pasivní crowdsourcing na druhou stranu nepotřebuje lidskou interakci, protože čidla (např. v autech nebo mobilních telefonech) sama data sbírají i odesílají. Různé typy aktivit a jejich průniky jsou přehledně znázorněny na Vennově diagramu (obr. 2).

Konkrétněji lze crowdsourcing rozdělit ještě do více skupin, což je popsáno v následujícím textu (Müller a kol. 2015).

2.1 Občanská věda

V rámci projektů občanské vědy, jejichž příklady jsou uvedeny níže, se může veřejnost (dobrovolníci, amatéři, nadšenci) zapojit do vědeckého výzkumu.

Vzdělávací projekt GLOBE (Global Learning and Observations to Benefit the Environment), do kterého je v současné době (k červnu 2020) zapojeno více než 37 000 škol ze 123 zemí světa, je populární i v ČR (www.globe.gov, v ČR <https://globe-czech.cz/cz>). Různé programy tohoto projektu, často dlouhodobé, jsou zaměřeny na meteorologii, fenologii, kvalitu ovzduší atd. Získaná data mohou být mezinárodně sdílena.

V roce 2006 byla uvedena do provozu Evropská databáze nebezpečných meteorologických jevů (European Severe Weather Database, ESWD), která je provozována Evropskou laboratoří silných bouří (European Severe Storms Laboratory, ESSL) a slouží pro sběr informací o výskytu nebezpečných meteorologických jevů. V minulosti byla databáze zaměřena pouze na jevy spojené s konvektivními bouřemi, ale později byla rozšířena i na další meteorologické jevy, způsobující škody nebo mající potenciál je působit. Byla také doplněna možnost hlášení jevů vázaných na zimní období, a to sněhové bouře, námrazové jevy a laviny. V České republice do databáze velmi aktivně přispívají členové Amatérské meteorologické společnosti z. s.,

kterí se podíleli také na překladu formuláře pro vkládání těchto jevů do češtiny (<https://eswd.eu/>).

Dalším příkladem v České republice je projekt zaměřený na sledování fenologických fází (<https://www.fenofaze.cz/>), za kterým stojí dvě vedoucí instituce (Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i. a Český hydrometeorologický ústav) a který umožňuje již od podzimu 2013 sběr fenologických dat od přispěvatelů. Dále o informace o suchu se může veřejnost podělit na webových stránkách projektu Intersucho (www.intersucho.cz), které provozují Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Mendelova univerzita v Brně a Státní pozemkový úřad.

Existují ale i další formy crowdsourcingu, které jdou za hranice měření a pozorování. ClimatePrediction.net je projekt klimatického modelování, který využívá osobních počítačů pro modelování klimatu v následujících stoletích (<http://climateprediction.net>).

Velkým benefitem tohoto typu projektů je zapojení veřejnosti a možnost jejího vzdělávání. Tímto pohledem se zabývá např. Wechsler (2014) ve svém článku.

2.2 Sociální média

Sociální média (např. Facebook, Twitter atd.) jsou u veřejnosti oblíbená a čím dál tím víc využívána. Velmi dobrou ukázkou využití sociálních médií pro meteorologii a klimatologii je monitoring a mapování sněhu ve Velké Británii („UK snow map“, <http://uksnowmap.com/>) pomocí zpráv s vhodným hashtagem. Mnoho národních meteorologických služeb aktivně využívá svoje účty na Twitteru. Podle Gaztelumendiho (2015) jsou nejvlivnější twitterové účty národních meteorologických služeb v Evropě a v Severní Americe, nejsledovanější potom v Asii.

2.3 Čidla „na místě“

Instalace amatérských meteorologických stanic byla ještě minulou dekádu spíš záležitostí jednotlivců, nadšených meteorologických amatérů, ať už kvůli horší dostupnosti čidel, nebo kvůli jejich vyšší ceně. V posledních letech jsou meteorologická čidla menší, levnější, dostupnější a jejich počet rychle roste. Existují platformy, které údaje z amatérských meteorologických stanic sbírají a prezentují. Například Weather underground (<https://www.wunderground.com/wundermap>), Netatmo pro meteorologické stanice této značky (<https://weathermap.netatmo.com/>), národní meteorologická služba Velké Británie Met Office (<https://www.metoffice.gov.uk/>) nebo webové stránky The Citizen Weather Observer Program (CWOP) (<http://wxqa.com/>). Výsledky měření amatérských meteorologických stanic jsou využívány např. pro potřeby numerické předpovědi Národní meteorologické služby v Norsku (MET Norway), která využívá soukromé meteorologické stanice (často značek Netatmo či Davis) a meteorologické stanice dalších organizací pro zahuštění kroku sítě předpovědi teploty vzduchu. Zlepšení krátkodobé předpovědi teploty vzduchu v norské předpovědi počasí zejména pro místa, kde je nedostatek dat z oficiálních meteorologických stanic, je prezentováno v práci Nipena a kol. (2019). Nejvýraznější zlepšení bylo zaznamenáno v zimě, během inverzních situací, které se s hustší sítí stanic podařilo mnohem lépe zachytit. V práci je zdůrazněna nutnost kontrol kvality dat před vstupem do modelu, bez nichž jsou výsledky horší zejména v létě a v denních hodinách, kdy jsou lokality s čidly ovlivňovány slunečním zářením.

2.4 Chytrá zařízení

V současné době je mnoho čidel přímo vyvíjeno a určeno pro spojení s chytrými zařízeními – např. teplotní čidlo BlutoTemp Thermometer, čidlo pro měření aerosolu iSPEX (www.ispex.nl) nebo meteorologická stanice Netatmo (<http://www.netatmo.com>). I samotná chytrá zařízení mají přímo v sobě zabudovaná čidla, jejichž údaje se dají využít. Např. v některých typech chytrých telefonů můžeme najít teplotní čidlo, tlakoměr, vlhkoměr a další. Příklad využití údajů z teplotních čidel mobilních telefonů je podrobněji popsán v 3. kapitole.

2.5 Pohyblivé platformy

Kola, lodě, letadla, auta, mnohá tato zařízení mají vlastní čidla, která se dají meteorology a klimatology využít. Např. lodě mají dlouhou historii v poskytování meteorologických dat. Již od 50. let 19. století lodě rutinně měří teplotu povrchu vody a tisíce obchodních lodí jsou zapojeny v globálním dobrovolnickém programu (Voluntary Observing Ships, VOS, https://www.vos.noaa.gov/vos_scheme.shtml). Významné množství dat je shromažďováno z komerčních letadel v rámci programu Aircraft Meteorological Data Relay programme (AMDAR). Tento systém zaznamenává denně až 800 000 údajů o teplotě vzduchu a proudění (rychlosti i směru), současně s polohou a s časem. Tyto informace vstupují např. i do meteorologických numerických předpovědních modelů. Světová meteorologická organizace vydala prohlášení, že během mimořádných opatření kvůli nemoci COVID-19 na jaře 2020, kdy se dramaticky snížil objem komerční letecké dopravy, poklesl počet meteorologických údajů z letadel o 75–80% (WMO 2020). Platforma, které je v této kategorii věnována zřejmě největší pozornost, i co se týče nových výzkumů, to jsou automobily a využití informací z jejich moderních čidel. Ty mohou poskytovat údaje přímo meteorologické (teplota a tlak vzduchu), ale i doplňkové informace, např. o zapnutí stěračů, mlhových světel, zapnutí chytrých brzdících systémů, které nám dávají představu o meteorologických podmínkách na daném místě.

2.6 „Skruté“ sítě

Je dobré si uvědomit, že existuje velké množství sítí, které byly primárně sestaveny k jiným účelům, ale jejichž výsledky a informace se dají pro potřeby atmosférických věd využít. Např. Overeem a kol. (2013a) využili data o mikrovlnných vlnách z mobilní komunikační sítě pro monitorování srážek v Nizozemí. Dále byly využity údaje z dopravních radarů pro získání údajů o větru a teplotách (de Haan and Stoffelen 2012).

3. Využití crowdsourcingu v evropských národních meteorologických službách

Výhodou využití veřejných dat pro profesionální meteorologii a klimatologii je zejména v zahuštění standardní sítě stanic národních meteorologických služeb, a tedy více informací v čase a prostoru. Tyto informace mohou být využity např. pro numerické předpovědní modely, nowcasting, výstražnou službu, verifikaci dat, případně pro odborné studie (např. výzkum městského tepelného ostrova, Meier 2017).

Naopak hlavními nevýhodami jsou problémy s kvalitou i dostupností těchto dat, které nemohou národní meteorologické služby přímo ovlivnit. Pro smysluplné využití je potřeba vývoj automatických kontrolních mechanismů a způsobů, jak pracovat

s velkými objemy časově i prostorově nehomogenních dat. Vzhledem k velkému množství těchto dat to přináší nové požadavky i na technické vybavení a počítačovou infrastrukturu.

V této oblasti je snaha o mezinárodní spolupráci, např. v rámci organizace EUMETNET (European Meteorological Services Network), která sdružuje 31 evropských národních meteorologických služeb. V roce 2019 byla ustanovena v této organizaci pracovní skupina (Task Team on Crowdsourcing), která by měla koordinovat aktivity jednotlivých členů, tedy zejména evropských národních meteorologických služeb. Aktivity tohoto typu na národních úrovních probíhají a je dobré snažit se jim dát nějaký rámec a zkušenosti sdílet.

V Krennertově práci (2018) byl vyhodnocen dotazník, který byl zaslán 30 evropským národním meteorologickým službám ohledně získávání informací o pozorování počasí v národních meteorologických a hydrologických službách (NMHSs) v Evropě. Z vyhodnocení vyplynulo, že z 22 NMHSs, které dotazník vyplnily, 86 % využívá nějakým způsobem informace od veřejnosti a 50 % má oficiální spolupráci s amatérskými meteorologickými skupinami. Pro kvalitu příspěvků je důležité přispěvatele nějakým způsobem poučit (63 % NMHSs to dělá, např. poskytuje on-line návody atd.) a informace kontrolovat (47 % NMHSs, nejčastěji srovnáním s oficiálními údaji, které provádí zaměstnanec). 74 % NMHSs tyto informace archivuje a některé z nich vyměňují data s Evropskou databází extrémních jevů (European Severe Weather Database, ESWD).

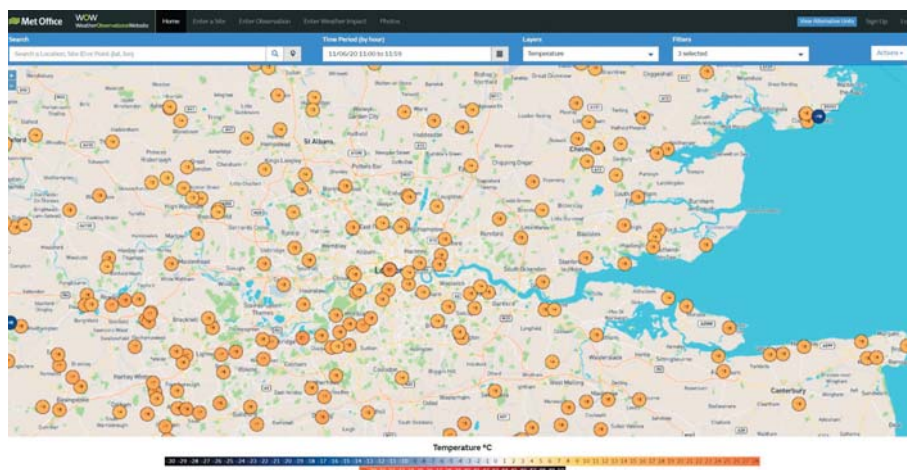
Národní meteorologické služby využívají (nebo zkoumají tuto možnost) další sítě meteorologických stanic jiných vlastníků (např. francouzská Météo-France se zajímá o využití zemědělské sítě, norská Met Norway využívá síť amatérských meteorologických stanic Netatmo s údaji pro teplotu vzduchu a využití pro srážky je ve stadiu výzkumu, výzkum probíhá i ve finské FMI, slovenské SHMÚ nebo rakouské ZAMG).

Některé evropské národní meteorologické služby (britská MetOffice, nizozemská KNMI, belgická RMI) jsou zahrnuty v aktivitě Weather observation website (WOW). Tyto weby dávají dohromady informace meteorologických stanic národních meteorologických služeb a „neoficiálních“ meteorologických stanic. Na stránky je možno k dané lokalitě ukládat i pozorování nebo dopady počasí. Ukázka mapy WOW ze stránek britské MetOffice (<https://wow.metoffice.gov.uk/>) je na obr. 3.

Španělská AEMET shromažďuje na webových stránkách hlášení o meteorologických jevech (projekt SINOBAS, <https://sinobas.aemet.es/>) a také využívá pro tyto účely sociální síť Twitter (<http://www.aemet.es/es/portada>).

Pro mobilní telefony se vyvíjejí aplikace umožňující široké veřejnosti vkládat informace o meteorologických jevech a jejich dopadech, případně i fotografie. Např. francouzská Météo-France, finská FMI nebo švýcarská MeteoSwiss mají tuto část pro crowdsourcing jako součást oficiální mobilní aplikace pro předpověď počasí. Výsledky jsou využívány především pro nowcasting, včetně výstražné služby. Další evropské meteorologické služby na podobné aplikaci pracují (belgická RMI nebo německá DWD).

Pro představu, jak mobilní sběr pozorování počasí funguje, jsou na obr. 4 zobrazeny obrazovky z francouzské mobilní aplikace My Weather App. Na stránce s předpovědí je umístěna ikona „oko“, po jejímž zmáčknutí lze zadat vybraný pozorovaný jev a případně i přidávat fotografie. Údaje se zobrazují na mapě, která je k dispozici francouzským synoptikům a interně dalším pracovníkům Météo-France.



Obr. 3 Ukázka mapy Weather observation website ze stránek britské MetOffice (<https://wow.metoffice.gov.uk/>)

Fig. 3. Sample map of the Weather Observations Website from the MetOffice website (<https://wow.metoffice.gov.uk/>)



Obr. 4 Ukázka z francouzské mobilní aplikace My Weather Map, do které mohou uživatelé vkládat informace o meteorologických jevech a jejich dopadech.

Fig. 4. Example from the French mobile application My Weather Map which allows users to insert information about meteorological phenomena and their impacts.

Velmi zajímavým potenciálním zdrojem informací jsou (jak už bylo zmíněno ve 2,5) čidla umístěná v automobilech. Zde lze využít např. teplotní čidla, ale také informace o zapnutí stěračů (začátek a konec srážek), mlhových světel (informace o snížené viditelnosti), způsobu brždění (zapnutí ABS znamená kluzký povrch vozovky). V této oblasti výzkumu jsou aktivní nebo se na ni připravují mnohé evropské meteorologické služby (francouzská Météo-France spolupracuje s automobilovými firmami Continental a Peugeot Société Anonyme, norská Met Norway, finská FMI, britská Met Office, nizozemská KNMI, belgická RMI, německá DWD nebo slovenská SHMÚ).

Dalšími příklady využití veřejných dat jsou detekce mlh z kamer, získávání informací o větru z horkovzdušných balónů nebo využití čidel z mobilních telefonů, vše zatím ve stadiu

výzkumu (např. nizozemská KNMI). Využití údajů z dronů zkoumají polští (IMGW) a slovenští (SHMÚ) kolegové.

Zkoumání tepelného ostrova města pomocí teploty baterií mobilních telefonů se objevuje v Overeem (2013b). Na základě znalostí o přenosu tepla mezi telefonem, lidským tělem a teplotou okolního prostředí byl sestaven vztah mezi teplotou baterie mobilního telefonu a průměrnou denní teplotou vzduchu v několika městech.

4. Využití crowdsourcingu v Českém hydrometeorologickém ústavu

Příklady významnějších a aktuálních aktivit souvisejících se získáváním a využitím dalších zdrojů meteorologických dat a informací v Českém hydrometeorologickém ústavu (ČHMÚ), které jsou autorem známy, jsou uvedeny níže.

V kapitole 2.1 byl zmíněn projekt na sledování fenologických fází, na kterém se ČHMÚ podílí a který umožňuje doplňovat a rozšiřovat informace z oficiální sítě fenologických stanic ČHMÚ.

Do klimatologické databáze ČHMÚ CLIDATA se ukládají dlouhodobé údaje z meteorologických stanic dalších organizací a jednotlivých vlastníků (početné jsou např. sítě silničních meteorologických stanic Ředitelství silnic a dálnic ČR nebo srážkoměrných stanic Vodovodů a kanalizací v několika oblastech ČR). Pomocí různých druhů indikativů stanic lze rozlišit, do jakých

dalších typů kontrol a zpracování data těchto stanic vstupují, aby byly zachovány všechny nezbytné standardy a požadavky na kvalitu měření v ČHMÚ. Údaje jsou používány zejména při kontrolách dat a v případových studiích (např. ve zprávách o povodňových situacích nebo extrémních projevech počasí), ale jsou k dispozici i pro operativní činnosti.

Zvláštní pozornost, nejen kvůli vysokému počtu stanic, si zaslouží síť silničních meteorologických stanic. Do databáze CLIDATA se tato data po dohodě s Ředitelstvím silnic a dálnic dostávají již od roku 2004, v současné době (k červnu 2020) je těchto stanic již více než 500 a počet se rok od roku zvyšuje. Kromě klasických meteorologických čidel měřících teplotu vzduchu, vlhkost vzduchu, srážky, směr a rychlost větru se získávají informace z čidel zabudovaných ve vozovce, a také

z dohledoměrů a kamer. Jsou to informace zvláště cenné ve výstražné službě, při přípravě speciálních předpovědí pro údržbu komunikací, následně i při vyhodnocování zimní údržby. ČHMÚ je členem sdružení SIRWEC (Standing International Road Weather Commission, <http://sirwec.org/>), které vzniklo již v roce 1984 v Birminghamu pro výměnu informací z oblasti silniční meteorologie a navazujících technologií (řízení, údržba, bezpečnost, ochrana životního prostředí apod.). Více informací lze nalézt v článku Sulana a Škuthana (2005).

Zkoumány jsou možnosti využití údajů ze sítě amatérských meteorologických stanic firmy NETATMO. Od léta 2018 je v areálu pobočky ČHMÚ v Hradci Králové, kde je umístěna a provozována standardní klimatologická stanice ČHMÚ, nainstalovaná amatérská meteorologická stanice firmy NETATMO. Výsledky souběžných měření jsou v současné době vyhodnocovány a budou diskutovány v samostatném článku.

Na konci roku 2019 byla vyzkoušena možnost stahování dat ze sítě amatérských meteorologických stanic firmy NETATMO do klimatologické databáze ČHMÚ CLIDATA přes veřejně dostupné API rozhraní. Stažena byla desetiminutová data pro teplotu vzduchu, vlhkost vzduchu, tlak vzduchu, srážky, rychlost a směr větru (včetně nárazů) z 1 dne. Data byla v čase testování dostupná z více než 8 000 amatérských stanic v ČR. Z technického hlediska se zdá být získávání dat možné, ale jsou nutná další jednání s firmou NETATMO o licenčních podmínkách využívání těchto dat. Bylo rozhodnuto, že další jednání budou probíhat na evropské úrovni, v rámci organizace EUMETNET. Data, pro která budou muset být nejprve nastaveny a odladěny automatické algoritmy pro vyloučení podezřelých hodnot, by bylo možno využívat zejména při kontrolách dat a studiích klimatu města (včetně případových studií).

5. Závěr

Vývoj techniky a technologií kromě jiného umožňuje přístup k velkému množství veřejných dat a jejich využití také v meteorologii a klimatologii. Roky 2008 a 2009 jsou považovány za období vzniku internetu věcí, který zahrnuje a spojuje velké množství čidel a přístrojů, a umožňuje jim vyměňovat si informace. Pro získávání velkých objemů veřejných dat se zavedl pojem crowdsourcing. Tato data mohou zahustit údaje ze standardní sítě stanic národních meteorologických služeb, a přinášejí tedy pro meteorology a klimatology více informací v čase a prostoru. Údaje mají široké potenciální využití, např. pro numerické předpovědní modely, nowcasting, výstražnou službu, verifikaci dat, případně pro odborné studie.

Kromě výhod je však třeba mít na paměti i nevýhody, mezi které patří zejména nemožnost ovlivnit dostupnost a kvalitu těchto dat. Právě různá kvalita veřejných dat se jeví jako nejzásadnější problém v jejich dalším využití. Úplně nezbytná je potřeba kontrolních mechanismů, které vyřadí ze zpracování podezřelá data. Vzhledem k množství veřejných dat a informací je nutné, aby tyto kontroly byly automatické. Velké objemy dat dále přinášejí nové požadavky na technické vybavení a počítačovou infrastrukturu. Je nutno uvažovat i o případných legislativních problémech, které mohou souviset s ochranou osobních údajů a které mohou být v různých státech různé.

Problematikou dat získaných crowdsourcingem se v současné době (k červnu 2020) zabývá aktivně 15 národních evropských meteorologických služeb (mezi nimi i ČHMÚ), jejichž činnost je od roku 2019 koordinována v pracovní skupině organizace EUMETNET. Skupina vytvořila dosti podrobný seznam současných aktivit národních evropských meteorologických služeb

a její práce bude pokračovat ve 4 podskupinách, které byly vytvořeny podle typů aktivit, o které mají jednotlivé členské národní meteorologické služby největší zájem. ČHMÚ se zde primárně zajímá o možnosti využití výsledků měření sítí amatérských meteorologických stanic. Zároveň pracovní skupina pro crowdsourcing spolupracuje s dalšími pracovními skupinami EUMETNETu, zejména se skupinou pro automatickou kontrolu kvality dat.

Poděkování:

Autorka děkuje oběma lektorům za cenné připomínky, které prospěly článku po obsahové i formální stránce.

Literatura:

- CISCO, 2020. Securing the Internet of Things: A Proposed Framework [online]. [cit. 30. 6. 2020]. Dostupné z WWW: https://tools.cisco.com/security/center/resources/secure_iot_proposed_framework.
- DE HAAN, S., STOFFELEN, A. 2012. Assimilation of high-resolution Mods-S wind and temperature observations in a regional NWP model for nowcasting applications. *Weather Forecast*, Vol. 27(4), s. 918–937.
- GAZTELUMENDI, S., MARTIJA, M., PRINCIPE, O., AND PALACIO, V., 2015. An overview of the use of Twitter in National Weather Services. *Advances in Science and Research*, Vol. 12, s. 141–145.
- HELPNETSECURITY, 2019. Number of connected devices reached 22 billion, where is the revenue? [online]. [cit. 30. 6. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.helpnetsecurity.com/2019/05/23/connected-devices-growth/>.
- HOWE, J., 2006. The Rise of Crowdsourcing. *Wired*, Vol. 14 (6), s. 1–4.
- KRENNERT, T., PISTOTNIK, G., KALTENBERGER, R., AND CSEKITS, C., 2018. Crowdsourcing of weather observations at national meteorological and hydrological services in Europe. *Advances in Science and Research*, Vol. 15, s. 71–76. Dostupné z WWW: <https://doi.org/10.5194/asr-15-71-2018>.
- MULLER, C., CHAPMAN, L., JOHNSTON, S., KIDD, C., ILLINGWORTH, S., FOODY, G., OVEREEM, A. AND LEIGH, R., 2015. Crowdsourcing for climate and atmospheric sciences: current status and future potential. *International Journal of climatology*, Vol. 35, s. 3185–3203.
- MEIER, F., FENNER, D., GRASSMANN, T., OTTO, M., SCHERER, D., 2017. Crowdsourcing air temperature from citizen weather stations for urban climate research. *Urban Climate*, Vol. 19, s. 170–191.
- NIPEN, T., SEIERSTAD, I., LUSSANA, C., KRISTIANSEN, J., HOV, Ø., 2019. Adopting citizen observations in operational weather prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 101, s. 43–57.
- OVEREEM, A., LEIJNSE, H., UIJLENHOET, R., 2013a. Country-wide rainfall maps from cellular communication networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 110, Issue 8, s. 2741–2745.
- OVEREEM, A., ROBINSON, J. C. R., LEIJNSE, H., STEENEVELD, G. J., HORN, B. K. P., UIJLENHOET, R., 2013b. Crowdsourcing urban air temperatures from smartphone battery temperatures. *Geophysical Research Letters*, Vol. 40, Issue 15, s. 3787–4126.
- SULAN, J., ŠKUTHAN, M., 2005. Silniční meteorologie v provozu Českého hydrometeorologického ústavu. *Meteorologické zprávy*, roč. 58, č. 2, s. 33–40. ISSN 0026-1173.
- WECHSLER, D., 2014. Crowdsourcing as a method of transdisciplinary research – Tapping the full potential of participants. *Futures*, Vol. 60, s. 14–22.
- WMO, 2020. COVID-19 impacts observing system [online]. WMO [cit. 30. 6. 2020]. Dostupné z WWW: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/covid-19-impacts-observing-system>.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Petr Zacharov, CSc., Mgr. Miroslav Řepka

INFORMACE – RECENZE



Projekt PERUN

V této době se v Českém hydrometeorologickém ústavu a dalších spoluřešitelských institucích rozbíhá jeden z největších projektů posledních let co do počtu zapojených institucí i délky trvání – 6,5 roku. Projekt PERUN SS02030040 (Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku) je zaměřen na výzkum klimatických extrémů, sucha a důsledků jeho prohlubování v České republice. Garantem projektu je Ministerstvo životního prostředí a kromě ČHMÚ je do řešení zapojena řada dalších odborných institucí: Česká geologická služba, Matematicko-fyzikální fakulta a Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i., Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i. a PROGEO, s. r. o. Projekt bude prezentován pod názvem PERUN, který vznikl zkrácením anglického Prediction, Evaluation and Research for Understanding National sensitivity and impacts of drought and climate change for Czechia.

Projekt je prvním krokem k nově pojatému dlouhodobému výzkumu v oblasti změny klimatu a jejích důsledků na území ČR. Úkolem projektu je podrobně analyzovat probíhající a predikované budoucí změny, včetně identifikace rizik pro životní prostředí a pro společnost. Výstupem budou i podklady nutné pro přípravu a aktualizaci strategických dokumentů a pro rozhodovací procesy nejen v oblasti adaptací na změnu klimatu, ale i pro doporučení a hodnocení mitigačních opatření (zmírňování klimatické změny) v procesu jejich přípravy i realizace.

Projekt je rozdělen do osmi hlavních oblastí, které se vzájemně doplňují a postupují v řešení od modelování klimatu přes přípravu scénářů jeho změny až k analýze důsledků například v zemědělství, lesnictví, hydrologii. Projekt a jeho výstupy umožní reagovat na změny ve vodní bilanci (sucho i povodně), analyzovat rizika pro společnost spojená s hydrometeorologickými extrémy, změnou hydrologického režimu i souvisejícími důsledky v krajině.

Projekt je pestrý jak spojením různých odborností, tak návazností jednotlivých řešených úkolů. Tato pestrost umožní komplexní pohled na zkoumanou problematiku změny klimatu a povede ke snížení nejistot získaných výsledků.

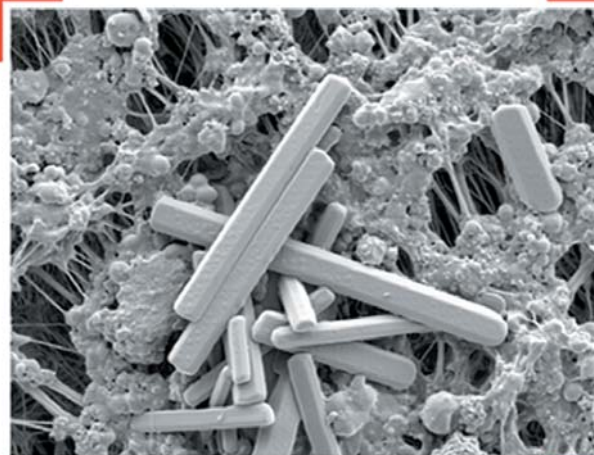
Informace k projektu a výsledky budou sdíleny na stránkách www.perun-klima.cz, na sociální síti Twitter (@perun_klima) a v neposlední řadě na odborných seminářích a konferencích.

Radim Tolasz

Projekt ARAMIS

V rámci Programu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí – Prostor pro život, který je administrován Technologickou agenturou ČR (TA ČR), vzniká unikátní výzkumné centrum ARAMIS („Integrovaný systém výzkumu, hodnocení a kontroly kvality ovzduší“ / „Air quality Research, Assessment and Monitoring Integrated System“). Tento projekt sdružuje klíčové experty z rezortních organizací Ministerstva životního prostředí, vysokých škol a Akademie věd ČR a disponuje špičkovým vybavením a infrastrukturou mateřských institucí.

Projekt je prioritně zaměřen na vývoj, aktualizaci a tvorbu nástrojů, metodik a postupů pro hodnocení kvality ovzduší,



emisí klasických znečišťujících látek i skleníkových plynů včetně jejich projekcí a kvantifikaci dopadů na zdraví obyvatelstva a ekosystémů, spotřebu energie, ekonomiku a další aspekty života. Ambicí projektu je prostřednictvím aplikace výsledků přispět ke zlepšení životního prostředí, zejména kvality ovzduší na území republiky.

Hlavním řešitelem projektu je Český hydrometeorologický ústav. Spoluřešiteli jsou Česká geologická služba, Fakulta elektrotechnická Českého vysokého učení technického v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta a Centrum pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy, Ústav informatiky AV ČR, v. v. i., Ústav chemických procesů AV ČR, v. v. i., Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Výzkumné energetické centrum a Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i.. Projekt je unikátní mimo jiné také tím, že v rámci jednoho centra jsou společně řešena témata, kterými se v minulosti zabývaly různé instituce v rámci různých projektů. Řešení projektu je naplánováno na dobu 6,5 let.

Cílem projektu je vývoj metod kontroly kvality ovzduší, identifikace zdrojů znečišťování ovzduší a jejich podílů na koncentracích znečišťujících látek se zaměřením na hlavní stávající problémy kvality ovzduší a obtížně kvantifikovatelné druhy znečištění. V návaznosti na výše uvedené budou vyvíjeny modelové nástroje pro posuzování rozptylu znečištění ovzduší, a to jak s ohledem na aktuální koncentrace, tak i se zaměřením na budoucí rozvoj technologií. Součástí výzkumu je i rozvoj laboratorních metod pro sledování a hodnocení kvality ovzduší, a to jak metod manuálních, tak i metod automatických jako jsou například metody izotopové analýzy prvků ve vzorcích aerosolových částic, elementární analýzy aerosolových částic elektronovým mikroskopem, stanovení cukrů a iontů iontovou chromatografií, automatické stanovení amoniaku a plynné rtuti v ovzduší. Se zřetelem na vliv na zdraví obyvatelstva bude na vybraných lokalitách v České republice hodnocen dopad ultrajemných částic, a to i s ohledem na vnější vlivy, jako jsou např. meteorologické podmínky. V rámci řešení projektu bude také vyhodnoceno rozmístění stanic sledování kvality ovzduší, které vyústí v návrh obnovy státní sítě imisního monitoringu. Součástí řešení projektu je také odhad podílu mlhy a námrazy na celkové atmosférické depozici. Zajímavým výsledkem projektu budou i mapy fyto toxických dávek ozonu pro různé rostliny. Celým projektem se prolíná hodnocení vlivu dopravy, a to jak na zdraví obyvatelstva, tak na množství emisí znečišťujících látek a skleníkových plynů. Neopomenutelným úkolem tohoto projektu je vývoj metodik a emisních faktorů využívaných v přípravě emisních bilancí a to v návaznosti na reportingové povinnosti EU a požadavky mezinárodních závazků (Úmluva LRTAP a její protokoly). Součástí výzkumu metodik v oblasti skleníkových plynů je i analýza potenciálu biomasy a také predikce budoucího vývoje emisí a kvantifikace dopadů politických nástrojů zajišťujících snižování emisí, nebo dodržování emisních stropů na spotřebu energií, ekonomiku a další indikátory pomocí makro-ekonomických modelů a optimalizačního modelu energetického systému. V neposlední řadě budou vyvinuty datové standardy pro informace o zdrojích, emisích a imisích, které budou základním prvkem následně vyvíjeného komplexního informačního systému o kvalitě ovzduší.

Informace o projektu jsou dostupné na webových stránkách www.projekt-aramis.cz.

Jitka Haboňová

K novému zpracování a vizualizaci dat z aerologických balónových sondáží

Aerologické balónové sondáže jsou už desítky let jedním z nepostradatelných podkladů nejen pro leteckou meteorologii, ale i pro předpovědní výstražnou službu. V letních měsících jsou zásadní pro přípravu předpovědi bouřek, dnes často nepřímo jako vstupní data do numerických předpovědních modelů, ale stále i k přímému posouzení toho, nakolik modelu předpověď podmínek vyšla, a pro případné korekce předpovědi. V zimním půlroce pak sondáže mohou výrazně napomoci s určováním skupenství srážek, upozornit na riziko výskytu mrznoucích srážek, mlh apod.

V ČR má dlouhou tradici používání emagramů a v dávnější historii pak i stüvegramů. V posledních dekáдах je ale trendem čím dál častější používání skew-T diagramu (v češtině navrhováno označení zkosený diagram, viz. eMS). Důvodem je lepší využití plochy diagramu, a tak lepší zřetelnost míry instability a jejího profilu s výškou už jen pouhým pohledem na diagram. Pro zachování historické kontinuity, ale i pro potřeby zimního využití sondáží, resp. posouzení podmínek pro mělkou konvekci/termiku, jsme zachovali v upravené podobě i původní emagramy vykreslené pro dva výškové rozsahy zvlášť, a to od země do 100 hPa, resp. od země do 500 hPa.

Zachován byl rovněž graf rychlosti a směru větru s výškou. Opět zejména pro účely posouzení náchylnosti prostředí ke vzniku nebezpečných bouřkových jevů bylo zpracování doplněno o hodograf.

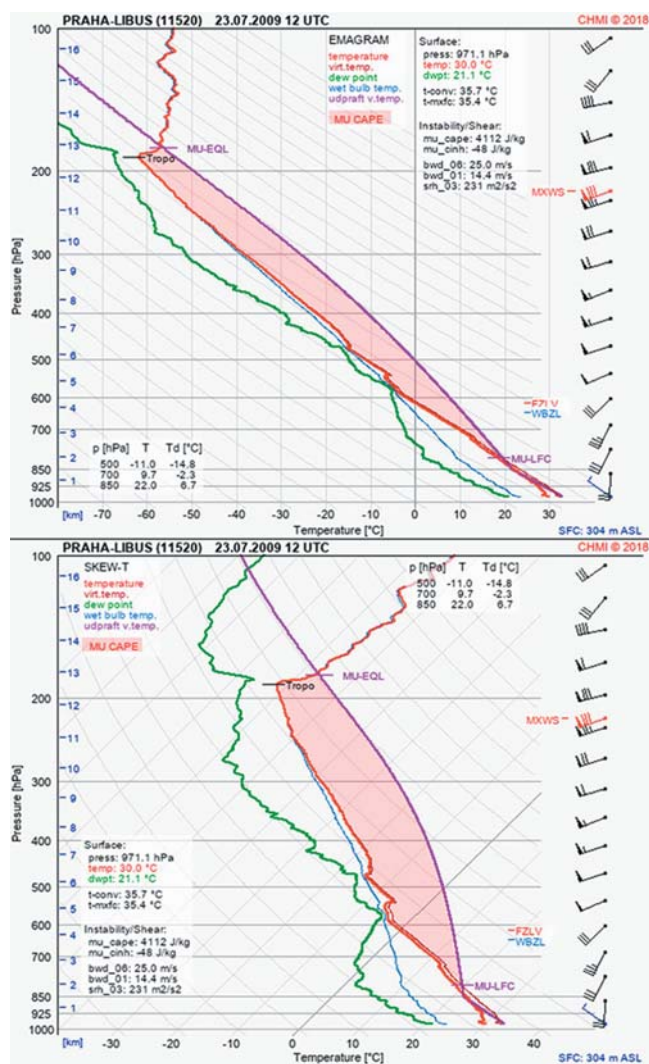
Prozatím jen pro interní použití je k dispozici i beta verze velkého sondážního panelu obsahujícího vše zmíněné v jednom a mnohé další, zejména opět bouřkové informace navíc.

1. Emagramy a skew-T diagram

Pro zhodnocení stability teplotního zvrstvení atmosféry lze použít emagramy, anebo výše zmíněný skew-T diagram. Ten je ale vlastně jen lehkou modifikací emagramu s tím, že izotermie nakloníme pod úhlem 45° vpravo tak, aby byly co nejvíce kolmé na suché adiabaty. Autorem této modifikace je jistý N. Herlofson z norské meteorologické školy, jež se snažil o vytvoření vůbec nejlepšího typu aerologického diagramu. Výsledkem je právě skew-T, který umožňuje dát mnohem lépe vyniknout plochám představujícím energii, jež jsou v diagramu vyčísleny v podobě indexů CAPE a CINH (někdy jen CIN).

V případě výskytu nenulové CAPE je plocha energie na diagramu stínována poloprůhlednou červenou a následně vypsána i číselně. Použitá modifikace je MU CAPE (most unstable CAPE). Ta se počítá pro výstup vzduchové částice z hladiny s nejvyšší ekvivalentní potenciální teplotou ve spodních 700 hPa od povrchu. Ve většině případů tato modifikace velmi dobře vystihuje maximální dostupnou energii v daném profilu. Výhodou MU CAPE je, že dokáže podchytit i vyvýšenou instabilitu například v nočních hodinách. Tehdy může kvůli přízemní radiační inverzi profil pro výstup od povrchu vyjít jako stabilní tj. s nulovou CAPE, ale výstup s počátkem jen pár set metrů nad zemí už může dát hodnoty i přes $1\,000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Připomeňme jen, že hodnoty CAPE v řádu několika set lze považovat na dostatečné k tvorbě bouřek, ale stále hovoříme



Obr. 1 Porovnání stejného měření na emagramu (nahore) a skew-T diagramu (dole). Měření ukazuje na extrémně instabilní prostředí s velmi silným stříhem větru. Několik hodin po sondáži zasáhlo Čechy a Polsko silné derecho, které si vyžádalo asi 9 obětí na životech a desítky zraněných.

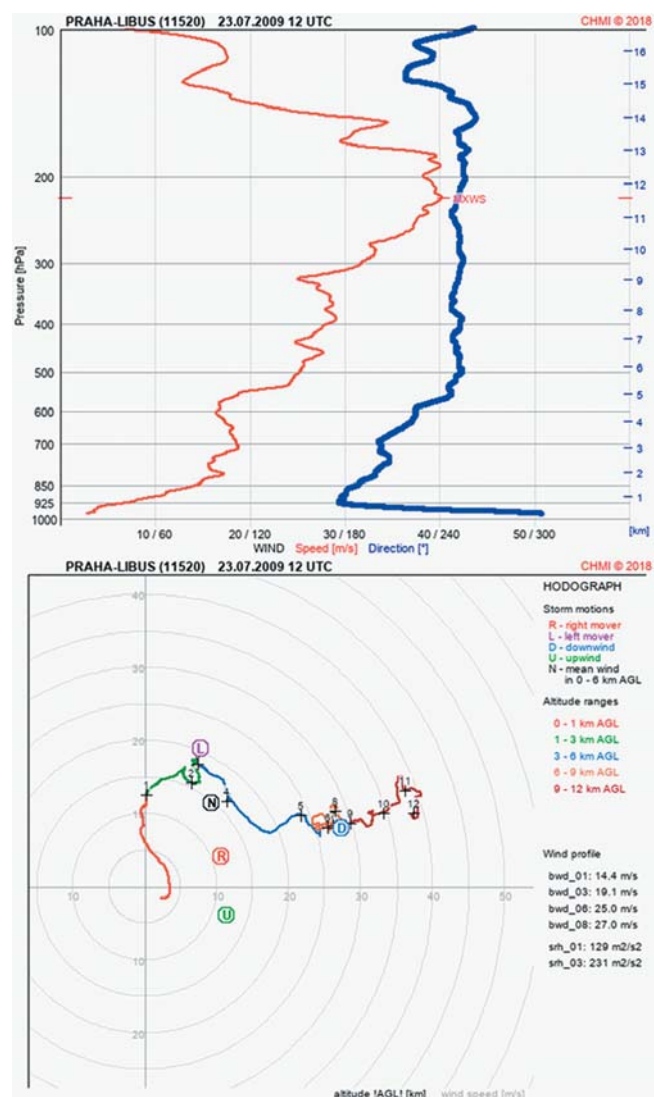
o slabé instabilitě. Hodnoty nad 1 000 J.kg⁻¹ již bývají označovány jako mírná instabilita, nad 2 500 silná instabilita a nad 3 500 už jako extrémní instabilita. Je ale na místě zdůraznit, že CAPE sama o sobě ještě nemusí dát vzniknout bouřkám. Názornou ukázkou je případ z 19. června 2013, kdy CAPE z poledního měření v Praze-Libuši dosáhla téměř 5 000 J.kg⁻¹ a přitom byla celou dobu až do noci jasná obloha bez jediného náznaku výraznější konvekce.

Další vypsané veličiny označené jako bwd (bulk wind difference) představují velikost vektorového rozdílu větru u země a v 6 km resp. 1 km. Hovorově o nich často hovoříme jako o stříhu větru, ač to bychom správně museli jejich hodnotu podělit ještě vertikální mocností vrstvy, tedy oněmi 6 km a 1 km. Stříh větru je důležitou veličinou pro schopnost hluboké konvekce vytvářet organizované celky, kdy hodnoty pod 10 m.s⁻¹ představují nevýrazné hodnoty typické pro chaotickou konvekci, mírný stříh větru mezi 10–15 m.s⁻¹ je již spojen se vznikem multicelárních konvektivních bouří, kdy hodnoty nad 15 m.s⁻¹ již naznačují možnou velmi dobrou organizaci konvekce a hodnoty kolem 20 m.s⁻¹ a více i možnost vzniku supercel. Samozřejmě je potřeba vzít v úvahu i míru

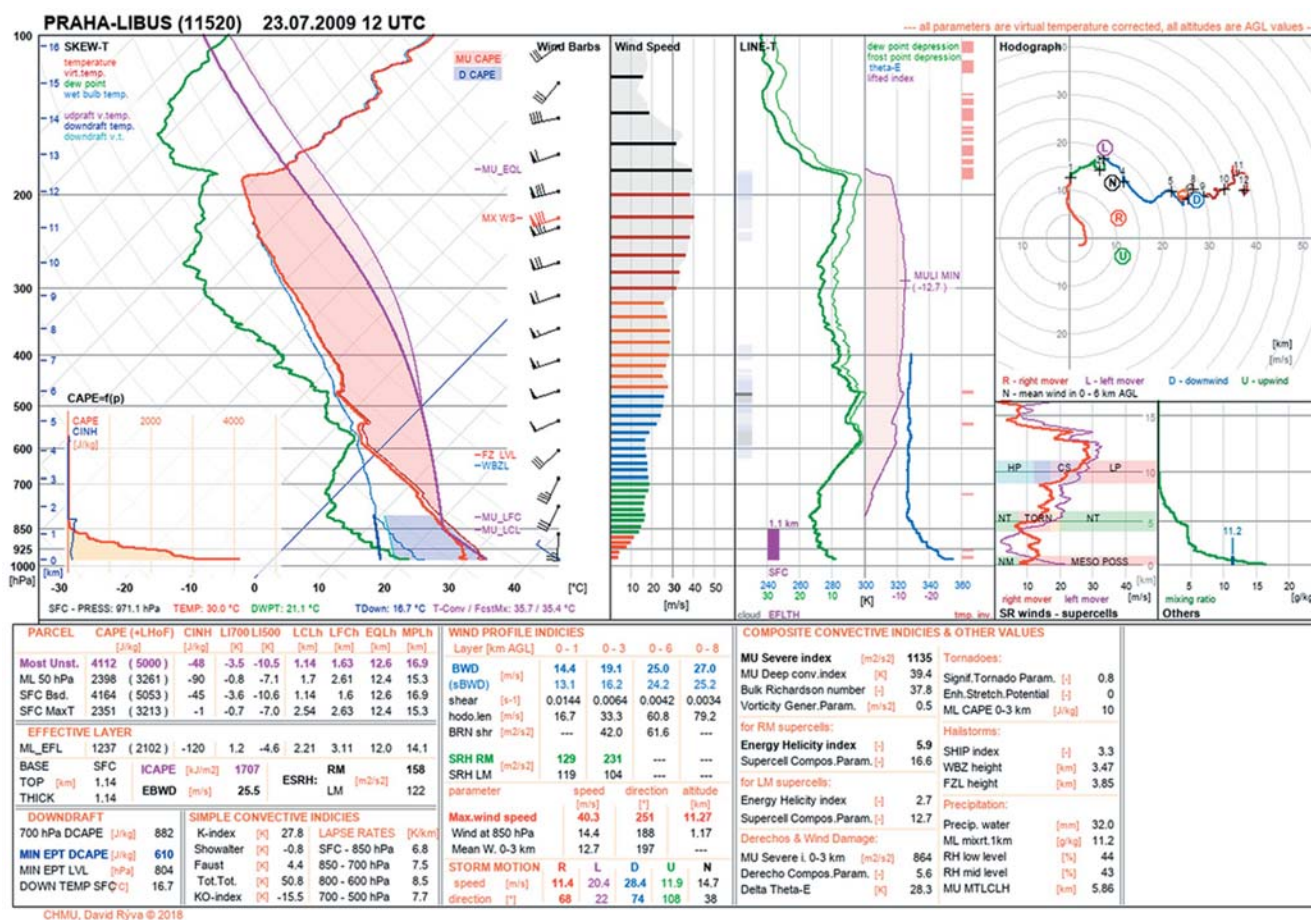
instability prostředí, velikost zádržné vrstvy CINH a možné spouštěcí mechanismy konvekce, jež též výrazně ovlivňují její charakter. Obzvláště vhodné podmínky pro vznik silných pravostáčivých supercel lze čekat při hodnotách srh_03 nad 150 m².s⁻². Veličina srh_03 je tzv. helicity relativní vůči bouři. V brzké budoucnosti zvažujeme s ohledem na přání uživatelů přidání izogram na podklad vykreslených grafů.

2. Hodograf

Hodograf je rovněž velmi užitečný diagram pro účely bouřkových předpovědí. Zobrazuje spojnice konců vektorů větru (obalovou křivku) v různých výškách od země až do 12 km. Jeho délka a tvar nám mohou mnohé napovědět o charakteru případných konvektivních bouří. Zde je vidět dlouhý a ve spodních hladinách i výrazně stočený hodograf, což je poměrně typické pro situace s možnou tvorbou supercel, rizikem silných nárazů větru případně i silných krupobití. V hodografu je po pravé straně vypsané vícero hodnot stříhu větru pro vícero vrstev od mocnosti 1 km, až po 8 km. Helicity je pak navíc i pro spodní 1 km nad povrchem (posouzení rizika tvorby tornád). Hodograf je barevně rozdělený podle



Obr. 2 Porovnání stejného měření na původním grafu směru a rychlosti větru (nahore) a na hodografu (dole). Jde o stejnou situaci jako v obr. 1.



Obr. 3 Velký sondážní panel zobrazující kromě skew-T diagramu a hodografu množství dalších informací, zejména s ohledem na bouřky, jak v grafické, tak i v podobě vypsaných indexů.

výšky nad povrchem. Co je zde ale jedna z nejdůležitějších informací navíc, krom samotného hodografu, jsou odhadnuté vektory tahu konvekce s různým vývojem. Jejich konce jsou ve středu každého kroužku s odpovídajícím písmenem. N je průměrný vítr ve spodních 6 km vážený hustotou vzduchu, R a L jsou odhady pohybu pravo- a levostáčivé supercely, U a D jsou tzv. Corfidiho vektory, tj. pohyb bouře s backbuildingem (U – upwind) a pohyb bouří s dominantním výtokem (outflow dominated, označené D – downwind). V případech, kdy je konec vektoru U téměř ve středu souřadné soustavy, je riziko, že u bouří s backbuildingem hrozí výrazné srážkové úhrny a vznik přívalových povodní. U případů bouří s velkou rychlostí pohybu (D daleko od středu souřadné soustavy) hrozí v případě tvorby hůlavy velmi výrazné nárazy větru. Zde je U daleko od středu, přívalové srážky tedy nebudou zjevně hlavním rizikem. Zato D je daleko od středu, a to téměř na kružnici značící 30 m.s⁻¹ jako pohyb bouře. To je v dobrém souladu s realitou. Vzniklý konvektivní systém se pohyboval k VSV a působil nárazy větru až do 45 m.s⁻¹ a značné škody větrem.

3. Další vývoj a verifikace použitých indexů

Testovací beta verzi, dostupnou zatím jen interně, je velký sondážní panel obsahující jak skew-T diagram, tak hodograf, ale i mnohé další diagramy zobrazující informace o výškovém větru, vertikálním rozložení CAPE podle počáteční hladiny výstupu apod. V panelu je navíc vypsaná celá řada bouřko-

vých indexů od starých jednoduchých indexů typu K-indexu až po ICAPE (integrovaná cape) vyjadřující celkové množství konvektivně dostupné energie ve vertikálním sloupci.

Barevné stínování opět ukazuje velikost energie MU CAPE (červeně) a navíc i DCAPE (modře) vyjadřující potenciál pro tvorbu dowdraftů bouří. Zásadní informaci zde poskytuje vložený malý graf uvnitř skew-T digramu, jež vyjadřuje vertikální rozložení CAPE podle výšky počátku. Jak se ukazuje ze zkušenosti, tak tato informace může být zásadní pro výskyt opakovaných bouřek v několika vlnách i na stejném místě (např. při vertikálně mohutné instabilní vrstvě), případně pro výskyt pozdně večerních nebo nočních bouřek (kdy bývá značná část energie ve výškách nad 1 km, často s maximem v podobě píku právě ve výšce).

Výběr indexů v malých diagramech byl učiněn na základě zkušeností od nás i ze zahraničí, na základě předešlých verifikací v rámci studentských prací, ale i první vlastní verifikace, jejíž výsledky budou publikovány v navazujícím článku v časopise MZ.

Další úpravy velkého sondážního panelu, použitých diagramů, ale i vypsaných veličin a indexů budou učiněny na základě rozsáhlejší verifikace, která bude předmětem výzkumné činnosti ODMI v rámci DKRVO během následujících let.

David Rýva

Povětrnostní sloupy

**Autoři René Tydlitát a Jan Trejbal,
Praha: Český hydrometeorologický ústav
2019. 278 stran. ISBN 978-80-87577-97-4.**

Na podzim roku 2019 vydal Český hydrometeorologický ústav nákladem 600 výtisků velmi zajímavou publikaci *Povětrnostní sloupy*. Průvodce po objektech drobné architektury s meteorologickými přístroji.

Knihu napsali meteorolog a urbanista-výtvarník. Ing. René Tydlitát je profesí letecký meteorolog. V tomto oboru působil nejprve v Armádě České republiky, dále pracoval jako inspektor na Úřadu pro civilní letectví a od roku 2014 je zaměstnancem Českého hydrometeorologického ústavu. MgA. Bc. Jan Trejbal vystudoval Fakultu architektury ČVUT a AVU v Praze. Má široký profesní záběr. Zabývá se metodou GPS skicování pro umění a praxi a rozvíjí současný systém územně analytických metod používaných v urbanismu. Dlouhodobě se věnuje pedagogické činnosti. Náhodně se oba autoři potkali na vernisáži týkající se odhalení nového meteorologického sloupu v parku Hadovka (Praha 6) v roce 2015, kdy začalo intenzivní badatelské úsilí při zpracování historických a současných meteorologických sloupů v Česku. Samotný zájem o meteorologické sloupy, shromažďování informace o nich a jejich fotodokumentace započala již mnohem dříve.

Kombinace meteorologie a architektury jako svědků kulturně-civilizačního vývoje ve středoevropském regionu se prolíná celou publikací. Přehledy meteorologických sloupů v publikaci, jejich fotografie, historický vývoj, geografické a meteorologické zajímavosti jednotlivých lokalit dokládají hluboké meteorologické a technické znalosti, zručnost, estetické cítění a stavební dovednosti našich předků. Na doprovodných fotografiích a v textech můžeme vidět historický vzhled mnoha náměstí, lázeňských kolonád nebo parkových zákoutí konce 19. a první poloviny 20. století.

Toto knižní vydání přináší velké množství unikátních a ojedinělých informací o popisovaných objektech a je prvním pokusem o výčet a popis více než sta meteorologických sloupů na území dnešní České republiky.

Publikace má osm kapitol. Hlavní kapitola, *Přehled meteorologických sloupů*, má pět podkapitol.

V *Úvodu* autoři čtenáře informují, jak vznikla myšlenka sepsání této knihy a jaká k tomu vedla cesta.

V kapitole *Příběh meteorologických sloupů* autoři uvádějí, co podle nich vedlo k rozvoji zájmu o tyto zajímavé stavby. Koncem roku 1882, tedy za vlády císaře Františka Josefa I., pražský týdeník pro učitele a přátele školství národního „Beseda učitelská“ (výtisk z 14. 12. 1882) otiskl cestopisné vzpomínky z návštěvy rakouského Štýrského Hradce. Autor příspěvku barvitě popsal zdařilé zakládání a úpravy městského parku na místech zbořených městských hradeb a pozna-

menal: „Co by zajisté i naši Praze slušelo, jest meteorologický kiosk. Obecenstvo v sadech se procházející dozví se tam, kolik jest hodin, kolik stupňů tepla, jaký tlak vzduchu a změnu povětrnosti.“ Toto prohlášení jako by předznamenalo zřizování povětrnostních sloupů na mnohých místech českých zemí zhruba po následujících padesát let. Zrodil se tak nový módní trend okrašlování veřejných míst pomocí malých vzhledově velmi příznivě vnímaných staveb s meteorologickými přístroji.

V kapitole *Co víme o meteorologických sloupech* autoři uvádějí, jak obecně sloupy vypadaly a vypadají, kolik jich známe (přibližné počty v Evropě), jak se jim (meteorologickým sloupům) říkalo, proč vznikaly a kdo byl jejich zřizovatelem, ve kterém časovém období se stavěly, na kterých místech vznikaly, jaké funkční prvky obsahovaly, proč byly populární a zda mohou být i dnes, jak kvalitní měření meteorologické sloupy poskytovaly.

V roce 1920 dr. Alois Gregor, tehdy asistent Státního ústavu meteorologického v Praze, v *Návodu k povětrnostním pozorováním* napsal:

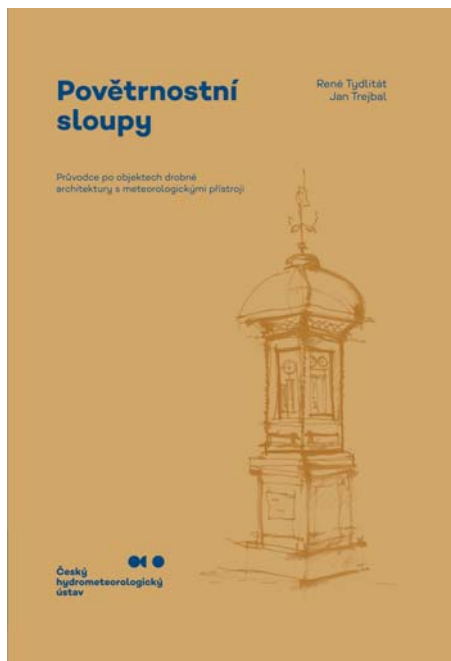
„Čtenář uzná, že jsou tudíž nespolehlivé záznamy teploměrů, umístěných na tzv. povětrnostních budkách okrasných, které nemají ventilace a mnohdy ani vzdušné polohy a kde na přístroje svítí slunce. Budky takové mají ten význam, že budí v obecenstvu zájem pro meteorologii. Údaje jejich přístrojů nemají však valné ceny.“

Tento výrok dr. Gregora přesně vystihl problémy s přesností měření v meteorologických sloupech, které můžeme doplnit o další poznatky. Mnohdy velmi dobrá „tovární“ přesnost vyráběných přístrojů bývala znehodnocena jejich umístěním v meteorologických skříňkách.

Autoři se zde zabývali architekturou a detaily sloupů, popsali jak a proč třídili meteorologické sloupy, uvádějí, zda jsou či nejsou předmětem památkové péče, jaké osobnosti měly na blízku (kdo inicioval jejich vznik a kdo se o ně staral), jakou měly a mají úlohu ve vědecké meteorologii a zda mohou být předmětem konceptuálního umění. V této kapitole se rovněž autoři zamýšlejí, zda byly svědky změn počasí. Nechybí otázka, zda Jára Cimrman postavil meteorologický sloup. Stručně nastiňují, zda ještě meteorologické sloupy vznikají a zda i dnes mohou být cílem výletů.

Hlavní a nejrozsáhlejší kapitola publikace *Přehled meteorologických sloupů* má 211 stran a člení se do pěti podkapitol:

– *Konec 19. století a začátky zřizování meteorologických sloupů*. Kapitola pojednává o začátcích zřizování meteorologických sloupů. V letech 1860 až 1900 byly meteorologické sloupy prokazatelně postaveny na 19 lokalitách ve městech a obcích (Teplíce, Františkovy Lázně, Praha, Brno, Krnov, Lázně Libverda, Most, Jablonec nad Nisou (4 lokality), Mariánské Lázně, Karlovy Vary, Jeseník, Liberec, Plzeň, Aš, Krásná Lípka a Děčín). Autory je nastíněna historicko-společenská situace ve vztahu k budování sloupů, úloha meteorologie ve společnosti, umělecko-urbanistické aspekty a přehled nejstarších sloupů. Všeobecnou část kapitoly zakončuje mapa rozmístění



všech 111 meteorologických sloupů uvedených v publikaci s barevným členěním podle jednotlivých období (podkapitol).

Dále následuje přehled jednotlivých meteorologických sloupů, u každého je popsáno, kde se nachází (souřadnice a nadmořská výška), pokud je známo, jak vzniknul, kdo se zasloužil o jeho vznik, zda byl opraven, jestli stále stojí, či je již zaniklý. Popis obvykle doprovází historická nebo současná fotografie sloupu a fotografie místa, kde byl umístěn. Často jsou uvedeny informace o zajímavostech, které mají spojitost se sloupem. U některých sloupů se autorům podařilo získat informace o instalovaných přístrojích, o jejich cenách, jakož i o ceně celého sloupu. Některé sloupy jsou doplněny mapou jejich umístění (současnou, či historickou).

– *Začátek 20. století a vlna obliby meteorologických sloupů.* V letech 1901 až 1918 byly meteorologické sloupy vztyčeny ve 38 lokalitách ve městech a obcích. V tomto období přetrvávala závislost české meteorologie na Ústředním ústavu pro meteorologii a geodynamiku ve Vídni, ale uzrávala doba k zřízení českého zemského meteorologického ústavu. To si nejvýrazněji uvědomoval dr. František Augustin, první profesor meteorologie a klimatologie na Karlově univerzitě, který tehdejší společnost usilovně přesvědčoval o potřebě rozvoje meteorologie a zřízení samostatného meteorologického ústavu. Jeho zásluhou postupně docházelo k obnově a zahuštění sítě meteorologických stanic a propojení poznatků meteorologie a hydrologie.

Z původně lokálního konfliktu vznikla světová válka (28. 7. 1914–11. 11. 1918) a s ní i neodvratný konec habsburské monarchie. „Velká válka“ veškeré snahy o zřizování meteorologických sloupů razantně přerušila a jejich osvětový, vzdělávací a estetický význam zcela upozadila.

Významným mecenášem zřizování těchto objektů se staly obecní spořitelny a jejich představitelé. Na konci prvního desetiletí 20. století se projevila první velká vlna zájmu o povětrnostní kiosky, která vyvrcholila v roce 1910. V tomto roce bylo pravděpodobně postaveno nejvíce sloupů na našem území, jako tomu bylo např. v Jičíně, Polici nad Metují, Březnici, v Liberci a v Brně. Tato léta ještě spadají do období před zahájením pravidelného rozhlasového vysílání na našem území, a proto informace, které sloupy poskytovaly, se těšily velkému zájmu.

– *Situace po 1. světové válce a druhá vlna zájmu o meteorologické sloupy.* V letech 1919 až 1945 byly meteorologické sloupy zřízeny na 39 lokalitách. Prvním poválečným rokem, v němž v českých zemích vznikl meteorologický sloup, byl patrně rok 1921. Tehdy byl založen romantický povětrnostní altánek v Šumperku. Po zahájení pravidelného rozhlasového vysílání v Československu v roce 1923 sloupy postupně pozbyly svého základního významu. Jejich popularita však klesala jen pozvolna a nové sloupy nadále vznikaly přibližně až do roku 1936. V září 1938 podepsáním Mnichovské dohody došlo k odstoupení Sudet hitlerovskému Německu. Jednalo se téměř o třicet procent historického území republiky. Šlo právě o pásmo s největším výskytem meteorologických sloupů, zejména na Karlovarsku, Ústecku, Liberecku, Jesenicku a Opavsku. I pro německé obyvatelstvo tohoto území to znamenalo připojení k německé říši. Došlo k rozpuštění politických stran, svazů a spolků, které, většinou představovaly zřizovatele a opatrovníky povětrnostních sloupů. Zakládání dalších objektů ukončila druhá světová válka.

– *Období po 2. světové válce a úpadek meteorologických sloupů.* V letech 1946 až 1990 byly postaveny meteorologické kiosky pouze v Teplicích na Mírovém náměstí, ve Slatiňanech, v Rokycanech (před Domem politické výchovy) a v Praze ve

Františkánské zahradě. Přímé boje během konce války poničily konstrukce některých objektů, nebo znehodnotily funkčnost zabudovaných zařízení. Rok 1951, tedy brzy po nástupu komunistického režimu, znamenal pro původní okrašlovací spolky konec činnosti. Se zánikem demokracie v Československu byla také zrušena tradiční sdružení, která meteorologické sloupy zakládala a pečovala o ně. Ztráta iniciátorů a správců v podobě českých, ale také, a to je třeba zdůraznit, německých spolků na dlouhá léta předznamenala postupnou zkázu těchto objektů. Další příčinou vedoucí až k rušení sloupů byly budovatelské snahy prosazované v duchu výstavby socialismu. Přes všechny negativní vlivy se některé sloupy dočkaly ochrany, rekonstrukce, nebo alespoň částečné opravy. Opavský kiosk byl dokonce zapísán do státního seznamu kulturních památek ještě před rokem 1990.

– *Přelom 20. a 21. století a částečná obnova a vznik nových meteorologických sloupů.* Po roce 1990 bylo postaveno 11 meteorologických sloupů v těchto městech a obcích: Karlova Studánka, Lysá nad Labem, Újezd nad Lesy, Karlovy Vary, Janské Lázně, Vsetín, Třešť, Čáslav, Horní Blatná, Trutnov a Brno-Soběšice.

V posledních desetiletích 20. století sice došlo k opravám několika historických povětrnostních sloupů, avšak teprve začátkem 21. století nastala alespoň částečná renesance těchto stavebnětechnických památek. Přestože některé kiosky po rekonstrukci zčásti přišly o svoji původní technickou funkci, zůstala jim úloha kulturněhistorická. Na některých místech se původní povětrnostní kiosky dochovaly dodnes a stávají se ceněnou turistickou atrakcí a ukázkou drobné parkové architektury z dob minulých.

Jeden ze závěrečných odstavců v přehledu sloupů uvádí: *Jaká je tedy současnost povětrnostních sloupů? Jednoduše řečeno různá. Některé objekty jsou zapomenuty a chátrají, jiné jsou tak pečlivě rekonstruované, že si dokonce vysloužily zápis do seznamu technických památek. V některých původních a zachráněných stavbách můžeme spatřit zcela nevhodné a nekvalitní přístroje vykazující známky dlouhodobého zanedbání. Někteří vlastníci se svých sloupů zbavují nebo jen obtížně hledají jejich využití. Naopak na jiných místech se objevily zcela nové a moderní přístroje a zobrazovací jednotky.*

Sestavu meteorologických přístrojů patrně na nejmladším meteorologickém sloupu v ČR lze nalézt v Soběšicích na severním okraji statutárního města Brna.

V kapitole *Meteorologické přístroje v povětrnostních sloupech* autoři popisují nejčastěji používané přístroje. Samostatná podkapitola byla věnována větrným korouhvkám. Jsou zde popsány nejčastěji použité, včetně několika fotografií. Publikace také uvádí Beaufortovu stupnici síly větru. Podkapitola věnovaná tlakoměřům uvádí také rozsáhlou povětrnostní tabulku k aneroidu, které byly často součástí sloupů pro rychlé určení projevu místního počasí.

Podkapitola o teploměrech popisuje jednotlivé typy přístrojů, jejich technické řešení, přepočty jednotek stupnice Réaumura na stupnici Celsia. Jsou uvedeny historické teploměry (např. velký teploměr maximo-minimální z meteorologického kiosku v Liberci. Svou kapitolu má také pojednání o vlhkoměrech.

Zvláštní popis si zasluhuje přístroj, který se stal hitem a také standardní součástí sériově vyráběných meteorologických sloupů v produkci firmy W. Lambrecht v posledním desetiletí 19. století a až do začátku první světové války. Byl jím Lambrechtův povětrnostní telegraf, také nazývaný Lambrechtův telegraf na počasí, Lambrechtův oznamovatel povětrnosti

nebo patrně též atmosférograf. Přístroj je v publikaci doplněn předpovědní tabulkou, jak originální, tak přeloženou do češtiny.

Samostatná kapitola je věnována *Výrobci a dodavateli meteorologických skříněk a přístrojů*. Největší pozornost byla věnována Wilhelmu Lambrechtu a jeho firmě. Jsou zde uvedeny i modely Lambrechtových meteorologických sloupů, včetně tehdejších cen sloupů a přístrojů. Dalšími dodavateli byly firmy Heinrich Kappeller z Vídně, Johann Friedrich Mack z Frankfurtu nad Mohanem Die Annoncen-Uhr-Actien-Gesellschaft, Die Urania-Uhren-und-Säulen-Commandit-gesellschaft z Berlína, C. A. Ulbrich & Co., Curych a další. Zvláštní pozornost je věnována novodobým výrobcům meteorologických sloupů a přístrojů.

Předposlední kapitola knihy je věnována *Doporučení k vyhledávání, rekonstrukci a zřizování meteorologických sloupů*, kde je v textu na dvou stranách uvedeno mnoho zajímavých informací pro badatele v tomto oboru nebo osobám, které se chtějí věnovat rekonstrukci, ochraně, nebo dokonce výstavbě nových sloupů.

Poslední kapitola je nazvaná *Příběh meteorologických sloupů nekončí*.

I když jsme objevování a dokumentování meteorologických sloupů na našem území věnovali značné úsilí rozložené do několika let, zřejmě nikdy nebudeme mít jistotu, že jsme poznali všechny.

Myšlenka informačního vzhledově přitažlivého objektu značného společenského významu ztvárněná do podoby drobné stavby umístěné ve veřejném prostoru je stále aktuální.

Příběh meteorologických sloupů tak může pokračovat.

V závěru knihy je uveden místopisný rejstřík s vyznačením čísla objektu popisovaného ve druhé kapitole a čísla strany. Velká pozornost byla věnována literatuře a bibliografii. Zdroje informací k jednotlivým objektům jsou řazeny abecedně a jsou rovněž uvedeny všeobecné informační zdroje a doporučené odkazy. Poslední strana knihy obsahuje medailonky autorů i s jejich fotografiemi.

Zvláštní poděkování autorů patří Karlu Krškovi z Brna a Tomáši Litschmannovi z Velkých Bílovic, kteří zásadním způsobem přispěli ke vzniku a kvalitnímu zpracování publikace. Při přípravě publikace autorům aktivně pomáhalo minimálně 42 jmenovitě uvedených spolupracovníků z celé republiky a zahraničí.

Publikace obsahuje 37 map umístění meteorologických sloupů, 101 celostránkových nebo menších fotografií současné podoby meteorologických sloupů, 58 reprodukcí historických fotografií nebo historických pohlednic s meteorologickým sloupem, čtyři tabulky, graf vývoje počtu meteorologických sloupů, fotokopie dotazníku k historii meteorologických sloupů, 9 historických nákrešů nebo katalogových vyobrazení meteorologických sloupů. Jedna počítačová vizualizace sloupu, 23 fotografií meteorologických přístrojů umístěných v povětrnostních sloupech, jedna historická reprodukce fotografie Wilhelma Lambrechta z Göttingenu, dvě fotografie autorů publika a více než 40 ilustrací Jana Trejbala.

V roce 2018 se meteorologický sloup dostal i do elektronické verze meteorologického slovníku, kam jistě patří a má své místo. Můžeme jej nalézt mezi hesly sloup halový, měsíční, sluneční a světelný:

sloup meteorologický

samostatně stojící sériově vyráběný objekt, nebo drobná okrasná, též historizující stavba sloužící k umístění několika meteorologických přístrojů. Meteorologické sloupy byly zřizovány na často navštěvovaných veřejných prostranstvích (náměstí, promenády, parky u škol apod.) převážně od konce 19. století do 30. let 20. století. Jejich kamenná, dřevěná či železná konstrukce je zpravidla čtyřboká a dosahuje výšky 2 až 4 m. Středová část konstrukce, spojená s kamenným nebo zděným podstavcem, vytváří prostor pro výklenky nebo prosklené skřínky na měřicí přístroje. Celý objekt bývá zakončen různě tvarovanou stříškou s funkční nebo jen ozdobnou větrnou korouhví. Výjimečně je sloup součástí další kamenné architektury v podobě altánu, která pak funguje jako radiální kryt. Do výklenků nebo skříněk sloupu mohl být instalován tlakoměr, teploměr, extrémní teploměry, vlhkoměr a registrační přístroje. Vrcholným či spíše pozoruhodným přístrojem své doby byl v mnohých sloupech vystavený Lambrechtův povětrnostní telegraf. Sloupy též prezentovaly různé klimatické přehledy a další informace pro obyvatelstvo. Problémem oproti standardní meteorologické budce bylo nedostatečně redukováné oslunění přístrojů v určité části dne a nedostatečná ventilace uzavřených prostor sloupu s přístroji. Rovněž ošetřování a seřizování přístrojů bylo jen sporadické a nesystémové. Přesto meteorologické sloupy ve své době významně přispěly k popularizaci meteorologie mezi širokou veřejností.

angl.: weather column slov.: meteorologický stĺp
něm.: Wettersäule fr.: Les colonnes météorologiques
rus.: метеорологический столб

Publikace byla pokřtěna na podzim loňského roku, kde také svítla naděje, že vedení ČHMÚ podpoří výstavbu novodobých meteorologických sloupů. Uvidíme, jestli se nějaký sloup nakonec podaří postavit.

Knihy byla rovněž autory představena veřejnosti v pořadu České televize *Dobré ráno* na jaře roku 2020.

Na publikaci oceňuji, že není jen pouhým přehledem a výčtem povětrnostních sloupů u nás, což by samo o sobě bylo velmi záslužným počinem. Text je vhodně doplňován informacemi o historickém kontextu zaměřeným na vývoj meteorologie a klimatologie, dostupné přístrojové techniky a jistě i o technickém a uměleckém řešení jednotlivých sloupů, které oceňuji, zejména díky doloženým fotografiím a náčrtům. Přínos díla pro urbanisty, architekty nebo historiky posoudit neumím.

Publikace si nenárokují být konečným výčtem všech historických i novodobých objektů s meteorologickými přístroji. Během krátkého pátrání autoři shromáždili indicie o dalších objektech, které však zatím nebylo možné ověřit a v této knize představit.

Publikaci je možné objednat a zakoupit v Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, nebo si ji půjčit v naší knihovně. Vřele doporučuji všem si ji přečíst. Čtenář se v knize dozví mnoho zajímavého o historii a současnosti meteorologických sloupů u nás a také publikace přináší zajímavé poznatky a informace o historii meteorologie a přístrojové techniky.

Pavel Lipina

Minimální vodní stavy Labe v záznamu hladových kamenů

Autorskému týmu ČHMÚ a VÚV T. G. M. vyšel v časopisu *Climate of the Past* článek zaměřený na problematiku hladových kamenů jako zdroje dat o hydrologickém suchu v minulosti.

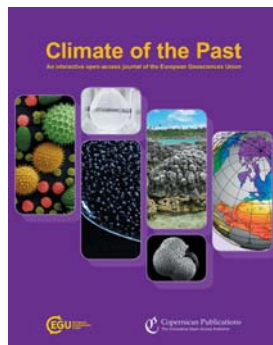
V letošním roce byly publikovány již dvě vědecké práce zabývající se srovnáním výskytu hydrologických extrémů v posledních pěti stoletích, a to zejména s ohledem na nedávná období výskytu velkých povodní a sucha.

Problematice hydrologického sucha se věnuje nově publikovaný článek o hladových kamenech. Právě sucho v roce 2015 umožnilo v době nejnižších vodních stavů geodetické zaměření značek na hladových kamenech v Labi. V roce 2018 pak ČHMÚ provedl detailní 3D skenování hladového kamene v Děčíně.

Takto získané informace napomohly ke vzniku několikaletého hledání odpovědi po smyslu hladových kamenů. Nový článek je součástí zvláštního čísla časopisu *Climate of the Past* (Droughts over centuries) věnovaného suchu v dlouhodobější perspektivě, kde je publikováno dalších třináct článků věnovaných vyhodnocení extrémního sucha 1842, vyhodnocení historie tohoto fenoménu z území Švédska, Německa, Číny, Polska aj.

Fenomén vytváření značek na tzv. hladových kamenech v korytech řek, které se nad hladinou objevovaly jen za sucha, a většinou tak neúrodu a hlad, je zejména středoevropskou specialitou objevující se v povodí Rýna Labe. Jedná se o zajímavé tzv. proxy

data umožňující nám lépe pochopit dlouhodobé kolísání hydrologického režimu řek i ve vazbě na střídání teplejších a chladnějších období.



„Prokázali jsme, že značky na labských hladových kamenech jsou velmi přesnými záznamy ročních minim vodních stavů, díky tomu jsme získali dobré informace o suchu a nejnižších vodních stavech Labe za posledních pět století“, shrnuje výsledky hlavní autor studie Libor Elleder.

Hladový kámen v Děčíně je dalším dokladem, že sucho let 2014–2019 skutečně patří mezi ty nejvýznamnější v uplynulých pěti stoletích. Srovnatelné extrémy snad najdeme v první polovině 16. století a mezi lety 1858–1878. Právě zmíněné druhé období přináší důkaz v tom, že ani jeden celý příznivý rok 1867 nebyl s to zvrátit celkový nepříznivý trend, který vyvrcholil následujícího roku 1868 a znovu v r. 1874.

V kontextu často zmiňovaného vlivu vyšší teploty vzduchu na dopady a průběh sucha z posledních let je příznačné, že jen jednu značku má období nejchladnější fáze tzv. malé doby ledové, tedy tzv. Mauderova minima (1638–1715), a to v r. 1707.

Citace článku

ELLEDER, L., KAŠPÁREK, L., ŠÍROVÁ, J., KABELKA, T., 2020.

Low water stage marks on hunger stones: verification for the Elbe from 1616 to 2015. *Climate of the Past*, Vol. 16, 1821–1846, <https://doi.org/10.5194/cp-16-1821-2020>. Dostupné z WWW: <https://cp.copernicus.org/articles/16/1821/2020/>

Jan Daňhelka, Libor Elleder



Hladový kámen v Děčíně je jednou z nejznámějších „hydrologických“ památek, proto byl v roce 2017 zachycen detailním 3D skenem. Je možné si ho prohlédnout na webu: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/hydrologie/zaznamy-z-minulosti/hladovy-kamen>. Původní nažloutlá barva pískovce je vidět ve spodní části skalního bloku zakrytého normálně asi 60 cm říčního sedimentu.

POČASÍ A ROSTLINY

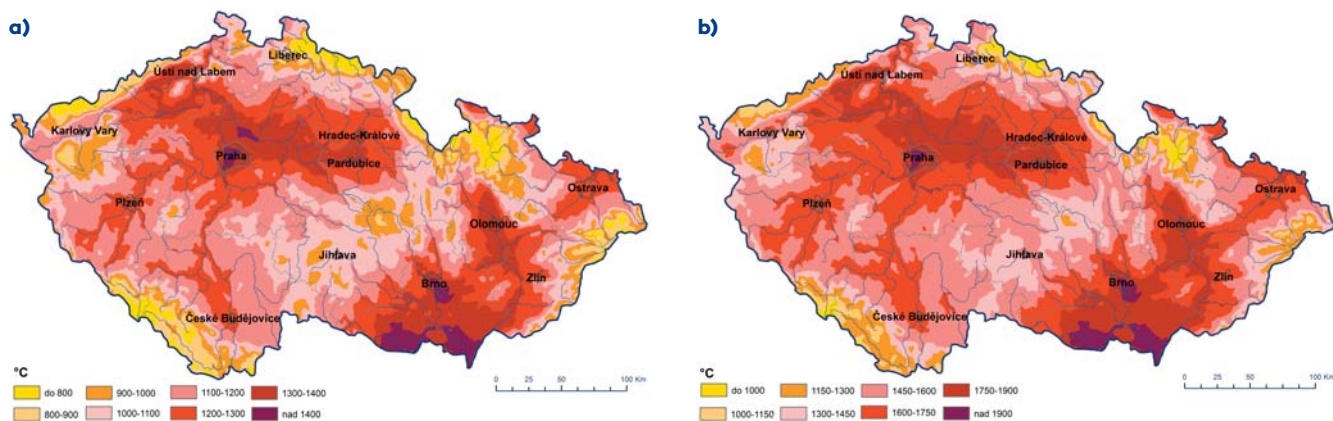
Fenologický vývoj na území ČR v červenci a srpnu 2020

V tomto čísle vás budeme informovat, jak se změnil vybrané agroklimatické charakteristiky a jaký byl vývoj vegetace v průběhu prázdninových měsíců červenec a srpen.

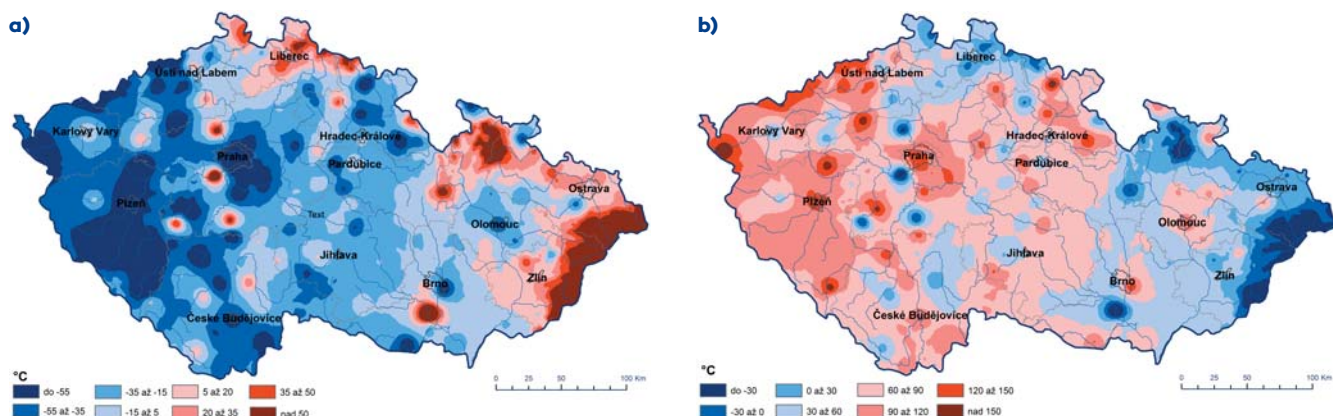
Suma efektivních teplot nad 5 °C od začátku roku k 31. 7. a k 31. 8. 2020 je uvedena v následujících mapách (obr. 1). Ke konci července se hodnoty na většině území pohybovaly v roz-

mezí 1000 až 1400 °C, ke konci srpna to bylo v rozmezí 1 300 až 1 900 °C. V nejteplejších oblastech České republiky na jižní Moravě a v okolí Prahy a Brna byly sumy teplot nejvyšší, v červenci přesahovaly hranici 1 400 °C a v srpnu 1 900 °C.

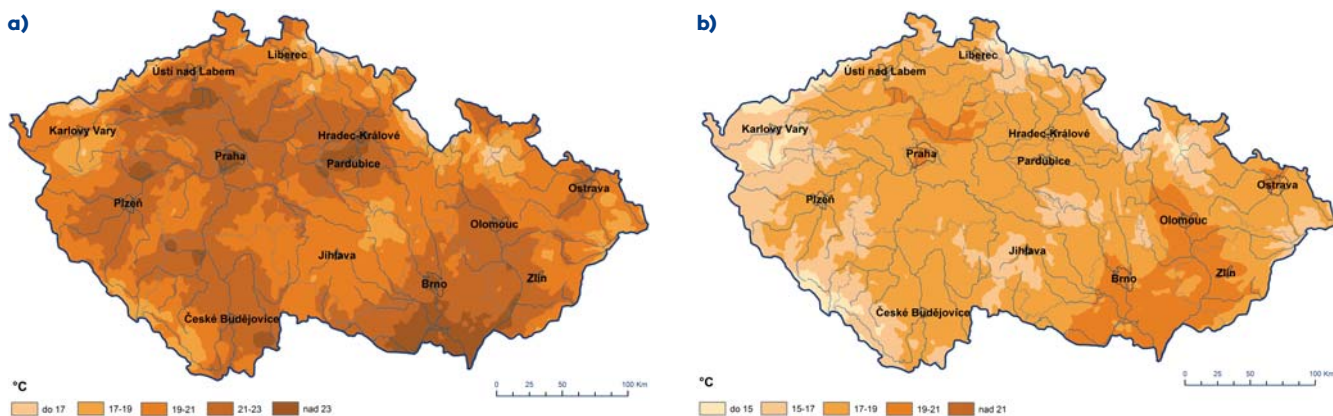
V červenci byly odchylky sum efektivních teplot od normálu 1981–2010 na většině území záporné (obr. 2a), nejnižších hodnot dosahovaly odchylky např. v Západočeském, Karlovarském, Ústeckém (zde zejména v oblasti Krušných hor), Středočeském a Jihočeském kraji, a dále na území hlavního města Prahy. Naopak ve Šluknovském a Frýdlantském výběžku, v Mo-



Obr. 1 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C k 31. 7. 2020 (a) a k 31. 8. 2020 (b).



Obr. 2 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C (odchylka od normálu 1981–2010) k 31. 7. 2020 (a) a k 31. 8. 2020 (b).



Obr. 3 Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 31. 7. 2020 (a) a 31. 8. 2020 (b).

ravskoslezském a Zlínském kraji nabývaly odchylky kladných hodnot. V srpnu se situace změnila (obr. 2b), na většině území byly odchylky od normálu kladné kromě Moravskoslezského, Zlínského a Jihomoravského kraje, a Šluknovského a Frýdlantského výběžku.

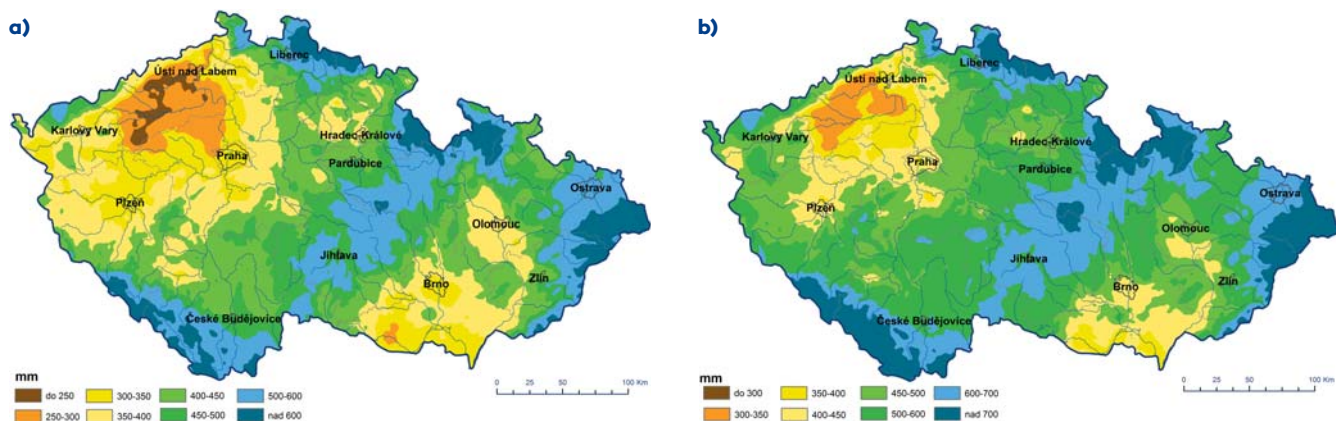
Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm byla 31. 7. 2020 v rozmezí 17 až 23 °C, 31. 8. 2020 byla v rozmezí 15 až 21 °C (obr. 3).

Kumulativní úhrn atmosférických srážek (od 1. 1. 2020) k 31. 7. a 31. 8. je zobrazen v mapách na obr. 4. Při srovnání s normálem (obr. 5) je vidět, že srážkový deficit se výrazně

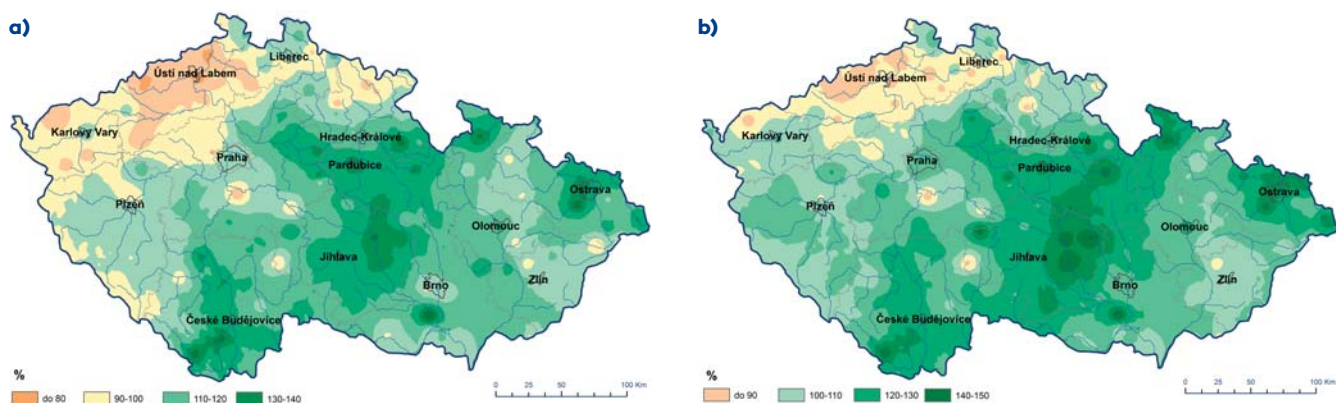
vylepšil v průběhu obou měsíců, na území ČR se vyskytovaly četné atmosférické srážky. Nejhorší situace však i nadále zůstává v oblasti severozápadních Čech, kde srážkový deficit stále přetrvává.

V průběhu letních měsíců pokračoval fenologický vývoj rostlin, ale vývojové změny již nebyly tak výrazné jako v předchozích měsících. Z pylových alergenů kvetla v první polovině července lípa srdčitá (obr. 6), odchylky od průměrného data nástupu se pohybovaly v rozmezí –4 až +8 dní (obr. 7).

V první polovině července začala sklizeň obilovin (např. v jižních Čechách začala sklizeň ječmene ozimého). Řepka ozimá



Obr. 4 Kumulativní úhrn srážek k 31. 7. 2020 (a) a k 31. 8. 2020 (b).



Obr. 5 Kumulativní úhrn srážek (% normálu 1981–2010) k 31. 7. 2020 (a) a k 31. 8. 2020 (b).

a pšenice ozimá přecházely do stádia plné zralosti, postupně začaly dozrávat meruňky, broskvoně, rybíz, třešně, brusnice borůvka a bez hroznatý, v jednotlivých lokalitách probíhala otavoseč. Třežalka tečkovaná, která začala kvést na konci června, byla stále v plném květu.

Ve druhé polovině července přecházely do stádia fruktifikace bez černý, svída krvavá, trnovník akát a lípa srdčitá. V červenci probíhala butonizace rákosu obecného a v průběhu srpna začal postupně v jednotlivých lokalitách kvést.

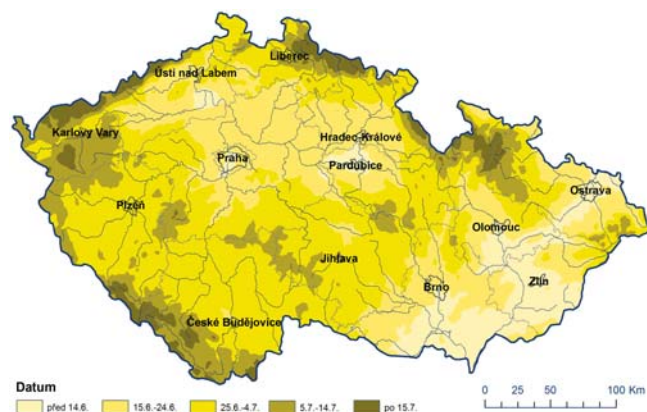
Na většině území v průběhu letních měsíců kvetla vrbka úzkolistá a i nadále pokračovalo dřevnatění výhonů (tj. výhon ve

spodní části dřevnatí a ztrácí svůj bylinný charakter) u jednotlivých dřevin.

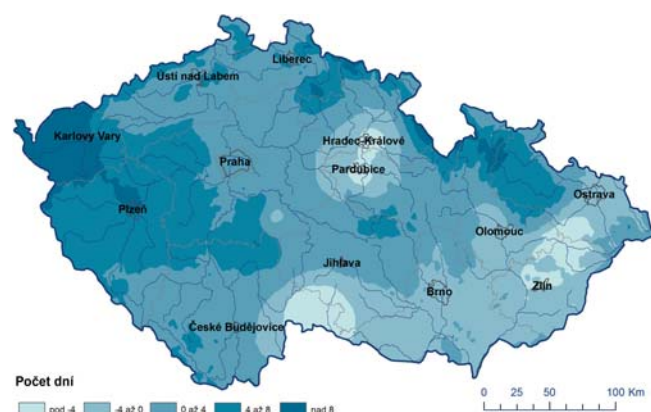
V srpnu postupně začaly dozrávat jeřabiny a bez černý. V letošním roce bylo zaznamenáno u obou těchto rostlinných druhů abnormální množství plodů. Na konci srpna začala sklizeň chmele, dozrávaly rané odrůdy révy vinné, odumírala nať brambor, dozrávaly plody třežalky a svídy krvavé a začaly kvést ocúny.

Vývoj vegetace byl i v průběhu měsíců červenec a srpen pestrý a většina fází nastoupila v obvyklém časovém termínu.

Lenka Hájková



Obr. 6 Počátek kvetení lípy srdčité v roce 2020.



Obr. 7 Počátek kvetení lípy srdčité v roce 2020 – odchylky od průměru 1991–2019.

Meteorologické zprávy

Meteorological
Bulletin

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

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

Vydavatel (redakce) – Publishers

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

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

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

Vedoucí redaktor – Chief Editor

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

Redaktor – Assistant Editor

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

Redakční rada – Editorial Board

J. Bednář, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

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

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

Z. Horký, Praha, Česká republika

F. Hudec, Univerzita obrany, Brno, Česká republika

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

P. Huszár, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

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

K. Krška, Brno, Česká republika

M. Lapin, Univerzita Komenského, Bratislava, Slovenská republika

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

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

V. Pastirčák, Bratislava, Slovenská republika

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

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

J. Strachota, Praha, Česká republika

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

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

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

H. Vondráčková, Praha, Česká republika

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

Abstracting and Indexing:

Meteorological and Geostrophysical Abstracts

Sazba a tisk:

Ing. Jiří Šilar DTP

ISSN 0026-1173

Registrační číslo MK ČR E 5107

© Meteorologické zprávy, Český hydrometeorologický ústav

NABÍDKA PUBLIKACÍ ČHMÚ

ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2019

ISBN 978-80-7653-007-2

AIR POLLUTION IN THE CZECH REPUBLIC IN 2019

ISBN 978-80-7653-008-9

Informační systém kvality ovzduší soustřeďuje a zpřístupňuje naměřená data z významných sítí monitorujících látky znečišťující venkovní ovzduší. Posuzování kvality venkovního ovzduší je v ročence zpracováno podle platné legislativy (zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší v platném znění a vyhláška č. 330/2012 Sb.), která odpovídá směrnici Evropské unie. Hodnocení se provádí s ohledem na ochranu lidského zdraví a dále s ohledem na ochranu ekosystémů a vegetace. Mapová interpretace je nezbytným východiskem pro indikaci oblastí s překročením imisních limitů, pro které legislativa vyžaduje přípravu programů pro zlepšení kvality ovzduší, případně regulačních ráďů.

Ročenka za rok 2019 se představuje ve struktuře zaměřené na přehlednost a srozumitelnost textu. Důraz je kladen na interpretaci naměřených dat a hodnocení stavu a vývoje kvality ovzduší v ČR, které je základním tématem publikace.

Úvod je věnován **politickému a legislativnímu rámci ochrany čistoty ovzduší, charakteristice hlavních látek znečišťujících ovzduší** z hlediska jejich možných dopadů na lidské zdraví a životní prostředí a jevům, které jsou pro úroveň škodlivin v ovzduší zásadní, tj. **zdrojům znečišťování a meteorologickým a rozptylovým podmínkám** v daném roce.

Kapitoly zabývající se neméně důležitým tématem **atmosférické depozice a emisemi skleníkových plynů** jsou zařazeny na závěr publikace. Informace o systému sběru, zpracování a hodnocení dat jsou nově publikovány samostatně, a to v elektronické formě na stránkách nakladatelství.chmi.cz v záložce Ke stažení – Technické dokumenty.

**Ročenka je vydávána česky i anglicky.
Vychází v tištěné formě nebo je volně
přístupná na webových stránkách ČHMÚ.**

**Publikaci lze objednat na adrese:
ČHMÚ, Tiskové a informační oddělení,
Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4,
tel.: 244 032 721, e-mail: nakladatelstvi@chmi.cz
Na objednávce uvádějte svoje IČ.**