

Meteorologické zprávy

ROČNÍK
74–2021

5

**136 Meteorologické sucho v letech 1971–2020 v České republice
vymezené kombinovaným indexem sucha SPEIc**

Veronika Oušková – Martin Možný – Vojtěch Vlach – Lenka Hájková

**141 Aplikace strojového učení při předpovědi výskytu mlh
na území ČR**

Patrik Benáček – Pavel Borovička

149 Meteorologická staniční síť ČHMÚ v roce 2020

Pavel Lipina – Miroslav Řepka – Veronika Šustková

Meteorological
Bulletin

Český
hydrometeorologický
ústav



136 Meteorological drought in 1971–2020 in the Czech Republic defined by the combined SPEIc drought index

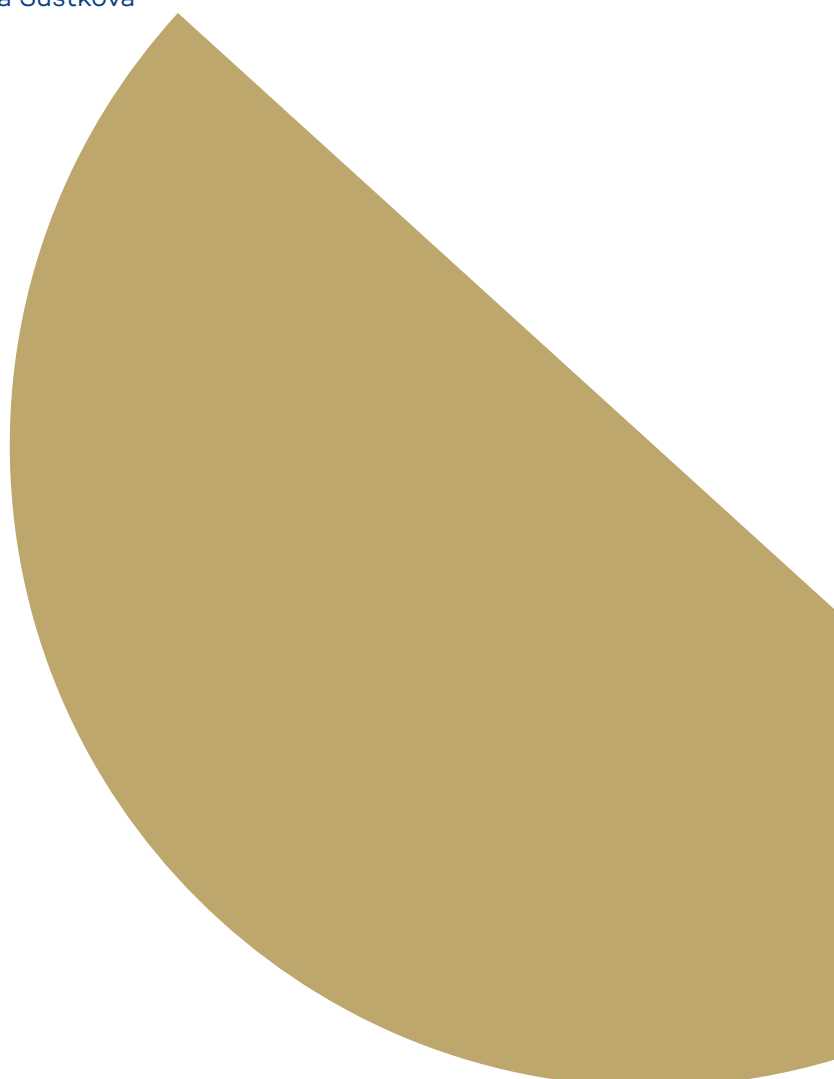
Veronika Oušková – Martin Možný – Vojtěch Vlach – Lenka Hájková

141 Application of machine learning in fog prediction in the Czech Republic

Patrik Benáček – Pavel Borovička

149 CHMI meteorological station network in 2020

Pavel Lipina – Miroslav Řepka – Veronika Šustková



Rozšiřuje – Free booking:

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

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

Meteorologické sucho v letech 1971–2020 v České republice vymezené kombinovaným indexem sucha SPEIc

Meteorological drought in 1971–2020 in the Czech Republic defined by the combined SPEIc drought index

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

Český hydrometeorologický ústav
oddělení biometeorologických aplikací
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4
veronika.ouskova@chmi.cz

For the analysis of drought in the Czech Republic during the period 1971–2020, the combined SPEIc drought index has been used. This indicator was created by aggregating standardized precipitation evapotranspiration SPEI indices with a step of 1, 3, 6 and 24 months into one index. The index thus reflects short-term, medium-term and long-term droughts of varying weights. The analysis showed an increase in intensity and duration of drought. In particular, the decade 2011–2020 was exceptional due to the increased incidence of severe to extraordinary drought at both national and station levels, regardless of altitude. According to the average annual values of the SPEIc index for the Czech Republic, the years 2018, 2015, 2003 and 1973 have been the driest so far. The extraordinary drought occurred in August 2003, July and August 2015 and in August and November 2018. A statistically significant correlation was found between the SPEIc index and anomalies of the fraction of absorbed photosynthetically active radiation by vegetation (fAPAR) mainly in summer months.

KLÍČOVÁ SLOVA: sucho – intenzita sucha – doba trvání sucha – index SPEI – index SPEIc – fAPAR

KEYWORDS: drought – drought intensity – drought duration – SPEI index – SPEIc index – fAPAR

1. Úvod

Sucho ovlivňuje chod hospodářství, kvalitu lidských životů i produktivitu zemědělství, a je proto žádoucí kvantifikovat intenzitu a délku trvání jednotlivých epizod sucha. Tato potřeba vede k vývoji indexů sucha. Vitalita vegetačního poros-

tu na pevnině je limitována především charakterem srážek (Procházka et al. 2003). Základním faktorem indexů je proto hodnocení množství srážek a jejich distribuce v čase, některé z indexů však pracují i s dalšími prvky. Standardizovaný srážkový evapotranspirační index SPEI (Standardised Precipitation Evapotranspiration Index) definuje Vicente-Serrano et al. (2010) jako klimatický index sucha založený na počítání odchylek mezi srážkou a potenciální evapotranspirací (tj. výparem z volných ploch i z vegetace) od normálu. Zahřnutím teploty jakožto zásadního faktoru pro určení míry evapotranspirace se odlišuje od matematicky podobného a široce užívaného standardizovaného srážkového indexu SPI (McKee et al. 1993). Autoři indexu SPEI popisují úskalí odhadu míry evapotranspirace, avšak zároveň vysvětlují zásadní roli evapotranspirace při rozvoji zemědělského sucha, čímž zdůrazňují potřebu zahrnout evapotranspiraci pro odhady míry sucha, obzvláště v situaci, kdy se evapotranspirace odlišuje od svého dlouhodobého průměru, tj. příkladně v době klimatických změn spojených se změnou teploty. Růst teploty na lokální i globální úrovni i pozorované dopady těchto změn na rostlinstvo jsou popsány řadou publikací (např. Bauer et al. 2014; Cleland et al. 2007; Možný et al. 2013; Stocker et al. 2013).

Index SPEI je počítán pro různé časové škály (1–48 měsíců), přičemž zvolený časový rozsah ovlivňuje výsledek a jeho interpretaci. Časoprostorová analýza sucha v ČR v období 1961–2012 (Brázdil et al. 2015) ukazuje, že výskyt krátkodobých epizod (SPEI-1) je na našem území běžný, zatímco dlouhodobější sucho (zde SPEI-12) se zpravidla vyskytuje na menším podílu stanic. Zřejmý je také časový posun – krátkodobé epizody sucha obvykle kulminují jindy než epizody dlouhodobé, což je odrazem použité metody výpočtu, kdy hodnota indexu v daném měsíci silně závisí na situaci v měsících předchozích. Odlišné projevy indexu SPEI v různých časových škálách zhoršují interpretaci jeho výsledků, a snižují tak jeho využití pro prezentaci míry sucha široké veřejnosti. Cílem tohoto článku je představit a ověřit využitelnost agregovaného výpočtu indexu SPEI zahrnujícího souhrnně různé časové škály (SPEI-1, SPEI-3, SPEI-6 a SPEI-24) tak, aby výsledkem byl jeden komplexní index, do nějž se promítá různou vahou sucho krátkodobé, střednědobé i dlouhodobé. Metoda vychází z agregovaného indexu SPEI využívaného americkou vědeckou vládní agenturou NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), je však dále adaptovaná tak, aby zohlednila také dlouhodobé sucho.

2. Metodika, vstupní data, způsob řešení

Index SPEI byl pro jednotlivá období počítán jako rozdíl srážky a potenciální evapotranspirace (tj. maximálního výparu z vodních ploch, půdy a vegetace) vztažený k dlouhodobému průměru 1981–2010 pro 1měsíční (SPEI-1), 3měsíční (SPEI-3), 6měsíční (SPEI-6) a 24měsíční (SPEI-24) krok. Normál 1981–2010 byl zvolen jako výchozí z několika důvodů: hodnoty tohoto období nejlépe odpovídají průměru za celé sledované období a nejsou ovlivněny extrémním desetiletím 2011–2020, u něhož navíc nejsou za celé období k dispozici zcela validovaná data, neboť pro rok 2020 byly v době přípravy článku k dispozici pouze operativní hodnoty. Hodnota kombinovaného SPEI používaná v článku vznikla váženým průměrem hodnot SPEI-1, SPEI-3, SPEI-6 a SPEI-24 pomocí vzorce:

$$\text{SPEIc} = 0,2 \cdot \text{SPEI1} + 0,25 \cdot \text{SPEI3} + 0,35 \cdot \text{SPEI6} + 0,2 \cdot \text{SPEI24} \quad (1)$$

Pro klasifikaci sucha byla využita tab. 1. Potenciální evapotranspirace byla počítána podle metody Hargreaves-Samani (Júnior et al. 2019). K výpočtu byla použita data ze 110 meteorologických stanic Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), z nichž 41 leží v nadmořské výšce do 350 m n. m., 49 stanic se nachází v nadmořské výšce 350–650 m a 20 stanic leží nad 650 m n. m. Pro každou stanici byla vypočtena hodnota indexu SPEIc klouzavě v měsíčním běhu pro období 1971–2020. Do některých výpočtů vstoupily celorepublikové hodnoty SPEIc – ty byly počítány z celorepublikových průměrů hodnot meteorologických prvků naměřených ve sledovaných stanicích, nikoliv jako průměr výsledných SPEIc pro jednotlivé stanice.

Pro hodnocení dopadů sucha na vegetaci byly využity anomálie frakce absorbovaného fotosynteticky aktivního záření (fAPAR) ze satelitního pozorování Copernicus (SENTINEL-3/OLCI) s rozlišením 1 km. Hodnota fAPAR je používána jako ukazatel stavu a vývoje vegetace. Jedná se o část slunečního záření ve fotosynteticky aktivní radiční spektrální oblasti (400 až 700 nanometrů), které je absorbováno rostlinami v procesu fotosyntézy. Často nahrazuje index NDVI (Normalizovaný rozdílový vegetační index), fAPAR

Tab. 1 Kategorie vláhové bilance podle indexu SPEIc.

Table 1. Categories of moisture balance according to the SPEIc index.

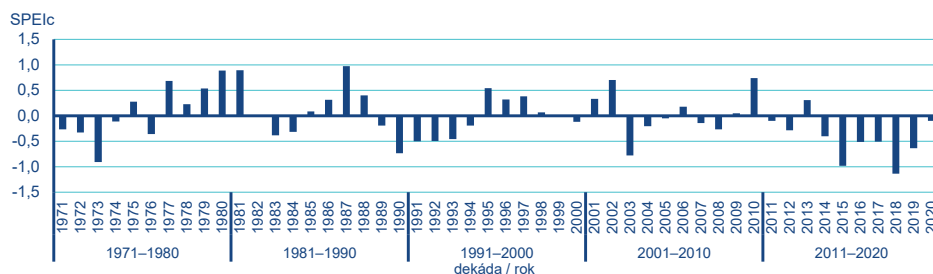
Kategorie	Interval SPEIc / percentily
mimořádné sucho	–3 až –1,7 / 0–5
silné sucho	–1,1 až –1,7 / 6–10
mírné sucho	–0,5 až –1,1 / 11–30
normální stav	1 až –0,5
mírné vlhko	1 až 1,7
silné vlhko	1,7 až 3

patří mezi základní klimatické proměnné uznané Globálním systémem pro pozorování klimatu (GCOS – Global Climate Observing System). Klimatologická data byla použita z databáze ČHMÚ CLIDATA. Analýza vztahu mezi hodnotami indexu SPEIc a hodnotami indexu fAPAR byla provedena pomocí lineární regrese pro měsíce březen až září v rozmezí let 1999–2019. Data SPEIc byla pro účely zjištění vazby mezi SPEIc a fAPAR počítána pouze z dat z meteorologických stanic vyskytujících se do výšky 750 m n. m. K tomuto kroku bylo přistoupeno z důvodu předpokládaného odlišného vývoje vegetace v nejvyšších polohách. Staniční hodnoty indexu SPEIc byly interpolovány na krajské průměry tak, aby korespondovaly s daty fAPAR (vypočítanými rovněž pro úroveň krajů).

3. Výsledky a diskuse

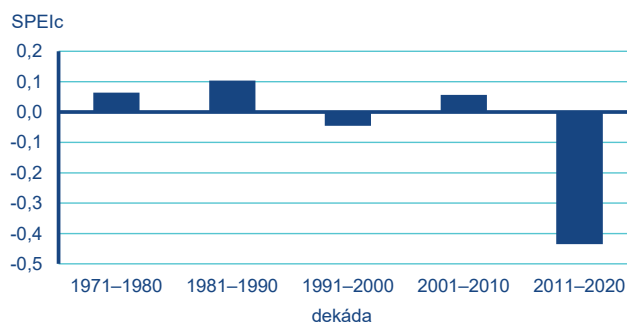
3.1 Identifikace sucha indexem SPEIc v období 1971–2020

Průměrné roční hodnoty indexu SPEIc v období 1971–2020 za celou ČR se pohybovaly v rozmezí hodnot od –1,13 do 0,98 (obr. 1). Nejsušší byly roky 2018, 2015, 1973 a 2003, naopak nejvlhčí 1987, 1981, 1980 a 2010. Ze souhrnného srovnání desetiletí (obr. 2) vycházelo jako nejsušší desetiletí 2011–2020 (–0,43), jehož hodnota více než osmkrát převyšovala průměrnou hodnotu období 1971–2020 (–0,05). Naopak nejvlhčí desetiletí bylo 1981–1990 (0,10). Růst sucha v desetiletí 2011–2020 souvisí především s rostoucím trendem výparu (Možný et al. 2020).



Obr. 1 Kolísání průměrného ročního indexu SPEIc pro Českou republiku v období 1971–2020.

Fig. 1. Fluctuations in the average annual SPEIc index for the Czech Republic in the 1971–2020 period.

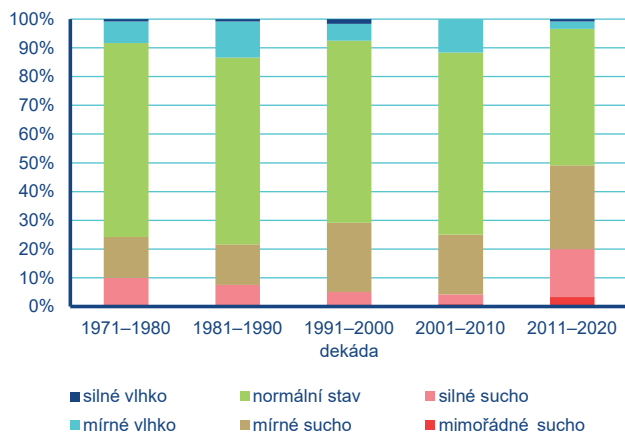


Obr. 2 Průměrné hodnoty SPEIc v jednotlivých desetiletích 1971–2020 za Českou republiku.

Fig. 2. Average SPEIc values in individual decades of the 1971–2020 period for the Czech Republic.

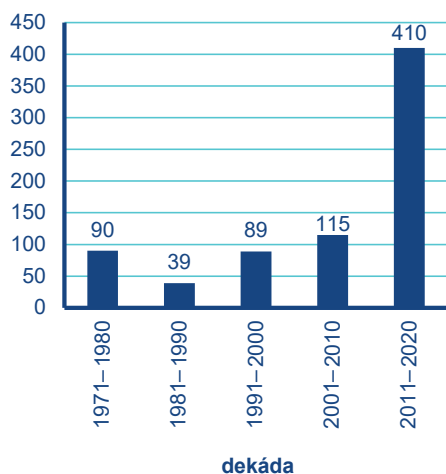
3.2 Výskyt stavu mimořádného sucha v období 1971–2020

Na celorepublikové úrovni se vyskytlo mimořádné sucho v letech 1971–2020 jen pětkrát, a to v srpnu 2003, v červenci a v srpnu 2015 a v srpnu a listopadu roku 2018 (podrobněji viz kapitola 3.4). Nejvyšší podíl stavu sucha ve všech stupních (tj. mírné, silné i mimořádné) se vyskytoval v desetiletí 2011–2020, viz obr. 3.



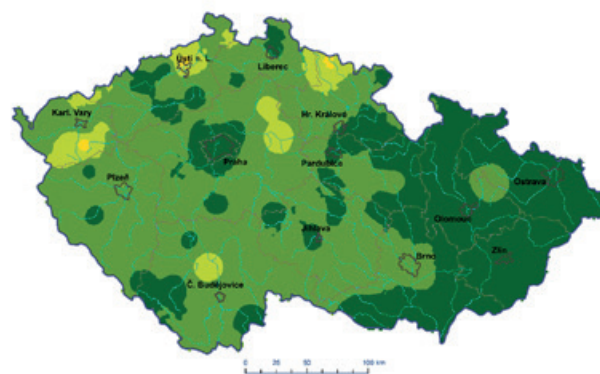
Obr. 3 Podíl kategorií vláhové bilance vymezené podle průměrného SPEIc za Českou republiku v období 1971–2020.
Fig. 3. Share of moisture balance categories defined according to the average SPEIc for the Czech Republic in the 1971–2020 period.

Na úrovni jednotlivých stanic klesla SPEIc pod hranici stavu mimořádného sucha častěji. Nejvyšší počet výskytů stavu mimořádného sucha (obr. 4) byl patrný v desetiletí 2011–2020, a to téměř pětkrát častěji, než byl průměr za období 1971–2010. Zatímco v desetiletí 2011–2020 byl počet výskytů mimořádného sucha (násobek počtu měsíců a počtu meteorologických stanic v daném stavu) 410, průměrný počet výskytu téhož v období 1971–2010 byl 83,25. Opačným extrémem bylo desetiletí 1981–1990, v něm byl počet výskytů 39. Prostorovou distribuci výskytů stavu mimořádného sucha v jednotlivých desetiletích dokumentuje obr. 5, z něhož je patrná výrazná abnormalita desetiletí 2011–2020.



Obr. 4 Počet výskytů mimořádného sucha na vybraných stanicích v jednotlivých desetiletích období 1971–2020.
Fig. 4. Number of occurrences of extreme drought at selected stations in individual decades of the 1971–2020 period.

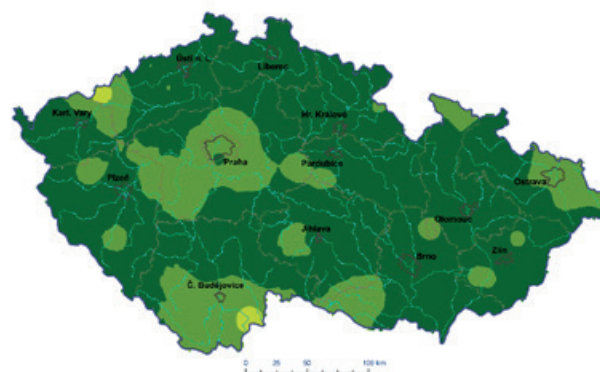
1971–1980



Počet měsíců ve stavu mimořádného sucha

0 1–2 2–4 nad 4

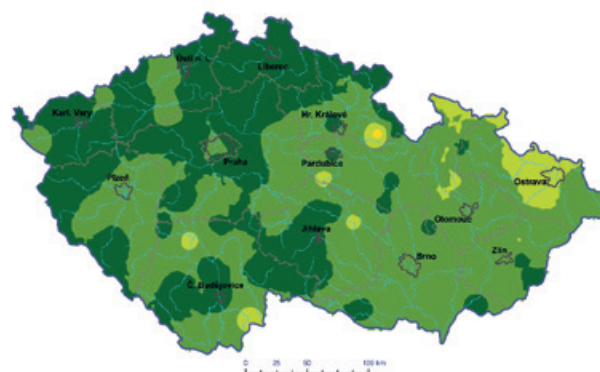
1981–1990



Počet měsíců ve stavu mimořádného sucha

0 1–2 2–3

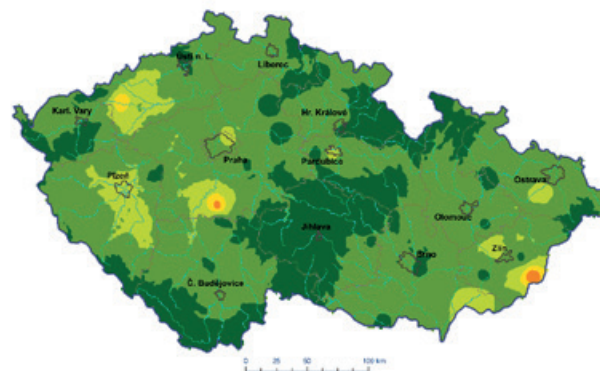
1991–2000



Počet měsíců ve stavu mimořádného sucha

0 1–2 2–4 4–5

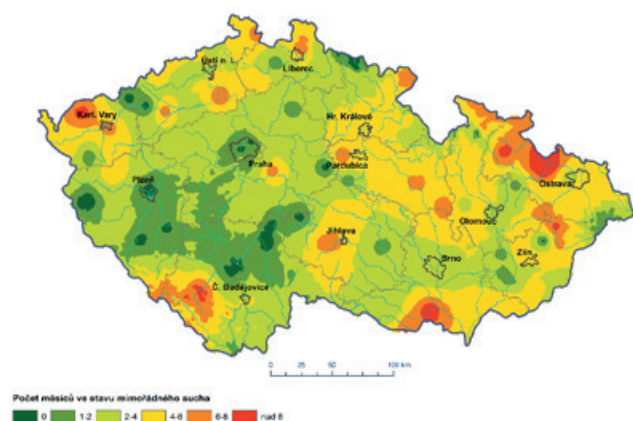
2001–2010



Počet měsíců ve stavu mimořádného sucha

0 1–2 2–4 4–6 6–8

2011–2020

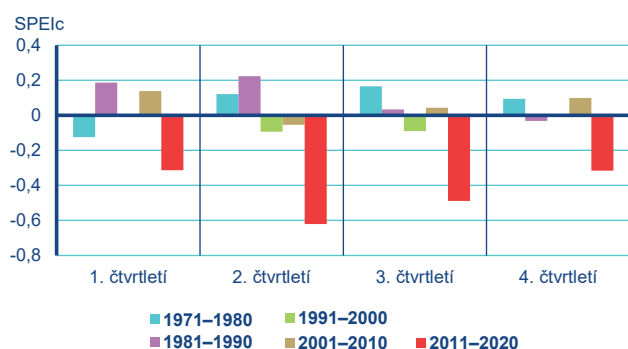


Obr. 5 Počet měsíců s výskytem mimořádného sucha podle SPEIc v jednotlivých desetiletích období 1971–2020.

Fig. 5. Number of months with the occurrence of extreme drought according to SPEIc in individual decades of the 1971–2020 period.

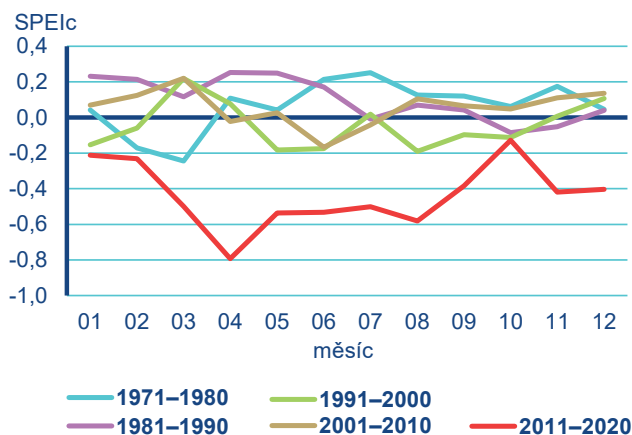
3.3 Sezónní dynamika indexu SPEIc

Průměrný index SPEIc za období 1971–2020 za celou ČR měl sezónní charakter. Nejvyšší hodnoty byly dosaženy v lednu až březnu a v říjnu až prosinci (1. a 4. čtvrtletí), naopak nejnižší v dubnu až červnu a červenci až září (2. a 3. čtvrtletí). Zatímco v období 1971–2010 bylo nejsušší 3. čtvrtletí roku, v období 2011–2020 2. čtvrtletí (obr. 6). Podrobnější pohled nabízí obr. 7 ukazující dynamiku indexu SPEIc v jednotlivých měsících roku. I zde vychází desetiletí 2011–2020 v rámci sledovaného období jako výrazně suché, nejzřetelněji pak v měsíci dubnu, kdy došlo k velmi výraznému snížení hodnoty SPEIc oproti ostatním dekádám a duben se stal nejsušším měsícem roku. Měsíc, který se v rámci této dekády nejvíce přiblížil normálu, byl říjen.



Obr. 6 Průměrné hodnoty indexu SPEIc za celou Českou republiku v jednotlivých čtvrtletích roku v období 1971–2020.

Fig. 6. Average values of the SPEIc index for the whole Czech Republic in individual quarters of the year in the 1971–2020 period.

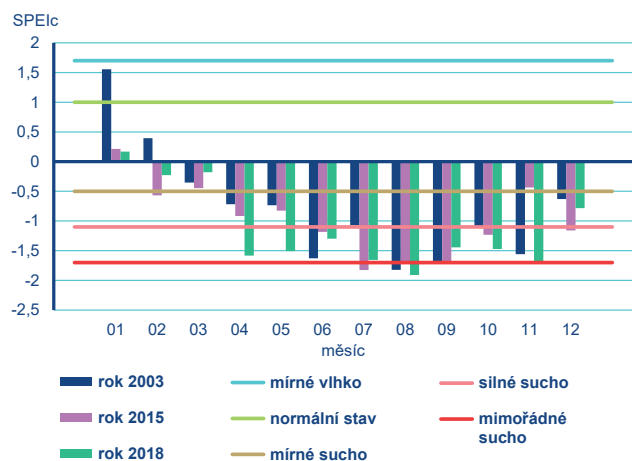


Obr. 7 Kolísání průměrných měsíčních hodnot SPEIc za Českou republiku v jednotlivých desetiletích 1971–2020.

Fig. 7. Fluctuations in the average monthly values of SPEIc for the Czech Republic in individual decades of the 1971–2020 period.

3.4 Mimořádné sucho v letech 2003, 2015 a 2018

Za celé hodnocené období (1971–2020) se vyskytl dle indexu SPEIc pouze pětkrát stav mimořádného sucha na celorepublikové úrovni. Došlo k tomu v srpnu 2003, v červenci a srpnu 2015 a v srpnu a listopadu 2018 (detailní průběh těchto let viz obr. 8).

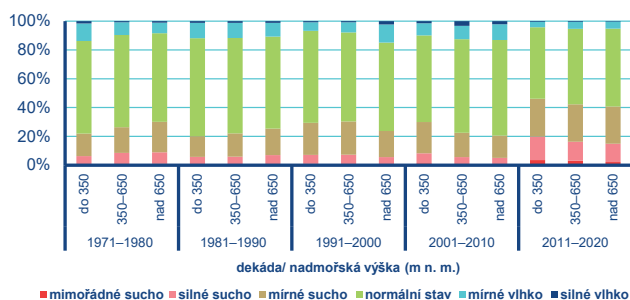


Obr. 8 Průměrné hodnoty indexu SPEIc za Českou republiku v jednotlivých měsících roku 2003, 2015 a 2018.

Fig. 8. Average values of the SPEIc index for the Czech Republic in individual months of 2003, 2015 and 2018.

3.5 Rozložení SPEIc dle nadmořské výšky

Srovnání projevů indexu SPEIc počítaných samostatně pro stanice z různých nadmořských výšek (do 350 m, 350–650 m, nad 650 m) ukázalo, že mezi oblastmi z různých nadmořských výšek existují dílčí rozdíly. Jednoznačně nejsušším desetiletím ve všech nadmořských výškách bylo desetiletí 2011–2020, kdy došlo k nárůstu sucha ve všech nadmořských výškách (obr. 9). Nárůst sucha v České republice v různých nadmořských výškách dokládá i Potop et al. (2012).



Obr. 9 Rozložení jednotlivých kategorií sucha a vlhka podle měsíčních SPEIc ve vybraných nadmořských výškách České republiky v období 1971–2020.

Fig. 9. Distribution of individual categories of drought and humidity according to monthly SPEIc at selected altitudes of the Czech Republic in the 1971–2020 period.

3.6 Vazba mezi indexem SPEIc a stavem vegetace podle fAPAR

Nejtěsnější lineární vazba mezi indexem SPEIc a indexem fAPAR (vyjádřená pomocí korelačního koeficientu) byla patrná v měsících červen, červenec a srpen (tab. 2). Naopak v květnu nebyla zjištěna statisticky průkazná vazba mezi indexem SPEIc a indexem fAPAR. Květnová hodnota fAPAR zřejmě přesněji odráží častější výskyt srážek v květnu, které bezprostředně ovlivňují stav vegetace. Naproti tomu odezva indexu SPEIc je pomalejší, neboť do něj jsou zahrnuty i dlouhodobé hodnoty. Schopnost vegetace regenerovat po suchém období je v dubnu a květnu velmi rychlá a není tolik vázaná na dlouhodobou situaci. Při analýze na úrovni reakce jednotlivých společenstev, druhů či konkrétních populací by se mohly ale vyjevit hlubší vazby.

Tab. 2 Vazba mezi indexem SPEIc a fAPAR.

Table 2. Relationship between the SPEIc index and fAPAR.

Měsíc	Korelační koeficient	Statisticky průkazné na hladině významnosti 95 %
březen	0,35	ano
duben	0,45	ano
květen	0,09	–
červen	0,65	ano
červenec	0,62	ano
srpen	0,61	ano
září	0,42	ano

4. Závěr

Sloučením dat z indexů SPEI-1, SPEI-3, SPEI-6 a SPEI-24 vznikl souhrnný index SPEIc usnadňující základní orientaci v problematice sucha osobám z řad široké veřejnosti. Hodnoty indexu SPEIc jsou využitelné pro analýzu sucha na celorepublikové i regionální úrovni. Využití indexu SPEIc pro hodnocení sucha v období 1971–2020 ukázalo jedinečnost desetiletí 2011–2020, které bylo výjimečně zvýšeným výskytem mimořádného sucha na celorepublikové i staniční úrovni. Nejnížší roční hodnoty indexu SPEIc na celorepublikové úrovni se vyskytly v letech 2018, 2015, 2003 a 1973 – tyto roky se tak jeví jako nejsušší. Za celé hodnocené období (1971–2020) nastal dle indexu SPEIc pouze pětkrát

stav mimořádného sucha na celorepublikové úrovni. Bylo tomu v srpnu 2003, červenci a v srpnu 2015 a v srpnu a listopadu 2018.

Byla zjištěna statisticky významná korelace mezi indexem SPEIc a fAPAR především v letních měsících. Naopak na jaře je tato vazba výrazně slabší. Zemědělské plodiny pravděpodobně rychleji překonají negativní následky jarního sucha (v případě dostatečného množství srážek po ukončení suché epizody) než sucha v létě.

Poděkování:

Práce vznikla za podpory TAČR SSO2030040, PERUN – Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku.

Literatura:

- BAUER, Z., BAUEROVÁ, J., LIPINA, P., PALÁT, M., 2014. Vliv vývoje regionálního klimatu na ekosystém lužního lesa v letech 1951–2012. Část II – keře. *Meteorologické zprávy*, roč. **67**, s. 141–145. ISSN 0026-1173.
- BŘÁZDIL, R., TRNKA, M. et al., 2015. Historie počasí a podnebí v českých zemích XI: Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost. Brno: Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v. v. i. ISBN 978-80-87902-11-0.
- CLELAND, E. E., CHUINE, I., MENZEL, A., MOONEY, H. A., SCHWARTZ, M. D., 2007. Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology & Evolution*, roč. **22** (7), s. 357–65. Doi: 10.1016/j.tree.2007.04.003.
- DE SOUZA JÚNIOR, R., FRAISSE, C. W., CERBARO, V. A., KARREI, M. A. Z., GUINDIN-GARCIA, N., 2019. Evaluation of the Hargreaves-Samani Method for Estimating Reference Evapotranspiration with Ground and Gridded Weather Data Sources. *Applied Engineering in Agriculture*, roč. **35** (5), s. 823–835. Doi: 10.13031/aea.13363.
- McKEE, T. B., DOESKEN, N. J., KLEIST, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time steps. In: Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, January 17–22, s. 179–184.
- MOŽNÝ, M. et al., 2013. Změny klimatu, fenologie a ekosystémové procesy. Praha: Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-86690-64-3.
- MOŽNÝ, M., TRNKA, M., VLACH, V., VIZINA, A., POTOPOVA, V., ZAHRADNICEK, P., STEPANEK, P., HAJKOVA, L., STAPONITES, L., ZALUD, Z., 2020. Past (1971–2018) and future (2021–2100) pan evaporation rates in the Czech Republic. *Journal of Hydrology*, roč. **590** (5), 125390. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125390.
- POTOP, V., MOŽNÝ, M., SOUKUP, J., 2012. Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, roč. **156**, s. 121–133. Doi: 10.1016/j.agrfor-met.2012.01.002.
- PROCHÁZKA, S., MACHÁČKOVÁ, I., KREKULE J., ŠEBÁNEK, J. et al., 2003. Fyziologie rostlin. Praha: Academia. ISBN 80-200-0586-2.
- STOCKER, T. F., QIN, D., PLATTNER, G.-K., TIGNOR, M., ALLEN, S. K. et al., 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. Doi: 10.1017/CBO9781107415324.
- VINCENTE-SERRANO, S. M., BEGUERÍA, S., LÓPEZ-MORENO, J. I., 2010. A multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate*, roč. **23**, s. 1696–1718. Doi: 10.1175/2009JCLI2909.1.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Stanislava Kliegrová, Ph.D., RNDr. Pavol Nejedlík, CSc.

Aplikace strojového učení při předpovědi výskytu mlh na území ČR

Application of machine learning in fog prediction in the Czech Republic

Patrik Benáček

Český hydrometeorologický ústav
oddělení vývoje předpovědní služby
Na Šabatce 2050/17
143 06 Praha 4
✉ patrik.benacek@chmi.cz

Pavel Borovička

Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 2050/17
143 06 Praha 4
✉ pavel.borovicka@chmi.cz

Ground fog presents a potential danger, especially in traffic, and its early warning can save not only money but also human lives. The prediction of the fog occurrence is currently based on a combination of outputs from numerical weather prediction models and a subjective evaluation of the situation by an experienced meteorologist. The aim of this contribution is to present a new approach using available meteorological data in the fog occurrence prediction based on machine learning methods. For this purpose, we use the classification algorithm of the decision tree ensemble, which is logically close to the human way of thinking. Station measurements and numerical predictions from the ALADIN/CZ model for the period 2016 to 2018 were used to learn the model. The evaluation of results for 2019 showed that the machine learning model provides more accurate point prediction of fog up to 36 hours compared to the raw numerical model. The proposed machine learning model can be easily applied to the operation of meteorological forecasting, where it can be used not only as a basis for creating forecasts, but also as an objective tool for identifying the causes of fog.

KLÍČOVÁ SLOVA: mlhy přízemní – učení strojové – klasifikace dat – předpověď počasí numerická

KEYWORDS: ground fogs – machine learning – data classification – numerical weather prediction

1. Úvod

Výskyt přízemní mlhy není v České republice (ČR) ojedinělou záležitostí (Tolasz et al. 2007). Jedná se o shluk vodních kapiček (popř. ledových krystalků) v blízkosti zemského povrchu, které snižují vodorovnou dohlednost pod 1 km, a proto může být potenciálním nebezpečím pro dopravu, zejména automo-

bilovou, leteckou nebo lodní. V zimním období mohou mlhy při zemi namrzat, a způsobit tak množství nehod, které zaskočí nejen řidiče a dispečery, ale někdy také i zkušené meteorology. Proto je důležité se zabývat zlepšováním detekce mlh, a zejména pak její budoucí předpovědi.

Mlhy lze kategorizovat podle různých kritérií jako např. podle podmínek a způsobu vzniku, místa vzniku, složení, nebo podle stupně intenzity dle dohlednosti (Vysoudil 2004). V této studii jsme se drželi posledního kritéria a výskyt mlhy definujeme jako snížení dohlednosti při zemi na méně než 1 km.

Předpověď výskytu mlhy lze v principu rozdělit na statistickou, fyzikální a statisticko-fyzikální.

Statistická předpověď představuje základní statistiku výskytu mlh za delší časové období pro dané území či lokalitu. Četnost výskytu mlh se zaznamenává v klimatologii (Tolasz et al. 2007), avšak tuto statistiku lze velmi dobře uplatnit jako základní poměr (tj. pravděpodobnost) výskytu mlhy pro danou lokalitu v předpovědi. Například na Pradědu a Sněžce je průměrný počet dní s mlhou přibližně 300 dní v roce (Tolasz et al. 2007). Pravděpodobnost výskytu mlhy v této lokalitě je tedy 82 %, což lze použít jako základní odhad pro budoucí předpověď.

Fyzikální předpověď je reprezentována numerickými modely pro předpověď počasí, které jsou založeny na fyzikálních rovnicích. Tyto modely vytváří předpovědi meteorologických prvků (např. přízemní teplota, vlhkost, tlak aj.), které mohou být následně použity meteorologem jako příznaky (prediktory) pro odhad budoucího výskytu mlh. Některé modely poskytují přímo diagnostiku dohlednosti při zemi, která bývá často založena na zjednodušujících matematických formulích.

Statisticko-fyzikální předpověď je založena na kombinaci odhadů výskytu mlhy z obou předchozích přístupů. Existují dva způsoby jak zkombinovat obě informace – objektivní a subjektivní. Subjektivní přístup používá každý den provozní meteorolog, který má v povědomí lokální režimy počasí v ČR (statistická předpověď), disponuje znalostmi fyzikálních procesů v atmosféře, na jejich základě vybere aktuální příznaky z numerických předpovědních modelů a opraví svůj počáteční odhad. Objektivní přístup je analogický subjektivnímu s tím rozdílem, že korekce počátečního odhadu (tj. statistické předpovědi) pomocí prediktorů z numerické předpovědi je řízena předem naučenými pravidly. Tato pravidla si lze představit jako např. předem naučené váhy prediktorů u statisticko-regresních modelů.

Cílem této práce je vytvořit statisticko-fyzikální předpověď výskytu mlhy na území ČR s využitím dostupných dat z numerických předpovědí a staničních meteorologických měření. K tomuto účelu využijeme objektivního přístupu, založeného na metodách strojového učení (SÚ), které byly již v minulosti úspěšně aplikovány v předpovědi dohlednosti při zemi, např. v práci Ortega et al. (2019), Bari (2018) nebo Zhu et al. (2017). Konkrétně použijeme algoritmus ansámblu rozhodovacích

stromů, označovaného v literatuře jako náhodný les (Breiman 2001). Tuto metodu lze aplikovat dvěma způsoby – jako klasifikační, nebo regresní model. Klasifikační model slouží ke kategorické předpovědi (ano/ne) a jeho výstupem je pravděpodobnost výskytu jevu. Oproti tomu regresní model slouží k předpovědi spojitě veličiny jako např. dohlednosti při zemi. V této práci se seznámíme s dosavadními výsledky klasifikačního modelu. Vývoj regresního modelu je na Oddělení vývoje předpovědní služby v plánu na rok 2021.

Klasifikační model náhodného lesa používáme jako prostředek k nalezení vazby mezi vstupními prediktory a výskytem mlhy. Vstupními prediktory jsou numerické předpovědi z modelu Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Development International (ALADIN/CZ) provozovaného na Českém hydrometeorologickém ústavu (ČHMÚ). Výskyt mlhy diagnostikujeme na základě staničních měření dohlednosti. Model náhodného lesa „učíme“ na tréninkovém období a následně vyhodnocujeme kvalitu naučeného modelu vůči staničním měřením během tzv. testovacího období.

Tato práce si dává za úkol aplikovat objektivní statisticko-fyzikální přístup k předpovědi výskytu mlhy na území ČR, vyhodnotit přínos modelu oproti surovým numerickým předpovědím a nalézt vhodný způsob, jak začlenit tento typ předpovědi do současného provozu centrálního předpovědního pracoviště na ČHMÚ.

2. Vstupní data, metodika a způsob řešení

2.1 Vstupní data

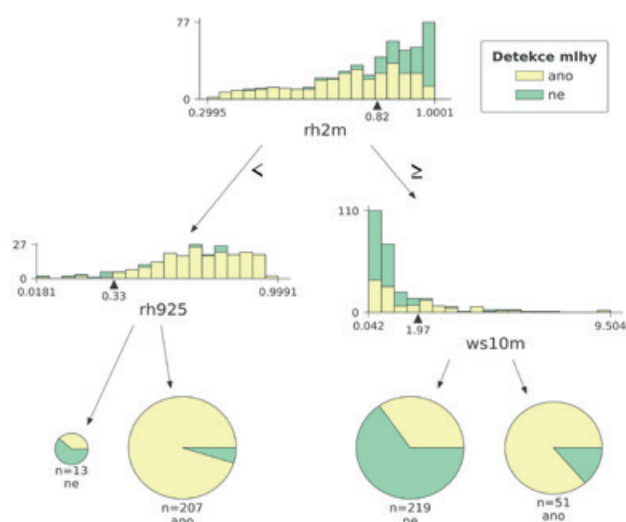
Používáme pozorování z 36 vybraných meteorologických stanic na území ČR (zdroj CLIDATA) a pole předpovědí z modelu ALADIN/CZ na území ČR (viz obr. 7) s horizontálním rozlišením 4,7×4,7 km a délkou předpovědi na 36 h po 3 h. Modelové předpovědi jsou dostupné z termínů analýzy 00:00, 06:00, 12:00 a 18:00 UTC. Vybrané meteorologické prvky u vstupních dat jsou popsány v tabulce 1. Staniční data zahrnují měření čtyř meteorologických prvků, model ALADIN/CZ poskytuje předpovědi pro 40 prvků, ze kterých jsme pro tuto studii vybrali deset nejvýznamnějších. Metodika výběru modelových prvků je popsána v kapitole 2.3. Vstupní data jsou nashromážděna za období 2016 až 2019 s časovým krokem 1 h.

2.2 Metodika

Rozhodovací strom (RS) je metoda velmi blízká strategii lidského rozhodování. Struktura rozhodovacího stromu se skládá z uzlů, hran a listů (obr. 1). Každý uzel obsahuje podmnožinu tréninkových dat, která jsou dále dělena podle tzv. příznaku (třídy nebo číselné dělicí hodnoty prediktora), po hraně do dalšího uzlu. Míra toho jak jsou v daném uzlu pomíchané různé kategorie cílové proměnné (např. výskyt mlhy ano/ne) se nazývá nečistota uzlu (angl. node impurity). Při budování stromu volíme v každém uzlu takový příznak, aby byl vážený součet nečistot v následných uzlech co nejmenší (viz. Dodatek A). Poslední uzel v RS se nazývá tzv. list. V principu lze uzly dělit tak dlouho, dokud nevytřídíme data do dále již nedělitelných homogenních skupin. Tento postup však může vést k „přeučení“ modelu na tréninkových datech, což vede ke snížení kvality předpovědi na datech nových. Abychom se vyvarovali přeučení modelu RF, je nutné regulovat komplexnost modelu na základě ladění parametrů modelu jako např. hloubka stromu determinující počet uzlů na rozhodovací cestě.

V praxi se používá ansámbl nezávislých rozhodovacích stromů, tzv. náhodný les (RF, z angl. Random Forest), který umožňuje zvýšit komplexnost modelu a zároveň zachovat stabilní kvalitu předpovědi. Nezávislost jednotlivých rozhodovacích stromů uvnitř RF je zajištěna technikou bagging (Breiman 1996), kde každý rozhodovací strom je „učení“ na podmnožině vstupních prediktorů a podmnožině vstupních dat. Implementace metody RF má v prostředí scikit-learn (Pedregosa et al. 2011) přibližně 13 ladících parametrů, z nichž v této studii byly laděny následující parametry:

- *n_estimators* (NES): počet rozhodovacích stromů v ansámbly
- *max_features* (MXF): podmnožina vstupních prediktorů (určuje nezávislost stromů)
- *max_samples* (MXS): podmnožina vstupních dat (určuje nezávislost stromů)
- *min_samples_leaf* (MSL): minimální množství dat v listu (určuje hloubku stromů)



Obr. 1 Schéma algoritmu klasifikačního rozhodovacího stromu aplikovaného pro případ 9hodinové předpovědi výskytu mlh na stanici Doksany (U1DOKS01). Pro názornost jsme použili tři vstupní prediktory (relativní vlhkost ve 2 metrech a v 925 hPa a rychlost větru v 10 metrech) a omezili hloubku stromu na dvě úrovně. Tréninkový soubor měření je dělen podle dělicích hodnot prediktora (černé trojúhelníčky) na dvě podmnožiny dat (tzv. uzly). Dělení probíhá iterativně na základě kritéria minimální nečistoty obou uzlů. Na ose y je vyznačen počet měření. Kruhové diagramy znázorňují četnost případů s výskytem (ano) a bez výskytu (ne) mlhy v posledních uzlech (tzv. listech). Poměr obou klasifikovaných tříd v listech determinuje pravděpodobnost výskytu mlhy při předpovědi modelu.

Fig. 1. Scheme of the decision tree classification algorithm for the case of fog occurrence prediction at the Doksany station. For clarity, the decision tree has been trained on three input predictors (relative humidity at 2 meters and at 925 hPa level, and wind speed at 10 meters) with its tree depth restricted to two levels. The training set is divided according to a splitting value of one of the predictors (black triangles) into two subsets of data (so-called nodes). The splitting is based on the impurity of the splitting nodes which should be minimal. The number of measurements is marked on the y-axis. The pie charts show the number of measurements with (yes) and without (no) the fog occurrence in the final nodes (so-called leaves). The ratio of the two classes in the leaves determines the probability of fog occurrence in prediction.

Tab. 1 Zkratky a popis prvků vstupních dat.

Table 1. Abbreviations and descriptions of input data parameters.

Prvek	Popis	Jednotky
Předpovědi modelu ALADIN/CZ		
rh2m	Relativní vlhkost ve 2 m	%
t2m	Teplota ve 2 m	K
tsurf	Teplota při zemi	K
ws10m	Rychlost větru v 10 m	m·s ⁻¹
ssr	Tok krátkovlnného záření směřujícího k povrchu kumulovaný za 3 h	W·m ⁻²
str	Tok dlouhovlnného záření směřujícího k povrchu kumulovaný za 3 h	W·m ⁻²
shf	Tok cítěného tepla směřujícího vzhůru od povrchu kumulovaný za 3 h	W·m ⁻²
rh925	Relativní vlhkost v 925 hPa	%
rh850	Relativní vlhkost v 850 hPa	%
visicld	Dohlednost vlivem oblačnosti a mlh ve 2 m	m
Staniční pozorování		
cli_rh2m	Relativní vlhkost ve 2 m	%
cli_ws10m	Rychlost větru v 10 m	%
cli_prec1h	Srážky kumulované za 1 h	mm
cli_vis2m	Dohlednost ve 2 m	m
Metadata		
orog	Nadmořská výška gridového bodu modelu	m
station_alt	Nadmořská výška stanice	m
hour	Denní doba předpovědi	h

2.3 Způsob řešení

Příprava vstupních dat

Pole předpovědi z modelu ALADIN/CZ jsou bilineárně interpolována do míst staničních pozorování. Při interpolaci nezohledňujeme rozdíl mezi modelovou orografií a nadmořskou výškou stanice. Následně je připravena diagnostika dichotomického výskytu mlh (ano/ne) na stanici, která je odvozena podle Guidarda a Tzanosové (2006). Tato diagnostika je založená na porovnání staničních měření s jejich prahovými hodnotami pro pozorované veličiny *cli_vis2m*, *cli_rh2m*, *cli_prec1h* a *cli_ws10m*. Soubor dat je doplněn o metadata polohy a nadmořské výšky stanice.

Velké množství prediktorů vede ke komplexnímu modelu RF, avšak může zvýšit šanci jeho přeučení na tréninkových datech a vést k jeho nižší kvalitě při aplikaci na nových datech. Proto jsme provedli předvýběr 10 nejvýznamnějších prediktorů z původních 40 prediktorů z modelu ALADIN/CZ. K výběru jsme použili strategii založenou na zjednodušeném modelu RF (Guido, Müller 2016), kde významnost prediktorů je založena na poklesu Giniho indexu (Dodatek A) v jednotlivých stromech pro každý prediktor. Hlavní výhodou tohoto přístupu je rychlost algoritmu a včetně zahrnutí interakcí mezi prediktory při jejich ohodnocení. Finální výběr 10 nejvýznamnějších prediktorů z ALADIN/CZ při předpovědi výskytu mlhy je popsán v tab. 1.

Tvorba modelu

Model RF učíme v tréninkovém období 2016 až 2018 a jeho kvalitu testujeme v období 2019. Parametry modelu NES, MXF, MXS a MSL jsou laděny během učení modelu tzv. *k*-násobnou křížovou validací (Khan, Coulibaly 2006). Tato metoda, označovaná rovněž jako *k*-násobná příčná křížová validace (*k*-CV), řeší problém překryvu validačních sad při ladění parametrů modelu (obr. 2). Tréninkový soubor dat je rozdělen na *k* částí, přičemž je vždy jedna část použita na validaci (ladění) a zbylých *k*-1 částí je využito na učení modelu a postup se opakuje iterativně tak, že každá část je použita pro validaci právě jednou. V našem případě používáme 5-CV, tj. 4/5 dat jsou použity k učení modelu a 1/5 k validaci modelu a celý proces opakujeme 5krát. Validace modelu probíhá na nezávislé podmnožině dat, což je základní předpoklad pro optimální odhad parametrů modelu.

Iterace 1	val	train	train	train	train	test
Iterace 2	train	val	train	train	train	test
Iterace 3	train	train	val	train	train	test
Iterace 4	train	train	train	val	train	test
Iterace 5	train	train	train	train	val	test

Obr. 2 Schéma 5násobné křížové validace, které je využito k ladění parametrů modelu náhodného lesa. Celkový soubor dat je rozdělen na tréninkový a testovací. Během každé iterace (řádky) se 4/5 dat z tréninkového souboru použije k učení modelu a zbytek k jeho validaci. Model je tak validovaný na 5 nezávislých podmnožinách dat.

Fig. 2. Scheme of the 5-fold cross validation method used for tuning the random forest model. The total data set is divided into training and testing data. During each iteration (rows), 4/5 of the training data is used to learn the model and the rest for its validation. The model is thus validated on 5 independent subsets of data.

Při učení modelu bereme všechna staniční data dohromady, a tudíž vzniká obecný model. Tento model RF lze aplikovat na jakýkoli uzlový bod v doméně modelu ALADIN/CZ, avšak kvalita předpovědi bude záviset na vzdálenosti uzlového bodu od stanice a rozdílem mezi skutečnou a modelovou (viz. Diskuze). Pro každou předpovědní délku (+3, +6, +12, ..., +36 h) pak učíme specifický model RF, tj. celkem máme k dispozici 12 nezávislých modelů. Každý model se učí zhruba na 21,000 případech a testuje se na 5,000 případech. Zajistili jsme v souboru dat přibližně vyrovnané rozdělení počtu případů s výskytem a bez výskytu mlhy. Výstupem modelu RF je pravděpodobnost výskytu mlhy v rozmezí hodnot 0 až 1.

Vyhodnocení předpovědi

Kvalitu předpovědi modelu RF vyhodnocujeme oproti staniční diagnostice výskytu mlhy za období 2019. Dále je vyhodnocen přínos RF modelu oproti numerické předpovědi. Model ALADIN/CZ poskytuje (od roku 2019) předpověď dohlednosti vlivem oblačnosti a mlh (produkt *visicld*), který je podrobněji popsán v Dombrowski et al. (2018) a Dodatku 7 tohoto článku. Pravděpodobnost výskytu mlhy (VISCLDP) jsme odvodili pro tento produkt podle rovnice (1):

$$\text{VISCLDP} = \begin{cases} 0, & \text{visicld} > 1\,000\text{ m} \\ 1, & \text{visicld} \leq 1\,000\text{ m} \end{cases} \quad (1)$$

Prahová hodnota produktu dohlednosti *visicld* je volena konzistentně s diagnostikou staničního výskytu mlh podle Guidarda a Tzanosové (2006). Výsledek binárního klasifikačního modelu RF může spadat do jedné ze čtyř kategorií, jak ukazuje následující tabulka:

	P_+	P_-	Celkem
R_+	TP	FN	N_{R+}
R_-	FP	TN	N_{R-}
Celkem	N_{P+}	N_{P-}	N

Kde P_+ a P_- označují pozitivní a negativní předpověď výskytu mlhy a R_+ a R_- označují pozitivní a negativní měření (realitu). Kategorie TP/TN označuje správně klasifikované případy jako pozitivní/negativní, FP/FN označuje chybně klasifikované případy jako pozitivní/negativní. Celkový počet případů pozitivních (negativních) předpovědí je N_{P+} , N_{P-} a analogicky pro měření. Kvalitu předpovědi vyhodnocujeme na základě systematické chyby v klasifikaci pozitivních případů (BIAS) a F1 skóre podle rovnic (2–5):

$$BIAS = \frac{N_{P+}}{N_{R+}} \quad (2)$$

$$F1 = 2 \cdot \frac{precision \cdot recall}{precision + recall} \quad (3)$$

$$recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

$$precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (5)$$

Skóre BIAS poskytuje informaci o míře nadhodnocení či podhodnocení počtu pozitivních případů, tj. s výskytem mlhy. F1 skóre poskytuje komplexní hodnocení přesnosti modelu na základě rovnováhy v klasifikační přesnosti (*precision*) a výtěž-

nosti (*recall*). F1 počítáme zvlášť pro každou třídu výskytu mlh (0 a 1) a výsledná hodnota je získána jako jejich vážená střední hodnota. Váha závisí na počtu pozitivních výskytů v každé třídě. Tento přístup penalizuje model, který má větší chybu u minoritních tříd.

3. Výsledky a jejich zhodnocení

3.1 Ladění modelu

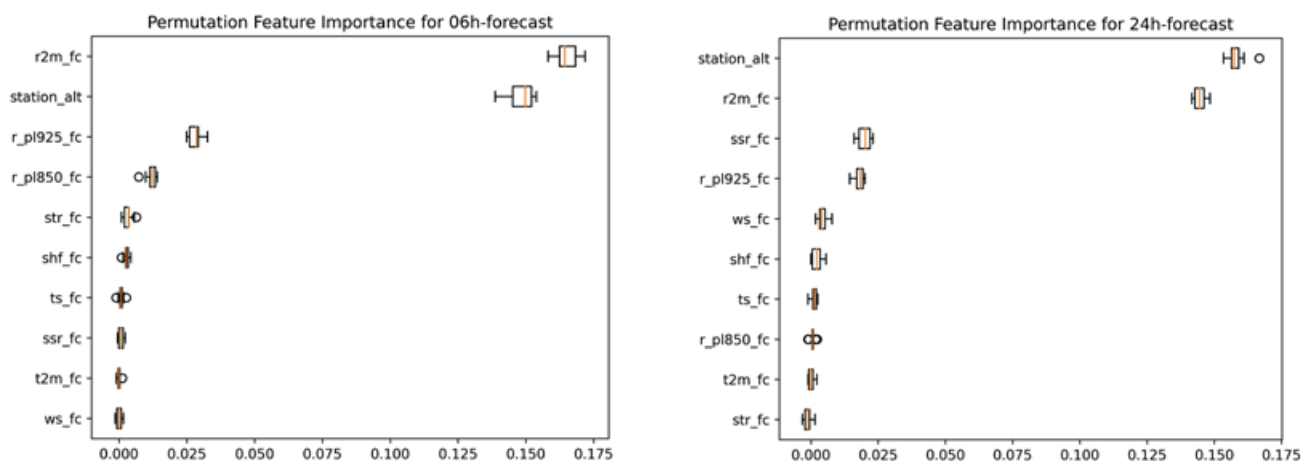
Klasifikační model RF jsme použili ve výchozím nastavení parametrů podle Pedregosa et al. (2011). Následující parametry modelu jsou použity k ladění modelu:

- NES: 100, 300, 500
- MXF: 0.5, 0.7
- MXS: 0.2, 0.5
- MSL: 5, 10, 50

Optimální hodnoty parametrů modelu hledáme pomocí 5-CV tak, že minimalizují chybovou funkci při klasifikaci modelu. Chybová funkce je reprezentována hodnotou F1-skóre. Ladění parametrů modelu probíhá nezávisle pro každou délku předpovědi. Ukázalo se, že u všech 12 modelů RF jsou optimální hodnoty parametrů: NES 300–500, MXF 0,7, MXS 0,5 a MSL 5.

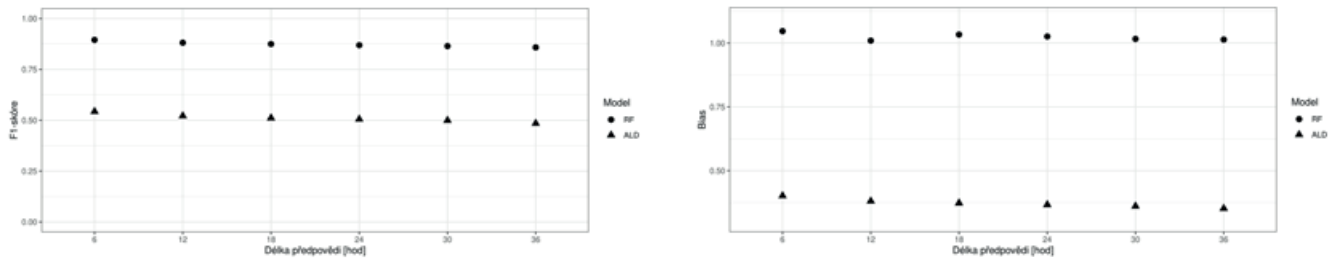
3.2 Vyhodnocení předpovědi

Významnost prediktorů v předpovědi je vyhodnocena metodou Permutation Feature Importance (PFI), která byla poprvé použita v práci Breimana (2001). Principem metody je postupné nahrazování hodnot u jednotlivých prediktorů náhodným šumem (permutací řádků u vstupních dat) a následné pozorování změn v přesnosti předpovědi modelu. Předpokládáme, že pokud se přesnost modelu významně sníží, pak byl prediktor významný pro predikci a naopak. PFI počítáme jako rozdíl F1 skóre základního modelu a permutovaného modelu. Výsledky PFI pro 6hodinovou a 24hodinovou předpověď výskytu mlhy jsou znázorněny na obr. 3. Z obrázku je patrné, že nejdůležitějšími prediktory jsou u obou předpovědí *rh2m* a nadmořská výška. V případě krátkodobé předpovědi jsou navíc důležitými



Obr. 3 Významnost prediktorů v modelu náhodného stromu podle kritéria PFI v 6hodinové (vlevo) a 24hodinové (vpravo) předpovědi výskytu mlh.

Fig. 3. Permutation feature importance for the 6-hour (left) and 24-hour (right) forecast of the fog occurrence by the random tree model.



Obr. 4 Vyhodnocení kvality předpovědi výskytu mlhy v závislosti na předpovědní délce pro modely RF a ALADIN/CZ. Kvalita modelu je měřena pomocí skóre F1 (vlevo) a BIAS (vpravo) během testovacího období 2019.

Fig. 4. Evaluation of the fog prediction depending on the forecast length for the RF and ALADIN/CZ model outputs. The quality of model predictions is measured by F1 score (left) and BIAS (right) during the test period in 2019.

prediktory i *rh925* a *rh850*, což pravděpodobně souvisí s vlhkostí ve vyšších nadmořských výškách, tj. horských stanic. U denní předpovědi je navíc významným prediktorem 3hodinové kumulace krátkovlnného záření směřující k zemskému povrchu, související s množstvím slunečního svitu během dne. Následují radiační toky, rychlost větru, teplota ve 2 m a teplota při zemi, jejichž přínos k předpovědi je spíše marginální.

Vyhodnocení F1 skóre a systematické chyby (BIAS) předpovědi výskytu mlh v závislosti na délce předpovědi je patrné na obr. 4. Porovnáváme předpovědi modelu RF a produktu VISICLDP z modelu ALADIN/CZ. Přesnější předpověď je reprezentována vyšší hodnotou F1 skóre. Ideální BIAS modelu je roven 1, tj. model počet předpovědi výskytu mlhy je roven počtu pozorování. Z obrázku je patrné, že kvalita předpovědi výskytu mlh klesá s délkou předpovědi velmi pomalu. Model RF poskytuje přesnější předpověď než VISICLDP, a to v celé předpovědní délce na 3–36 h. To je dáno zejména podhodnocením četnosti výskytu mlh u ALADIN/CZ předpovědi až o 75 %, kde hodnota BIAS je kolem 0,25.

Vyhodnocení F1 skóre pro 24hodinovou předpověď výskytu mlh pro jednotlivé stanice je ukázáno na obr. 5. Je patrné, že model RF poskytuje zlepšení předpovědi výskytu mlhy téměř u všech stanic. Přesnější předpovědi jsou patrné zejména u horských a podhorských stanic jako např. Lysá hora (O1LYSA01), Milešovka (U1MILE01) nebo Přim-



Obr. 5 Vyhodnocení kvality 24hodinové předpovědi výskytu mlh pro 36 stanic za období 2019. Porovnáváme předpovědi modelu ALADIN/CZ (červená) a modelu RF (modrá). Vyšší hodnota F1-skóre znamená lepší předpověď.

Fig. 5. Evaluation of the 24-hour fog prediction for 36 stations. The forecasts of the ALADIN/CZ (red) and RF (blue) models are evaluated for the test period of 2019. A higher F1-score means a better prediction.



Obr. 6 Ukázka aplikace SHAP metody na 9hodinovou předpověď zjednodušeného modelu RF (3 vstupní prediktory) pro termín 2019-12-05 v 06:00 UTC. Metoda znázorňuje vliv vstupních prediktorů na počáteční odhad výskytu mlhy pro danou stanici Dukovany (B2DUKO01).

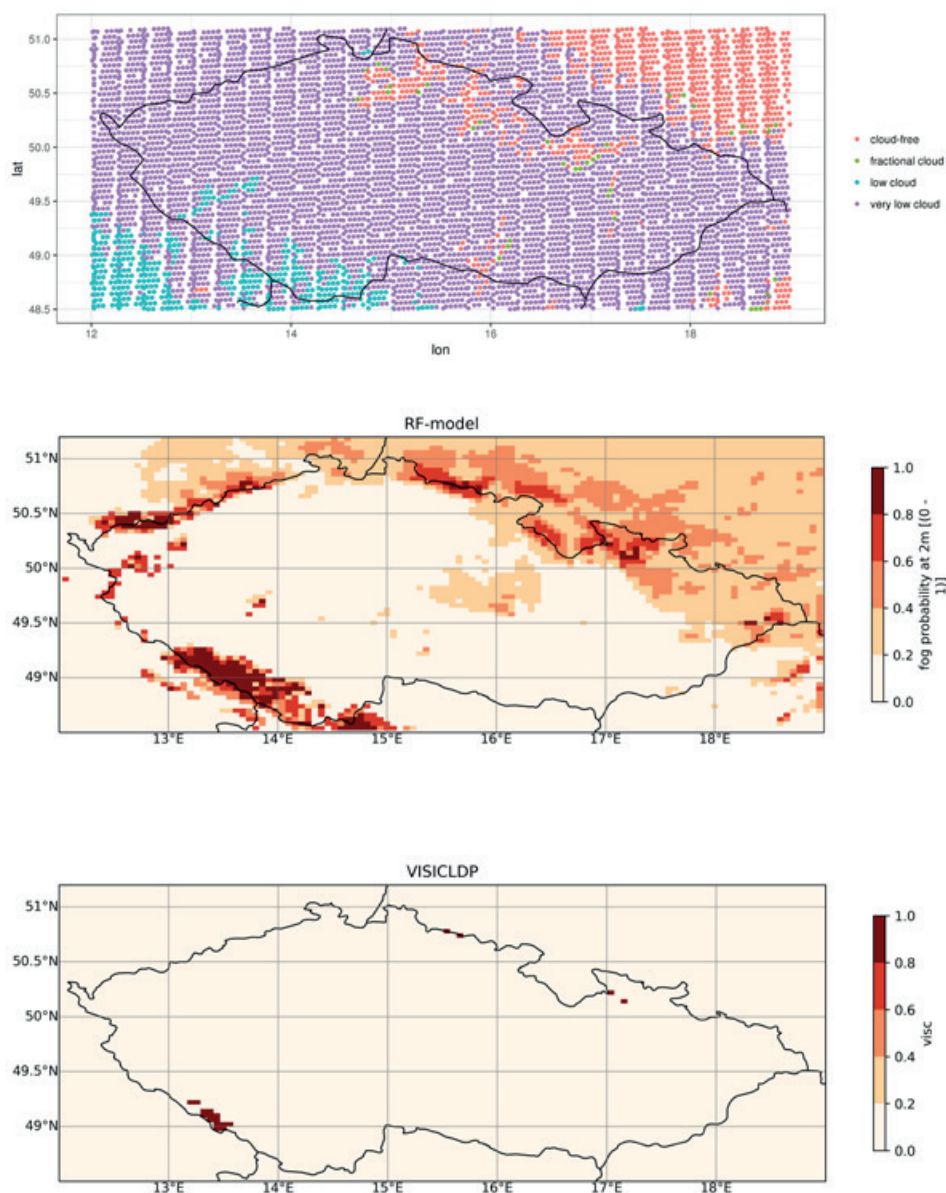
Fig. 6. Application of the SHAP method to the 9-hour forecast of a simplified RF model (3 input predictors) for 2019-12-05 at 06:00 UTC. The method shows the influence of input predictors on the initial base estimate of the fog occurrence at the Dukovany station (B2DUKO01).

da (L2PRIM01). Avšak zlepšení předpovědi je patrné i pro lokalitu letišť jako např. Ruzyně (P1RUZ01) nebo Tuřany (B2B-TUR01).

3.3 Aplikace modelu v provozu

Interpretace předpovědí

Snadná interpretace modelu je důležitým bodem při zavádění SÚ do produkce. Pro interpretaci RF modelu je použito metody SHapley Additive exPlanations (SHAP) rozpracované v práci Lunderberg a Lee (2017). Tato metoda umožňuje konzistentní odhad významnosti jednotlivých prediktorů pro každý případ předpovědi. Aplikace SHAP metody pro zjednodušený model RF (pouze 3 vstupní prediktory) je znázorněna pro předpověď z 05-12-2019 v 06:00 UTC v místě stanice Dukovany na obr. 6. Zde je patrná statistická předpověď, tj. základní poměr (*base_value*) výskytu mlhy pro dané místo 0,51 odpovídající 51 % pravděpodobnosti výskytu mlh během tréninkové období. Vliv aktuálních prediktorů *r2m* a nadmořské výšky stanice snižuje pravděpodobnost výskytu mlhy pod 22 %, zatímco prediktor vlhkosti v 950 hPa mírně zvyšuje pravděpodobnost výskytu o asi 1 %. Na základě těchto informací může meteorolog získat představu o relevantních příznacích (prediktorech), majících vliv na jeho počáteční odhad (ať už statistický nebo intuitivní). Výstup, jako je na obr. 6, lze poskytnout pro libovolnou předpovědní délku a uzlový bod v ČR.



Obr. 7 Mapa 9hodinové předpovědi pravděpodobnosti výskytu mlh modelem ALADIN/CZ produkt VISICLDP (uprostřed) a RF model (dole) pro termín 2019-02-22, 12:00 UTC. Nahoře: produkt 24Mcz z družice MSG detekující výskyt nízké a nejnižší oblačnosti (okrová s přechodem do zelené).

Fig. 7. Map of the 9-hour forecast of fog occurrence by the ALADIN/CZ (middle) and RF (bottom) models for 2019-02-22 at 12:00 UTC. The MSG satellite observations – product 24Mcz (top) detects the occurrence of low and lowest clouds (ochre colour with a transition to green).

Předpověď výskytu mlh v pravidelné síti

Model RF, naučený na staničních měřeních, aplikujeme na 2D pole předpovědi z modelu ALADIN/CZ pro oblast ČR. Staniční nadmořská výška použita jako prediktor v RF modelu je nahrazena 2D polem orografie modelu ALADIN/CZ v 4,7 km rozlišení. Pro každý uzlový bod napočítáme předpověď pravděpodobnosti výskytu mlh použitím RF modelu.

Plošnou předpověď výskytu mlh porovnáváme s družicovým produktem – typ oblačnosti (CTY; Gleau, 2019), který je vyvíjen v rámci EUMETSAT pro podporu velmi krátkodobé předpovědi (NWC SAF). Tento produkt je odvozen na základě kombinace vybraných spektrálních kanálů z družice Meteosat Second Generation (MSG). Produkt třídí oblačnost do 15 kategorií, z nichž kategorie velmi nízká a nízká oblačnost jsou spojené s výskytem přízemních mlh.

Na obr. 7 jsou zobrazeny 12hodinové předpovědi z RF modelu a ALADIN/CZ, a porovnány s družicovým produktem CTY platným pro termín 22-02-2019 ve 12:00 UTC. Podle CTY produktu, převážná většina ČR byla pokryta velmi nízkou a nízkou oblačností, odpovídající výskytu přízemních mlh. Z porovnání je patrné, že model RF zlepšuje předpověď výskytu mlhy zejména v horských oblastech, tj. na hranici ČR, což koresponduje i se staničním vyhodnocením modelu na obr. 5.

4. Diskuze

Často diskutované téma je rezistence modelů strojového učení vůči změně konfigurace numerického modelu. V této studii jsme učili model RF v období 2016 až 2018, kdy je model ALADIN/CZ počítán v hydrostatickém módu s horizontálním rozlišením 4,7 km. Během testovacího období 2019 došlo k výrazné změně jeho konfigurace, tj. přepnutí na nehydrostatickou verzi modelu s jemnějším horizontálním rozlišením 2,3 km. Z výsledků je patrné, že model RF poskytuje kvalitnější bodovou předpověď oproti numerickému modelu i přes nekonzistenci mezi hodnotami prediktorů z tréninkového a testovacího data setu.

Množina ladících parametrů u RF modelu byla vybrána s ohledem na výpočetní kapacitu počítače. Výpočty probíhaly na stolním počítači s 2×4 CPU a 8 GB RAM. Jemnější ladění parametrů RF modelu může vést k lepší předpovědi, avšak výsledky naznačují, že zlepšení lze očekávat maximálně v setinách F1 skóre. Hlavní vliv na kvalitu předpovědi má zejména výběr prediktorů, množství a kvalita vstupních dat.

Kvalita předpovědi výskytu mlh z ALADIN/CZ závisí na volbě prahové hodnoty dohlednosti *visicld* pro výskyt přízemních mlh. Prahová hodnota dohlednosti pro výskyt mlh byla u staničních měření i numerického modelu zvolena shodně podle předem definovaného kritéria dle Guidarda a Tzanosové (2006). Z obr. 4 je však patrné, že u numerického modelu by vedlo snížení prahové hodnoty dohlednosti k redukci systematického podhodnocování výskytu mlh, a tím i lepší kvalitě předpovědi. Z výsledků PFI je patrné, že nejvýznamnějším prediktorem při předpovědi výskytu mlh je relativní vlhkost při zemi a nadmořská výška stanice. Nadmořská výška je známá, zatímco relativní vlhkost se měří. Jednou z možností, jak zlepšit podhodnocování výskytu mlh u numerického modelu, by bylo použití jednodušší statistické adaptace na předpověď relativní vlhkosti při zemi. Jinou možností, jak přímo zlepšit předpověď výskytu mlh u numerického modelu, je přeladění parametrů uvnitř diagnostické rovnice (Dodatek B), která je použita při tvorbě produktu dohlednosti vlivem oblačnosti a mlh. Srov-

nání modelu RF s uvedenými „jednoduššími“ statistickými adaptacemi by lépe ukázalo přínos komplexních metod v této problematice a je i námětem pro budoucí práci. V této studii jsme se však omezili na použití surových předpovědi z numerického modelu.

Vyhodnocení F1 skóre na obr. 4 a 5 jsou platná pro místa meteorologických stanic, avšak s narůstající vzdáleností od stanic se bude kvalita RF modelu s velkou pravděpodobností snižovat. To je dáno zejména tím, že při učení modelu jsme nezohlednili rozdíl mezi skutečnou a modelovou orografií modelu. Navíc model RF je schopný se naučit pravidla výskytu mlhy v závislosti na lokálním režimu počasí v místě stanic, avšak ve vzdálenějších lokalitách se mohou tato pravidla lišit. Schopnost předpovědi modelu RF může proto s rostoucí vzdáleností od stanic významně klesnout, zatímco předpovědi z modelu ALADIN/CZ mohou být naopak přesnější. Toto by bylo možné ověřit např. vyřazením jedné stanice z tréninkového souboru dat a vyhodnocením kvality předpovědi modelu RF a ALADIN/CZ v místě vyřazené stanice. Tento krok bude v budoucnu více prozkoumán.

5. Závěr

Aplikovali jsme klasifikační model náhodného lesa (RF) pro předpověď výskytu přízemních mlh (ano/ne) na vybraných meteorologických stanicích na území ČR. Výskyt přízemních mlh byl definován prahovou hodnotou dohlednosti menší než 1 km. Aplikace algoritmu náhodného lesa vedla ke zlepšení bodové předpovědi až na 36 h v porovnání s předpovědi z numerického modelu ALADIN/CZ. Na lepší kvalitu předpovědi u modelu RF má vliv zejména bodový charakter předpovědi v místě staničních měření a nelineární přístup korekce systematické chyby numerického modelu s ohledem na odlišné lokální meteorologické vlivy v místě stanice. Ukázali jsme, že výstupy modelu RF lze velmi snadno interpretovat (použitím SHAP metody) a zařadit jako vhodný doplněk při rozhodovací praxi provozního meteorologa. Výhodou modelu RF je navíc rychlost výpočtu předpovědi, rezistence vůči změně konfigurace numerických modelů a možnost zahrnutí dalších vstupních dat, jako je např. multi-modelový ansámbl předpovědi, pozorování z družic, ceilometrů nebo webových kamer.

6. Dodatek

A. Kritérium nečistoty uzlu

Míra nečistoty uzlu u klasifikačního rozhodovacího stromu je založena na Giniho indexu nečistoty I_G (z angl. Gini Impurity). Pokud dělíme uzel G do skupin (dceřiných uzlů) G_1 a G_2 a rozhodujeme mezi kategoriemi výskytu mlhy c_1 (ano) a c_2 (ne), jejichž podíl vzorků ve skupinách G_1 a G_2 je p_1 a p_2 , pak I_G ve skupině G_i je dána rovnicí (Hastie et al. 2009):

$$I_G(G_i) = 1 - p_1^2 - p_2^2 \quad (6)$$

Giniho index nabývá hodnot mezi 0 a 1, kde 0 vyjadřuje „čistou“ homogenní skupinu klasifikovaných dat, zatímco 1 vyjadřuje stejný podíl kategorií ve skupině, tj. skupina dat neposkytuje žádný signál pro výslednou klasifikaci. Celková míra I_G pro dané dělení G je dána váženým průměrem:

$$I_G(G) = \frac{N_1}{N} I_G(G_1) + \frac{N_2}{N} I_G(G_2) \quad (7)$$

kde N_1 je počet dat ve skupině G_1 , N_2 je počet dat ve skupině G_2 a N je celkový počet dat v obou skupinách. Uzel se dělí podle příznaku (či dělicí hodnoty) daného prediktoru, který poskytuje minimální hodnotu celkové míry I_G pro dané dělení.

B. Diagnostická dohlednost v modelu ALADIN/CZ

Dohlednost snížena vlivem oblačnosti a mlh (*visicld*) je diagnostická veličina, poskytovaná modelem ALADIN/CZ od roku 2019. Veličina je odvozená od obsahu vody C_{cl} [$\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] a ledu C_{ice} [$\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] v oblaku na základě vztahu (Dombrowski et al. 2018):

$$\text{visicld} = -\ln(0,05) / (0,013 + \beta_{cl} + \beta_{ice}), \quad (8)$$

kde β představuje regresní koeficienty:

$$\beta_{cl} = 144,7 \cdot C_{cl}^{0,88} \quad (9)$$

$$\beta_{ice} = 163,9 \cdot C_{ice}^{1,0} \quad (10)$$

Tato veličina nevstupuje do modelu strojového učení (časová řada není dostatečně dlouhá pro učení modelu), ale je použita nepřímo k vyhodnocení kvality předpovědi výskytu mlh.

Literatura:

BARI, D., 2018. Visibility Prediction Based on Kilometric NWP Model Outputs Using Machine-Learning Regression. 2018 IEEE 14th International Conference on e-Science (e-Science), Amsterdam: s. 278–278, Doi: 10.1109/eScience.2018.00048.

BREIMAN, L., 1996. Bagging predictors. *Machine Learning*, Vol. 24, s. 123–140. Doi: 10.1023/A:1018054314350.

BREIMAN, L., 2001. Random Forests. *Machine Learning*, Vol. 45, s. 5–32. Doi: 10.1023/A:1010933404324.

GLEAU, H.-L., 2019. User Manual for the Cloud Product Processors of the NWC/GEO: Science Part. EUMETSAT manual code: NWC/CDOP3/GEO/MF-CMS/SCI/UM/Cloud. Dostupné z WWW: https://www.nwcsaf.org/Downloads/GEO/2018/Documents/Scientific_Docs/NWC-CDOP3-GEO-MF-CMS-SCI-UM-Cloud_v1.0.pdf.

DOMBROWSKI-ETCHEVERS, I., SANCHEZ, I., SEITY, Y., 2018. La visibilité: nouveau paramètre issu des modèles de prévision météorologique: Présentation. Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère (AMA), February 2018 [online]. [cit. 21. 1. 2021]. Dostupné z WWW: https://www.umr-cnrm.fr/aladin/IMG/pdf/pirou_20190403_madrid.pdf.

GUIDARD, V., TZANOS, D., 2006. Analysis of fog probability from a combination of satellite and ground observati-

on data. *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 164, Issue 6–7, s. 1207–1220.

GUIDO, S., MÜLLER, A., 2016. Introduction to machine learning with python. O'Reilly Media, Inc., s. 240–242. ISBN 978-1-449-36941-5.

HASTIE, T., TIBSHIRANI, R., FRIEDMAN, J., 2009. The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction. Springer Science & Business Media: s. 309. Doi: 10.1007/b94608

KHAN, M. S., COULIBALY, P., 2006. Application of support vector machine in lake water level prediction. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 11(3), s. 199–205.

LUNDBERG, S. M., LEE, S., 2017. A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in neural information processing systems*, s. 4765–4774.

ORTEGA, L., OTERO, L. D., OTERO, C., 2019. Application of Machine Learning Algorithms for Visibility Classification. 2019 IEEE International Systems Conference (SysCon), Orlando, FL, USA. s. 1–5, Doi: 10.1109/SYSCON.2019.8836910.

PEDREGOSA, F. et al., 2011. Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of machine Learning research*, Vol. 12, s. 2825–2830.

TOLASZ, R. et al., 2007. Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia. Praha: Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-86690-26-1.

VYSOUDIL, M., 2013. Základy fyzické geografie 1: Meteorologie a klimatologie. Univerzita Palackého v Olomouci [online]. [cit. 29.01.2021]. Dostupné z WWW: <http://distgeo.upol.cz/uploads/vyuka/skripta-vysoudil.pdf>.

ZHU, L., ZHU, G., HAN, L., WANG, N., 2017. The Application of Deep Learning in Airport Visibility Forecast. *Atmospheric and Climate Sciences*. Vol 7, s. 314–322. Doi: 10.4236/acs.2017.73023.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Radmila Brožková, CSc., doc. RNDr. Zbyněk Sokol, CSc.

Meteorologická staniční síť ČHMÚ v roce 2020

CHMI meteorological station network in 2020

Pavel Lipina

Český hydrometeorologický ústav
K Myslivně 3/2182
708 00 Ostrava-Poruba
✉ pavel.lipina@chmi.cz

Miroslav Řepka

Český hydrometeorologický ústav
K Myslivně 3/2182
708 00 Ostrava-Poruba
✉ miroslav.repka@chmi.cz

Veronika Šustková

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

Meteorological data from various types of weather stations, whether current or historical, are published daily using all available communication channels of the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI), such as the CHMI Portal, www.infomet.cz, television and radio broadcasts, printed or digitally accessible material, own publishing activities, scientific publications, data provision, etc. Occasionally, the information about the station network is published in a comprehensive form.

In addition to renewed publication of the Annual Climatological (Meteorological) Reports in 2021 for the years 2019 and 2020, we have decided to publish an article that will focus on the meteorological station network. Considering a limited space to address this issue in the yearbooks, we have chosen this form of presentation of information about the station network.

The main subject matter of this article intended by the authors has been to present information on the structure and operation of the standard and additional CHMI station network. The topic includes type description of weather stations, what they measure, and how the measured data are processed within the CHMI climate database. We supplemented the text description by maps of the current station network and maps of the availability of particular meteorological elements, together with suitable overview tables.

The description of the current composition of the station network is supplemented by the historical development of the weather station

structure, development of measurement automation, involvement of the observers and owners of meteorological stations outside the CHMI, and some other additional information.

For CHMI operational needs or informing the public interested in meteorology, it is often necessary to create defined overviews of stations or to present the station network in a map form. The current internal composition of the station network does not entirely suit these purposes. Therefore, we suggest two alternatives of the new composition, which would better suit the needs of data and station network presentation both within the CHMI and the public.

KLÍČOVÁ SLOVA: stanice meteorologická – ČHMÚ – CLIDATA
klimatologická databáze – typ stanice

KEYWORDS: weather station – CHMI – CLIDATA climate
database – station type

1. Úvod

Meteorologická data z různých typů stanic, ať aktuální nebo historická, jsou denně zmiňována ve všech možných výstupech Českého hydrometeorologického ústavu (dále jen ČHMÚ), jako je např. Portál ČHMÚ, www.infomet.cz, televizní a rozhlasové relace, tištěné či digitální tiskoviny, vlastní publikační činnost, vědecké publikace, výměna dat aj. Už ne tak často jsou publikovány informace o staniční síti v nějaké ucelené formě a podobě. Na Portálu ČHMÚ je k dispozici on-line mapa meteorologických stanic a jejich členění podle náplně měření a pozorování a typu staniční sítě (https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations_CZ.html). Pro mnohé čtenáře by jistě bylo přínosné přinést kompletní seznam meteorologických stanic se všemi geografickými informacemi a přehledem měření. V tomto a podobných příspěvcích bohužel na takové přehledy není prostor.

V souvislosti s obnovením vydávání klimatologických (meteorologických) ročenek jsme také považovali za důležité informovat o struktuře staniční sítě, jejím členění a dostupnosti dat. V ročenkách také není a nebude prostor na podrobné přehledy stanic, proto se pokusíme přinést přehled stanic na tomto místě, alespoň při vydání první obnovené ročenky. Čtenáři bohužel nemohou očekávat přehled staniční sítě každý rok. Příspěvky by byly každý rok velmi podobné, jen s malými změnami.

2. Vývoj členění staniční sítě

Meteorologická staniční síť se členila od samého počátku meteorologických měření.

Meteorologické stanice Centrálního úřadu pro meteorologii a zemský magnetismus byly postupně členěny do stanic I. až III. řádu, jak je zřejmé z vydávaných ročenek tohoto úřadu v letech 1848–1920 (Lipina, Řepka 2010).

Alois Gregor byl autorem Návodu k meteorologickým pozorováním vydaným Státním ústavem meteorologickým v roce 1920, který byl základním metodickým dokumentem meteorologické staniční sítě. Obsahoval předmluvu a rozřídění stanic, podmínky zřízení meteorologické stanice, pozorovací přístroje, pozorování, která se mohou provádět i bez přístrojů, zapisování meteorologických pozorování, bouřky, přepočítací tabulku tlaku vzduchu a nárys větší dřevěné budky. V dokumentu členění staniční sítě takto:

„Observatoře jsou stanice I. řádu, na nichž konají odborníci ještě jiná speciální měření. Na stanicích I. řádu se meteorologická pozorování zaznamenávají soustavně v plném rozsahu a většinou také registračními přístroji. Na stanicích II. řádu zaznamenává se třikrát denně tlak vzduchu, teplota a vlhkost vzduchu, směr a síla větru, srážky a ostatní meteorologické úkazy. Stanice III. řádu pozorují stejně jako stanice II. řádu, jen odpadá měření tlaku a vlhkosti vzduchu. Stanice IV. řádu jsou označovány stanice dešťoměrné (ombrometrické). Někdy pozorují též teplotu vzduchu. Bouřkové stanice pozorují a hlásí bouřky a krupobití.“ (Gregor 1920).

Vojenské stanice byly v roce 1928 převážně stanicemi I. a II. řádu a bylo jich pouze dvanáct (Schneider 1928).

Po druhé světové válce byla snaha o sjednocení meteorologických měření, která před válkou zajišťoval Státní ústav meteorologický, hydrologický a balneologický. Některé stanice měřily a zasílaly svá hlášení pro všechny ústavy. V letech 1954 až 1980 se meteorologické stanice členily na klimatologické (základní, srážkoměrné a totalizátory), synoptické, „interové“, letecké, aerologické. Některé stanice byly tzv. účelové a byly zřizovány za speciálním účelem, nebo pro měření ve zvláštních lokalitách. Většina těchto účelových stanic byla v rámci reorganizace a optimalizace staniční sítě v roce 1980 zrušena. Dále se stanice členily také na agrometeorologické, fenologické a čistoty ovzduší, ale ty nejsou předmětem našeho zájmu v této publikaci. Ke staniční síti naleznete více informací také v publikaci Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku (Krška, Šamaj 2001).

Toto členění staniční sítě přetrvalo až do roku 1995, kdy začala postupná automatizace staniční sítě a vznikla potřeba nového členění meteorologických stanic.

Po roce 1990 nastává rovněž budování „účelových“ meteorologických stanic v rámci různých grantů a projektů. Meteorologické stanice si začaly zřizovat školy, výzkumné ústavy a různé instituce a podniky, které potřebovaly meteorologická data (zejména zemědělci). Své stanice (převážně automatické srážkoměry) si začaly budovat podniky Povodí, Správy národních parků a další. Nastal rovněž rozvoj amatérských meteorologických stanic různé úrovně. Mnohé z těchto měření začal ČHMÚ přebírat a importovat do klimatologické databáze. To přineslo potřebu řešit jejich zařazení, popis a identifikaci.

3. Meteorologická staniční síť od roku 1995

Na počátku 90. let 20. století byly všechny standardní meteorologické stanice manuální (profesionální, klimatologické i srážkoměrné). Nejdříve se započalo s automatizací jednotlivých meteorologických prvků na profesionálních stanicích (od roku 1994). Postupně, mezi roky 1996 až 2003, probíhala první vlna automatizace dobrovolnických stanic podle poboček. V první vlně byly automatizovány hlavní, tzv. hlásné klimatologické stanice, které vytvářely kódovanou zprávu INTER, kterou dobrovolní pozorovatelé předávali každé ráno na příslušnou pobočku (sestavování zprávy INTER bylo ukončeno s koncem roku 2010). Po každém ranním termínu se telefonicky spojili s meteorologickou službou na pobočce a zprávu nařadili. Druhou možností bylo automatické odesílání zprávy přes modem, připojený na PC a pevnou telefonní linku, pokud byla stanice takto vybavena. V tomto období byly instalovány automatizované stanice typu AKS1 s obslužným počítačem, do kterého se přenášela data ze stanice, a kam pozorovatel vkládal manuálně naměřená a napozorovaná data. Data se přenášela nejdříve na příslušné regionální pobočky, později na tzv. one port. To je „sběrné“ místo ČHMÚ pro příjem dat ze stanic, odkud probíhá distribuce dat k jejich importu do klimatologické databáze po vnitřní síti na jednotlivé pobočky. Pracovníci regionálních poboček provádí kontrolu importu dat a log souborů (varovná a chybová hlášení při importu dat) a řeší případné problémy ve své regionální působnosti.

V dalších letech, zejména v rámci různých operačních programů a výzev, byly automatizovány další klimatologické stanice typu AKS2, bez obslužného počítače.

Základním rozdílem mezi typy stanic AKS1 a AKS2 je přítomnost obslužného počítače na stanici. Důvody jeho přítomnosti byly popsány výše. Ve většině případů má stanice typu AKS2 velmi podobné vybavení meteorologickými přístroji a rozsah měření, jako u stanic typu AKS1 (Lipina 2017). Zpočátku pozorovatelé na stanicích všech typů bez obslužného počítače (typ AKS2–4) vyplňovali klasický papírový měsíční výkaz, nebo vkládali manuálně měřená meteorologická data a jevy do programu *Metobs*, popř. do speciálně připraveného sešitu xls. Data za kalendářní měsíc zasílali po skončení měsíce na příslušnou pobočku k importu do klimatologické databáze. V roce 2017 jsme s programátory klimatologické databáze připravili jednoduchý webový formulář pro vkládání naměřených a pozorovaných meteorologických dat a jevů. Jejich vkládání je tak nezávislé na přítomnosti staničního počítače, dá se využívat jakéhokoliv jiného počítače nebo notebooku s internetem, tabletu či chytrého telefonu, a z mnoha stanic jsou tak k dispozici data v denním kroku, nebo dávkově, nejen jednou za měsíc. Zvýšila se tak „on-line“ dostupnost klimatologických dat v databázi. Tam, kde je to možné, se tak zbavujeme staničních počítačů, na které jsou kladeny stále vyšší požadavky pro jejich ochranu v rámci kybernetické bezpečnosti a postupně se tak odstraňuje mezikrok při exportu dat ze stanic do databáze.

Souběžně byly automatizovány vybrané srážkoměrné stanice, nejdříve klopnými člunkovými srážkoměry, později také váhovými srážkoměry. Při této příležitosti byly instalovány automatizované stanice typu AKS3, které měly redukované vybavení (pouze srážky, teplotu a relativní vlhkost vzduchu ve dvou metrech a přízemní teplotu v pěti centimetrech nad zemí).

V posledních 10 letech začaly vznikat i automatické stanice typu AKS4. Tyto stanice rozsahem automatického měření odpovídají stanicím typu AKS2 a AKS3, jsou však bez doplňkového manuálního měření a pozorování. I na těchto stanicích jsme v kontaktu s pověřenou osobou, která provede nejnútnejší zá-sahy, jako vyčištění ucpaného člunkového srážkoměru nebo nahození jističe po výpadku elektřiny.

4. Členění a přehled staniční sítě v roce 2020

Členění staniční sítě, popis jednotlivých staničních typů, principy tvorby indikativů stanic a další informace ke staniční síti je podrobně uvedeno v příspěvku P. Lipiny, 2017. Níže jsou uvedeny jen základní kritéria a informace o staniční síti, které mají přímou vazbu k textu, obrázkům a tabulkám.

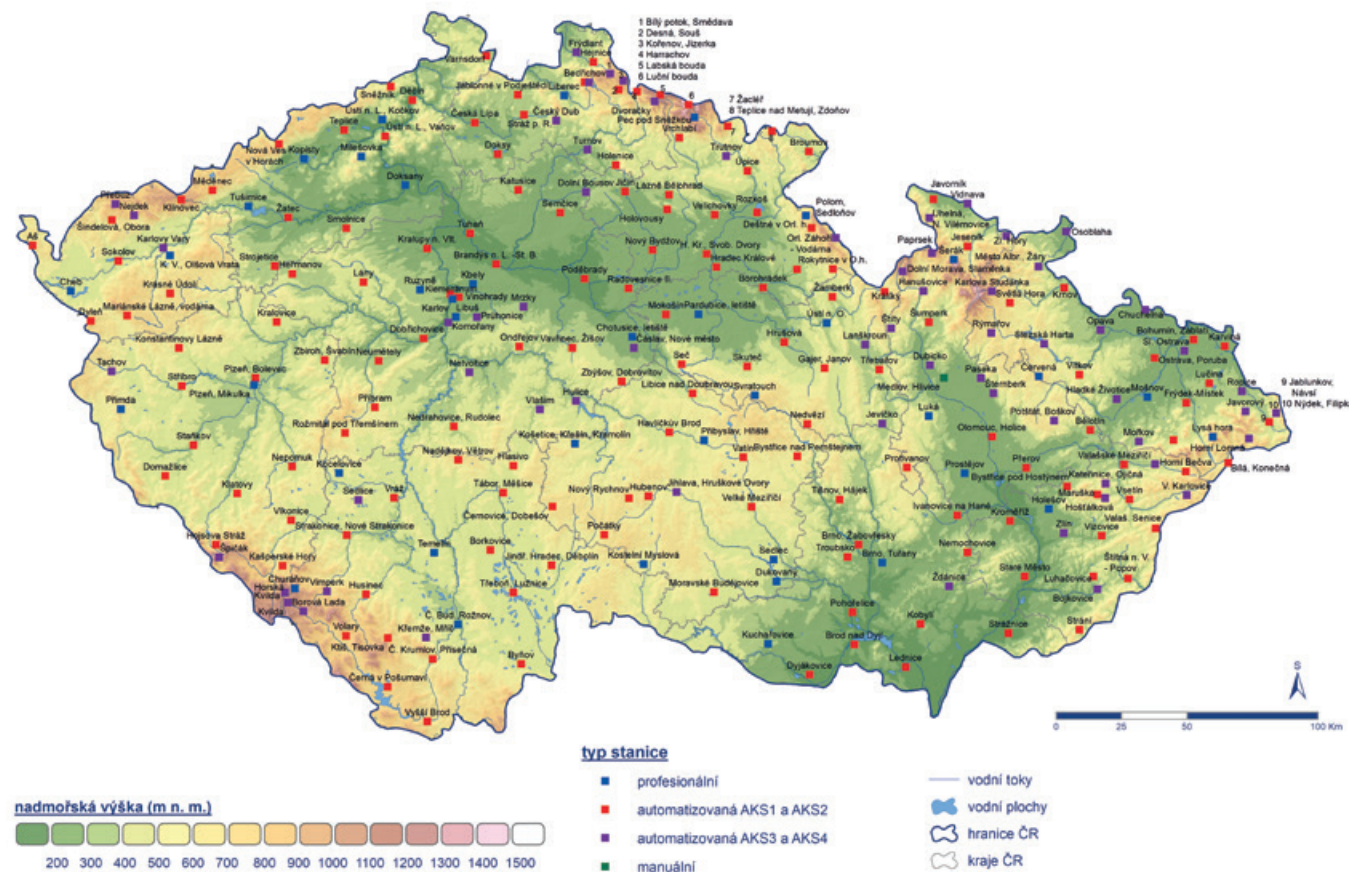
V této kapitole uvádíme přehled jednotlivých typů stanic a dostupnost dat hlavních klimatologických prvků v roce 2020. V mapách jsou uvedeny stanice, které měly v roce 2020 alespoň jeden kalendářní měsíc dostupných dat v klimatologické databázi. Mapy se tak mohou lišit od jiných přehledů (např. v Meteorologické ročence, nebo Výroční zprávě), kde se zpravidla uvádí dostupnost dat a stanic ke stanovenému datu (obvykle k 31. prosinci 2020).

Podle způsobu obsluhy se meteorologické stanice člení na profesionální (nebo také synoptické) a dobrovolnické.

Jako synoptické označujeme stanice, které tvoří speciální zprávu SYNOP (tedy stanice typu AMS, AMS1 a AMS2). Za profesionální (obr. 1) jsou považovány stanice s tvorbou zprávy SYNOP a s obsluhou tzv. profesionálního pozorovatele v nepřetržitém či kombinovaném provozu (typ stanice AMS a AMS1).

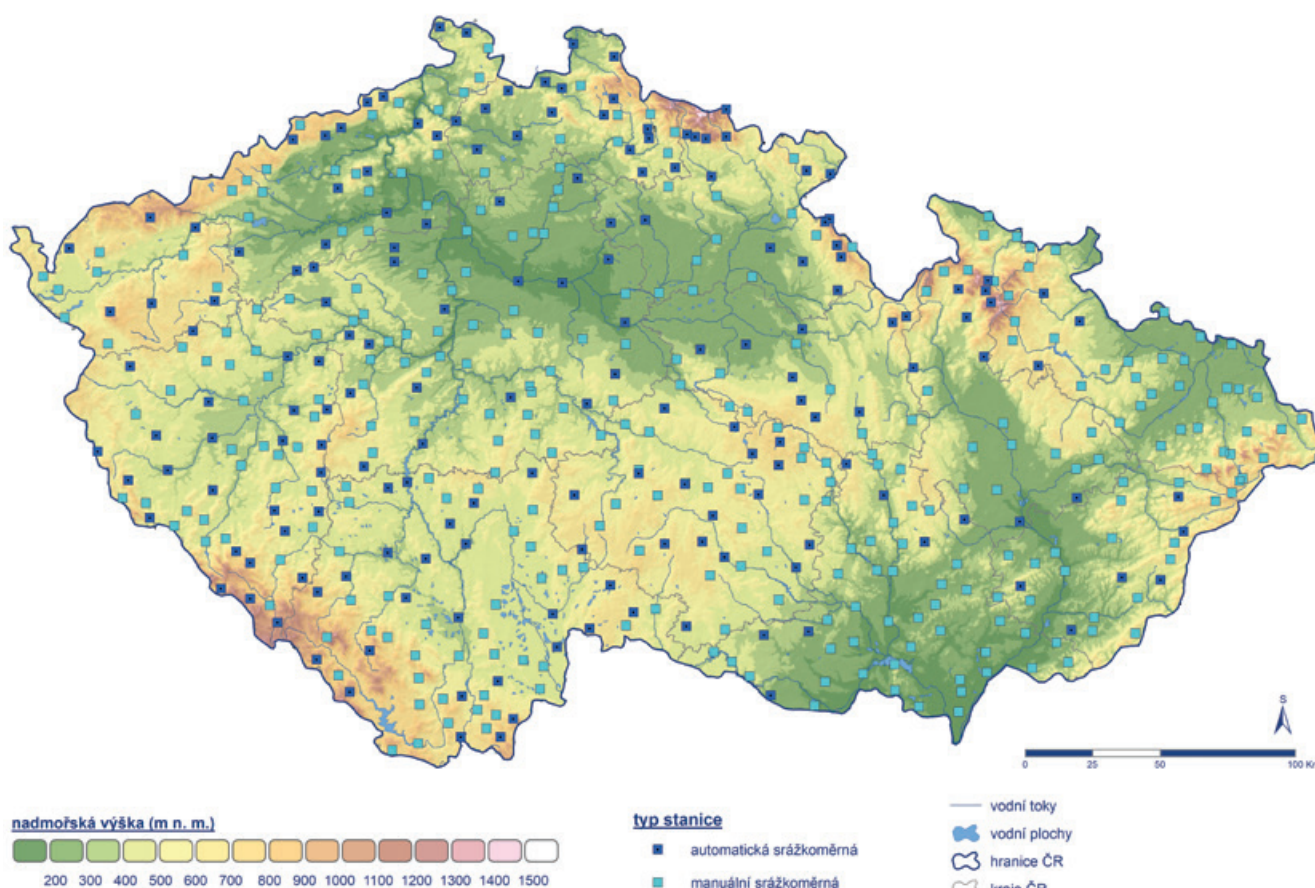
Pokud budeme hodnotit hlavní meteorologickou staniční síť v ČR (synoptické a profesionální stanice), tak na území Česka bylo v roce 2020 v provozu 41 synoptických stanic. Z toho 6 stanic je ve vlastnictví Armády ČR (Prostějov, Sedlec/Náměšť nad Oslavou, Polom, Chotusice/Čáslav, Pardubice, Praha-Kbely) a 2 stanice vlastní ÚFA (Ústav fyziky atmosféry) AV ČR, v. v. i. (Kopisty a Milešovka). ČHMÚ vlastní a provozuje 33 synoptických stanic. Z toho jsou 4 stanice letecké (Praha-Ruzyně, Brno-Tuřany, Karlovy Vary a Mošnov), 2 observatoře u jaderných elektráren (Temelín a Dukovany) a 4 observatoře (Praha-Libuš, Tušimice, Doksany a Košetice). ČHMÚ rovněž provozuje 4 automatické synoptické stanice bez obsluhy (pouze s dohledem): Sněžka, České Budějovice, Jičín a Hošťálková, Maruška.

Dobrovolnické stanice se člení podle jejich přístrojového vybavení, podle způsobu vkládání a odesílání manuálně měřených dat a meteorologických jevů a podle přítomnosti pozorovatele. Dobrovolnické automatizované klimatologické stanice mají většinu meteorologických prvků automaticky měřených. Na mnoha stanicích pozorovatelé manuálně měří sniž, někde i denní úhrn srážek, sledují oblačnost, stav počasí, stav půdy a meteorologické jevy. Klasické dobrovolnické manuální klimatologické stanice se vyskytují už jen výjimečně.



Obr. 1 Mapa profesionálních meteorologických a základních klimatologických stanic ČHMÚ v roce 2020.

Fig. 1. Map of professional meteorological and basic climatological stations of the CHMI in 2020.



Obr. 2 Mapa standardních srážkoměrných stanic ČHMÚ v roce 2020.

Fig. 2. Map of standard CHMI precipitation stations in 2020.

Podle pozorovacího programu členíme dobrovolnické meteorologické stanice na klimatologické (obr. 1) a srážkoměrné (obr. 2).

Srážkoměrné stanice měří úhrn srážek (automaticky nebo manuálně) a většinou také výšku nového sněhu, celkovou sněhovou pokrývku a její vodní hodnotu. Pozorovatelé na manuálních srážkoměrných stanicích také zaznamenávají meteorologické jevy (druh, jeho intenzitu a čas začátku a konce jevu).

K tvorbě standardních klimatologických charakteristik a výstupů, k poskytování dat zákazníkům, k projektovým zpracováním, popř. do mezinárodní výměny se používají data z meteorologických stanic, která jsou pravidelně kontrolována, a také meteorologická čidla jsou podle metrologického řádu podrobována pravidelné kontrole a recalibraci v definovaných intervalech. Tyto stanice považujeme za standardní a označují se osmimístným databázovým indikativem, začínajícím písmenem příslušné pobočky a na druhé pozici číselnou hodnotu jedna až tři podle příslušnosti k hlavnímu ucelnému povodí.

Z mnoha důvodů jsou v klimatologické databázi CLIDATA data z dalších typů stanic. Tato data, jak bylo uvedeno dříve, nejsou pravidelně klimatologicky kontrolována a čidla z těchto stanic obvykle také nejsou metrologicky kalibrována. Přesto jsou i tato data využívána a stanice jsou označovány jako stanice mimo standardní klimatologickou síť, nebo také jako doplňkové stanice.

Hydrologické stanice mají v indikativu na první pozici písmeno místní příslušné pobočky a na druhé pozici číslici

čtyři. Vybraná hydrologická data (stavy a průtoky, teploty vody a některá další) jsou převážně využívána pracovníky hydroprognózních pracovišť. Pro meteorologii a klimatologii jsou využívány zejména srážkové úhrny z automatických srážkoměrů (celoroční, nebo i nevyhříváné sezónní). Pod těmito indikativy jsou rovněž uloženy stanice a data typu ASNS, tzn. volně stojící sněhoměrné stanice a tzv. sněhoměrné polštáře.

Na některých pobočkách jsou pod číslicí pět na druhé pozici indikativu uložena data stanic kvality ovzduší pro prognózní pracoviště (data jednotlivých škodlivin nebo meteorologických prvků).

Pod šestkou jsou uložena meteorologická data ze zahraničních meteorologických stanic v českém příhraničí (data z Polska, Německa, Rakouska a Slovenska získávána v rámci mezinárodní výměny dat).

„Sedmičkové“ stanice jsou ty, které slouží jako doplněk k automatizovaným srážkoměrným nebo klimatologickým stanicím. Pod tímto indikativem lze uvádět manuální úhrn srážek pro kontrolu klopných (člunkových) srážkoměrů a v posledních dvou letech jsou zde uvedena data manuálního měření sněhové pokrývky, pokud je stanice vybavena sněhoměrným čidlem. Dále jsou zde profilová měření sněhu na některých lokalitách a data ze stožárových měření ČHMÚ. Velkou skupinu tvoří „amatérští“ meteorologové nebo organizace, kteří si pořídili manuální nebo převážně kvalitní automatizované meteorologické stanice. Data z těchto stanic pravidelně poskytují ČHMÚ.

Pod číslem 8 jsou uloženy stanice Podniků povodí a stanice vodárenských společností, které ČHMÚ poskytují data z automatického měření srážek a další hydrologické veličiny.

Devítkové indikativy obsahují data silničních stanic, která jsou využívána pouze pro potřeby předpovědních pracovišť při tvorbě „silničářských“ předpovědí (data z meteorologických čidel a čidel monitorujících stav vozovky).

Mimo stanic s klasickým pobočkovým členěním indikativů jsou v klimatologické databázi uložena data stanic:

- T% technické řady stanic (5 různých typů řad) (2271 stanic)
- Z% zahraniční stanice (620 stanic)
- M% SOMPOLYGON (478 stanic)
- N% stanice NETATMO (4205 stanic)

Základní meteorologické (i částečně nemeteorologické) členění stanic je podle našeho názoru celkem jasné, srozumitelné a logické. Pro podrobnější členění využíváme tzv. staniční typ (station type). Toto členění mělo a má svůj vývoj, a ne vždy se nám daří udržet jeho jednotnou linii. Dále v textu uvedeme problematické (nejednotné, či obtížné zařaditelné) stanice.

Většina klimatologických stanic je v současné době automatizovaná. Manuálně probíhá měření na historické meteorologické stanici v pražském Klementinu, v Medlově, Hlivicích (okres Olomouc) a srovnávací měření na profesionálních meteorologických stanicích Doksany, Churáňov a Kocelovice.

4.1 Profesionální (synoptické) stanice

„Páteří“ sítě klimatologických stanic jsou profesionální (synoptické) stanice. Na letištích, na stanicích při jaderných elektrárnách a na stanicích Armády České republiky je nepřetržitý provoz s lidskou obsluhou. Do standardní sítě profesionálních meteorologických stanic ČHMÚ řadíme i šest stanic Armády ČR a dvě stanice ÚFA AV ČR, v. v. i. S oběma institucemi velmi úzce spolupracujeme při správě a údržbě stanic, metodickém vedení, správě SW a přístrojovém vybavení.

Většina profesionálních stanic je v tzv. kombinovaném provozu (od 6 do 22 h s přestávkou s lidskou obsluhou a mezi 22 až 6 hodinou automatické měření).

Většina profesionálních stanic (celkem 28 stanic) má také souběžné manuální měření úhrnu srážek (staniční typ MSS v tabulce počtu stanic pracovním označen MSS_PROFI). Čtyři stanice byly/jsou typu MKS (v tabulce pracovním označeno MKS_PROFI), kde probíhají souběžná srovnávací manuální měření meteorologických prvků. Tyto stanice mají pořadové číslo 2, tj. číslice 2 na poslední pozici indikativu stanice.

Pět stanic je téměř plně automatických, s občasným dohledem. Je to automatická synoptická stanice Sněžka, Poštovna, stanice na pobočce České Budějovice, Rožnov, stanice na letišti v Bechyni, na Hošťálkově, Maruše a v Jičíně. Synoptické stanice při automatizovaných klimatologických stanicích Jičín a Hošťálková, Maruška vznikly v letech 2015 (Hošťálková, Maruška) a 2016 (Jičín) a jsou zvláštním typem těchto stanic. V některých přehledech se neobjevují, neboť stanice může mít v klimatologické databázi přidělen pouze jeden staniční typ. Tyto dvě stanice jsou primárně označené jako AKS1.

Odlišný indikativ má automatická synoptická stanice na Sněžce, Poštovně (staniční typ AMS3, indikativ H7SNEZ01).

4.2 Klimatologické stanice

Členění klimatologických stanic je patrné z tab. 1. V síti ČHMÚ jsme měli k 31. prosinci 2020 89 stanic typu AKS1, tj. stanic s kompletním rozvrhem pozorování a měření, s pozorovatelem, který vkládá manuálně měřená data a meteorologické jevy do SW obslužného počítače, který je součástí vybavení každé stanice tohoto typu. Stanice tohoto typu byly instalovány v různých časových etapách od roku 1996 do roku 2003, výjimečně i později, a obvykle to byly dříve klimatologické stanice s tvorbou tzv. zprávy INTER, která se před automatizací sítě přenášela ze stanic na příslušné pobočky telefonicky po ranním termínu měření (data za posledních 24 hodin). Tvorba a zpracování zprávy INTER na automatizovaných stanicích skončila v roce 2010 pro její nadbytečnost. Všechna data ze stanic, která vstupovala do této zprávy, byla a jsou k dispozici v klimatologické databázi CLIDATA. Formát dat zprávy INTER zcela nezanikl, protože tento formát dat využívají některé starší SW v ČHMÚ.

K výše uvedenému datu měl ČHMÚ 63 stanic typu AKS2. Jsou to automatizované klimatologické stanice, které byly instalovány po dokončení první vlny automatizace dobrovolnických klimatologických stanic. Mají velmi podobné nebo většinou shodné přístrojové vybavení jako stanice typu AKS1. Nemají však obslužný počítač. Automaticky měřená data jsou přenášena přímo ze stanice. Manuálně měřené meteorologické prvky a pozorované meteorologické jevy má pozorovatel možnost zapisovat několika způsoby:

- Vyplněním papírového měsíčního formuláře (jako u manuálních stanic) a jeho odesláním na příslušnou pobočku po skončení daného měsíce
- Vyplněním digitálního formuláře (v sešitu MS Excel nebo jiném programu) a zasláním datového souboru e-mailem příslušným osobám na pobočkách. Většinou se rovněž odesílají po skončení daného měsíce, ale je možné domluvit i na častější frekvenci. Data jsou však vždy v databázi k dispozici až po manuálním importu tohoto souboru.
- Vyplněním webového formuláře (*Clweb*) z jakéhokoliv počítače, tabletu nebo i telefonu s přístupem k internetu. Výhodou je skutečnost, že data se v databázi uloží hned po jejich odeslání z tohoto formuláře. Využívají je zejména pozorovatelé, kteří zasílají data každý den (např. bývalé stanice AKS1, které po rekonstrukci přešly do typu AKS2), ale i ostatní pozorovatelé automatizovaných i manuálních stanic, kteří data vkládají jednou za několik dnů, nebo až po skončení měsíce.

V ČR máme rovněž 28 automatizovaných stanic typu AKS3. To jsou stanice, které vznikaly po roce 2010 tam, kde nebyly vhodné podmínky pro automatizované měření směru a rychlosti větru, nebo nebyly finanční prostředky na instalaci stožárů pro měření těchto prvků, popřípadě bylo rozšířeno automatizované měření úhrnu srážek o teplotu vzduchu, přízemní teplotu vzduchu, výjimečně i o další prvky (např. sluneční svit).

Ve standardní staniční síti máme rovněž celkem 30 stanic typu AKS4. To jsou stanice, které mohou mít vybavení meteorologickými čidly jako AKS1, AKS2, nebo AKS3, ale není k dispozici pozorovatel. Tyto stanice v některých případech vznikly jako „jen“ automatické na potřebné lokalitě, ale v převážné míře vznikly z předchozích typů stanic, pokud jsme na lokalitě přišli o pozorovatele. U většiny těchto stanic je k dispozici alespoň

tzv. dohled, to je člověk, většinou údržbář, nebo např. školník, kterému můžeme ve výjimečných případech zavolat, aby stanici zkontroloval, nahodil jistič nebo vyměnil pojistky.

Standardní stanice typu AKS je stanice obdobná typu AKS2, AKS3, nebo AKS4, ale je to stanice cizího vlastníka.

ČHMÚ má ve své síti od roku 2012 (po úsporných opatřeních) pouze dvě manuální klimatologické stanice (typ MKS). Jedna je historická stanice v pražském Klementinu a druhá v Medlově, Hlivičích v Olomouckém kraji.

178 stanic má typové označení ASS. To je stanice, která má automatický srážkoměr (člunkový/klopný nebo váhový). Buď je tato stanice vybavena pouze tímto srážkoměrem, nebo je zde také pozorovatel, který manuálně měří meteorologické prvky srážkoměrné stanice (úhrn srážek, nový sníh, celkovou sněhovou pokrývku a její vodní hodnotu) a také obvykle sleduje a zaznamenává meteorologické jevy.

Tab. 1 Počet standardních stanic ČHMÚ podle poboček a staničních typů k 31. prosinci 2020 (B – pobočka Brno, C – pobočka Č. Budějovice, H – pobočka H. Králové, L – pobočka Plzeň, O – pobočka Ostrava, P – pobočka Praha a U – pobočka Ústí nad Labem).

Table 1. Number of standard CHMI stations by CHMI regional offices and station types as of 31 December 2020 (B – Brno regional office, C – České Budějovice regional office, H – Hradec Králové regional office, L – Plzeň regional office, O – Ostrava regional office, P – Praha regional office, and U – Ústí nad Labem regional office).

Pobočka	B	C	H	L	O	P	U	Celkem
AKS1	17	10	17	12	11	13	9	89
AKS2	8	9	13	6	14	6	7	63
AKS3	4	6	3	3	11	1	0	28
AKS4	0	0	0	2	16	11	1	30
AKS	0	1	0	0	2	0	1	4
AMS	3	1	3	1	1	2	1	12
AMS1	4	3	3	3	4	4	5	26
AMS2	0	1	0	0	0	0	0	1
AMS3	0	1	1	0	0	0	0	2
ASS	26	32	28	28	12	25	27	178
MSS	75	41	19	36	57	58	23	309
MSS_PROFI	5	2	5	3	5	5	3	28
HYDROAS	0	1	0	0	0	0	0	1
TOTAL	1	8	0	5	8	0	2	24
MKS	0	0	0	0	1	1	0	2
MKS_PROFI	1	2	0	0	0	0	1	4

Klasických manuálních srážkoměrných stanic bylo k 31. prosinci 2020 v ČHMÚ provozováno 309.

Ve standardní síti je rovněž zařazeno 24 stanic, které mají staniční typ TOTAL, což znamená, že data jsou získávána dlouhodobým měřením ve zvláštních typech srážkoměrů, tzv. totalizátorech. Stanice Římov (C2RIMO01) má ze standardních klimatologických stanic jako jediná staniční typ HYDROAS. Manuální stanice byla zrušena z důvodu úsporných opatření v roce 2012, dále pokračuje automatické měření vytápěným srážkoměrem Povodí Vltavy na stejném místě.

4.3 Doplnkové stanice

Tzv. doplňkové stanice nebo i stanice mimo standardní síť ČHMÚ se také často využívají ke klimatologickým charakteristikám.

Primárně se jedná o stanice „sedmičkové“ skupiny. Tyto stanice jsou různého typu, výrobce, zaměření a umístění. Mnohé z těchto stanic jsou stejného typu, jaké standardně využíváme (Meteoservis, Fiedler, ...). Tyto stanice jsou jiných vlastníků, ale data nemusí být standardně kontrolována a čidla pravidelně kalibrována.

V „sedmičkové“ skupině k 31. prosinci 2020 mimo jiné měla pobočka České Budějovice 3 stanice typu AKS, 1 stanice AKS3 a 17 stanic typu AKS4. Pobočka Hradec Králové měla 4 stanice AKS, 1 stanicí typu AKS1, 1 stanicí AKS3, a 2 stanice AKS4. Na plzeňské pobočce 2 stanice typu AKS a 3 stanice AKS4. Na pobočce Ostrava 99 stanic typu AKS. Pobočka Praha měla 1 stanicí AKS a 5 stanic AKS4 a pobočka Ústí nad Labem 2 stanice typu AKS.

Tab. 2 Počet stanic v klimatologické databázi ČHMÚ podle poboček a skupin stanic k 31. prosinci 2020 (B – pobočka Brno, C – pobočka Č. Budějovice, H – pobočka H. Králové, L – pobočka Plzeň, O – pobočka Ostrava, P – pobočka Praha a U – pobočka Ústí nad Labem).

Table 2. Number of stations in the CHMI climate database by regional offices and station types as of 31 December 2020 (B – Brno regional office, C – České Budějovice regional office, H – Hradec Králové regional office, L – Plzeň regional office, O – Ostrava regional office, P – Praha regional office, and U – Ústí nad Labem regional office).

Pobočka	B	C	H	L	O	P	U	Celkem
stanice 1-3	144	118	91	99	143	126	80	801
stanice 4	107	56	76	47	113	129	50	578
stanice 5	2	0	0	0	24	0	0	26
stanice 6	207	27	44	97	165	10	82	632
stanice 7	62	34	16	14	152	14	34	326
stanice 8	132	9	86	60	153	64	30	534
stanice 9	117	46	62	104	131	133	75	668

4.4 Denní dostupnost jednotlivých dat (prvků) v klimatologické databázi ČHMÚ

V dalším textu přinášíme tabelární a mapový přehled dostupných dat podle jednotlivých meteorologických prvků. Mapy obsahují i tzv. doplňkové stanice, které na některých místech výrazně zahušťují standardní měření ČHMÚ.

Tab. 3 Počet standardních stanic s měřením příslušného meteorologického prvku k danému dni (ČHMÚ 2021).

Table 3. Number of standard stations measuring the relevant meteorological element on a given day (ČHMÚ 2021).

Meteorologický prvek	31.12.2017	31.12.2018	31.12.2019	31.12.2020
Teplota vzduchu	246	249	255	256
Úhrn srážek	745	738	744	740
Úhrn slunečního svitu	170	170	171	170
Směr a rychlost větru	209	211	212	211
Výška sněhové pokrývky	697	690	695	678
Výška nového sněhu	697	688	685	668
Tlak vzduchu	52	52	52	52
Globální záření	19	19	20	20

Z tab. 3 je patrné, že počty stanic a měření jednotlivých meteorologických prvků je celkově stabilizované a k velkým změnám nedochází. Je patrný pozvolný pokles počtu stanic s měřením nového sněhu a celkové sněhové pokrývky, který je způsoben ubýváním pozorovatelů, kteří jsou denně schopni a ochotni pro ČHMÚ měřit a sledovat počasí.

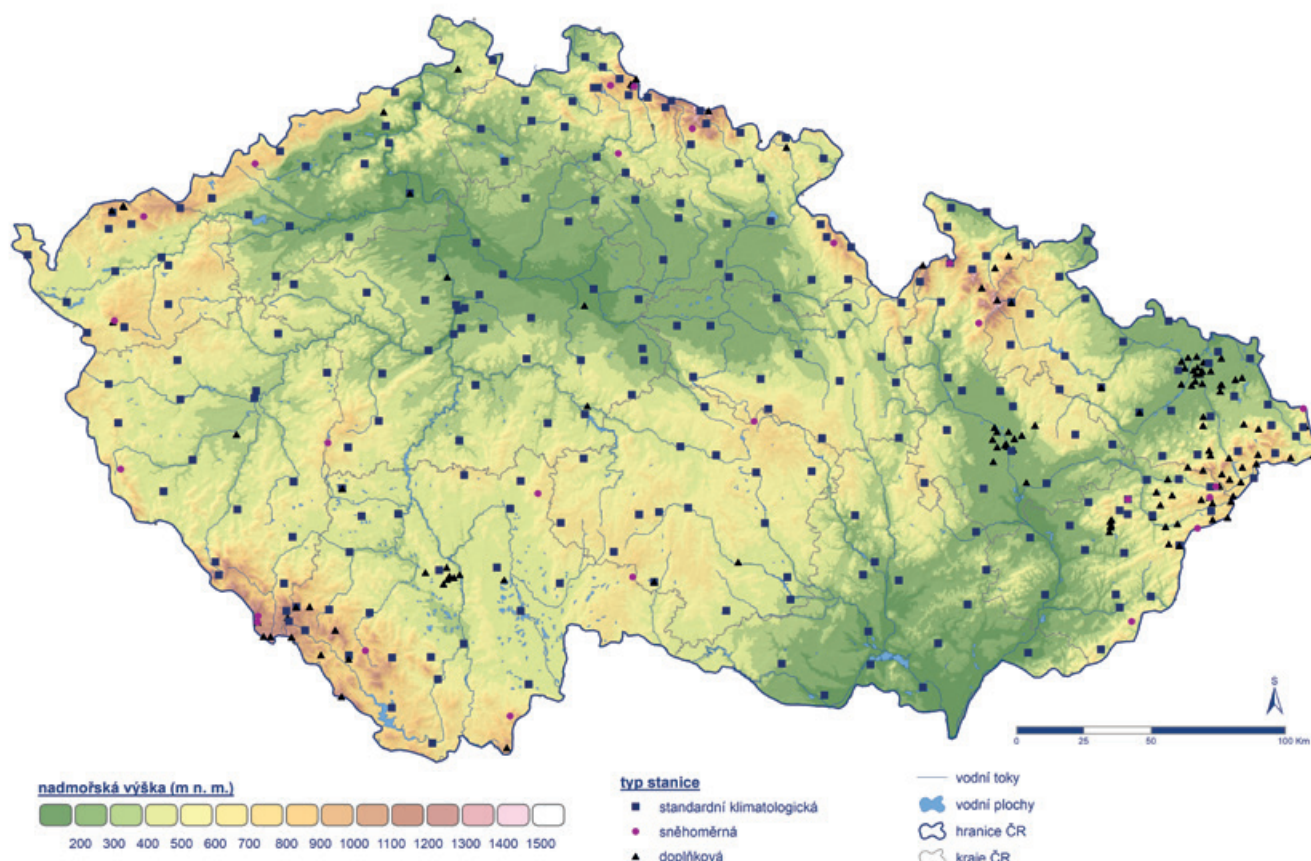
Teplota vzduchu je základní meteorologický prvek pro každou klimatologickou stanicí. Systematické měření teploty vzduchu začalo na našem území dříve než měření úhrnu srážek (Praha-Klementinum, 1775). Od nástupu automatizace se postupně na stanice nasazují teplotně-vlhkostní čidla s intervalem měření 10 minut (do roku 2010 15 minut), na některých stanicích se využívají teplotní odporová čidla. Naopak měření klasickými rtuťovými teploměry v meteorologických budkách bylo ukončeno k 31. prosinci 2012 a bylo ponecháno pouze na profesionálních stanicích v případě výpadku automatického měření. Teplotními čidly jsou vybaveny také automatické sněhoměrné stanice (polštáře a ultrazvuky). V některých regionech (Beskydy, Ostravsko, Šumava) je vybudována účelová síť teplotních stanic, na kterých jsou nasazována čidla s pětiminutovým intervalem měření, ovšem bez automatického přenosu dat (data musí být ze stanic shahována manuálně, obvykle každé tři měsíce).

Na obr. 3 je přehled dostupných klimatologických, sněhoměrných a doplňkových stanic s měřením teploty vzduchu, které jsou uloženy v klimatologické databázi CLIDATA. V roce 2020 bylo k dispozici v klimatologické databázi ČHMÚ 407 stanic, které měly alespoň jeden kompletní měsíc průměrné teploty vzduchu a k 31. prosinci 2020 to bylo 401 stanic. Standardní klimatologickou síť (256 stanic) tak doplňuje přibližně 150 do-

plňkových stanic. Některé z nich jsou automatizované s pravidelným přenosem dat do databáze. Velký počet těchto stanic a dat je dodáváno do databáze dávkově, tj. v týdenním, měsíčním, nebo i delším intervalu.

Pravidelné měření denního úhrnu srážek začalo v českých zemích na počátku 19. století (Brno 1803, Praha-Klementinum 1804) a stalo se nedílnou součástí každého typu meteorologické stanice. Za počátek automatizovaného záznamu srážkových úhrnů můžeme považovat období, kdy byly na vybrané stanice nasazovány registrační přístroje (ombrografy, pluviografy). Oficiální konec měření na těchto přístrojích v ČHMÚ byl stanoven k 31. prosinci 2009. Od poloviny 90. let začaly být nejprve na profesionálních a později na dobrovolnických stanicích nasazovány automatické klopné (člunkové) srážkoměry. V posledním desetiletí se začaly postupně nejprve na profesionálních stanicích (klopné srážkoměry zůstaly jako záložní) a následně i na dobrovolnických nasazovat srážkoměry váhové. Počet váhových a klopných srážkoměrů na stanicích v jednotlivých pobočkách obsahuje tab. 4.

V tab. 4 uvádíme přehled váhových a člunkových srážkoměrů. I když rozdíly mezi člunkovým (klopným) a váhovým srážkoměrem jsou známy, tak je zde shrneme. Člunkový (klopný) srážkoměr má pod zachytnou plochou dělenou vaničku, která se po naplnění vlastní vahou překlopí a voda se z poloviny vaničky vyleje. Vytvoří se záznam o úhrnu srážek (0,1 mm). Při intenzivních srážkách se člunek nestačí překlápět, což se řeší SW úpravou množství srážek ve verzi srážkoměru (MR3H-FC). V chladném období roku dochází k vytápění zachytné plochy srážkoměru, což vede k výparu srážek v kapalně či pevně for-



Obr. 3 Stanice měřící teplotu vzduchu.

Fig. 3. Air temperature measuring stations.

Tab. 4. Počty váhových a klopných/člunkových srážkoměrů ve standardní staniční síti ČHMÚ.

Table 4. Number of weighing and tipping bucket rain gauges in the standard CHMI station network.

Pobočka	Srážkoměr	
	Váhový	Klopný/člunkový
Brno	20	44
České Budějovice	31	29
Hradec Králové	30	37
Ostrava	22	48
Plzeň	33	22
Praha	37	30
Ústí nad Labem	24	26
Celkem	197	236

mě. V případě výskytu krup dochází k jejich vyskakování ze srážkoměru. Při roztápní tuhých srážek dochází k posunu doby záznamu výskytu srážek. Váhový srážkoměr přírůstek srážek váží a odpadají všechny výše uvedené nedokonalosti člunkových srážkoměrů. Konstrukce váhového srážkoměru je výrazně složitější než člunkového, a z toho je zřejmé, že i jeho cena je značně vyšší.

Na obr. 4 níže je přehled stanic s měřením úhrnu srážek podle jednotlivých typů stanic v klimatologické databázi CLIDATA. K dispozici bylo k 31. prosinci 2020 celkem 260 automatizovaných klimatologických stanic, 291 automatických srážkoměrných stanic, 417 manuálních srážkoměrných stanic (bez souběžných měření k automatickému srážkoměru), 7 doplňkových stanic s denním úhrnem srážek, 20 stanic s nevyhří-

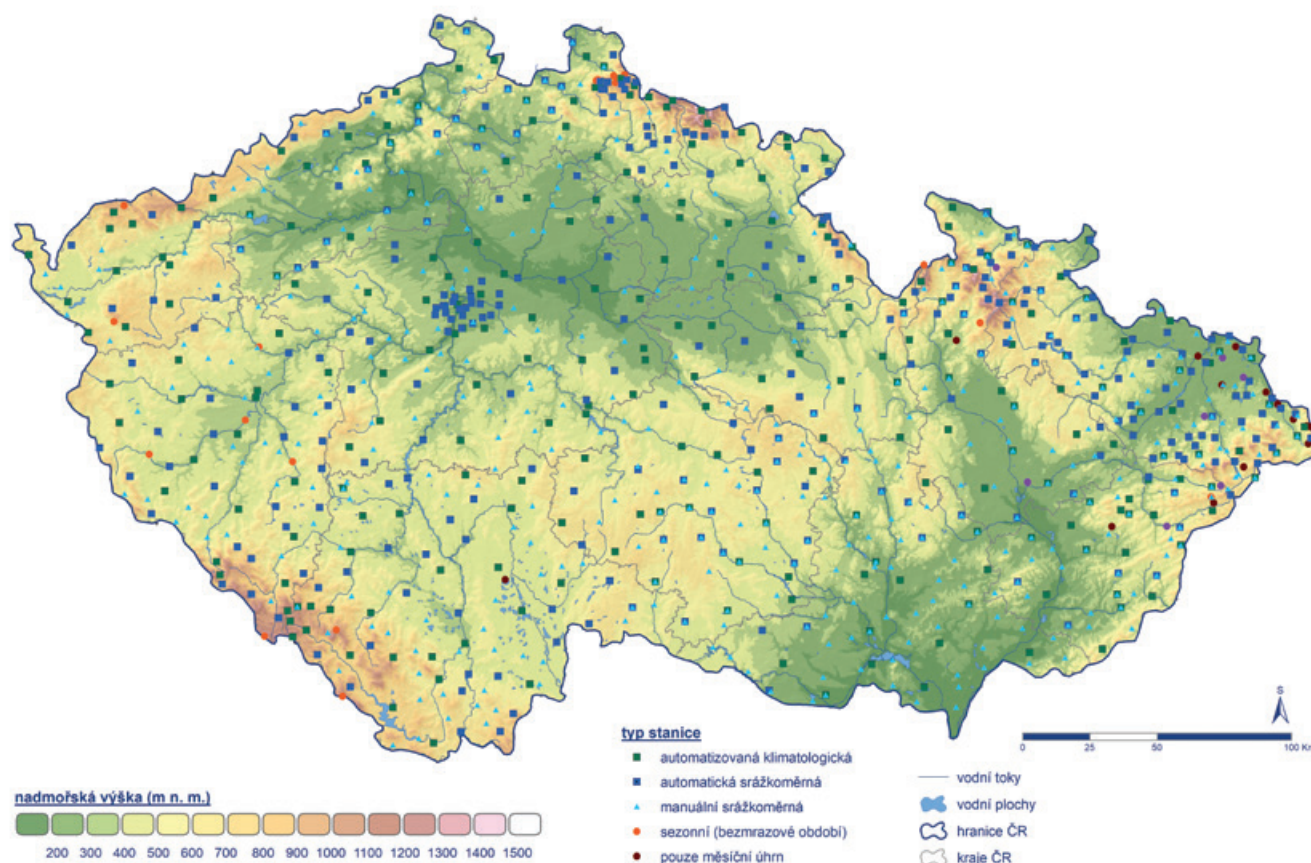
vaným srážkoměrem (sezonní data) a 16 stanic s měsíčním úhrnem srážek.

K výše uvedeným standardním stanicím jsou denně k dispozici data srážek z 85 stanic podniků Povodí Odry a Povodí Moravy na ostravské pobočce a na pražské pobočce 27 stanic Pražské vodárenské společnosti. Ve staniční síti je rovněž 26 stanic s nevyhříváním člunkovým/klopným srážkoměrem (3 na pobočce České Budějovice, 3 na pobočce Ostrava, 6 na pobočce Plzeň, 6 na pobočce Praha a 8 na území pobočky Ústí nad Labem).

Denní dostupnost dat ohledně úhrnů srážek v databázi CLIDATA je uvedena na mapě stanic rozdělených podle typu srážkoměru (obr. 5). K 31. prosinci 2020 jich bylo 601 v letním (bezmrazovém) období a v zimním období o 26 méně, tj. stanice s nevyhříváním klopným srážkoměrem. Zřetelně jde vidět hustá síť stanic v Praze, kde ústavní síť významně doplňují data stanic Pražské vodárenské společnosti. Dále účelová srážkoměrná síť v Jizerských horách a na severu Moravy doplňují data stanice podniku Povodí Odry a Moravy.

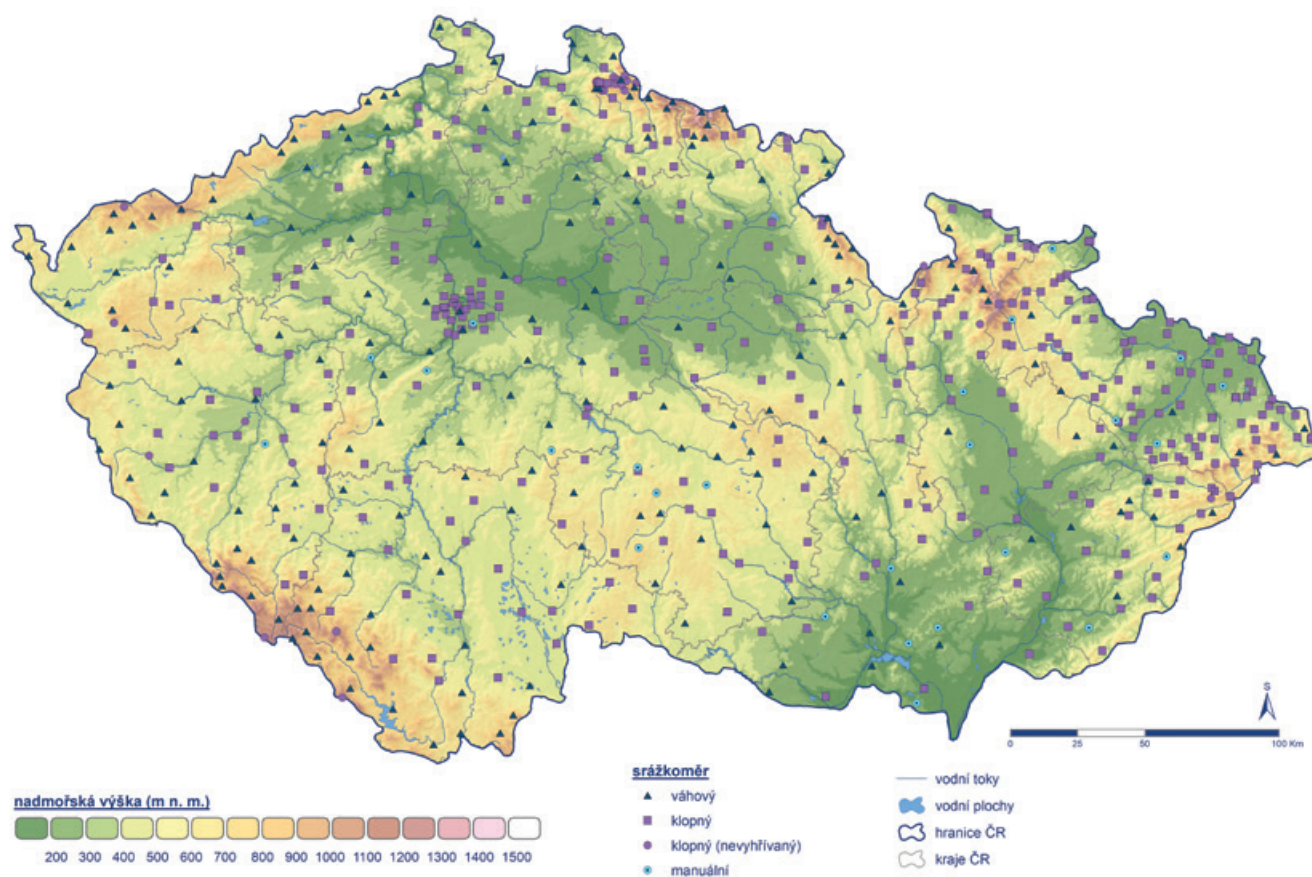
Každodenní dostupnost denního úhrnu srážek je možná i z manuálních srážkoměrných stanic, pokud pozorovatel data naměřená klasickým srážkoměrem denně vkládá do webového formuláře Cliweb, což však není jeho povinností.

Počet stanic, kde se manuálně měří výška nového sněhu, prakticky kopíruje počet stanic s pozorovatelem. V roce 2020 to bylo 682 stanic (ne všechny měřily celý rok). Pro měření tohoto prvku zatím není k dispozici žádný automatický přístroj, a proto s trendem postupného úbytku dobrovolných pozorovatelů a také instalací automatických sněhoměrů, které tento prvek nezaznamenávají, se snižuje i počet lokalit s jeho záznamem.



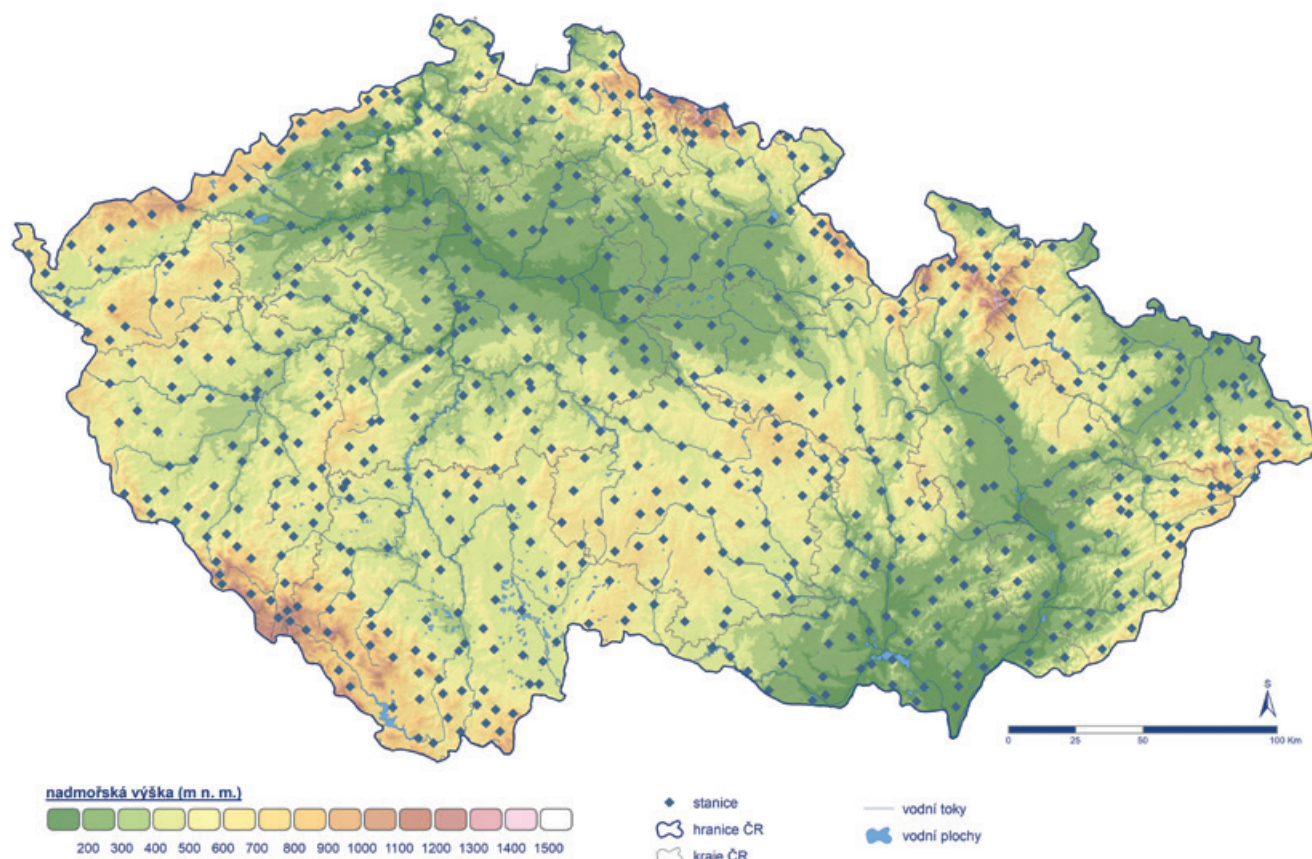
Obr. 4 Stanice měřící úhrn srážek.

Fig. 4. Stations measuring total precipitation.



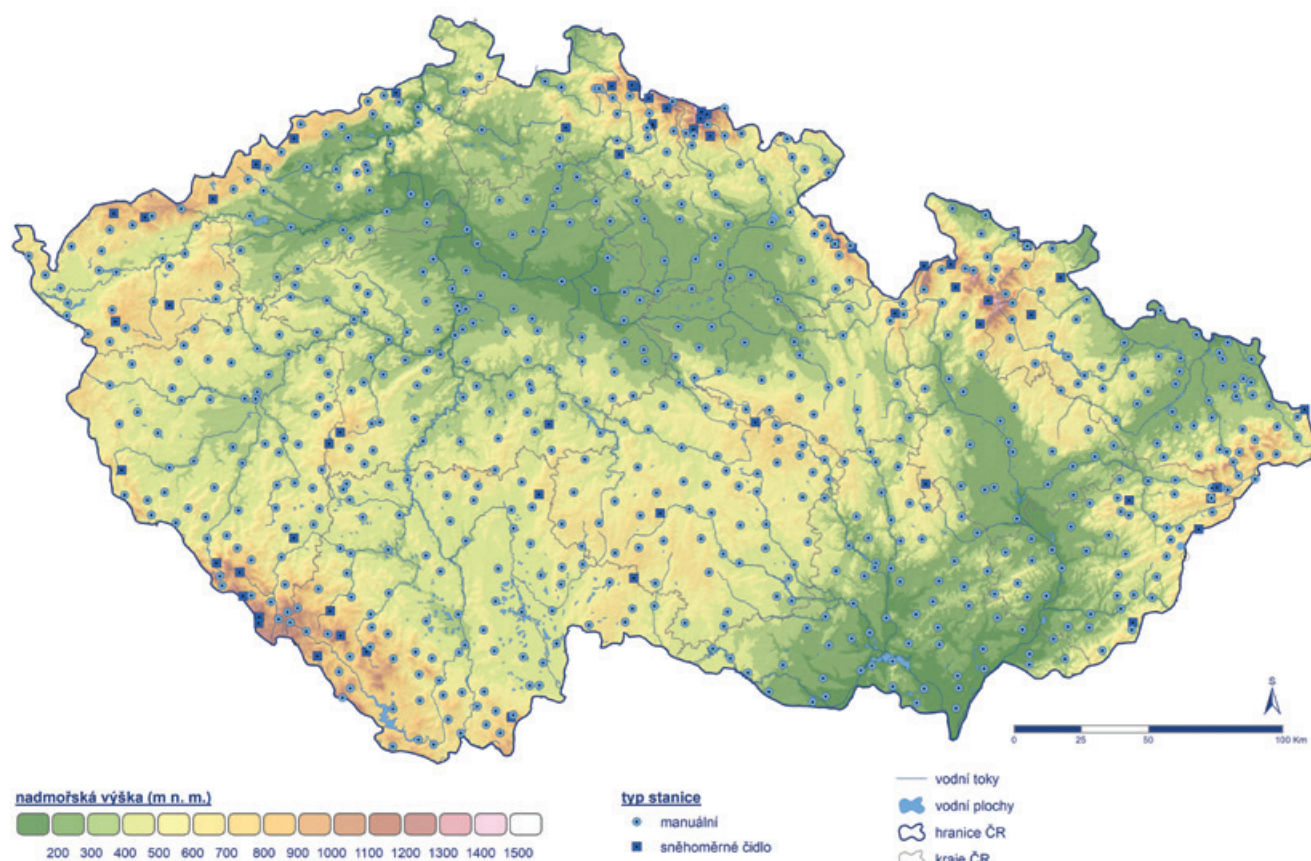
Obr. 5 Stanice s denní dostupností úhrnu srážek v databázi CLIDATA.

Fig. 5. Stations with availability of daily total precipitation in the CLIDATA database.



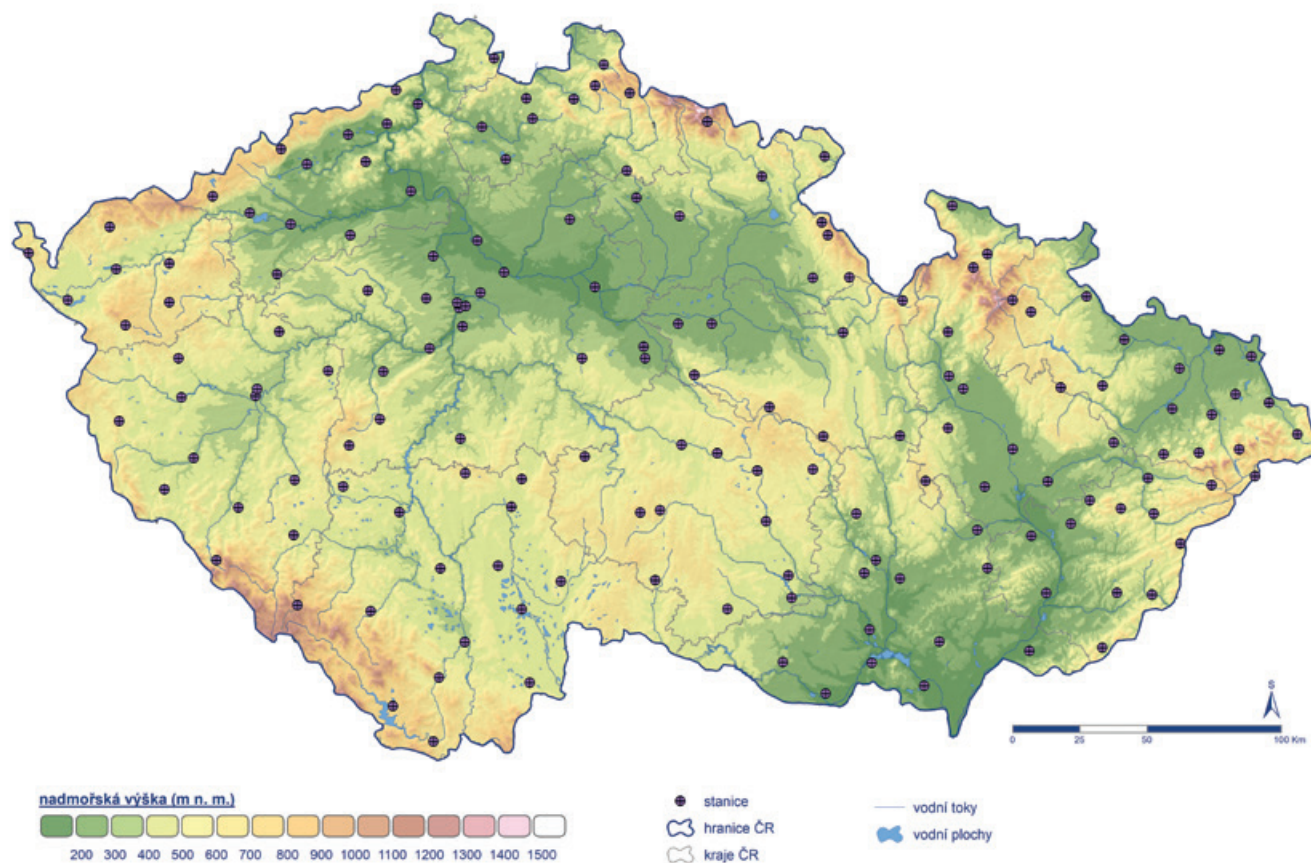
Obr. 6 Stanice měřící nový sníh.

Fig. 6. Stations measuring the depth of new snowfall.



Obr. 7 Stanice měřící celkovou sněhovou pokrývkou.

Fig. 7. Stations measuring the total snow depth.



Obr. 8 Stanice se subjektivně sledovanými meteorologickými prvky v databázi CLIDATA.

Fig. 8. Stations with subjectively monitored meteorological elements in the CLIDATA database.

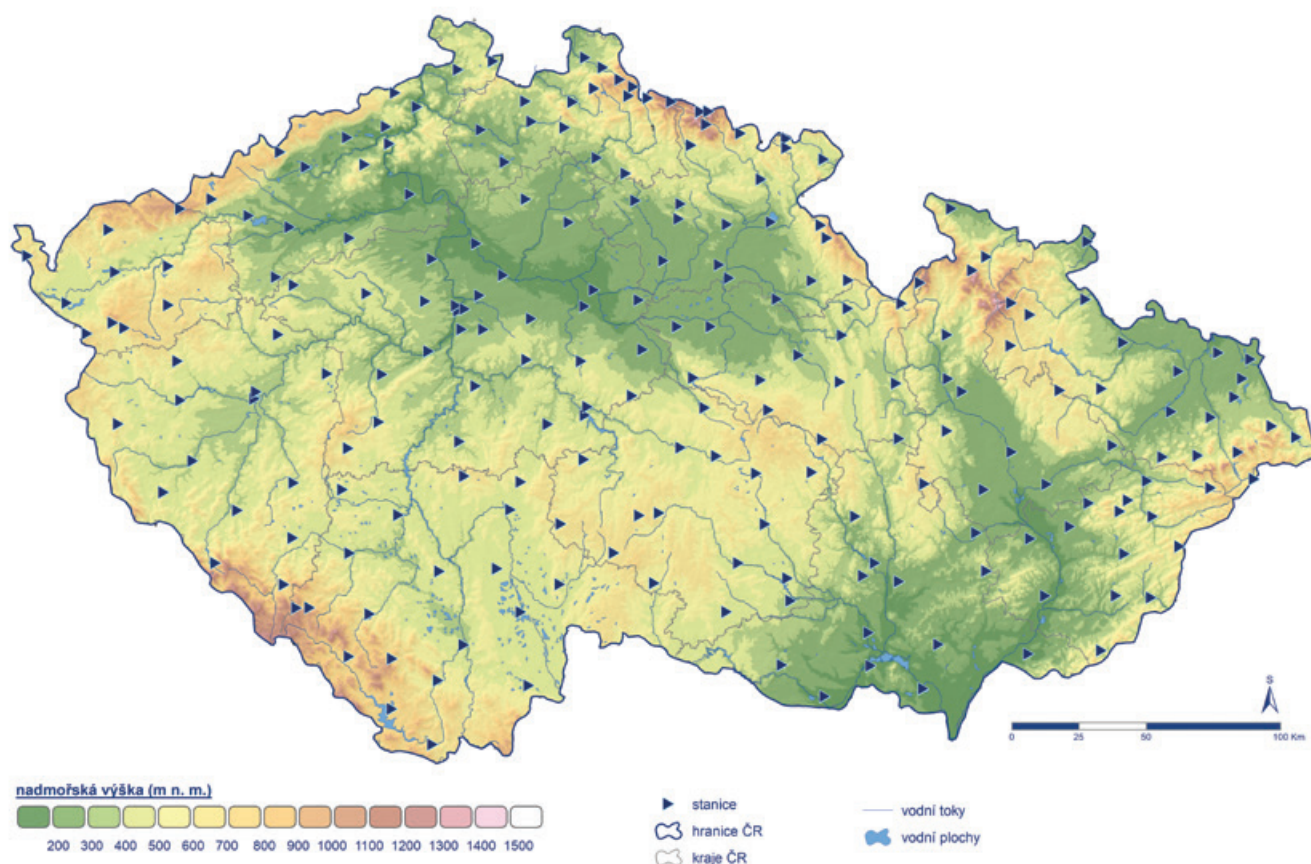
Podobně jako u nového sněhu, i manuálně měřená celková výška sněhové pokrývky se provádí na všech stanicích s pozorovatelem. Od roku 2010 je postupně do staniční sítě zaváděno automatické měření celkové výšky sněhu na tzv. sněhoměrných polštářích a v posledních letech na samostatně stojících ultrazvukových sněhoměrech s napájením solárními panely a také laserovými sněhoměrnými čidly, které se zapojují do elektroniky na již existujících automatizovaných stanicích. Automatické měření sněhu je preferováno zejména v horských lokalitách případně tam, kde chybí pozorovatel a manuální měření. Celkově jsme v roce 2020 měli k dispozici 740 stanic s měřením celkové sněhové pokrývky.

Subjektivně pozorované a zapisované prvky (stav počasí (A), oblačnost (O) a stav půdy (Y)) vychází z tradice pozorovacího programu manuální klimatologické stanice. Oblačnost se v klimatologických termínech zaznamenávala již v 19. století, a to číselnými kódy, ale také kreslenými symboly půlkruhu. Stav půdy se v měsíčních výkazech pozorování začíná objevovat od 40. let 20. století. Stav počasí, který ve své podstatě vystihuje záznam oblačnosti a některých meteorologických jevů, je na stanicích zaváděn od roku 1980. Mimo oblačnosti je využitelnost těchto prvků v klimatologii velmi omezená a tyto prvky slouží zejména při kontrolách dat, kde vyžadují vazbu na jiné prvky nebo meteorologické jevy. V roce 2020 jsme měli k dispozici 163 stanic se sledováním těchto meteorologických prvků.

V roce 2020 bylo ve staniční síti ČHMÚ 229 lokalit s měřením větroměrných charakteristik. Tato data jsou velmi potřebná nejen pro poznávání proudění přízemního větru v různých geografických oblastech našeho území, ale také zejména z důvodu likvidací pojistných událostí při způsobených škodách.

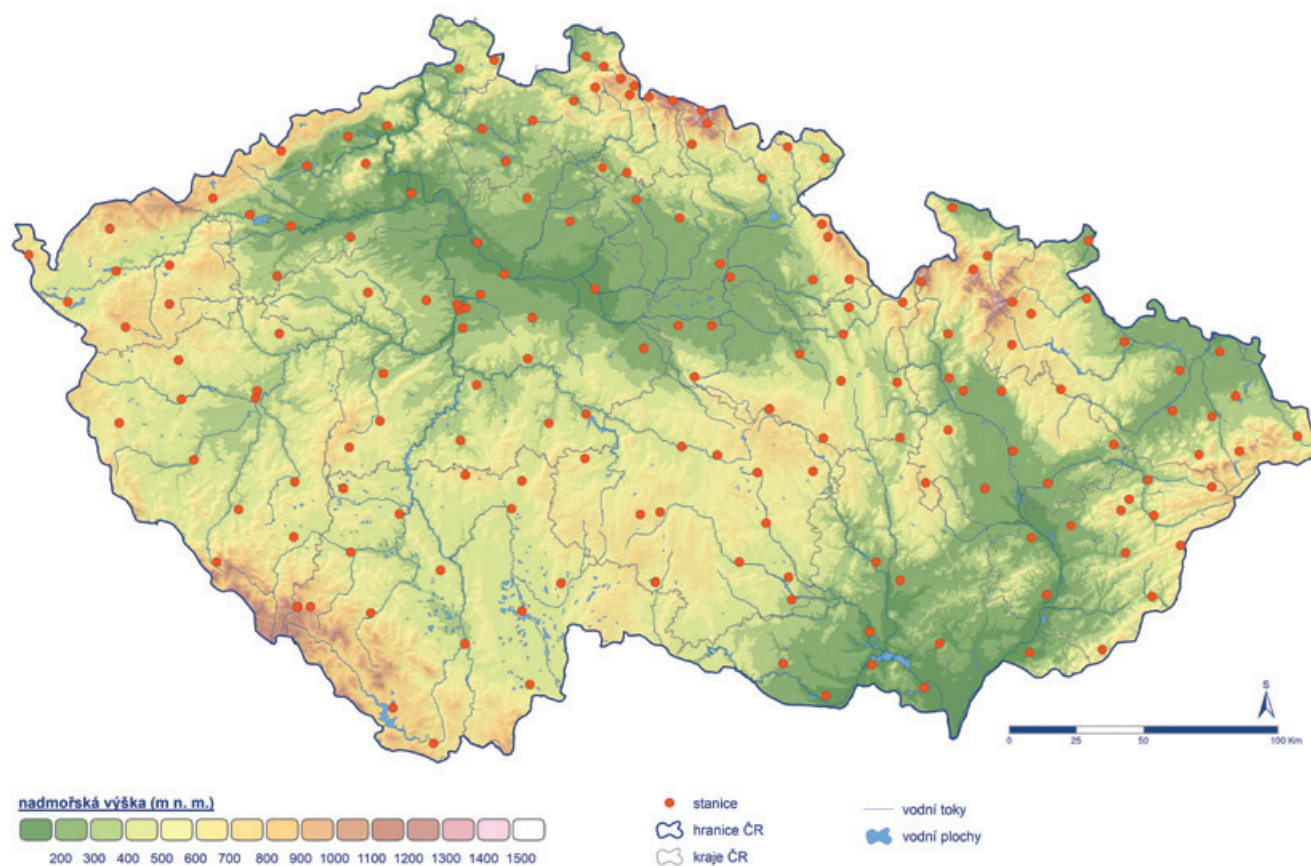
Zatímco u profesionálních stanic je většinou měření větru reprezentativní, na mnoha dobrovolnických stanicích tomu tak není. Problém je, že nelze vždy najít vhodnou lokalitu, případně se podmínky v průběhu času zhoršují. Často je potřeba měření větru z pozemku přesunovat na střechy budov, což ale znamená další velké vstupní náklady, protože jde vlastně o novou stanicí (elektroniku). V případě nasazení ultrasonických větroměrných čidel je kvalita dat všeobecně vyšší, přístroj není vystaven mechanickému opotřebení ložisek, jako v případě miskových anemometrů, a je rovněž odolnější v náročnějších klimatických podmínkách. Kalibrační lhůta pro větroměrná čidla je dvouletá, existují však případy, kdy musí být miskové anemometry měněny i dříve z důvodu nárůstu nulových nebo velmi nízkých rychlostí větru. Na všech profesionálních stanicích jsou dnes hlavními měřicími přístroji ultrasonická čidla, zatímco miskové anemometry a větrné směrovky jsou ponechány jako záložní. Vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům jsou ultrasonické snímače na dobrovolnické síti nasazovány jen výjimečně.

Denní úhrn slunečního svitu se začal měřit na vybraných klimatologických stanicích od 30. let 20. století. Klasickým Campbell-Stokesovým heliografem se dnes měří už jen výjimečně, na profesionálních stanicích jsou však stále jako záložní v případě výpadku čidla. S rozvojem automatizace byla každodenní výměna slunoměrných pásek od konce 20. století zaměňována za různé typy slunoměrných čidel, jejichž zásadní výhodou je záznam každé sekundy slunečního svitu (na rozdíl od desetin hodin z heliogramu). Stejně jako u větru, i zde je docela zásadní výběr místa pro měření s co nejvíce otevřeným a nezastíněným jižním obzorem. Při zakládání stanic mohou být podmínky výborné a zhoršit se až v průběhu



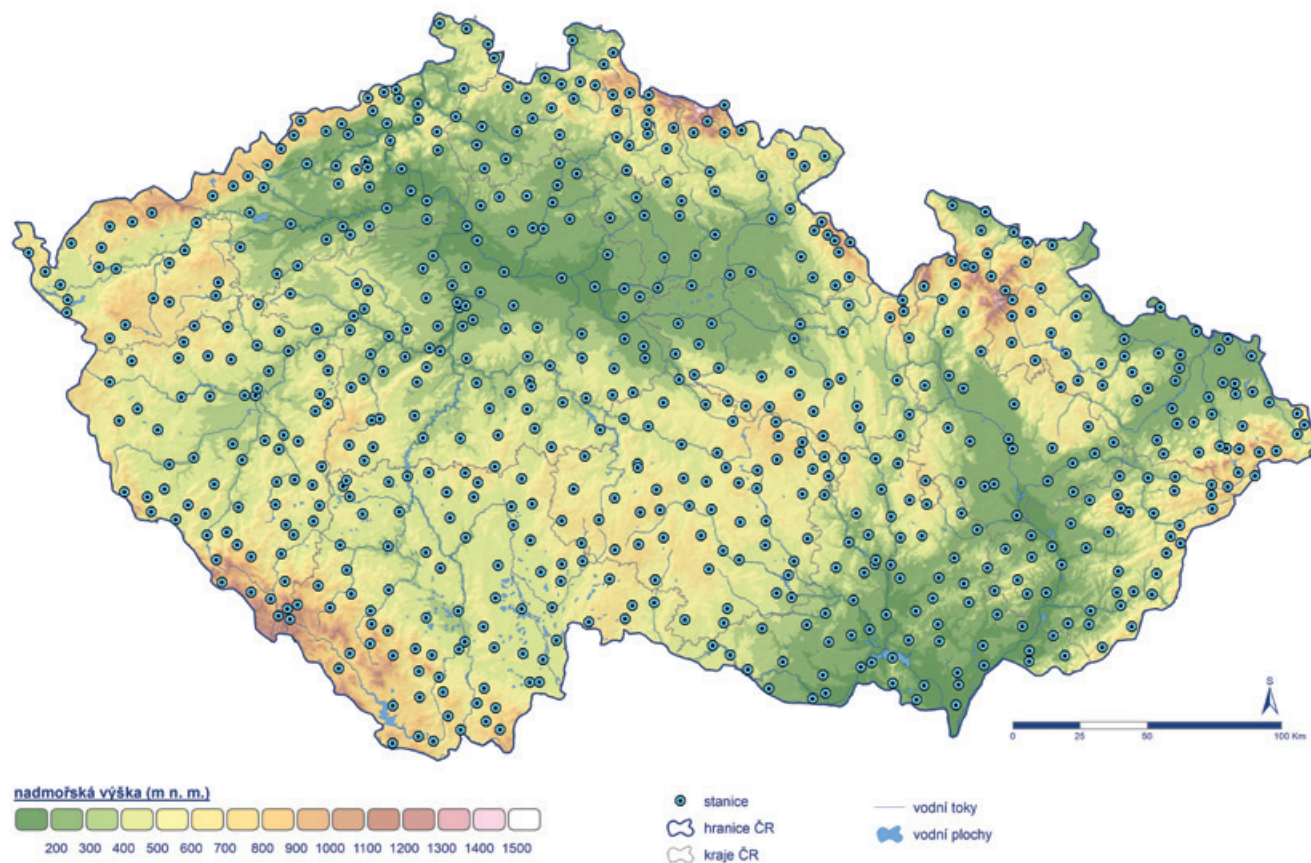
Obr. 9 Stanice s měřením směru a rychlosti větru v databázi CLIDATA.

Fig. 9. Stations measuring the wind speed and direction in the CLIDATA database.



Obr. 10 Stanice s měřením délky trvání slunečního svitu v databázi CLIDATA.

Fig. 10. Stations measuring the sunshine duration in the CLIDATA database.



Obr. 11 Stanice se sledováním a záznamem meteorologických jevů v databázi CLIDATA.

Fig. 11. Stations with observation and recording of meteorological phenomena in the CLIDATA database.

let. Slunoměrná čidla jsou i poměrně citlivá na různé nečistoty na skleněném povrchu nebo i na náhlé výpadky, např. při bouřkách, což se může projevit poklesem hodnoty úhrnu svitu vždy ve stejnou dobu, přestože na daném místě slunce prokazatelně svítí. V roce 2020 bylo k dispozici 171 lokalit (stanic) s měření slunečního svitu (převážně automatickými čidly). Na stanicích Kostelní Myslová, Churáňov, Kocelovice a Doksany se provádí souběžné měření slunečního svitu klasickým slunoměrem (Campbell-Stokes).

Pozorování a zaznamenávání trvání, průběhu a intenzity meteorologických jevů patří k základnímu standardu každé profesionální i dobrovolnické stanice. Jejich kvalita je však velmi rozdílná podle typu stanice. Profesionální stanice mají ve většině případů jevy zaznamenávány v pořádku a v plném možném rozsahu jejich výskytu. Na dobrovolnických stanicích kvalita napozorovaných jevů značně kolísá. Příčinou je absence pozorovatelů během dne, menší zájem o každodenní rutinní sledování počasí nebo jejich špatné návyky. V mnoha případech pozorovatelé zaznamenávají pouze padající srážky, udávají pouze časové zkratky namísto přesnějšího určení začátku nebo konce jevu. Paradoxně i na stanicích AKS1 s obsluhým PC občas pozorovatelé využívají přístupu k datům a z nich vytvářených grafů k záznamu trvání např. dešťových srážek, které neodpovídá realitě. Naproti tomu je mnoho pozorovatelů (zejména „amatérských meteorologů“ nebo v institucích, jež data potřebují), kteří se záznamem jevů vyrovnají profesionálním stanicím. V roce 2020 zaznamenávalo 644 stanic meteorologické jevy. Bohužel ne všechny stanice pozorují jevy v požadované kvalitě.

I když má záznam meteorologických jevů velmi dlouhou tradici sahající až k začátkům meteorologických měření, tak je v současné době velmi těžké takové sledování počasí zajistit a řada meteorologických služeb již toto sledování neprovádí.

5. Návrh členění automatizované staniční sítě

Současné základní členění (meteorologické) staniční sítě podle systému osmimístního indikativu je velmi dobrý a stále odpovídá našim provozním požadavkům. Z výše popsaných informací je zřejmé, že podrobnější členění automatizovaných meteorologických stanic podle současné položky „station_type“ již neodpovídá současnému stavu staniční sítě a je částečně zastaralé.

Původní velká výhoda stanic typu AKS1, počítač pro vkládání manuálně měřených prvků a meteorologických jevů, se stává „přítěží“ pro své nároky na kybernetickou bezpečnost, aktualizace, antivirovou ochranu, doménové zapojení apod., a v případě poruchy není jednoduché provést okamžitou výměnu.

Naopak řada stanic typu AKS2, tedy se stejným vybavením čidla jako AKS1 předává manuálně měřená data přes webový formulář z jakéhokoliv PC, příp. i mobilního telefonu. Přístup je možný pouze do definované stanice a přes přidělené jméno a heslo uživatele.

Mnozí pracovníci a zřejmě i meteorologická obec by ocenili členění stanic podle vybavení jednotlivými čidly a rozsahu měření a pozorování, rozsahu manuálních měření a informací, zda jsou data dostupná on-line, denně, dávkově či měsíčně.

Z tohoto důvodu přinášíme dva návrhy možných způsobů třídění automatizovaných stanic podle nových/jiných staničních

typů včetně ilustrační ukázky a porovnání stávajícího členění s těmi navrhovanými na území pobočky ČHMÚ Ostrava.

Členění stanic podle jejich typu (station type) je úzce spjato s databázovým zpracováním dat. Tento systém vznikl s rozvojem databázového systému CLIDATA, ve kterém máme uložena nejen meteorologická a klimatologická data, a je naprosto klíčový pro výběr a zpracování stanic a jejich třídění.

Hlavní motivací nového rozdělení pro automatizované klimatologické a srážkoměrné stanice pod správou OMK ČHMÚ (tj. stanice _1%, _2%, _3%, příp. _7%) je lépe vystihnout rozdělení stanic pro veřejnost, zejména pro různé mapové nebo tabulární výstupy, ať už na portále nebo v jiné webové či papírové podobě. Současná kategorizace je spíše vhodná pro interní potřeby, vychází částečně z historie a kombinují se v ní rozdíly ve způsobu odesílání dat s různým pozorovacím programem stanice, což je pro laickou veřejnost stěží pochopitelné. Dalším důvodem je postupné nahrazování původních stanic AKS1 stanicemi AKS2 se stejným pozorovacím programem, jen odlišným způsobem odesílání dat a také rostoucím počtem stanic bez dodatečného měření a pozorování prvků pozorovatelem.

Nabízíme meteorologické veřejnosti možné nové způsoby členění staniční sítě (na ukázce stanic v působnosti pobočky ČHMÚ v Ostravě) a budeme rádi za jakékoliv reakce, připomínky či nápady, jak staniční přehledy lépe prezentovat.

5.1 Přístup základní stanice se standardním programem

První přístup dělení vychází z toho, že základní automatizovaná stanice má určitou škálu standardně měřených a pozorovaných prvků. Nebere se v úvahu způsob automatického odesílání dat (přes obsluhné PC nebo přímo router ve stanici) ani frekvence odesílání manuálně naměřených dat (denně, obden, týden, měsíc) a ani to, zda je stanice ve vlastnictví ČHMÚ nebo jiného subjektu (lze zjistit v jiné části geografie).

1. AMS (stanice typu AMS, AMS1)

Automatizovaná klimatologická stanice na profesionálních stanicích s automatickým měřením prvků z automatické stanice a manuálním měřením sněhoměrných charakteristik a zápisem pozorovaných prvků, a s tvorbou zprávy SYNOP.

2. AMSr (stanice typu AMS2, AMS3)

Automatizovaná klimatologická stanice na profesionálních stanicích s automatickým měřením prvků z automatické stanice a automatickou tvorbou zprávy SYNOP.

Pozn.: „r“ má vystihovat fakt, že stanice je nějakým způsobem „redukována“

3. AKS (stanice typu AKS1, některé AKS2 a AKS)

Dobrovolnické automatizované klimatologické stanice „Meteoservisu“ se standardním pozorovacím programem. Za standard automatického měření jsou považovány tyto meteorologické prvky:

- okamžitá teplota vzduchu
- maximální teplota vzduchu
- minimální teplota vzduchu
- přízemní minimální teplota vzduchu
- relativní vlhkost vzduchu
- okamžitá rychlost větru

- okamžitý směr větru
- maximální rychlost větru
- směr maximální rychlosti větru
- čas maximální rychlosti větru
- úhrn srážek
- úhrn slunečního svitu

Za standard manuálního měření a pozorování je považováno:

- oblačnost
- stav počasí
- stav půdy
- nový sníh
- celková výška sněhu
- vodní hodnota sněhu
- záznam meteorologických jevů

U některých stanic mohou být nadstandardně navíc automaticky měřeny teploty půdy, tlak vzduchu, globální záření, výpar, nebo v poslední době se rozšiřující automatické měření celkové výšky sněhu (v tomto případě nemusí být manuálně měřen nový sníh a celková výška sněhu). Některé stanice vybavené automatickým člunkovým srážkoměrem mohou navíc měřit denní úhrn srážek i manuálním srážkoměrem.

4. AKSr (stanice typu AKS3, AKS4, některé AKS2 a AKS)
Ostatní dobrovolnické automatizované klimatologické stanice, kterým chybí automatické nebo manuální měření nebo pozorování některého prvku, považovaného za standard.

5. ASS (některé stanice typu ASS)
Dobrovolnické automatizované srážkoměrné stanice se standardním pozorovacím programem, tj. automatické pravidelné měření úhrnu srážek a manuální měření nového sněhu, celkové výšky sněhu a vodní hodnoty sněhu a pozorování meteorologických jevů. Stejně jako u klimatologických stanic mohou být některé srážkoměrné stanice vybaveny automatickým sněhoměrným čidlem nebo mohou navíc manuálně měřit denní úhrn srážek.

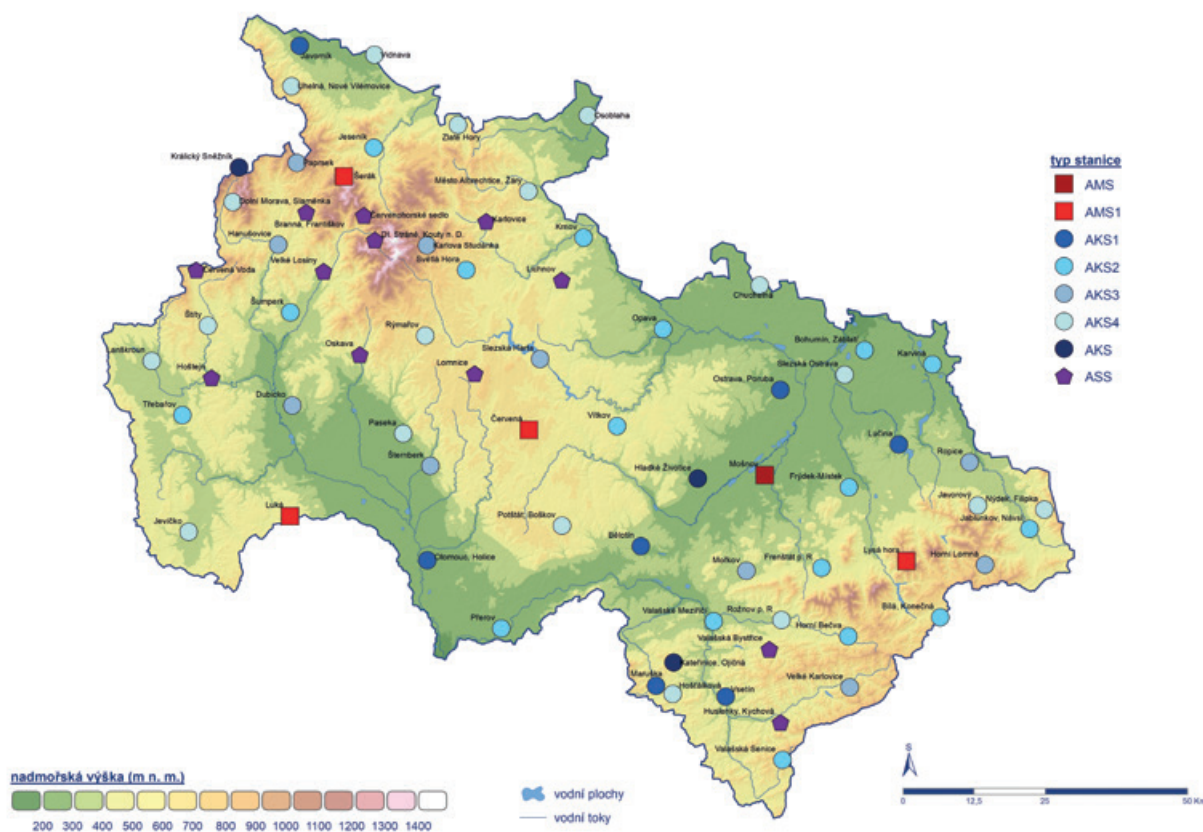
6. ASSr (některé stanice typu ASS)
Ostatní dobrovolnické automatizované srážkoměrné stanice, kterým chybí měření některého prvku, považovaného za standard.

5.2 Přístup dělení stanic s pozorovatelem

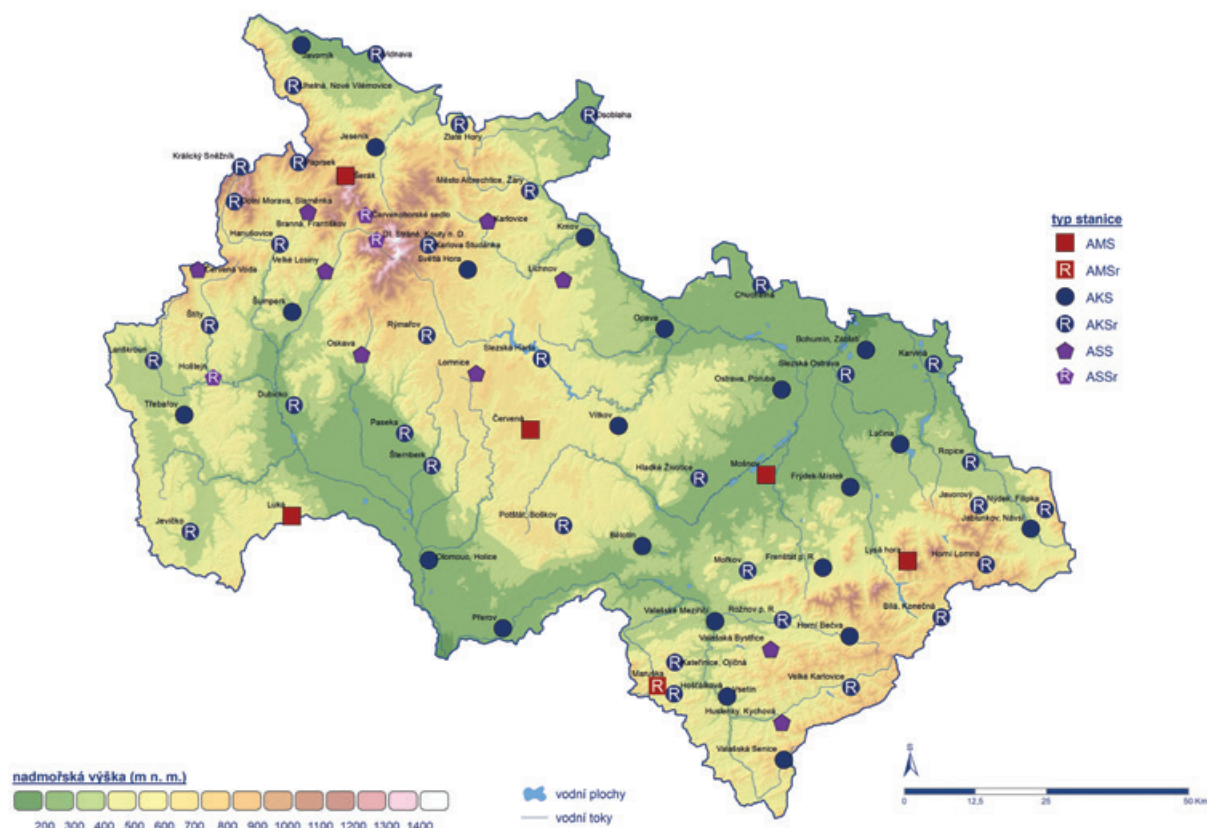
Druhý přístup vychází ze snahy dát navíc i informaci o tom, zda je stanice obsluhována pozorovatelem (manuální měření a pozorování), nebo je čistě automatická.

1. AMSp (stanice typu AMS, AMS1)

Automatizovaná klimatologická stanice na profesionálních stanicích s automatickým měřením prvků z automatické stanice a manuálním měřením sněhoměrných charakteristik a zápisem pozorovaných prvků a tvorbou zprávy SYNOP. Pozorovatel je na stanici aktivní po celých 24 hodin, nebo

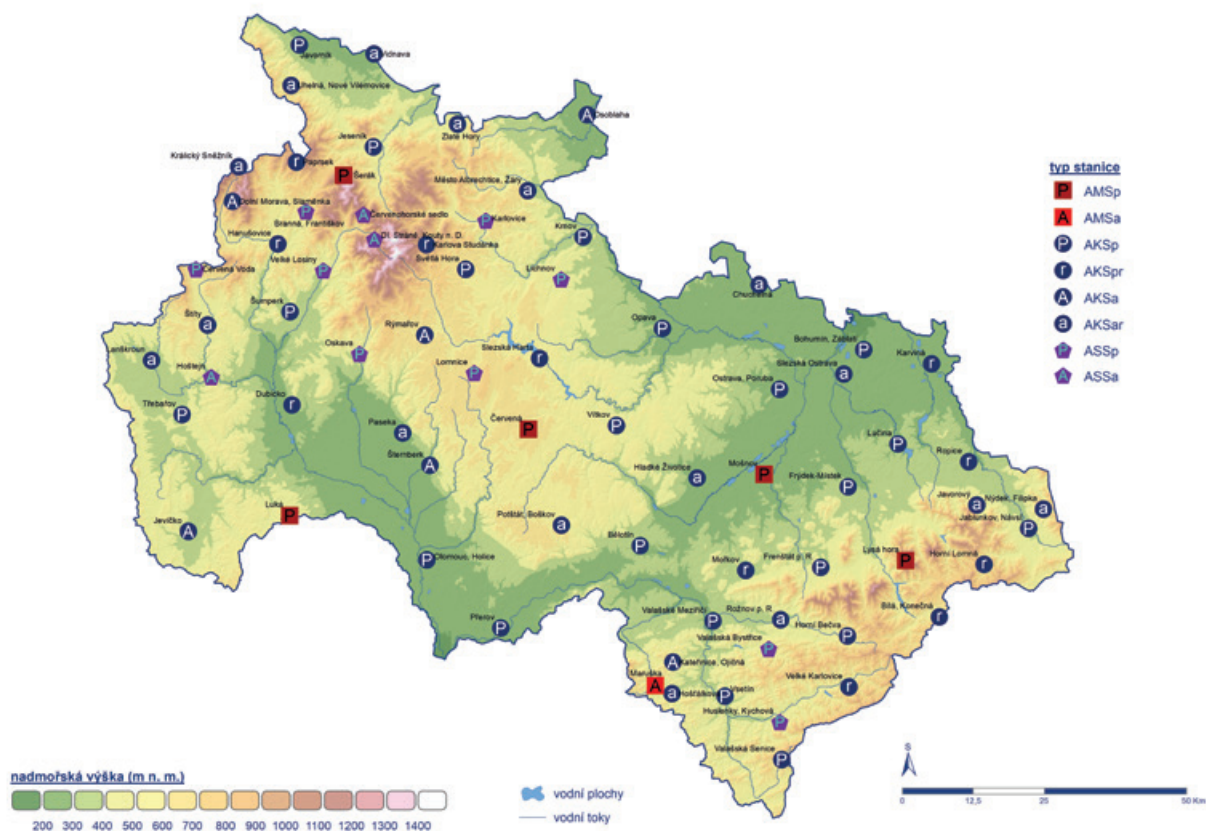


Obr. 12 Rozdělení automatizované meteorologické staniční sítě pobočky ČHMÚ Ostrava podle aktuálního dělení typů stanic.
Fig. 12. Categorization of the automated meteorological station network of the CHMI Ostrava branch according to the current division of station types.



Obr. 13 Rozdělení automatizované meteorologické staniční sítě pobočky ČHMÚ Ostrava podle přístupu základní stanice se standardním programem.

Fig. 13. Categorization of the automated meteorological station network of the CHMI Ostrava branch according to type of the base station with the standard program.



Obr. 14 Rozdělení automatizované meteorologické staniční sítě pobočky ČHMÚ Ostrava podle přístupu dělení stanic s pozorovatelem.

Fig. 14. Categorization of the automated meteorological station network of the CHMI Ostrava branch according to type of stations with an observer.

během nočního období je na stanici k dispozici v případě potřeby.

2. AMSa (stanice typu AMS2, AMS3)

Automatizovaná klimatologická stanice na profesionálních stanicích s automatickým měřením prvků z automatické stanice a automatickou tvorbou zprávy SYNOP. Pozorovatel nemusí být fyzicky na stanici, pouze v případě potřeby, případně není k dispozici vůbec.

Pozn.: „**p**“ má vystihovat fakt, že stanice je obsluhována „**pozorovatelem**“, „**a**“ pak, že stanice je „**automatická**“, bez pozorovatele.

3. AKSp (stanice typu AKS1, některé AKS2 a AKS)

Dobrovolnické automatizované klimatologické stanice se standardním pozorovacím programem, tj. stejně jako stanice typu AKS podle předchozího přístupu dělení stanic.

4. AKSpr (stanice typu AKS3, některé AKS2 a AKS)

Dobrovolnické automatizované klimatologické stanice, kterým chybí automatické měření některého prvku, považovaného za standard, nechybí však manuální měření a pozorování pozorovatelem.

5. AKSa (některé stanice typu AKS4 a AKS)

Dobrovolnické automatizované klimatologické stanice, kterým nechybí automatické měření některého prvku, považovaného za standard, chybí však manuální měření a pozorování pozorovatelem.

6. AKSar (některé stanice typu AKS4 a AKS)

Dobrovolnické automatizované klimatologické stanice, kterým chybí automatické měření některého prvku, považovaného za standard a chybí také manuální měření a pozorování pozorovatelem.

7. ASSp (některé stanice typu ASS)

Dobrovolnické automatizované srážkoměrné stanice se standardním pozorovacím programem, tj. stejně jako stanice typu ASS podle předchozího přístupu dělení stanic.

8. ASSa (některé stanice typu ASS)

Dobrovolnické automatizované srážkoměrné stanice, kterým chybí manuální měření a pozorování pozorovatelem.

6. Závěr

V souvislosti s obnovením vydávání Meteorologických (klimatologických) ročenek v roce 2021 za roky 2019 a 2020 jsme se rozhodli připravit článek, který se bude věnovat meteorologické staniční síti. V ročenkách není a nebude dostatek prostoru se této problematice věnovat, proto jsme zvolili tuto formu prezentace informací o staniční síti. Domníváme se, že jakási ucelená informace chybí a jistě bude přínosná nejen pro čtenáře ročenek. Vzhledem k rozsahu zpracování geografických informací o staniční síti a omezenému rozsahu časopisu není možné předpokládat, že se tyto přehledy budou vytvářet a publikovat každý rok. To by bylo možné jen v digitální podobě, pokud se k tomu najde forma a prostor.

Základem tohoto příspěvku a záměrem autorů bylo přiblížit čtenářům, jak vypadá standardní a doplňková staniční síť ČHMÚ. Jak se stanice člení a třídí, co stanice měří, jak jsou změřená data dostupná v klimatologické databázi ČHMÚ. Slovní popis jsme doplnili aktuálními mapami staniční sítě a mapami dostupnosti jednotlivých meteorologických prvků, které vhodně doplnily i přehledové tabulky.

Protože staniční síť v roce 2020 nestojí ve vzduchoprázdnu, snažili jsme se přinést stručné informace o historickém vývoji staniční sítě, zejména o jejím dřívějším členění, aby čtenář pochopil, jak jsme dospěli k současnému členění a třídění stanic.

V současné době je fungování celé klimatologie, staniční sítě a správy dat úzce spojeno s klimatologickou databází ČHMÚ, kterou nazýváme CLIDATA a často je v příspěvku zmiňována.

Velmi často je potřeba vytvářet přehledy staniční sítě, jak v grafické, tak tabulkové formě. Pro pracovníky Odboru klimatologie a regionálních poboček, kteří disponují databázovými nástroji, to není složité. Horší situace je, pokud potřebuje vytvořit výstupy a přehledy pro kolegy z jiných oborů a pro meteorologickou veřejnost. Současné členění staniční sítě nám neumožňuje rychlé vytváření různých pohledů na data a jejich dostupnost tak, abychom je mohli rychle a efektivně prezentovat. Proto jsme se rozhodli prezentovat návrhy na nové členění staniční sítě, které by lépe prezentovalo měnící se strukturu staniční sítě v meteorologii. Budeme rádi za jakoukoliv zpětnou vazbu, za náměty a připomínky.

Poděkování:

Autoři děkují recenzentům za všechny připomínky k obsahu příspěvku, které pomohly odhalit specifika staniční sítě na některých pobočkách ČHMÚ a odstranily některé historické nejasnosti vývoje staniční sítě.

Literatura:

ČHMÚ 2021. Meteorologická ročenka 2020 [rukopis]. Praha: ČHMÚ. [cit. 15. 8. 2021]

GREGOR, A., 1920. Návod k meteorologickým pozorováním. I. Část všeobecná. Praha: Státní ústav meteorologický. 6 s.

CLIDATA: Klimatologická databáze [online databáze], Praha: ČHMÚ [cit. 15. 8. 2021].

KRŠKA, K., ŠAMAJ, F., 2001. Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku. 1 vyd. Praha: Univerzita Karlova v Praze. Nakladatelství Karolinum. 568 s. ISBN 80-7184-951-0.

LIPINA, P., ŘEPKA, M., 2010. Digitalizace klimatologických dat ze stanic na severní Moravě a ve Slezsku. In: *Práce a studie*, sešit 34, Praha: ČHMÚ. 132 s. ISBN 978-80-86690-85-5. ISSN 1210-7557.

LIPINA, P., 2014. Historie a současnost návodů a metodik pro pozorovatele meteorologických stanic. *Meteorologické zprávy*, roč. 67, č. 4, s. 112–119. ISSN 0026-1173.

LIPINA, P., 2017. Členění meteorologické staniční sítě ČHMÚ a horské meteorologické stanice v Česku. *Meteorologické zprávy*, roč. 70, č. 5, s. 134–142. ISSN 0026-1173.

SCHNEIDER, R., 1928. Státní ústav meteorologický v prvním desetiletí republiky 1918–1928. Publikace řady C. Svazek I. Praha: SÚM.

Lektoři (Reviewers):

Mgr. Eva Kalná, Ing. Dáša Richterová

POČASÍ A ROSTLINY

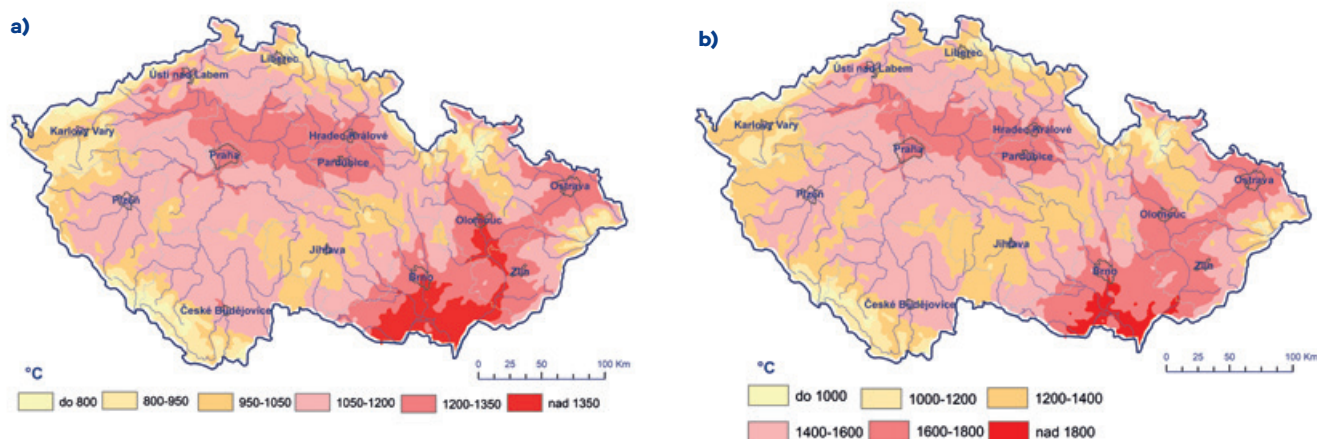
Fenologický vývoj na území ČR v červenci a srpnu 2021

V tomto čísle Vás budeme informovat, jak se změnily vybrané agroklimatické charakteristiky a jaký byl vývoj vegetace v průběhu letních měsíců červenec a srpen 2021.

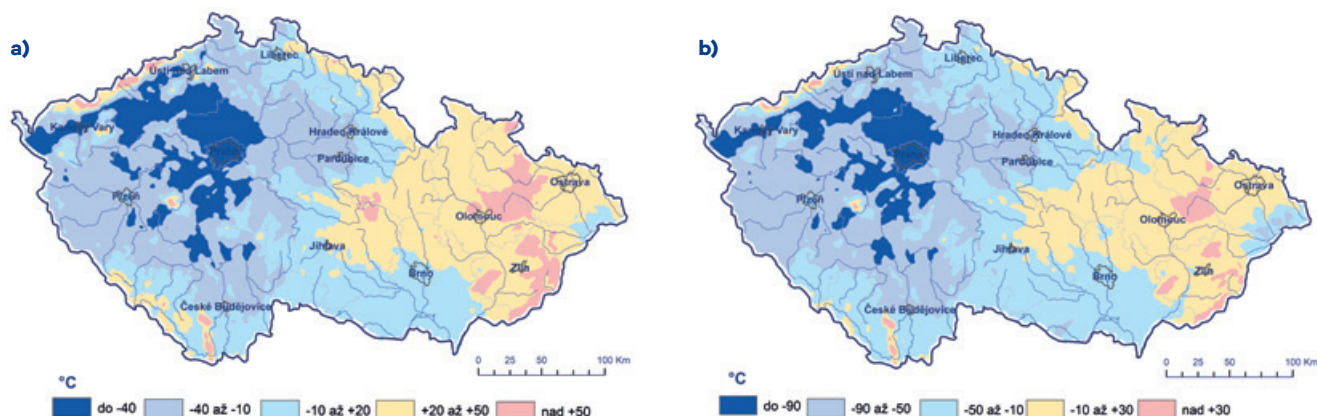
Suma efektivních teplot nad 5 °C od začátku roku k 31. 7. a k 31. 8. 2021 je uvedena v následujících mapách (obr. 1). Ke

konci července se sumy na většině území pohybovaly v rozmezí 800–1 350 °C a ke konci srpna v rozmezí 1 000–1 800 °C.

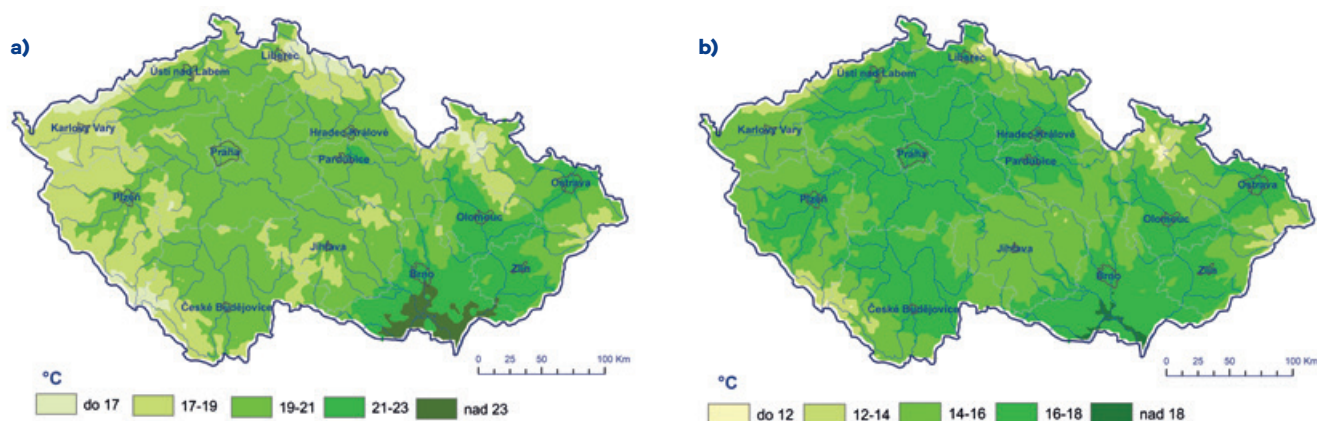
Odchylky sumy efektivních teplot vzduchu nad 5 °C od normálu 1981–2010 (obr. 2) ukazují, že i nadále pokračoval chladnější ráz počasí. Sumy efektivních teplot vzduchu nad 5 °C byly v červenci a srpnu pod normálem 1981–2010 na většině území Čech, kladné odchylky se vyskytovaly na většině území Moravy a v pohraničních horách.



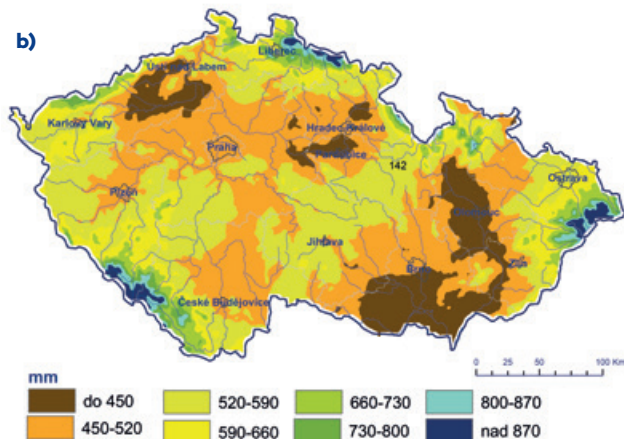
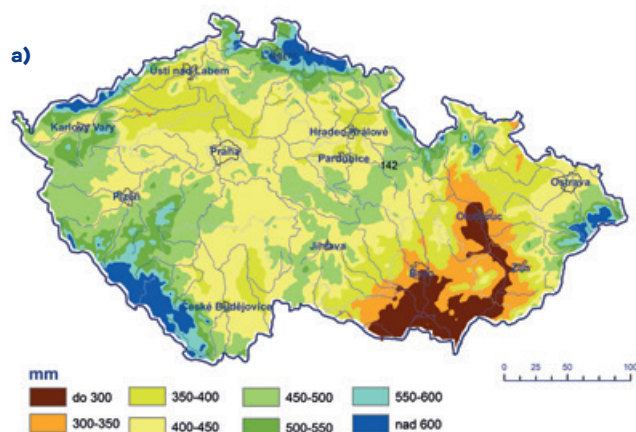
Obr. 1 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C k 31. 7. 2021 (a) a k 31. 8. 2021 (b).



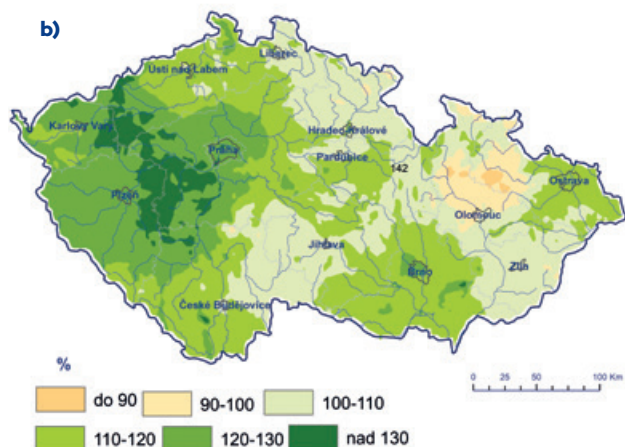
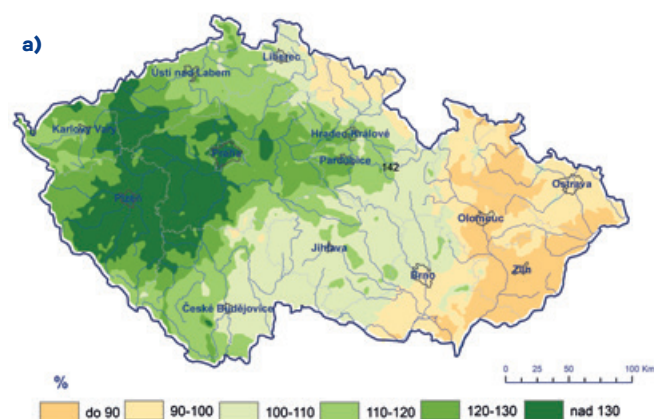
Obr. 2 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C (odchylka od normálu 1981–2010) k 31. 7. 2021 (a) a k 31. 8. 2021 (b).



Obr. 3 Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 31. 7. 2021 (a) a 31. 8. 2021 (b).



Obr. 4 Kumulativní úhrn srážek k 31. 7. 2021 (a) a k 31. 8. 2021 (b).



Obr. 5 Kumulativní úhrn srážek (% normálu 1981–2010) k 31. 7. 2021 (a) a k 31. 8. 2021 (b).

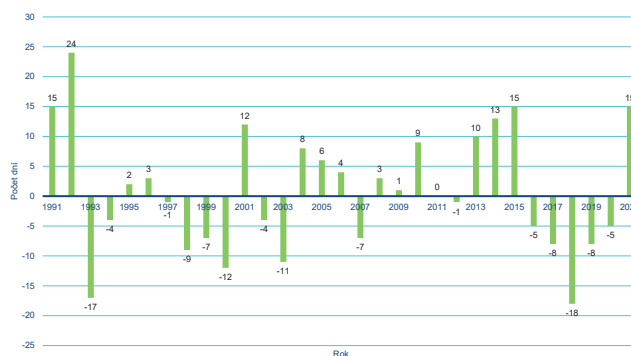
Teplota půdy v 10 cm se ke konci července pohybovala v rozmezí 17 až 23 °C (obr. 3), v srpnu se snížila na 12 až 18 °C.

Kumulativní úhrn atmosférických srážek (od 1. 1. 2021) k 31. 7. a 31. 8. je zobrazen v mapách na obr. 4. Při srovnání s normálem (obr. 5) dosahovaly v červenci a srpnu úhrny srážek 90 až 130 % normálu, výrazný rozdíl byl zaznamenán mezi Čechy a Moravou, zejména v červenci, kdy na většině území Moravy dosahovaly úhrny srážek pod 90 % a 90 až 100 % normálu, a v Čechách naopak srážkové úhrny představovaly 110 až 130 % normálu.

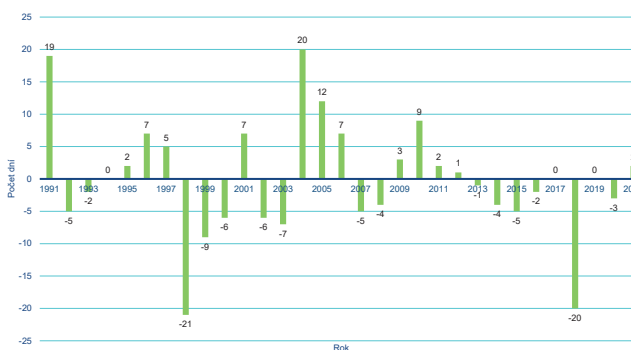
V první dekádě července odkvétala lípa srdčitá, bez černý, trávy či šípoková růže, postupně začaly fruktifikovat některé dřeviny, např. jeřáby, hlohy, akáty. Na většině území dozrávaly borůvky a kvetly třešňalky. Místy stále kvetla kopretina bílá a jetel plazivý. Dozrávalo obilí a v závislosti na počasí na některých lokalitách pozvolna začínala sklizeň.

Ve druhé dekádě července pokračovala fruktifikace dřevin (např. svíd, javorů, bříz a dalších), dozrával bez hroznatý a začala kvést vrbka úzkolistá a pokračovala sklizeň obilí (na některých lokalitách byl její průběh negativně ovlivněn deštivým počasím).

Ve třetí dekádě července i nadále pokračovala sklizeň obilí, řepky ozimé, meruněk, broskvoní, višní a dalších ovocných dřevin. Stále kvetla vrbka úzkolistá a třešňalka tečkovaná a dozrávaly plody volně rostoucích dřevin (např. jeřáb ptačí či bez hroznatý).



Obr. 6 Počátek kvetení (10 %) vrbky úzkolisté – odchylky od průměru 1991–2020.



Obr. 7 Zralost plodů (10 %) bezu černého – odchylky od průměru 1991–2020.



Obr. 8 Zralost plodů (10 %) bezu hroznatého – odchylky od průměru 1991–2020.

V průběhu srpna pokračovala sklizeň polních plodin a ovocných dřevin (zejména v první dekádě), začal dozrávat bez černý, kvetl rákos, a místy stále kvetla třezalka a vrba. Ve třetí dekádě srpna začala sklizeň chmele.

Pylový semafor byl v červenci na stupni 2 (mírné riziko) až 3 (střední riziko), hlavními alergeny byly trávy, bez černý a lípa srdčitá. Tyto druhy postupně odkvétaly. Pylový semafor byl ve druhé dekádě ukončen, opětovně bude spuštěn na začátku pylové sezóny v roce 2022.

Na obr. 6–8 jsou uvedeny odchylky od dlouhodobého průměru vybraných fenologických fází. Pro zajímavost uvádíme fot-



Obr. 9 Květ a zralé plody bezu černého – stanice Český Rudolec.

ku bezu černého ze stanice Český Rudolec (obr. 9) – na konci srpna zde pozorovatel zachytil květ i zralé plody na stejném jedinci bezu černého.

Nové informace o vývoji vegetace v podzimních měsících září a říjen vám přineseme v dalším čísle.

Lenka Hájková

INFORMACE – RECENZE

Profesor Jan Bednář pěťasedmdesátiletý

Dne 10. listopadu 2021 se dožil sedmdesáti pěti let profesor RNDr. Jan Bednář, CSc., dlouholetý vedoucí Katedry meteorologie a ochrany prostředí Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze a prorektor Karlovy univerzity. Shodou okolností se v sobotu 16. října ve Velké aule Karolina konečně uskutečnila od roku 2020 několikrát odkládaná Zlatá promoce absolventů Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy z roku 1970. Na této akci jsem se s prof. Bednářem sice nesešel, ale toto setkání mne inspirovalo k tomu, abych tento příspěvek pojmul trochu netradičně.

S Honzou (doufám, že mi prof. Bednář toto oslovení promine) jsem totiž v rámci studia na MFF absolvoval v letech 1967–1970 tři roky společného studia oboru meteorologie. Původně jsme byli na studium tohoto oboru přijati tři, ale třetí kolega v létě 1967 tragicky zahynul v Alpách a celé specializované studium meteorologie jsme s Honzou absolvovali pouze ve dvou. Mělo to své výhody i nevýhody. Všechny oborové přednášky a cvičení se konaly v příjemném prostředí knihovny katedry ve II. patře historické budovy matematicko-přírodovědných ústavů UK v ulici U Karlova č. 3, případně v pracovnách externích přednášejících. Výhodou byl velmi dobrý kontakt s přednášejícími, který umožňoval případné okamžité konzultace k probírané látce, na druhé straně to vyžadovalo jednak nutnost stálého soustředění při výuce a jed-

nak dobrou koordinaci naší účasti při výuce (vyučující vyžadovali buď účast obou, nebo naopak předem domluvenou neúčast obou). Společné studium s Honzou rovněž nebylo jednoduché. Byl totiž velmi dobrým studentem, s výborným logickým myšlením a vynikající pamětí. V důsledku toho se v několika semestrech stalo, že já šel teprve na první zkoušku a Honza již měl všechny hotové. Jeho vědecké, pedagogické i obecně lidské vlastnosti si velmi brzo uvědomil prof. Brandejs i tehdejší vedoucí katedry doc. Zikmunda a podařilo se jim získat pro Honzu trvalé pracovní místo na katedře. Jeho následná úspěšná kariéra na Karlově univerzitě je dostatečně známá – od asistenta, přes docenta a profesora meteorologie až po prorektora univerzity.

Vzhledem k tomu, že jsem na katedře ještě několik let zůstal na studijním pobytu a řádné aspirantuře (s výjimkou jednoho roku základní vojenské služby), měl jsem možnost se s Honzou denně setkávat až do roku 1974 a využívat jeho vždy ochotné rady a konzultace. Rád rovněž vzpomínám na neformální setkávání všech členů katedry u přestávek na kávu v knihovně katedry, které byly kromě odborných diskusí někdy vyplněny vzpomínkami či židovskými anekdotami pana profesora Brandejse či popichováním nás nejmladších panem docentem Zikmundem. Závěrem tohoto příspěvku bych rád Honzovi poděkoval za všechno, co mi spolupráce a setkávání s ním dalo a přeji mu do dalších let pohodu, klid a především hodně a hodně zdraví.

Zdeněk Blažek

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

Tisk:

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

ISSN 0026-1173

Registrační číslo MK ČR E 5107

© Meteorologické zprávy, Český hydrometeorologický ústav

VEŘEJNÁ SPECIALIZOVANÁ KNIHOVNA ČHMÚ

**Zahraniční časopisy odebírané specializovanou
knihovnou ČHMÚ – výběr:**

BAMS – *USA*

Climatic Change – *Nizozemsko*

Danube Watch – *Rakousko*

ECMWF – *Velká Británie*

ICAO Journal – *Kanada*

Időjárás – *Maďarsko*

International Journal of Climatology – *Velká Británie*

Journal of Applied Meteorology and Climatology – *USA*

Journal of the Atmospheric Sciences – *USA*

Journal of Hydrology and Hydromechanics – *Slovensko*

Journal of the Meteorological Society of Japan – *Japonsko*

La Météorologie – *Francie*

Meteorologický časopis (Meteorological Journal) – *Slovensko*

Meteorologische Zeitschrift – *Německo*

Monthly Weather Review – *USA*

Promet – *Německo*

Przegląd geograficzny – *Polsko*

Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society – *Velká Británie*

Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography – *Dánsko*

Tellus B: Chemical and Physical Meteorology – *Dánsko*

Vodohospodársky spravodajca – *Slovensko*

Weather – *Velká Británie*

Weather and Forecasting – *USA*

WMO Bulletin – *Švýcarsko*

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

Kontakt:

Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17

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