

Meteorologické zprávy

ROČNÍK
78–2025

5

125 Možnost využití EU ETS 1 dat pro inventarizaci emisí v ocelářském průmyslu

Barbora Kočí – Andrea Veselá – Jitka Slámová

131 Pozorované změny nástupu fenofází na mezinárodní fenologické zahrádce v Doksanech

Daniel Bareš – Martin Možný – Lenka Hájková

138 Využití indexů stability vypočtených z modelu ALADIN pro předpověď bouřek

Martin Motl – David Rýva

Meteorological
Bulletin

Český
hydrometeorologický
ústav



125 Possibility of using EU ETS 1 data for emissions inventory in the steel industry

Barbora Kočí – Andrea Veselá – Jitka Slámová

131 Observed changes in the onset of phenophases at the International Phenological Garden in Doksany

Daniel Bareš – Martin Možný – Lenka Hájková

138 Storm prediction based on stability indices from the ALADIN numerical model

Martin Motl – David Rýva

Rozšiřuje – Free booking:

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

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

Možnost využití EU ETS 1 dat pro inventarizaci emisí v ocelářském průmyslu

Possibility of using EU ETS 1 data for emissions inventory in the steel industry

Barbora Kočí

Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 17
143 06 Praha 4-Komořany
✉ barbora.koci@chmi.cz

Andrea Veselá

KONEKO marketing, spol. s r. o.
Sojovická 2
197 00 Praha 9-Kbely
✉ veselkaandrea@icloud.com

Jitka Slámová

Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 17
143 06 Praha 4-Komořany
✉ jitka.slamova@chmi.cz

This introductory study explores the comparability between national statistical data (ČSÚ) and EU ETS 1 operational data in the Czech steel sector representing a key category in the National greenhouse gas inventory. Due to the sector's concentration in a small number of large installations, a high level of consistency between the two data sources would be expected. However, persistent discrepancies suggest the need for closer examination. The study identifies main sources of divergence and considers how EU ETS 1 data could be methodologically integrated into national reporting. It also discusses the importance of transitioning to higher-tier IPCC methods to improve accuracy. For context, emission estimation approaches in two neighbouring countries are briefly outlined.

KLÍČOVÁ SLOVA: plyny skleníkové – energetika – průmysl – EU ETS – IPCC – zpráva národní inventarizační – průmysl ocelářský

KEYWORDS: greenhouse gases – energy – industry – EU ETS – IPCC – National Inventory Document – steel industry

1. Úvod

Emise oxidu uhličitého z ocelářského průmyslu představují významnou složku průmyslových emisí v České republice; jejich podíl na celkových národních emisích činil v roce 2023 přibližně 5,5 % (NID 2025). V Národních inventurách se v souladu s metodikou IPCC (2006) emise z tohoto odvětví typicky rozdělují do dvou kategorií. Jednak do sektoru energetiky 1.A.2.a Železo a ocel, kam spadá přímé spalování paliv při výrobě železa a oceli, a také do sektoru průmyslu 2.C.1 Výroba železa a oceli, kam se řadí procesní emise vznikající při chemických reakcích ve výrobě železa a oceli. Toto rozčlenění přímo ovlivňuje sběr dat a následné agregace v národních reportech. V tomto textu používáme pojem ocelářský průmysl jako souhrnné označení pro výrobu železa i oceli, včetně souvisejících procesů, jako je aglomerace, vysoké pece, konvertory a válcovny. Je důležité zmínit, že obě kategorie jsou na národní i evropské úrovni definovány jako klíčové. To znamená, že jejich absolutní nebo relativní příspěvek (či příspěvi k nejistotě) významně přispívá k celkovým emisím a/nebo k celkové nejistotě inventury. Klíčové kategorie se identifikují podle IPCC (2006) analýzou příspěvku a nejistoty a slouží ke zlepšení dat a metod ve vykazování.

Každoroční Národní inventury skleníkových plynů (NID) jsou sestavované podle metodiky IPCC (2006) a spravuje je Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). Jejich primárním úkolem je identifikovat zdroje a kvantifikovat emise. Nejsou-li k dispozici strukturovanější provozní údaje, využívají se při sestavování inventury agregovaná národní data z Českého statistického úřadu (dále jen ČSÚ). Vedle těchto souhrnných statistik existují i provozní, měřená a ověřená data v rámci Evropského systému pro obchodování s emisemi (EU ETS 1), která zachycují emise na úrovni jednotlivých velkých zařízení. Firmy odevzdávají dotazníky a roční hlášení pro EU ETS 1 na základě povinnosti stanovené směrnicí 2003/87/ES a prováděcích nařízení, která vyžadují schválený monitorovací plán, pravidelné měření/monitorování emisí a ověřené výkazy. Podrobná pravidla pro monitorování a vykazování upravuje prováděcí Nařízení komise (EU) 2018/2066. Tato data jsou primárně určena pro regulaci a obchodování s povolenkami. Rozdíl v cílech, rozsahu a metodikách obou datových sad vede k systematickým nesouladům, které je třeba při porovnání prozkoumat a následně zohlednit.

Provozovatelé s povinností vykazovat své emise v rámci EU ETS 1 mají pro monitorování emisí ze zařízení možnost použít buď metodiku založenou na výpočtu, nebo metodiku založenou na měření (EU 2018/2066, článek 21). V případě metody založené na výpočtu však nemohou postupovat libovolně, ale

musí dodržovat minimální úroveň přesnosti stanovenou nařízením, která se odvíjí od významu paliva či materiálu a zařízení. Provozovatelé mají dvě možnosti. První možností je, že provozovatel pro příslušné palivo provede analytický rozbor v akreditované laboratoři, která stanoví jeho výhřevnost a/nebo emisní faktor. S těmito údaji, specifickými pro dané palivo v konkrétním podniku, dále stanoví emise CO₂. V druhém případě provozovatel pro výpočty emisí CO₂ použije standardní hodnoty pro výpočtové faktory, těmi mohou být dle článku 31 EU 2018/2066 i standardní faktory používané členským státem pro podání národní inventury sekretariátu Rámcové úmluvy Organizace spojených národů o změně klimatu. Národní inventarizační systém ČR každoročně zveřejňuje na webu ČHMÚ seznam paliv s výhřevnostmi, emisními a oxidačními faktory. Zdrojem dat pro výhřevnost paliv je ČSÚ, emisní faktory vychází z metodiky IPCC jakožto defaultní hodnoty. Výjimkou jsou emisní faktory hnědého uhlí, černého uhlí, briket a zemního plynu, které jsou národně specifické a jsou každoročně aktualizovány inventarizačním týmem. Oxidační faktory jsou defaultní z metodiky IPCC s výjimkou oxidačních faktorů pro hnědé a černé uhlí a brikety, které jsou národně specifické. Uvedené hodnoty jsou vyjádřeny jako 5letý průměr z hodnot používaných v národní inventarizaci. Dlouhodobý průměr je používán proto, aby se eliminoval vliv meziročních nebo krátkodobých výkyvů a také z důvodů časového nesouladu mezi národní inventarizací a vykazováním do systému EU ETS 1. Údaje o spotřebě samotných paliv pochází v obou případech z dat provozovatelů o vlastní spotřebě/nákupu paliva. Je zcela na provozovateli, jaký postup pro svá paliva zvolí. Jelikož se často v provozovnách spaluje i více druhů paliv, je běžné, že provozovatel nechá stanovit výhřevnost a emisní faktor jen pro některá z nich a pro zbylá použije údaje z webu ČHMÚ.

Cílem inventarizace je poskytovat spolehlivé a konzistentní odhady emisí skleníkových plynů. Pro zvýšení přesnosti odhadů je tedy metodologicky výhodnější použít data na úrovni provozoven než výhradně souhrnná národní data. EU ETS 1 data mohou poskytnout detailní, ověřené hodnoty pro velké provozy, které by mohly sloužit jako zdroj pro zpřesnění sektorových rozpočtů emisí. Dle metodiky IPCC lze pro inventarizaci skleníkových plynů zvolit jeden ze tří přístupů, které se liší detailností vstupních aktivních dat, emisních faktorů a dalších zdrojů. Čím přesnější a podrobnější jsou podklady, tím vyšší tier (úroveň) se volí: Tier 1 pracuje s defaultními emisními faktory z metodiky IPCC, Tier 2 využívá národně specifické emisní faktory a Tier 3 je založen na datech jednotlivých provozů a průběžných měřeních. V kontextu ocelářství to znamená, že EU ETS 1 provozní data by mohla umožnit přechod k úrovni Tier 3, zatímco agregovaná data ČSÚ obvykle odpovídají úrovni Tier 1. Cílem této úvodní studie je prověřit porovnatelnost obou zdrojů, identifikovat klíčové zdroje systematických rozdílů, posoudit možnosti metodologického začlenění EU ETS 1 dat do národní inventury, případně navrhnout konkrétní kroky k doplnění či úpravě datových toků a metodik tak, aby bylo možné přejít na vyšší IPCC tier při zachování konzistence a transparentnosti vykazování.

Zaměřili jsme se na ocelářský průmysl, protože zahrnuje relativně malý počet velkých provozů, které by měly být prakticky kompletně zahrnuty v systému EU ETS 1. Očekáváme proto, že agregované údaje ČSÚ a provozní data z EU ETS 1 budou navzájem konzistentní. Zároveň je možné, že se objeví systematické nesoulady vyžadující detailní prověření toků paliv a výrobků.

2. Metody současného stanovení emisí

Obě kategorie, 1.A.2.a i 2.C.1 patří dle metodiky IPCC (2006) mezi klíčové kategorie, a proto je doporučováno používat vyšších tiers (Tiers 2 nebo 3) při stanovování emisí. V Česku se v současné době v obou sektorech používá kombinovaný přístup Tier 1 a Tier 2, který poskytuje základní, částečně agregované odhady, a tento článek proto mapuje kroky potřebné k dosažení vyššího tieru. V následující části je stručný popis stanovení emisí v Česku následovaný přehledem výpočtu dvou sousedních zemí.

2.1 Česko

Pro národní inventarizaci je zdrojem dat spotřeby paliv a jejich výhřevností oficiální statistika Českého statistického úřadu (ČSÚ). Emisní faktor je buď převzat z metodiky IPCC jako tzv. defaultní, což se týká koksárenského plynu a koksu. Pro zemní plyn a hnědé uhlí je používán národně specifický emisní faktor, který byl stanoven na základě dřívějších rozborů paliv a je každoročně aktualizován s využitím aktuální výhřevnosti. V rámci předcházení dvojímu započítání emisí jsou veškeré emise CO₂ z metalurgického koksu používaného ve vysokých pecích vykazovány v průmyslovém sektoru 2.C.1 Výroba železa a oceli je odhadována z množství uhlíku v koksu (více v ČHMÚ 2025). Většina vzniklého vysokopečního a konvertorového plynu se spaluje přímo v metalurgických závodech (komplexech) a pouze částečně se používá jinde. V současné době ovšem nejsme schopni identifikovat přesné množství těchto plynů spalovaných mimo metalurgické komplexy. Všechny emise CO₂ pocházející z metalurgického koksu proto vykazujeme výlučně v sektoru 2.C.1 a v sektoru 1.A.2.a je nezapočítáváme.

Dle metodiky IPCC kategorie 1.A.2.a Železo a ocel zahrnuje výrobu v oblasti surového železa (vysoké pece), válcování oceli, litiny, oceli a slitin a týká se pouze železných kovů. Důležitými zařízeními v této kategorii jsou ArcelorMittal Ostrava a. s. (v roce 2021 změnila název na Liberty Ostrava, a. s. a prochází transformací) a Třinecké železářny, a. s. Oba hutní závody zahrnují výrobu aglomerátu železné rudy, vysoké pece, výrobu koksu, zpracování železa v kyslíkových konvertorech na ocel a odlévání oceli v elektrických pecích a tandemových pecích. Stejně je chápáno zařazení podniků v rámci EU ETS 1.

V kategorii 1.A.2.a. Železo a ocel se jako palivo nejvíce používá koksárenský plyn, poté zemní plyn, v menší míře také koks a hnědé uhlí, zcela výjimečně i biomasa. V rámci národní inventarizace skleníkových plynů i systému EU ETS 1 se emise CO₂ stanovují na základě spotřeby paliva vyjádřené v TJ. Tento údaj se získá vynásobením množství spotřebovaného paliva v tunách příslušnou výhřevností. Emise CO₂ se poté stanoví vynásobením spotřeby paliva v TJ s emisním a oxidačním faktorem (viz vzorec níže). Konkrétní rozdíly ve zdrojích dat pro stanovení emisí jsou popsány výše a shrnuty v tab 1.

$$CO_2 = \text{spotřeba paliva [kt]} \cdot \text{výhřevnost [TJ/kt]} \cdot \text{emisní faktor [tCO}_2\text{/TJ]} \cdot \text{oxidační faktor} \quad (1).$$

Národní metodika výpočtu CO₂ z výroby železa a oceli v kategorii 2.C.1 vychází převážně z přístupu odpovídajícího IPCC Tier 2, avšak v praxi obsahuje i některé prvky Tier 1. Meto-

Tab 1. Zdroje dat pro národní inventarizaci a EU ETS 1.

Table 1. Data sources for national inventory and EU ETS 1.

	Inventarizace	EU ETS
Data o spotřebě paliv	ČSÚ	Vlastní údaje o spotřebě
Výhřevnost	ČSÚ	ČSÚ (5letý průměr), akreditovaná laboratoř
Emisní faktor	Defaultní, národně specifický	Defaultní, národně specifický (5letý průměr), akreditovaná laboratoř
Oxidační faktor	Defaultní, národně specifický	Defaultní, národně specifický, akreditovaná laboratoř

dika IPCC doporučuje zahrnout spalování plynů z vysokých pecí a kyslíkových pecí i v jiných sektorech (např. v energetice 1.A.1.a), v Česku se však předpokládá, že všechny tyto plyny jsou spáleny přímo v hutních komplexech, takže národní přístup kombinuje detailní provozní údaje s určitými zjednodušeními. Výpočet klade důraz na uhlíkovou bilanci redukčního činidla (především koksu) a na množství uhlíku obsaženého ve šrotu, tavenině a oceli. Tyto vstupy jsou zahrnuty do bilance uhlíku spolu s množstvím koksu a aglomerátu, což umožňuje výpočet celkového vyprodukovaného uhlíku v procesu a posunuje metodu co nejbližší k Tier 2. Celkové množství uhlíku vyprodukovaného v tomto procesu je dáno následující rovnicí:

$$C_{\text{celkem}} = (C_{\text{koksu}} + C_{\text{černého uhlí}} + C_{\text{dehtu}} + C_{\text{šrotu}} + C_{\text{elektrody}}) - C_{\text{oceli}} \quad (2).$$

Součet uhlíku vázaného v oceli se odečte od uhlíku spotřebovaného v palivech a redukčních činidlech a zbylý uhlík se považuje za oxidovaný a emitovaný jako CO₂. Přepočet z množství uhlíku na množství CO₂ probíhá faktorem 44/12 – poměr molární hmotnosti CO₂ (44 g/mol) k molární hmotnosti uhlíku (12 g/mol). Z hlediska materiálových toků a využití paliv platí, že 99 % vyrobeného surového železa je ihned spotřebováno v rámci závodu pro výrobu oceli. Vsázka pro vysoké pece je z převážné části tvořena aglomerací vlastních jemných rud, zbytek tvoří pelety, kusové rudy a sekundární materiály. Koksárenský plyn není v oficiálních datech ČSÚ reportován v transformačních procesech a používá se pouze k předehřevu, proto jsou jeho emise vykazovány v kategorii 1.A.2.a. Vysokopecní plyn slouží mimo jiné k předehřevu vzduchu vysoké pece. Elektrické pece tvoří méně než 5 % celkové výroby železa a oceli v ČR, zbytek produkce vzniká ve vysokých pecích a kyslíkových konvertorech. Přibližně 6 % emisí je recyklováno v procesu (využitím odpadních plynů, výrobou šedé litiny nebo formováním strusky pro stavebnictví). Emise z použití vápence a dolomitu jsou od roku 2015 vykazovány v sektoru 2.C.1 na základě dat z EU ETS 1 (ČHMÚ 2025).

2.2 Rakousko

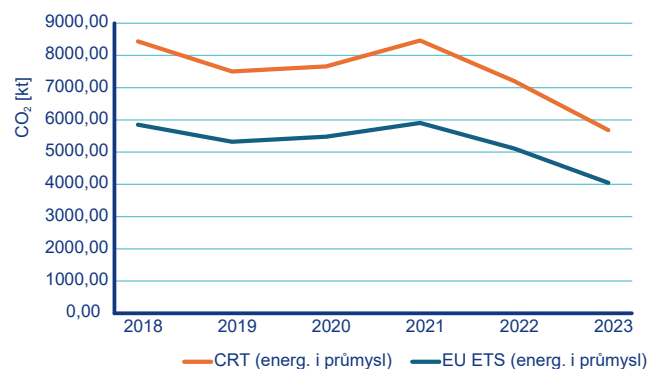
Rakouský NID využívá ověřené údaje z EU ETS jako hlavní vstup a na jejich základě aplikuje podrobnou uhlíkovou bilanci pro rozdělení emisí mezi procesní emise ocelářství (hlášené v 2.C.1) a emisní toky patřící do energetiky (hlášené v 1.A.2.a). Bilance vychází z analýzy obsahu uhlíku a měření všech relevantních vstupů a výstupů (koks, uhlí, zemní plyn, topný olej, náhradní paliva, ruda, vápenec, šrot, uhlík ve vedlejších produktech, struska, prachy, kaly) a doplňuje ETS data údaji z národní energetické bilance a přímými hlášeními provozovatelů tam, kde areál zahrnuje on-site výrobu elektřiny nebo koksárnu.

2.3 Slovensko

Slovenský NID používá národně specifickou vstup-výstup metodiku pro integrované železářny kombinující údaje od výrobců (dotazníky), databáze NEIS (toky paliv) a ověřená EU ETS hlášení jako podklad pro QA/QC; na jejich základě je sestavena zjednodušená schematická uhlíková bilance závodu, která kvantifikuje všechny relevantní toky (koksárenský plyn, vysokopecní plyn, paliva, suroviny, produkty a odpady) a přiřazuje emise do IPCC kategorií 2.C.1, 1.A.2.a, 1.A.1.c Výroba pevných paliv a ostatních energetických výrobků a 1.A.2.g.viii Ostatní. Toky jsou odhadovány pomocí závodově specifických konverzních jednotek a emisních faktorů (z kategorie 1.A.2 anebo na základě obsahu uhlíku v materiálech). Metoda vede k téměř shodným výsledkům vůči ověřeným ETS emisím (rozdíl 0,10 %).

3. Porovnání zdrojů dat a výsledky

Porovnání dat EU ETS 1 a NID bylo provedeno za období 2018–2023. Analýza zahrnuje dvě úrovně agregace: (1) porovnání součtu celkových emisí v sektorech 2.C.1 a 1.A.2.a v Národní inventarizaci a v systému EU ETS1. V hutních provozech se koks často uplatňuje současně jako palivo i jako redukční činidlo, takže jeho emise nelze spolehlivě rozdělit bez detailních provozních dat. Porovnáním souhrnu obou kategorií získáme robustnější a interpretovatelnější hodnoty celkového emisního zatížení pro úvodní analýzu. (2) srovnání celkových emisí CO₂ pro jednotlivá paliva v oblasti 1.A.2.a, tedy ze spalování pevných paliv (koksárenský plyn, koks, hnědé uhlí) a plyných paliv (zemní plyn).



Obr. 1 Porovnání emisí CO₂ z 1.A.2.a a 2.C.1 v NID 2025 (CRT) a EU ETS 1 v letech 2018–2023.

Fig. 1. Comparison of CO₂ emissions from 1.A.2.a and 2.C.1 in NID (CRT) and EU ETS 1 in the period 2018–2023.

Graf ukazuje dvě časové řady se stejným trendem: vyšší linku představují agregovaná data vykázaná v národní inventuře CRT dle dat ČSÚ a nižší linku data přepočtená z EU ETS 1. Pozitivní je shoda v trajektorii (nárůst/pokles v obdobích je shodný), kvantitativně se však oba zdroje liší – CRT vykazuje systematicky vyšší hodnoty než součet zařízení v EU ETS 1. Celkový rozdíl mezi EU ETS 1 a daty v Národní inventuře se pohybuje okolo 30 %. Je třeba také zohlednit nejistoty spojené se stanovením emisí. V národní inventarizaci se tato nejistota pohybuje okolo 5 % (ČHMÚ 2025), zatímco nejistoty v EU ETS 1 nám nejsou v současné chvíli známy a bude třeba se touto problematikou dále zabývat.

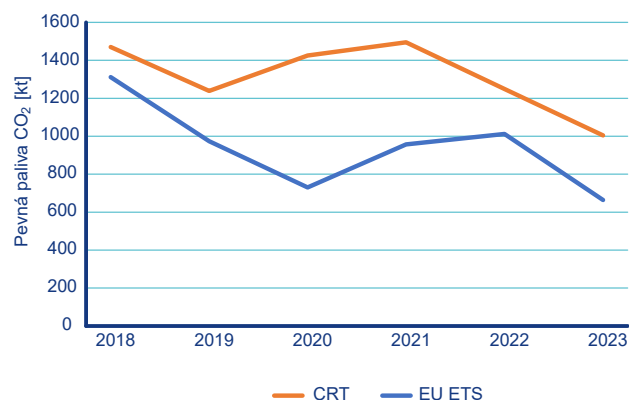
Rozdíly lze vysvětlit několika faktory. Data ČSÚ jsou sestavena top-down přístupem a pokrývají širší spektrum emisí a materiálových toků. Z celkové spotřeby paliv a energetických toků se alokují množství a odpovídající emise do sektorů podle struktury výroby, spotřebních koeficientů, technologických charakteristik a dostupných provozních ukazatelů. Tam, kde chybějí přímá data, se aplikují odhady a korekce (ČSÚ). Na druhou stranu data z EU ETS 1 vycházejí bottom-up z provozních měření a alokací na úrovni jednotlivých instalací. Navíc v dotazníku EU ETS 1 může provozovatel přiřadit vždy pouze jednu energetickou a jednu průmyslovou kategorii. Některé emise tak v EU ETS 1 nelze vždy přesně zařadit, protože reporting probíhá na úrovni závodů. V praxi to může vést k tomu, že u smíšených provozů se emisní toky často agregují pod jedinou kategorii, interní plyny z vysokých pecí a konvertorů nemusí být vždy rozlišeny podle toho, zda jsou využity v procesu, nebo jako palivo, a chybějící nebo konsolidovaná aktivita-data společně s pravidly pro alokaci ztěžují přesné rozlišení mezi procesními a spalovacími emisemi. To znamená, že část emisí může být v EU ETS 1 kategorizována odlišně než v NID, nebo může chybět detail potřebný k jednoznačnému přiřazení. Nutno ovšem podotknout, že EU ETS 1 není primárně zaměřen na přesné členění emisí podle CRT kategorií. Jeho hlavním cílem je kvantifikace a regulace celkových emisí na úrovni zařízení pomocí provozních měření a kontroly, metodická priorita systému leží v přesnosti měření a řízení emisí spíše než v detailním procesním zařazení každé položky. Doplnění provozních dat z ISPOP, evidence spotřeby paliv (REZZO) a komunikace s provozovateli umožní přesnější alokaci emisí. Sousední země, které přímo komunikují s provozovateli a provádějí případová ověření, vykazují výrazně vyšší shodu v zařazení toků.

V souhrnu kategorií 1.A.2.a a 2.C.1 představuje kategorie 2.C.1 přibližně 75 % emisí z celkového součtu. Hlavními emisními toky jsou výroba aglomerátu, tekuté železo a ocel. Přejít na vyšší tier velmi pravděpodobně povede ke snížení vykázaných emisí v 2. C.1 díky lepší identifikaci procesních vstupů. Vzhledem k menší variabilitě vstupních toků jsme se v druhé fázi zaměřili na porovnání paliv v energetické části ocelářského průmyslu.

Druhou úroveň porovnání byly tedy emise CO_2 vznikající spalováním konkrétních paliv v provozech spadající do kategorie 1.A.2.a. V této kategorii dochází ke spalování zejména pevných paliv (koks, koksárenský plyn, hnědé uhlí) a méně významným palivem jsou zde plynná paliva (zemní plyn). Rozřazení jednotlivých paliv do kategorie spalování v 1.A.2.a z EU ETS 1 probíhalo dle stejné metodiky jako je používána v národní inventarizaci (viz úvod článku), tudíž zde nebyla uvažována spotřeba vysokopecního a konvertorového plynu, které je v národní inventarizaci řazena do kategorie 2.C.1.

Při porovnání emisí CO_2 ze spalování pevných paliv (obr. 2) dochází k mírným rozdílům, které se s výjimkou roku 2020 a 2021 pohybují od 10 % do 22 %. Faktorem způsobujícím všeobecný rozdíl mezi emisemi v EU ETS 1 a národní inventarizaci je skutečnost, že v inventarizaci, stanovené dle dat ČSÚ, je vykázáno spalování antracitu a černého uhlí, zatímco v EU ETS 1 se tyto spotřeby a z nich plynoucí emise ve zkoumaných kategoriích neobjevují. V průměru tato nesrovnalost způsobuje rozdíl okolo 65 kt CO_2 . Ke statistice ČSÚ však nemáme v současné době detailní informace, a tudíž nelze prověřit přesné důvody tohoto rozdílu. Záměrem je navázat užší spolupráci a podrobněji prozkoumat kvalitu a metodiku sběru dat ČSÚ.

V roce 2020 a 2021 dochází k navýšení celkového rozdílu ve vykázaných emisích a i k mírné neshodě v trendu, a to zejména v roce 2020. Tento nesoulad by mohl být ovlivněn situací související s pozastavením či výrazným omezením provozu podniků kvůli pandemii covid-19. V roce 2020 nebyly tyto podniky zcela odstaveny, ale byla částečně omezena výroba. Například Zpráva o udržitelnosti Liberty Ostrava, a. s. uvádí nižší emise CO_2 oproti roku 2018, 2019 a také nižší objem výroby v roce 2020 a její oživení o 33 % v roce 2021 (Liberty Ostrava 2021). Zpráva o společenské odpovědnosti 2020 společnosti Třinecké železárny, a. s. (2021), uvádí srovnatelné celkové emise CO_2 (energetika a průmysl) pro roky 2019 a 2020, jelikož probíhala oprava plynového konvertoru pro konvertorovaný plyn, ale taktéž uvádí mírný pokles výroby v roce 2020 (Třinecké železárny 2021), s čímž se musí spojit i nižší emise CO_2 ze spalování. Rozdíl ve vykázaných emisích CO_2 v systému EU ETS 1 a CRT v roce 2020 (národní inventarizace) by mohl být v rozdílných přístupech stanovení vstupních dat o spotřebě paliv. Zatímco provozovatelé v systému EU ETS 1 vykazovali skutečné množství spáleného paliva, statistika ČSÚ možná započítala i palivo, které bylo provozovateli nakoupeno, ale nespotřebováno, čímž mohl vzniknout výše popsaný rozdíl. K úplnému ověření je však třeba detailních informací statistiky ČSÚ, kterou aktuálně nemáme k dispozici, ale usilujeme o bližší spolupráci a o hlubší prověření kvality i způsobu sběru dat.



Obr. 2 Porovnání emisí CO_2 ze spalování pevných paliv vykázaných v národním inventarizačním systému CRT a vykázaných v EU ETS 1.

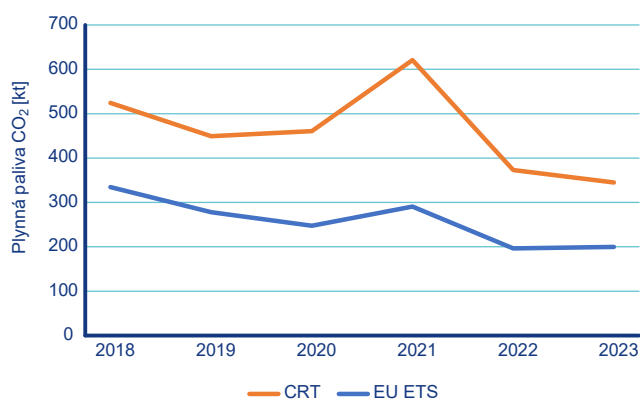
Fig. 2. Comparison of CO_2 emissions from the combustion of solid fuels reported in the CRT national inventory system and reported in the EU ETS 1.

Z porovnání emisí CO_2 ze spalování plynných paliv (obr. 3) je patrný shodný trend mezi daty EU ETS 1 a daty vykázanými v CRT dle dat ČSÚ, ale je zde kvantitativní rozdíl pohybující se okolo 30 % napříč celou časovou řadou. I zde se projevují všechny rozdíly popsané výše u porovnání celkových emisí z energetiky a průmyslu. Svůj podíl na rozdílech v letech 2020 a 2021 by mohla mít situace spojená s covid-19 popsaná výše u pevných paliv.

Další příčinou pozorovaných rozdílů popsaných u spalování pevných i plynných paliv je i použití rozdílných emisních faktorů. V tab. 2 jsou zobrazeny emisní faktory pro spalování jednotlivých druhů paliv. Tabulka ukazuje emisní faktory používané v inventarizaci, vážený průměr emisního faktoru ze všech údajů v EU ETS 1 a také vážený průměr emisního faktoru provozovatelů, kteří si emisní faktor stanoví sami dle výsledků

Tab. 2 Emisní faktory (tCO₂/TJ) používané v národní inventarizaci a v EU ETS 1 pro roky 2018–2023.Table 2. Emission factors (tCO₂/TJ) used in the national inventory and in the EU ETS 1 for the years 2018–2023.

		2018	2019	2020	2021	2022	2023
Zemní plyn [tCO ₂ /TJ]	Inventarizace	55,450	55,431	55,449	55,437	55,775	55,944
	EU ETS průměr	56,150	55,429	56,189	55,806	56,108	56,449
	Průměr EF provozoven	58,251	55,344	58,181	57,255	58,130	58,913
Koks [tCO ₂ /TJ]	Inventarizace	107,000	107,000	107,000	107,000	107,000	107,000
	EU ETS průměr	124,017	128,501	126,822	103,250	104,783	106,988
	Průměr EF provozoven	125,939	131,024	129,095	98,523	99,169	106,085
Koksárenský plyn [tCO ₂ /TJ]	Inventarizace	44,400	44,400	44,400	44,400	44,400	44,400
	EU ETS průměr	44,733	44,313	43,937	43,968	43,657	44,077
	Průměr EF provozoven	44,733	44,313	43,937	43,968	43,657	44,077
Hnědé uhlí [tCO ₂ /TJ]	Inventarizace	99,422	99,639	99,489	99,136	98,939	98,030
	EU ETS průměr	91,932	95,253	95,011	94,942	95,121	97,649
	Průměr EF provozoven	91,932	95,253	95,011	94,942	95,121	97,649

**Obr. 3 Porovnání emisí CO₂ ze spalování plyných paliv vykázaných v národním inventarizačním systému CRT a vykázaných v EU ETS 1.**Fig. 3. Comparison of CO₂ emissions from the combustion of gaseous fuels reported in the CRT national inventory system and reported in the EU ETS 1.

z akreditované laboratoře. Z tohoto porovnání je zřejmé, že pro spalování zemního plynu se v EU ETS 1 používá vyšší emisní faktor než v národní inventarizaci. Přesto jsou emise v systému EU ETS 1 nižší než v národní inventarizaci. Je to dáno tím, že spotřeby zemního plynu v datech ČSÚ jsou o něco vyšší (až o 40 %) než ty vykázané v EU ETS 1.

Pro spalování koksů je emisní faktor v EU ETS 1 vyšší v letech 2018–2020 a naopak je výrazně nižší od roku 2021. Pro koksárenský plyn je s výjimkou roku 2018 emisní faktor vždy nižší v EU ETS 1 a zároveň je patrné, že všichni provozovatelé využívají svoje stanovení pro emisní faktor. Průměrný emisní faktor hnědého uhlí je také výrazně nižší v EU ETS 1 než v inventarizaci a všichni provozovatelé si stanovují svůj emisní faktor. Zároveň i pro spalování pevných paliv platí, že spotřeby paliv vykázané ČSÚ jsou vyšší než vykázané v EU ETS 1, což přispívá k rozdílu v emisích zobrazených na obr. 2. Vliv na výsledné emise v EU ETS 1 má i velikost provozovny, respektive její spotřeba paliva a to, zda využívá emisní faktor stanovený akreditovanou laboratoří pro své palivo či nikoliv. Tudiž provozovny s vyšší spotřebou paliva a nižším emisním faktorem výsledné emise v EU ETS 1 snižují.

4. Závěr

Analýza ukázala, že časové řady ČSÚ a přepočty z EU ETS 1 vykazují shodný trend, ale kvantitativně se liší – ČSÚ často uvádí vyšší hodnoty spotřebovaných paliv, s čímž se pojí i vyšší emise CO₂. Rozdíly vyplývají především z metodiky: ČSÚ pracuje top-down s agregovanými energetickými bilancemi a ekonomickou klasifikací, zatímco EU ETS 1 je bottom-up systém založený na provozních měřeních na úrovni instalací. Omezení v členění toků do pouze 2 sektorů EU ETS 1 pro jeden provoz a agregace interních plynů mohou navíc vést k odlišnému zařazení toků. To neznamená, že jsou data EU ETS špatná – jejich priorita je přesné měření a řízení emisí na úrovni zařízení, nikoli detailní rozčlenění podle CRT kategorií. Komplikací je také využívání koksů současně jako paliva i redukčního činidla v procesu výroby. Pro odstranění nesouladů je nutné se do budoucna zaměřit na porovnání na úrovni jednotlivých provozoven a zkombinovat EU ETS 1 s dalšími zdroji provozních dat (ISPOP, evidence spotřeby paliv REZZO). Součástí postupu by měla být užší mezipřesortní spolupráce (s MŽP a ČSÚ) a případové ověření u vybraných zařízení. Díky lepšímu porozumění sběru dat ČSÚ půjde zajistit přesnější interpretaci hodnot. Budeme pokračovat v dalším výzkumu s cílem vyvinout a ověřit metodiku odhadů emisí pomocí vyššího tieru. Ty budou následně implementovány do národní inventarizace za účelem zvýšení přesnosti a konzistence vykazování.

Poděkování:

Článek byl připraven s finanční podporou Technologické agentury České republiky (TAČR) v rámci Programu Prostředí pro život (projekt SS 02030031 Integrovaný systém výzkumu, hodnocení a kontroly kvality ovzduší).

Literatura:

- ČSÚ, 2023. Energetická náročnost výroby vybraných výrobků [online]. Český statistický úřad [cit. 5. 10. 2025]. Dostupné z: <https://csu.gov.cz/produkty/energeticka-narocnost-vyroby-vybranych-vyrobku-2023>.
- ČSÚ, 2025. Metodika statistiky energetiky [online]. Český statistický úřad [cit. 5. 10. 2025]. Dostupné z: <https://csu.gov.cz/statistika-energetiky-metodika>.

ČHMÚ, 2025. National Inventory Document [online]. Český hydrometeorologický ústav [cit. 5. 10. 2025]. ISBN 978-80-7653-077-5. Dostupné z: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/CZE_NID_2025-2023.pdf.

EU, 2018. Prováděcí nařízení Komise (EU) 2018/2066 ze dne 19. prosince 2018 o monitorování a vykazování emisí skleníkových plynů podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/87/ES a o změně nařízení Komise (EU) č. 601/2012 [online]. [cit. 15. 10. 2025]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2018/2066/oj/eng.

INCIEN, 2023. Příležitosti cirkulární ekonomiky pro dekarbonizaci českého průmyslu – Rizika, překážky a priority pro maximalizaci výroby a spotřeby recyklované oceli [online]. [cit. 15. 10. 2025]. Dostupné z: <https://incien.org/wp-content/uploads/2023/11/Prilezitosti-cirkularni-ekonomiky-pro-dekarbonizaci-ceskeho-prumyslu-OCEL.pdf>.

IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [online]. Institute for Global Environmental Strategies (IGES) [cit. 29. 10. 2025]. ISBN 4-88788-032-4. Dostupné z: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.

Liberty Ostrava, a. s., 2021. Zpráva o udržitelnosti 2020 [online]. [cit. 29. 10. 2025]. Dostupné z: https://libertysteelgroup.com/cz/wp-content/uploads/sites/4/2022/02/CSR-report-2020_CZ.pdf.

SHMÚ, 2025. National Inventory Document of the Slovak republic [online]. Slovenský hydrometeorologický ústav [cit. 29. 10. 2025]. ISBN 978-80-99929-90-7. Dostupné z: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/SVK%20NID%202025.pdf>.

Směrnice Evropského parlamentu a rady 2003/87/ES ze dne 13. října 2003 o vytvoření systému pro obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů ve Společenství (zavedení EU ETS) [online]. [cit. 19. 10. 2025]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2003/87/oj/eng>.

Třinecké železářny, a. s., 2021. Zpráva o společenské odpovědnosti 2020 [online]. [cit. 29. 10. 2025]. Dostupné z: https://www.trz.cz/upload/1/files/ZpravaCSR20_CZ_final_web.pdf.

Umweltbundesamt GmbH, 2025. Austria's National Inventory Document [online]. Umweltbundesamt GmbH [cit. 29. 10. 2025]. ISBN 978-3-99004-811-5. Dostupné z: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/AT_NID-2025.pdf.

Lektoři (Reviewers):

prof. Ing. Vladimír Danielík, Ph.D., Mgr. Jiří Chrupa

INFORMACE

Zemřel Jan Šrámek



Ve věku 48 let zemřel nečekaně při tragické nehodě v Alpách vedoucí odboru meteorologických předpovědí mgr. Jan Šrámek. Honza se narodil 6. května 1977, pocházel z Mnichovic ve středních Čechách, ale většinu života strávil v Praze. Byl ženatý a měl dva syny. Vystudoval obor geografie na Přírodovědecké fakultě Ostravské univerzity, kde se během studia seznámil se svou ženou. Již ve své diplomové práci se věnoval meteorologii. Krátce po úspěšném ukončení studia na podzim roku 2000 nastoupil na náhradní vojenskou službu v Českém hydrometeorologickém ústavu. Po jejím absolvování zde od roku 2002 zůstal natrvalo. Celou svou profesní kariéru tak zcela spojil s předpovědní službou a po celou dobu pracoval jako provozní meteorolog.

V letech 2008 a 2009 se jako meteorolog osobně podílel na zajištění Světového poháru v lyžování a Mistrovství světa v klasickém lyžování v Liberci. Ve stejné době se stal jedním z moderátorů předpovědi počasí v České televizi a vstoupil do povědomí širší veřejnosti. V lednu 2019 vystřídal Marjana Sandeva na pozici vedoucího odboru meteorologických předpovědí. Během svého působení na Centrálním předpovědním pracovišti v Praze se významnou měrou podílel na celkovém rozvoji předpovědní služby a zároveň zásadním způsobem přispěl k práci na systému integrované výstražné služby, který je využíván k ochraně obyvatel před nebezpečnými meteorologickými jevy.

V soukromém životě byl Honza příznivcem sportu, a i proto do práce v Komořanech z domovského Podolí často jezdil na kole. Byl rovněž vášnivým fanouškem pražské Sparty, jejíž zápasy pravidelně navštěvoval, a loga tohoto fotbalového klubu zdobila stůl i další předměty v jeho kanceláři. Velmi rád hrál tenis a jeho další vášní byla turistika. Honza miloval přítomnost mnoha lidí. Byl vynikajícím tmeličem kolektivu a dalo by se říci, že byl přirozeným týmovým lídrem. Svě kolegy podpořoval v mnoha nelehkých chvílích a svým vřelým přístupem si dokázal získat jejich trvalou přízeň.

Kolegové i přátelé na něj budou vzpomínat jako na inspirativního a obětavého pracovníka, jehož přínos meteorologii byl neocenitelný. Honzův optimismus a lidský přístup budou všem nesmírně chybět. Jeho odkaz v oblasti meteorologie zůstane v našich srdcích navždy živý.

Radek Tomáš a Josef Hanzlík

Pozorované změny nástupu fenofází na mezinárodní fenologické zahrádce v Doksanech

Observed changes in the onset of phenophases at the International Phenological Garden in Doksany

Daniel Bareš

Český hydrometeorologický ústav Praha
oddělení biometeorologických aplikací
Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany
✉ daniel.bares@chmi.cz

Martin Možný

Český hydrometeorologický ústav Praha
oddělení biometeorologických aplikací
Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany
✉ martin.mozny@chmi.cz

Lenka Hájková

Český hydrometeorologický ústav Praha
oddělení biometeorologických aplikací
Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany
✉ lenka.hajkova@chmi.cz

International Phenological Gardens (IPG) were established to collect comparable phenological data across Europe. In each IPG, genetically identical clones of trees and shrubs are planted according to a standardized plan and methodology. This allows a more precise analysis of phenological development and better identification of the effects of environmental factors, such as air temperature, precipitation, and photo-period, on phenological phenomena, being important for understanding the response of ecosystems to environmental changes. The IPG in Doksany was established in 2000 (tree planting) and phenological observations began in the following year (2001). The phenological results of three species (common hazel, downy birch and bird cherry) were evaluated for the period 2001–2025, and the Mann-Kendall test was used to determine trends in the time series. It has been found that the phenological phases are shifting to earlier periods of the growing season, and in the case of hazel even to the winter months in some years. The earlier onset of the phenological phases of woody species follows an increase in air temperatures in the winter and spring periods. The presented analysis illustrates the significant connection between air temperature and the onset of phenological phases. The use of a digital camera at the IPG station in monitoring phenophases is an obvious advantage contributing to the accuracy and objectivity of the observed data.

KLÍČOVÁ SLOVA: teplota vzduchu – líska obecná – třešeň ptačí – bříza pýřitá – Česká republika – kamera fenologická

KEYWORDS: air temperature – common hazel – bird cherry – downy birch – Czech Republic – phenological camera

1. Úvod

Fenologie je věda, která se zabývá studiem časového průběhu periodicky se opakujících životních projevů, tzv. fenologických fází, rostlin a živočichů v závislosti na podmínkách vnějšího prostředí, zejména na podnebí a počasí. Základ slova fenologie vznikl z řeckého slova „fainó“, které znamená „vyjevují“. Již odpradávná lidé sledovali své okolní prostředí a snažili se nějakým způsobem vyjádřit napozorované poznatky, např. rašení, olistění, počátek a konec kvetení, dozrávání plodů, a zaznamenávali si je. Na základě těchto poznatků vznikly i některé pranostiky (Hájková et al. 2012). Ve fenologii je velmi důležitá délka časové řady, mezi nejstarší fenologické záznamy se řadí počátek kvetení třešní, v archivu japonského císařského dvora mají záznamy již od roku 705 n. l. V českých zemích jsou nejstarší fenologické záznamy spojeny s pražským Klementinem (Daňhelka et al. 2025).

Fenologická data mají velký význam i dnes při sledování sezónních změn v biosféře a lze je využít v mnoha oborech lidské činnosti, jako je např. zemědělství, lesnictví, medicína (v oboru alergologie) a při studiu změn v podnebí (Možný et al. 2013).

Mezinárodní fenologické zahrádky (International Phenological Gardens – IPG) byly zřízeny za účelem shromažďování srovnatelných fenologických dat v celé Evropě. V každé IPG jsou vysazeny podle standardizovaného plánu a metodiky geneticky identické klony stromů a keřů. To umožňuje přesnější analýzu fenologického vývoje a lepší identifikaci vlivů faktorů prostředí, jako je teplota vzduchu, úhrn srážek a délka světelného dne tzv. fotoperioda, na fenologické jevy, což je důležité pro pochopení reakce ekosystémů na změny prostředí.

Nápad na zřízení sítě mezinárodních fenologických zahrádek vznikl již v roce 1957 v Německu a první mezinárodní fenologická zahrádka byla založena v roce 1959 v Offenbachu (Německo). Tato síť se postupně rozšiřovala, jejím řízením byly pověřeny různé německé instituce a od roku 1996 dostala tuto síť na starost Humboldtova univerzita v Berlíně a koordinátorem projektu byl prof. Dr. Frank-M. Chmielewski (Renner, Chmielewski 2022). V roce 1999 byla na observatoři v Doksanech



Obr. 1 Rozmístění mezinárodních fenologických zahrádek v Evropě, stav v roce 2024.

Zdroj: <https://ipg.ku.de/en/about-the-network>.

Fig. 1. Distribution of the International Phenological Gardens in Europe, status in 2024.

Source: <https://ipg.ku.de/en/about-the-network>.

nech založena první Mezinárodní fenologická zahrádka v České republice (označení IPG 85 Prague – Doksany). O založení IPG bylo rozhodnuto na 4. pracovním semináři středoevropských zemí ve fenologii, který se konal právě v Doksanech. Od roku 2023 se novou koordinátorkou celého projektu IPG stala prof. Dr. Susanne Jochner-Oette, z university KU Eichstätt-Ingolstadt. Nezbytné dřeviny byly získány rovněž od Humboldtovy univerzity v Berlíně z jejich mateřské zahrádky. V současné době je mateřská zahrádka v Grafrath v blízkosti Mnichova.

Monitorovací program IPG se zaměřuje zejména na zkoumání potenciálních dopadů změny klimatu na druhy stromů důležité pro naše lesní ekosystémy. Program byl dále rozšířen o druhy důležité pro fenologii, jako je zlatice a šeřík. V současné době do sítě přispívá 73 aktivních IPG z 20 zemí (údaj z roku 2024). Rozmístění mezinárodních fenologických zahrádek v Evropě je uvedeno na obr. 1 (aktivní stanice – probíhá fenologické pozorování v daném roce; pasivní stanice – neprobíhá fenologické pozorování v daném roce). Další informace o sledovaných druzích a fázích vývoje naleznete na internetových stránkách <https://ipg.ku.de>.

Cílem této studie je ukázat změny fenologických fází vybraných dřevin v IPG Doksany ve vazbě na teploty vzduchu.

Fenologické sítě sledují řadu vědeckých cílů, včetně monitorování změn životního prostředí, detekce dopadů klimatu, vývoje fenologických modelů/map nebo jejich porovnávání s daty dálkového průzkumu Země. Souvisí to s pochopením

toho, jak ekosystémy reagují na změny životního prostředí. Největší přidanou hodnotou sítě IPG je, že umožňuje standardizovanou pozorování, která eliminují genetickou variabilitu, a tím zlepšují srovnatelnost mezi různými lokalitami a časovými obdobími. Standardizace pozorování zajišťuje konzistenci shromážděných dat, což usnadňuje identifikaci vzorců a trendů v čase (Nordt et al. 2021).

2. Metodika

2.1 IPG Doksany

IPG 85 Doksany se nachází v Ústeckém kraji cca 50 km od Prahy a 38 km od Ústí nad Labem (zeměpisná šířka: 50°27'32"; zeměpisná délka: 14°10'13"; nadmořská výška: 158 m). Průměrná roční teplota vzduchu je 9,7 °C, průměrný roční úhrn srážek je 481 mm (období 1951–2024).

Výsadba dřevin proběhla v roce 2000 a v následujícím roce (2001) začalo fenologické pozorování. V současné době máme ucelené pozorování za období 24 let (2001–2025). Z vysázených dřevin jsou zde zastoupeny následující druhy: **modřín opadavý** (*Larix decidua*), **smrk ztepilý**

(*Picea abies early*, *Picea abies late* a *Picea abies northern*), **bříza pýřitá** (*Betula pubescens*), **topol osika** (*Populus tremula*), **třešeň ptačí** (*Prunus avium*), **líška obecná** (*Corylus avellana*), **jeřáb obecný** (*Sorbus aucuparia*), **rybíz alpský** (*Ribes alpinum*), **vrba ušatá** (*Salix aurita*), **vrba košíkářská** (*Salix viminalis*), **zlatice převislá** (*Forsythia suspensa*) a **borovice lesní** (*Pinus sylvestris*). Rozmístění jednotlivých druhů dřevin na fenologické zahrádce observatoře Doksany je patrné z 3D obrázku (obr. 2).

Pro pozorovací program se používá standardizovaná metodika IPG. Na rozdíl od klasického fenologického pozorování volně rostoucích rostlin v rámci ČHMÚ (Hájková, Možný 2023) se na mezinárodní fenologické zahrádce sleduje pouze několik vybraných (celkem 8) fenologických fází.

Pozorované fenologické fáze na IPG: **BO** (začátek olistění – fáze se počítá od prvních viditelných ploch lístků, jehličí u modřínu), **M** (rašení – první výhonek jehliček u jehličnanů), **B** (začátek kvetení – na několika místech jsou plně rozvinuté květy), **AB** (hlavní kvetení – více než polovina květů rozvita), **J** (janské výhony), **F** (první zralé plody), **LV** (žloutnutí listů – více než polovina listů se změnou barvy) a **BF** (opad listů – více než polovina listů opadala).

Fenologický výkaz mezinárodní fenologické zahrádky je uveden na obr. 2b, napozorované údaje se standardně odesílají na web <https://ipg.ku.de>.



Obr. 2 Rozmístění dřevin na IPG Doksany – 3D schema včetně umístění fenokamery (a); fenologický výkaz IPG (b).

Fig. 2. Distribution of the tree species at the Doksany IPG – 3D diagram including location of phenocamera (a); phenological report of IPG (b).



Obr. 3 Fenologické fáze u vybraných druhů dřevin: bříza pýřitá – B začátek kvetení (a); bříza pýřitá – AB plné kvetení (b) a třešeň ptačí – AB plné kvetení (c).

Fig. 3. Phenological phases at the selected tree species: downy birch – B beginning of flowering (a); downy birch – AB full flowering (b) and bird cherry – AB full flowering (c).

Na obrázku 3 jsou zachyceny fáze břízy pýřité (obr. 3a – začátek kvetení; obr. 3b – plné kvetení) a třešně ptačí (obr. 3c – plné kvetení).

2.2 Fenologická kamera

Stále větší důraz je kladen na kvalitu dat. Proto jsme pro lepší objektivizaci pozorovaných fází, přistoupili k myšlence sledovat tyto fáze pomocí digitální kamery. V září 2006 byl spuštěn pilotní projekt monitoringu fenologických fází digitální kamerou na Observatoři ČHMÚ Doksany (Možný et al. 2013).

Na Observatoři v Doksanech disponujeme digitálním kompaktním fotoaparátem Canon PowerShot S3 IS, s rozlišením 6 MPx, s 12× optickým zoomem a stabilizátorem obrazu. Fotoaparát je umístěn ve vyhřívané nádobě s průzorem, která je připevněna k otočnému stojanu. (viz obr. 4a, 4b).

Pro komunikaci s budovou observatoře a samotným fotoaparátem bylo použito nepřetržité napájení, Ethernet a obslužný software CameraWindow. Samotná kamera se pomocí obslužného programu dá ovládat v manuálním nebo automatickém režimu. V automatickém režimu, se jedná o pořizování snímků v předem stanovených intervalech a kvalitě. Nespornou výhodou je i možnost ovládání celé kamery jak v horizontální, tak ve vertikální poloze. Další výhodou je, že u snímku je přesně zachycen

datum i čas pořízení. Pak již nemůže dojít k záměně nebo diskuzi, jedná-li se skutečně o danou fenofázi u příslušné rostliny. Je zajímavé také pozorovat vývoj jednotlivých rostlin. Některé kultivary se na naší zahradě nacházejí ve dvou až třech exemplářích. Zajímavostí je, že ač se jedná o stejný genetický materiál, lze pozorovat nesteromerný vývoj a nástup některých fenofází. Největší rozdíly se vyskytly v nástupu počátku kvetení a všeobecného kvetení u některých druhů vrby a jeřábu obecného. Pomocí této metody se dají vyhodnocovat i další charakteristiky, např. kondice jednotlivých rostlin, změny na listové ploše apod.



Obr. 4 Fenologická kamera – vyhřívaná nádoba s průzorem (a) a otočný a naklápěcí stojan (b).

Fig. 4. Phenological camera – heated container with viewing window (a), and rotating and tilting stand (b).

2.3 Použitá data

Do zpracování jsme využili data tří dřevin – lísky obecné (*Corylus avellana*), břízy pýřité (*Betula pubescens*) a třešně ptačí (*Prunus avium*). Z fenologických fází jsme se zaměřili na počátek kvetení (B) a plný rozkvět (AB) za období 2001–2025. Data byla vyhodnocena pomocí MS Excel, pro determinaci trendů v časové řadě byl použit Mann-Kendallův test (Libiseller, Grimvall 2002.). Vybraná meteorologická data (průměrná měsíční teplota vzduchu, průměrná měsíční maximální a minimální teplota vzduchu) byla exportována z databáze ČHMÚ (CLIDATA) za období 1951–2025. Do vyhodnocení byla použita data z meteorologické stanice Doksany (U1DOKS01), která je umístěna na stejném pozemku jako mezinárodní fenologická zahrádka.

3. Výsledky a diskuse

3.1 Vyhodnocení nástupu fenofází

Na obr. 5 jsou uvedeny nástupy fenofází v období 2001 až 2025. Vybrané statistické charakteristiky (maximum, horní kvartil, medián, dolní kvartil a minimum) představují box-ploxy na obr. 6. Výsledky Mann-Kendalova testu jsou uvedeny v tab. 1.

Líska obecná (*Corylus avellana*) obvykle kvete na území ČR na přelomu února a března, na IPG Doksany byl nejdříve nástup počátku kvetení zaznamenán již v lednu, a to 10. ledna 2012, 14. ledna 2007 a 15. ledna 2015. (obr. 5a). I nejdříve nástup plného květu byl zaznamenán v lednu, 25. ledna 2007, 27. ledna 2008 a 1. února 2018 (obr. 5d). Rozpětí nástupu feno-

logických fází u začátku kvetení je 77 dnů a u plného kvetení 72 dnů. Medián počátku kvetení je 22. února, plného kvetení 3. března. U lísky se fenofáze počátku kvetení úspěšila o 18 dní, fenofáze plného květu o 21,7 dne (viz tab. 1).

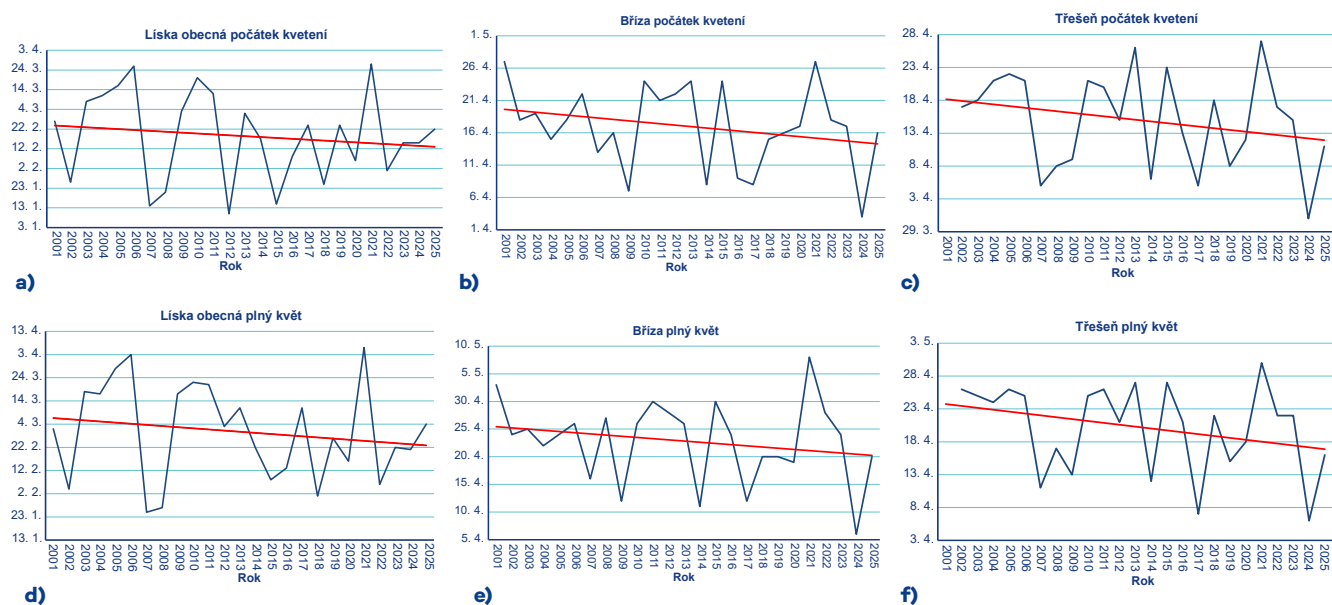
U břízy pýřité (*Betula pubescens*) jsme zaznamenali nejdříve nástup počátku kvetení 4. dubna 2024 (obr. 5b) a nejdříve nástup plného květu byl zaznamenán 7. dubna 2024 (obr. 5e). Naopak nejpozdější nástup fenofáze počátku kvetení byl zaznamenán 28. dubna v letech 2001 a 2021. Nejpozdější nástup fenofáze plného květu byl zaznamenán 9. května 2021. U břízy se fenofáze počátku kvetení úspěšila o 4,1 dne, fenofáze plného květu o 5,0 dní. Rozpětí nástupu fenologických fází u začátku kvetení (24 dnů) a plného kvetení (32 dnů). Medián počátku kvetení je 18. dubna, plného kvetení 25. dubna.

U třešně ptačí (*Prunus avium*) byl nejdříve nástup počátku kvetení zaznamenán 1. dubna 2024 (obr. 5c) a nejdříve nástup plného květu byl zaznamenán 7. dubna 2024 (obr. 5f). Naopak nejpozdější nástup fenofáze počátku kvetení byl zaznamenán 28. dubna 2021 a nejpozdější nástup fenofáze plného květu byl zaznamenán 1. května 2021. Třešeň v prvním roce po výsadbě ještě nekvetla (rok 2001 viz obr. 5c). Fenofáze počátek kvetení se úspěšila o 6,9 dne, fenofáze plného květu o 6,3 dne. Rozpětí nástupu fenologických fází u začátku kvetení (27 dnů) a plného kvetení (24 dnů). Medián počát-

Tab. 1 Výsledky Mann-Kendalova testu časového nástupu vybraných fenologických fází.

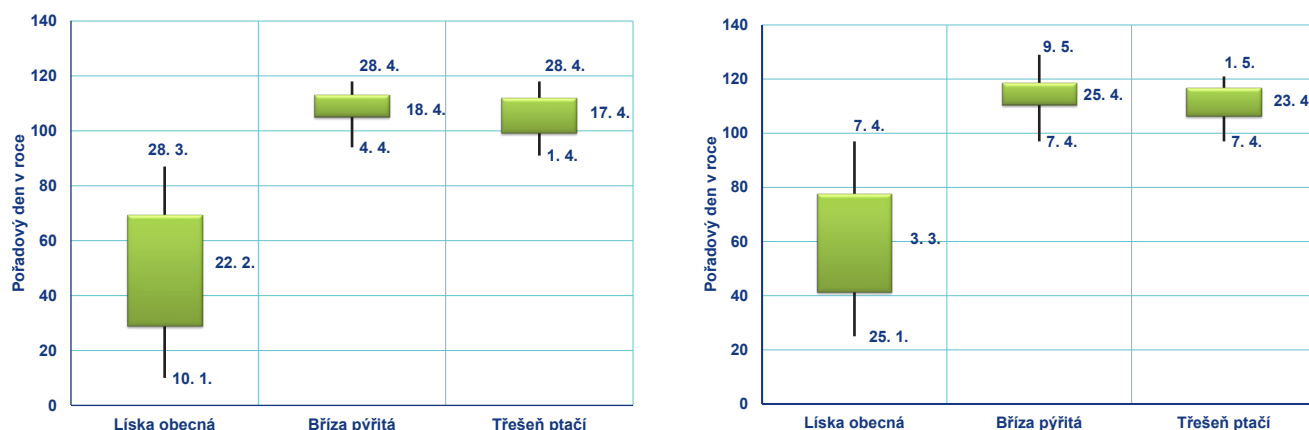
Table 1. Results of the Mann-Kendall test of the time onset of selected phenological phases.

Dřevina	Fenofáze	Změna / rok [dny]	Změna / období [dny]	Medián [pořadový den v roce]
Líska obecná	Počátek kvetení	-0,721	-18,0	53 (22. únor)
	Plný květ	-0,866	-21,7	62 (3. březen)
Bříza pýřitá	Počátek kvetení	-0,165	-4,1	108 (18. duben)
	Plný květ	-0,200	-5,0	115 (25. duben)
Třešeň ptačí	Počátek kvetení	-0,275	-6,9	107 (17. duben)
	Plný květ	-0,250	-6,3	113 (23. duben)



Obr. 5 Datum nástupu fenologické fáze počátek kvetení a plné kvetení lísky obecné (a, d), břízy pýřité (b, e) a třešně ptačí (c, f) na IPG Doksany v období 2001–2025.

Fig. 5. Date of onset of the phenological phase of the beginning of flowering and full flowering of hazel (a, d), downy birch (b, e) and bird cherry (c, f) at the Doksany IPG in the period 2001–2025.



Obr. 6 Box-plot (maximum, horní kvartil, medián, dolní kvartil a minimum) počátku kvetení a plného kvetení u vybraných dřevin na IPG Doksany za období 2001–2025.

Fig. 6. Box-plot (maximum, upper quartile, median, lower quartile and minimum) of the beginning of flowering and full flowering of selected woody species at the Doksany IPG at the period 2001–2025.

ku kvetení je 17. dubna, plného kvetení 23. dubna. Dřívější nástup vybraných fenologických fází je v souladu s dalšími autory, např. Menzel (2006) či Büntgen et al. (2022) v rámci celé Evropy.

3.2 Vyhodnocení teplotních charakteristik

V tabulce 2 jsou uvedeny výsledky Mann-Kendallova testu změny vybraných teplotních meteorologických charakteristik na stanici Doksany, a to v období 1951–2025 (od založení meteorologické stanice v Doksanech) a 2001–2025 (od založení mezinárodní fenologické zahrádky v Doksanech). V období 1951–2025 došlo ke statisticky významným změnám (zvýšením) u všech vyhodnocených charakteristik. Největší posun nastal u průměrné měsíční a minimální teploty vzduchu v led-

nu (3,3 °C a 3,7 °C; $p < 0,01$) a průměrné maximální teploty vzduchu v březnu (4,9 °C; $p < 0,001$). V období 2001–2025 nastala statisticky nejvýznamnější změna u všech prosincových teplot (3,5 °C, 3,0 °C a 2,9 °C; $p < 0,05$). Jak již bylo prokázáno v mnoha studiích (Chmielewski, Rötzer 2001; 2002), vývoj vegetace úzce souvisí s teplotou vzduchu. Při vzrůstající teplotě vzduchu dochází k dřívějšímu nástupu fenologických fází, což odpovídá i výsledkům na mezinárodní fenologické zahrádce v Doksanech. Úzké vazby na teplotu vzduchu odpovídají i výsledky Pearsonovy korelace uvedené v tabulce 3.

Pro dokreslení změny teplotních podmínek na mezinárodní fenologické zahrádce v Doksanech v průběhu období 2001–2025 uvádíme i grafické zobrazení odchylek průměrných měsíčních teplot vzduchu od normálu 1991–2020, které jsou barevně odstupňovány podle velikosti odchylky (obr. 7). Vzhledem k vyhodnocení vybraných jarních fenologických fází

Tab. 2 Výsledky Mann-Kendallova testu vybraných teplotních charakteristik na stanici v Doksanech v období 1951–2025 a 2001–2025.

Table 2. Results of the Mann-Kendall test of selected temperature characteristics at the Doksany station in the periods 1951–2025 and 2001–2025.

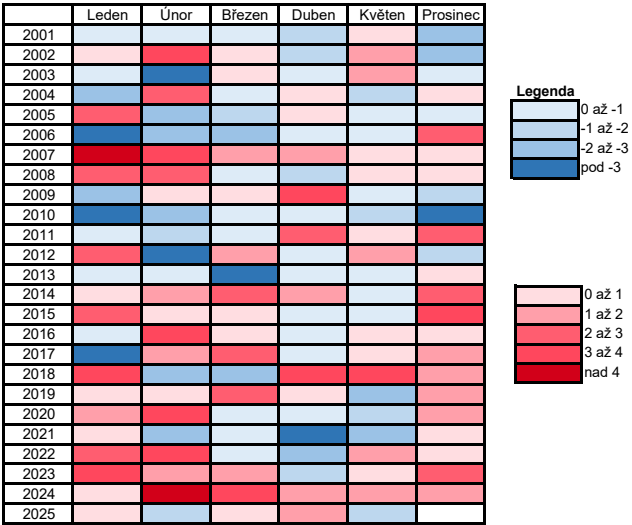
	TSU [°C]		TMI [°C]		TMA [°C]	
	Posun/°C	Medián	Posun/°C	Medián	Posun/°C	Medián
Období 1951–2025						
Prosinec	2,1*	1,1	1,9*	–1,6	2,2**	3,6
Leden	3,3**	–0,5	3,7**	–3,1	3,7***	2,4
Únor	2,9*	0,3	2,3	–0,2	4,5***	3,6
Březen	2,8**	4,6	1,6*	2,7	4,9***	9,7
Duben	2,4**	9,1	1,1	7,3	4,0***	15,0
Květen	2,4***	13,8	1,2*	–3,1	3,9***	20,2
Období 2001–2025						
Prosinec	3,5*	1,7	3,0*	–1,0	2,9*	4,2
Leden	2,1	0,4	2,5	–2,8	2,4	3,5
Únor	1,9	1,2	1,4	–2,5	2,9	6,2*
Březen	1,4	4,8	–0,1	–0,1	4,0	10,8
Duben	0,0	9,7	0,3	3,0	1,2	16,5
Květen	–0,9	14,7	–2,5*	7,6	0,2	21,3

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

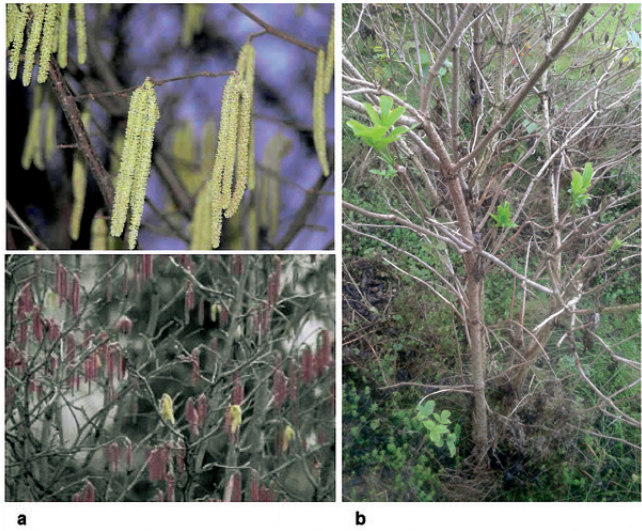
Pozn: TSU – průměrná měsíční teplota vzduchu, TMI – průměr denních minim teploty vzduchu, TMA – průměr denních maxim teploty vzduchu.
Note: TSU – average monthly air temperature, TMI – average daily minimum air temperature, TMA – average daily maximum air temperature.

Tab. 3 Pearsonova korelace mezi nástupem příslušné fenologické fáze a teplotní charakteristikou.
Table 3. Pearson's correlation between the onset of the respective phase and the temperature characteristic.

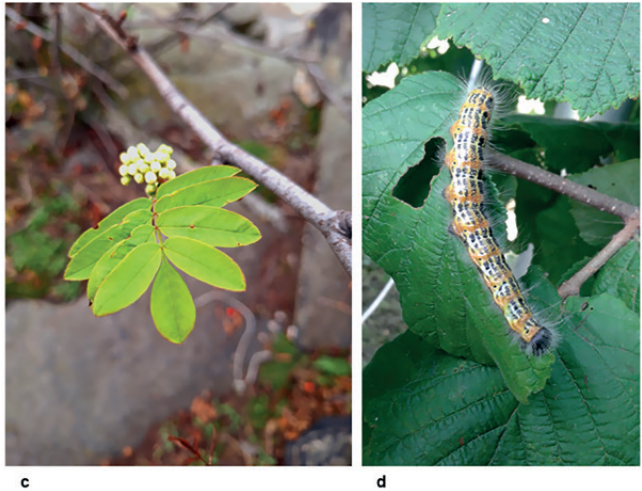
Druh	Fenofáze	Prosinec	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen
Průměrná měsíční teplota vzduchu							
Líska obecná	Počátek kvetení	-0,117	-0,116	-0,576	-0,752	-0,298	-0,196
	Plný květ	-0,133	-0,016	-0,517	-0,696	-0,353	-0,141
Bříza pýřitá	Počátek kvetení	-0,200	0,026	-0,587	-0,562	-0,471	-0,252
	Plný květ	-0,126	0,109	-0,478	-0,515	-0,580	-0,163
Třešeň ptačí	Počátek kvetení	-0,165	-0,701	-0,403	-0,308	-0,046	-0,493
	Plný květ	-0,213	-0,662	-0,600	-0,237	-0,039	-0,436
Průměrná měsíční minimální teplota vzduchu							
Líska obecná	Počátek kvetení	-0,199	-0,047	-0,506	-0,683	-0,229	-0,051
	Plný květ	-0,215	0,044	-0,485	-0,640	-0,285	-0,055
Bříza pýřitá	Počátek kvetení	-0,300	0,110	-0,604	-0,494	-0,402	-0,135
	Plný květ	-0,222	0,174	-0,515	-0,456	-0,402	-0,196
Třešeň ptačí	Počátek kvetení	-0,226	-0,670	-0,304	-0,167	0,007	-0,118
	Plný květ	-0,287	-0,613	-0,499	-0,119	-0,003	-0,134
Průměrná měsíční maximální teplota vzduchu							
Líska obecná	Počátek kvetení	-0,003	-0,170	-0,623	-0,603	-0,310	-0,241
	Plný květ	-0,019	-0,064	-0,523	-0,552	-0,363	-0,191
Bříza pýřitá	Počátek kvetení	-0,072	-0,046	-0,559	-0,431	-0,454	-0,288
	Plný květ	-0,011	0,060	-0,433	-0,402	-0,579	-0,166
Třešeň ptačí	Počátek kvetení	-0,131	-0,701	-0,503	-0,293	-0,079	-0,558
	Plný květ	-0,137	-0,666	-0,700	-0,194	-0,082	-0,466



Obr. 7 Grafické znázornění odchylky průměrných měsíčních teplot vzduchu od normálu (1991–2020) na stanici Doksany s barevným rozlišením podle normálových hodnot.
Fig. 7. Graphical representation of the deviation of average monthly air temperatures from the normal (1991–2020) at the Doksany station with coloured differentiation according to normal values.



Obr. 8 Plné kvetení lísky obecné v roce 2007 a její druhé kvetení (a); druhé olisťování bezu černého na podzim v roce 2024 (b); druhé olisťování a kvetení jeřábu obecného na podzim 2024 (c); larva *Phalery bucephala* na lísce obecné (d).
Fig. 8. Full flowering of hazel in 2007 and its second flowering (a); second leafing of black elder in autumn 2024 (b); second leafing and flowering of rowan in autumn 2024 (c); *Phalery bucephala* maggot on hazel (d).



(počátek kvetení a plné kvetení) jsou v obrázku uvedeny pouze měsíce prosinec a leden až květen. Modře jsou vyznačeny hodnoty pod normálem, červeně hodnoty nad normálem. Čím je odchylka od normálu vyšší, tím tmavší je odstín červené či modré barvy (viz legenda). Z obrázku je patrné, že v posledních deseti letech se většina hodnot pohybovala nad normálem a velikost odchylky se zvyšuje, což představuje nárůst teplot, zejména v prosinci, lednu, únoru a březnu.

3.3 Fenologické zajímavosti (abnormality) na IPG Doksany

Na obr. 8 jsou uvedeny fenologické abnormality ve vývoji fenologických fází v posledních letech. V roce 2007 jsme v zimě zaznamenali druhé kvetení lísky obecné (obr. 8a) – snímky byly pořízeny 26. února 2007. A roce 2024 jsme na podzim pozorovali druhé olistování u bezu černého (8b) a druhé olistování a kvetení jeřábu obecného (8c). Obr. 8d představuje larvu *Phalery bucephala* (vztyčnořitka lipová) na lísce obecné.

4. Závěr

Nespornou výhodou mezinárodních fenologických zahrádek (IPGs) je standardizace podmínek díky geneticky identickým klonům vybraných dřevin a mezinárodní srovnatelnost pozorování. Cílem této studie bylo analyzovat dlouhodobé kolísání vybraných fenologických fází u dřevin v IPG Doksany. Bylo zjištěno, že se fenologické fáze se posouvají do časnějších období vegetační sezony, u lísky v některých letech i do zimních měsíců. Dřívější nástup fenologických fází dřevin způsobuje růst teplot vzduchu v zimním a jarním období. Zajímavostí je, že i když v některých letech líska začala kvést již v měsíci lednu, neznamená to, že v tomto měsíci bylo dosaženo i plného květu. Příkladem je rok 2012, kdy líska začala kvést 10. ledna, plného květu však bylo dosaženo až 3. března. Největší rozptýl hodnot počátku kvetení je zejména u lísky obecné. Výsledky Pearsonovy korelace, uvedené v tomto příspěvku, potvrzují významnou vazbu mezi teplotou vzduchu v zimních měsících a nástupem jarních fenologických fází. V posledních deseti letech se odchylky průměrných měsíčních teplot vzduchu v zimních měsících pohybovaly nad normálem s výjimkou roku 2021.

Předložená analýza dokreslila významnou vazbu teploty vzduchu při nástupu fenologických fází. Na stanici IPG je nespornou výhodou v monitoringu fenofází využití digitální kamery. Ta přispěla k přesnosti a objektivizaci napozorovaných dat. Monitoring přispěl i k zachycení anomálií, např. druhé kvetení některých dřevin (líska obecná a jeřáb obecný) nebo poškození rostlin mrazem či suchem.

Poděkování:

Příspěvek vznikl s podporou Technologické Agentury ČR projekt č. SS02030040 (PERUN) a SS02030018 (DivLand).

Literatura:

- BÜNTGEN, U., PIERMATTEI, A., KRUSIC, P.J., ESPER, J., SPARKS, T., CRIVELLARO, A., 2022. Plants in the UK flower a month earlier under recent warming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. **289**, No. 20212456. Dostupné z: <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.2456>.
- DAŇHELKA, J. et al., 2025. V Klementinu bylo naměřeno... Praha: Český hydrometeorologický ústav, 1. vydání, 276 stran. ISBN 978-80-7653-076-8.
- HÁJKOVÁ, L. et al., 2012. Atlas fenologických poměrů Česka. Praha: ČHMÚ, Olomouc: UP. 320 s. ISBN 978-80-86690-98-8 (ČHMÚ), ISBN 978-80-244-3005-8 (UP).
- HÁJKOVÁ, L., MOŽNÝ, M., 2023. Fenologické pozorování I. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 1. vydání, 55 stran, ISBN 978-80-7653-067-6.
- IPG, 2025. The International Phenological Gardens [online]. International Phenological Gardens of Europe [cit. 5. 12. 2025]. Dostupné z WWW: <https://ipg.ku.de/en/about-the-network>.
- CHMIELEWSKI, F., RÖTZER, T., 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. **108**, Issue 2, s. 101–112, ISSN 0168-1923. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(01\)00233-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00233-7).
- CHMIELEWSKI, F., RÖTZER, T., 2002. Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes. *Climate Research*, Vol. **19**, s. 257–264. Dostupné z: <https://doi.org/10.3354/cr019257>.
- LIBISSELLER, C., GRIMVALL, A., 2002. Performance of partial Mann-Kendall tests for trend detection in the presence of covariates. *Environmetrics*, Vol. **13**, s. 71–84. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/env.507>.
- MENZEL, A. et al., 2006. European phenological response to climate change matches the warming patterns. *Global Change Biology*, Vol. **12**, s. 1969–1976. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01193x>.
- MOŽNÝ, M. et al., 2013. Změny klimatu, fenologie a ekosystémové procesy. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 126 s. ISBN 978-80-86690-64-3.
- NORDT, B. et al., 2021. The PhenObs initiative: A standardised protocol for monitoring phenological responses to climate change using herbaceous plant species in botanical gardens. *Functional Ecology*, Vol. **35**, s. 821–834. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13747>.
- RENNER, S. S., CHMIELEWSKI, F., 2022. The International Phenological Garden network (1959 to 2021): its 131 gardens, cloned study species, data archiving, and future. *International Journal of Biometeorology*, Vol. **66**, s. 35–43.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., Ing. Pavel Lipina

Využití indexů stability vypočtených z modelu ALADIN pro předpověď bouřek

Storm prediction based on stability indices from the ALADIN numerical model

Martin Motl

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

David Rýva

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

In this article, we follow up on our previous work focused purely on air sounding measurements. We are now incorporating vertical profiles from forecasts and analyses of the ALADIN model operated by the Czech Hydrometeorological Institute (ČHMÚ), and comparing these with actual measured soundings at corresponding times. In our earlier studies, we explored a wide range of instability indices – from simple historical indices, through combinations of multiple indices, to more complex physically relevant variables used mainly in recent decades. For a selected set of 17 indices, we have now calculated values from both model analyses and forecasts, and compared their ability to predict thunderstorm occurrence in the selected radius of the sounding station during the afternoon and early night hours. We focused both on comparing the predictive capability itself – such as against morning and midnight soundings – and on the reliability of forecasts from different runs of the ALADIN model, starting up to 72 hours before the key noon sounding marking the beginning of the evaluated time interval.

KLÍČOVÁ SLOVA: sondáž – numerický předpovědní model počasí – aerologie – indexy stability – bouřky – předpověď

KEYWORDS: upper air sounding – numerical weather prediction model – aerology – stability indices – thunderstorm – forecast

1. Úvod

Sondážní aerologická měření jsou od jejich úplných počátků klíčovými daty pro zhodnocení stability vzduchové hmoty a umožňují objektivní posouzení rizika výskytu bouřkové činnosti ve sledované oblasti. I v současné době, kdy jsou hlavním podkladem pro předpovědi výstupy numerických předpovědních modelů počasí, představují sondáže nenahraditelný zdroj informací. Právě sondáže slouží jednak jako jedny ze vstupních dat pro tyto modely, ale také umožňují sloužícím meteorologům posoudit souhlas modelové předpovědi s reálným stavem atmosféry. Pro tyto účely jsme v předešlých letech vytvořili v Odboru distančních měření a informací ČHMÚ softwarový balíček v jazyku Python/Cython (Rýva 2020), který navazuje na software pro zpracování sondážních dat a umožňuje data z modelu ALADIN (Brožková, 2019) pro vybrané body zobrazovat stejnou formou, jakou jsou zpracovávány i změřená sondážní měření z obou českých stanic, ale i z blízkých stanic v okolních zemích. Jde tak o další možnost, jak sledovat očekávaný vývoj labilizace atmosféry během denních hodin i jinak než jen pouhým sledováním hodnot indexů instability v mapovém zobrazení dat z modelu ALADIN.

Ačkoli je v současnosti výrazně upřednostňováno sledování fyzikálně relevantních veličin, jako je vyčíslení potenciální energie dostupné pro konvekci, pracovali jsme jak v předešlých dvou pracích (Rýva, Motl 2020; Motl, Rýva 2023), tak i v té stávající i s jednoduššími indexy instability používanými zejména historicky v dobách před masovým rozšířením výpočetní techniky. Některé z jednodušších indexů totiž dávají srovnatelně dobré výsledky a zajímalo nás, jak si povedou při vyhodnocování dat z numerických předpovědních modelů a jak budou souhlasit jejich hodnoty v porovnání s naměřenými sondážními daty. Tyto indexy vznikaly v období 50. až 70. let minulého století, kdy bylo potřeba rychlé vyhodnocení naměřených sondážních dat, ale sondážní diagramy pro detailní vyhodnocení bylo ještě nutné kreslit ručně. To bylo velmi zdoluhavé zejména tehdy, kdy se takové vyhodnocení dělalo pro vícero okolních stanic, což bylo pro spolehlivou předpověď často nutností. Počítače byly tehdy stále velká a těžkopádná zařízení, která nebylo možné provozovat všude, a tak nebylo možné počítat a zobrazovat operativně dnes naprosto samozřejmé parametry založené na numerické integraci hodnot ze stovek nebo i tisíců vertikálních hladin ze sondážního měření, ačkoliv byly tyto veličiny již tehdy dobře známé (např. Chromov 1937; Byers, Braham 1949). Zjednodušené indexy, které šlo vypočítat za pomoci jedno-

duchých vstupních hodnot a tabulek, tak byly pomůckou pro požadované zrychlené vyhodnocení (např. Táborský 1966, Strachota 1966). Zvláštním případem pak byla práce českého meteorologa Jiřího Förichtgotta (např. Förichtgott 1971; Förichtgott 1975), která kombinovala oba přístupy. Zjednodušení vyhodnocení dat nebylo až tak velké jako u ostatních indexů, protože autor porovnával teploty vystupující částice s teplotou okolního vzduchu ve 4 hladinách. Absence výpočetní techniky byla řešena vytvořením vlastní výpočetní pomůcky v podobě specializovaného logaritmického pravítka se 4 posuvníky. To umožnilo zachovat rychlé vyhodnocení, sledovat rozložení instability v různých výškách troposféry a přitom stále v rozumném čase vyhodnotit data z vícero okolních stanic, což bylo žádoucí pro komplexní předpovědi.

V tomto článku se zaměřujeme na vyhodnocení přínosu předpovědních vertikálních profilů. Porovnáváme úspěšnost předpovědi na základě sondážních dat nejen z poledního, ale i z ranního (jen pro Prahu-Libuš) a půlnočního termínu daného dne a ty dále srovnáváme i s profily modelových analýz a různých modelových běhů až 72 hodin dopředu. V těchto srovnáních sledujeme, jak se mění úspěšnost předpovědi s tím, jak se přibližuje čas, na který je předpověď počítána. Zaměřili jsme se rovněž na možnost využití vybraných indexů pro pravděpodobnostní předpověď bouřek na základě dostupných dat z modelové předpovědi. Pro účely tohoto srovnání jsme použili data za roky 2021–2025, ze kterých máme modelová data k dispozici v požadovaném formátu vertikálních profilů. Jde sice o krátkou dobu pouhých 5 let, ale i tak lze z těchto dat získat množství velmi cenných poznatků a zajímavých zjištění. Tato studie je součástí výzkumného programu Dlouhodobé koncepce rozvoje výzkumné organizace (DKRVO), na jehož řešení se podílí i naše pracoviště.

2. Zahrnuté indexy a veličiny

Na základě předešlých prací jsme vybrali 17 indexů, které se pro účely této studie jeví jako nejvhodnější. Ve vyhodnocení jsme opět ponechali i některé starší jednoduché indexy stability, u kterých máme z minulých prací ověřené, že jsou dobrým prediktorem bouřkové činnosti. Jejich výpočet je realizovaný na základě jednoduchých součtů a rozdílů teplot a rosných bodů ve dvou nebo třech význačných hladinách. Takto je počítaný například klasický K index (George 1960), který používáme jen jako pomocnou veličinu:

$$KI = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T_{700} - T_{d700}) \quad (1),$$

kde T jsou teploty příslušných výškových hladin a T_d teploty rosných bodů v oněch hladinách.

U dalších indexů je výpočet složitější a je nutné počítat pseudoadiabatický výstup vzduchové částice ze zvolené hladiny (zemský povrch, průměr hodnot vrstvy o zvolené vertikální mocnosti od povrchu apod.) do hladiny 500 hPa a zde jen porovnat výslednou teplotu s teplotou okolního vzduchu v této hladině. Asi nejznámějším takovým indexem je Lifted index (LI) (Galway 1956)

$$LI = T_{500} - T_{BEG \rightarrow 500} \quad (2),$$

kde $T_{BEG \rightarrow 500}$ je teplota vzduchové částice pseudoadiabaticky vystoupané z počáteční hladiny do 500 hPa.

V naší práci používáme zejména Most unstable (MU) Lifted index, kdy počáteční hladinou je hladina s maximální hodnotou ekvivalentní potenciální teploty ve spodních 300 hPa od povrchu. Právě z rozdílu předešlých zmíněných indexů pak dostáváme hodnotu Thompsonova indexu (TI)

$$TI = KI - MULI \quad (3).$$

Jde o dříve poměrně často užívaný index v Evropě i Severní Americe. Jeho velkou slabinou jsou zejména situace s výrazně suchou a vertikálně mohutnou mezní vrstvou.

Úplně samostatnou kategorií jsou pak různé modifikace CAPE (z angl. Convective Available Potential Energy, viz. např. Chromov 1937; Sulan 2004; Markovsky, Richardson 2010) tedy potenciální dostupné energie pro rozvoj konvekce, jejíž výpočet je integrálem vztlakové síly působící na částici vzduchu stoupající z výchozí hladiny. Nejlepší úspěšnost při předpovědi bouřek vykazuje varianta Most unstable (MU) CAPE, kdy výstup vzduchové částice začíná z hladiny s maximální hodnotou ekvivalentní potenciální teploty

$$CAPE = \int_{LFC}^{EQL} g(z) \frac{T(z) - T_e(z)}{T_e(z)} dz \quad (4).$$

kde T je teplota stoupající vzduchové částice z počáteční hladiny a T_e je teplota okolí částice vždy v dané hladině, LFC je hladina volné konvekce a EQL představuje hladinu nulového vztlaku. Teploty v tomto vzorci jsou, na rozdíl od ostatních, zadávány v Kelvinech. Pro srovnání dále počítáme i modifikace Surface based (SB), kdy počítáme s výstupem od povrchu, dále pak Mixed layer 50 hPa (ML), kdy nejprve simulujeme promíchání spodních 50 hPa, a teprve takto vzniklou vzduchovou částici necháme stoupat a nakonec i Surface max. temp (SM), která počítá s maximální odpolední teplotou předpovězenou ze sondáže s tím, že dojde ke konvektivnímu promíchání mezní vrstvy, a tak i změně rosného bodu. Prediktory jako CAPE jsou dnes výrazně upřednostňovány před jednoduchými indexy, protože jde o fyzikálně relevantní veličiny a nikoli jen zjednodušené indexy. Při výpočtu CAPE jsou rovněž počítány hodnoty dalších pomocných veličin, a to výška kondenzační hladiny (LCL), hladiny volné konvekce (LFC) a hladiny nulového vztlaku (EQL) neboli ekvilibria. Pro nás nejzajímavější z těchto veličin je výška hladiny nulového vztlaku (EQLH), kde dochází k vyrovnání teplot vystupující vzduchové částice a okolního vzduchu. Nad touto výškou je vzduchová částice už zpomalována negativním vztlakem. Stejně tak jsou u všech modifikací počítány hodnoty CAPEf, tedy CAPE se započtením vlivu skupenského tepla tuhnutí na pseudoadiabatický výstup (Yaodong et al. 2004), které je obvykle ve výpočtech nasycené adiabaty ignorováno.

Samostatně je pak počítána skupina indexů Förichtgottovy 4vrstvé metody, ze které ale využíváme v této práci jen index i2, který je vlastně jen opačnou hodnotou Lifted indexu pro Förichtgottovu modifikaci výstupu, proto je v textu vyhodnocován ve skupině LI indexů a označován též jako FGT LI. Pro Förichtgottovu modifikaci výstupu oproti původní verzi autora počítáme také hodnoty CAPEf a výšku EQLH. Jako

počáteční výška nasyceného pseudoadiabatického výstupu je zvolena hladina 850 hPa s tím, že se předpokládá, že jde zároveň o výšku výstupné kondenzační hladiny, tedy platí $T = T_d$. To, že se kondenzační hladina shoduje s hladinou 850 hPa se ale reálně stane málokdy. Je tedy nutné dopočítat fiktivní počáteční teplotu v této hladině. Tuto teplotu označuje autor jako tzv. „opravenou teplotu“ v 850 hPa a počítáme ji na základě změřeného rosného bodu u zemského povrchu a změřené reálné teploty v 850 hPa. Na její hodnotu má vliv i to, jak moc je kondenzační hladina níž nebo výš než hladina 850 hPa.

Posledními indexy, se kterými pracujeme, jsou tzv. Lapse rates, tedy průměrné hodnoty vertikálního teplotního gradientu mezi dvěma vybranými výškovými hladinami. Různé indexy využívají různé hladiny většinou mezi 850 a 500 hPa (viz například K index), nám se však nejlépe osvědčila hodnota Lapse rate mezi 800 a 600 hPa. Ta v kombinaci s výše zmíněným Thompsonovým indexem dávala statisticky nejlepší výsledky pro předpověď bouřek z polední sondáže pro období 12:00–23:59 UTC.

Mimo indexů stability jsme se zaměřili také na srovnání přízemní teploty T_{sfc} a teploty rosného bodu T_{dsfc} ze sondážních měření a z modelových předpovědních výstupů. Mnohé modely totiž mají problémy s přesnou předpovědí hodnot rosných bodů, na kterých velmi výrazně závisí instabilita prostředí. U modelu ALADIN jde na základě zkušeností předpovědní služby ČHMÚ většinou o nadhodnocování rosných bodů. To pak ve výsledku vede i k nadhodnocování podmínek pro tvorbu konvektivních bouří a jejich intenzivních projevů.

3. Data a metody vyhodnocení

Výše popsané indexy jsme napočítali shodně jako v předešlé práci, tedy pro celé období teplých půlroků (duben–září), ale tentokrát jen pro roky 2021 až 2025. Výpočet byl provedený zvlášť pro Prahu-Libuš i pro Prostějov a odděleně se počítalo s daty ze sondáží a s daty z modelu ALADIN.

Jako vstupní data jsme použili ASCII soubory sondážních dat s plným počtem měřených hladin od povrchu po hladinu, kde došlo k prasknutí balónu, ale reálně jsme využili data pouze do hladiny 100 hPa. Obdobně jsme přistupovali i k modelovým vertikálním profilům (obvykle 77 hladin od povrchu do hladiny 100 hPa).

Pro stejné období jsme zpracovali i data z TDOA (time difference of arrival) sítě detekce blesků LINET, která jsou zdrojem bleskových dat používaných operativně v ČHMÚ. Tato data máme k dispozici v podobě SQLite databázových souborů s uvedenou lokalizací, přesným časem výskytu výboje, ale i informacemi o polaritě a typu výboje (mezioblačný vs. výboj mezi oblakem a zemí). Souřadnice místa výboje byly přepočteny do gnomónické projekce PACZ23 využívané v ČHMÚ i pro zobrazení radarových dat s rozlišením 1 km/px. Na základě předchozích interních zjištění jsme v každém pixelu mapy považovali za den s bouřkou tu situaci, kdy v okruhu do 15 km došlo k alespoň dvěma výbojům blesku do země. Takový odhad výskytu bouřky dle předešlých zjištění nejlépe koresponduje s pozorováními z profesionálních meteorologických stanic. Pro každý termín jsme tak měli k dispozici datový soubor s dvourozměrným polem informací typu bouřka vs. bez bouřky s rozlišením 1 km.

3.1 Prostorová a časová reprezentativnost sondáží a modelových profilů

S ohledem na četnost sondáží a vzdálenosti sondážních stanic ve střední Evropě jsme zvolili jako reprezentativní okolí stanice do 150 km. Při určení poloměru reprezentativního okolí jsme vycházeli také z prací na obdobné téma (Púčik et al. 2015; Doswell, Evans 2003), zároveň alespoň v případě Prahy dobře odpovídá rozměrům české kotliny. Co se časové reprezentativnosti týče, zabývali jsme se v této práci schopností predikce bouřek na časové rozmezí 12:00–23:59 UTC. Vzhledem k tomu, že sondáž 00:00 UTC slouží často i jako podklad pro předpověď na celý následující den, sledovali jsme i její vztah k bouřkám v čase 12:00–23:59 UTC a pro Prahu-Libuš jsme opět přidali i sondáž z 06:00 UTC. Také u tohoto termínu jsme zjišťovali jeho schopnost předpovědět bouřky odpoledne nebo večer, tj. opět na interval 12:00–23:59 UTC. Pro porovnání byla sledována i schopnost sondáže ve 12:00 UTC předpovídat bouřky v intervalu 12:00–23:59 UTC následujícího dne. Ke spočítaným indexům z každé zpracované sondáže tak přibyla informace o procentech plochy TS_{perc} s bouřkou v okruhu do 150 km kolem sondážní stanice ve sledovaném časovém rozmezí.

Tab. 1 Předstih, s jakým jsou k dispozici použítá data vzhledem ke sledovanému termínu 12:00 UTC, jejich původ a označení v textu.

Table 1. Advance time with which the data used are available in relation to the monitored time of 12:00 UTC, their origin, and designation in the text.

Data k dispozici vzhledem k termínu	Zdroj	Délka předpovědi	Označení v textu
t-69	Předpověď ALADIN	72	ALADIN+72
t-57	Předpověď ALADIN	60	ALADIN+60
t-51	Předpověď ALADIN	54	ALADIN+54
t-45	Předpověď ALADIN	48	ALADIN+48
t-39	Předpověď ALADIN	42	ALADIN+42
t-33	Předpověď ALADIN	36	ALADIN+36
t-27	Předpověď ALADIN	30	ALADIN+30
t-21	Předpověď ALADIN	24	ALADIN+24
t-15	Předpověď ALADIN	18	ALADIN+18
t-12	Sondáž	–	Sondáž 00
t-9	Předpověď ALADIN	12	ALADIN+12
t-6	Sondáž (jen Praha)	–	Sondáž 06
t-3	Předpověď ALADIN	6	ALADIN+06
t-0	Sondáž	–	Sondáž 12
t+0,5	Analýza ALADIN	–	ALADIN+00

Aby byly výsledky dobře porovnatelné, k profilovým datům modelu ALADIN bylo přistoupeno analogicky. Použity byly vertikální profily v uzlových bodech nejbližších stanicím Praha-Libuš a Prostějov. Zpracovány byly analýzy modelu ALADIN pro 12:00 UTC (analýzy vytváří model každou hodinu cca 30 minut po termínu) a předpovědi pro 12:00 UTC s délkou +06, +12, ... +60 a +72 h. Vynechána je pouze délka +66 h, která by odpovídala běhu z 18:00 UTC před třemi dny, protože model ALADIN do roku 2024 v tomto termínu počítal pouze předpovědi do délky +54 h. Předpovědní profily modelu ALADIN jsou k dispozici obvykle cca 3 h po termínu začátku běhu. Použitá data jsou pro přehlednost znázorněna v následující tabulce, seřazena podle času, kdy jsou k dispozici.

V meteorologických předpovědích jsou pro prostorový rozsah výskytu jevu používány pojmy „ojediněle“ v případě, že se jev vyskytuje na 5–29,9 % území a „místy“ v případě výskytu jevu na 30–49,9 % území. Proto bylo dále pracováno s hranicemi $TS_{perc} \geq 5\%$ a $TS_{perc} \geq 30\%$ pro alespoň ojedinělý, respektive místní výskyt bouřek.

3.2 Použité statistické metody vyhodnocení efektivity předpovědi bouřek

True Skill Score

TSS je metrika, pomocí níž lze vyhodnocovat kvalitu binární předpovědi. Binární předpověď má 4 základní stavy:

- a* – jev byl předpovězen a nastal,
- b* – jev byl předpovězen, ale nenastal,
- c* – jev nebyl předpovězen, ale přesto nastal,
- d* – jev nebyl předpovězen a nenastal.

Je zřejmé, že snaha předpovědi je minimalizovat skupiny *b* a *c*. Pro kvantifikaci úspěšnosti předpovědi bylo zvoleno True skill score (TSS), často využívané pro nebezpečné jevy, definované jako:

$$TSS = POD - PFOD \quad (5),$$

kde POD (probability of detection) je pravděpodobnost, že byl jev předpovězen:

$$POD = a/(a+c) \quad (6)$$

a PFOD (probability of false detection) je pravděpodobnost falešné detekce:

$$PFOD = b/(b+d) \quad (7).$$

Tedy na základě hodnoty indexu stability určujeme, zda bouřky v časovém rozmezí 12:00–23:59 UTC zasáhly alespoň 5 %, resp. 30 % sledovaného území. Pro toto rozhodnutí je vždy nutno určit prahovou hodnotu indexu – při jejím překročení je předpověď na výskyt jevu, při nedosažení je předpověď, že se jev nevyskytne. Vždy je hledána taková prahová hodnota indexu, aby byla TSS maximální.

Brier Skill Score (BSS)

Kromě výpočtu prahových hodnot indexů, které určují binární předpověď, zda bude/nebude bouřka, se lze na celou problematiku dívat také z pravděpodobnostního hlediska. Tedy, že dané hodnotě indexu odpovídá určitá pravděpodobnost vzniku bouřek daného rozsahu.

Prvním krokem tohoto přístupu je vyjádřit pravděpodobnost vhodným výpočtem z hodnoty indexu. Při hledání vhodné funkce vyjadřující tuto pravděpodobnost byly stanoveny následující požadavky:

- funkce je monotónní. Předpokládáme, že s růstem indexu roste pravděpodobnost bouřek (v případě řístí indexů klesá) a funkce nemá lokální maxima či minima, což odpovídá známému chování zkoumaných indexů
- funkce je pro velmi nízké a velmi vysoké hodnoty indexu konstantní. To zajistí, že výsledná pravděpodobnost nebude nikdy méně než 0 % nebo více než 100 %.
- funkce je spojitá v celém oboru reálných čísel
- v nekonstantní části funkce se jedná o polynom 2. řádu. Tato podmínka byla stanovena z důvodu možnosti strojového hledání optimální proložené funkce.

Přínos takovéto předpovědi závisí jednak na tom, do jaké míry vypočtená pravděpodobnost odpovídá realitě, ale také na tom, s jakou četností vyjádřená pravděpodobnost dosahuje dostatečně nízkých nebo vysokých hodnot – např. vyjdeme-li z dlouhodobých dat, alespoň ojedinělé bouřky jsou v teplé polovině roku ve sledované oblasti okolo Prahy v 36 % dnů (klimatologická předpověď). Pokud bychom ale každý den předpovídali bouřky s pravděpodobností 36 %, bude to sice pravda, ale moc přínosné to nebude. Naopak druhý extrém je, že by předpověď udávala vždy správně pravděpodobnost bouřek buď 0 %, nebo 100 %.

Pro kvantifikaci těchto pravděpodobnostních předpovědí bylo použito Brier Skill Score (BSS):

$$BSS = 1 - \frac{N \sum (p_k - o_k)^2}{(\sum_{k=1}^N o_k)(N - \sum_{k=1}^N o_k)} \quad (8),$$

kde p_k jsou vypočtené pravděpodobnosti výskytu jevu pro jednotlivé případy, o_k jsou pozorované výskyty jevu, nabývající hodnot {0,1}.

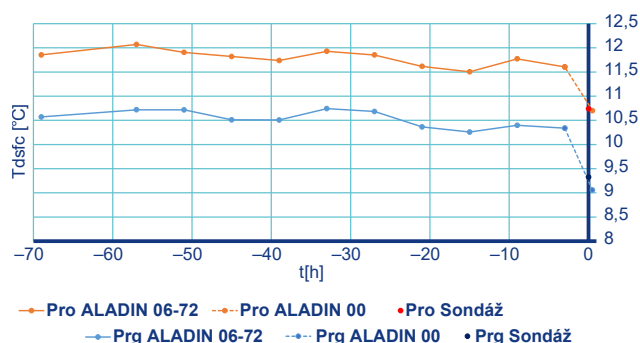
BSS nabývá hodnoty 0 pro klimatologickou předpověď a hodnoty 1 pro dokonalou binární předpověď, tedy čím vyšší má hodnotu, tím lepší je pravděpodobnostní předpověď (Stull 2015).

4. Výsledky

4.1 Hodnoty indexů vypočtených z modelu ALADIN a sondáží

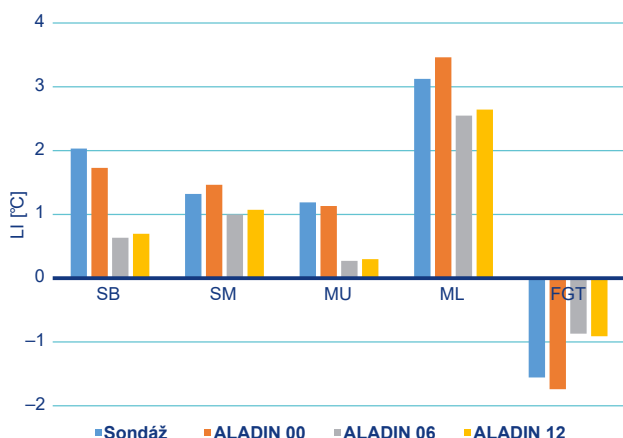
Ve sledovaném období byla průměrná přízemní teplota ze sondáží na stanici Praha-Libuš v termínu 12:00 UTC 20,2 °C, zatímco jak analýza, tak předpovědi byly teplejší – pohybovaly se v intervalu 21,0–21,4 °C.

Rozdíl je způsoben dvěma faktory: Jelikož polední termín sondáže zpravidla startuje již v 11:15 UTC, aby při délce vzestupné části letu cca 90 minut střed měření co nejlépe odpovídal



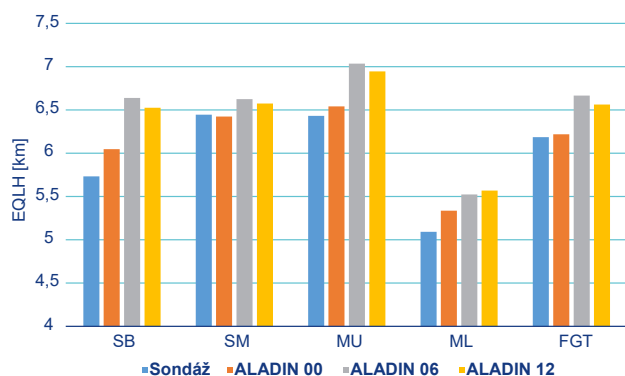
Obr. 1 *Tdsfc* ze sondáže, analýzy a předpovědi modelu ALADIN podle času, kdy je tento údaj změřen či spočítán.

Fig. 1. *Tdsfc* from sounding, analysis, and ALADIN model forecasts according to the time when this input is measured or calculated.



Obr. 2 Průměrné hodnoty různých variant *LI* pro stanici Praha-Libuš ze sondáže, analýzy ALADIN a předpovědi ALADIN délky 06 a 12 h.

Fig. 2. Average values of different *LI* variants for the Prague-Libuš station from the sounding, ALADIN analysis, and ALADIN forecasts for 6 and 12 hours.



Obr. 3 Průměrné hodnoty různých variant *EQLH* pro stanici Praha-Libuš ze sondáže, analýzy ALADIN a předpovědi ALADIN délky 06 a 12 h.

Fig. 3. Average values of different *EQLH* variants for the Prague-Libuš station from the sounding, ALADIN analysis, and ALADIN forecasts for 6 and 12 hours.

termínu 12:00 UTC, je v důsledku denního chodu teploty přízemní teplota nižší cca o 0,4 °C. Druhým faktorem je nadmořská výška, kdy stanice Praha-Libuš je 304 m n. m., zatímco nejbližší uzlový bod modelu ALADIN má přiřazenou nadmořskou výšku 270 m n. m. Tento posun způsobuje u *Tsfc* dalších cca 0,5 °C. Po započtení těchto dvou faktorů je shoda modelu a sondážních dat pro *Tsfc* velmi dobrá.

Výška uzlového bodu modelu ALADIN v Prostějově se liší o pouhý metr oproti stanici, tomu odpovídá i shoda povrchových teplot – ze sondážních dat 21,1 °C, modelová data dávají průměry v intervalu 21,1–21,4 °C.

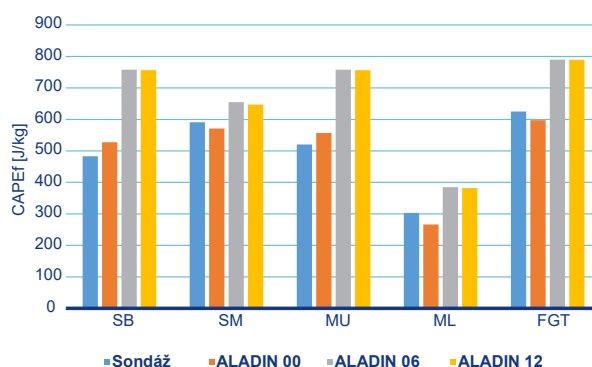
Totéž však nelze říct o *Tdsfc*, kde mají tyto opravy velmi malý vliv. Jak lze vidět na obr. 1, *Tdsfc* analýzy je v poměrně dobré shodě, zatímco předpovědi do délky 24 h nadhodnocují *Tdsfc* cca o 1 °C, delší předpovědi ještě cca o 0,3 °C více. Z toho vyplývá, že přízemní modelové vrstvy jsou oproti sondáži o něco vlhčí.

Porovnání průměrných hodnot vypočtených indexů je na obr. 2–4 pro jednotlivé skupiny indexů. Zobrazeny jsou pouze pro sondáž, analýzu a nejkratší dvě délky předpovědi na stanici Praha-Libuš. Pro delší předpovědi a stanici Prostějov je chování obdobné.

Obecně lze vidět velmi dobrou shodu průměrných hodnot analýzy ALADIN 00 s pozorováním a systematický posun u obou zobrazených termínů předpovědi (ALADIN 06 a ALADIN 12). U předpovědi dochází k posunu *EQLH* výše, snížení *LI* (resp. zvýšení *FGT LI*) a zvýšení *CAPEf*. Všechny tyto systematické změny odpovídají nadhodnocení instability atmosféry předpovědním modelem. Co se týče způsobu výpočtu indexů, největší rozdíly jsou patrné u výpočtu *SB* a *MU*.

Systematický posun průměrných hodnot vypočtených indexů ale ještě neznamená, že jejich schopnost předpovídat bouřky bude snížena. Nicméně při využití vypočtených indexů v předpovědní praxi je třeba brát na tento posun zřetel. Lze také očekávat posun optimálních prahových hodnot z hlediska dosažení maximálního TSS.

Obr. 5 pak zobrazuje korelační koeficienty vypočtených hodnot z jednotlivých běhů modelu a sondáží z odpovídajícího termínu. Z obrázku je vidět, že všechny sledované indexy mají korelační koeficient vyšší než 0,85, tedy jsou ve velmi dobré shodě s indexy vypočtenými ze sondážního měření. Zejména



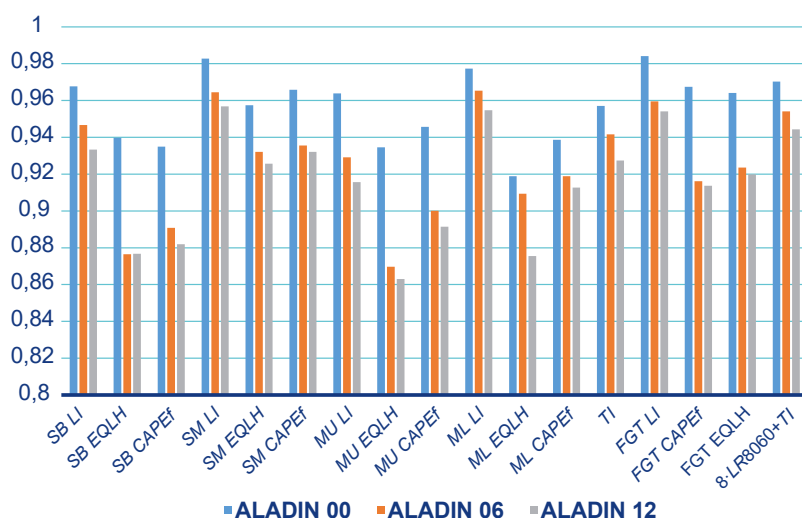
Obr. 4 Průměrné hodnoty různých variant *CAPEf* pro stanici Praha-Libuš ze sondáže, analýzy ALADIN a předpovědi ALADIN délky 06 a 12 h.

Fig. 4. Average values of different *CAPEf* variants for the Prague-Libuš station from the sounding, ALADIN analysis, and ALADIN forecasts for 6 and 12 hours.

u předpovědi je ale znát, že z vybraných indexů jsou korelace *EQLH* přece jen o něco nižší, nejlepší shodu pak vykazují různé varianty *LI*. Z hlediska způsobu výpočtu za ostatními mírně zaostávají *MU* a *SB*.

4.2 Vypočtené maximální TSS z modelu ALADIN

Pro 17 sledovaných indexů byly spočteny optimální prahové hodnoty a jim odpovídající maximální TSS.



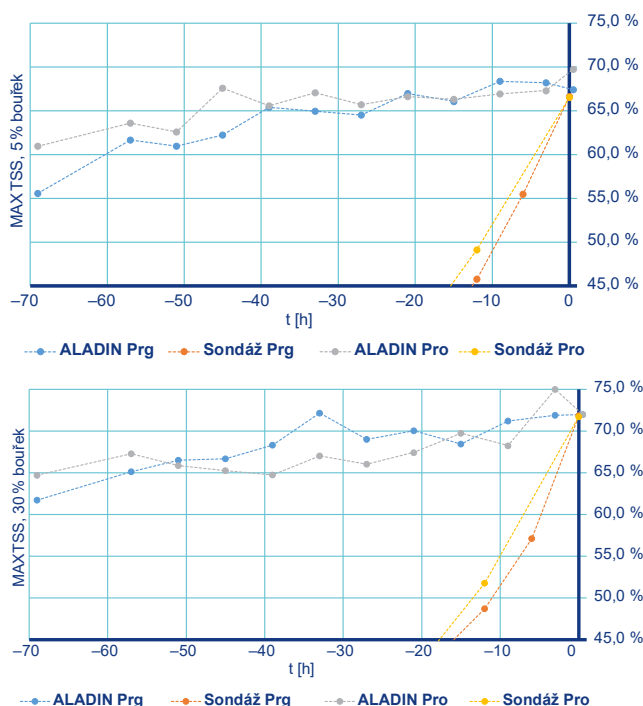
Obr. 5 Pearsonův korelační koeficient vypočtený ze sondáže a jednotlivých sad dat modelu ALADIN.

Fig. 5. Pearson's correlation coefficient calculated from the sounding and individual data sets of the ALADIN model.

Z obr. 6–9 je patrný poměrně očekávatelný postupný pokles schopnosti předpovídat bouřky s prodlužující se délkou předpovědi, a to jak pro nejlepší index, tak pro průměr přes všech 17 sledovaných indexů. Pokles není monotónní, což je s největší pravděpodobností dáno náhodnými fluktuacemi při relativně krátké časové řadě.

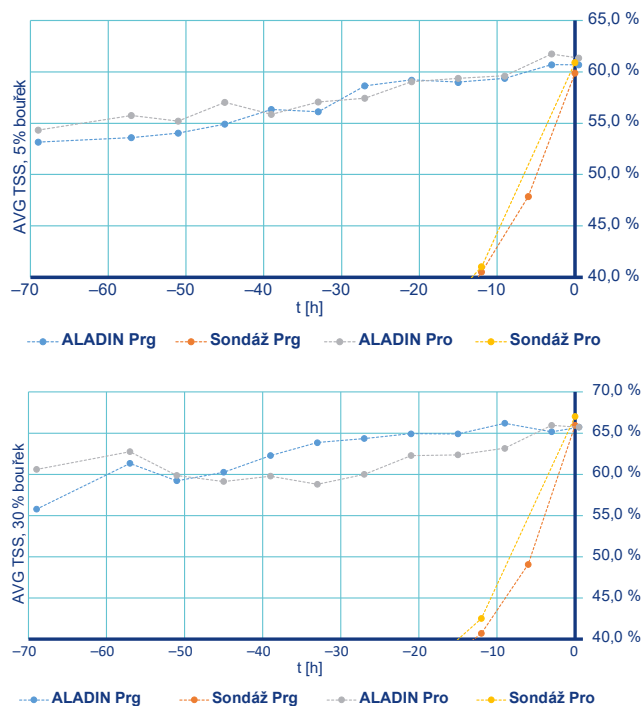
Další informací, kterou lze z obr. 6–9 vyčíst, je, že nejen data z analýzy termínu 12 h (která jsou k dispozici krátce po měření), ale i data z ranního běhu modelu, jsou co do schopnosti předpovídat bouřky pomocí prahových hodnot indexů srovnatelná s měřením samotným. Dále potom všechny delší předpovědi, a to až do maximální délky +72 h mají lepší schopnost předpovědi odpoledních bouřek, než ranní či půlnoční sondáž příslušného dne. Sondáž z poledne dne předchozího, která je mimo zobrazovanou oblast grafů, pak má předpovědní schopnosti ještě podstatně nižší. Dosahuje TSS okolo 30 %, nejlepší index pro $TS_{perc} \geq 30\%$ se pro Prahu i Prostějov blíží 38 %.

Obr. 10 nabízí detailnější pohled na jednotlivé indexy – průměrné hodnoty TSS přes všechny délky předpovědi. Je vidět, že kombinace 8-LR8060+TI si udržuje před samostatnými indexy výhodu



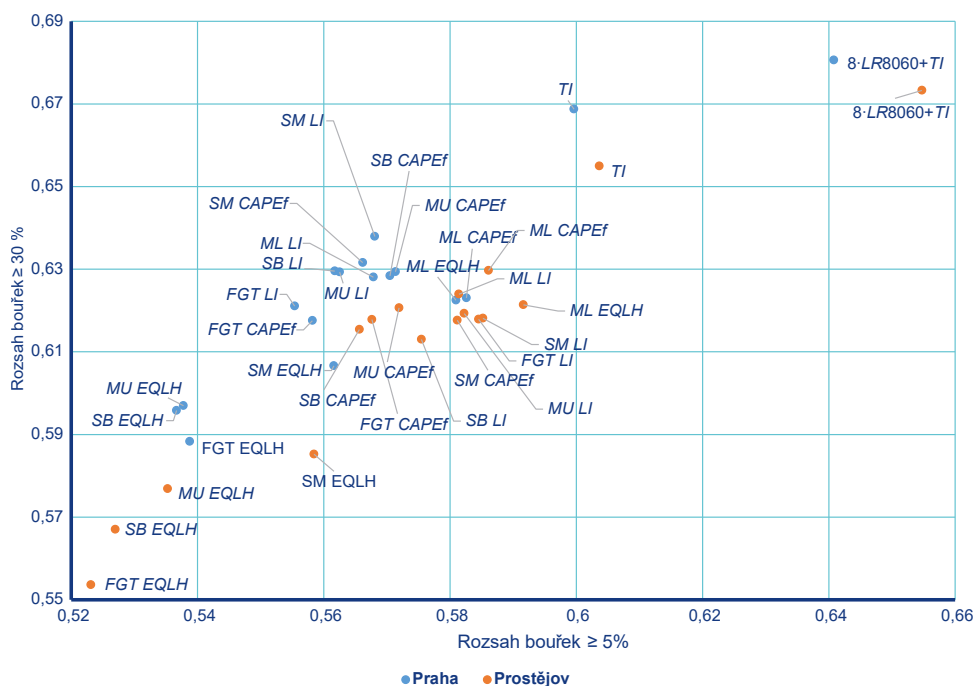
Obr. 6–7 Nejvyšší dosažené TSS v závislosti na zdrojových datech a čase, kdy jsou tato data k dispozici pro vznik bouřek alespoň ojediněle (obr. 6) a alespoň místy (obr. 7).

Fig. 6–7. Highest TSS achieved depending on source data and the time when this data is available for the occurrence of storms at least isolated (Fig. 6) and at least locally (Fig. 7).



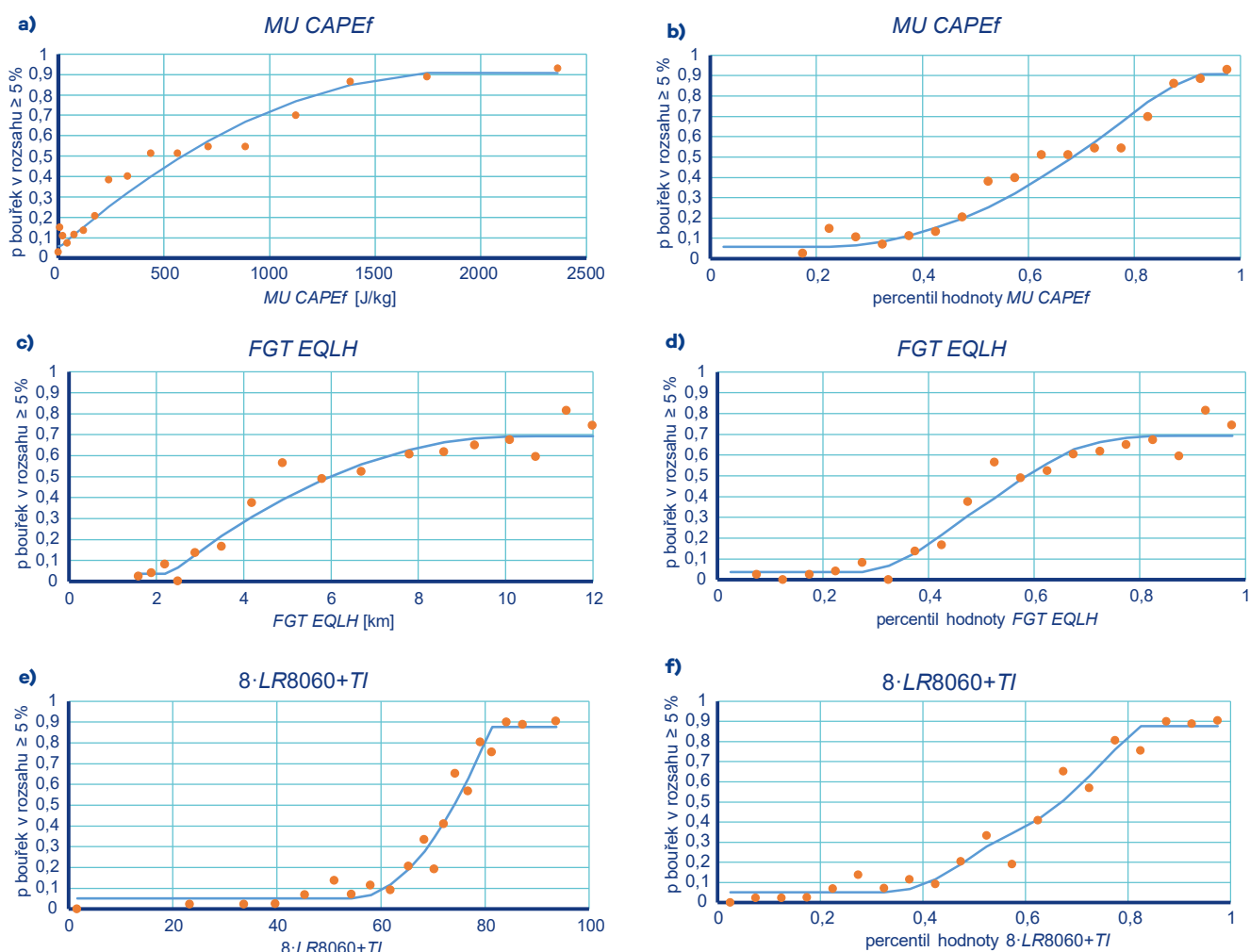
Obr. 8–9 Průměrné dosažené TSS pro 17 sledovaných indexů v závislosti na zdrojových datech a čase, kdy jsou tato data k dispozici pro vznik bouřek alespoň ojediněle (obr. 8) a alespoň místy (obr. 9).

Fig. 8–9. Average TSS achieved for 17 monitored indices depending on source data and the time when this data is available for the occurrence of storms at least isolated (Fig. 8) and at least locally (Fig. 9).



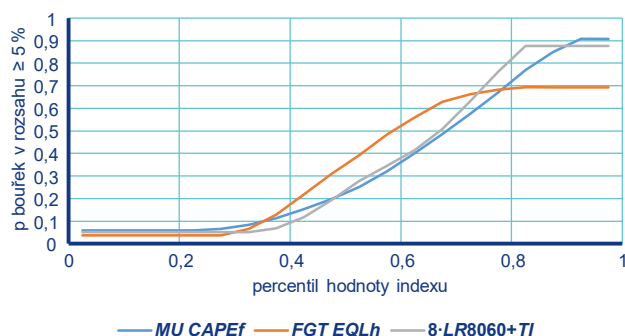
Obr. 10 Průměrná hodnota TSS jednotlivých indexů spočtená přes všechny předpovědní běhy modelu ALADIN (ALADIN 06-72).

Fig. 10. Average TSS value of individual indices calculated across all ALADIN model forecast runs (ALADIN 06-72).



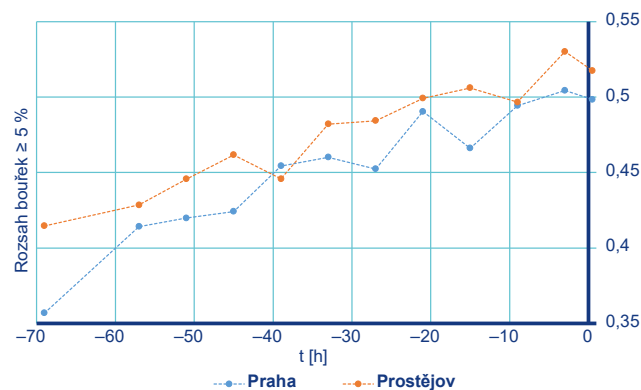
Obr. 11 Vždy první z dvojice grafů (11a, 11c, 11e) zobrazuje závislost pravděpodobnosti vzniku alespoň ojedinělých bouřek pro stanici Praha (svislá osa) na hodnotě indexu – průměr pro kvantily šířky 0,05 (hnědé tečky) a proložená křivka reprezentující tuto závislost. Druhý z každé dvojice grafů (11b, 11d, 11f) zobrazuje stejné veličiny, ale na ose x je kvantil hodnot indexu.

Fig. 11. The first of two charts (11a, 11c, 11e) shows the relation of the probability of at least isolated storms for the Prague station (vertical axis) to the index value – the average for quantiles of width 0.05 (brown dots) and a fitted curve representing this interrelation. The second of each pair of charts (11b, 11d, 11f) shows the same variables, but the x-axis shows the quantile of the index value.



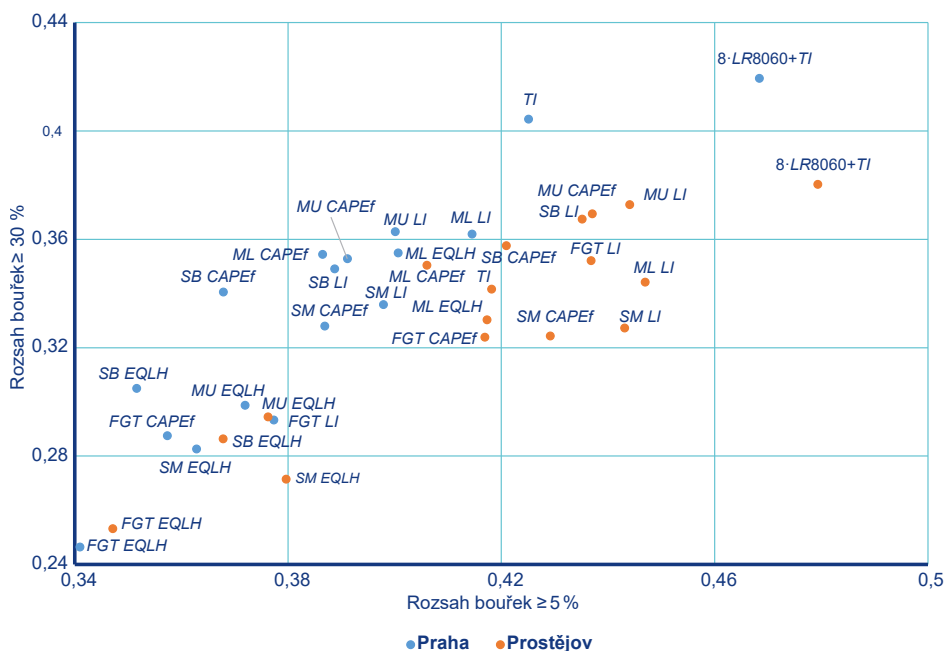
Obr. 12 Vypočtená závislost pravděpodobnosti vzniku alespoň ojedinělých bouřek pro stanici Praha na kvantilu hodnoty indexů *FGT EQLH*, *MU CAPEf* a *8-LR8060+TI*.

Fig. 12. Calculated probability of at least isolated thunderstorms for the Prague station based on the quantile values of the *FGT EQLH*, *MU CAPEf*, and *8-LR8060+TI* indices.



Obr. 14 Časový vývoj BSS nejlepšího indexu pro jednotlivé běhy modelu Aladin pro předpověď bouřek alespoň ojediněle.

Fig. 14. Time evolution of the BSS of the best index for individual runs of the Aladin model for forecasting storms at least isolated.



Obr. 13 Hodnota BSS jednotlivých indexů pro data ze sondáže ve 12:00 UTC.

Fig. 13. BSS value of individual indices for data from the survey at 12:00 UTC.

i v modelových předpovědích, a to zejména pro prahovou hodnotu $TS_{perc} \geq 5\%$, tedy alespoň ojedinělé bouřky. Ve sledovaném období je úspěšnost předpovědi pro $TS_{perc} \geq 5\%$ mírně lepší v Prostějově, pro $TS_{perc} \geq 30\%$ naopak v Praze. Oproti sondážím pak má v modelu znatelné zlepšení Thompsonuův index, který mírně vyčnívá nad ostatními. Naopak většina *EQLH*, s výjimkou *ML EQLH*, znatelně zaostává, ačkoli jejich schopnost předpovědi bouřek ze sondáže samotné byla srovnatelná s *LI* a *CAPEf*. To odpovídá nižším korelacím s daty spočtenými ze sondáže, jak bylo popsáno výše.

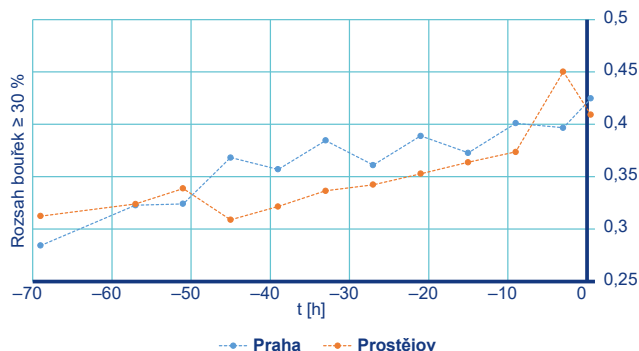
4.3 BSS sondáže

Pro tvorbu pravděpodobnostní předpovědi pomocí bouřkových indexů vypočtených ze sondáže, bylo pro jednotlivé indexy nejprve nutno vytvořit funkce vyjadřující závislost pravděpodobnosti vzniku bouřek na hodnotě indexu.

Na obr. 11 jsou příklady několika takto proložených křivek pro alespoň ojedinělé bouřky v Praze. První z dvojic obrázků (11a, 11c a 11e) ilustrují způsob proložení pozorovaných pravděpodobností v závislosti na hodnotě indexu funkcí.

Druhý z dvojic obrázků, kde je na ose x kvantil hodnot indexu, pak umožňuje lepší představu o podílu situací, kdy je předpověď nejistá a postupně přechází z minimální pravděpodobnosti do maximální.

U nejméně úspěšného indexu ze sledovaných, *FGT EQLH*, se i v nejvyšších hodnotách dostává předpovězená pravděpodobnost vzniku bouřek pouze na 70 %, zatímco u zbylých 2 zobrazených indexů jsme v určitých případech schopni předpovědět bouřky s jistotou 90 %. Důvod, proč je pro *8-LR8060+TI* vyšší BSS než pro *MU CAPEf*, je pak lépe vidět na obr. 12, kde je na ose x místo absolutních hodnot indexů nanesen percentil těchto hodnot. Zde je vidět, že pravděpodobnost vzniku bouřek pro velmi nízké hodnoty jak *MU CAPEf*, tak *8-LR8060+TI*, je téměř stejná, cca 5 %, obdobně pro velmi vysoké hodnoty se u obou indexů pohybuje kolem 90 %. Ovšem u indexu *8-LR8060+TI* tyto hodnoty, kdy máme poměrně vysokou jistotu, zda bouřky budou, či ne, popisují cca 50 % situací, zatímco u indexu *MU CAPEf* pouze cca 35 % situací. Proto vychází lépe použití *8-LR8060+TI*, jelikož cílem předpovědi je mít co největší jistotu v co největší části případů.



Obr. 15 Časový vývoj BSS nejlepšího indexu pro jednotlivé běhy modelu ALADIN pro předpověď bouřek alespoň místy.

Fig. 15. Time evolution of the BSS of the best index for individual runs of the ALADIN model for forecasting storms at least in locally.

Úspěšnost předpovědi pravděpodobnosti vzniku bouřek z hlediska BSS pro sondážní měření z času 12:00 UTC je na obr. 13. Jak bylo řečeno v úvodu, pro klimatologickou předpověď, kdy každý den počítáme se stejnou dlouhodobou pravděpodobností vzniku bouřek, by hodnoty BSS byly 0.

Pokud bychom klimatologickou předpověď vylepšili o roční chod dle pravděpodobností vzniku bouřek v jednotlivých měsících, dostaneme se pro Prahu a Prostějov na hodnoty BSS = (0,056;0,057) pro alespoň ojedinělé bouřky, a na hodnoty BSS = (0,072;0,079) pro bouřky alespoň místy. Vypočtená předpovědní schopnost sledovaných indexů je tedy podstatně vyšší.

Kromě potvrzení efektivity kombinace 8-LR8060+TI lze také vyčíst, že různé varianty EQLH, ačkoli jsou srovnatelné s CAPEf a LI z hlediska TSS a prahových hodnot, pro pravděpodobnostní předpověď už jsou slabší, s výjimkou ML EQLH. V tomto ohledu jsou výsledky BSS sondážních dat velmi podobné s výsledky TSS předpovědních dat modelu ALADIN. Dále je opět patrná vyšší efektivita indexů pro Prostějov v případě bouřek alespoň ojedinělých, zatímco bouřky většího rozsahu (alespoň místy) se lépe předpovídají z pražské sondáže.

4.4 BSS předpovědní model ALADIN

Schopnost pravděpodobnostní předpovědi bouřek byla napočítána i pro jednotlivé běhy modelu ALADIN. V naprosté většině případů vycházely nejlepší hodnoty pro kombinaci 8-LR8060+TI, ojediněle měl vyšší BSS samotný TI, rozdíl byl však v takových případech minimální.

Na obr. 14 a 15 je znázorněn časový průběh BSS nejlepšího indexu pro jednotlivé běhy modelu ALADIN. Potvrdilo se, že i z hlediska pravděpodobnostní předpovědi bouřek jsou data z modelu zcela srovnatelná s daty ze sondáže, na obrázcích je zřetelný očekávaný pokles kvality předpovědi s její délkou.

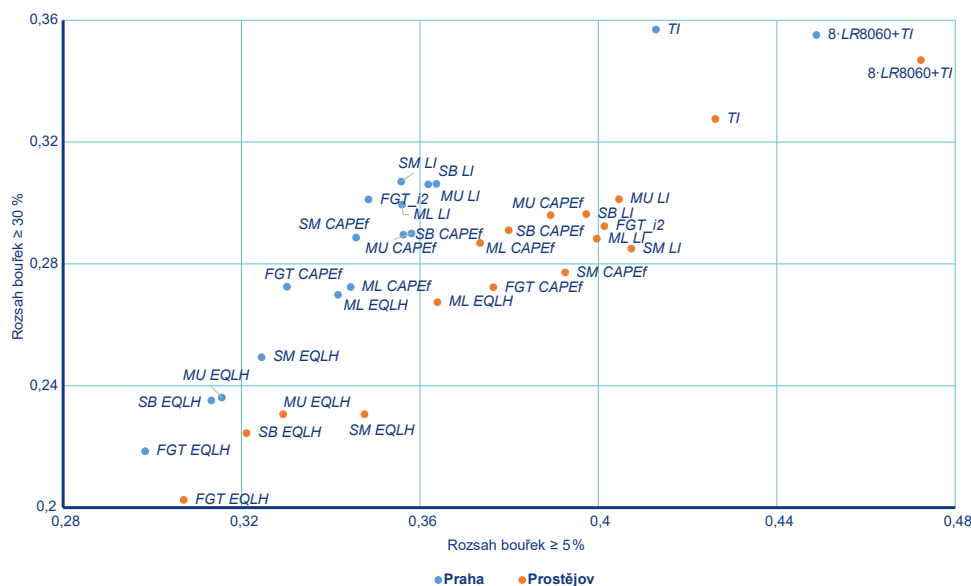
Obr. 16 znázorňuje průměrné hodnoty BSS pro jednotlivé indexy, průměrováno přes všechny předpovědní běhy modelu ALADIN. Potvrdily se rysy pozorované už při stejném výpočtu ze sondáží (obr. 13). Pro Prostějov je předpověď úspěšnější pro $TS_{perc} \geq 5\%$, zatímco pro Prahu pro $TS_{perc} \geq 30\%$. Indexy EQLH oproti ostatním sledovaným ztrácejí a nejlépe vychází kombinace 8-LR8060+TI, a to zejména pro $TS_{perc} \geq 5\%$.

Zároveň lze vypořovovat některé rysy specifické pro modelová data. Zatímco v případě sondáže TI předčil ostatní indexy pouze pro Prahu, pro modelová data to platí i v Prostějově. Dále lze pozorovat, že ve všech sledovaných variantách vychází LI lépe než CAPEf.

5. Závěr

Bylo zjištěno, že zatímco povrchová teplota modelu ALADIN je ve velmi dobré shodě s měřením, teploty rosného bodu modelové předpovědi nadhodnocují o cca 1 °C při délce předpovědi do 24 h. V případě delších předpovědí ještě o něco více. Analýzy modelu ALADIN pak mají dobrou shodu s měřením jak pro $Tsfc$, tak pro $Tdsfc$.

To je patrně jednou z příčin systematického posunu hodnot indexů stability vypočtených z předpovědních běhů modelu ALADIN. Jejich průměrné hodnoty bez výjimky odpovídají labilnějšímu prostředí, než jaké vychází z měření.



Obr. 16 Průměrné hodnoty BSS jednotlivých indexů vypočtených z modelu Aladin.

Fig. 16. Average BSS values for individual indices calculated from the Aladin model.

Analýza maximálních TSS prokázala, že pro předpověď vzniku bouřek pomocí indexů stability je nejen analýza, ale i předpověď modelu ALADIN srovnatelná se sondážním měřením. Je ovšem třeba mít na paměti výše zmíněný posun k labilitě, tedy to, že prahové hodnoty pro vznik bouřek jsou adekvátně posunuté.

Stabilitní indexy vypočtené z předpovědi modelu ALADIN výrazně předčily schopnosti sondáže předpovídat bouřky na delší dobu dopředu, pro předpověď odpoledních bouřek je tedy zjevně smysluplnější v ranních hodinách využít půlnoční běh modelu ALADIN než půlnoční nebo ranní sondáž.

Bylo zjištěno, že pro předpověď z indexů spočtených z modelových předpovědí jsou různé varianty *LI* a *CAPEf* vhodnější, než *EQLH*. Potvrdil se přínos kombinace *TI* a *LR8060* zjištěný v dřívější práci i v případě modelových dat.

Podařilo se vytvořit algoritmus, který na základě vstupních dat rozsahu bouřek a vypočtených hodnot indexu vytvoří funkci, která pro danou hodnotu indexu vyjadřuje odpovídající pravděpodobnost vzniku bouřek. Výskyt alespoň ojedinělých bouřek dokáží nejúspěšnější indexy stability v mnoha případech určit s až 90 % jistotou.

I pro pravděpodobnostní předpověď byla potvrzena použitelnost indexů vypočtených z dat modelu ALADIN. V případě modelu i sondáže je znatelná horší předpověď pomocí *EQLH* než pomocí *CAPEf* či *LI*. Thompsonova modifikace *LI* a dále její doplnění o *LR8060* tuto předpověď opět vylepšují.

Na základě získaných výsledků bude aerologické oddělení ČHMÚ směřovat k výpočtu a zveřejňování indexů stability počítaných z modelových dat, jak to v současnosti dělá u měřených sondážích a k výpočtu pravděpodobnosti vzniku bouřek na základě profilových měření a předpovědí.

Literatura:

- BROŽKOVÁ, R., 2019. Nová provozní konfigurace modelu Aladin ve vysokém rozlišení. *Meteorologické zprávy*, roč. **72**, č. 2, s. 129–136. ISSN 0026-1173.
- BYERS, H. R., BRAHAM, R. R., 1949. The Thunderstorm – Report of the Thunderstorm Project, United States Department of Commerce, Weather Bureau.
- DOSWELL, C. A., III, EVANS, J. S., 2003. Proximity sounding analysis for derechos and supercells: An assessment of similarities and differences. *Atmospheric Research*, Vol. **67–68**, s. 117–133, Dostupné z: doi:10.1016/S0169-8095(03)00047-4.
- FÖRCHTGOTT, J., 1971. Předpověď bouřek čtyřvrstvou metodou za rok 1970, *Meteorologické zprávy*, roč. **24**, č. 3–4, s. 84–87.
- FÖRCHTGOTT, J., 1975. Předpověď bouřek – čtyřvrstvová metoda: Návod k použití [originální strojopis autora].
- CHROMOV, S. P., 1937. Úvod do synoptického rozboru počasí, Praha: Vojenský ústav vědecký, s. 109–114.
- GALWAY, J. G., 1956. The lifted index as a predictor of latent instability. *Bulletin American Meteorological Society*, Vol. **37**, s. 528–529.
- GEORGE, J. J., 1960. Weather Forecasting for Aeronautics. Academic Press. 673 s.
- MARKOVSKI, P., RICHARDSON, Y., 2010. Mesoscale Meteorology in Midlatitudes, Royal Meteorological Society, Wiley-Blackwell, ISBN 978-0-470-74213-6.
- MOTL, M., RÝVA, D., 2023. Kombinace indexů stability pro předpovědi bouřek. *Meteorologické zprávy*, roč. **76**, č. 6, s. 178–186. ISSN 0026-1173.
- PŮČÍK, T., GROENEMEIJER, P., RÝVA, D., KOLÁŘ, M., 2015. Proximity Soundings of Severe and Nonsevere Thunderstorms in Central Europe. *Monthly Weather Review*, Vol. **143**, s. 4805–4821. Dostupné z: <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0104.1>.
- RÝVA, D., 2020. Nové zpracování a vizualizace dat z aerologických balónových sondážích. *Meteorologické zprávy*, roč. **73**, č. 5, s. 152–154. ISSN 0026-1173.
- RÝVA, D., MOTL, M., 2020. Ověření vybraných indexů stability pro předpovědi bouřek. *Meteorologické zprávy*, roč. **73**, č. 6, s. 167–172. ISSN 0026-1173.
- STRACHOTA, J., 1966. Ověření několika metod pro předpověď bouřek v letním pololetí 1965. *Meteorologické zprávy*, roč. **19**, č. 3–4, s. 105–110. ISSN 0026-1173.
- SULAN, J., 2004. Výpočet konvekční dostupné potenciální energie CAPE a možnosti jeho využití v provozu ČHMÚ. *Meteorologické zprávy*, roč. **57**, č. 3, s. 61–68. ISSN 0026-1173.
- TÁBORSKÝ, Z., 1966. Porovnání některých metod předpovědi bouřek. *Meteorologické zprávy*, roč. **19**, č. 6, s. 164–171.
- STULL, R., 2015. Meteorology for scientists and engineers. Sundog Publishing, 940 s.
- YADONG, L., JIANWEN, L., SHOUTING, G., 2004. Assessment of several moist adiabatic processes associated with convective energy calculation. *Advances in Atmospheric Sciences*, Vol. **21**, s. 941–950.

Lektoři (Reviewers):

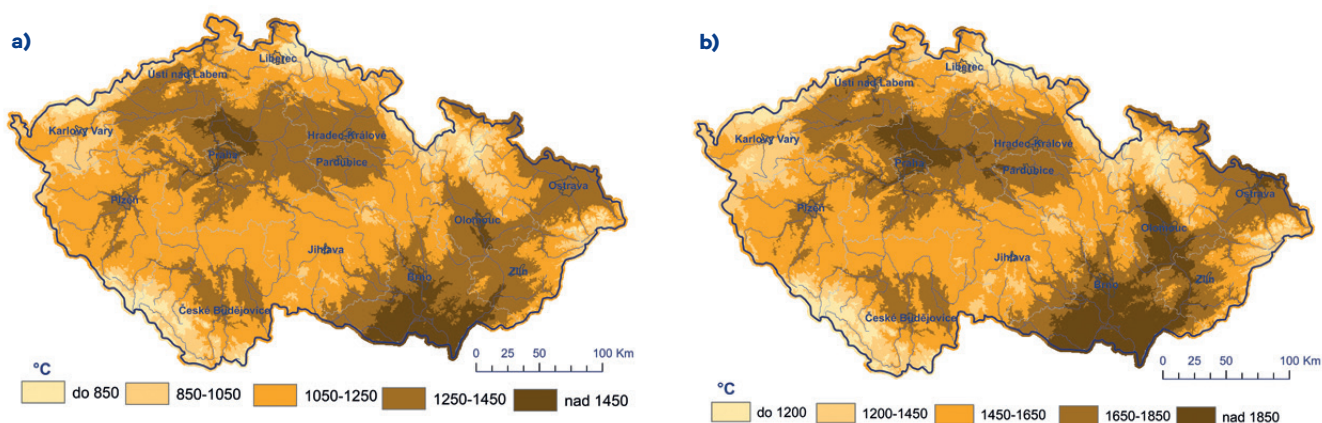
RNDr. Antonín Bučánek, Ph.D., RNDr. Petr Pešice, Ph.D.

POČASÍ A ROSTLINY

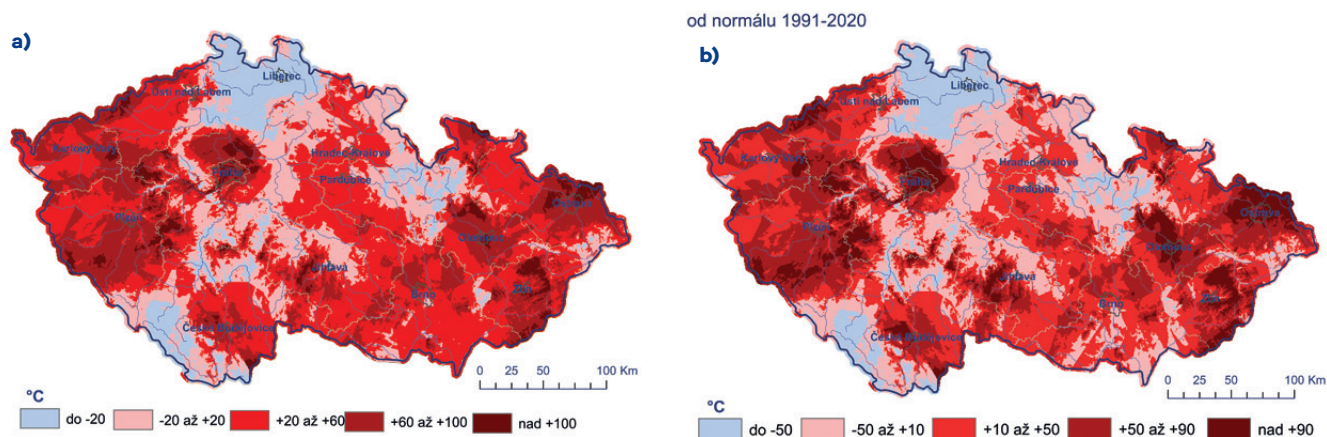
Fenologický vývoj na území ČR v červenci a v srpnu 2025

V tomto čísle vyhodnotíme časové období od 1. ledna 2025 do 31. července 2025 a 31. srpna 2025. Při hodnocení vybraných charakteristik je používán normál 1991–2020.

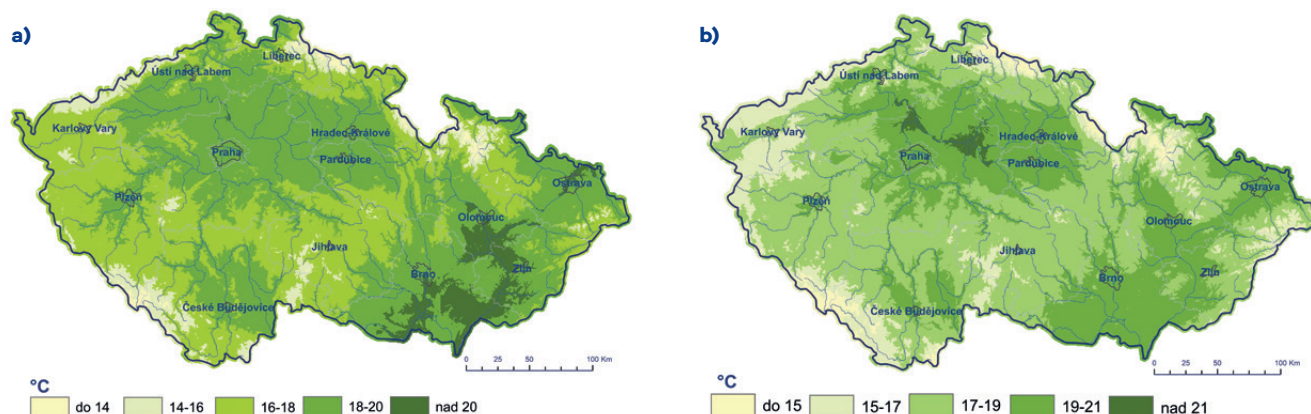
Celkovou sumu **efektivních teplot nad 5 °C** od 1. 1. 2025 do 31. 7. 2025 a 31. 8. 2025 a její srovnání s normálem 1991–2020 zobrazují následující mapy (obr. 1, 2). Absolutní hodnoty sumy efektivních teplot vzduchu nad 5 °C byly v rozmezí do 850 °C a nad 1 850 °C (v roce 2024 byly ve stejném období hodnoty vyšší, a to v rozmezí 1 100 °C až 2 300 °C). Odchytky od normálu 1991–2020 byly v červenci a srpnu na



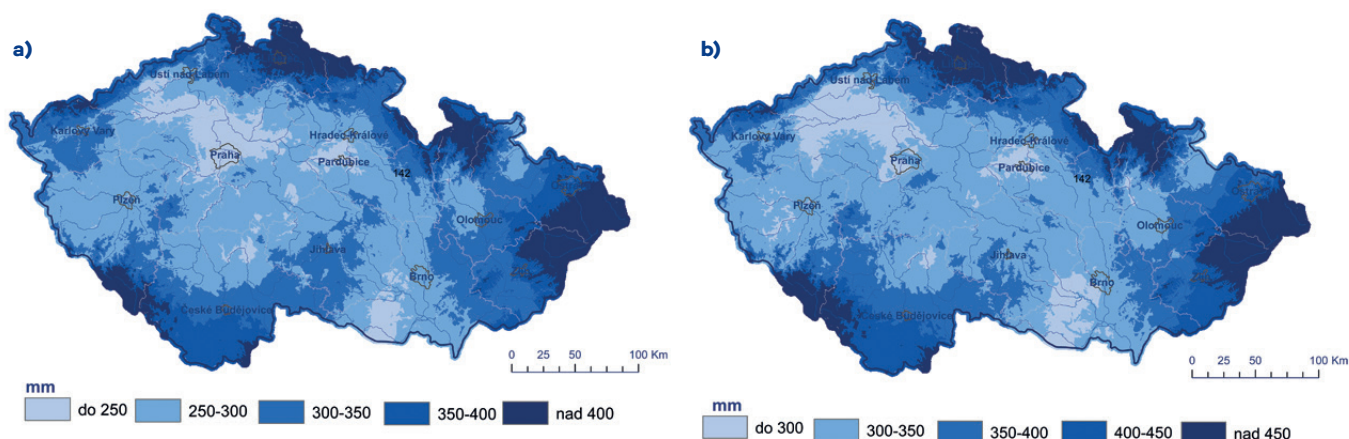
Obr. 1 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C od 1. 1. 2025 do 31. 7. 2025 (a) a do 31. 8. 2025 (b).



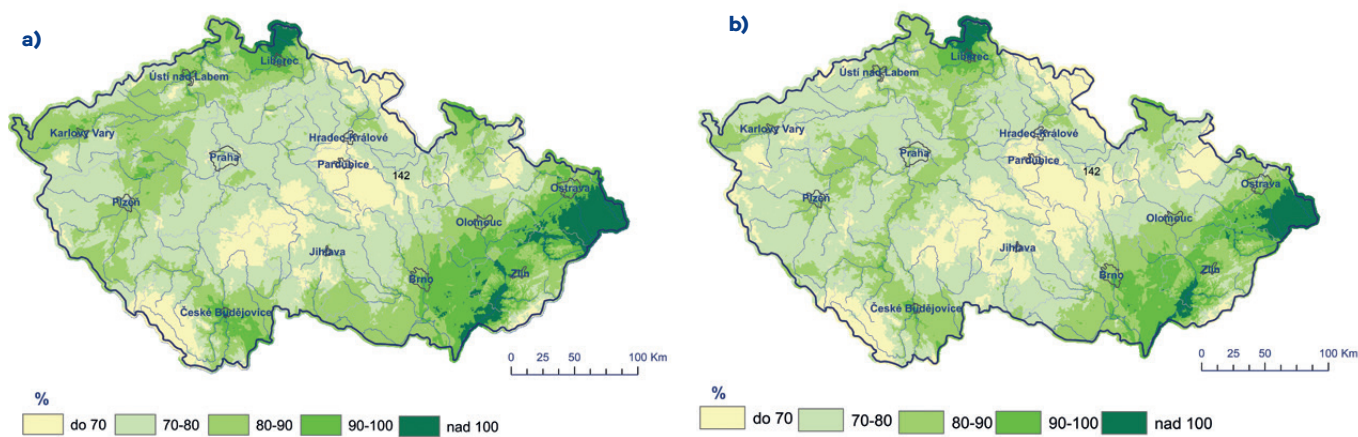
Obr. 2 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C – odchylka od normálu 1991–2020 od 1. 1. 2025 do 31. 7. 2025 (a) a do 31. 8. 2025 (b).



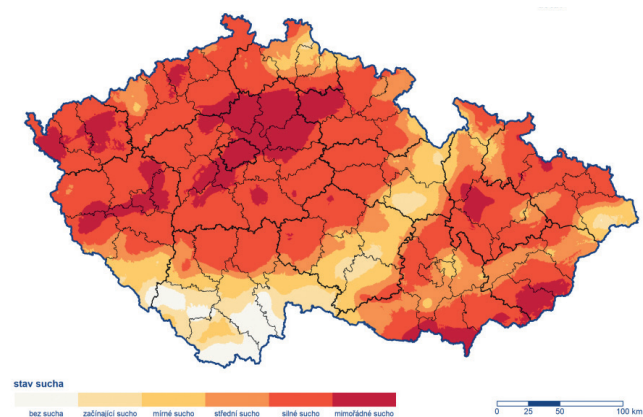
Obr. 3 Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 30. 7. 2025 (a) a 31. 8. 2025 (b).



Obr. 4 Kumulativní úhrn srážek k 31. 7. 2025 (a) a 31. 8. 2025 (b).



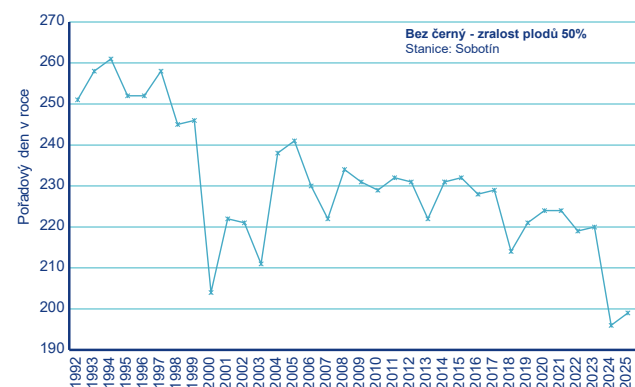
Obr. 5 Kumulativní úhrn srážek (procenta normálu 1991–2020) k 31. 7. 2025 (a) a 31. 8. 2025 (b).



Obr. 6 Stav půdního sucha ke dni 6. 7. 2025.



Obr. 8 Květ třezalky, plod trnky.



Obr. 7 Zralost plodů bezu černého v období 1992–2025.

části území záporné (např. ve Šluknovském a Frýdlantském výběžku, na Šumavě, v Krkonoších či Jeseníkách), na více než 2/3 území byly kladné (+20 až +100 °C). V roce 2024 byly odchylky kladné na celém území ČR a pohybovaly se v rozmezí od 160 do 500 °C (v srpnu byly odchylky vyšší než v červenci).

Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 30. 7. 2025 a 31. 8. 2025 je uvedena v obrázku 3. V červenci byly hodnoty v rozmezí 14–20 °C a v srpnu 15–21 °C. Ve srovnání s rokem 2024, byla teplota půdy v 10 cm v červenci a srpnu 2024 o cca 3 °C nižší.

Kumulativní úhrn atmosférických srážek od 1. 1. 2025 do 31. 7. 2025 a 31. 8. 2025 a procentické vyjádření normálu 1991–2020 jsou vykresleny na obrázku 4 a 5. Nejnižší kumulativní úhrn srážek ke konci července a srpna (do 250 a 300 mm) byl zaznamenán zejména ve středních, severozápadních a východních Čechách, v Polabí a částečně na jižní Moravě. Ve srovnání kumulativních hodnot srážek s normálem 1991–2020 dosahovaly hodnoty na většině území 70 až 100 % normálu, v roce 2024 to bylo 80 až 140 % normálu. V první dekádě července bylo téměř na celém území půdní sucho. Na začátku července a v první polovině srpna se vyskytly dvě vlny veder.

Vývoj vegetace byl v červenci mírně zrychlený, později se dostal do normálu. V červenci a srpnu kvetly třezalky, vrbky, dozrával bez černý a probíhala sklizeň obilovin (v letošním roce

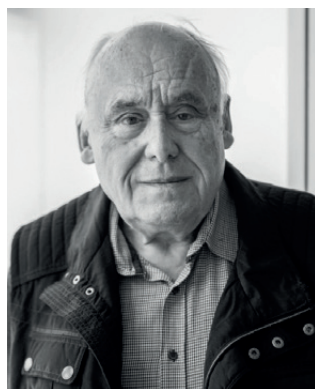
byla posunutá vzhledem k deštivému červenci). Stejně jako v roce 2024 jsme rovněž zaznamenali druhé kvetení u některých dřevin, např. u rododendronu či svídy krvavé. Na začátku srpna začaly dozrávat jeřabiny a bez černý, ve druhé polovině srpna kvetl rákos a ke konci srpna dozrávaly plody hlohů, trnek, lísek či třezalek. U mnoha dřevin jsme zaznamenali letní žloutnutí, např. u habrů, lísek, bříz, lip, buků či dubů. Pylová sezóna pokračovala – v červenci dokvětaly lípy a trávy, kvetl jitrocel či šťovík, ke konci srpna začala kvést ambrozie. Otavoseč probíhala až na konci srpna.

V dalším čísle Vám přineseme aktuální informace o vlivu počasí na vegetaci v září a říjnu 2025.

Lenka Hájková

INFORMACE

Opustil nás Jan Bednář



5. 11. 2025 ve věku nedožitých 79 let zemřel profesor Jan Bednář, přední český meteorolog a vysokoškolský učitel. Byl výraznou osobností Univerzity Karlovy, české meteorologie a klimatologie i občanské společnosti. Především byl ale pokorným člověkem s dobrým srdcem.

Narodil se 11. listopadu 1946 v Benešově. V roce 1965 nastoupil na studium na Matematicko-fyzikální

fakultě Univerzity Karlovy, obor meteorologie a klimatologie. V roce 1970 obhájil diplomovou práci „Model vzniku srážkových elementů v bouřkovém oblaku s centrálním výstupovým proudem“. Jeho vědecké, pedagogické a obecně lidské vlastnosti si podle pamětníků velmi brzy uvědomil prof. Brandejs i vedoucí oddělení meteorologie a klimatologie doc. Zikmunda. Těm se podařilo získat pro prof. Bednáře trvalé pracovní místo na tehdejší Katedře geofyziky a meteorologie, kam nastoupil v roce 1970 jako asistent. V roce 1971 obhájuje svoji rigorózní práci „Návrh modelu mikrostrukturálních procesů v bouřkovém oblaku“ a v roce 1976 svou kandidátskou disertaci „Vliv aerosolů na sluneční radiaci procházející atmosférou“ (školicel Stanislav Brandejs). Od roku 1975 rovněž působí na katedře jako odborný asistent. V roce 1973 prof. Bednář přebírá od prof. Brandejse (a po prof. Podzimkovi, který 1970 emigroval do USA) přednášku Šíření akustických a elektromagnetických vln v atmosféře. V roce 1975 dále přebírá od doc. Zikmunda přednášky Fyzika oblaků a srážek a Fyzika mezní vrstvy atmosféry (původně také po prof. Podzimkovi). V roce 1991 prof. Bednář obhájuje svoji habilitační práci „Atmosférické aerosoly a jejich vliv na elektromagnetickou radiaci procházející zemským ovzduším“ a v roce 1997 je jmenován profesorem v oboru meteorologie.

Témata tří přednášek, které prof. Bednář v sedmdesátých letech začíná přednášet a které dále rozvíjí ve své výuce, pracích a projektech, se postupně stala ústředními tématy jeho další vědecké kariéry. Jeho záběr byl nicméně mnohem širší, a to od základních témat dynamické meteorologie, termodynamiky a fyziky atmosféry až například po modely šíření znečištění v atmosféře. Prof. Bednář se během let v těchto oblastech stal uznávaným odborníkem i pedagogem. Celý svůj profesní život působil na dnešní Katedře fyziky atmosféry MFF UK, na jejímž životě se až do posledních chvil aktivně podílel. Na začátku devadesátých let významně přispěl k transformaci a osamostatnění katedry a její další profilaci pod jménem Katedra meteorologie a ochrany prostředí. Například zcela jasně pochopil, že je do odborného profilu katedry potřeba velmi rychle vstřebat nové přístupy, zejména na poli numerických předpovědních metod. Nové metody nikdy nevnímal jako konkurenci nebo ohrožení tradičních přístupů, ale naopak, viděl zde možnost syntézy a vzájemného doplnění. Od roku 1992 byl zástupcem vedoucího katedry (kterým byl doc. Zikmunda) a od června 1996 do února 2006 katedru vedl, dále byl řadu let opět zástupcem vedoucího. Byl oblíbeným a vstřícným vyučujícím, a to nejen na Matematicko-fyzikální fakultě, ale i v Ústavu pro životní prostředí Přírodovědecké fakulty. Výukou a vedením řady diplomových a doktorských prací se spolupodílel na výchově mnoha odborníků působících dnes v české meteorologii. Výuku a vzdělávání obecně promýšlel do hloubky, nejen po čistě odborné stránce, ale i v celkovém kontextu vysokoškolského vzdělávání a vzhledem k možnostem uplatnění absolventů. Na toto téma se také mj. nejednou vyjadřoval i na stránkách Meteorologických zpráv. Vysokou důležitost přikládal i třetí roli univerzity a dalšímu vzdělávání odborné veřejnosti. K tomu také přispíval svou publikační činností, která byla z velké části zaměřená právě na odborníky v meteorologii a fyzice atmosféry. Mezi jeho nejvýraznější knihy v tomto směru patří Fyzika mezní vrstvy atmosféry (Bednář a Zikmunda 1985), Pozoruhodné jevy v atmosféře (Bednář, 1989), Příručka dynamické meteorologie (Bednář a Pechala 1991) a Jak vzniká počasí (Kopáček a Bednář, 2005). Kromě monografií je také autorem nebo spoluautorem cca 140 původních vědeckých, referativních a popularizačních časopiseckých prací a vyso-

koškolských učebnic. V neposlední řadě byl taky velmi oblíbeným přednášejícím Univerzity třetího věku na MFF UK.

Krom práce na katedře se prof. Bednář významně podílel také na řízení univerzity. Mezi lety 1993 a 1997 byl členem Akademického senátu Univerzity Karlovy a v letech 1997 až 2000 zastával funkci jeho předsedy. Na začátku roku 2006 se prof. Bednář stal prorektorem pro studijní záležitosti a tuto funkci zastával do roku 2010. Univerzitu Karlovu rovněž zastupoval v předsednictvu Rady vysokých škol, kde působil jako místopředseda od roku 2000 do roku 2011. V období 1999–2005 byl členem vědecké rady Matematicko-fyzikální fakulty UK a v letech 2006–2010 členem vědecké rady Univerzity Karlovy.

Prof. Bednář působil také v orgánech Akademie věd České republiky, kde byl členem sněmu a jedno funkční období byl členem dozorčí komise. Ve vědecké radě Ústavu fyziky atmosféry Akademie věd České republiky působil v letech 1990 až 2002. Od roku 1991 byl rovněž členem redakční rady časopisu Meteorologické zprávy a působil i v redakční radě časopisu Ochrana ovzduší.

Klíčové bylo jeho působení v České meteorologické společnosti, v níž v letech 1981 až 1993 působil jako tajemník a mezi lety 1993 až 2008 ji vedl jako předseda. Významně tak přispěl k jejímu směřování i odborným aktivitám. Od 80. let 20. století se aktivně podílel na činnosti terminologické skupiny ČMeS a zásadně přispěl k vydání knižního Meteorologického slovníku výkladového a terminologického (1993). Kromě vlastního zpracování stovek hesel hlavně z oborů dynamické meteorologie, fyziky záření, atmosférické optiky, elektřiny a kvality ovzduší provedl i revizi odborných zkratk a matematických výrazů v celém slovníku. Po obnovení terminologické skupiny v roce 2010 se opět zapojil do její činnosti. V rámci revize a elektronizace slovníku se vyjádřil k více než čtvrtině z téměř 5000 hesel, která v současnosti Elektronický meteorologický slovník obsahuje, přičemž stovky z nich upravil a více než 100 nových hesel navrhl. Patřil tak k nejaktivnějším členům terminologické skupiny. Česká meteorologická terminologie mu ležela na srdci, což dokládá i fakt, že slovníková hesla ještě v průběhu roku 2025 nadále pročítal a vedoucímu terminologické skupiny odeslal celkem dvanáct souborů dílčích připomínek k jednotlivým skupinám hesel. Přínos prof. Bednáře pro českou meteorologickou komunitu ocenila ČMeS udělením Ceny prof. Stanislava Hanzlíka za mimořádný přínos pro rozvoj oboru.

Krom odborného působení a práce na Univerzitě Karlově byl prof. Bednář rovněž také aktivní v občanské společnosti. V roce 1990 stál u založení České křesťanské akademie, jedné z prvních svobodných institucí vzniklých bezprostředně po listopadu 1989. Ta navazovala na dřívější bytové semináře pořádané k různým tématům a jejím cílem bylo (a stále je) vytvářet prostor pro dialog mezi církvemi a společností a pro setkávání víry, vědy a kultury. Prof. Bednář byl v České křesťanské akademii činný především v přírodovědecké a technické sekci, redakčním okruhu časopisu Universum a v Akademickém výboru. V časopise Universum také pravidelně publikoval. Zde propojoval svět víry a vědy – s přesvědčením, že lidské poznání má hlubší smysl tehdy, když slouží pokoře a odpovědnosti vůči světu. V letech 1996–2014 byl také 1. viceprezidentem České křesťanské akademie.

Prof. Bednář byl skvělým kolegou a byl vždy aktivní součástí společenství a komunit, ve kterých působil. Svou práci bral do značné míry jako službu. Bylo možné se na něj vždy obrátit s prosbou o radu nebo pomoc, které poskytoval vstřícně a cit-

livě. A bylo to tak do posledních chvil, do kdy mu stačily síly. Neúnavně tak spolupracoval na aktualizovaném vydání svých knih, které se připravuje na Katedře fyziky atmosféry MFF UK. Tam se také do loňského roku podílel na výuce a jako člen komise státních závěrečných zkoušek byl i u magisterských a doktorských státnic. Vždy dokázal podpořit dobrou radou a udivoval téměř encyklopedickými znalostmi odborných termínů i širokým rozhledem.

V profesoru Bednářovi nás opustila neocenitelná osobnost, skvělý kolega a dobrý přítel.

Michal Žák

Mezinárodní fórum WMO v Praze pod záštitou ČHMÚ

Ve dnech 4. až 6. listopadu 2025 uspořádal ČHMÚ v Praze mezinárodní konferenci Second Regional Scientific Forum (Regional Association VI (RA VI)) Světové meteorologické organizace (WMO) s tematickým zaměřením „Bridging Research and Operations in an Earth-System Approach: Increasing Water and Heat Resilience in RA VI“. Jednalo se o jednu z významnějších odborných akcí WMO v regionu Evropy, zaměřenou na propojení výzkumu, operativních meteorologických a hydrologických služeb a strategického plánování v kontextu extrémních meteorologických jevů a rostoucí klimatické nejistoty. ČHMÚ vystupoval v roli hlavního organizátora a hostitelské instituce, což představovalo významné posílení pozice ústavu v rámci evropské sítě národních meteorologických a hydrologických služeb. Konference se účastnili zástupci vědeckých organizací, hydrometeorologických služeb, mezinárodních programů a evropských institucí. Program byl tvořen osmi tematickými sekcemi pokrývajícími klíčová témata výzkumu a operativních služeb v oblasti meteorologie, klimatologie, hydrologie a datové vědy:

- Globální výzkumné programy a strategické agendy – příspěvky World Climate Research Programme, GAW a Evropské komise zaměřené na extrémní jevy, rizika a inovace.
- Příklady z členských států v oblasti sucha, vln horka a lokálních extrémů – prezentace a panelové diskuse věnované otázkám regionální odolnosti, sucha a intenzivních srážek.
- Propojení vědy a operativních služeb prostřednictvím moderních datových zdrojů a umělé inteligence – představení strategií ECMWF, EUMETNETu a WMO pro využití AI a datových technologií v předpovědi extrémních jevů.
- Hydrologické aplikace umělé inteligence – včetně prezentace pilotního projektu ČHMÚ („Czech Google Pilot“) zaměřeného na využití AI v hydrologickém modelování.
- Komunikace rizik a datová interoperabilita – panelové diskuse o efektivní komunikaci extrémních jevů, využití vědeckých informací v praxi a překonávání bariér mezi výzkumem a rozhodovací sférou.
- Posterové sekce – věnované extrémním jevům, datovému managementu, modelování, hydrologickým datovým centřům a globálním iniciativám.

Uspořádání této významné evropské akce mělo pro naplňování DKRVO několik klíčových přínosů. Posílení mezinárodní



Společná fotografie účastníků mezinárodního vědeckého fóra WMO, které se ve dnech 4.–6. listopadu 2025 uskutečnilo v Praze. Foto: Archiv ČHMÚ.

role a viditelnosti ČHMÚ v rámci WMO a evropské odborné komunity. Přímé propojení výzkumné a operativní činnosti, což reflektuje cíle DKRVO v oblasti integrace vědeckých poznatků do praxe hydrometeorologické služby. Diseminace výzkumných výstupů ČHMÚ, zejména v oblastech predikce extrémních jevů, hydrologického modelování a využití dat DPZ a AI. Získávání podnětů pro další výzkumné směry, včetně mezinárodní spolupráce, účasti v evropských programech a implementace inovativních datových technologií. Budování odborné komunity napříč státy RA VI, podporující sdílení metodik, dat a zkušeností v oblasti klimatické odolnosti. Konference přispěla k posílení odborných kapacit ČHMÚ, k rozvoji mezinárodních vazeb i ke zkvalitnění přenosu výsledků výzkumu do operativní hydrometeorologické služby, což představuje zásadní pilíř DKRVO.

Eva Stehnová

Ročenky ČHMÚ na novém webu – přehledněji a dostupněji

Český hydrometeorologický ústav zjednodušil přístup ke svým klíčovým publikacím. Všechny oblíbené ročenky a další odborné materiály jsou nyní k dispozici na přehledně uspořádaném novém webu ČHMÚ: <https://www.chmi.cz/o-chmu/publikace-a-vzdelavani/nakladatelstvi>.

Nová struktura webových stránek umožňuje rychlejší orientaci v bohaté nabídce publikací a snadnější vyhledávání konkrétních titulů. Uživatelé zde najdou aktuální i archivní vydání ročenek, odborných zpráv, metodických materiálů i dalších publikací dokumentujících činnost ČHMÚ. Tradičním pilířem nakladatelské činnosti ČHMÚ jsou tři klíčové ročenky, které každoročně komplexně dokumentují stav našeho životního prostředí.

Hydrologická ročenka České republiky

Nejrozsáhlejší z trojice přináší ucelené informace o hydrologických měřeních a hodnocení vodního režimu v České republice. Publikace je koncipována tak, aby umožnila průběžné sledování a porovnávání prostorových i časových změn. Díky opakující se struktuře textové, tabulární a grafické prezentace mohou odborníci i další zájemci dlouhodobě sledovat vývoj hydrologických poměrů a porovnávat aktuální data s dlouhodobými charakteristikami.

Klimatologická ročenka České republiky

Tato publikace hodnotí základní klimatologické charakteristiky na území ČR v daném roce. Vychází z dat naměřených nejen v síti stanic ČHMÚ, ale i u dalších subjektů. Ročenka je přehledně členěna podle jednotlivých meteorologických prvků – teploty vzduchu, rychlosti větru, množství sněhu a srážek, délky slunečního svitu. Nechybí ani kapitoly věnované fenologii, zajímavým meteorologickým jevům či informace o staniční síti.

Znečištění ovzduší na území České republiky

Ročenka kvality ovzduší tvoří společně s elektronickou datovou ročenkou „Souhrnný tabulární přehled“ a metodickým materiálem „Systém sběru, zpracování a hodnocení dat“ ucelený přehled informací o kvalitě ovzduší v ČR. Hodnocení vychází z naměřených údajů shromažďovaných v rámci Informačního systému kvality ovzduší. Grafická ročenka poskytuje komentované souhrnné informace v přehledných mapách, grafech a tabulkách, datová ročenka pak prezentuje verifikovaná naměřená imisní data včetně údajů o chemickém složení atmosférických srážek.

Všechny tři ročenky jsou dostupné v elektronické podobě (formát PDF) zdarma ke stažení. Nový web ČHMÚ je tak jedním vstupním bodem pro všechny, kdo hledají ověřené, kvalitní a komplexní informace o stavu ovzduší, klimatu a vodního režimu v České republice. Časem se na stránkách objeví další publikace – cílem je vytvořit co nejkompletnější digitální knihovnu odborných materiálů ČHMÚ dostupnou široké odborné i laické veřejnosti.

Hanka Stehlíková

Meteorologické zprávy

Meteorological
Bulletin

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

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

Vydavatel (redakce) – Publishers

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

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

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

Vedoucí redaktor – Chief Editor

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

Redaktor – Assistant Editor

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

Redakční rada – Editorial Board

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

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

Z. Horký, Praha, Česká republika

F. Hudec, Univerzita obrany, Brno, Česká republika

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

P. Huszár, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

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

K. Krška, Brno, Česká republika

M. Lapin, Univerzita Komenského, Bratislava, Slovenská republika

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

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

V. Pastirčák, Bratislava, Slovenská republika

E. Plavcová, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, Česká republika

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

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

J. Strachota, Praha, Česká republika

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

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

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

H. Vondráčková, Praha, Česká republika

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

Abstracting and Indexing:

Meteorological and Geostrophysical Abstracts

Tisk:

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

CC BY-NC-ND

ISSN 0026-1173

ISSN 2788-3140 (on-line)

Registrační číslo MK ČR E 5107

© Meteorologické zprávy, Český hydrometeorologický ústav

Výběr z novinek knihovny ČHMÚ

JIŘÍ BURDA (ed.)

**Bazální křídový kolektor v benešovské
synklinále: hydrogeologický rajon 4730**

Praha: Česká geologická služba, 2023,
ISBN 978-80-7673-081-6

JIŘÍ BURDA, IVA KŮRKOVÁ (eds.)

**Křída Obrtky a Úštěckého potoka:
hydrogeologický rajon 4523**

Praha: Česká geologická služba, 2023,
ISBN 978-80-7673-029-8

JIŘÍ BURDA, IVA KŮRKOVÁ (eds.)

**Bazální křídový kolektor od Hamru po
Labe: hydrogeologický rajon 4720**

Praha: Česká geologická služba, 2024,
ISBN 978-80-7673-094-6

JAN DAŇHELKA a kol.

V Klementinu bylo naměřeno...

Praha: ČHMÚ, 2025, ISBN 978-80-7653-076-8

MIROSLAV LUPAČ

**Strategie přizpůsobení se změně
klimatu v podmínkách ČR**

Praha: MŽP, 2023, ISBN 978-80-7212-661-3

ONDŘEJ PŘIBYLA

Atlas dekarbonizace Česka

Brno: Fakta o klimatu ve spolupráci s Tiskárnou
Helbich, a. s., 2025, ISBN 978-80-7609-022-4

MONIKA FEIGERLOVÁ a kol.

**Reflexe klimatické změny v českých
společenských vědách**

Praha: Academia, 2025, ISBN 978-80-200-3600-1

PAVEL LIPINA, JAN PROCHÁZKA (eds.)

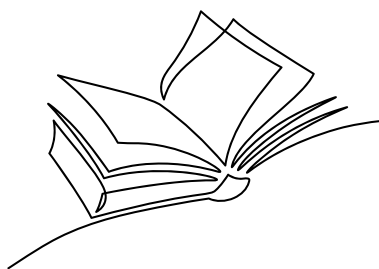
**Jeseníky 2024: sborník příspěvků
z meteorologické konference**

Praha: ČHMÚ, 2024, ISBN 978-80-7653-069-0

Knihovna ČHMÚ

Na Šabatce 2050/17

143 06 Praha 4 – Komořany



Více informací:

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

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

**Český
hydrometeorologický
ústav**

