

Meteorologické zprávy

ROČNÍK
73–2020

6

**161 Výpočet nejistot v rámci inventarizací emisí
skleníkových plynů v sektoru Energetika**

Andrea Veselá – Barbora Miklová – Eva Krtková – Vladimír Neužil

**167 Ověření vybraných indexů stability
pro předpovědi bouřek**

David Rýva – Martin Motl

**173 Atmosférická cirkulace v únoru 2020
a tlaková níže Sabina**

Marjan Sandev

Meteorological
Bulletin

Český
hydrometeorologický
ústav



161 Calculation of uncertainties in greenhouse gas inventories in the Energy sector

Andrea Veselá – Barbora Miklová – Eva Krtková – Vladimír Neužil

167 Evaluation of selected stability indices for thunderstorm forecasts

David Rýva – Martin Motl

173 Atmospheric circulation in February 2020 and the depression Sabine

Marjan Sandev

Rozšiřuje – Free booking:

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

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

nakladatelstvi@chmi.cz

casmz.chmi.cz

Výpočet nejistot v rámci inventarizací emisí skleníkových plynů v sektoru Energetika

Calculation of uncertainties in greenhouse gas inventories in the Energy sector

Andrea Veselá

KONEKO marketing, spol. s r. o.
Sojovická 2, 197 00 Praha 9 – Kbely;
Botanický ústav AV ČR v. v. i.
Zámek 1, Průhonice

Barbora Miklová

KONEKO marketing, spol. s r. o.
Sojovická 2, 197 00 Praha 9 – Kbely;
VŠCHT Praha
Ústav plyných a pevných paliv a ochrany ovzduší,
Technická 5, 166 28 Praha 6

Eva Krtková

Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 17, 143 06 Praha 412 – Komořany

Vladimír Neužil

KONEKO marketing, spol. s r. o.
Sojovická 2, 197 00 Praha 9 – Kbely

The study focused on identifying potential errors and inaccuracies in the determination of activity data and emission factors in the Energy sector. The sources of activity data have been evaluated considering methodological procedure they were obtained and how they were further analysed. Based on this, uncertainties have been determined for individual sectors. Uncertainties of emission factors have been assessed in terms of errors and deviations introduced into the determination of the default and country-specific emission factors. The aim was to design a user-friendly model according to the above-mentioned procedures which could be applied to annual sets of computational data. The newly designed computational model updated the uncertainties used so far and increased the accuracy of their determination.

KLÍČOVÁ SLOVA: energetika – IPCC – národní inventarizační zpráva – nejistoty – plyny skleníkové – model výpočetní

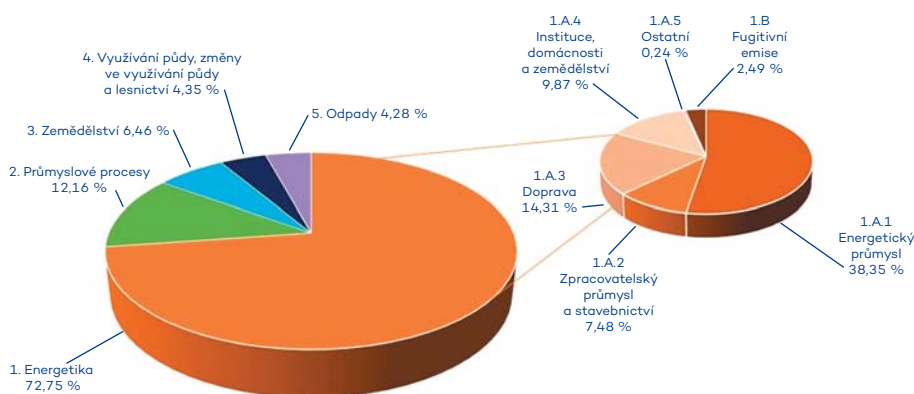
KEYWORDS: energy – IPCC – National Inventory Report – uncertainties – greenhouse gases – computational model

1. Úvod

Sektor Energetiky se v současnosti na celkových emisích CO₂ ekvivalentu České republiky podílí z cca 73 % (obr. 1) a oproti roku 1990 zaznamenala tato kategorie pokles o cca 40 %

(ČHMÚ 2020). Dlouhodobě se jedná o významnou kategorii, které je třeba v rámci stanovení nejistot věnovat náležitou pozornost. V rámci národní inventarizace skleníkových plynů (CO₂, CH₄ a N₂O) je předepsáno metodikou IPCC (2006 Guidelines) každý rok stanovovat nejistoty jak pro aktivitní data (AD), tak pro emisní faktory (EF). Z těchto údajů je dále vypočítávána nejistota emisí dle metodiky šíření chyb popsané níže. Emise skleníkových plynů jsou vykazovány ve specifické struktuře dle typu subjektu, na kterém se dané palivo spaluje (např. elektrárny, domácnosti, komerční a veřejné prostory atd.). Aktivitními daty se rozumí množství spáleného paliva udávaného v energetických jednotkách (TJ). Tento údaj poskytuje Český statistický úřad, který ho stanovuje na základě dotazníkového šetření v tzv. statistických jednotkách (podniky na území ČR s více než 20 zaměstnanci – ČSÚ 2020). Tyto hodnoty se násobí emisním faktorem, který je buď převzat z metodiky používané všemi státy světa (IPCC 2006 Guidelines), nebo je stanoven tzv. národně specifický emisní faktor (CS EF) s cílem získat množství daného skleníkového plynu. Národně specifický emisní faktor je vypočten ze známého složení paliva (palivo je podrobno chemickému rozboru) a jeho výhřevnosti. Nepřesnosti ve stanovení emisí skleníkových plynů zde mohou být způsobeny chybou ve stanovení množství spáleného paliva, statistickou náhodnou chybou, nedostatečnou reprezentativností dat apod. Nejistoty mohou být symetrické (např. +10 %, -10 %), i asymetrické (např. +10 %, -20 %), dle hustoty pravděpodobnosti (tzv. Probability density function).

Emisní inventura je v současné době zpracovávána podle doporučených postupů uvedených v metodikách IPCC (2006). Ve verzi metodiky platné do roku 2013 – Revised 1996 Guidelines nebyly nejistoty standardně stanovené, tudíž byla pro stanovení nejistoty použita především nová verze metodiky IPCC (2006 Guidelines), dále jen metodika. I přesto, že metodický dokument IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories se již pro přípravu inventarizací nevyužívá, z hlediska parametrů nejistot poskytuje rozsáhlé a technicky stále platné informace. Tento dokument byl tedy využit jako podpůrný materiál k platné metodice. Dále bylo nastudováno 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. Dle metodiky IPCC lze pro inventarizaci skleníkových plynů zvolit jeden ze tří přístupů, které se od sebe liší detailností jednotlivých aktivitních dat, emisních faktorů a dalších zdrojů. Čím přesnější a podrobnější jsou podklady pro inventarizace skleníkových plynů, tím se zvolí vyšší stupeň přístupu k výpočtu (tzv. Tier). Česká republika používá pro svoji inventarizaci Tier 1 v přípa-



Obr. 1. Poměr celkových emisí CO₂ ekvivalentu mezi hlavními sektory inventarizace skleníkových plynů a detailní pohled na poměr emisí CO₂ ekvivalentu v sektoru Energetika v roce 2018.

Fig. 1. Share of the total CO₂ emission equivalent between the main sectors of greenhouse gas inventory and details of CO₂ emission equivalent in the Energy sector in 2018.

dě, že se aplikují defaultní (standardně stanovené) EF z metodiky. Tier 2 je používán, v případě, že se aplikují národně specifické EF.

V rámci dostatečného prozkoumání všech dostupných zdrojů byly též prověřeny Národní inventarizační zprávy Velké Británie, Polska, Slovenska, Rakouska, Finska a dalších zemí. Byly taktéž prověřeny metodické postupy ostatních sektorů České republiky, zejména pak sektoru Dopravy. Pro porovnání postupu stanovení nejistot v jiných zemích Evropy, byly vybrány dva státy, které používají Tier 1 a 2 dle metodiky IPCC 2006 GL.

2. Způsoby provádění výpočtu nejistot ve vybraných zemích Evropy

2.1 Rakousko

Rakousko pro dosažení vyšší přesnosti přistoupilo k více podrobnému dělení inventarizace, která umožnila nejrelevantnější zhodnocení dat. Informace o nejistotách byly pro účely vyhodnocení převzaty z národních studií, mezinárodních zdrojů (IPCC) a z vyjádření národních expertů v dané oblasti. Nejistoty AD vycházejí z vysoké úrovně rakouského statistického zpracování paliv. To je založeno na fyzikálních analýzách (vážení, měření průtoku). Pro velké zdroje byla obecně stanovena vyšší míra nejistoty než pro malé zdroje (Radunsky et al. 2019).

Emisní faktory ze spalování paliv jsou považovány za velmi dobře prozkoumané. Emise CO₂ jsou odvozeny ze stechiometrie reakce. Obsah uhlíku v pevných, kapalných i plynných palivech je do značné míry úměrný jeho entalpii. Z tohoto důvodu byla jednotlivým skupinám paliv přiřazena korelovaná nejistota emisního faktoru rovna 0,5 %. Pro emise metanu byla jako indikátor celkové nejistoty použita hodnota uvedená v Charles et al. (1998), kde pro metan ze spalovacích zdrojů je stanovena na 50 %. Pro stanovení nejistoty oxidu dusného Rakousko používá hodnoty stanovené z modelace v systému Gemis, v kterém ale byl pro modelaci použit pouze jeden zdroj (Radunsky et al. 2019).

Fugitivní emise v Rakousku podobně jako v ČR pocházejí především ze zpracování a nakládání se zemním plynem. Odhad nejistoty pro metan ze zemního plynu byl vypočten z kombinace odhadovaných dílčích nejistot jednotlivých kroků. Délka plynovodu je zajišťována Rakouskou plynárenskou asociací, která tyto údaje shromažďuje přímo od provozovatelů. Z toho důvodu se nejistota považuje za velmi nízkou 5 %. Stanovení národně specifického EF se považuje za velice přesné pro rok, ve kterém byl tento faktor stanoven, pro další roky lze předpokládat odchylku, a tak je nejistota vyšší, a to 10 %. Pro skladování jsou velmi dobře dostupné informace, podobně jako o vtláčení i těžbě, proto je nejistota považována za nízkou 5 %. Délka distribučního potrubí je opět získávána od operátorů a nejistota je určena na 4 % (Radunsky et al. 2019).

2.2 Polsko

Polsko při sestavování výpočetního modelu vycházelo z přiřazení nejistot ke každému údaji o AD a EF. Následně bylo odhadnuto šíření chyb a jejich dopad na celkové emise. Za základní úroveň bylo zvoleno hrubé rozdělení v sektorech podle jednotlivých kategorií (sektor 1. Energy: 1.A.1, 1.A.2, 1.A.3, 1.A.4 a 1.A.5) s rozdělením podle druhu paliva (kapalná, plynná, pevná, biomasa atd.). Polsko považuje hodnoty vykazované do sektoru 1.A.1 Energetika jako nejpřesnější v porovnání s ostatními kategoriemi. Tento předpoklad vychází z toho, že 90 % emisí skleníkových plynů pochází právě z energetického sektoru. Navíc data pro tento sektor prochází detailní národní statistikou, která zaručuje udržení nejistoty na nízké úrovni. Polsko stanovilo nejistotu AD pro 1.A.1 rovnou 2 % (Olecka et al. 2019).

Pro emise oxidu uhličitého nejpřesněji vychází stanovení nejistoty pro kategorii 1.A spalování paliv. V této kategorii se nejistota pohybuje mezi 1–2 %. Pro kategorie spadající do sektoru 1.A.2 Zpracovatelský průmysl a stavebnictví jsou již nejistoty vyšší. Nejistoty emisních faktorů pro CH₄ a N₂O jsou vyšší než pro CO₂, což vychází z předpokladu, že obsah uhlíku v palivu je do značné míry úměrný tepelnému obsahu paliva a jeho stanovení je přesnější. Spalování odpadů dosahuje poněkud vyšší míry nejistoty a pro EF CO₂ byla stanovena na 33,5 %, CH₄ na 101,1 % a pro N₂O na 150,7 %. Stanovení nejistot EF pro metan byly nejvyšší přiřazeny právě spalování a likvidaci odpadů a dále pro fugitivní emise z paliv (50 %). Pro stanovení nejistoty EF N₂O se energetický sektor opět pohyboval na nejpřesnějším odhadu. Pro toto vyhodnocení byla použita data z polské části ze systému EU pro obchodování s emisemi (Olecka et al. 2019).

Nejistoty stanovené pro fugitivní emise pocházející ze zpracování ropy a zemního plynu jsou relativně nízké – pro AD jsou stanoveny na 2 %, pro EF CO₂ je nejistota určena na 6,6 %, ale pro CH₄ už 50 %. Pro kategorii Venting (vypouštění zemního plynu do volné atmosféry) a flaring (spalování zemního plynu na fléře) je nejistota pro AD vyšší a to 5 %. Pro EF jsou nejistoty stejné jako pro kategorii 1.A.2 Zpracovatelský průmysl a stavebnictví (Olecka et al. 2019).

3. Metodika stanovení nejistot aktivních dat a emisních faktorů

3.1 Nejistoty aktivních dat

Šetření, jakými nejistotami jsou zatížena data o dodávkách a spotřebě paliv, bylo provedeno pomocí online dat poskytovaných Ministerstvem průmyslu a obchodu (MPO – Odbor strategie a mezinárodní spolupráce v energetice – Oddělení analýz a datové podpory koncepcí). Data z MPO jsou nahrávána do mezinárodní databáze EUROSTAT, v níž žádné nejistoty nefigurují. Z toho je patrné, že stanovení nejistot se pro statistická zjišťování nevyužívá. Předpokládá se, že výkazy spotřeby vyplněné jednotlivými respondenty jsou úplně a správně vyplněné a přesnost jednotlivých hodnot se neposuzuje. Základní statistickou jednotku (tj. jeden respondent) tvoří podniky s vyšším počtem zaměstnanců než 20. U podniků nedosahujících této hranice se spotřeby dopočítávají. Neprobíhá zde vyplňování výkazů. Spotřební část (tj. množství spáleného paliva) je porovnávána se zdrojovou částí energetické bilance (tj. produkce, dovoz, vývoz, změna zásob), a pokud vzniknou rozdíly, přičítají se statistickým odchylkám nebo distribučním ztrátám. Není tedy posuzováno, jak přesné hodnoty o spotřebě jednotlivých druhů paliv má daný respondent k dispozici.

Vykazování jednotlivých respondentů se bude lišit v závislosti na druhu paliva a na kapacitě spalovacího zařízení (na ročním množství spáleného paliva). Záleží tedy spíše na tom, jakým způsobem jednotliví respondenti vykazují spotřebu paliva. Vzhledem k tomu, že převážná většina spalovacích zařízení musí nakupovat paliva od externích dodavatelů, je pravděpodobné, že základním podkladem pro zjišťování množství spotřebovaného paliva, je jeho fakturace. Pokud je palivo dodáváno v tuhém stavu, je zřejmě rozhodující chyba měření použitých vah pro stanovení množství dodaného paliva. Chyba vážení bývá velmi nízká a při správném postupu by měla být nižší než 1 % (Tenzona 2020). Podobnou chybu měření mají i objemová měřidla na kapalná paliva a plynoměry (Mikan 2003).

Nejnižší nejistoty (nejvyšší míru přesnosti) lze očekávat při stanovení aktivních dat v sektoru 1.A.1 Energetický průmysl, což je dáno dvěma faktory. Spotřeba paliv je základní surovinou a přesnost stanovení spotřeby má zásadní ekonomický význam. Druhým faktorem je skutečnost, že prakticky všechny provozovny v tomto sektoru jsou současně statistickými jednotkami, což znamená, že celá spotřeba paliv v tomto sektoru je předmětem výkazů statistického šetření a žádná spotřeba se nedopočítává. Navíc se jedná téměř výhradně o provozovny, které jsou začleněny do systému umožňující obchodování s povolenkami CO₂ (EU ETS), u kterých je požadována ta nejvyšší míra přesnosti. Nižší míru přesnosti lze očekávat v oblasti 1.A.2 Zpracovatelský průmysl a stavebnictví. Jedná se o velký počet malých provozoven, z nichž jen určitý počet jsou statistické jednotky. Zde se budou lišit přesnosti v celé šíři provozoven i subsektorů. Např. v subsektoru 1.A.2.a Výroba surového železa a oceli jsou pouze 2 podniky a oba jsou statistickými jednotkami, podobně 1.A.2.b Průmysl neželezných kovů obsahuje omezený počet podniků (provozoven) a všechny jsou podchyceny ČSÚ. Na druhé straně je zde řada podniků, které podchyceny nejsou a o jejich spotřebě neexistují žádné informace. Otázka je, o jak velké podíly paliv z celkového objemu jde. Obecně lze konstatovat, že nejistoty zde budou vyšší než v 1.A.1.

Nevyšší nejistoty lze oprávněně očekávat v sektoru 1.A.4 – Instituce, domácnosti a zemědělství. Jedná se o různorodou

skupinu zdrojů, které jsou rozptýlené po celé ČR, a jejich energetické jednotky jsou relativně malé. Nejvyšší nejistoty vyplývají ze skutečnosti, že sběr údajů o spotřebě je zatížen řadou omezení, odhadů, dopočtů na jedné straně a na druhé straně i relativně nízkou přesností měření vlastního množství spotřebovaných paliv.

U fugitivních emisí tvoří aktivní údaje těžba paliv (zde lze očekávat poměrně vysoké nejistoty), dovozy a vývozy (poměrně nízké nejistoty) a změna zásob (střední nejistoty). Za poměrně vysoké nejistoty při těžbách paliv odpovídají použité měřicí prostředky (pro velká množství – miliony tun mají relativně nízkou přesnost) i celkově obtížné provozní podmínky. Naopak dovozy a vývozy energetických surovin jsou citlivými ekonomickými údaji, a lze tak předpokládat nízké nejistoty. Subkategorie Venting a flaring je v ČR dosti hypotetická. Získání potřebných aktivních údajů, tedy množství plynu spáleného při těžbě na pochodních, nebo přímo vypuštěného do ovzduší je v ČR velice obtížné, ne-li přímo nemožné. Vzhledem k objemům tuzemské těžby ropy i zemního plynu je prakticky nemyšlitelné, že by se, byť malá, část plynu nechala na ložiscích řízeně vypouštět do atmosféry nebo spalovat na flérách. Z toho důvodu byly nejistoty v této oblasti vyhodnoceny jako velice vysoké.

Vzhledem k výše popsané variabilitě by nejistoty měly být stanoveny pro každý druh paliva – např. černé uhlí; pro daný skleníkový plyn, který z paliva vznikne – např. CO₂; a to v dané kategorii např. elektrárny. Tedy nejistota aktivních dat pro elektrárny-černé uhlí-CO₂, elektrárny-černé uhlí-CH₄, elektrárny-černé uhlí-N₂O, elektrárny-hnědé uhlí-CO₂ apod. Jak bylo zmíněno výše, takto je nutné vyčíslit nejistoty jak aktivních dat, tak emisních faktorů. I když předepsaná metodika vyžaduje stanovení nejistot na hrubší úrovni (elektrárny-pevná paliva-CO₂ apod.), domníváme se, že stanovení nejistot na jemnějším měřítku a následně zprůměrování váženým průměrem (váhou by měla být spotřeba paliva v dané kategorii) povede k relevantnějším výsledkům. Podobný přístup je používán v inventarizaci Rakouska.

3.2 Nejistoty emisního faktoru pro plyn CO₂

Česká republika používá pro paliva, která jsou využívána nejmasivněji tzv. národně specifické emisní faktory (černé, hnědé a koksovateľné uhlí, zemní plyn, LPG, rafinérský plyn a energoplyn). Emise CO₂ při spalování všech ostatních paliv jsou vypočítávány pomocí defaultních emisních faktorů. Mezi nejvýznamnější paliva, pro která se používají defaultní emisní faktory, patří koks a topné oleje. Ostatní paliva nemají na stacionárních spalovacích zdrojích bilanční význam (ČHMÚ 2020).

Je možno konstatovat, že emisní faktory do značné míry závisí na složení paliva – tedy v našem případě hlavně na obsahu uhlíku v palivu. Druhým důležitým faktorem je výhřevnost paliva. Oba faktory lze stanovit na základě laboratorních zkoušek. Kvalita následně vypracovaných postupů pro výpočet specifických emisních faktorů odpovídá míře nejistot při laboratorním stanovení výhřevností a laboratorních rozborů paliv.

Ani použití defaultních emisních faktorů pro výpočet emisí CO₂ nemusí být nutně zatíženo velkými chybami. Vzhledem k tomu, že koks a topné oleje (prakticky jediná zbývající významná paliva, ke kterým ještě nedisponujeme národně specifickými emisními faktory) mají velice stabilní složení (obsah uhlíku), a to bez ohledu na národní specifika. Dá se říci, že tato paliva mají stejné složení na celém světě. Pokud tedy byly zodpovědně stanoveny defaultní emisní faktory, pak jsou zřejmě značně spolehlivé. Je tedy možno očekávat, že míra nejistot bude sice o něco nižší než u CS EF, ale nikoliv podstatně.

3.3 Nejistoty emisních faktorů pro plyny CH₄ a N₂O

Popis výpočtu emisí CH₄ a N₂O bylo nutno oddělit od popisu výpočtu CO₂, protože použité emisní faktory a jejich nejistoty závisí jak na skupenství fosilních paliv, tak na sektoru, ve kterém jsou spalována. Metodika IPCC obsahuje seznam defaultních faktorů pro CH₄ a N₂O, které jsou diferencovány podle jednotlivých oblastí (sektorů). Podle dílčích výsledků, které se podařilo doposud shromáždit, se zatím nepotvrzuje, že by se emise CH₄ na malých a velkých spalovacích zařízeních tak významně lišily (Ciahotný 2019).

Emisní faktory pro N₂O se neliší pro různé sektory a subsektory a zjednodušeně lze konstatovat, že závisí pouze na skupenství paliva. O mechanismu vzniku N₂O je zatím známo málo, teorie hovoří o závislosti na obsahu tzv. palivového dusíku, který je oxidován na N₂O. Přitom se uvádí, že vyšší teplota spalování brání vzniku N₂O (Ciahotný 2019; Mingxin 2019).

O tvorbě CH₄ a N₂O se všeobecně zatím mnoho neví, a proto je nutno počítat v této oblasti s poměrně vysokými nejistotami, které dosahují desítek až stovek procent.

3.4 Postup stanovení

Na základě výše popsaných skutečností byly stanoveny tři nezávislé sestavy nejistot napříč všemi kategoriemi (tzv. expertní dohad). Nejistoty při stanovení aktivitních dat byly odhadnuty pro každý subsektor zvlášť pro tuhá, kapalná a plynná paliva, pro biomasu i pro ostatní paliva (other fuels). Podobně byla připravena sestava pro stanovení nejistot při výpočtu emisí CO₂. Poslední sestava obsahovala vyjádření k nejistotám CH₄ a N₂O. Pro jednotlivé nejistoty aktivitních dat a emisí CO₂ byl vypočten vážený průměr (vahou bylo množství vyprodukovaných emisí v kilotunách), naopak nejistoty CH₄ a N₂O vychází pouze z defaultních hodnot, a nebylo tedy nutné stanovovat vážený průměr.

V kategorii fugitivní emise byly po diskusi použity nejvyšší navržené hodnoty nejistot. Ukázka expertních odhadů (Expert 1–3) a výpočet finální nejistoty pomocí váženého průměru je v tab. 1. Zobrazena je kategorie 1.A.1 Energetický průmysl, do

které spadá většina vyprodukovaných emisí a je hodnocena jako klíčová kategorie (obr.1, ČHMÚ 2020).

4. Výpočet celkových nejistot metodou šíření chyb

Výpočet nejistoty v emisích by měl být odvozován z nejistot v aktivitních údajích, emisním faktoru a dalších parametrech odhadu prostřednictvím rovnice šíření chyb (Mandel 1984; Bevington, Robinson 1992). Rovnice šíření chyb poskytuje dvě pravidla pro kombinaci nekorelovaných nejistot při sčítání a násobení.

Pokud mají být nejistoty vypočteny násobením, bude standardní odchylkou součtu druhá odmocnina součtu čtverců směrodatných odchylek přidaných množství, přičemž standardní odchylky jsou vyjádřeny jako variační koeficienty, které představují poměry směrodatných odchylek k příslušným středním hodnotám. Toto pravidlo platí pro všechny náhodné proměnné. Pro nejistotu produktu lze poté odvodit jednoduchou rovnici (1) vyjádřenou v procentech:

Přístup 1 – násobení – kombinace nejistot

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad (1)$$

kde

U_{total} nejistota [v %] v celkovém množství (polovina 95 % intervalu spolehlivosti dělená součtem a vyjádřená jako procento);

U_i nejistoty [v %] spojené s každým dílčím množstvím (v dílčích segmentech).

Pokud mají být nejistoty vypočteny sčítáním nebo odečtením, bude standardní odchylka součtu druhou odmocninou součtu čtverců směrodatných odchylek množství, která se sčítají se směrodatnými odchylkami vyjádřenými absolutně (toto pravidlo platí dosti přesně pro nekorelované proměnné).

Pomocí této interpretace lze pro nejistotu součtu odvodit jednoduchou rovnici (2) vyjádřenou v procentech:

Tab. 1 Sestava pro stanovení nejistot emisních faktorů (EF) pro CO₂ v sektoru 1.A.1 Energy industry.

Table 1. Structure for uncertainty determination of CO₂ emission factors (EF) in sector 1.A.1 Energy industry.

Kategorie	Palivo	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Základní nejistota EF	Množství emisí [kt]	Finální nejistota EF
1.A.1 – pevná paliva							1,78
	paliva s CS EF	2	1	2	1,7	49 985,52	
	paliva s default EF	4	5	3	4,0	2 050,66	
	odvozené plyny	4	2	4	3,3	802,23	
1.A.1 – kapalná paliva							2,99
	rafinérský plyn (CS EF)	2	1	2	1,7	354,87	
	LPG (CS EF)	2	1	2	1,7	360,07	
	topné oleje (defaultní EF)	4	2	3	3,0	224,22	
	ostatní (lubri-bit-wax-CxHy)	4	3	4	3,7	1 399,07	
1.A.1 – plynná paliva							1,20
	zemní plyn	1,5	0,1	2	1,2	15 461,00	
1.A.1 – ostatní fosilní paliva							16,22
	odpady v 1.A.1.a	20	15	8	14,3	248,17	
	ostatní paliva v 1.A.1	20	12,5	20	17,5	365,87	

Autor: A. Veselá

Přístup 1 – sčítání a odčítání – kombinace nejistot

$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \cdot x_1)^2 + (U_2 \cdot x_2)^2 + \dots + (U_n \cdot x_n)^2}}{|x_1 + x_2 + \dots + x_n|} \quad (2)$$

kde

U_{total} nejistota [v %] v součtu množství (polovina 95 % intervalu spolehlivosti dělená součtem – tj. průměr, a vyjádřená jako procento). Tato nejistota je tedy založena na 95 % intervalu spolehlivosti;

$x_i U_i$ jednotlivé veličiny a procentuální nejistoty s nimi spojené.

Tab. 2 Nejistoty aktivitních dat, emisních faktorů a výpočet šíření chyby v trendu v celkových emisích v sektoru 1.A.1. Energetický průmysl.

Table 2. Uncertainties of activity data, emission factors and calculation of error propagation in the trend in total emissions in sector 1.A.1. Energy industry.

Vstupní data						Nejistoty emisí	
	Plyn	A Emise výchozího roku (1990)	B Emise roku (2018)	C Nejistoty AD	D Nejistoty EF	E Kombinovaná nejistota	F Podíl komb nejistot
Jednotky		Gg CO ₂ ekvivalent	Gg CO ₂ ekvivalent	%	%	%	tuny
Výpočet		Vstupní data	Vstupní data	Vstupní data	Vstupní data	$\sqrt{C^2 + D^2}$	$\frac{E}{100} \times B$
1.A.1 Pevná paliva	CO ₂	53719,76	45729,06	2,76	1,78	3,29	1503,84
1.A.1 Pevná paliva	CH ₄	14,03	11,74	2,76	60,00	60,06	7,05
1.A.1 Pevná paliva	N ₂ O	239,87	197,98	2,76	73,35	73,40	145,32
1.A.1 Kapalná paliva	CO ₂	1514,04	425,73	1,81	2,99	3,50	14,89
1.A.1 Kapalná paliva	CH ₄	1,42	0,22	1,81	55,00	55,03	0,12
1.A.1 Kapalná paliva	N ₂ O	3,31	0,31	1,81	70,00	70,02	0,22
1.A.1 Plynná paliva	CO ₂	1336,03	2836,52	1,83	1,20	1,90	53,91
1.A.1 Plynná paliva	CH ₄	0,61	1,28	1,83	41,67	41,71	0,53
1.A.1 Plynná paliva	N ₂ O	0,73	1,52	1,83	53,33	53,36	0,81
1.A.1 Biomasa	CH ₄	0,30	14,60	6,33	70,00	70,29	10,26
1.A.1 Biomasa	N ₂ O	0,48	23,19	6,33	106,70	106,89	24,78
1.A.1 Ostatní fosilní paliva	CO ₂	24,04	248,17	7,70	16,22	17,96	44,56
1.A.1 Ostatní fosilní paliva	CH ₄	0,20	2,03	7,70	70,00	70,42	1,43
1.A.1 Ostatní fosilní paliva	N ₂ O	0,31	3,23	7,70	106,70	106,98	3,45

		Nejistoty emisí					
	Plyn	G Komb nejistoty jako % z celkových emisí v daném roce	H Citlivost A	I Citlivost B	J Nejistoty v trendu emisí se zavedenou nejist EF	K Nejistoty v trendu emisí se zavedenou nejist AD	L Nejistoty zavedené v trendu národních emisí
Jednotky		tuny	%	%	%	%	%
Výpočet		$\frac{F \times 100}{\sum B}$	*	$\frac{B}{\sum A}$	$D \times H$	$C \times J \times \sqrt{2}$	$\sqrt{M^2 + N^2}$
1.A.1 Pevná paliva	CO ₂	1,1303	0,0436	0,2390	0,0778	0,9342	0,9374
1.A.1 Pevná paliva	CH ₄	0,0053	0,0000	0,0001	0,0006	0,0002	0,0007
1.A.1 Pevná paliva	N ₂ O	0,1092	0,0002	0,0010	0,0119	0,0040	0,0126
1.A.1 Kapalná paliva	CO ₂	0,0112	-0,0033	0,0022	-0,0098	0,0057	0,0113
1.A.1 Kapalná paliva	CH ₄	0,0001	0,0000	0,0000	-0,0002	0,0000	0,0002
1.A.1 Kapalná paliva	N ₂ O	0,0002	0,0000	0,0000	-0,0007	0,0000	0,0007
1.A.1 Plynná paliva	CO ₂	0,0405	0,0100	0,0148	0,0050	0,0384	0,0388
1.A.1 Plynná paliva	CH ₄	0,0004	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002
1.A.1 Plynná paliva	N ₂ O	0,0006	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003
1.A.1 Biomasa	CH ₄	0,0077	0,0001	0,0001	0,0053	0,0007	0,0053
1.A.1 Biomasa	N ₂ O	0,0186	0,0001	0,0001	0,0127	0,0011	0,0128
1.A.1 Ostatní fosilní paliva	CO ₂	0,0335	0,0012	0,0013	0,0196	0,0141	0,0242
1.A.1 Ostatní fosilní paliva	CH ₄	0,0011	0,0000	0,0000	0,0007	0,0001	0,0007
1.A.1 Ostatní fosilní paliva	N ₂ O	0,0026	0,0000	0,0000	0,0017	0,0002	0,0017

$$\frac{* 0.01 \times B + \sum B - (0.01 \times A + \sum A)}{(0.01 \times A + \sum A)} \times 100 - \frac{\sum B - \sum A}{\sum A} \times 100$$

Autor: A. Veselá

Inventarizace skleníkových plynů v sektoru Energetiky – stacionární spalování je v zásadě součtem výsledků (součinů) emisních faktorů a aktivitních údajů, příp. dalších odhadovaných parametrů. Proto lze rovnice (1) a (2) opakovaně použít k odhadu nejistot celkové inventarizace emisí v sektoru Energetiky – stacionární spalování. V praxi se nejistoty zjištěné v jednotlivých kategoriích liší od několika procent po řády a mohou být korelovány. To není v souladu s předpoklady rovnic (1) a (2), že proměnné nejsou korelovány, a s předpokladem rovnice (2), že variační koeficient je menší než cca 30 %. Za těchto okolností mohou být rovnice (1) a (2) stále použity pro získání alespoň přibližného výsledku.

Nejistoty trendu se odhadují pomocí dvou citlivostí. *Citlivost typu A*: změna rozdílu v celkových emisích mezi základním a aktuálním rokem vyjádřená v procentech, vychází od 1% nárůstu emisí dané kategorie a druhu skleníkového plynu v základním i v aktuálním roce (viz. rovnice v tab. 2). *Citlivost typu B*: změna rozdílu v celkových emisích mezi základním rokem a aktuálním rokem vyjádřená v procentech, vychází od 1% nárůstu emisí dané kategorie a druhu skleníkového plynu pouze v aktuálním roce (viz. rovnice v tab. 2).

Citlivost typu A a typu B jsou pouze přechodné proměnné, které zjednodušují postup výpočtu. Výsledky analýzy nejsou omezeny na změnu pouze o jedno procento, ale naopak závisejí na rozsahu nejistoty pro každou kategorii.

Citlivost typu A vychází z nejistot, které ovlivňují emise v základním roce i v aktuálním roce stejně, a citlivost typu B vzniká z nejistot, které ovlivňují emise v aktuálním roce. Nejistoty, které jsou plně korelovány mezi lety, budou spojeny s citlivostí typu A a nejistoty, které nesouvisí mezi roky, budou spojeny s citlivostí typu B. Nejistoty emisního faktoru (a dalších parametrů odhadu) budou mít tendenci mít citlivost typu A a nejistoty aktivitních údajů budou mít tendenci typu B. Tento předpoklad však nebude platit vždy a je možné použít citlivost typu A na aktivitní údaje a citlivost typu B pro emisní faktory vyjadřující konkrétní národní skutečnosti. Citlivosti typu A a B jsou zjednodušené zavedené pro přibližnou analýzu korelace.

Jakmile jsou vypočtené nejistoty zavedené do národní inventarizace podle citlivosti typu A a typu B, lze stanovit pomocí rovnice šíření chyb (1), celkovou nejistotu v trendu. Celková nejistota v trendu je vypočítávána pomocí výpočetního souboru, jehož ukázka je v tab. 2. Tabulka je vyplněna na úrovni kategorií pomocí rozpětí nejistot pro údaje o činnostech a emisních faktorech v souladu s pokyny pro osvědčené postupy v jednotlivých odvětvích. Různé plyny jsou zadávány samostatně jako ekvivalenty CO₂ v gigagramech (Gg).

Jako příklad (tab. 2) je uvedena část tabulky, zobrazující nejistoty aktivitních dat, emisních faktorů a výpočtu šíření chyby v trendu v kategorii 1.A.1. Energetický průmysl. Zobrazena je kategorie 1.A.1 Energetický průmysl, do které spadá většina vyprodukovaných emisí a která je hodnocena jako klíčová kategorie (obr. 1, ČHMÚ 2020).

5. Shrnutí

Na základě rešerše dostupné literatury a konzultací provedených na příslušných orgánech byl vyvinut uživatelsky přívětivý výpočetní model, který slouží ke stanovení nejistot aktivitních dat, emisních faktorů a výpočtu šíření chyb v celkových emisích v sektoru Energetika. Pro jednotlivé sestavy byly hodnoceny emise ze spalovacích zdrojů i fugitivní emise. Ze spalo-

vacích zdrojů je hlavním zdrojem CO₂, a naopak ve skupině fugitivních emisí má majoritní podíl CH₄, následovaný CO₂. N₂O má minoritní podíl, nebo o jeho výskytu nejsou žádné relevantní informace. Na základě těchto informací byly přiřazovány jednotlivé nejistoty. Vyvinutý model bude v následujících letech používán v rámci národní inventarizace skleníkových plynů IPCC a nahradí doposud používaná, ale už nepřesná a zastaralá data. Vyvinutý model zároveň přinese nižší hodnoty nejistot do inventarizace skleníkových plynů, což je jedním z žádoucích efektů.

Poděkování:

Tato publikace byla připravena za podpory projektu (TK02010056 Rozvoj metodik pro reporting emisí a propadů skleníkových plynů a jejich projekcí, včetně projekcí emisí tradičních polutantů), který je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu THETA. (<https://www.tacr.cz/>)

Literatura:

- CIAHOTNÝ, K., HLINČÍK, T., BARTOŠOVÁ, C., CIML, Z., 2019. Stanovení specifických emisních faktorů pro skleníkové plyny v podmínkách ČR. Zpráva za rok 2019, Praha: VŠCHT.
- ČHMÚ, 2020. National Inventory Report [online]. Český hydrometeorologický ústav [cit. 14. 8. 2020]. ISBN 978-80-7653-001-0. Dostupné z WWW: <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2020>.
- ČSÚ, 2020. Roční finanční ukazatele v odvětví obchodu, pohostinství, ubytování – Metodika [online]. Český statistický úřad [cit. 14. 8. 2020]. Dostupné z WWW: https://www.czso.cz/csu/czso/obchod_pohostinstvi_ubytovani_metodika_rocni_financni_ukazatele.
- 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.
- CHARLES, D., JONES, B. M. R., SALWAY, A. G., EKTLESTON, H. S., MILNE, R., 1998. Treatment of uncertainties for national estimates of greenhouse gas emissions. AEAT-2688-1, AEA Technology, Culham, UK.
- IPCC, 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. ISBN 4-88788-000-6.
- IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. ISBN 4-88788-032-4.
- MIKAN, J., 2003 Měření plynu. Říčany u Prahy: GAS s. r. o. ISBN 807328-053-1.
- MINGXIN, X., SHIYUAN, L., 2019. Experimental study on N₂O emission in O₂/CO₂ combustion with high oxygen concentration in circulating fluidized bed. *Journal of the Energy Institute*, Vol. 92 s.128–135. ISSN 1743-9671.
- OLECKA, A. et al., 2019. Poland's National Inventory Report 2019. Warsaw, Poland.
- RADUNSKY, K. et al., 2019. Austria's National Inventory Report 2019. Vienna, Austria.
- IPCC, 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. [online]. [cit. 14. 8. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>.
- TENZONA, 2020. Průmyslové váhy [online]. [cit. 14. 8. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.tenzona.cz/jerabove-vahy/>.

Lektoři (Reviewers):

Ing. Martin Beck, Ing. Kateřina Beláková

Ověření vybraných indexů stability pro předpovědi bouřek

Evaluation of selected stability indices for thunderstorm forecasts

David Rýva

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

Martin Motl

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

This article is devoted to verification of some historical and present stability indices used for thunderstorm forecasting based on upper air sounding data. Two original Czech methods which should have improved thunderstorm forecasts during 60th and 70th of the last century have also been tested. The first one is an extended version of the Faust's method, and we have focused on usability and possible modification of this method with the use of our data set. The second method is more complex forecasting method developed in former Czechoslovakia especially for use in aviation meteorology. We have found that some parts and indices used in this method are very usable for thunderstorm forecasts. Also, the modern indices have fulfilled our expectations to be among the best thunderstorm predictors.

KLÍČOVÁ SLOVA: sondáž – aerologie – indexy stability – bouřky – předpověď

KEYWORDS: upper air sounding – aerology – stability indices – thunderstorm – forecast

1. Úvod

Už v meziválečném období bylo zřejmé, že aerologická měření jsou klíčovým nástrojem posouzení podmínek ke vzniku hluboké konvekce a s ní spojených bouřek. Základní fyzikální podmínky nutné pro vznik konvekce byly již tehdy známy poměrně dobře a i tehdy byla dobře popsána veličina dostupné potenciální energie instability (např. Chromov 1937), označovaná dnes zkratkou CAPE (z angl. Convective Available Potential Energy), jež je v současné době jedním z nejsledovanějších parametrů při sestavování předpovědí bouřek. V té době ještě nebyly k dispozici ani první elektronické počítače, a protože vyčíslení CAPE vyžaduje numerickou integraci velkého množství naměřených hodnot, bylo by takové počítání zdoluhavé anebo velmi nepřesné. Druhou možností bylo ruční zakreslování naměřených hodnot teploty a vlhkosti do aerologického diagramu, kde ona energie vynikne jako plocha mezi nasycenou adiabátou a křivkou teploty. To je však při nutnosti zpra-

cování několika sondážních měření z okolí zájmové oblasti rovněž práce na desítky minut až hodiny.

Od poloviny 20. století tak postupně vznikalo množství jednoduchých *indexů stability*, jež umožnily výrazné zrychlení předpovědi bouřek. Bylo to ale za cenu přijetí mnoha značně zjednodušujících předpokladů a omezení. Mnohé indexy vycházejí z částicové teorie konvekce a liší se jen počáteční hladinou, odkud začíná adiabatický výstup částice do hladiny 500 hPa (Lifted index, Showalterův index aj.). Další skupinou jsou indexy zohledňující skutečnost, že reálné poměry v konvektivním oblaku jsou složitější a snaží se tedy brát v potaz různé odchylky od adiabatického procesu. Jedním z takových indexů byl u nás kdysi hojně využívaný Faustův index (např. Strachota 1966), který počítal s vtahováním okolního nenasyceného vzduchu do updraftu a částečným vypařováním oblačných částic do tohoto prostředí. Velmi zajímavou alternativou pak byla ryze česká čtyřvrstvá metoda vyvinutá a propagovaná leteckým meteorologem Jiřím Förchtgottem v průběhu 60. a 70. let minulého století. Využití přechodně našla zejména v letecké meteorologii.

Od 90. let minulého století, kdy se u nás výrazně rozšířila výpočetní technika, není výpočet CAPE z naměřených sondážních dat žádným větším problémem. Tato veličina tak začala v mnoha zpracováních nahrazovat zjednodušené staré indexy stability a začalo se spíše řešit, jakou modifikaci CAPE (s ohledem na počáteční podmínky výstupu částice) je nejvhodnější použít a jak zohlednit i další faktory jako vertikální profil rychlosti a směru větru (např. Sulan et al. 2004).

Jelikož jsme na pracovišti ODMI ČHMÚ v Praze-Libuši v roce 2018 vytvořili nový software umožňující operativně nejen vykreslování naměřených dat do různých typů aerologických diagramů, ale i výpočet mnoha indexů stability a leckterých dalších veličin, rozhodli jsme se upravenou verzí tohoto softwaru využít pro ověření použitelnosti různých indexů a veličin pro předpovědi bouřek. Tato studie je součástí výzkumného programu Dlouhodobé koncepce rozvoje výzkumné organizace (DKRVO), na jehož řešení se podílí i naše pracoviště. V této první, zatím jednodušší, práci jsme se zaměřili jen na několik vybraných skupin indexů od historických po moderní. Pro určení, zda došlo k výskytu bouřek a na jakém procentu sledovaného území, jsme využili 13letou řadu dat detekce blesků sítě CELDN, která má ČHMÚ k dispozici z období 2004–2016.

2. Zahrnuté indexy

Ve vyhodnocení jsme se zaměřili na indexy a veličiny rozdělitelné do 4 skupin a počítané pro sondážní data ze stanic v ČR, tedy z Prahy-Libuše a Prostějova.

- a) První skupinou jsou dva jednoduché indexy založené na vertikálním teplotním gradientu a relativní vlhkosti středních hladin troposféry, a to klasický Whitingův (někdy též Georgeův) *K index*:

$$K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d_{850}} - (T_{700} - T_{d_{700}}), \quad (1)$$

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

a *Total Totals index*:

$$TT = (T_{850} - T_{500}) + (T_{d_{850}} - T_{500}). \quad (2)$$

- b) Druhá skupina je tvořena *Faustovým indexem*:

$$FI = T_f - T_{500}, \quad (3)$$

kde T_f je teplota, jež se odečetla původně z tabulky, ale jde o teplotu dosaženou adiabatickým výstupem částice z hladiny 850 hPa do hladiny 500 hPa s tou modifikací, že jako počáteční deficit rosného bodu není použit deficit v 850 hPa, ale průměrný deficit v hladinách 850, 700 a 500 hPa

a *dvěma pomocnými indexy*, které byly v minulosti přidány ve snaze o zpřesnění Faustovy metody předpovědi (Táborský 1970):

$$T_1 = (T_{d_{850}} - T_{d_{700}}) + (T_{500} - T_{d_{500}}) \quad (4)$$

$$T_2 = (T_{850} - T_{500}) + T_{d_{850}}. \quad (5)$$

- c) Třetí skupinu indexů tvoří ty, jež jsou založeny na využití adiabatického výstupu vzduchové částice. Jsou zde zahrnuty *Showalterův index*:

$$SI = T_{500} - T_{850 \rightarrow 500}, \quad (6)$$

kde $T_{850 \rightarrow 500}$ je teplota vzduchové částice, která adiabaticky vystoupala z hladiny 850 hPa do 500 hPa,

Most Unstable (dále jen MU) *Lifted index*:

$$MULI = T_{500} - T_{EPT_{MAX \rightarrow 500}}, \quad (7)$$

kde $T_{EPT_{MAX \rightarrow 500}}$ je teplota vzduchové částice adiabaticky vystoupané z hladiny EPT_{MAX} (hladina s maximální ekvivalentní potenciální teplotou ve spodních 300 hPa od povrchu do 500 hPa),

Deep Convective Index (Barlow 1993):

$$DCI = T_{850} + T_{d_{850}} - SB LI, \quad (8)$$

kde *SB* (surface based) *LI* je lifted index počítaný pro výstup vzduchové částice z přízemní hladiny

a *MU CAPE*:

$$CAPE = g \int_{HVK}^{HNV} \frac{T - T_e}{T_e} dz, \quad (9)$$

kde T je teplota vzduchové částice stoupající z hladiny EPT_{MAX} a T_e je teplota okolí částice vždy v dané hladině, *HVK* je hladina volné konvekce a *HNV* představuje hladinu nulového vztlačku. Teploty v tomto vzorci jsou, na rozdíl od ostatních, zadávány v kelvinech.

- d) Poslední skupinou je hlavně historická zajímavost, a to indexy a veličiny spojené s výše zmíněnou *čtyřvrstvou metodou* (např. Förichtgott 1971). Ty v sobě zahrnují jak stabili-

tu troposféry ve více hladinách, tak vliv vlhkosti středních hladin, ale i deficit konvektivní teploty při povrchu. V prvním kroku jsme chtěli zjistit, jestli jsou některé z postupů a veličin použitých autorem této metody lepší než jiné, a tedy jestli má cenu se jimi dále zabývat v plánovaném rozsáhlejším vyhodnocení většího množství indexů.

Zpracování sondážních měření touto metodou je však složitější než u jednoduchých indexů typu Lifted indexu, Showalterova indexu apod., a proto autor pro jeho realizaci v době před příchodem osobních počítačů vytvořil vlastní speciální typ logaritmického pravítka. Nejprve se z teploty v hladině 850 hPa a teploty rosného bodu u povrchu vypočte tzv. *opravená teplota* (Förichtgott 1975) v hladině 850 hPa, z té je následně počítán nasyceně adiabatický výstup postupně do hladin 700, 500, 400 a 300 hPa. Rozdílem takto vypočtených 4 teplot a teploty okolního vzduchu v těchto hladinách dostane 4 hodnoty indexů i_1, i_2, i_3 a i_4 . Pomocí rozhodovací tabulky (Förichtgott 1971) s prahovými hodnotami těchto indexů je pak přiřazen výsledný index N v rozmezí 0 až 9, který indikuje maximální očekávanou intenzitu konvekce, popř. i sílu bouřek, kdy 0 značí situaci bez přeháněk a 9 velmi silné bouřky. Další pomocné indexy sloužily k výpočtu četnosti konvekce. K tomuto účelu ovšem autor vytvořil postupně několik verzí zpracování ve snaze o co největší zlepšení předpovědi. Těmito postupy se ale v tomto článku zabývat nebudeme.

3. Data a metody vyhodnocení

Výše popsané indexy jsme napočítali pro celé období teplých půlroků (duben–září) let 2004 až 2016 zvlášť pro Prahu-Libuš i pro Prostějov. Jako vstupní data jsme použili ASCII soubory s plným počtem měřených hladin od povrchu po hladinu, kde došlo k prasknutí balónu, reálně jsme ale využili data pouze do hladiny 100 hPa. Pro stejné období jsme zpracovali i data z TDOA (time difference of arrival) sítě detekce blesků CELDN, rovněž v podobě ASCII 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 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 asi nejlépe koresponduje s pozorováními z profesionálních meteorologických stanic. Pro každý termín jsme tak měli k dispozici datový soubor s dvoum rozměrným polem informací typu bouřka vs. bez bouřky.

3.1 Prostorová a časová reprezentativnost sondáží

S ohledem na četnost sondáží, vzdálenosti sondážních stanic aj. jsme zvolili jako reprezentativní okolí stanice do 150 km. Co se pak časové reprezentativnosti týče, zabývali jsme se v této práci schopností predikce bouřek na následujících 12 h, tj. sondáž 00:00 UTC byla použita jako reprezentativní pro čas 00:00–11:59 UTC a sondáž z 12:00 UTC pro čas 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. 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 v daném časovém rozmezí.

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. Územi bylo dále pracováno s hranicemi $TS_perc \geq 5\%$ a $TS_perc \geq 30\%$ pro alespoň ojedinělý, respektive místní výskyt bouřek.

3.2 Skill score

Zaměřili jsme se na hledání prahových hodnot jednotlivých indexů takových, aby nejlépe odpovídaly situaci, kdy hodnota indexu větší nebo rovna prahové hodnotě předpovídá vznik bouřky a hodnota pod prahovou hodnotou předpovídá, že bouřková činnost nevznikne.

Pro vyhodnocení schopnosti předpovědní metody předpovídat daný jev se zpravidla vychází z kontingenční tabulky (např. Zacharov 2004):

Předpověď	Skutečnost	
	ano	ne
ano	Zásah (a)	Falešný alarm (b)
ne	Chyba (c)	Správné vyloučení (d)

Cílem předpovědní metody je pak minimalizace položek b , c . Na základě hodnot a , b , c , d lze vyčíslit kvalitu předpovědní metody, přičemž způsobů vyčíslení je mnoho a každý z nich popisuje trochu jiné vlastnosti předpovědní metody.

Základními parametry vlastností předpovědi jsou:

Pravděpodobnost detekce (Probability of detection):

$POD = \frac{a}{a+c}$, která vyjadřuje podíl výskytu jevu, který se předpovědi podařilo zachytit.

Pravděpodobnost falešné detekce (Probability of false detection):

$POFD = \frac{b}{d+b}$, zachycující naopak podíl falešných alarmů z celkového množství situací, kdy jev nenastal.

Samy o sobě jednotlivě tyto parametry k vyhodnocení kvality předpovědi nestačí. Pro dokonalou předpověď platí $POD = 1$, to ale bude platit také v případě, že jev budeme předpovídat vždy. Naopak $POFD$ v ideální předpovědi bude $POFD = 0$, což ale platí i v situaci, kdy jev nebudeme předpovídat nikdy. Proto byla historicky odvozena různá skill score, zde zmíníme:

Gilbert skill score (někdy též Equitable threat score):

$$GSS = \frac{a - a_r}{a + b + c - a_r} \quad (10)$$

kde $a_r = \frac{(a+b)(a+c)}{a+b+c+d}$ je četnost úspěšné předpovědi vzniku jevu, pokud by předpověď byla zcela náhodná, založená pouze na známé četnosti jevu. GSS vyjadřuje, do jaké míry je předpověď výskytu jevu lepší než tato náhodná předpověď. Nabývá hodnot od $-1/3$ do 1, přičemž náhodná předpověď má hodnotu $GSS = 0$ a dokonalá předpověď $GSS = 1$ (CAWCR, web).

Heidke skill score:

$$HSS = \frac{a+d-a_r-d_r}{a+b+c+d-a_r-d_r} = \frac{2(ad-bc)}{[(a+c)(c+d)+(a+b)(b+d)]}, \quad (11)$$

kde $d_r = \frac{(b+d)(c+d)}{a+b+c+d}$ je četnost úspěšné předpovědi, že jev nevznikne, pokud by předpověď byla zcela náhodná, založená pouze na známé četnosti jevu. Význam HSS je velmi blízký

GSS , na rozdíl od GSS však HSS přímo zohledňuje nejen úspěšnost předpovědi výskytu jevu, ale i úspěšnost předpovědi, že se jev nevyskytne (NOAA 2020). Nabývá hodnot od -1 do 1, přičemž náhodná předpověď má hodnotu $HSS = 0$ a dokonalá předpověď $HSS = 1$.

True skill statistic:

$$TSS = POD - POFD = \frac{ad-bc}{(a+c)(b+d)}. \quad (12)$$

TSS na rozdíl od předchozích nepracuje s přímým srovnáním s náhodnou předpovědí a vychází z jednoduchého předpokladu, že ideální předpověď má mít co nejvyšší POD a co nejnižší $POFD$. Na rozdíl od předchozích HSS a GSS nejsou parametry b a c záměnné. To znamená, že u HSS a GSS mají chyby a falešné alarmy stejnou váhu. U TSS tato váha závisí na relativní četnosti jevu, čím vzácnější jev je, tím lepší je předpověď (dle TSS), která je zachytí, a to i za cenu nárůstu falešných alarmů. Nabývá, stejně jako HSS , hodnot od -1 do 1, přičemž dokonalá předpověď má $TSS = 1$.

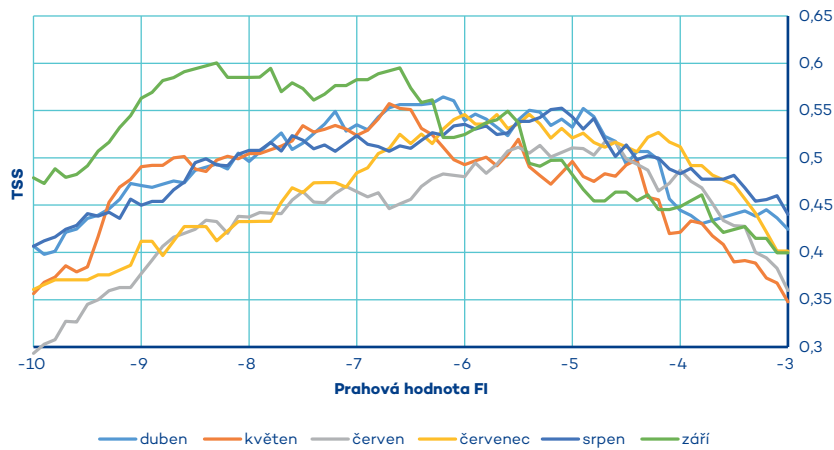
Vzhledem k charakteristice bouřkové činnosti jako nebezpečného jevu jsme pro další vyhodnocení vybrali právě TSS , které při nízké četnosti jevu klade větší důraz na to, aby jev předpovědi neunikl. Maximální TSS a tomu odpovídající prahovou hodnotu indexů jsme hledali zvlášť pro obě stanice, jelikož lokální podmínky mohou ovlivňovat jak efektivitu indexu pro předpověď bouřek, tak samotnou optimální prahovou hodnotu pro tuto předpověď. Řešeny byly zvlášť dvě výše zmíněné četnosti bouřek a tři výše zmíněné možnosti časové reprezentativnosti sondáží – celkem tedy bylo pro každý index stability získáno 12 prahových hodnot a tomu odpovídajících TSS .

3.3 Ověření možnosti zlepšení Faustova indexu

Jedním z cílů této práce bylo i ověření možností využití historických metod předpovědi bouřek pro současnou meteorologii. Zkoumali jsme přínos dělení situací podle měsíců pro Faustův index, jak doporučuje Táborský (1970). Dále se zmíněná studie zabývá třemi dodatečnými možnostmi zpřesnění Faustovy metody předpovědi bouřek. První možností je dodatečné použití *Whitingova K indexu*, druhou metodou je použití doplňujících indexů T_1 a T_2 , a třetí variantou je kombinace s informací o typu synoptické situace. V naší práci jsme se zaměřili na druhý z uvedených postupů, jelikož by měl podle původní studie vést k výraznému zlepšení předpovědi a zároveň nevyžaduje žádná dodatečná data. Ověřovali jsme, zda tato metoda skutečně přinese výrazné zlepšení předpovědi a případně jestli ji lze adaptovat na náš soubor dat.

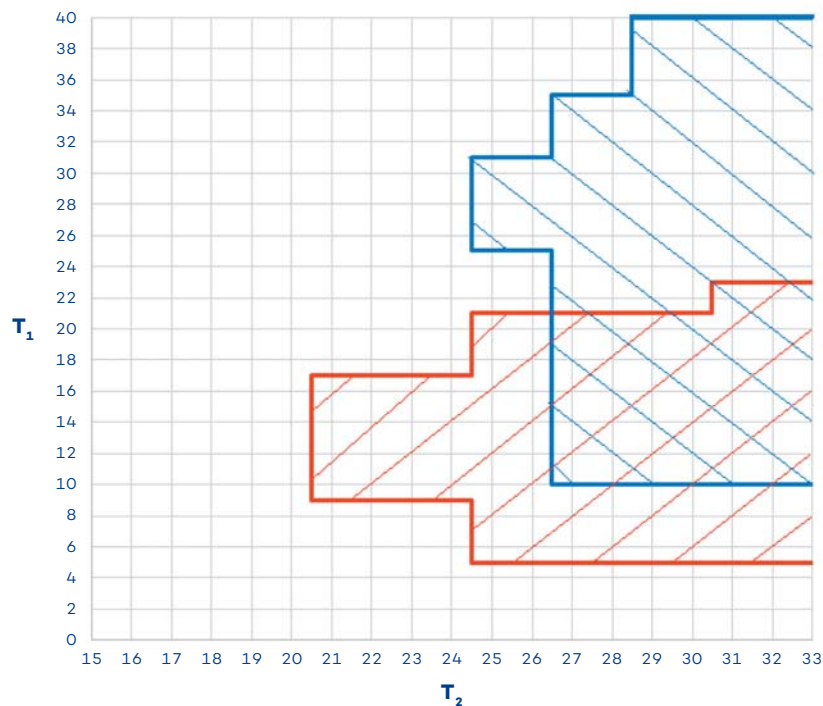
4. Výsledky a diskuze

Již v první části zpracování se ukázalo, že Förchtgottova čtyřvrstvá metoda, přidaná původně spíše z historických důvodů, dává jedny z nejlepších výsledků a některé z jejich pomocných indexů jsou při předpovědi z půlnoční sondáže na následujících 24 hodin dokonce neúspěšnějšími indexy vůbec, a to jak pro měření z Prahy, tak i z Prostějova. Zejména vyniká index i_2 , jenž je spojen s hladinou 500 hPa, ke které se vztahuje i většína jednoduchých indexů stability. Nutno dodat, že i indexy i_3 a i_4 , pro hladiny 400 a 300 hPa dávají samy o sobě velmi dobré výsledky.



Obr. 1 Závislost TSS Faustova indexu pro jednotlivé měsíce na prahové hodnotě.
 Fig. 1. Values of TSS of Faust's index for particular months of a year by threshold level.

Dále jsme se zabývali doporučeným rozdělením prahových hodnot Faustova indexu po měsících. Optimální prahové hodnoty pro polední měření z Prahy ($T_{perc} \geq 5\%$) nabývaly hodnot $-6,1, -6,7, -4,6, -5,3, -5,1, -8,2$ po řadě pro měsíce duben až září. Samotná hodnota TSS pro celé období se tímto rozdělením paradoxně dokonce mírně snížila z 0,538 na hodnotu 0,527. Jak lze vidět na obr. 1, křivka TSS v závislosti na prahové hodnotě se s výjimkou září chová pro všechny měsíce velmi podobně a není důvod tyto měsíce vyhodnocovat samostatně. Z tohoto důvodu jsme se rozhodli dále pracovat pouze s jednou prahovou hodnotou pro FI, nejlépe odpovídající celému období, a to $-6,6$.



Obr. 2 Porovnání ploch pro určení vzniku bouřky dle pomocných indexů – optimální plochy pro den s bouřkou dle Tábořského (červeně) a zjištěné v této práci (modře).

Fig. 2. Comparison of the optimal areas with “thunderstorm forecast” for old version by Tábořský (red hatched area) and our version (blue hatched area).

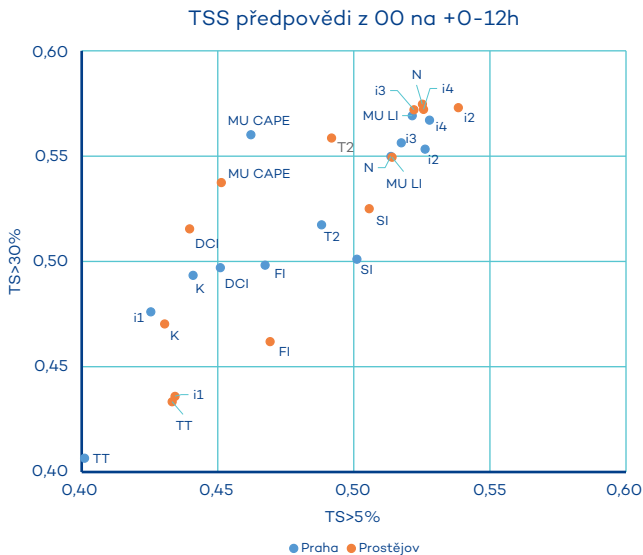
Následně jsme se zaměřili i na možnost vylepšení Faustova indexu použitím dodatečných indexů T_1 a T_2 . Aplikovali jsme na naše data (sondáže Praha-Libuš, 12 h) postup dle Tábořského. Tato metoda stanovuje pro FI spodní prahovou hodnotu, pod níž předpovídá, že bouřky nevzniknou a horní prahovou hodnotu (která se liší pro jednotlivé měsíce roku), nad níž předpovídá vznik bouřek. V oblasti hodnot FI mezi těmito prahy vstupují do hry pomocné indexy T_1 a T_2 , pro něž je v XY grafu vytyčena oblast vzniku bouřek (obr. 2 – červeně ohraničená oblast). Tato oblast se pro jednotlivé měsíce liší.

Tábořský měl ve své práci vzorek obdobné velikosti, jako ten, se kterým jsme pracovali my. Bylo zjištěno, že na našem vzorku se výše uvedeným postupem schopnost FI predikce bouřek zhoršuje, místo aby se zlepšovala. Například pro duben je hodnota TSS při prahu $FI = -6,1$ rovna hodnotě 0,564, aplikací Tábořského postupu klesá na $TSS = 0,312$. Tábořský pro duben ve své práci uvádí zlepšení korelačního koeficientu (HSS ani TSS neuvádí) z hodnoty 0,412 na hodnotu 0,623.

Pokud pro data vykreslíme oblast T_1 a T_2 nejlépe odpovídající našim datům (obr. 2 – modře ohraničená oblast), dostáváme se na $TSS = 0,638$. Ačkoli jsme při vykreslení nové oblasti získali znatelné vylepšení hodnoty TSS, z předchozích Tábořského výsledků lze předpokládat vysokou nestabilitu výsledku na odlišném vzorku (podobně jako Tábořského oblast nefungovala na našich datech). Pravděpodobnou příčinou je použití příliš vysokého počtu parametrů vzhledem k velikosti vzorku (jelikož za parametr lze považovat každou úsečku okraje oblasti a obě krajní meze využití FI, Tábořský jich pro duben použil celkem 11, přičemž v jeho vzorku bylo v tomto měsíci zaznamenáno 65 bouřek).

S ohledem na velmi četné využití veličiny MU CAPE při předpovědích bouřek, ale i v novém zpracování aerologických diagramů pro web ČHMÚ, jsme se zaměřili i na tuto veličinu.

Překvapivým zjištěním je skutečnost, že prahové hodnoty MU CAPE pro obě studované stanice se velmi výrazně liší tak, že pro Prahu vycházejí i více než dvojnásobné (např. pro termín 12 h, $T_{perc} \geq 5\%$ je prahová hodnota pro Prahu 225 J/kg, v Prostějově vychází předpokládaný výskyt bouřek již od hodnoty MU CAPE 76 J/kg). To nás nejprve vedlo k úvahám o chybě v našem zpracování hodnot MU CAPE, což vyloučila následná kontrola. K podobnému závěru ale vede i srovnání Prahy a Prostějova v nedávné rozsáhlejší studii (Taszarek et al. 2019). Ta srovnává mimo jiné právě odhady počtu dnů s bouřkou na základě různých dat včetně sondáží. Z této studie vyplývá, že ač reálná četnost výskytu bouřek v okolí Prahy a Prostějova se v průměru tolik neliší, tak odhad počtu bouřkových dnů na základě sondáží, s použitím shodné prahové hodnoty (např. 175 J/kg tak, jako v Taszarek et al. 2019),



Obr. 3 Porovnání hodnot *TSS* jednotlivých indexů pro předpověď bouřek alespoň ojedinele (osa X) a pro předpověď alespoň místy (osa Y) pro interval od půlnoci do poledne na základě dat z půlnoční sondáže.

Fig. 3. Comparison of *TSS* values between forecasts of at least isolated thunderstorms (X axis) and scattered thunderstorms (Y axis). All data are for time period from midnight to noon based on midnight sounding data.

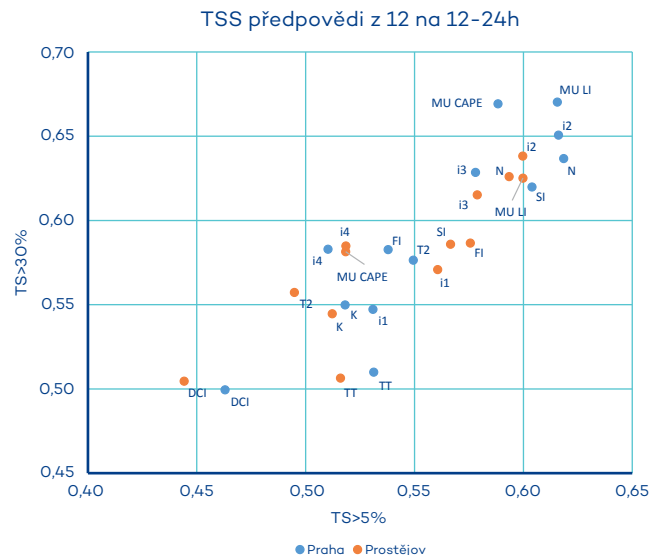
dává pro Prahu vyšší četnost než pro okolní stanice. Naopak pro Prostějov tento způsob silně podhodnocuje a dává výrazně nižší hodnoty odhadu počtu dnů s bouřkou než pro okolní sondážní stanice. Jestli je důvodem odlišný charakter orografie ve studovaném okolí stanice (do 150 km, tj. oblast pro Prostějov zahrnuje i část Slovenských hor), či specifikum umístění stanice Prostějov (ale i Praha-Libuš) v podmínkách lokálně odlišných od širšího okolí, popř. ještě něco jiného, nejsme schopni na základě aktuálně dostupných informací posoudit.

Obr. 3 až 5 zobrazují maximální *TSS* jednotlivých indexů pro tři sledované varianty předpovědi. V grafech nejsou zobrazeny indexy T_1 a i_5 , které ve všech případech vykazovaly slabší úspěšnost a nevěšly se na zobrazovanou oblast. Ačkoli je z grafů vidět, že ve většině případů (66 z 78) dosahuje *TSS* pro $TS \geq 30\%$ vyšší hodnoty, než pro $TS \geq 5\%$, neznamená to nutně vyšší úspěšnost předpovědi místních bouřek než ojedinelých. Absolutní hodnota *TSS* je porovnatelná jen pro jevy s obdobnou četností, při použití jiného typu skill score (např. *HSS*) by výsledek mohl být opačný.

Nicméně lze z obrázků vyčíst chování indexů pro obě sledované stanice a zejména skupiny indexů vedoucích si v jednotlivých typech předpovědi nejlépe. Na obr. 3 tak lze vidět skupinu indexů nejhodnějších pro předpověď dopoledních bouřek ze sondáže v termínu 00:00 obsahující $i_2, i_3, i_4, N, MU LI$, přičemž *MU LI* v případě Prostějova trochu zaostává. Dále je patrný výrazný posun indexu T_2 v případě Prostějova a hranice $TS \geq 30\%$, a také to, že *MU CAPE* je s výše zmíněnými indexy srovnatelná v případě $TS \geq 30\%$, zatímco v případě $TS \geq 5\%$ výrazně ztrácí.

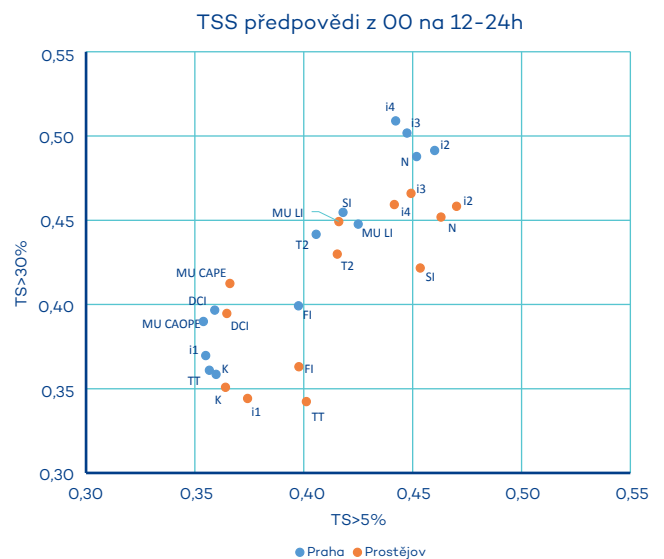
Na obr. 4 zobrazujícím předpověď na odpoledne z polední sondáže je nejvíce patrný velký rozdíl *MU CAPE* v Praze oproti Prostějovu. V menší míře je toto patrné i u indexů *SI* a *MU LI*, naopak i_1 a *FI* pro $TS \geq 5\%$ dávají lepší výsledky pro Prostějov.

U předpovědi odpoledních bouřek z půlnočních sondáží (obr. 5) lze pozorovat, že *MU CAPE* se řadí ke skupině slabších



Obr. 4 Porovnání hodnot *TSS* jednotlivých indexů pro předpověď bouřek alespoň ojedinele (osa X) a pro předpověď alespoň místy (osa Y) pro interval od poledne do půlnoci na základě dat z půlnoční sondáže.

Fig. 4. Comparison of *TSS* values between forecasts of at least isolated thunderstorms (X axis) and scattered thunderstorms (Y axis). All data are for time period from noon to midnight based on noon sounding data.



Obr. 5 Porovnání hodnot *TSS* jednotlivých indexů pro předpověď bouřek alespoň ojedinele (osa X) a pro předpověď alespoň místy (osa Y) pro interval od poledne do půlnoci na základě dat z předešlé půlnoční sondáže.

Fig. 5. Comparison of *TSS* values between forecasts of at least isolated thunderstorms (X axis) and scattered thunderstorms (Y axis). All data are for time period from noon to midnight based on previous midnight sounding data.

indexů a není pro tuto předpověď příliš vhodný. Skupina nejúspěšnějších indexů (i_2, i_3, i_4, N) si v Praze i Prostějově vede obdobně při předpovědi ojedinelých bouřek, v případě většího rozsahu bouřkové činnosti je pak předpověď z Pražské sondáže znatelně úspěšnější.

Na závěr přikládáme zjednodušené shrnutí nejlepších indexů pro studované možnosti předpovědi formou tabulky (tab. 1).

Tab. 1 Stručný přehled nejlepších indexů pro různé možnosti předpovědi.

Table 1. Brief overview of the best indices for different forecast criteria.

	Praha			Prostějov		
	max TSS	Nejlepší index	Indexy s TSS ≥ 95 % max TSS	max TSS	Nejlepší index	Indexy s TSS ≥ 95 % max TSS
5 %, 00:00	0,528	i_4	$i_2, i_3, N, MU LI$	0,538	i_2	$i_3, i_4, N, MU LI$
30 %, 00:00	0,569	MU LI	$i_2, i_3, i_4, N, MU CAPE$	0,575	N	$i_2, i_3, i_4, T_2, MU LI$
5 %, 12:00	0,618	N	$i_2, SI, MU LI, MU CAPE$	0,600	MU LI	i_2, i_3, N, FI
30 %, 12:00	0,670	MU LI	$i_2, N, MU CAPE$	0,638	i_2	$i_3, N, MU LI$
5 %, 00:00 + 12–24	0,460	i_2	i_3, i_4, N	0,470	i_2	i_3, N, SI
30 %, 00:00 + 12–24	0,509	i_4	i_2, i_3, N	0,466	i_3	$i_2, i_4, N, MU LI$

Pro každou situaci je vždy vypsán index s nejvyšší hodnotou TSS a tato hodnota, ale i seznam indexů, jejichž TSS dosahovala alespoň 95 % hodnoty TSS nejlepšího indexu. Je dobře patrné, že MU LI, MU CAPE a pomocné indexy i_n i samotný N spojené s čtyřrvstvou metodou celé tabulce výrazně dominují. Podle očekávání je nejvyšší úspěšnost předpovědi z poledního výstupu, následovaná 12hodinovou předpovědí z půlnoci a předpovědí z půlnoci na 12–24 h. Všechny úspěšné indexy si v případě poledního výstupu vedly mírně úspěšněji pro sondáž z Prahy než z Prostějova. Úspěšnost předpovědi bouřek z půlnocní sondáže byla pro obě stanice srovnatelná.

5. Závěr

Už jen první fáze vyhodnocení úspěšnosti prozatím jen několika indexů stability, jejíž výsledky jsme sepsali v tomto článku, přinesla velmi překvapivá zjištění. Jednak se nepotvrdila role Faustova indexu, na základě studií z 60. let považovaného za nejlepší prediktor bouřek u nás. Lepší výsledky vykazuje ze starších indexů Showalterův index, ale výrazně lepší předpovědi dává použití MU CAPE a zejména pak MU LI, který vyšel nejlépe ze všech samostatných indexů.

Velmi překvapivá je nečekaně dobrá úspěšnost pomocných dílčích indexů 4V metody vytvořené J. Förichtgottem. Tato metoda, která téměř upadla v zapomnění, zřejmě ještě nepatří „do starého železa“ a s ohledem na dobré výsledky se jí budeme dále věnovat. Velmi užitečná by mohla být, pokud by dávala dobré výsledky pro pravidelná ranní sondážní měření v 06:00 UTC v Praze-Libuši. Ta mají využití zejména v letecké meteorologii. Následujícím krokem tedy bude přidání ranních sondáží a vyhodnocení schopnosti predikovat odpolední a večerní bouřky 4V metodou (případně dílčími indexy, nebo její výraznější modifikací).

Bez další pozornosti by neměly zůstat ani velké rozdíly prahových hodnot MU CAPE pro Prahu a Prostějov. Už z podstaty výpočtu je zřejmé, že CAPE je veličinou velmi citlivou na drobné změny počátečních podmínek, a to v tomto případě počáteční hladinu a její teplotu a vlhkost. V další práci bude žádoucí zaměřit se mj. na vysvětlení tohoto rozdílu. V úvahu připadá porovnání hodnot počáteční hladiny sondáží s měřeními okolních stanic, případně ověřit i vliv zúžení sledované oblasti na méně než 150 km použitých v této studii (což by vyloučilo oblast slovenských hor a dalších pohoří).

Získané výsledky a poznatky poslouží při pokračování prací v rámci DKRVO vedoucích k efektivnějšímu využití sondážních dat v provozní praxi, ale i ve snaze o zlepšení a zpřehlednění operativně dostupných informací pro koncové uživatele.

Poděkování:

Děkujeme oběma recenzentům za cenné připomínky a podněty, které vedly ke zkvalitnění tohoto článku. Poděkování patří i všem, kteří se před námi pustili do vyhodnocení úspěšnosti indexů stability při předpovědích bouřek u nás, a to hlavně autorům z dob „předpočítačových“. Zpracování takových objemů dat ručně bez využití jakéhokoli softwaru vyžadovalo zřejmě obrovskou vytrvalost a trpělivost. Jsme rádi, že i tak tu vznikly mnohé práce, na které můžeme, často až po mnoha desetiletích, navázat.

Literatura:

- BARLOW, W., 1993. A new index for the prediction of deep convection., Preprints. 17th Conference on Severe Local Storms, St. Louis, Amer. Meteor. Soc, s. 129–132.
- CAWCR, 2020. Forecast Verification methods Across Time and Space Scales [online]. Collaboration for Australian Weather and Climate Research [cit. 21. 10. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.cawcr.gov.au/projects/verification/>.
- FÖRCHTGOTT, J., 1971. Předpověď bouřek čtyřrvstvou metodou za rok 1970. *Meteorologické zprávy*, roč. 24, č. 3–4, s. 84–87. ISSN 0026-1173.
- FÖRCHTGOTT, J., 1975. Předpověď bouřek – čtyřrvstvou metoda. Návod k použití, originální strojepis autora. Praha: ČHMÚ.
- FÖRCHTGOTT, J., 1975. Vyhodnocení zprávy TEMP čtyřrvstvou metodou (přehled). Originální strojepis autora + autorem ručně doplněné poznámky. Praha: ČHMÚ.
- HUNTRIESER, H. H., SCHIESSER, H. H., SCHMID, W., WALDVOGEL, W., 1997. Comparison of Traditional and Newly Developed Thunderstorm Indices for Switzerland. *Weather and Forecasting*, Vol. 12 (1), s. 108–125.
- CHROMOV, S. P., 1937. Úvod do synoptického rozboru počasí. Praha: Vojenský ústav vědecký, s. 109–114.
- NOAA, 2020. Forecast Verification Glossary [online]. National Oceanic and Atmospheric Administration [cit. 21. 10. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u30/Forecast%20Verification%20Glossary.pdf>.
- RÝVA, D., 2020. K novému zpracování a vizualizaci dat z aerologických balónových sondáží. *Meteorologické zprávy*, roč. 73, č. 5, s. 152–154. 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., PEŠICE, P., STAŠA, P., 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. ISSN 0026-1173.
- TÁBORSKÝ, Z., 1970. Příspěvek k Faustově metodě pro předpovědi bouřek. *Meteorologické zprávy*, roč. 23, č. 1, s. 2–7. ISSN 0026-1173.
- TASZAREK, M., ALLEN, J., PÚČÍK, T., GROENEMEIJER, P., CZERNECKI, B. et al., 2019. A Climatology of Thunderstorms across Europe from a Synthesis of Multiple Data Sources. *Journal of Climate*, Vol. 32, s. 1813–1837, doi: 10.1175/JCLI-D-18-0372.1.
- ZACHAROV P., 2004. Diagnostické a prognostické prekurzory konvekce. Diplomová práce. Praha: Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta, Katedra fyziky atmosféry. 61 s.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Petr Pešice, Ph.D., RNDr. Jan Sulan

Atmosférická cirkulace v únoru 2020 a tlaková níže Sabina

Atmospheric circulation in February 2020 and the depression Sabine

Marjan Sandev

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

During February 2020, unusual numerous depressions from the Atlantic – Europe region significantly affected weather in Western and Central Europe, including the Czech Republic. They brought stormy weather, heavy rainfall in many places, and caused considerable material damage, hundreds of injured and several casualties as well. Depressions brought significant pressure and temperature changes and heavy precipitation. We could consider February weather as extreme in the Czech Republic.

February 2020 in the Czech Republic was extremely above normal and very humid. February 2020, together with February 1966, ranks as the warmest (according to the average monthly temperature) in the Czech Republic in the period since 1961. This February is also the second richest in precipitation for the same period, more precipitation in February fell only in 1970. Finally, February 2020 was relatively windy as well. In this article, special attention is paid to the origin and development of the depression Sabine which affected the Czech Republic from 10th to 12nd February 2020. The occurrence of extreme weather phenomena was effectively predicted by numerical models as well as by CHMI forecasting service.

KLÍČOVÁ SLOVA: cirkulace atmosférická – vítr silný – níže tlaková – únor 2020 – výstraha

KEYWORDS: atmospheric circulation – severe wind – depression – February 2020 – warning

1. Úvod

Sabina, Viktorie, Julia nebo Petra je jen stručný výčet z 15 tlakových níží v oblasti Atlantik – Evropa, které během února 2020 významně ovlivnily počasí v západní a střední Evropě včetně České republiky. Přinesly bouřlivé počasí, vichřice, na četných místech vydatné srážky a také značné materiální škody, četné výpadky v energetice, stovky zraněných a bohužel i několik obětí na životech. Všechny zmíněné níže přinesly značné tlakové i teplotní změny, přinášely výrazné srážky, a z těchto důvodů je tak možné únorové počasí na našem území označit za extrémní.

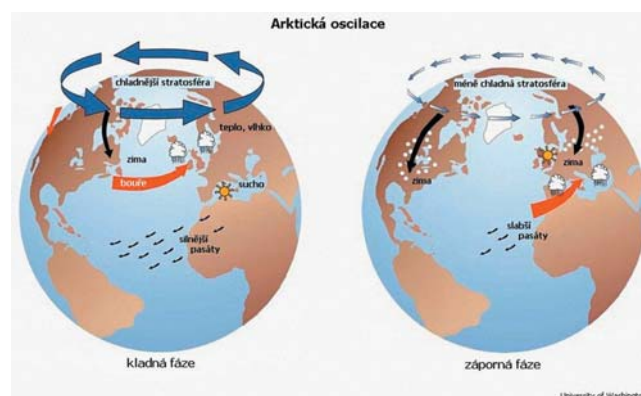
Únor 2020 byl v ČR teplotně mimořádně nadnormální a velmi vlhký. Průměrná měsíční teplota činila +4,3 °C a odchylka prů-

měrné teploty vzduchu od normálu 1981–2010 byla +4,7 °C. Únor 2020 se tak společně s únorem 1966 řadí k nejteplejším (dle průměrné měsíční teploty) na území ČR v období od roku 1961. U velkého počtu měřicích stanic byly zaznamenány nové teplotní rekordy. To se týká i Klementina, kde průměrná měsíční teplota činila +6,9 °C, a na této stanici se jedná o nejteplejší únor od roku 1775. V průměru na území ČR spadlo 83 mm srážek, což činí 214 % srážkového normálu. Jedná se tak o druhý srážkově nejbohatší únor v období od roku 1961, více srážek v únoru spadlo pouze v roce 1970 (87 mm). Únor byl také poměrně větrný. Silný vítr byl na území ČR zaznamenán především ve dnech 10.–12. 2. a byl spojený s tlakovou níží Sabina.

2. Charakteristika cirkulace

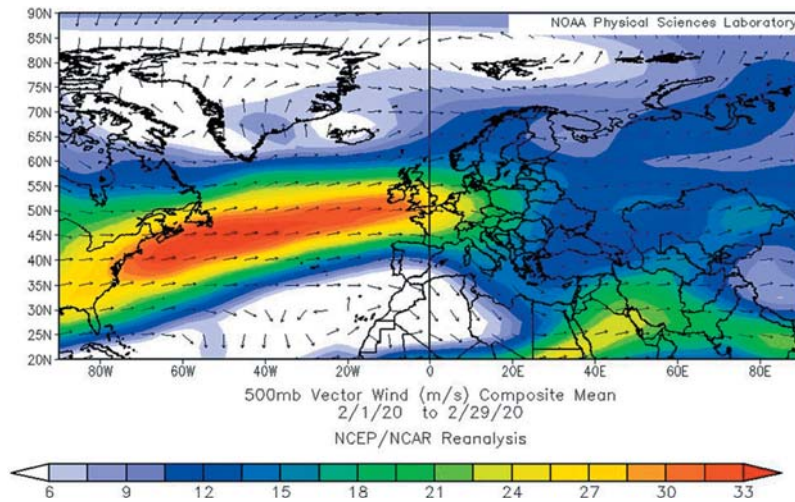
Atmosférická cirkulace v únoru 2020 přinesla neobvyklý průběh počasí nejen v ČR, ale téměř v celé Evropě. Určujícím faktorem, který ovlivnil počasí, byla výrazná cirkulace nad Arktidou a přilehlými oblastmi severního Atlantiku, kde přetrvávala cyklonální vorticitata vyplněná studeným vzduchem. Tato cirkulace je známá jako kladná fáze tzv. arktické oscilace (AO – viz obr. 1) (Ambaum et al. 2001) a čím je kladná fáze výraznější, tím je výraznější západovýchodní přenos vzduchových hmot v mírných zeměpisných šířkách.

V únoru 2020 převažovalo nad severním Atlantikem téměř výhradně zonální proudění (obr 2). Tryskové proudění (jet stream) bylo nad touto oblastí nadprůměrně silné a posunuté daleko na sever oproti běžnému stavu. To vyvolalo výraznou kladnou severoatlantickou oscilaci (NAO), což se projevilo změnou proudění nad severním Atlantikem. V oblasti Azorských ostrovů byla rozsáhlá oblast vysokého tlaku vzduchu, naopak v severním Atlantiku včetně Islandu se udržoval velmi nízký tlak (obr. 3). Vzhledem k velkému teplotnímu kontrastu

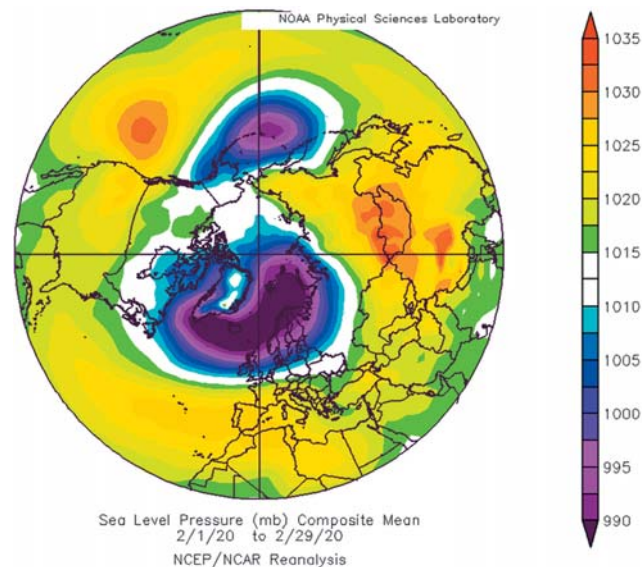


Obr. 1 Schéma fungování arktické oscilace – AO (zdroj: University of Washington, převzato z internetového magazínu gnosis9.net).

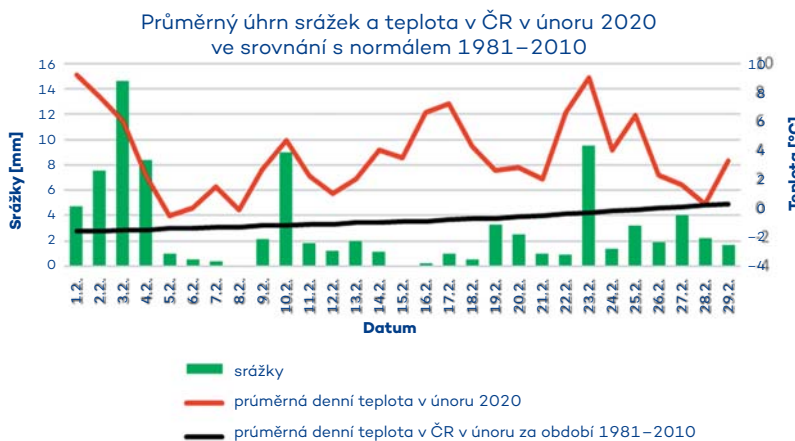
Fig. 1. Scheme of Arctic Oscillation – AO (source: University of Washington, taken from online magazine gnosis9.net).



Obr. 2 Mapa průměrných hodnot vektoru větru [m.s⁻¹] v hladině 500 hPa v oblasti Atlantik – Evropa v období od 1. do 29. 2. 2020.
Fig. 2. Map of average values of wind vector [m.s⁻¹] at the level 500 hPa in the Atlantic – Europe area for the period 1st–29th February 2020.



Obr. 3 Průměrné přízemní tlakové pole [hPa] na severní polokouli v období od 1. do 29. 2. 2020.
Fig. 3. Average mean see level pressure [hPa] in the Northern Hemisphere for the period from 1st–29th February 2020.



Obr. 4 Teplotní a srážkové charakteristiky v ČR v únoru 2020.
Fig. 4. Temperature and precipitation characteristics in the Czech Republic in February 2020.

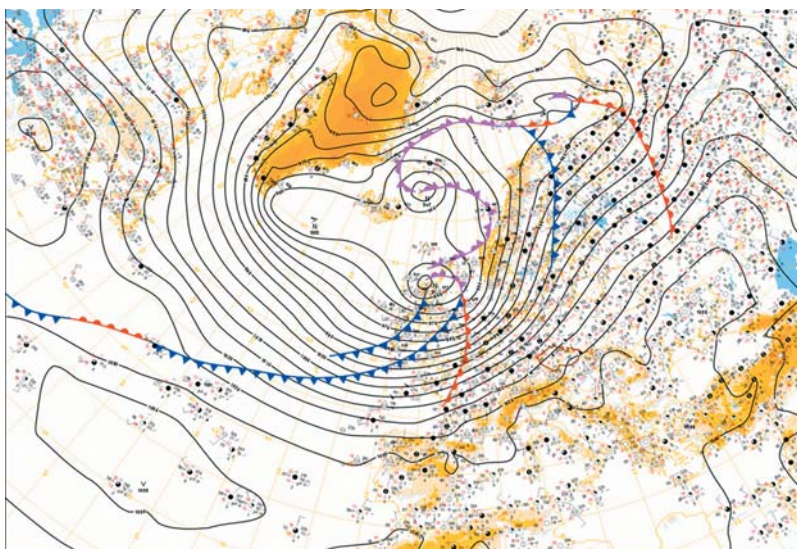
mezi arktickou a subtropickou oblastí dochází nad touto částí Atlantiku ke vzniku a regeneraci hlubokých tlakových níží, které následně ovlivňují počasí i nad evropským kontinentem. Frontální vlny v západním proudění směřovaly do Evropy, resp. do její severozápadní části, a dále k východu přinášely vlhký oceánský vzduch.

Na začátku měsíce pronikal do střední Evropy teplý a vlhký oceánský vzduch. Období prvních únorových dnů tak bylo na celém území teplé a bohaté na srážky. Ke krátkodobé změně došlo uprostřed první dekády, kdy ze západní do střední Evropy a dále k východu postupovala tlaková výše. V těchto dnech bylo proudění přechodně meridionální, ochladilo se a srážky se vyskytovaly pouze výjimečně. Na konci první a začátku druhé dekády dominovala studená fronta spojená s tlakovou níží Sabina, která na území ČR 10. února přinesla kromě silného nárazovitého větru významné celoplošné srážky a zejména do Čech i bouřky. Během druhé dekády ovlivnila počasí v Evropě další hluboká tlaková níže (16.–17. února 2020). Její dráha ale byla, oproti tlakové níží Sabina, posunuta více k severu a její projevy tedy zasáhly pouze sever ČR. Třetí dekáda byla vzhledem k převažujícímu teplému západnímu oceánskému proudění a přecházejícím frontálním systémům také bohatá na srážky. Průběh teplotních a srážkových charakteristik na území ČR v únoru 2020 je znázorněn na obr. 4.

3. Tlaková níže Sabina

Jak již bylo zmíněno, únor byl poměrně větrný. Silný vítr byl na území ČR zaznamenán především na přelomu první a druhé únorové dekády, a to v souvislosti s tlakovou níží Sabina. Tato níže vznikla 6. 2. 2020 na frontální vlně v centrální části Spojených států. Postupně se níže během 7. a 8. 2. dostala na východní pobřeží do oblasti nedaleko New Foundlandu a výrazně se prohloubila (tlak ve středu 8. 2. 06:00 UTC byl pod 970 hPa). Při dalším postupu k východu se níže dostává do okrajového proudění rozsáhlé a hluboké tlakové níže Ruth se středem západně od Islandu (v jejím středu byl tlak 935 hPa). Její cyklonální vorticitata výrazně přispěla k následnému rychlému přesunu Sabiny přes severní Atlantik dále k severovýchodu. Dne 9. 2. ve 12:00 UTC už byl střed níže nad severní oblastí Britských ostrovů se zaznamenanou hodnotou tlaku kolem 950 hPa (obr. 5). Vzhledem k tomu, že ve stejnou dobu zasahovala nad Pyrenejský poloostrov z východních částí subtropického Atlantiku oblast vysokého tlaku přesahující hodnoty 1 030 hPa, začal v oblasti Britských ostrovů a severozápadní Evropě výrazně sílit tlakový gradient, tedy i vítr. Na některých stanicích byly naměřeny průměrné rychlosti větru kolem 25 m.s⁻¹. V dalších dnech se její postup stočil k severovýchodu podél pobřeží Norska a zároveň došlo k zesilování tlakového gradientu i ve střední a východní Evropě. Trajektorie tlakové níže Sabina je znázorněna na obr. 6.

Během 9. 2. začal vítr na našem území postupně zesilovat. Zpočátku foukal mírný jihovýchodní



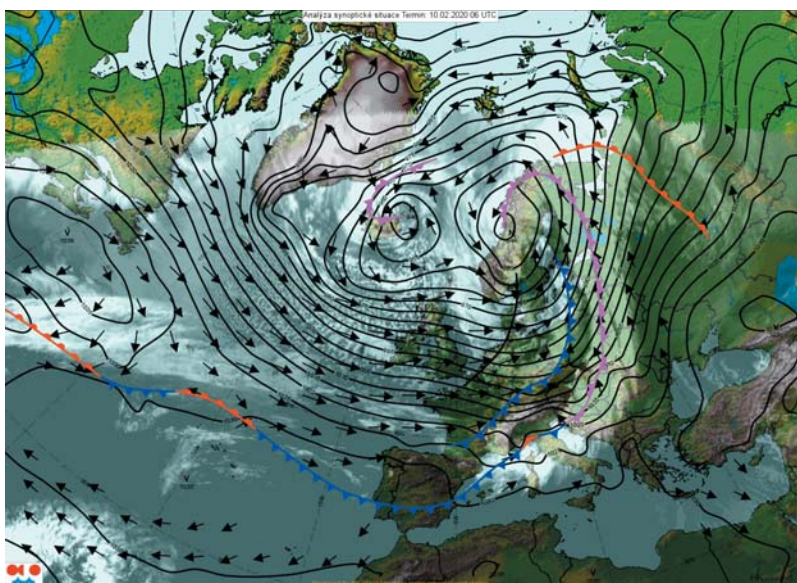
Obr. 5 Přízemní tlakové pole včetně frontální analýzy dne 9. 2. 2020 12:00 UTC.

Fig. 5. Synoptic situation and frontal analysis over the Atlantic – Europe area on 9th February 2020 12:00 CET.



Obr. 6 Trajektorie tlakové níže Sabina.

Fig. 6. Trajectory of depression Sabine in the Atlantic – Europe area.



Obr. 7 Přízemní tlakové pole, frontální analýza a IR snímek z MSG dne 10. 2. 2020 06:00 UTC.

Fig. 7. MSG (infrared canal) picture combined with mean sea level pressure and frontal analysis on 10th February 2020 06:00 CET.

až jižní, který se během dne dále měnil na jihozápadní a k večeru zejména v severní polovině území zesiloval na čerstvý s nárazy od 15 do 25 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Na horách na severu ČR nárazy místy přesahovaly i 30 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejsilnější náraz byl zaznamenán 10 min. před půlnocí na Sněžce, a to 50,1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (180 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$). Během druhé poloviny noci na 10. 2. přešel přes naše území k východu okludující frontální systém. V silném západním proudění rychle následovala v ranních hodinách podružná studená fronta (obr. 7), na které se na severozápadě Čech vyskytly i bouřky.

Přechody front byly doprovázeny silným větrem o rychlosti 10 až 15 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, v nárazech dosahovala rychlost místy 20 až 30 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (70 až 110 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$), ve vyšších a horských polohách i přes 40 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (přes 130 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$). V poledních a odpoledních hodinách přecházela přes naše území osa výškové brázd, přičemž docházelo k velmi intenzivním dynamickým procesům. Jednotlivé konvektivní buňky byly doprovázeny ojediněle i bouřkami, silné nárazy větru přetrvávaly až do večerních hodin, kdy vítr poněkud zeslábl. Na studené frontě se nad západní Evropou vytvořila frontální vlna, která v noci na 11. 2. přešla přes naše území. Silný vítr přetrvával i během 11. 2., i když nárazy už byly o něco slabší. Nejsilnější nárazy větru na území ČR a v nejbližším okolí, které se vyskytly v souvislosti s tlakovou níží Sabina, jsou znázorněny v tab. 1.

V porovnání s podobnými větrnými epizodami z poslední doby (Sandev 2007; Holub et al. 2009; Hujsová, Šimandl 2018) Sabina přinesla na naše území nárazy ve vyšších a horských polohách většinou srovnatelné s ostatními situacemi, v nižších polohách byly na úrovni Herwarta, tedy o něco slabší než v případě Kyrilla a Emmy. V tab. 2. jsou pro srovnání nejvyšší nárazy větru při přechodu zmíněných tlakových níží včetně Sabiny.

Nárazy větru způsobily problémy v řadě odvětví od dopravy přes energetiku až po lesní hospodářství. O jak mimořádnou událost se jednalo, svědčí i počet zásahů Hasičského záchranného sboru (HZS) během 10. 2. souvisejících se škodami způsobenými větrem, který je zobrazen na obrázku 8. Celkový počet zásahů za 24 hodin přesahuje 6 000 (denní průměr činí kolem 300) a jsou relativně rovnoměrně rozloženy na území ČR. Nejvíce zásahů bylo v Praze a okolí, o něco méně pak na Moravě. Během 11. 2. byl počet zásahů o poznání nižší (přes 1 600), ale i tak se jednalo o číslo vysoce převyšující denní průměr (obr. 9).

4. Předpovědní výstupy

Jako indikátor potenciálního výskytu extrémních meteorologických jevů ve střednědobém horizontu (3 a více dní) je vhodné využívat výstupy ze střednědobé předpovědi, konkrétně indexy poukazující na extremitu počasí (EFI

Tab. 1 Nejvyšší naměřené nárazy větru (nad 30 m.s⁻¹) v souvislosti s tlakovou níží Sabina od 9. do 11. 02. 2020.

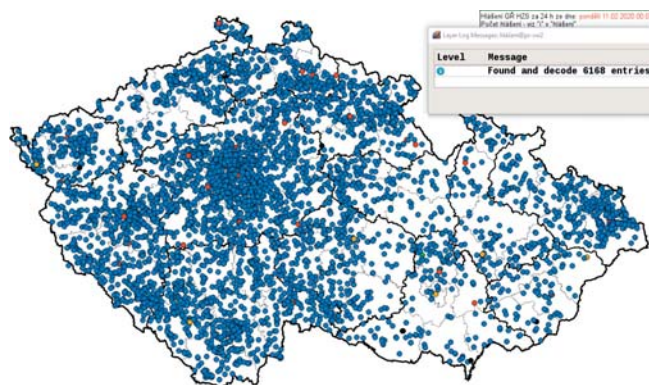
Table 1. The highest measured wind gusts (above 30 m.s⁻¹) in the Czech Republic in connection with the depression Sabine from Sunday 9th to Tuesday 11th February 2020.

Max. náraz [m.s ⁻¹]	Čas [SEČ]	Den (únor)	Stanice	Nadmořská výška [m n. m.]	Kraj/Stát
55,0	13:00–14:00	10	Sněžka	1 603	Polsko
50,1	23:50	9	Sněžka	1 602	Královéhradecký
45,0	12:00	10	Milešovka	830	Ústecký
44,8	07:00–13:00	10	Velký Javor	1 446	SRN
36,7	3:30	10	Klínovec	1 236	Karlovarský
33,7	12:00	10	Ústí nad Labem	375	Ústecký
33,4	17:50	10	Dukovany	400	Vysočina
33,4	6:20	11	Kocelovice	519	Jihočeský
31,9	9:10	10	Třinec	930	Moravskoslezský
31,6	13:20	10	Česká Skalice	290	Královéhradecký
30,5	13:50	10	Přibyslav	532	Vysočina
30,5	13:10	10	Vlašim	415	Středočeský
30,2	12:20	10	Plzeň	359	Plzeňský

Tab. 2 Nejvyšší naměřené nárazy větru v souvislosti s přechody tlakových níží Kyrill, Emma, Herwart a Sabina.

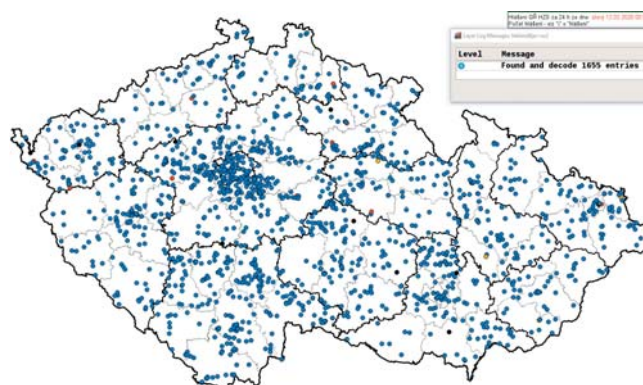
Table 2. The highest measured wind gusts in Czech Republic in connection with the depressions Kyrill, Emma, Herwart and Sabine.

Max náraz [m.s ⁻¹]	Stanice	Max náraz [m.s ⁻¹]	Stanice	Max náraz [m.s ⁻¹]	Stanice	Max náraz [m.s ⁻¹]	Stanice
Kyrill 18.–19. 1. 2007		Emma 1.–2. 3. 2008		Herwart 29. 10. 2017		Sabina 9.–10. 2. 2020	
Nad 600 m n. m.							
60	Sněžka	54,1	Labská bouda	50,5	Luční bouda	55	Sněžka
57,8	Labská bouda	47	Sněžka	50	Sněžka	50,1	Sněžka, Poštovna
51	Fichtelberg	43,1	Maruška	49,3	Sněžka, Poštovna	45	Milešovka
47,3	Milešovka	43	Fichtelberg	49	Fichtelberg	44,8	Grosser Arber
47	Grosser Arber	43	Grosser Arber	41,9	Milešovka	36,7	Klínovec
Pod 600 m n. m.							
45	Praha, Karlov	44,6	Vrchlabí	36,5	Ústí n. Labem, Kočkov	33,7	Ústí n. Labem, Kočkov
44,1	Ústí n. Labem, Kočkov	37	Přibyslav	34,8	Přibyslav	33,4	Kocelovice, Dukovany
43,2	Kocelovice	36,5	Dolní Věstonice	33,8	Skuteč	31,6	Česká Skalice



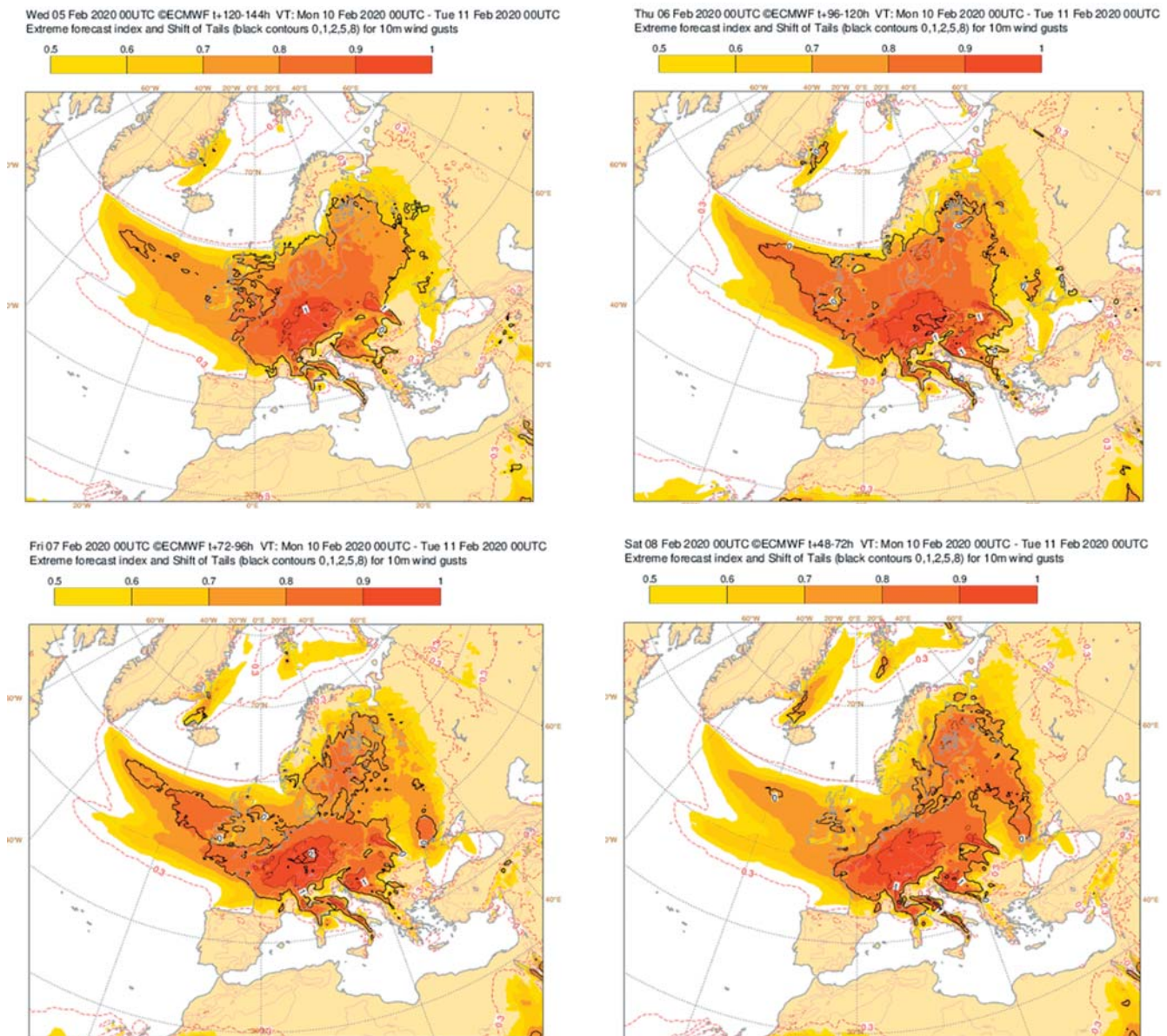
Obr. 8 Zásahy HZS na území ČR (různobarevná kolečka) během 10. 2. 2020.

Fig. 8. Fire brigade interventions in the Czech Republic (multicolour spots) during 10th February 2020.



Obr. 9 Zásahy HZS na území ČR (různobarevná kolečka) během 11. 2. 2020.

Fig. 9. Fire brigade interventions in the Czech Republic (multicolour spots) during 11th February 2020.



Obr. 10 Předpovědi EFI (Extreme Forecast Index) pro nárazy větru v 10 m z ansámblu ECMWF pro 10. 2. 2020 ze dne 5. až 8. 2. 2020 (nahore vlevo z 5. 2., vpravo ze 6. 2., dole vlevo ze 7. 2., vpravo z 8. 2. 2020). Zdroj web ECMWF.

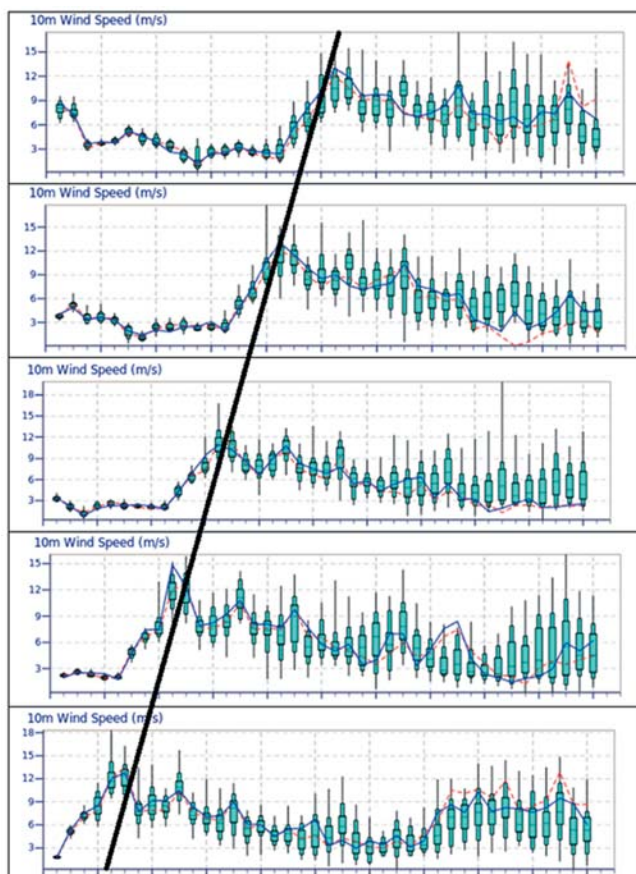
Fig. 10. Extreme Forecast Index (EFI) for wind gusts in 10 m from ECMWF ensemble for the day 10 of February 2020 from the runs 5th to 8th February 2020 (top left from 5th February, right from 6th February, bottom left from 7th February, right from 8th February 2020). Source: ECMWF website.

indexy), které jsou dostupné přes webové stránky Evropského centra pro střednědobé předpovědi počasí (ECMWF 2000). I když prostorové rozlišení těchto informací je nedostatečné z hlediska velikosti a členitosti ČR, mohou být tyto informace důležité jako včasné varování před možným blížícím se nebezpečím, v tomto případě před nástupem období se silným větrem. Na obr. 10 jsou výstupy tohoto indexu pro oblast Evropy, ze kterých je patrná časová konzistentnost v předpovědi intenzity indexu a lokalizace nebezpečných nárazů větru, zejména v oblasti západní a střední Evropy. Dalším ukazatelem možného nebezpečí mohou být meteogramy pro jednotlivé parametry větru (průměrný vítr, nárazy větru). I když se jedná o bodovou předpověď, výstupy velmi dobře naznačují časový výskyt a intenzitu nebezpečného jevu (obr. 11 a obr. 12).

Základním podkladem k vydávání předpovědí včetně výstrah

jsou výstupy z numerických předpovědních modelů. Především na jejich základě jsou určovány charakteristiky větru, včetně intenzity a regionalizace. V předpovědní službě ČHMÚ se standardně používají čtyři numerické předpovědní modely, dva regionální (ALADIN a COSMO EU) a dva globální (ECMWF a GFS). Tyto modely byly používány i pro předpověď rychlosti a nárazů větru ve zmíněném období (obr. 13).

Analýza modelových výstupů ukázala, že matematické modely jsou schopny s několikadenním předstihem předpovědět situace náchylné pro výskyt velice silného větru. Rovněž mohou naznačit oblasti, kde se vítr pravděpodobně vyskytne a s jakou intenzitou. Porovnávání předpovědí více modelů s využitím pravděpodobnostních výstupů (obr. 14) umožňuje posoudit míru nejistoty předpovědi, příp. eliminovat výrazně odlišnou a málo pravděpodobnou předpověď některého z modelů.

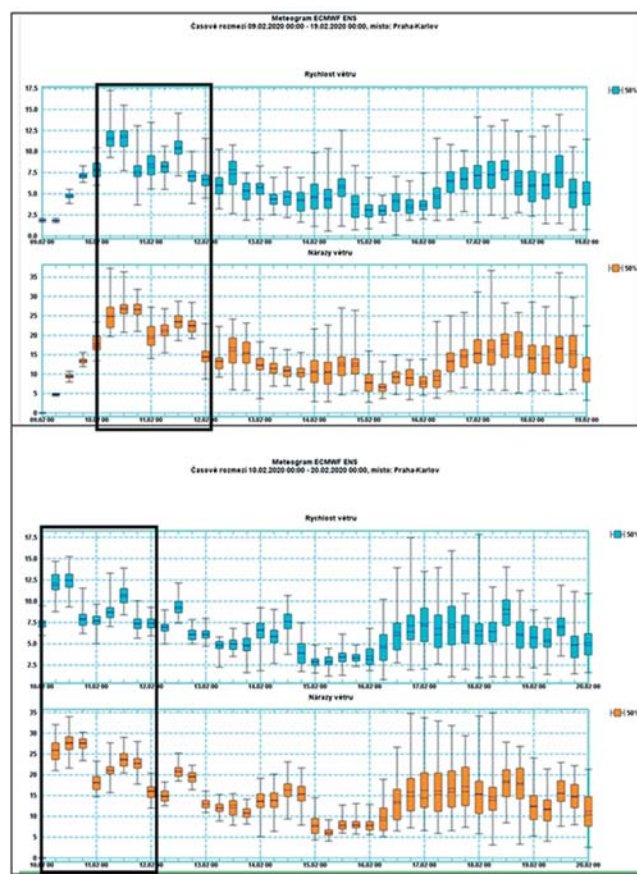


Obr. 11 Meteogramy průměrné rychlosti větru na 10 dní dopředu po 6 hodinách pro Prahu z ansámblů ECMWF z období 5. 2. (první shora) až 9. 2. 2020 (poslední dole). Zdroj: web ECMWF.

Fig. 11. Meteograms of the average wind speed for 10 days ahead with 6 hour time step for Prague from the ECMWF ensembles from 5th February 2020 00:00 UTC (the first from above) to 9th February 2020 00:00 UTC (the last). Source: ECMWF website.

5. Předpovědi a výstrahy

Vzhledem k velmi dobré předpovědi větru numerickými předpovědními modely bylo možné avizovat tuto větrnou událost s dostatečným předstihem. Zde je nutno říci, že takové situace se silným větrem v souvislosti s přechody hlubokých tlakových níží předpovídají numerické modely převážně dobře. První předpověď silného nárazového větru o rychlosti 8 až 13 m.s⁻¹, místy s nárazy 20 až 25 m.s⁻¹, na horách kolem 30 m.s⁻¹ byla v předpovědích již 5. 2. na období 9. až 10. 2. V následujících dnech se tato předpověď téměř neměnila. Na období spojené s tlakovou níží Sabina byly vydány tři výstrahy. První (č. 21) byla vydána již 7. 2. 2020 v 10:42 na silný vítr pro Jihomoravský, Zlínský a část Olomouckého kraje a na velmi silný vítr pro zbytek území ČR s platností od 9. 2. 18 h do 11. 2. 18 h. Výstraha byla 9. 2. upřesněna v tom smyslu, že v dopoledních a poledních hodinách 10. 2. se v Čechách vyskytne extrémně silný vítr (ojediněle přesahující 30 m.s⁻¹ dle SIVS). Výstraha vydaná v dopoledních hodinách 11. 2. už upřesňovala časové a územní platnosti nárazů větru na aktuální den.



Obr. 12 Meteogramy předpovědi průměrné rychlosti (modré sloupce) a nárazů větru (oranžové sloupce) na 10 dní dopředu pro stanici Praha-Karlov z ansámblu ECMWF ze dne 8. 2. (nahore) a 9. 2. 2020 (dole) vytvořených v SW Visual Weather používaném v předpovědní službě ČHMÚ.

Fig. 12. Meteograms of forecasts of average speed (blue bars) and wind gusts (orange bars) for 10 days in advance for the station Prague-Karlov from the ECMWF ensemble from 8th February 2020 00:00 UTC (top) and 9th February 2020 00:00 UTC (bottom) created by SW Visual Weather used in the CHMI forecasting service.

6. Závěr

Únor 2020 se v dějinách pozorování počasí a měření meteorologických veličin zapíše v ČR jako jeden z nejextrémnějších. Byl v pořadí druhým nejsrážkovějším i druhým nejteplejším únorem od roku 1961 a bezesporu i jedním z největrnějších. Důvodem byla velmi intenzivní cyklonální cirkulace nad Arktidou a přilehlými oblastmi severního Atlantiku, což se projevilo výraznou kladnou fází arktické oscilace. Chybějící meridionální složka proudění nad Evropou a setrvání oblasti vysokého tlaku vzduchu nad jižní Evropou zapříčinilo, že se do střední Evropy dostával teplý a vlhký oceánský vzduch. Větrné počasí bylo i důvodem nadprůměrně vysokých teplot nejen u nás, ale i nad velkou částí evropského kontinentu a chybějícího sněhu v nížinách.

Největřnější období únorové cirkulace bylo spojeno s tlakovou níží Sabina, která ovlivňovala počasí v ČR ve dnech od 9. do 11. února 2020. Tato níže spolu s několika frontami způsobila intenzivní dynamické procesy přinášející na celé území ČR výrazné nárazy větru, které byly téměř srovnatelné s podobnými větrnými epizodami z nedávné doby (Kyrill, Emma, Herwart). Tato událost způsobila problémy v řadě odvětví a mimořádné nasazení složek IZS.

Analýza předpovědních výstupů ukazuje schopnost modelů s několikadenním předstihem předpovědět situace s výskytem silného větru, a to zejména s pomocí pravděpodobnostních výstupů. Blíže k události se do popředí dostávají výstupy z deterministických modelů, zejména modely disponující jemnější orografií – tedy regionální (lokální) modely. Velmi dobré modelové výstupy umožnily úspěšně předpovědět blízkost se větrnou událostí a s dostatečným předstihem upozornit v rámci SIVS na mimořádně nebezpečnou situaci.

Z pohledu předstihu vydávaných předpovědí, resp. výstrah na tuto větrnou událost nelze nic namítat. Otázkou je, zda v situacích, kdy počasí u nás ovlivňuje tak výrazná tlaková níže spojená s frontami, je na místě výstrahu časově rozdělovat, popřípadě určovat rozdílné stupně nebezpečí pro různé územní celky ČR. Totiž vítr, resp. nárazy se v takovýchto případech neprojevují kontinuálním charakterem (zesilování, vrchol a slábnutí větru), ale výrazně se liší v každé fázi, kdy je naše území pod vlivem této níže. V počáteční fázi se naše území většinou dostává do teplého sektoru níže, kde se kontinuální charakter přece jen projevuje. Poté následují přechod studené a často i podružné fronty, někdy doprovázené i bouřkami, kdy rychlost i nárazy větru často vrcholí, přičemž je velmi obtížné určit načasování a regionalizaci výskytu nejsilnějších nárazů. Situace se v tom směru dále komplikuje tím, že v týlu níže se často vyskytují intenzivní konvektivní procesy opět někdy doprovázené bouřkovou činností. Předem určit, kde se co vyskytne a s jakou intenzitou, je proto velice obtížné, někdy až nemožné. Vzhledem k tomu, že v takových situacích lze obvykle dobře předem určit, že se bude jednat o vítr s vysokým/extrémním stupněm nebezpečí, zůstává problémem především určit začátek a konec výstrahy jako celku bez žádného podrobnějšího časového vývoje, popř. i regionalizace.

Na závěr zůstává dosud ne zcela a jednoznačně zodpovězena otázka, proč se četnost výskytu výrazných větrných událostí v Evropě v poslední době zvyšuje a jak moc souvisí změny proudění v atmosféře se změnou klimatu, vyvolanou kromě jiného i lidskou činností. Pokud by důvodem k tomu bylo ohřívání oceánů, pak je zde další otázka, zda nás v budoucnosti nečeká častější výskyt rozsáhlých a hlubokých tlakových níží, a v důsledku tedy vícero zimních epizod/událostí se silným větrem.

Literatura:

AMBAUM, M., HOSKINS, B., STEPHENSON, D., 2001. Artic Oscillation or NorthAtlantic Oscillation? *Journal of Climate*, Vol. 14, Issue 16, s. 3495–3507.

SANDEV, M., 2007. Výjimečný průběh počasí v zimě 2006/2007 v Česku, 2007. *Meteorologické zprávy*, roč. 60, č. 4, s. 97–105. ISSN 0026-1173.

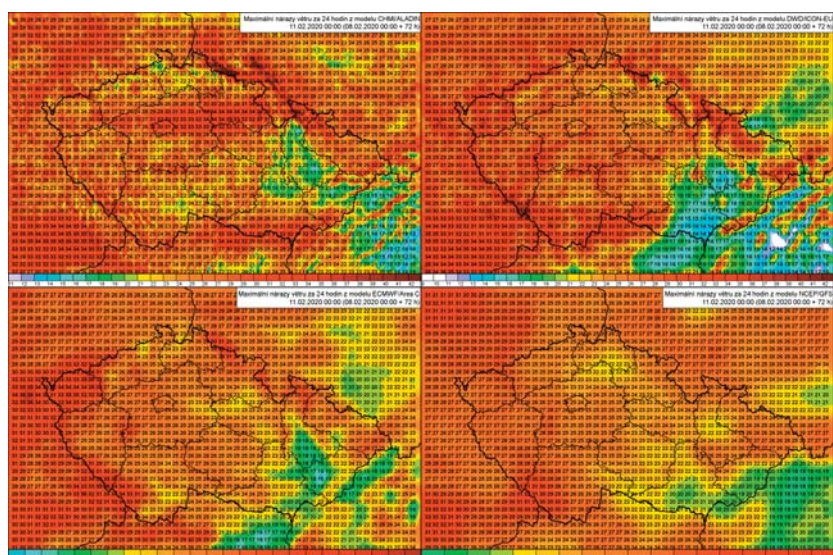
HOLUB, K., RUŠAJOVÁ, J., SANDEV, M., 2009. A comparison of the features of windstorms Kyrill and Emma based on seismological

and meteorological observations. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 18, No. 6, s. 607–614. ISSN 0941-2948.

HUJSLOVÁ, J., ŠIMANDL, P., 2018. Vyhodnocení vichřice Herwart 29. 10. 2017. Interní zpráva. Praha: ČHMÚ.

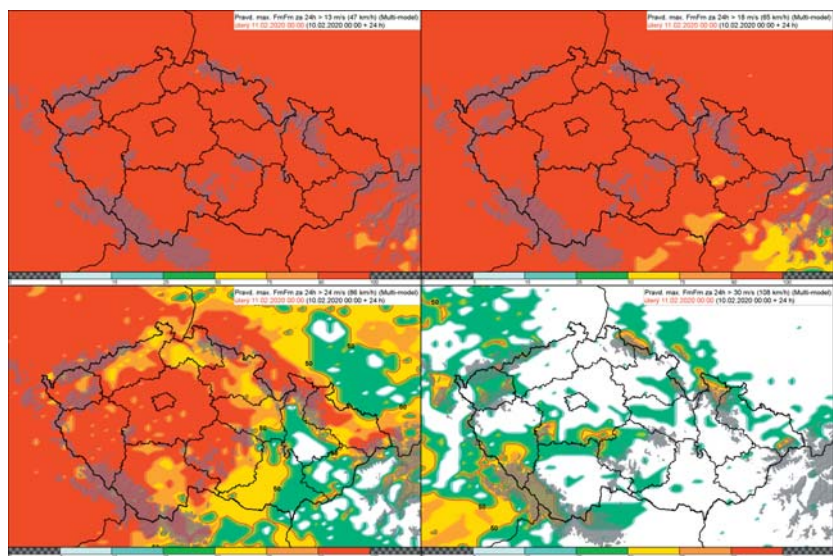
ECMWF, 2000. EFI wind gust [online]. Evropského centra pro střednědobé předpovědi počasí [cit. 30. 11. 2000]. Dostupné z WWW: https://www.ecmwf.int/en/forecasts/charts/catalogue/efi2web_10fg.

Lektor (Reviewer): RNDr. Roman Volný



Obr. 13 Předpovědi maximálních nárazů větru za 24 h z jednotlivých modelů ze dne 8. 2. 00:00 UTC na 10. 2. 2020 (Aladin nahoře vlevo, DWD nahoře vpravo, ECMWF dole vlevo a GFS dole vpravo).

Fig. 13. Forecasts of maximum wind gusts during 24hrs period from individual model runs from 8th February 00:00 UTC for the day 10 of February 2020 (model Aladin top left, DWD top right, ECMWF bottom left and GFS bottom right).



Obr. 14 Pravděpodobnosti maximálních nárazů větru za 24 hodin z multimodelu (vytvořeném z výstupů modelů Aladin, DWD, ECMWF a GFS) přesahujících 13 m.s⁻¹ (nahore vlevo), 18 m.s⁻¹ (nahore vpravo), 24 m.s⁻¹ (dole vlevo) a 30 m.s⁻¹ (dole vpravo) ze dne 10. 2. 00:00 UTC na 10. 2. 2020.

Fig. 14. Probabilities of maximum wind gusts during 24 hour period from a multi-model (created from the outputs of Aladin, DWD, ECMWF and GFS models) exceeding 13 m.s⁻¹ (top left), 18 m.s⁻¹ (top right), 24 m.s⁻¹ (bottom left) and 30 m.s⁻¹ (bottom right) from 10th February 2020 00:00 CET for the day 10 of February 2020.

POČASÍ A ROSTLINY

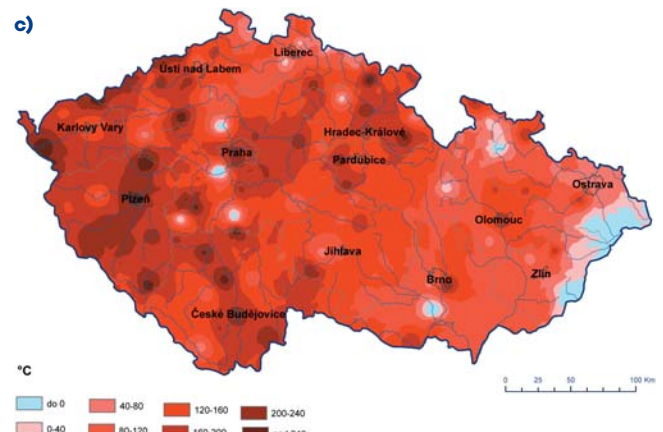
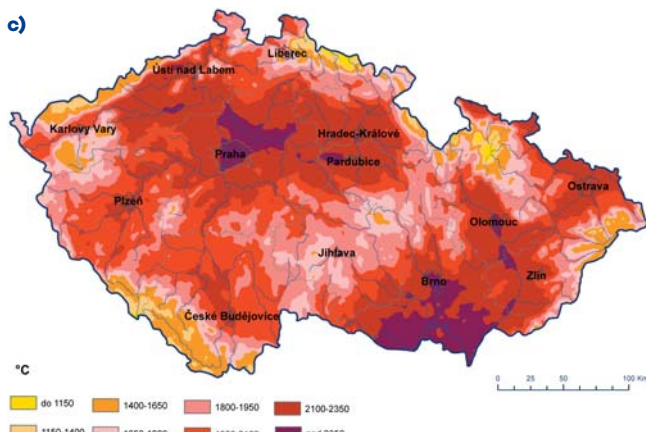
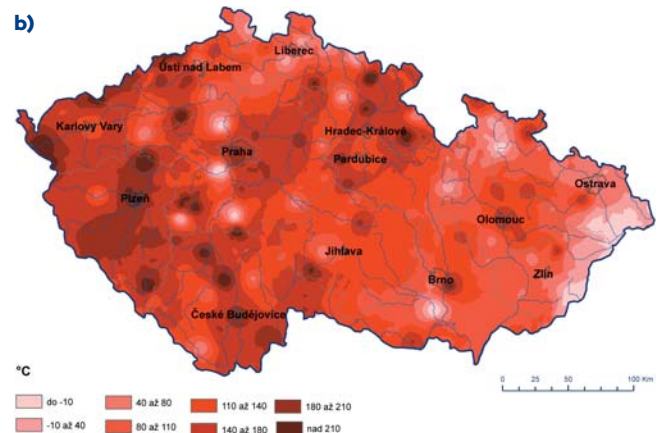
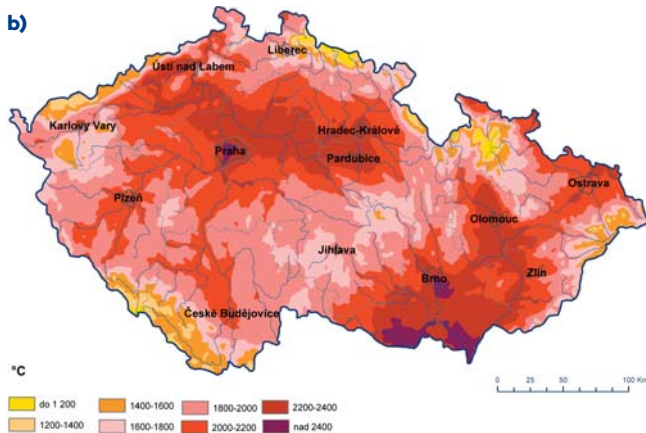
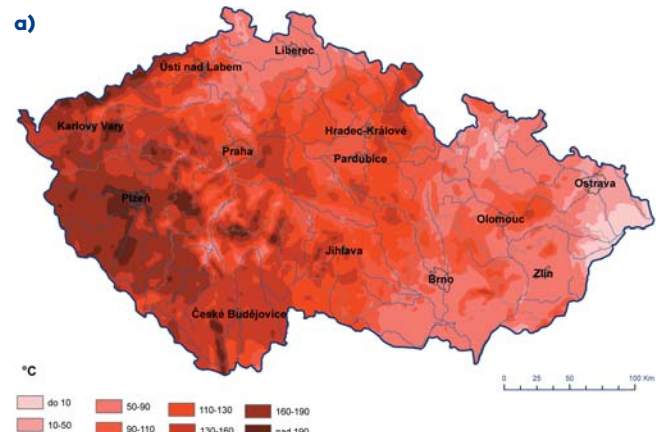
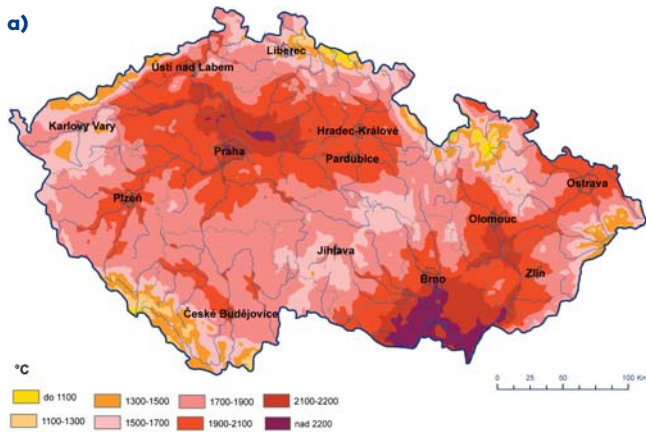
Fenologický vývoj na území ČR v září, říjnu a listopadu 2020

V tomto čísle Vás budeme informovat, jak se změnilы vybrané agroklimatické charakteristiky a jaký byl vývoj vegetace v průběhu podzimních měsíců září až listopad.

Suma efektivních teplot nad 5 °C od začátku roku k 30. 9., k 31. 10. a k 30. 11. 2020 je uvedena v následujících mapách

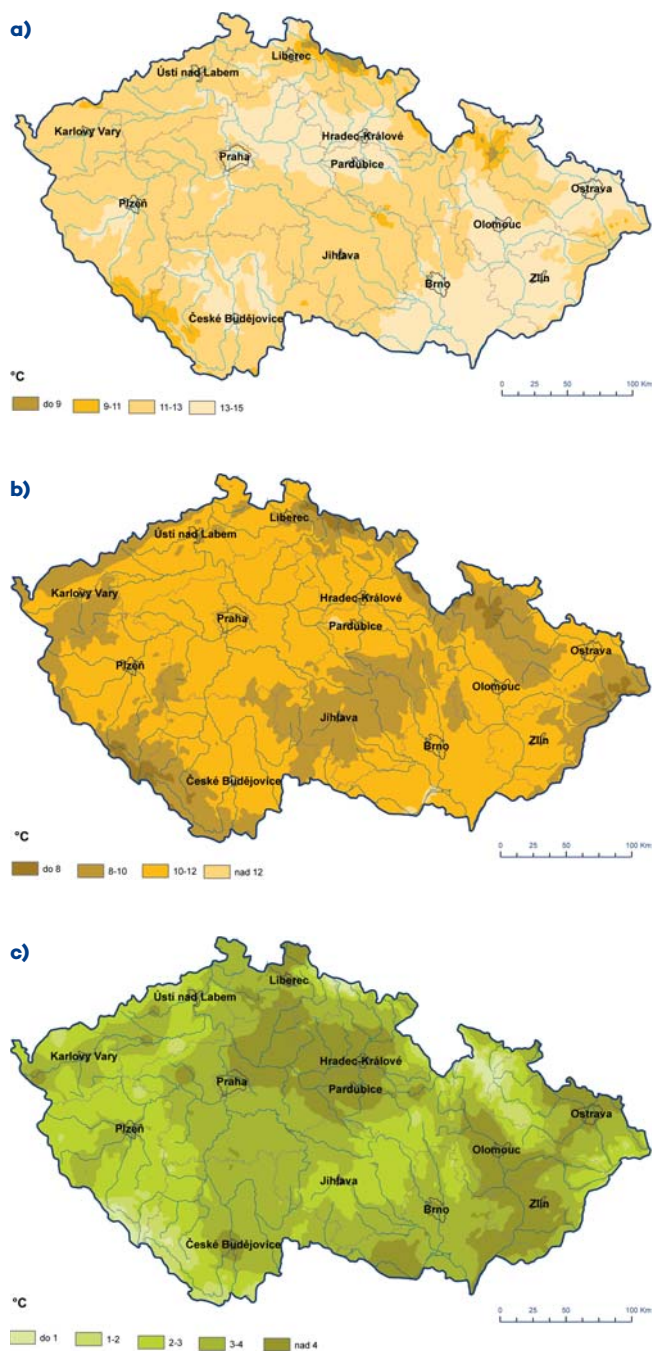
(obr. 1). Ke konci září se hodnoty na většině území pohybovaly v rozmezí 1 500 až 2 200 °C, ke konci října to bylo v rozmezí 1 600 až 2 400 °C a ke konci listopadu 1 650 až 2 350 °C. V nejteplejších oblastech České republiky na jižní Moravě, v okolí Prahy a Brna a v části Polabí byly sumy teplot nejvyšší, v září přesahovaly hranici 2 200 °C, v říjnu 2 400 °C a v listopadu 2 350 °C.

V září, říjnu i listopadu byly odchylky sum efektivních teplot od normálu 1981–2010 na většině území kladné (obr. 2a, b,



Obr. 1 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C k 30. 9. 2020 (a), 31. 10. 2020 (b) a k 30. 11. 2020 (c).

Obr. 2 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C (odchylka od normálu 1981–2010) k 30. 9. 2020 (a), k 31. 10. 2020 (b) a k 30. 11. 2020 (c).

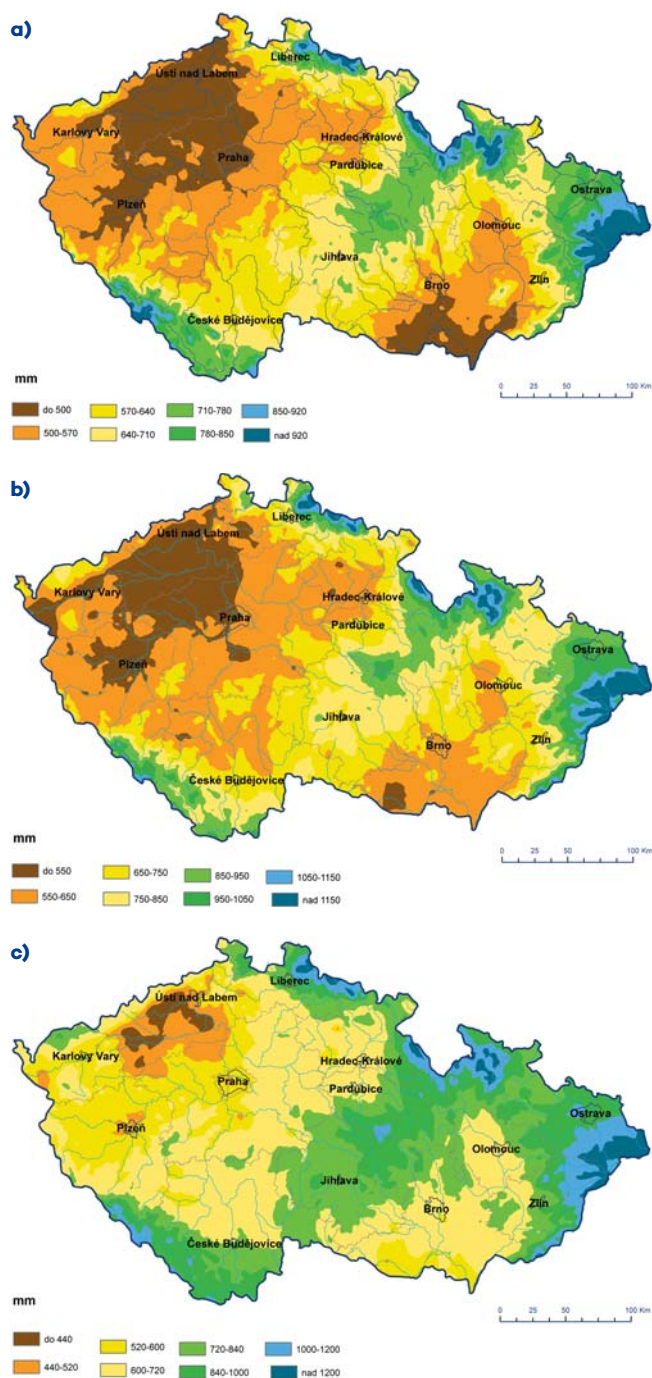


Obr. 3 Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 30. 9. 2020 (a), 31. 10. 2020 (b) a 30. 11. 2020 (c).

c), na území Čech byly hodnoty odchylek vyšší než na Moravě. Nejnižší hodnoty odchylek byly v hraničních oblastech se Slovenskem.

Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm byla 30. 9. 2020 v rozmezí 9 až 15 °C, 31. 10. 2020 byla v rozmezí 8 až 12 °C a k 30. 11. 2020 v rozmezí 1 až 4 °C (obr. 3).

Kumulativní úhrn atmosférických srážek (od 1. 1. 2020) k 30. 9., 31. 10. a k 30. 11. je zobrazen v mapách na obr. 4. Při srovnání s normálem (obr. 5) je vidět, že srážkový deficit se i nadále výrazně vylepšil. V některých oblastech byly vyhlášovány i stupně povodňové aktivity. A srážkový deficit se naštěstí výrazně vylepšil i v oblasti severozápadních Čech, kde byla situace nejkritičtější.

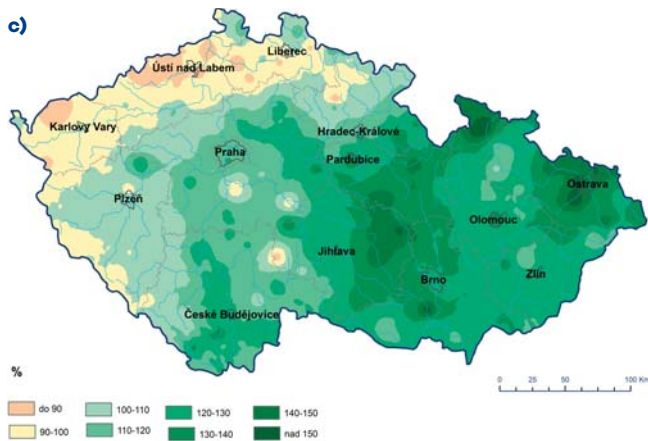
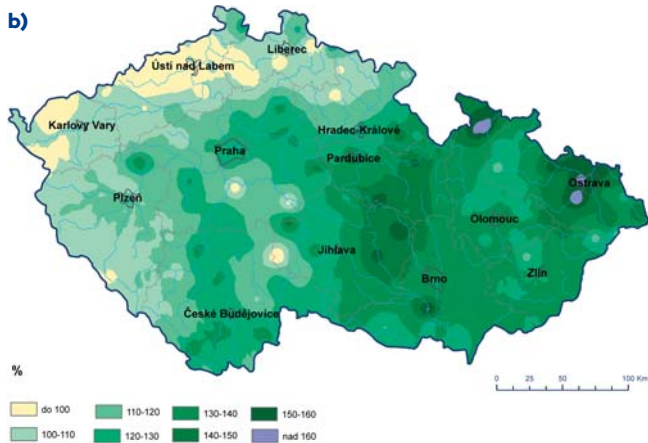
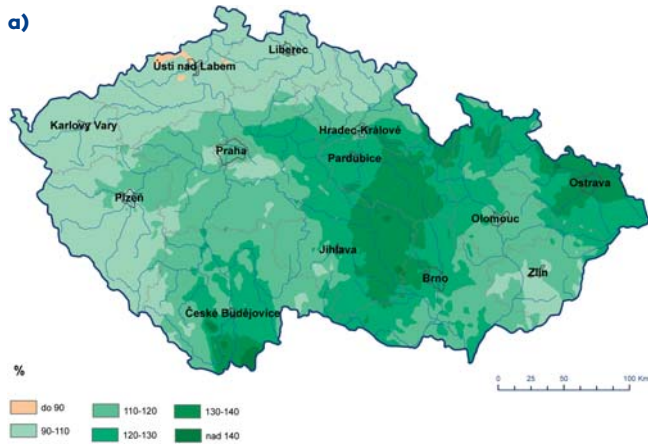


Obr. 4 Kumulativní úhrn srážek k 30. 9. 2020 (a), k 31. 10. 2020 (b) a k 30. 11. 2020 (c).

Vzhledem k vydatným atmosférickým srážkám v průběhu měsíců září a říjen došlo i k výraznému vylepšení vláhvých podmínek i v půdě, dokládají to údaje o míře ohrožení půdním suchem z konce září (obr. 6) a října (obr. 7).

Fenologický vývoj

Na začátku září probíhala sklizeň chmele, v průběhu září dozrávaly ovocné dřeviny (např. jabloně, hrušně, slivoně či réva vinná), dále dozrávaly plody lísky, hlohu, jeřabin a svídy krvavé. Hlohy a jeřabiny měly v letošním roce extrémní množství plodů. V první polovině září napadlo květ vřes a ocúny. Ocúny v letošním roce zdobily svými květy krajinu déle než 3 týdny. V polovině září začaly žloutnou některé dřeviny, např. habr

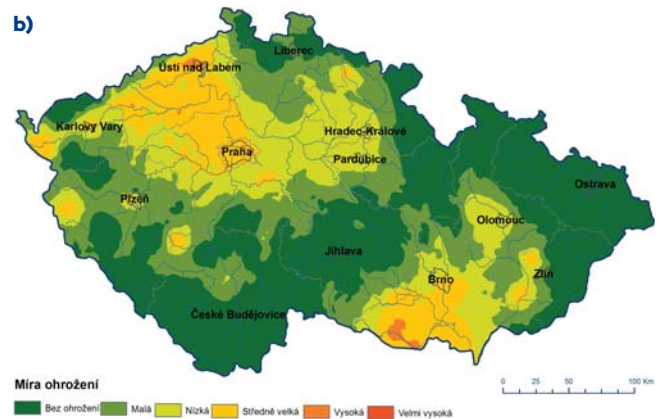
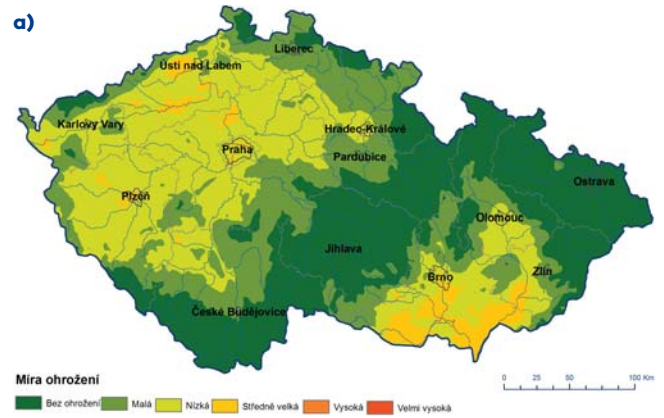


Obr. 5 Kumulativní úhrn srážek (% normálu 1981–2010) k 30. 9. 2020 (a), k 31. 10. 2020 (b) a k 30. 11. 2020 (c).

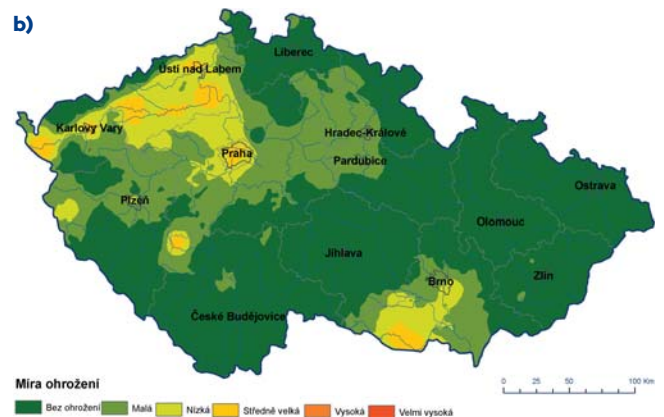
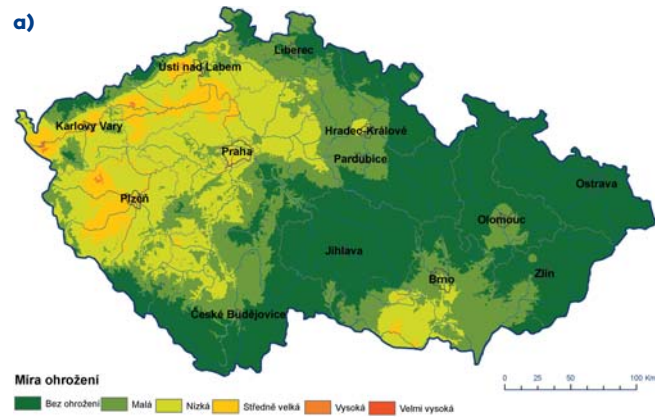
obecný, javor klen či třešň ptačí. Ve třetí dekádě září naplno dozrávaly plody dubů, buků a habrů. Začaly žloutnou a opadávat další dřeviny jako např. javor mlč, trnovník akát, bez hroznatý a další.

V průběhu října pokračovalo žloutnutí a opad listů. Začátkem října jsme zaznamenali na některých lokalitách předčasné žloutnutí modřínu (např. na stanici Mšecké Žehrovice ve středních Čechách).

V průběhu října stále probíhala sklizeň cukrovky, řepy krmné a kukuřice. Dále pokračovala i sklizeň košťalové zeleniny (zelí a kapusty) např. v Polabí. Na některých lokalitách byla sklizeň



Obr. 6 Míra ohrožení půdním suchem v hloubce 0–40 cm k 28. 9. 2020 (a) a v hloubce 0–100 cm k 28. 9. 2020 (b).



Obr. 7 Míra ohrožení půdním suchem v hloubce 0–40 cm k 26. 10. 2020 (a) a v hloubce 0–100 cm k 26. 10. 2020 (b).



Obr. 8 Fenologický podzim.

komplikována extrémním množstvím srážek, protože pole byla silně podmáčena.

Na některých fenologických stanicích jsme v průběhu uvedených dvou měsíců zaznamenali tyto fenologické zajímavosti:

Na stanici Příkosice v západních Čechách proběhla ve druhé polovině září druhá otavoseč, na stanici Sobotín na severní Moravě bylo zaznamenáno druhé kvetení u svídy krvavé a na



stanici v Českém Rudolci opětovně vykvetl blatouch bahenní, bez černý a mochna bílá.

Vzhledem k relativně vysokým teplotám vzduchu v září a říjnu jsme si mohli užívat pestré barvy podzimu déle, než je obvyklé (obr. 8). V listopadu probíhal opad listů a rostliny přecházely do vegetačního klidu.

Lenka Hájková

ANKETA

Co si myslí přední čeští odborníci o ochraně ovzduší?

Jednou z nejdůležitějších složek životního prostředí je bezesporu ovzduší. Vdechovaný vzduch a vše, co obsahuje, se dostává až do nitra lidského těla, a přímo tak působí, ať už pozitivně či negativně, na zdraví člověka. Proto je zajištění odpovídající kvality ovzduší věnována značná pozornost. Ochranou ovzduší se rozumí předcházení znečišťování ovzduší a snižování úrovně znečišťování na přijatelnou míru, tedy tak, aby byla omezena jak rizika pro lidské zdraví způsobená znečištěním ovzduší, tak snížena zátěž životního prostředí látkami vnášenými do ovzduší a poškozujícími ekosystémy a vytvořeny předpoklady pro regeneraci složek životního prostředí postižených v důsledku znečištění ovzduší. Znečištění ovzduší bylo u nás dlouhodobě vnímáno jako zásadní problém životního prostředí již od sedmdesátých a osmdesátých let dvacátého století, zejména v souvislosti se zkrácením očekávané délky života v tzv. postižených oblastech i s rozpadem lesních ekosystémů a odlesněním značné části některých našich pohoří v důsledku tzv. imisních těžeb. Dnes se situace v mnohém zlepšila, stále však lze u nás stejně tak jako prakticky v celé Evropě jako značný problém vnímat nadlimitní koncentrace aerosolu, přízemního ozonu a benzo[a]pyrenu. Je to především jemný aerosol, na který se vážou karcinogenní látky i toxické těžké kovy, který řadí některé regiony v České republice k nejvíce znečištěným částem Evropy.

A protože je kvalita ovzduší jedním ze tří oborů pěstovaných v Českém hydrometeorologickém ústavu, obrátila se redakce Meteorologických zpráv na přední české odborníky s otázkou, které problémy pokládají v současné době pro nás za zásadní a jak by bylo možné/vhodné je podle jejich názoru řešit. Odpovědi těch, kteří našli odvahu se veřejně podělit o své názory, zde předkládáme v abecedním pořadí. Hodnocení jednotlivých pohledů necháváme na čtenářích. Názory nevyjadřují postoje redakce.

prof. RNDr. Jan Bednář, CSc.

Katedra fyziky atmosféry,
Matematicko-fyzikální fakulta,
Univerzita Karlova, Praha



Problémy ochrany ovzduší před antropogenním znečištěním vykazují velkou a trvalou dynamiku, některé se daří alespoň dílčím způsobem úspěšně řešit, objevují se však stále nové. Tyto problémy souvisejí s celkovým stavem společnosti a tvoří součást širokého spektra ekonomických, politických, hygienických, obecně environmentálních, ale i filozofických a morálních společenských vztahů. Jsou tedy jako celek součástí komplexního problémového okruhu, který namnoze vyplývá z dominantně spotřebního charakteru soudobé společnosti tzv. západního typu. Ta se v dnešním vyústění dosavadního historického vývoje stala jakýmsi prototypem moderního fungování celé lidské civilizace. Hypertrofovaná spotřeba nepochybně do značné míry představuje kořen všeho narušování přírodního a veškerého životního prostředí, současně však působí jako základní zdroj vývoje a rozvoje celé současné společnosti, a to tak, že její jakékoli zásadnější omezování je za dnešní situace nejen politicky neúnosné, ale vedlo by nakonec ke zhroucení celého systému soudobé ekonomiky. Faktické problémy ochrany čistoty ovzduší tedy nelze v jakýchkoli hlubších souvislostech řešit atomizovaně a bez širokého kontextu života soudobé lidské civilizace zahrnujícího velmi dramatické rozpory a zřejmá znepokojující rizika. Dnes se již setkáváme s mnoha impulsy svědčícími o tom, že naše civilizace fade muset, má-li si zachovat svoji základní životaschopnost, podstoupit hlubokou reformu svých idejí, svého celého ekonomického a politického systému. Tento gigantický úkol nám ve svých obrysech již zřetelně vystupuje nad obzor, ale jeho praktická realizace dosud nabízí poněkud mlhavý pohled. Zcela evidentní je však skutečnost, že bude náročným a bolestivým procesem omezujícím nároky moderního

člověka na pohodlí a nelimitovanou spotřebu materiálních i nemateriálních statků. Ve svém anketním příspěvku však nemohu nějak blíže rozpracovávat tak široké a dnes objektivně dosud nikoli zcela jednoznačně a definitivně zformulované téma. Omezím se proto na odborné úkoly a výzvy, které dnes zřejmě stojí před problematikou studia a hodnocení antropogenního znečišťování ovzduší a jejichž řešení směřuje k zajištění co nejširších a důvěryhodných odborných informací a podkladů adresovaných odborným, správním a politickým autoritám, ekonomické sféře, ale i celé občanské společnosti a široké veřejnosti. Pokusím se tyto úkoly pro přehlednost formálně rozčlenit do čtyř tematických okruhů.

(1) Hluboké změny, které nepochybně v relativně blízké době čekají naši společnost, a především její technickou a ekonomickou oblast, budou mít zřejmě značný dopad, a to z kvantitativního i kvalitativního hlediska, na emise antropogenních příměsí znečišťujících ovzduší a pocházejících z průmyslu, dopravy, zemědělství i celé komunální sféry. Odborný sektor ochrany čistoty ovzduší se proto bude muset vypořádat s velkými nároky na monitoring širokého rozsahu. Nepochybně vyvstane nutnost nových metod měření imisí i vyhodnocování emisí, zřejmě vstoupí do hry nově aktuální příměsí, některé naopak ztratí nebo omezí svůj současný význam. Trvalejší význam bude mít měření a sledování látek ohrožujících ozonoféru, a zejména celého souboru látek skleníkového charakteru. Vazby k celé problematice klimatických změn budou zřejmě mít rostoucí trend. Můžeme takřka s jistotou očekávat velké nároky na inovované metody měření, na přístrojové vybavení, způsoby zpracování a archivace dat, jejich transfery apod. To vše bude evidentně klást nové a značné nároky na inovace znalostí a kompetencí obsluhujícího personálu, na technické vybavení a v neposlední řadě nutno počítat i s novými nároky na finanční a organizační zajištění.

(2) V rámci celého posunu na relativně vyšší informační úroveň bude zřejmě třeba věnovat odpovídající pozornost modelování všech procesů souvisejících s transportem, prostorovou difúzí a všemi transformacemi znečišťujících látek v atmosféře. Nepochybně se budou nadále prohlubovat a všestranně rozvíjet vnitřní vazby a vztahy uvnitř triády sektorů matematického modelování v meteorologii, vytvářené modely pro obecnou předpověď počasí, pro vývoj klimatického systému a klimatické změny, nakonec pak modely zaměřenými na problémy ochrany čistoty ovzduší. Pokud jde o další vývoj naposled právě zmíněných modelů, bude zřejmě přednostně zaměřen na podrobnější a realističtější zahrnutí složitých procesů turbulentní difúze a formování struktury proudění nad složitým terénem.

(3) Významný pokrok se již dnes rýsuje a v blízké budoucnosti bude evidentně pokračovat v oboru atmosférické chemie. V současné době dochází k podstatnému prohlubování pochopení vzájemných vztahů a vazeb mezi chemií přirozené (přírodní) atmosféry a chemií antropogenních příměsí. Lze očekávat např. růst znalostí ohledně fotochemických reakcí souvisejících se vznikem přízemního a troposférického ozonu, transformací těkavých organických látek včetně těch biogenního původu, reakcí metanu, atd. Značný význam třeba přisuzovat heterogenním reakcím produkujícím jemné aerosolové částice. V širších souvislostech je zde možno zmínit pozornost věnovanou aerosolové složce znečištění ovzduší. Zde nepochybně existují komplexní vztahy k celkové fyzice a chemii atmosférického aerosolu, které se aktuálně nabízejí jako objekt specializovaného výzkumu s dopady směřujícími mj. k fyzice oblaků a srážek. Z hlediska zdravotních a obecně environmentálních rizik bude zřejmě velká pozornost věnována problematice mikročástic a nanočástic.

(4) Úkoly ochrany čistoty ovzduší ve smyslu, jenž odpovídá souboru činností příslušejících dnešnímu ČHMÚ a s ním blíže kooperujícím organizacím a institucím, se budou nepochybně nadále kvantitativně i kvalitativně prohlubovat a rozvíjet do podoby zásadně důležité a obsahově široké veřejné služby. Tato služba dnes má a nadále evidentně bude mít prohlubující se charakter masivního poskytování odborně kvalifikovaných, v maximální možné míře vědecky ověřených, důvěryhodných a pro daný účel srozumitelně formulovaných informací. Dnes není sporu o tom, že základní a primární princip ochrany čistoty ovzduší nemůže spočívat v ničem jiném než v omezování emisí antropogenních znečišťujících příměsí, ať již jde o radiačně aktivní látky (skleníkové plyny), látky ohrožující ozonoféru, či nejrůznější škodliviny nebezpečné zdravotně nebo z hledisek mnoha dalších environmentálních vlivů. Rozhodnutí o způsobech omezování nebo přímo eliminace emisí, o tom, kterým třeba případně věnovat přednostní pozornost, v jakém rozsahu, s využitím jakých technických a ekonomických prostředků apod. samozřejmě spadá do ekonomické, správní a politické sféry. Přísluší odpovědným orgánům a institucím státního, popř. komunálního charakteru. Úkolem odborné části ochrany čistoty ovzduší je pak přijmout v plném rozsahu odpovědnost za to, že k takovýmto rozhodnutím budou mít příslušné orgány vždy kvalifikované a pro dané okolnosti úplné informace umožňující volit v daných souvislostech co nejúčinnější strategie a způsoby realizace redukování emisí. Součástí těchto informací musí vždy být zcela systematické upozorňování na všechna rizika související v daných okolnostech se znečišťováním ovzduší. Nelze přitom opomíjet soustavné informování směrem k veřejnosti a přímo do občanské sféry. Toto informování nesmí zamlčovat nebo jakkoli umenšovat veškerá hrozící rizika, musí probíhat v duchu předběžné opatrnosti, ale na druhé straně musí mít, a to především v zájmu svojí obecné důvěryhodnosti, vždy racionální povahu a nemělo by zbytečně nabíhat do hysterizujících tónů. Při veškeré odborné náročnosti a serióznosti musí být sdělování informací pro veřejnost srozumitelné a přesvědčivé, neboť politici dnes nakonec vždy utilitárně sledují to, co si veřejnost přeje, tzn. o čem se jí v tomto případě podařilo seriózně přesvědčit. Rozvíjení takové veřejné služby evidentně představuje kontinuální úkol pro odborné útvary ochrany čistoty ovzduší. Ke všemu tomu, co bylo právě naznačeno, nutno ovšem trvale a efektivně rozvíjet vědecký výzkum, a to především ve směrech, jež byly zmíněny v předchozích bodech.

RNDr. Václav Čilek, CSc.

Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Praha



Za tři základní problémy současného klimatu a prostředí můžeme považovat běžně diskutované dopady klimatických změn. Patří mezi ně (1) oteplování planety, které mění teplotní podmínky zejména mezi oceánem a pevninou, a tím i planetární hydrologický cyklus, (2) acidifikace oceánů a (3) nitrifikace či obecněji eutrofizace prostředí. Pojdme se zastavit u posledního bodu, jehož dopady jsou méně známé. Nitrifikace mění mykorrhizní přenos. Zjednodušeně můžeme říct, že v lese mykorrhiza nejenom dodává živiny a někdy i vodu, ale také chrání stromy před jinými houbami. Jeden z důsledků nitrifikace způsobené „napůl“ hnojením a „napůl“ provozem automobilů je další oslabení lesa. Na poli nitrifikace ničí edafon, který je nositelem přirozené úrodnosti půd a vyžaduje nutnost další chemizace. Jedním z mnoha dopadů je biochemické ztužení podorničí a vznik dešťové pasti,

tedy slehlé polohy, kde došlo ke zničení původní drobtovité půdní struktury a tvorbě pevnějšího, pro vodu špatně propustného horizontu. Tady už je obtížné hovořit o nějakém škodlivém aspektu, protože se jedná o synergickou kombinaci více pohrom. Eutrofizace i acidifikace půdního prostředí a oceánů má jako při dřívějších krizích (silur, devon aj.) schopnost rozvrátit mikrobiální kolébky, který udržují stabilitu ekosystémů a jsou zodpovědné za biogeochemické cykly prvků včetně uhlíku. Oslabujeme podpůrnou síť planetárního života, samotný základ biosféry.

Druhá velká skupina faktorů, které nepřejí řešení problémů, jsou psychologické. Z dřívějších studií (Mary Norgaard a další) víme, že když se v životě komunity objevuje nějaký problém, tak dochází k jeho popření (viz Psychology of Denial). Norgaardová pozorovala, že když možnost klimatické změny byla spíš teoretická, tak na ni věřilo víc lidí, než když se začala hmatatelně projevovat. Čím je problém chroničtější a hůře řešitelný, tak na něj „věří“ méně lidí. Vědci se někdy domnívají, že kdyby lidé lépe věděli, jak např. funguje globální oteplování, tak by víc slyšeli na kroky vedoucí k nápravě. To je jen částečná pravda, protože lidé přijímají fakta nikoliv jen podle svého vzdělání či inteligence, ale podle vlastního hodnotového žebříčku nebo podle emoční matrice (E. Fromm). Vysvětlit veřejnosti klimatickou změnu proto vyžaduje nejenom práci s fakty, ale také s emocemi. Podle studií dřívějších krizí hodně pomáhá soucit a otevřenost ke světu, což jsou vlastnosti, které strach uzavírá. A toho je dnes hodně.

Toto současné období proto považují za kompozitní krizi, spletenou z více zdánlivě nesouvisejících pramínek – k ekonomické krizi roku 2008 se v roce 2020 přidává koronavirus a zároveň dozrává (či v některých regionech dozrála) klimatická krize a zřejmě se dají čekat další sociální a ekonomické dopady, jako je chudoba. Cestu k nápravě vnímám nejprve jako návrat běžné vědecké racionality např. v energetice založené na energetické návratnosti (EROEI) s přihlédnutím k Jevonsově paradoxu či Khazzoom-Brookesově postulátu a v životě obecně k výpočtu uhlíkové stopy. Zatím to nikde na světě není politicky průchozí, ale hodně zvažuji koncepci Václava Smila o „energetice dobrého života“. To je situace, kdy máme k dispozici takové bohatství, jež nám umožňuje vést dobrý život, ale neničí přitom živý základ planety, který udržuje biogeochemické procesy, a tím má vliv na klima a chod celého zemského systému.

V polovině 60. let byla v tehdejším Československu spotřeba vody kolem 260 litrů na osobu a den a očekávalo se, že kolem roku 1990 může dosáhnout americkou úroveň kolem 500 litrů na osobu a den, ale ve skutečnosti následkem nečekaně vysokých cen v 90. letech klesla na 80–100 litrů na osobu a den, aniž bychom to pociťovali jako nějakou újmu na osobním pohodlí. V chudých zemích se uvažuje o systému, kdy spotřeba dejme tomu 50 litrů na osobu a den bude brána jako právo člověka na vodu a ta bude laciná, zatímco při vyšší spotřebě dojde k progresivnímu zdražení cen vody. Podobně je nutné začít se dívat na energetickou spotřebu či na potraviny do určité míry jako na právo člověka a teprve od určité míry jako na přepych, který ohrožuje dobrý život ostatních lidí. V. Smil odhaduje, že k dobrému životu je zapotřebí 100 GJ na osobu a rok, ale nové technologie mohou tuto spotřebu dál snížit. Naše civilizace zatím spíš počítá s téměř neomezenou spotřebou laciné energie, ale to je právě cesta vedoucí k systémovým problémům v životním prostředí, klimatickým změnám a obecně k vytváření dluhu, který splácí příroda, chudší část populace a budoucí generace. Cílem je spíš určit, kolik energie (vody, potravin, výrobků) máme při šetrném vztahu ke světu k dispozici, a podle toho s ní hospodařit.

prof. RNDr. Ivan Holoubek, CSc.

RECETOX, Přírodovědecká fakulta,
Masarykova univerzita, Brno
CzechGlobe, Ústav výzkumu
globální změny AV ČR, v. v. i., Brno



Možná stojí za to se znovu zamyslet nad tím, proč vlastně máme problémy s chemickými látkami v prostředí, proč vlastně máme problémy s chemickým znečištěním prostředí a jeho složek včetně ovzduší. Jistě jedním z hlavních problémů první poloviny 20. století byla neexistence odpovídající legislativy chránící prostředí před znečišťováním a chránícím živé organismy včetně člověka. To vedlo ke skutečnosti, že vyrábíme a používáme velké množství chemických látek, jejich směsí a materiálů. Chemické znečištění prostředí a jeho složek je proto oprávněně považováno za lokální, regionální i globální hrozbu vyžadující urychlená řešení. Díky výrobě a použití se do prostředí dostávalo/dostává velké množství průmyslových chemikálií, zemědělské chemikálie, farmaceutické a veterinární, antibiotika, zpomalovače hoření, plastifikátory, nověji nanomateriály, plasty a mikroplasty.

Chemické látky se tedy mohou dostávat do jednotlivých složek prostředí z velkého množství různých zdrojů a aplikací, a to jak přírodních, tak i antropogenních. Mohou být transportovány ve složkách, kam byly primárně emitovány, mohou přecházet přes mezifázové rozhraní do dalších složek prostředí, během tohoto svého transportu mohou být chemicky transformovány a vytvářet sekundární znečištění.

Potenciál k dálkovému transportu stabilních chemických látek, kovů, částic vede k planetární distribuci, kdy se tyto látky dostávají z míst, kde se vyráběly a používaly, do míst, kde se nikdy nevyráběly a nepoužívaly. Dochází tedy nejen k lokální kontaminaci okolí zdrojů, ale také k distribuci znečištění na regionální, kontinentální a globální úrovni. Mnohé z nich mohou být přijímány živými organismy a mohou se v nich kumulovat nebo vyvolat negativní účinky až smrt. Kontaminace prostředí a živých organismů různými chemickými látkami a jejich směsmi představuje tedy vysoké a často dlouhodobé riziko pro lidské zdraví a přírodní prostředí.

Myslím, že je velmi důležité si stále klást otázku, proč tomu tak je. Klíčové pro posouzení chování chemických látek v prostředí či živých organismech je jejich struktura. Ve struktuře chemické látky jsou zakódovány její fyzikálně-chemické vlastnosti, možnost reakcí, to, jak se bude chovat v prostředí, jak se bude chovat v živých organismech. Chování chemických látek v prostředí charakterizuje jejich osud v prostředí – vstup z různých zdrojů přírodních nebo antropogenních, transport složkami prostředí, mezifázové přechody z jedné složky prostředí do druhé a možné transformace v prostředí. Každá složka prostředí má svá specifika, jak pokud jde o možné transportní procesy, tak pokud jde o možné transformace a reakce.

A všechny problémy spojené s chemickým znečištěním prostředí souvisí s tím, že jsme v době, kdy jsme tu či onu látku nebo jejich směs začali vyrábět a používat, neznali – a tím pádem nerespektovali – vztah mezi strukturou a osudem v prostředí. Co se stane, když je látka přítomna v určitém množství v některé ze složek prostředí, co se s ní děje, zda reaguje nebo je naopak stabilní a kumuluje se v prostředí nebo živých organismech, zda mohou reakcemi v prostředí z látek primárně do prostředí vnášených vznikají sekundární a často nebezpečnější produkty, jak dlouho v prostředí setrvávají, jak jejich přítomnost v prostředí ovlivňuje přírodní procesy. Kdybychom tomuto vztahu rozuměli ve dvacátých letech minulého století, nedošlo by během ná-

sledujících dekád k tolika problémům na lokální, regionální či globální úrovni a nebylo by jejich současné řešení tak složité a hlavně drahé.

Seznam zdrojů chemických látek a jejich směsí je velmi dlouhý, takže i řešení problémů s nimi spojených je velmi složité. Z těchto četných zdrojů se dostávají do prostředí a živých organismů často vysoká množství různých chemických látek a často také velmi složité směsi chemických látek různých problémových vlastností. O účincích těchto směsí látek na živé organismy máme stále relativně omezené informace přes desetiletí trvající intenzivní výzkum.

Chemické látky se tedy dostávají do prostředí z různých zdrojů. Výsledkem je distribuce chemické látky v prostředí, její koloběh prostředím, možný globální výskyt a možné vlivy na organismy, jejich populace, společenstva a ekosystémy.

Například v atmosféře se chemické látky mohou vyskytovat jednak v plynné fázi, jednak rozpuštěné v různých formách atmosférické vody a jednak vázané na povrch tuhých částic vnášených do atmosféry z různých zdrojů nebo v atmosféře vznikajících. Atmosféra je nejpohyblivější složkou prostředí, látky se díky jejímu pohybu mohou dostávat tisíce kilometru od místa původního vstupu. Díky přítomnosti intenzivního slunečního záření a vysokých koncentrací kyslíku jsou dominantními reakcemi fotolýza a fotochemická oxidace. To vede k velké rozmanitosti chemických reakcí, které mohou transformovat primárně emitované látky na jiné, představujících sekundární znečištění.

Potenciál k dálkovému transportu atmosférou závisí na stabilitě látek. Reaktivní látky z atmosféry díky rychlosti reakcí vymizí v řádově minutách či hodinách. Látky s dlouhou dobou života v atmosféře se v ní mohou vyskytovat desítky let jako např. tzv. freony. Tyto jejich vlastnosti umožňují cirkulaci mezi jednotlivými ekosystémy, přičemž ovzduší je hlavní složkou, v němž k přenosu dochází. Vzhledem k převládajícímu charakteru globálního atmosférického proudění, možnému vytěkávání z kontaminovaných složek prostředí, vazbě na částice půdy, které mohou být větrnou erozí unášeny atmosférou, dochází k systematické migraci látek do chladnějších zeměpisných oblastí bez ohledu na umístění původních zdrojů. Atmosférická depozice je pak převládající cestou mnoha těchto polutantů do moří a oceánů.

To vše je důležité pro pochopení souvislostí mezi chemickými látkami a jejich směsmi vstupujícími do atmosféry a prostředí z nejrůznějších zdrojů a procesy probíhajícími v prostředí, které vedou k distribuci na regionální nebo globální úrovni, přechodům mezi složkami prostředí nebo jejich kumulací v prostředí nebo živých organismech anebo přeměnám a následným reakcím přeměňujícím původně vnesené látky na jiné, často problémovější nebo škodlivější.

Je také nutné chápat souvislosti mezi procesy v prostředí – např. mezi osudem chemických látek v prostředí a možnými změnami klimatu. Ty mohou mít vliv na osud chemických látek v prostředí, především změny intenzity zpětného vypařování z povrchu do atmosféry ze sekundárních zdrojů, změny větrných polí a rychlosti větru, srážek, oceánických proudů, tání polárních a horských ledovců. Osud chemických látek v prostředí ovlivňuje také vyšší frekvence extrémních událostí.

Pokud jde o možnost dopadu dalších faktorů globální změny na znečištění prostředí v ČR, budou hrát roli: (1) Zvýšení pohyblivosti látek dlouhodobě deponovaných v půdách, sedimentech, na skládkách v důsledku možného nárůstu teploty, intenzity srážek, výskytu extrémních událostí, jako jsou povodně, sucho, nárůst eroze. (2) Zvýšení atmosférického transportu z území/na území ČR z emisních oblastí v důsledku vyšší rychlosti větrů. (3) Změny v průběhu a rychlosti degradace a biodegradace chemických

látek vedoucí ke vzniku potenciálně toxičtějších produktů transformací. (4) Změny v charakteristice atmosférické depozice v důsledku změn v intenzitě srážek.

Dalším problémem spojeným se znečištěním ovzduší jsou možné vlivy na lidské zdraví. V uplynulých desetiletích v řadě zemí včetně ČR podstatně klesly emise mnoha látek znečišťujících ovzduší, což vedlo ke zlepšení kvality ovzduší v celém regionu. Řada problémů však přetrvává zvláště v regionech s vysokou koncentrací průmyslových zdrojů, jako je u nás například ostravský region. Největší problémy jsou spojeny v současnosti především se znečištěním ozonem, oxidem dusičitým a jemnými atmosférickými částicemi, zvláště pokud mají na svém povrchu sorbovány toxické látky vznikající především při spalovacích procesech. Dlouhodobá nebo maximální expozice těmto znečišťujícím látkám může mít na lidské zdraví různě závažný vliv, od poškození dýchací soustavy až po předčasné úmrtí. Negativní vlivy znečištění ovzduší na lidské zdraví potvrzuje řada epidemiologických studií z řady zemí.

Řešení problémů znečištění ovzduší započalo v šedesátých letech minulého století a představovalo a představuje složitý problém jednak technicky, ale hlavně finančně. Mezinárodní spolupráce vedla k řadě dohod s jasně pozitivními výsledky. Zlepšování kvality ovzduší nejde vždy stejným tempem jako celkový pokles antropogenních (způsobených lidskou činností) emisí látek znečišťujících ovzduší. To má více příčin: (1) Neexistuje vždy jasná přímá úměra mezi poklesem emisí a koncentrací znečišťujících látek zjištěných v ovzduší. (2) Zvyšuje se význam dálkového přenosu látek znečišťujících ovzduší z jiných zemí severní polokoule do Evropy. Většina část průmyslových zdrojů bylo v podstatě díky mezinárodním úmluvám a zpřísnující se národní legislativě vybavena zařízeními pro zachycování emisí. V průmyslu a v dopravě můžeme změnit paliva, eliminovat vysoce znečišťující technologie například přechodem na nízkouhlíkové technologie.

Důležitou otázkou je efektivita přijímaných opatření a zajištění kontrolních mechanismů spojených s dodržováním existující legislativy. Toho může být dosaženo např. v dopravě omezením rychlostí, či zlepšením plynulosti provozu. To lze realizovat u každé skupiny zdrojů znečištění ze staveb, plynovodů, teplovodů, vodních staveb, a souvisejícími právními předpisy. Samozřejmě existuje řada opatření na úrovni měst a obcí vedoucích ke zlepšování znečištění ovzduší např. výsadbou a péčí o rostliny, které spotřebovávají oxidy uhlíku a produkují kyslík do ovzduší, výsadbou a péčí o lesy, které zadržují vodu, zpomalují procesy vysychání krajiny a související zvyšování prachu v ovzduší.

Mezinárodní spolupráce, technický pokrok, a především vysoké finanční vstupy významně snížily problémy znečištění ovzduší během minulých 50 let. Snad nebude trvat dalších 50 let, než se problémů znečištění ovzduší – a prostředí – zbavíme.

RNDr. Bohumil Kotlík, Ph.D.

Národní referenční centrum pro vnitřní a venkovní ovzduší, Centrum zdraví a životního prostředí, Státní zdravotní ústav, Praha



Anketní otázka je vlastně docela záladná. Předpokládá všeobecnou znalost situace a jejího vývoje, schopnost a hlavně možnost anticipovat široký rozsah problematiky, mít povědomí o možných a reálných technologiích a o existenci lidí, kteří jsou schopni a ochotni používat i svůj (selský) rozum.

Jsem v oboru už asi 35 let, takže jsem opravdu začínal s logaritmickým pravítkem a následně levnou kalkulačkou na mokré chemii – na klasických absorpčních postupech, některé do dneška svůj význam neztratily – jsou jenom pracné a integrální. Měli jsme už AAS, GC, polarografy a UV-VIS, absorbery, impingery, první elektrochemické analyzátory. Bylo to takové to předvěké/pravěké období, kdy si chemik myl nádoby sám, byl schopen a někdy nucen si přístroje sám kalibrovat (tenkrát opravdu neexistovala ČIA) a opravovat. Sám si vzorkoval a sám pak měřil a vyhodnocoval (a taky sám za všechno odpovídal). Byla to však krásná chemie nebo elektrochemie v plenkách. Mělo to jednu nepopíratelnou výhodu. Jeden věděl, jak konkrétní číslo vzniklo a jaká je jeho možná chyba, a tak nebyl pro něj celkem problém toto číslo interpretovat. Znal dobře odběrovou lokalitu – vždyť si často sám odebíral vzorek nebo jeho odběr řídil. A pokud náhodou pracoval na správném místě, byl schopen výsledky hodnotit nejenom ve vazbě na tehdy spíše nedodržované limity, ale i vzhledem k tehdy známým možným dopadům na zdraví. To, že lokálně měřené hodnoty v řádu jednotek miligramů u SO₂ nebo hodnoty TSP na úrovni 250 µg/m³ ročního průměru tenkrát nikoho na vyšších místech zase tak moc netrápily a že to bylo dlouho utajováno, není už teď podstatné.

Po roce 1989 se všechno změnilo, životní prostředí se dostalo téměř na piedestal zájmu. Pro venkovní a vnitřní (pracovní a nepracovní) ovzduší máme odborníky, velmi dobré modeláře a statistiky, máme výkonné počítače, všespatitelný software, vyvíjejí se stále dokonalejší analyzátory a analytické přístroje a starý vtíp „jestli to umí vařit i kafe“ tak už ztratil pointu. Umíme měřit stále více látek při stále nižších koncentracích a víme o nich stále víc a víc, a to že si někdy odporujeme, vyplývá jen a jenom z vývoje poznání a z toho, že máme kontakty se zahraničními pracovišti.

Takže je vše v pořádku? ... Nebo snad ne?

Máme totiž taky aktivní „aktivisty“ a „erudovaná“ media, máme „rozhodující“ politiky, privátní laboratoře, také velmi aktivní výrobce s kvalitní PR. A abych nezapomněl na strýčka Googla, máme vševědoucí internet, a z toho vyplývající nárůst odborníků a konspiračních teorií u laické veřejnosti. Ročně se pořádá řada specializovaných konferencí a seminářů, vychází celá plejáda odborných periodik (část z nich zaplevelených nevýznamnými sděleními; k čemu jsou nám/mi proboha výsledky měření ovzduší ve škole v Číně nebo vyhodnocení vlivu spolupůsobících zdrojů znečištěného ovzduší v Panamě?).

Jo a máme pořádek víc a víc práce a méně lidí. Noví sice průběžně přichází z různých škol, ale většinou se to, proti jejich přesvědčení a vysoké hladině sebevědomí, musí nějakou dobu učit. No, a když to umí, tak často odejdou s dobrou referencí jinam, většinou za vyšším platem. No, a starší ročníky to pak musí nějak zachraňovat, zaplatpámbu za ně. Začíná se nám tu ale prosazovat Murphyho posloupnost:

1. čím více toho víme, tím dražší a složitější přístroje potřebujeme,
2. čím dražší a složitější přístroj, tím dražší a náročnější provoz, údržba a obsluha,
3. čím vyšší nároky na pracovníka, tím užší specializace,
4. čím užší specializace, tím, až na světlé výjimky, užší nadhled a přehled,
5. čím užší přehled, tím větší podíl manažerského řízení a technicistního přístupu,

Jsme dlouhodobě podfinancovaní, a to nejenom v platové sféře. Vyboxovat si nový přístroj (dnes v cenové relaci většinou v řádu milionů) není nic jednoduchého. Všechno se musí řešit formou grantů a přitom splnění požadovaných náležitostí všechny zúčastněné až neúměrně zatěžuje. Přijmout nového pracovníka, který přichází s představou nástupního platu na úrovni dnešního vedoucího odboru s dvaceti lety praxe, není možné. Když mu možný nástupní plat oznámíte, většinou se při odchodu usměje a nezanechá na sebe ani kontakt. A to nemluvíme o několikaměsíčním souběhu nového a „starého“ pracovníka, když už se nechá někdo zlomit.

Uvědomme si, že měříme stále kontaminaci prostředí a hodnotíme jak případné překročení limitů, tak odhadujeme možné dopady na zdraví. Dáváme informace veřejnosti a příslušným orgánům. A všechny postupy modelování, vyhodnocení a interpretace dat mají výrazně větší nejistotu než konkrétní analytická metoda. Je tedy v pořádku se primárně starat jen o tu 5 až 10procentní chybu analytické metody (to se samozřejmě musí taky řešit) a neřešit chybu vzorkování či snad dokonce reprezentativnost odběru vzorku? (A že ta je opravdu důležitá). Je správné se ve vyhodnocení omezovat na prostou, až na kost ořezanou deskriptivní? Je dobře, když analytik není schopen posoudit, zda je jeho výsledek vůbec možný? Je správné v rámci vyšší medializace realizovat plošné měření, které potvrdí jen to, co všichni dávno vědí a je již několikrát potvrzeno? Je opravdu nutné provádět politické zakázky, které jen zřídka dávají smysl? Je správné, podle aktuální potřeby, výsledky bagatelizovat nebo demonizovat?

Nebo jsou všechny výše uvedené případy jenom součástí doby a postupně se to urovná?

Protože obor se stále rozvíjí. Nejedná se pouze o nějaké limitované škodliviny ve vyhlášce, nařízení, směrnici či v zákonu. Hledáme vazby, souvislosti a indikátory. Narůstá počet senzorových měřidel. V pracovním, ale i ve vnitřním prostředí se rozvíjí nanotechnologie, ve venkovním ovzduší začínáme měřit částice v řádu jednotek nanometrů. Velmi populárními tématy se stala elektromobilita, SMART CITIES nebo GREEN CITIES. Začínají se využívat satelitní data. Na internetu lze dohledat přešel různých indexů kvality ovzduší, získáváme informace o nových látkách nebo nové informace o tom, co již dlouho sledujeme, vyvíjejí se bezemisní technologie, všichni diskutují uhlíkovou stopu...

Takže ještě jednou: „Které problémy pokládáte v současné době pro nás za zásadní a jak by bylo možné/vhodné je podle Vašeho názoru řešit?“ Není a nebude to jednoduché. Zkusím to shrnout:

- **Lidé** – potřebujeme nadšence, ale pokud je potřeba platem pokrýt základní potřeby – stane se to určitě pro životního partnera/partnerku, rychle problémem.
- **Škodliviny** – už dlouho nestačí měřit jen to, co má limit, ale musíme dál rozvíjet identifikace, modelová zpracování ...
- **Čím a jak měřit** – tady narážíme na obsluhy černých skříňek (Black box operator) s častou neznalostí principů metody a jejich záludností
- **Vyhodnocení** – nejde jen vysypat z mašiny na papír nebo do souboru čísla a rychle nahodit další šarži. Musí se na to někdo podívat, verifikovat, správně interpretovat a srozumitelně prezentovat – a zase jsme u přehledu a selského rozumu.
- **Média** – jakákoli interpretace chce příslušný nadhled, to je asi to, co nejvíce chybí. Umět publikovat tak, aby to bylo jednak pro odborníky a jednak srozumitelné pro lidi.

Řešení je vlastně jediné, dát dohromady ty správné lidi/nadšenec a srdcaře, podpořit je a rozvíjet jejich možnosti a schopnosti. Bude to pracné, někdy sisyfovské, ale jenom manažeři, zákony a normy nás nezachrání.

RNDr. Jan Macoun, Ph.D.

Český hydrometeorologický ústav, Praha



Člověk svojí činností nepříznivě ovlivňuje kvalitu ovzduší v podstatě od té doby, co začal využívat oheň. S rozvojem řemesel a později průmyslové výroby zasahovalo znečištění ovzduší čím dál tím větší území a rostly i koncentrace znečišťujících látek v ovzduší. Nejhorší situace byla v polovině minulého století, kdy došlo k řadě nechvalně známých smogových epizod provázených extrémním nárůstem koncentrací. V důsledku silného znečištění docházelo ke zvýšenému počtu úmrtí a též poškozování ekosystémů. Příkladem katastrofální situace byla známá londýnská smogová epizoda z roku 1952, při které zemřelo podle odhadů až 4000 lidí, nebo tzv. kyselé deště, které v druhé polovině minulého století poničily rozsáhlé lesní ekosystémy v Evropě.

Jednotlivé vlády si postupně uvědomovaly závažnost situace a svoji pozornost začaly obracet i k problematice snižování emisí, zpočátku samostatně, postupem doby v široké mezinárodní spolupráci. Prvním právně závazným dokumentem, jehož účelem bylo řešit problémy spojené se znečišťováním ovzduší společně, byla v roce 1979 Úmluva o dálkovém znečišťování ovzduší přecházejícím hranice států (CLRTAP).

V posledních desetiletích bylo na poli snižování znečišťování ovzduší vykonáno velké množství práce a emise znečišťujících látek skutečně poklesly. Snižování emisí věnuje značnou pozornost i Evropská unie a další rozvinuté státy. Přesto situace stále není ideální a mnoho ještě zbývá udělat, a to nejen v rozvojovém světě. Zvýšené koncentrace znečišťujících látek stále způsobují předčasná úmrtí, přispívají ke vzniku širokého spektra nemocí a poškozují vegetaci a ekosystémy. To vše vede také k velkým ekonomickým ztrátám. Další snižování emisí znečišťování ovzduší vyžaduje nejen spolupráci na široké mezinárodní úrovni, ale také zapojení široké veřejnosti.

Jak bylo řečeno výše, znečištěné ovzduší provází člověka v podstatě celou historií. Z počátku se do ovzduší dostávaly především produkty spalování z otevřených ohnišť, která lidé využívali k vaření a topení, později též při řemeslné výrobě. Stejným problémem zůstaly exhalace uvolňované do ovzduší při hoření ve starověku i středověku. I v současnosti představují emise znečišťujících látek vzniklé při spalování fosilních paliv, zejména v lokálních topeništích, velmi významný zdroj škodlivých příměsí.

Emise z průmyslové výroby a energetiky jsou do značné míry legislativně regulovány a jednotlivé podniky jsou nuceny ke snižování své emisní zátěže.

Jiná situace je v emisích produkovaných v rámci lokálních kotlů, které provozují přímo jednotliví občané. Tyto zdroje jsou významné zejména v menších obcích. Měření prováděná Českým hydrometeorologickým ústavem ukazují, že kvalita ovzduší ve venkovských sídlech není dobrá, přestože se ve vybraných lokalitách nenacházejí žádné významnější zdroje. Problematické jsou zde zejména nadlimitní koncentrace benzo[*a*]pyrenu, který je produktem nedokonalého spalování při teplotách 300 až 600 °C. Jedná se o látku, která je karcinogenní a mutagenní. Stát

investuje prostřednictvím dotací do obnovy kotlů v rodinných domech nemalé finanční prostředky, reálný dopad těchto aktivit je ovšem silně ovlivněn chováním konkrétních občanů.

Další oblastí, ve které se přímo promítají modely chování jednotlivých lidí, je doprava. V řadě případů je volba mezi individuální dopravou a hromadnou dopravou věcí osobního pohodlí, přičemž doprava představuje další významný zdroj znečištění. I v oblasti dopravních emisí je vyvíjen silný legislativní tlak zejména na vývoj nízkoemisních nebo bezemisních vozidel, nicméně bezemisní není žádné auto. Znečišťující látky včetně skleníkových plynů jsou uvolňovány ať už přímo při provozu vozidla nebo nepřímo při jeho výrobě.

Emise znečišťujících látek spojené s činností jednotlivých občanů je velmi obtížné regulovat pomocí direktivních opatření. Efektivnější cesta je výchovou a ovlivněním myšlení lidí tak, aby přizpůsobili vzorce svého chování požadavkům na snižování emisní zátěže.

Cesty k tomu, jak snižovat individuální dopad působení každého člověka na kvalitu ovzduší jsou známé. V oblasti spotřeby energie je to omezování vlastní energetické náročnosti například využíváním energeticky úsporných spotřebičů, vytápění obydlí na nižší teplotu, než jsme zvyklí, je-li to možné výstavbou a využíváním obnovitelných zdrojů energie. Nepochybně mezi tato opatření patří i výběr vhodného paliva, které odpovídá použitému kotli. Obrovský rozdíl v emisích je mezi spalováním vyschlého dřeva a dřeva mokrého, mezi tím, zda topíme v optimálním režimu kotle nebo oheň dusíme. Samostatnou kapitolou je spalování materiálů, které do domovního kotle na pevná paliva v žádném případě nepatří (např. umělé hmoty, guma, oleje smíchané s uhelným prachem).

Do oblasti snižování dopravních emisí patří preference hromadné dopravy, volba ekologicky šetrného způsobu pohonu vozidel, ale i upřednostňování lokálních výrobků a sezónních potravin, které není třeba přepravovat na velké vzdálenosti.

Domnívám se, že před vládami jednotlivých států, ale i před odborníky a pedagogy stojí velký úkol výchovy lidí k ekologicky šetrnému chování. Relativně malou změnou chování lidí můžeme výrazným způsobem snížit emisní zátěž a přispět ke zdravějšímu životnímu prostředí.

prof. RNDr. Ing. Michal V. Marek, DrSc.

CzechGlobe, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Brno



Lidská společnost byla, je a bude vždy vystavena změnám, které probíhají na naší planetě a jsou víceméně na naší civilizaci nezávislé. Naopak my jsme na těchto změnách velmi silně závislí a mnohdy důsledky těchto změn jsou až pro nás fatální. V současné době, ale zjevně razantní působení způsobené právě existencí naší civilizace, které mnohdy až razantně zasahuje do zmíněných procesů.

Za této situace, stavu, naší civilizace se prosazuje, a to velmi silně, nový významný fenomén, fenomén Globální změny (GZ). Pojem GZ se často zužuje pouze na pojem „Globální změna klimatu“, či ještě úžeji „Globální oteplování“, které je součástí globální změny. Co je pro tento fenomén významné a činí jej tak bezprecedentním je to, že je úzce spojován s činností člověka, tedy bytím naší civilizace. Tato vazba je tak silná, že lze dokonce akceptovat tvrzení, že GZ je přímo důsledkem lidské činnosti. Globální změ-

na je výrazně odlišná od minulých lokálních environmentálních problémů. GZ má bezprecedentní globální charakter. Působí na vše a všude. Obecně tento vliv je tak silný, že hovoříme o epoše „antropocénu“. Epocha, kdy globální prostředí planety Země je výrazně určováno činností člověka.

Většina z nás vnímá, že míra našeho působení na okolní svět je už tak velká, že ovlivňujeme fungování planety Země. Naše civilizace se neustále vyvíjí a je tedy logické, že její dopad na globální ekosystém planety Země je evidentní. Hlavním hybatelem je nesporně neustále se navyšující velikost lidské populace. Populační růst je silný a navíc nárůst populace je nerozměrně distribuován mezi jednotlivými kontinenty a mezi regiony s různým stupněm rozvoje. Chudší regiony vykazují větší explozi populačního růstu. Prudce se rozvíjející populace zvyšuje své nároky na potraviny, vodu, energii, spotřební zboží a celkové „well-being“.

V současnosti prožíváme situaci, kdy obecným životním stylem je přístup „carpe diem“. To samozřejmě neplatí pro celou naši civilizaci, ale opět to přispívá k její diferenciaci. Lze konstatovat, že obecně touha po požitku, spotřebě a individualistickému chápání světa naprosto převládá. Konzumní společnost to je zřetelný, masivní a globální trend. Tyto trendy životního stylu najdeme jak ve vyspělých západních společnostech, tak i v rozvojovém světě. Mimo tyto trendy samozřejmě existují i alternativní přístupy k životu reprezentované různými typy náboženství, dobrovolnou změnou životního stylu, komunitními aktivitami apod. Ale trendy konzumního stylu v současném světě převládají.

Lze konstatovat, že převládá obecný postoj: budoucnost – vzdálený bod, který nemusíme „řešit nyní“. Je to jistá analogie k našemu postoji ke smrti. Víme, že konec našeho život nastane, přesto ale náš současný denní život to neovlivňuje. Jako by naše společnost byla ovládána fenoménem zvaný „despotický antropocentrismus“ (Papež František 2015). Takže vysoce aktuální je otázka typu: „kam až jsme ochotni zajít“, „v čem se omezit“. Současná globální společnost žije „dluhovou mentalitou“. Jedni odkládají manželství, druzí si půjčují víc, než můžou splácet, a další víc kácejí, než sázejí. Narůstá trend postupného zvyšování chronických problémů, které, když překročí nějakou hranici stability, způsobí dokonalé zhroutilí systému.

GZ je tak v centru pozornosti jak odborné, tak i laické veřejnosti a stala se nejen ekologickým, sociologickým a technickým problémem současnosti, ale má i výraznou „politickou dimenzi“ s globálním dosahem. To významně ztěžuje racionální rozhodování. Politické aspekty vnímání GZ jsou neuvěřitelně silné a mnohdy jsou příčinou dělení společnosti. Současnost ale přináší důkazy o tom, že zájem veřejnosti o problematiku GZ stoupá, souvisí to jak s mírou osvěty, tak i se zcela evidentními důkazy toho, že se „něco děje“. GZ se stává celosvětovým politickým problémem. Co je asi s ohledem na vztah společnosti k problémům s GZ to nejpodstatnější? Určitě to, jaký bude zvolen k tomuto problému přístup. Tedy, buď bude GZ uchopena ve smyslu adaptace a mitigace, nebo bude onálepkována jako „zelený, levičácký -ismus“. Takže, s ohledem na toto štěpení v nastavení osobního morálního postoje společnosti ke GZ, je na místě si položit čtyři základní otázky: (1) Je současný globální ekonomický systém připraven, ochoten či schopen efektivně reagovat na globální změnu, respektive globální klimatickou změnu (GKZ)? (2) Potřebujeme nový politicko-ekonomický systém, jenž umožní růst společnosti na „low carbon resp.“ „zero fossil“ bázi? (3) Jsme jako současná civilizace na tyto změny připraveni? (4) Jak budou reagovat lidská společenství s rozdílným životním stylem, náboženskou orientací či morálními pravidly?

Při hledání odpovědi je nutné připomenout jednu zásadní skutečnost. S ohledem na GZ nelze najít zásadní rozdíly mezi tzv.

socialismem a kapitalismem. Mezi systémy autoritářskými a demokracií. Každý tento ekonomicko-politický systém proklamuje jako svůj cíl dosažení maximální životní úrovně populace. K tomu cíli směřují tyto systémy svou orientací na ekonomický výkon s cílem dosažení trvalého ekonomického růstu, prosperity. Ztráta ekonomického růstu, to je něco, co tento ekonomický a následně politický systém nemůže tolerovat. Tudíž je maximálně alarmující otázka typu: Lze tento trend dosahovat do nekonečna? Je problém měnicího se světa, devastace přírodního prostředí a přírodních zdrojů tak zásadní, že ohrožuje naši civilizaci?

Úroveň naší civilizace je v současné době extrémně silně postavena na spotřebě fosilních paliv. Je až neuvěřitelné, jak silná tato vazba je. Markantní je využívání fosilních paliv v produkci energie, dopravě, průmyslové výrobě a zemědělství. Obrovské procento produktů jak denní či dlouhodobé spotřeby naší civilizace má svůj původ ve fosilních zdrojích, které za svůj původ vděčí fotosyntetické aktivitě autotrofních organismů (rostliny, řasy, sinice) před miliony let. Fotosyntetická produkce vždy využívala jako substrát oxid uhličitý a základním produktem této unikátní činnosti je formování uhlovodíků, tedy látek obsahující uhlík. Proto spotřeba těchto látek, tj. jejich „spálení“, je spojeno s produkcí CO₂ – významného „hráče“ ovlivňujícího skleníkový efekt atmosféry. Na tomto místě je vhodné upozornit i na to, že činnost naší civilizace významně ovlivňuje i jiné součásti našeho prostředí. Jsou to klasické polutanty, které rovněž souvisí s lidskou činností. Mnohdy za svůj původ „vděčí“ fosilním palivům. Je třeba připomenout, že problém „air pollution“ rozhodně není minulostí.

Závislost na fosilních zdrojích je v globálním světě rozdílná z důvodů rozdílné ekonomické síly a produkce. Opět se jedná o diferenciaci mezi tzv. vyspělým a rozvojovým světem. V důsledku silícího tlaku na omezování množství emisí skleníkových plynů, tedy především CO₂, dochází k novému jevu: přemístování fosilně závislé výroby, z vyspělých zemí do rozvojových oblastí. Tímto se fiktivně bohaté země dostávají do „vlídnější“ polohy, neboť omezují svou produkci emisí. Tento tzv. „uhlíkový kolonialismus“ problém globálního světa ale vůbec neřeší. Evropa má poměrně nízké emise. Jendou z příčin je to, že dováží produkty z energeticky drahých ekonomik. Např. v Číně až jedna třetina CO₂ emisí je spojena s produkcí energeticky „špinavých“ výrobků, které jak USA, tak Evropa ve velkém využívají (Newell, Paterson 2010).

Historie fosilní ekonomiky ukazuje na to, že se obecně zvyšuje efektivita využití těchto zdrojů. Na jeden kg uhlí se vyprodukuje více elektrické energie, automobily spotřebují méně paliva při stejném či vyšším výkonu, efektivnější využívání energie v průmyslu a domácnostech a dopravě. Ovšem je vhodné na tomto místě uvést, že toto nemusí platit vždy. Je potřeba upozornit na tzv. Jevonsův paradox, Jevons (1865), který lze považovat, za jeden z největších paradoxů environmentální ekonomie. Jev, kdy technologický pokrok přinášející větší efektivitu při využívání určitého zdroje neboli účinnost paradoxně zvyšuje spotřebu tohoto zdroje kvůli větší poptávce místo očekávaného poklesu spotřeby.

Při akceptování toho, že není jiné alternativy než postupně opouštět fosilní ekonomiku cestou, pak před námi stojí skutečně obrovská výzva. Pro tento přístup se výrazně protlačuje termín „Carbon Capitalism“ (Newell, Paterson 2010), tedy ekonomicko-politický systém, který je postaven na „dekarbonizaci“ ekonomiky. Svět založený nejen na nových technologiích, ale i na neotřelých hodnotových prioritách. Přístup osobního chování určeném alternativním rozumným zmírňováním našich

požadavků na životní úroveň, změn modelu spotřeby – to bude dominantní imperativ lidské civilizace v nejbližší budoucnosti. To bude spojeno i s postupnou změnou obecného morálního dogmatu naší civilizace. Ochrana životního prostředí a péče o něj – nedílná součást lidské morálky, jejího bazálního společenského intelektu. To znamená nejen zavedení pojmu „*ekologická ctnost*“, ale i skutečnou inkorporaci tohoto pojmu do společenského morálního konsensu.

prof. RNDr. Bedřich Moldan, CSc.

Centrum pro otázky životního prostředí, Univerzita Karlova, Praha



Termín ochrana ovzduší nemá zcela jednoznačný význam. Záleží především na tom, jaké měřítko máme na mysli: globální, lokální či vnitřní ovzduší budov, a rovněž je nutné vědět, před čím ovzduší chráníme, jaký je cíl ochrany. Pokud jde o měřítko globální, ovzduší zejména chráníme před škodlivými vlivy skleníkových plynů ovlivňujícími zemské klima a látek poškozujících stratosférickou ozonovou vrstvu. Do této kategorie patří i důsledky emisí aerosolů a plynů spojených se znečištěním ovzduší velkých průmyslových či městských aglomerací nebo s rozsáhlými lesními požáry, jež nepříznivě ovlivňují chemické rovnováhy, fyzikální i biologické vlastnosti atmosféry ve velkých geografických měřících včetně globálního rozsahu. Rockström a kol. (2009) určili devět zásadních planetárních mezí, které by neměly být překročeny, pokud lidstvo chce zachovat bezpečný prostor pro své aktivity. Celá třetina výčtu těchto mezí se přímo týká ovzduší: klimatu, ozonové vrstvy a atmosférického aerosolu. Autoři stanovili indikátory jednotlivých mezí, jako např. zvýšení radiačního výkonu atmosféry o 1–1,5 Wm⁻² nebo maximální hodnota 275 Dobsonových jednotek.

V užším smyslu máme obvykle na mysli ochranu ovzduší před znečištěním ohrožujícím lidské zdraví ve spíše lokálním měřítku. Lokální měřítko znamená, že projevy znečištění se bezprostředně projevují v daném místě nebo oblasti, ovšem v úhrnu může jít o problém globální, pokud je široce rozšířen. Pro znečištění ovzduší škodlivinami, látkami škodícími lidskému zdraví, to plně platí, předpokládá se, že působí ročně 6,5 milionů předčasných úmrtí. Největší počet připadá na účinky vnitřního ovzduší zejména v chudých rozvojových zemích, udává se 4,3 mil. předčasných úmrtí ročně. Vyspělé státy jsou na tom lépe, ale nikoliv dobře, pro Evropu se udává více než 400 000 a v České republice přes 10 000 předčasných úmrtí ročně. Stále platí, že tento jev znamená největší přímý vliv na lidské zdraví a životy vůbec ze všech environmentálních parametrů.

V České republice platí toto hodnocení v plné míře. Před listopadem 1989 mělo znečištěné ovzduší katastrofální rozsah, statistika vlivu na morbiditu a mortalitu sice není přesně známá, ale vliv byl nepochybně mimořádně vysoký a lidé si tohoto ohrožení byli vědomi, zejména v nejvíce postižených lokalitách. Nejvýznamnější škodlivinou byl oxid siřičitý, jehož koncentrace dosahovaly v extrémních hodnot až tisíců mikrogramů/m³. V současnosti nás tato látka tolik netrápí, i když ji nemůžeme zcela zanedbat. Je dostatečně známo, že nejzávažnější škodlivinou jsou jemné aerosolové částice, zejména s velikostí pod 2,5 mikrometrů (PM_{2,5}), které navíc mnohdy obsahují toxické organické látky, jako je například benzo[*a*]pyren. Nebezpečný je rovněž přizemní ozon jako součást tzv. letního smogu.

Díky široce založenému monitoringu je u nás k dispozici dostatek dat o kvalitě ovzduší i o negativních zdravotních vlivech a stále platí, že jde o velmi vážné ohrožení lidského zdraví, ale i životního prostředí v širším slova smyslu. Přesto, že po listopadu 1989 došlo k velmi pronikavému zlepšení kvality ovzduší, zůstává Česká republika a zejména některé její části, jako je Moravskoslezský kraj, mezi nejvíce znečištěnými oblastmi Evropy. V posledních letech se bohužel situace nelepší.

Jedním z programů, které by měly vést k výraznému zlepšení, jsou tzv. kotlíkové dotace. Jde o součást operačního programu Životní prostředí a v jeho rámci jsou poskytovány poměrně vysoké dotace (až 127 500 Kč) a celkově prostředky v řádu miliard Kč. Ministerstvo životního prostředí pro dotační titul na výměnu neekologických kotlů připravilo 9 miliard korun, kvůli zájmu přidalo dalších 1,5 miliardy Kč. Prostředky jsou určeny na účinné zdroje vytápění zejména rodinných domů, za které se považují tepelná čerpadla a moderní kotle. Mezi kotly jsou zařízení spalující zemní plyn, což sice může znamenat zlepšení z hlediska kvality ovzduší, ale zároveň přispívá k pokračování závislosti na fosilním palivu a nežádoucích emisích skleníkových plynů. V začátečních fázích byly dotace dokonce i na kotle na uhlí.

Velmi problematická je ovšem podpora kotlů na jakákoliv pevná paliva. Z hlediska mitigace změny klimatu je přínosné, že se dotuje spalování různých typů biomasy, avšak pro kvalitu ovzduší může být – a nepochybně skutečně je – moderní kotel přínosem, celkově to však není dobré řešení. Podle mnoha studií, které se zabývají emisemi z různých typů zařízení na pevná paliva, v praxi neexistuje spolehlivý postup, jak zabránit emisím aerosolových částic. Samozřejmě záleží na typu zařízení, výběru paliva či způsobu topení, ale k menší nebo větší zátěži kvality ovzduší dochází vždy. Vysoké částky, které jsou a budou na kotlíkové dotace uvolněny, nepřinesou výrazné snížení znečištění nebezpečnými škodlivinami PM₁₀ a PM_{2,5}.

RNDr. Rudolf Přibíl, CSc.

Ústav pro životní prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha



Život na zemi je bezprostředně ovlivňován ději v troposféře a stratosféře. Stratosféra má nezastupitelnou roli v ochraně Země před nebezpečným UV zářením díky ozonoféře, ve které vzniká a zaniká přírodními procesy ozón. Jeho kolísající koncentraci ovlivňuje člověk tím, že emituje plyny (freony, N₂O, CH₄) dostatečně stálé v atmosféře, které difundují přes tropopauzu do stratosféry, kde ničí ozón. Tento problém byl zdá se úspěšně vyřešen v roce 1987 přijetím Montrealského protokolu a jeho pozdějších doplňků.

Když přejdeme od celoplanetárních problémů k situaci v ČR, je nutno ocenit výrazné zlepšení ovzduší v posledních 25 letech způsobené radikálním odsířením uhelných elektráren. Problémem jsou dnes lokální zdroje znečištění koncentrující se do některých oblastí, jako je Ostravsko, těžební oblasti v severních Čechách a Praha s okolím.

Velkým problémem jsou u nás emise z dopravy, částečně způsobené vysokým průměrným stářím automobilového parku. Tento problém je umocněn nedostatečnou kontrolou produkce emisí zejména automobilů s dieslovým motorem. Emise hlavně v Praze rostou i díky vzrůstající oblíbenosti velkých a těžkých au-

tomobilů SUV s velkou spotřebou paliva. Jednoznačným doporučením je trvat na striktním dodržování předpisů regulujících emise automobilů a dramatické zvýšení pokut za jejich porušování. Ověřovat správnost měření emisí na stanicích STK a uplatněním vydáváním falešných emisních testů trestat jako podvod.

Dalším pozitivním počinem jsou tzv. kotlíkové dotace, které míří na zlepšení ovzduší ve venkovských oblastech. Představy o zdravém venkovském vzduchu jsou podle mých zkušeností, zejména v zimě, zcela iluzorní. Řadu dalších dotací považuji za zcela nevhodnou a nesmyslné utrácení peněz. V první řadě jsou to dotace na instalaci fotovoltaických panelů na střechách domů za účelem snížení uhlíkové stopy obyvatel. Je to finanční eldorádo pro nespočet soukromých firem nabízejících své služby při prodeji a instalaci panelů podepřené státní dotací. I s vydatnou dotací je návratnost investice velmi problematická vzhledem k omezené životnosti fotovoltaických panelů a nepatrné produkci energie v zimním období.

Tím se dostáváme k obrovským dotačním výdajům, které mají v tomto roce dosáhnout 46 miliard Kč, za účelem snížení emisí oxidu uhličitého do atmosféry. Od roku 2010 stát vyplatil cca 260 miliard Kč na podporu obnovitelných zdrojů hlavně fotovoltaiky. Za tuto sumu bychom mohli mít postavený další jaderný blok v Dukovanech. V době, kdy 1 kWh silové elektřiny stála něco přes 1 Kč, si zločinci v našem parlamentu před deseti lety odhlasovali výkupní cenu této energie na 13,20 Kč s dodatkem, že může být snižována ročně o pouhých 5 %. Někteří komentátoři toto rozhodnutí považují za nejdražší omyl parlamentu v dějinách ČR, který bude zatěžovat státní rozpočet po řadu dalších let. Miliardové výnosy z tohoto lukrativního byznysu, vlastněného z velké části zahraničními firmami odchází v nemalé míře do zahraničních daňových rájů. Proč naši neohrožení investigativní novináři nezveřejní seznam našich zastupitelů, kteří v parlamentu tehdy hlasovali pro zmíněný návrh? Jaderné elektrárny jsou povinny ukládat ze svých zisků předepsanou část na uhrazení nemalých nákladů spojených s jejich bezpečnou likvidací po skončení provozu. Existuje takové opatření i pro fotovoltaické elektrárny, které po cca 20 letech života po sobě zanechají hromadu nebezpečného a obtížně recyklovatelného odpadu?

Podle údajů Energetického regulačního úřadu (ERÚ) se v r. 2019 fotovoltaika podílela na celkové výrobě brutto elektřiny v ČR pouhými 2,42 % a celoroční průměrný koeficient využití instalovaného výkonu je pouze 11 %. Obdobná situace je v sektoru větrných elektráren, kde jejich výroba představovala pouze 0,79 % celostátně vyrobené brutto elektřiny. Vodní elektrárny včetně přečerpávacích vyrobily 1,91 TWh brutto energie tedy 2,18 % celkové výroby v ČR. Ve vykazování podílu obnovitelných zdrojů energie (OZE) na výrobě elektřiny se všechny státy EU snaží uvádět co nejvyšší hodnoty. V našem případě ERÚ vykazuje produkci přečerpávacích elektráren jako obnovitelnou energii zřejmě na základě primitivní úvahy: elektrickou energii přece produkuje proudící voda, tak to je OZE. Nebere se v potaz, že využívaná voda byla před tím napumpována do výše položené nádrže s použitím většího množství elektrické energie, než vyprodukuje při opačném procesu (celková účinnost se udává hodnotou 0,71). Jedná se tudíž o vhodný, i když nákladný způsob skladování elektrické energie, při kterém se ovšem 29 % energie uložené ztrácí.

Slunce je pro život na zemi nejdůležitější zdroj energie. V ČR dopadne v současnosti v celoročním průměru 1050 kWh sluneční energie na 1 m². Toto množství energie je rozhodující nejen pro fotovoltaické panely a i další OZE včetně využívání energie biomasy probíhající buď jejím přímým spalováním,

nebo přepracováním na jiná biopaliva. Potíž je v poměrně nízké energetické účinnosti fotosyntetického procesu, který má v našem klimatickém pásu hodnotu přibližně 0,36 % tedy 0,0036. Je nutno zdůraznit, že jakýmkoliv dalším zušlechťením biomasy na bioplyn či kapalná biopaliva se nezbytně část původní energie biomasy ztrácí např. jako CO₂ apod.

Bývalý ministr zemědělství pan Marian Jurečka prohlásil svého času v televizi, že v Česku je možno energeticky využít biomasu pěstovanou na jednom milionu hektarů zemědělské půdy, aniž by tím bylo ohroženo zásobování obyvatelstva potravinami. Vezmeme-li v úvahu současnou 22 % účinnost elektrárn spalujících biomasu pouhým vynásobením čtyř hodnot uvedených v tomto textu, zjistíme, že by se vyrobilo 8,3 TWh za ideálních podmínek, tedy necelá desetina roční produkce tuzemské brutto elektřiny. Tento příklad ukazuje, že veškeré naděje vkládané do fytoenergetiky jsou pouhou chimérou neinformovaných politiků a nevzdělaných zelených aktivistů.

Před řadou let paní Dana Drábová, ředitelka Úřadu pro jadernou bezpečnost, se podle mého názoru, velmi výstižně vyjádřila k budoucnosti OZE. Dovoluji si velice volně parafrázovat její názor: „Pokud nedojde k nějakému naprosto epochálnímu objevu ve fyzice, něco jako bylo štěpení atomu, který by umožnil skladovat levně a bezpečně velká množství energie, obnovitelné zdroje energie naleznou jen omezené uplatnění“.

Řešení problémů dneška spatřuji v urychleném přechodu na využívání jaderné energie, která řeší problémy s atmosférickými emisemi i bezuhlíkovou produkcí energií. Jak toho dosáhnout? Postupně zrušit veškeré státní dotace na stavbu a provozování obnovitelných zdrojů energie a ušetřené prostředky investovat do nových jaderných bloků.

prof. Michal Vojtíšek, M.S., Ph.D.

Centrum vozidel udržitelné mobility,
Fakulta strojní, ČVUT, Praha



Za zásadní pokládám samotný problém znečištění ovzduší – to je např. na první desítku příčin předčasného úmrtí – dále pak relativně netečný přístup velké části občanů i státní správy, bagatelizaci rizik v různých zprávách, studiích a rozhodnutí veřejné správy, a tzv. technologickou nekázeň, kdy například motory nebo spalovací zařízení jsou provozovány tak, že mají výrazně – to jest násobně, řádově – vyšší emise, než by měly být. Není to jen otázka závady či opotřebení zařízení, ale, bohužel, se tak často děje cíleně, emisní legislativu různými způsoby obcházejí výrobci, provozovatelé, v případě lokálních topenišť někdy i dodavatelé paliv a řekl bych, že často s vědomím různých akreditovaných laboratoří, a s vědomím orgánů státní správy, které na výrobce, provozovatele, akreditované laboratoře a další mají dohlížet. Za problematické zdroje považují spalovací motory, které jsou provozovány přímo uprostřed ulic, a lokální topeniště, zejména v chudších čtvrtích, kde každý topí tím, na co má. Větší průmyslové zdroje jsou dále od obytné zástavby, mají vyšší komíny, a většina z nich odpovědně používá poměrně účinné technologie na snižování emisí.

Z pohledu dopadu na zdraví vidím jako nejvíce rizikové částice, včetně na ně navázaných toxických, mutagenních, a jinak rizikových látek, a oxidy dusíku, včetně souvisejících dalších reaktivních sloučenin dusíku a včetně přizemního ozonu, kte-

rý by se bez oxidů dusíku v atmosféře běžně (kromě blesků) nevytvořil. Větší částice rychleji padají na zem a zachytávají se v nose, zatímco menší částice zůstávají v ovzduší déle. Ty nejmenší, které ani nejsou okem vidět, protože jejich průměr je výrazně menší než vlnová délka světla, se účinně zachycují v plicních sklípcích – nejvyšší účinnost zachytu mají částice o průměru deseti až nízkých desítek nanometrů – ty rovněž dle odborníků mají schopnost pronikat do krevního oběhu a také schopnost pronikat podél čichového nervu do mozku. Malých částic ve městě nadýcháme desítky milionů až jednotky, někdy i desítky miliard každou minutu, záleží na fyzické aktivitě a hlavně na vzdálenosti od zdroje, nejvyšší koncentrace jsou jednotky až desítky metrů od frekventovaných silnic, stavenišť, běžících fukarů a podobné techniky.

Oxidů dusíků (NO_x) je více, měří se zpravidla suma oxidů dusnatého (NO) a dusičitého (NO₂), případně jen NO₂, který je zdravotně rizikovější. NO vzniká při vysokých teplotách ze vzdušného kyslíku a dusíku, to jest při spalování čehokoli při vysoké teplotě s přebytkem vzduchu, od plynových sporáků a kotlů po spalovací motory. V atmosféře oxiduje na nahnědlý, dráždivý NO₂. NO₂ si ale vyrábějí, z NO, i novější naftové motory, aby s ním vypalovaly saze nashromážděné ve filtru částic. NO a NO₂ se pak mají redukovat v redukčních katalyzátorech, do kterých se vstříkuje vodný roztok močoviny, v Evropě známý jako AdBlue. Problém je, když ten poslední člen řetězce katalyzátorů někdo odpojí, aby ušetřil trochu AdBlue, nebo jej nemusel tak často doplňovat. Pak máme vysoké emise NO₂ přímo v ulicích, a jak bylo řečeno, NO₂ je výrazně škodlivější než NO. Nový naftový motor, není-li redukce NO_x ošetřena, je pak paradoxně horší pro zdraví lidí v ulicích než starý, který vypouštěl sice stejně NO_x, ale převážně méně škodlivý NO.

Co se týče technologické nekázně, nemyslím tím to, že někdo jezdí starým autem, nebo topí ve starých kamnech, protože na nové nemá, ale to, že topí elektrárenským uhelným prachem s vysokým obsahem síry, odpadky, nebo alespoň mokřým dřevem, kamna přidušují, nevmetají kamna ani komíny, motoristé pak zanedbávají údržbu a opravy, jezdí s nadměrně opotřebenými motory, a provádějí různé pokoutné úpravy, takže relativně nové auto je horším rizikem než historická ojetina.

Typickým příkladem je majitel poměrně silného velkého automobilu s naftovým motorem, který se výkonově přibližuje motoru osmnáctimetrového kloubového autobusu SOR, které jezdí alespoň po Praze docela svižným tempem. Ani tak velký výkon mu však nestačí a nechá si motor takzvaně přechřívát, bohužel poměrně amatérským způsobem, který spočívá v ošálení řídící jednotky, že do motoru jde méně paliva než ve skutečnosti. Řídící jednotka zvýší dávku paliva, výkon motoru se sice zvýší, ale díky palivu navíc má motor málo vzduchu a kouří. Je-li vybaven filtrem částic, jako jsou téměř všechny naftové motory vyrobené v poslední dekádě, pak se filtr částic logicky zanesou, protože nestíhá spalovat takové množství sazí. Zmíněný motorista tedy filtr částic odstraní, vyřízne jej celý nebo vytlučte jeho vnitřek, takže to při prohlídce není vidět, je to však poznat podle očázené karosérie a zejména při rozjezdu, kdy za vozem je černý, někdy i hnědý kouř. Řídící jednotka motoru si funkci filtru částic hlídá, a aby nic nepoznala, motorista ji ošálí nějakou úpravou nebo osazením speciální krabičky. S takovým vozem pak jde každé dva roky na technickou kontrolu, kterou by správně neměl projít, ale projde, protože výsledek měření je zfalšován. Děje se to asi ve velkém, protože systém technických kontrol zachytí – orientačně – jen asi každé desáté nevyhovující vozidlo. Kontrolní orgán, který by na to měl dohlížet, stejně tak jako orgán státní správy, který by na něj měl dohlížet, to buď nevidí, nebo to nechce vidět, protože se

to děje i přes upozornění dál. Dle mého odhadu – podloženém například měřením emisí částic několika tisíc vozidel v Praze během běžného provozu – produkuje polovinu všech částic pět až deset procent vozidel.

Pokud vybírám řešení jako technik, to jest, aby bylo proveditelné, co nejlevnější, a co nejrychleji vedlo ke zlepšení situace, pak navrhuji, abychom všichni v nějaké rozumně krátké době dali do pořádku své (technologické spalovací) hříchy. Seřídili motory, vrátili jim chybějící filtry a katalyzátory, vyčistili kamna, obstarali si sušené bukové dřevo a PET lahve plněné vyjetým olejem a pilinami, a další lahůdky, nechali Malešické spalovně, tedy pardon, zařízení pro energetické využití odpadu, která si s nimi poradí. Tím se v řádu měsíců zbavíme nejhorších znečišťovatelů. Měli bychom také přestat zhoršovat problém přeplněných silnic tím, že nebudeme povolovat záměry náročné na silniční dopravu, které nepřinášejí žádný závratný ekonomický, společenský či jiný užitek, jako např. logistické parky, montovny a obchodní centra.

Co se týče zmíněných záměrů – většinou mají kladné posudky EIA, které považují za stejně úsměvné jako to, že technickou kontrolou procházejí nevyhovující motory. Zde by se měla státní správa vzbudit a zvláště chybné EIA exemplárně zrušit a jejich zpracovatelům odebrat autorizace pro jejich zpracování.

Během na delší trať je postupná obměna topenišť a vozového parku, spojená vzhledem ke klimatickému závazku také přechodem na klimaticky (uhlíkově) neutrální zdroje energie. Kapalná paliva pro spalovací motory se budou nahrazovat obtížně, protože pokročilá biopaliva jsou zatím drahá, a nástup elektromobilů pomalý – zatím jediné dva typy masově dostupných elektrických pohonů jsou kolejová vozidla napájená z trakčního vedení (vlak, metro, tramvaje, trolejbusy) a malá bateriová vozítka, zejména elektrokola. Pozitivní zprávou je, že prudce narůstá počet cestujících v dálkové železniční dopravě, což má na snížení emisí daleko větší vliv než všechna v současnosti registrovaná elektroauta. Zcela určitě bude někdo brblat, že přechodem na hromadnou dopravu trpí automobilový průmysl – takovým připomeňte, že v naší zemi má dlouhou tradici výroba autobusů, trolejbusů, tramvají, lokomotiv, příměstských jednotek, elektrických pohonů, kolejnic, trakčních rozvodů a dalšího příslušenství a že drážní vozidla budou jezdit ne na dováženou ropu, ale na u nás vyrobenou elektrickou energii vyrobenou v elektrárnách postavených a vlastněných převážně našimi podniky.

Adaptačním řešením je pak omezení času stráveného v blízkosti zdrojů znečištění ovzduší. Příkladem může být omezení vjezdu a parkování v blízkosti škol (a odpovědí na četná brblání tím, že chůze je pro děti zdravá), nebo svobodná rozhodnutí jedinců např. výběrem tras, po kterých se pohybujeme, a míst, která navštěvujeme.

Literatura:

- NEWELL, P., PATERSON, M., 2010. *Climate Capitalism. Global Warming and the Transformation of the Global Economy.* Cambridge Univ. Press.
- PAPEŽ FRANTIŠEK, 2015. *Laudato Si. Encyklika papeže Františka o péči o společný domov.* Praha: Paulinky. 978-80-7450-280-4.
- ROCKSTRÖM, J. et al., 2009. *A Safe Operating Space for Humanity. Nature, Vol. 461, s. 472–475.*
- SMIL, V., 2017. *Energy and Civilisation: A History.* MIT Press. Cambridge. USA. ISBN 9780262338301.
- YORK, R., 2006. *Ecological Paradoxes: William Stanley Jevons and the paperless office. Human Ecology Review, Vol.13 (2), s.143–147.*

Meteorologické zprávy

Meteorological
Bulletin

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

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

Vydavatel (redakce) – Publishers

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

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

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

Vedoucí redaktor – Chief Editor

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

Redaktor – Assistant Editor

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

Redakční rada – Editorial Board

J. Bednář, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

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

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

Z. Horký, Praha, Česká republika

F. Hudec, Univerzita obrany, Brno, Česká republika

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

P. Huszár, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

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

K. Krška, Brno, Česká republika

M. Lapin, Univerzita Komenského, Bratislava, Slovenská republika

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

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

V. Pastirčák, Bratislava, Slovenská republika

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

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

J. Strachota, Praha, Česká republika

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

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

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

H. Vondráčková, Praha, Česká republika

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

Abstracting and Indexing:

Meteorological and Geostrophical Abstracts

Sazba a tisk:

Ing. Jiří Šilar DTP

ISSN 0026-1173

Registrační číslo MK ČR E 5107

© Meteorologické zprávy, Český hydrometeorologický ústav

NABÍDKA PUBLIKACÍ ČHMÚ

Jan Daňhelka, Radim Tolasz, Karel Krška,
Jan Macoun, Libor Elleder

KDE SE HISTORIE DOTÝKÁ OBLAKŮ A ŘEK

Praha: ČHMÚ 2020, cena 369,- Kč + poštovné a balné

ISBN 978-80-7653-005-8

Nechte se provést vývojem meteorologie a hydrologie daleko proti proudu času. Poznejte historii státní hydrometeorologické služby na území Česka a začtěte se do unikátního soupisu extrémů, které náš stát za více než 100 let své existence zažil. Ponořte se s námi do historie vědeckého poznání. Dovedeme vás přes středověk až ke starému Řecku a mýtickým představám o fungování světa, ve kterých se často meteorologie a oběh vody objevovaly.

Z obsahu:

- › Vývoj Českého hydrometeorologického ústavu
- › Sto roků extrémů 1919 až 2019
- › Kapitoly z historie vědních oborů
 - › Kapitoly z historie meteorologie na našem území
 - › Kapitoly z historie poznávání hydrologického cyklu
 - › Znečištění ovzduší – historický exkurz
- › Zrození vědeckých oborů – antická filozofie
- › Mytologické představy o atmosféře a hydrosféře

V nové publikaci Českého hydrometeorologického ústavu najdete mnohem víc, podrobnosti najdete na našem webu. Knihu je možné objednat nebo adrese:

ČHMÚ, Tiskové a informační oddělení,
Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4
tel.: 244 032 721
e-mail: nakladatelstvi@chmi.cz

Najdete nás na stránkách nakladatelstvi.chmi.cz
nebo na webu ČHMÚ pod záložkou Informace pro vás.