

Veľkonočná epizóda prenosu saharského prachu v roku 2024

Peter Hrabčák, Dušan Štefánik, Jana Matejovičová
Slovenský hydrometeorologický ústav,
e-mail:jana.matejovicova@shmu.sk

Úvod

Vplyv klimatickej zmeny sa prejavuje nielen vo zvýšenom výskyte extrémnych meteorologických javov, ale aj v častejšom výskyte epizód prenosu prírodného prachu. V našich podmienkach ide najmä o saharský prach, boli však namerané aj zvýšené hodnoty koncentrácií prachových častíc, na ktorých sa podieľal prenos prachu od Kaspického mora, z Arabského polostrova, či zo suchých oblastí Maďarska, atď. Epizóda, ktorú sme zaznamenali na prelome marca a apríla 2024, vrcholila na Veľkonočný pondelok 1.4.2024 a bola výnimočná svojou intenzitou (Hrabčák, 2024). Priemerná denná koncentrácia PM_{10} prekročila $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na 46 zo 49 staníc. Mimoriadne vysoké koncentrácie (denný priemer $115,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) boli namerané aj na stanici Kojšovská hoľa s nadmorskou výškou 1232 m.

Témou tohto príspevku je pokus o kvantifikáciu podielu saharského prachu na celkových hmotnostných koncentráciách prachových častíc nameraných 1.4.2024 vo veľkostnej frakcii do $10 \mu\text{m}$.

Metódy na určenie podielu prírodného prachu na koncentráciách PM_{10}

Základným východiskom pre identifikáciu epizód prenosu prírodného prachu a kvantifikáciu ich podielu na celkových koncentráciách prachových častíc PM_{10} , resp. $PM_{2,5}$ (častice s aerodynamickým priemerom do $10 \mu\text{m}$, resp. do $2,5 \mu\text{m}$) je využitie výstupu modelu CAMS, ktorý pozostáva z 11 numerických modelov kvality ovzdušia vyvinutých v Európe: CHIMERE (INERIS, Francúzsko); EMEP (MET Norway, Nórsko), EURAD-IM (Jülich IEK; Nemecko), LOTOS-EUROS (KNMI a TNO, Holandsko), MATCH (SMHI; Švédsko), MOCAGE (od METEO-FRANCE; Francúzsko), SILAM (FMI; Fínsko), DEHM (AARHUS UNIVERSITY; Dánsko) a GEM-AQ (IEP-NRI; Poľsko), MONARCH (BSC; Španielsko) a MINNI (ENEA; Taliansko). Z predpovedí všetkých modelov sa vypočíta medián. Regionálna predpoveď a analýza (analýza je predpoveď opravená asimiláciou nameraných koncentrácií) je počítaná pre celú Európu s horizontálnym rozlíšením $0,1^\circ \times 0,1^\circ$. Výstupom modelu CAMS koncentrácie znečisťujúcich látok aj koncentrácie prírodného prachu (DUST) vo veľkostnej frakcii PM_{10} . Výstupy (predpoveď aj analýza jednotlivých 11 modelov aj mediánu CAMS) sú dostupné ako 4D polia s hodinovým časovým krokom (CAMS)

Okrem priameho využitia výstupov modelu CAMS boli pre porovnanie použité 3 metódy založené na výsledkoch monitorovania PM_{10} , resp. PM_{10} a $PM_{2,5}$. Pri týchto metódach bol CAMS model využitý iba nepriamo – pri identifikácii dní s epizódou prenosu prírodného prachu (v našom prípade ide o púštny prach).

Popis jednotlivých metód

Použitie výstupov modelu CAMS

Keďže model CAMS podhodnocuje koncentrácie PM_{10} (Obr. 4) pri porovnaní s nameranými hodnotami (Matejovičová, 2024), použili sme zjednodušujúci predpoklad, že DUST z výstupu modelu je podhodnotený rovnako, ako PM_{10} , a hodnoty DUST sme v miestach monitorovacích staníc opravili o modelový bias podľa nasledujúceho vzťahu:

$$\text{Dust CAMS debiased} = \text{Dust CAMS} * \frac{PM_{10} \text{ measured}}{PM_{10} \text{ CAMS}}$$

Pričom:

DUST_CAMS – koncentrácia saharského prachu na výstupe modelu CAMS,
DUST_CAMS_debiased – koncentrácia saharského prachu v opravenom o modelový bias,
 $PM_{10} \text{ measured}$ – nameraná koncentrácia PM_{10}
 $PM_{10} \text{ CAMS}$ – koncentrácia PM_{10} na výstupe modelu CAMS

Metódy založené na údajoch z monitorovania kvality ovzdušia

1.) Metóda založená na nameraných priemerných denných koncentráciách

Epizóda saharského prachu bola vybraná podľa výstupu DUST modelu CAMS, potom bolo vybraných 10 dní bez saharského prachu pomocou modelu CAMS tak, že do obdobia bez epizódy boli zaradené dni, ktoré mali 90 % percentil hodnoty DUST menší ako $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pre každú monitorovaciu stanicu bola vypočítaná priemerná denná koncentrácia a štandardná odchýlka za 10 dní bez epizódy. Príspevok saharského prachu v danom dni na danej stanici je rozdiel nameranej priemernej dennej koncentrácie a priemernej koncentrácie na danej stanici mimo epizódy, chyba metodiky je štandardná odchýlka vypočítaná v predchádzajúcom kroku.

$$PM_{10} \text{ dust} = PM_{10}(\text{mimo epizódy}) - PM_{10}(\text{počas epizódy})$$

pričom:

$PM_{10} \text{ dust}$ – priemerná denná koncentrácia saharského prachu vo veľkostnej frakcii PM_{10} na danej stanici v daný deň epizódy,
 $PM_{10}(\text{mimo epizódy})$ – priemer denných koncentrácií PM_{10} na danej stanici počas 10 dní mimo epizódy (5 dní pred a 5 dní po epizóde),
 $PM_{10}(\text{počas epizódy})$ – nameraná priemerná denná koncentrácia PM_{10} na danej stanici v daný deň počas epizódy.

2.) Metóda založená na pomere $PM_{2,5}/PM_{10}$ nameraných priemerných denných koncentrácií

Pre túto metódu sú podstatné dva limity pre pomer $PM_{2,5}/PM_{10}$. Prvá, dolná hranica, približne charakterizuje situáciu s teoretickým 100% zastúpením prírodného prachu vo frakcii PM_{10} alebo $PM_{2,5}$. Vzhľadom na údaje prezentované v práci Rodríguez a López-Darías (2024) je možné predpokladať, že pomer $PM_{2,5}/PM_{10}$ v prírodnom prachu v prípade Slovenska môže byť na úrovni $R_D \approx 0,19$ (priemer intervalu 0,16 – 0,22). Druhá, horná hranica, približne charakterizuje situáciu s teoretickým 0% zastúpením prírodného prachu vo frakcii PM_{10} alebo $PM_{2,5}$. Horná hranica nie je pevná, je vypočítaná pre každú monitorovaciu stanicu oddelene pre teplý a chladný polrok (vyberie sa potom podľa toho, do ktorého polroka sledovaný deň spadá). Pri výpočte hornej hranice sa v danom polroku vyberú dni s nízkym výskytom prirodzeného prachu pomocou DUST – použijú sa iba tie dni v danom polroku, v ktorých bola denná hodnota DUST v mediáne analýzy CAMS menšia rovnako 25. percentilu všetkých dní. Následne sa pre vybrané dni vypočíta medián denných pomerov $PM_{2,5}/PM_{10}$. Ďalším kľúčovým vstupom je pomer $PM_{2,5}/PM_{10}$, ktorý charakterizuje konkrétny deň. V tomto prípade je možné použiť dáta pre konkrétnu stanicu alebo medián z viacerých staníc. Pri relatívne homogénnych výskytach prírodného prachu je možné do výpočtu mediánu zahrnúť všetky stanice ($R_{all, median}$). Použitie hodnoty pomeru $PM_{2,5}/PM_{10}$ pre jednotlivé stanice môže viesť k významným nepresnostiam (keďže metóda je citlivá na presnosť merania $PM_{2,5}$). Pomocou analýzy meraní fotometra Cimel Sun v období 2016 – 2020 (Hrabčák, 2022) bolo ukázané, že priemerná objemová distribúcia častíc saharského prachu má silný gradient okolo $2,5 \mu\text{m}$. Preto aj malá nepresnosť v meraní frakcie $PM_{2,5}$ môže výrazne ovplyvniť výsledok. Výsledný podiel prírodného prachu (DP) vo frakcii PM_{10} sme preto vypočítali použitím mediánu z viacerých staníc. Koncentrácia prírodného prachu vo veľkostnej frakcii PM_{10} pre každú stanicu je potom súčinom DP a nameranej koncentrácie PM_{10} na danej stanici.

$$DP = \frac{R_{selected, median} - R_{all, median}}{R_{selected, median} - R_D}$$

$$PM_{10} \text{ dust} = DR * PM_{10} \text{ measured}$$

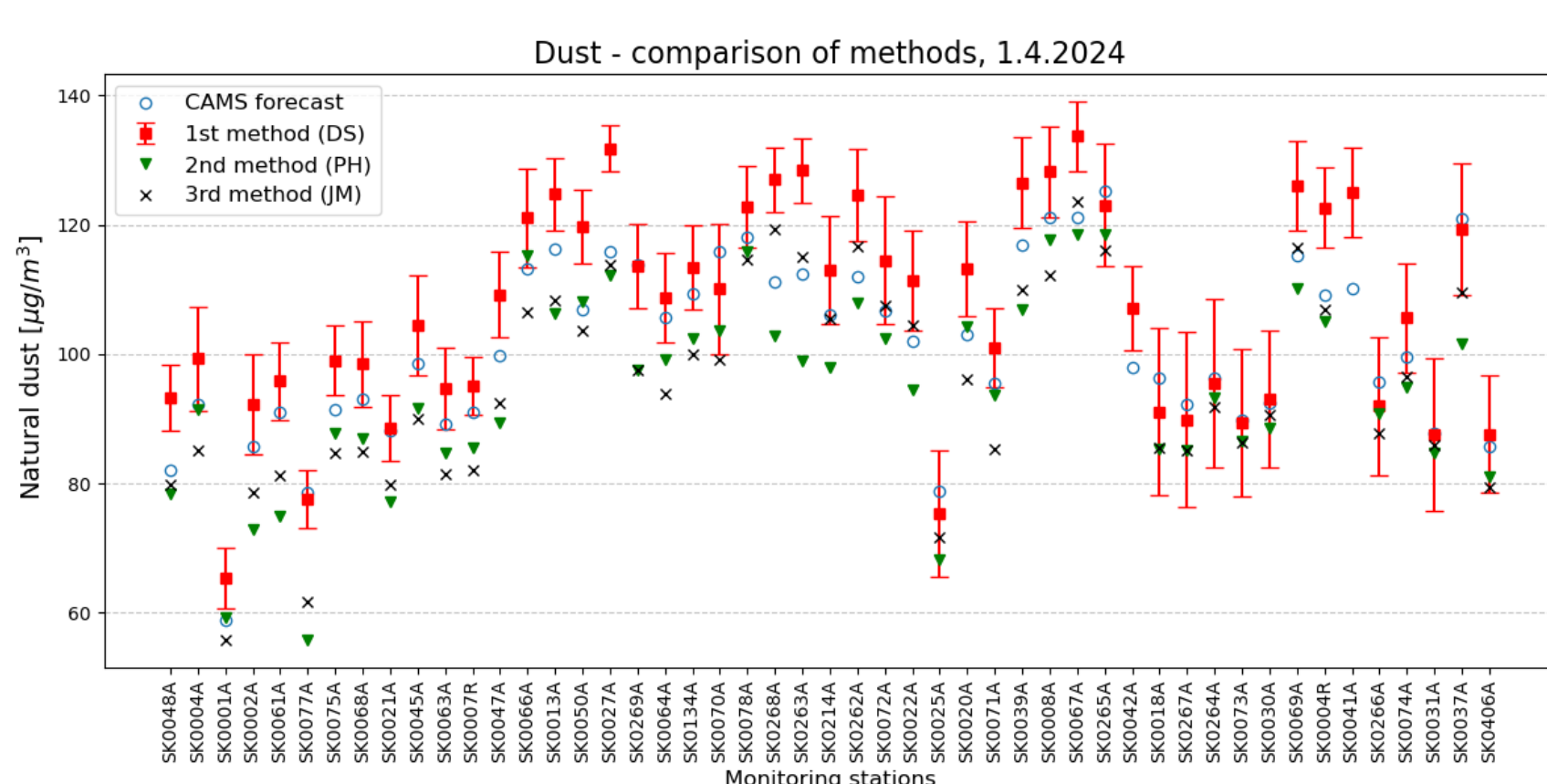
DP – podiel $PM_{2,5}/PM_{10}$ pre danú stanicu a deň počas epizódy,
 $PM_{10} \text{ measured}$ – nameraná koncentrácia PM_{10} , $PM_{10} \text{ dust}$ – výsledná koncentrácia prachu pre danú stanicu a deň počas epizódy (vo frakcii PM_{10}),
 $R_{selected, median}$ – horný limit pre podiel $PM_{2,5}/PM_{10}$ pre danú stanicu pre vybrané dni mimo epizódy (pre chladný alebo teplý polrok),
 $R_{all, median}$ – medián podielu $PM_{2,5}/PM_{10}$ z meraní všetkých staníc počas epizódy,
 R_D – dolný limit podielu $PM_{2,5}/PM_{10}$ (hodnota je 0.19)

3.) Metóda založená na pomere $PM_{2,5}/PM_{10}$ nameraných priemerných hodinových koncentrácií

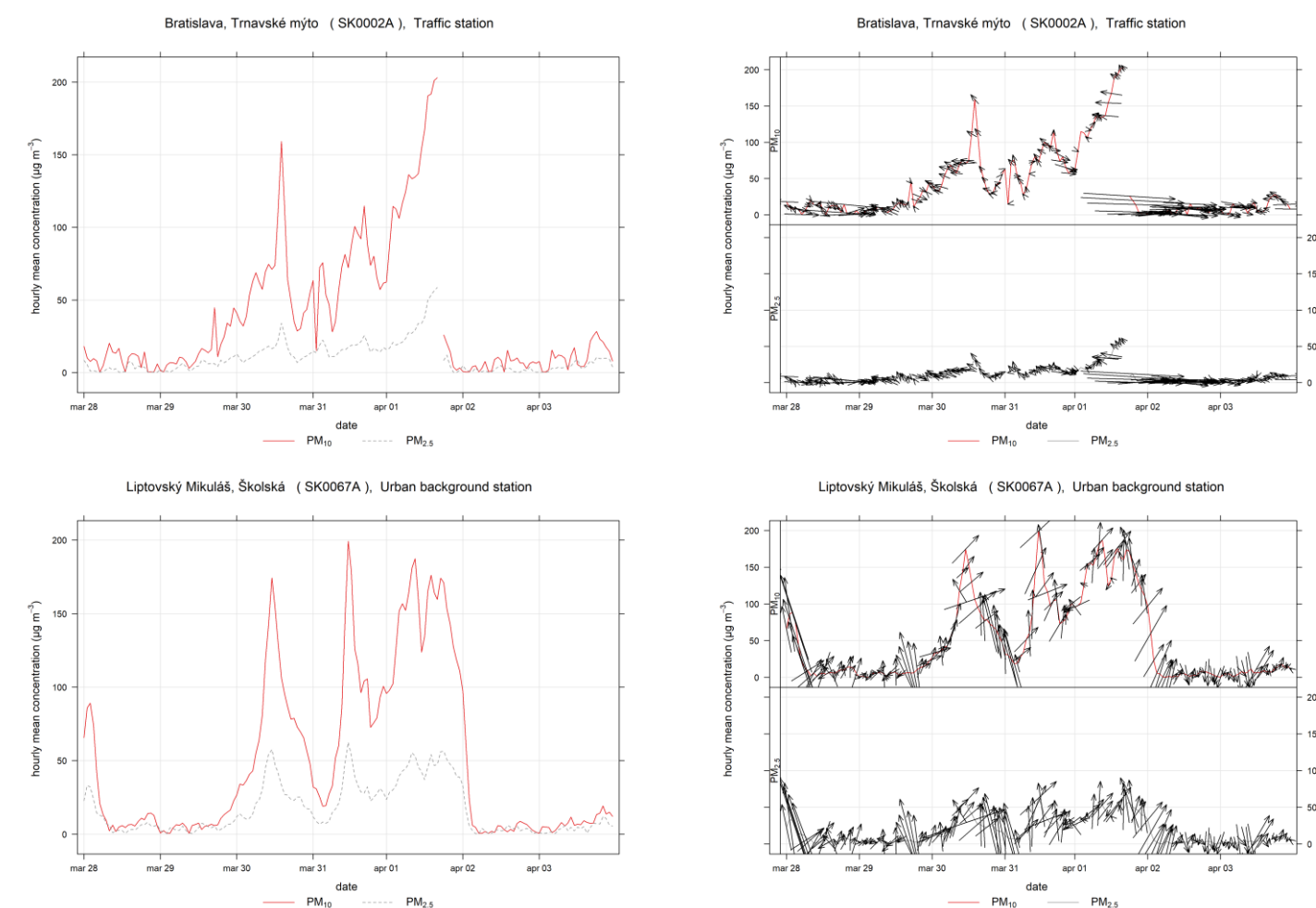
Metóda je založená na nameraných hodinových koncentráciách PM_{10} a $PM_{2,5}$. Epizódy sme definovali podľa poklesu pomeru $PM_{2,5}/PM_{10}$ pod 25. percentil (vychádzajúc podobne ako v predchádzajúcej metóde z predpokladu, že počas epizódy prevažujú hrubšie veľkostné frakcie). "Normálny 24-hodinový časový profil" bol vypočítaný z hodinových koncentrácií ako priemerný 24-hodinový časový profil z dní mimo epizódy (bol použitý interval 20.3.2024 - 6.4.2024, pričom boli vynechané hodiny s epizódou). Príspevok (koncentrácia) saharského prachu pre každú dennú hodinu bol získaný ako rozdiel medzi nameranými a "normálnymi" hodnotami. Nevýhodou tejto metódy je jej citlivosť na náhodné zmeny nameraných hodinových koncentrácií, najmä pomeru $PM_{2,5}/PM_{10}$. Dôvodom môže byť aj problém s meraním v podmienkach extrémnej prašnosti.

$$PM_{10} \text{ dust} = PM_{10,h}(\text{mimo epizódy}) - PM_{10,h}(\text{počas epizódy})$$

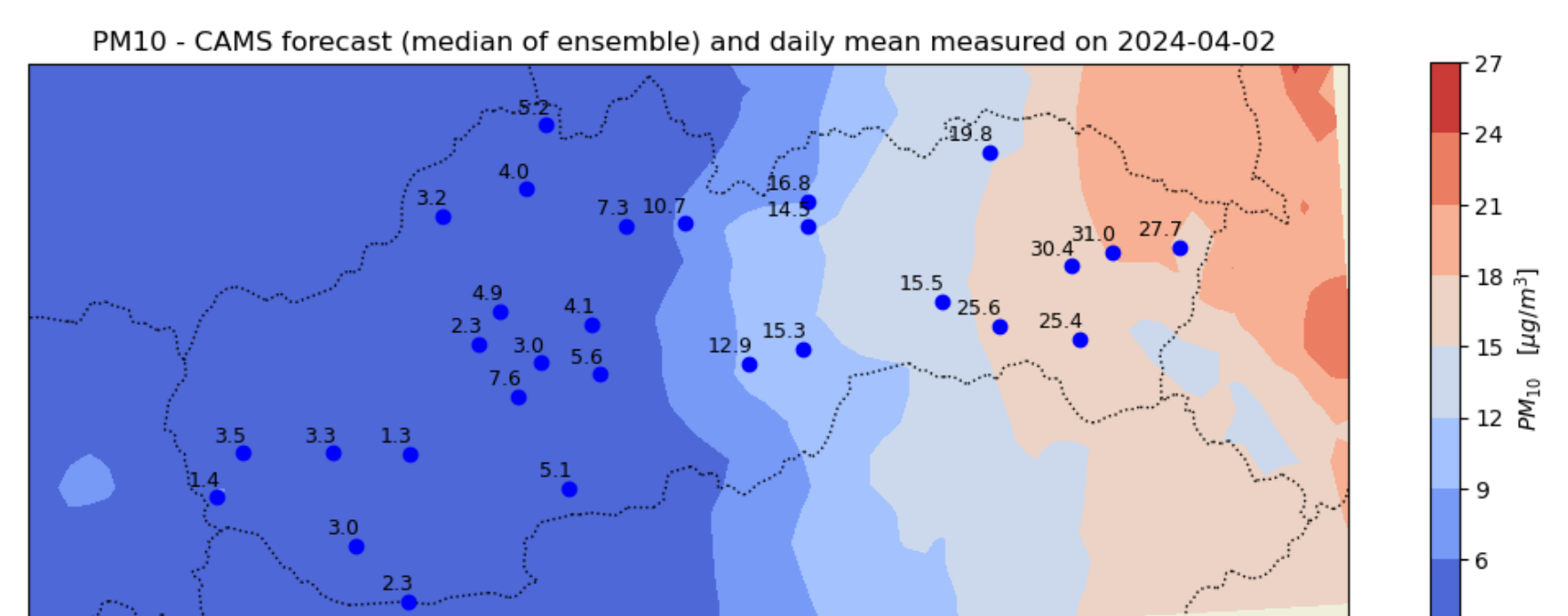
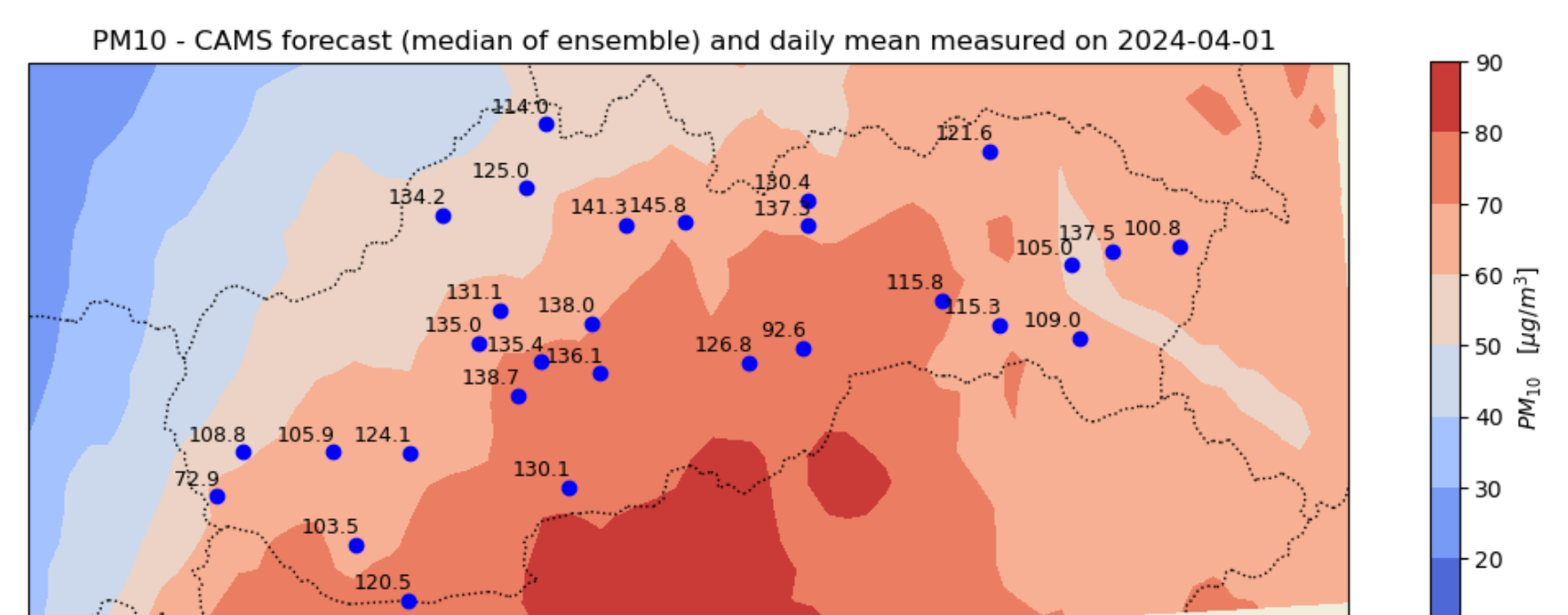
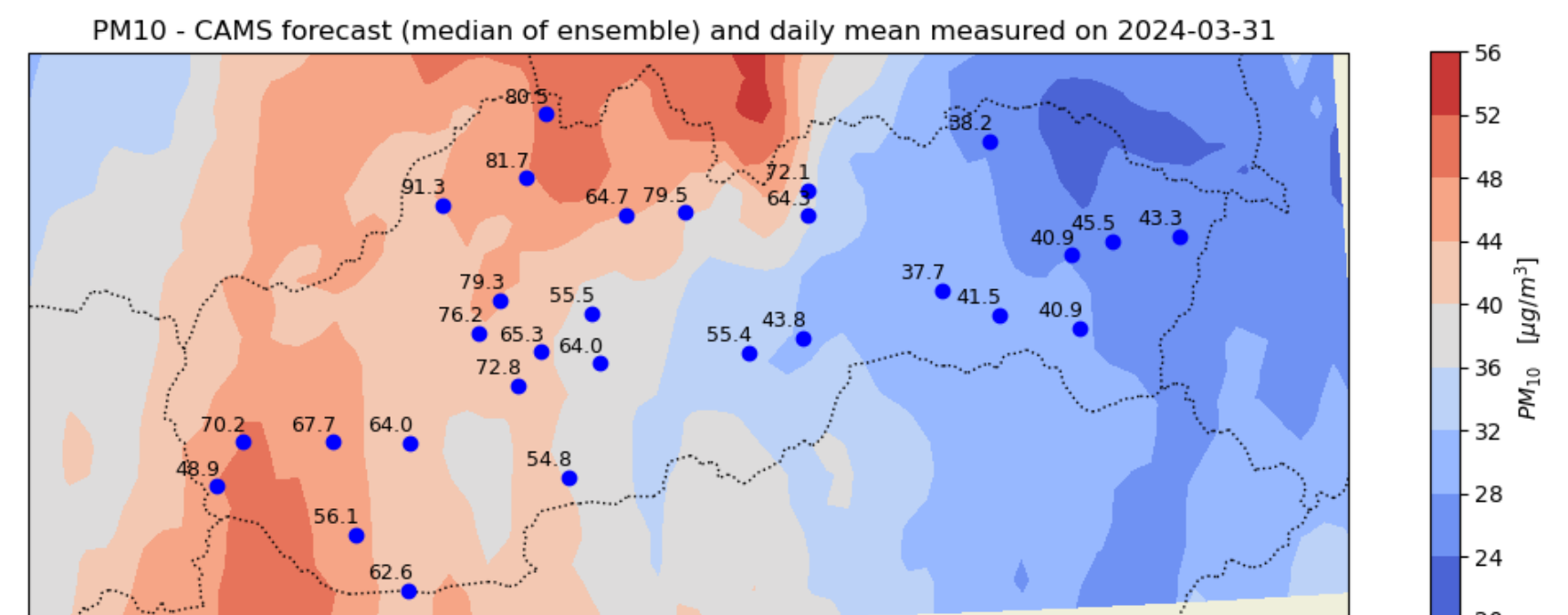
$PM_{10} \text{ dust}$ – priemerná hodinová koncentrácia saharského prachu vo veľkostnej frakcii PM_{10} na danej stanici počas epizódy,
 $PM_{10,h}(\text{mimo epizódy})$ – priemerná hodinová koncentrácia PM_{10} na danej stanici mimo epizódy (pre tie hodiny, kedy bol na danej stanici $PM_{2,5}/PM_{10} < 25$. percentil)
 $PM_{10,h}(\text{počas epizódy})$ – nameraná priemerná hodinová koncentrácia PM_{10} na danej stanici v daný deň počas epizódy.
h – hodina dňa z intervalu <0;23>



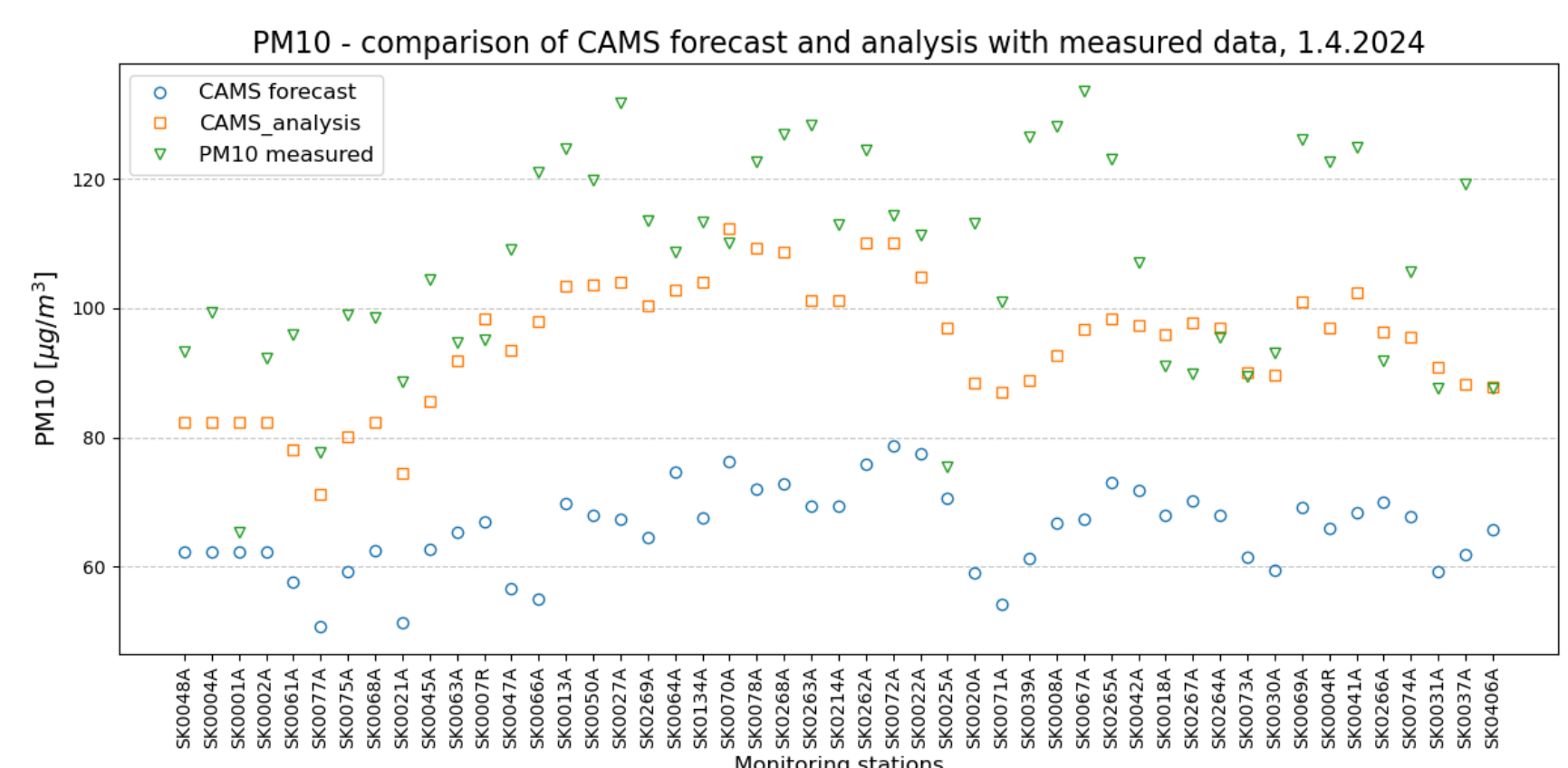
Obr. 1 Porovnanie koncentrácií PM_{10} z merania a výstupu mediánu modelu CAMS – predpovede a analýzy pre 1.4.2024.



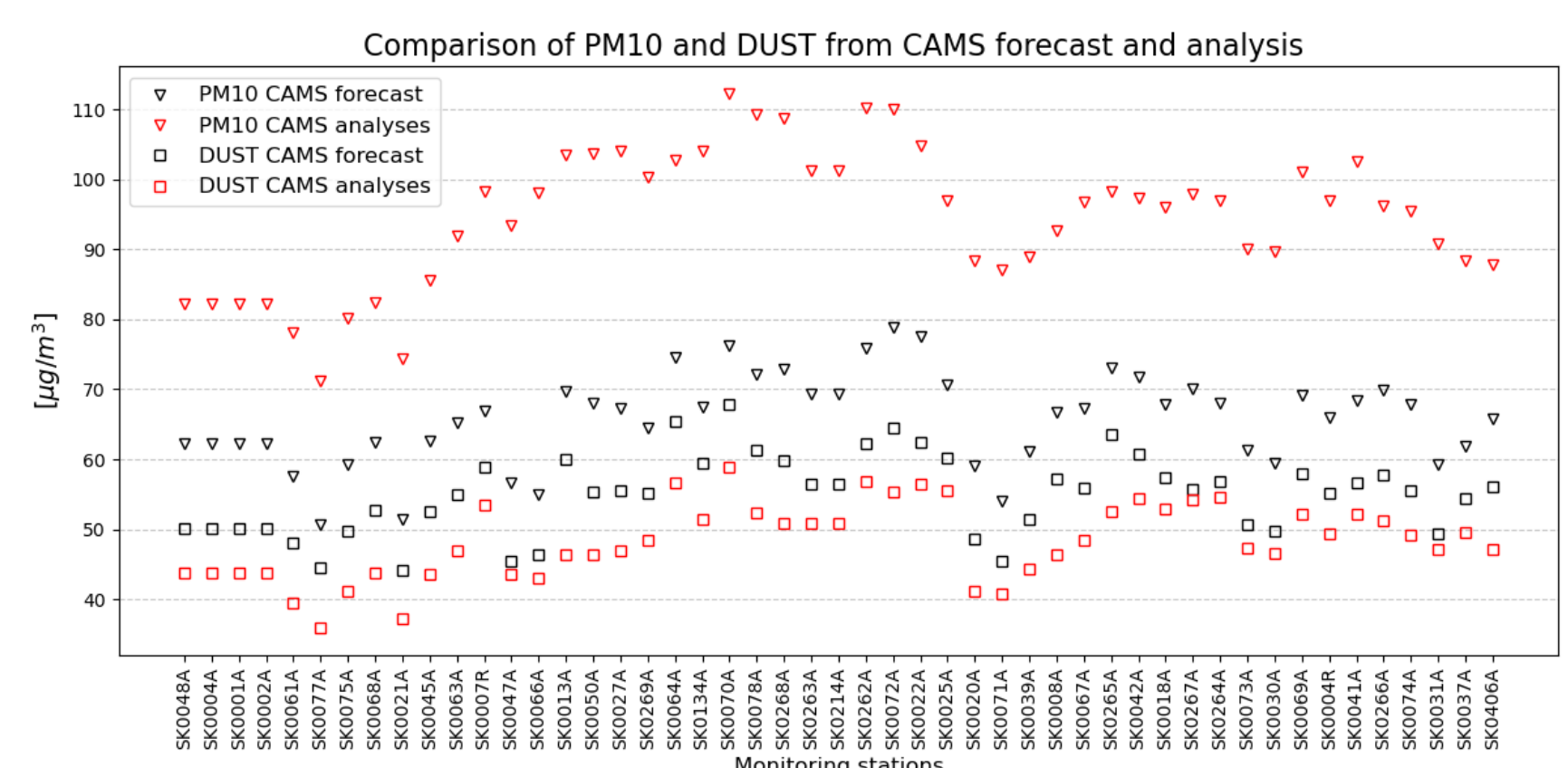
Obr. 2 Priebeh nameraných hodinových koncentrácií PM_{10} a $PM_{2,5}$ počas epizódy prenosu saharského prachu a ilustrácia zmeny prúdenia po prechode studeného frontu. Poznámka: Vietor bol meraný na monitorovacích staniciach kvality ovzdušia vo výške cca 5 m.



Obr. 3 Priebeh koncentrácií PM_{10} z merania a výstupu modelu CAMS pre 2.4.2024.



Obr. 4 Porovnanie koncentrácií PM_{10} z merania a výstupu modelu CAMS – (predpovede a analýzy) pre 1.4.2024.



Obr. 5 Porovnanie koncentrácií PM_{10} a DUST z výstupu modelu CAMS – (predpovede a analýzy) pre 1.4.2024.

Záver

V tomto príspevku boli na príklade epizódy saharského prachu z 1. apríla 2024 (Obr. 2, Obr. 3) porovnané štyri metódy na určenie koncentrácií prírodného prachu vo frakcii PM_{10} . Jednou z metód bolo priame použitie výstupu DUST z mediánu modelu CAMS. Pri porovnaní predpovede a analýzy modelu CAMS (Obr. 5) vidíme, že analýza CAMS nereálne zvyšuje koncentrácie PM_{10} , oproti DUST, ktorý zostáva takmer rovnaký ako v predpovednom výstupe. Zdá sa, že proces asimilácie/kalibrácie údajov nespracováva prachový výstup správne, a preto boli pri výpočtoch použité predpovedné výstupy opravené o modelový bias. Výsledky ostatných metód založených na analýze nameraných koncentrácií PM_{10} , resp. PM_{10} a $PM_{2,5}$ sú porovnateľné s výsledkami získanými z modelu CAMS (Obr. 1). Je potrebné vykonať ďalšie testovanie metód na iných epizódach. V nasledujúcom kroku sa uskutoční výber dní s výskytom prírodného prachu nad Slovenskom počas celého roku 2024. Z porovnania výsledkov z rôznych metód pri celoročnom hodnotení vyberieme tú najspôľahlivejšiu alebo použijeme vhodnú kombináciu metód (t.j. medián, priemer, minimum). Konečná metóda musí byť robustná, spoľahlivá a konzervatívna.

Literatúra

CAMS Regional: European air quality analysis and forecast data documentation.

METEO FRANCE, Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), Aarhus University, Norwegian Meteorological Institute (MET Norway), Jülich Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK), Institute of Environmental Protection – National Research Institute (IEP-NRI), Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO), Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), Finnish Meteorological Institute (FMI), Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA) and Barcelona Supercomputing Center (BSC) (2022): CAMS European air quality forecasts, ENSEMBLE data. Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Atmosphere Data Store (ADS). (Accessed on 11-Feb-2025)

Hrabčák, P. (2022): Saharan dust over Slovakia in the years 2015 – 2020, Meteorological journal, volume 25, number 1, 3 – 15, ISSN 1335-339X, https://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/MET_CASOPIS/1658950036_MC_2022-1.pdf, 2022.

Hrabčák, P. (2024): Veľkonočná epizóda saharského prachu lámala rekordy. <https://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=1452>

Matejovičová, J., Dušan Štefánik, D., Peter Hrabčák, P. (2024): Využitie produktov CAMS na odpočítanie prírodného prachu z nameraných koncentrácií PM_{10} . Ochrana ovzdušia 2024, 25. - 27. novembra 2024

Rodríguez, S. and López-Darías, J.(2024): Extreme Saharan dust events expand northward over the Atlantic and Europe, prompting record-breaking PM_{10} and $PM_{2.5}$ episodes, Atmos. Chem. Phys., 24, 12031–12053, <https://doi.org/10.5194/acp-24-12031-2024>, 2024.

Podakovanie

Príspevok vznikol za podpory projektu CAMS National Collaboration Programme – Slovakia