

R

www.tacr.cz www.mzp.cz

# Identifikace příčin znečištění ovzduší na Ostravsku

# Doplněk č. 2 Závazného výsledku Dílčího cíle 2.1 Zlepšení identifikace zdrojů znečištění

V období přibližně od poloviny ledna 2021 do poloviny ledna 2022 bylo na Ostravsku provedeno inovativní měření znečištění ovzduší. Na základě navazujících laboratorních analýz byly vyhodnoceny koncentrace měřených škodlivin, imisně-meteorologické vztahy a vypracován matematický model PMF (Positive Matrix Factorization). Těmito metodami byly vypočteny imisní příspěvky zdrojů znečišťování ovzduší, které se v měřeném období v zájmové oblasti podílely na znečištění aerosolovými částicemi PM<sub>10</sub> a benzo[*a*]pyrenem.

Projekt: SS02030031: Integrovaný systém výzkumu, hodnocení a kontroly kvality ovzduší
Autoři: Radim Seibert, Vladimíra Volná, Daniel Hladký, Blanka Krejčí, Josef Keder
Datum: 22. 12. 2022

Hlavním uživatelem výstupů tohoto projektu je Ministerstvo životního prostředí

Ministerstvo životního prostředí















Α

R

### www.tacr.cz www.mzp.cz



# Obsah

1.	Úvoc	k		
2.	Hodr	nocen	á oblast a měřicí lokality	6
3.	Rozs	sah a	netodika prací	11
	3.1.	Teré	nní práce	11
	3.2.	Labo	ratorní práce	11
	3.3.	Meto	dika hodnocení imisně-meteorologických dat a vztahů	12
	3.4.	Meto	dika identifikace zdrojů znečišťování metodou PMF	13
	3.5.	Přeh	ed provedených prací	16
4.	Výsle	edky a	a hodnocení prací	17
	4.1.	Mete	orologické podmínky	17
	4.2.	Cher	nická skladba PM <sub>10</sub>	19
	4.3.	Plošr	vý rozsah ohniska benzo[ <i>a</i> ]pyrenu	20
	4.4.	Imisr	ě-meteorologické hodnocení	21
	4.4	1.1.	PM <sub>10</sub>	21
	4.4	1.2.	Benzo[a]pyren	
	4.5.	Ident	fikace zdrojů metodou PMF	41
	4.5	5.1.	PM <sub>10</sub>	43
	4.5	5.2.	Benzo[a]pyren	46
5.	Poro	vnání	výsledků použitých metod hodnocení	48
6.	Nejis	stoty h	odnocení	49
	6.1.	Rozo	íl mezi modelem PMF a naměřenými imisními koncentracemi	49
	6.2.	Sprá	/nost interpretace modelu PMF	
	6.3.	Vliv o	hemických reakcí v systému OC/NO <sub>3</sub> <sup>-/</sup> NaCl	53
	6.4.	Ome	zení hodnocení v lokalitě Ostrava-Radvanice, OZO	
7.	Shrn	utí		57
Lit	eratu	ra		61

# Přílohy

Příloha 1	Chemické profily identifikovaných faktorů
Příloha 2	Časové řady faktorových imisních příspěvků ke koncentraci $PM_{10}$
Příloha 3	Faktorové imisní příspěvky členěné dle denních typů proudění
Příloha 4	Naměřené koncentrace PM10 ve vztahu k teplotě a rychlosti větru
Příloha 5	Měření prostředky distanční sondáže



ČR

Α

Т

# Seznam obrázků:

Obr. 2 Lokalita Ostrava-Bartovice (foto: ČHMÚ, březen 2021)       7         Obr. 3 Lokalita Ostrava-Kunčičky (foto: ČHMÚ, březen 2021)       7         Obr. 4 Lokalita Ostrava-Liberty a.s. (foto: ČHMÚ, leden 2021)       8         Obr. 5 Lokalita Ostrava-Radvanice ZÚ (foto: ČHMÚ, březen 2021)       8         Obr. 6 Lokalita Ostrava-Radvanice QZO       9
Obr. 3 Lokalita Ostrava-Kunčičky (foto: ČHMÚ, březen 2021)
<i>Obr. 4 Lokalita Ostrava-Liberty a.s. (foto: ČHMÚ, leden 2021)</i>
<i>Obr. 5 Lokalita Ostrava-Radvanice ZÚ (foto: ČHMÚ, březen 2021)</i>
Obr. 6 Lokalita Ostrava-Radvanice OZO
Obr. 7 Lokalita Petřvald (foto: ČHMÚ, březen 2021)
Obr. 8 Lokalita Studénka (TSTD)
Obr. 9 Lokalita Věřňovice (foto: ČHMÚ, červenec 2022)
Obr. 10 Větrné růžice, Ostrava-Poruba, období: 2021, 2016–2020 a 2011–2020
<i>Obr. 11 Větrné růžice použité v hodnocení, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022</i>
<i>Obr. 12 Hmotnostní složení aerosolu PM</i> <sub>10</sub>
<i>Obr. 13 Pole průměrné roční koncentrace benzo[a]pyrenu (14. 1. 2021–13. 1. 2022)</i>
<i>Obr. 14 Průměrné denní koncentrace PM</i> <sub>10</sub> , 14. 1.2021 až 13. 1. 2022
Obr. 15 Statistické rozložení průměrných 24hodinových koncentrací PM <sub>10</sub> , 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
<i>Obr. 16 Průměrné koncentrace PM</i> <sub>10</sub> za období 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
<i>Obr. 17 Průměrné koncentrace PM</i> <sub>10</sub> po měsících za období 14. 1. 2021 až 13 1. 2022
<i>Obr. 18 Lokalita Ostrava-Bartovice (TOBA), koncentrace PM</i> <sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
<i>Obr. 19 Lokalita Ostrava-Bartovice (TOBA), koncentrace PM<sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021</i> <i>až 13. 1. 2022</i>
<i>Obr. 20 Lokalita Ostrava-Kunčičky (TOKU), koncentrace PM</i> <sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
<i>Obr. 21 Lokalita Ostrava-Kunčičky (TOKU), koncentrace PM</i> <sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
<i>Obr. 22 Lokalita Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), koncentrace PM</i> <sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
<i>Obr. 23 Lokalita Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), koncentrace PM</i> <sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
<i>Obr. 24 Lokalita Ostrava-Radvanice OZO (TORO), koncentrace PM</i> <sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
<i>Obr. 25 Lokalita Ostrava-Radvanice OZO (TORO), koncentrace PM</i> <sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
<i>Obr. 26 Lokalita Studénka (TSTD), koncentrace PM</i> <sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
<i>Obr. 27 Lokalita Studénka (TSTD), koncentrace PM</i> <sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022 28
<i>Obr. 28 Lokalita Věřňovice (TVER), koncentrace PM</i> <sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



Č

Α

<i>Obr. 29 Lokalita Věřňovice (TVER), koncentrace PM</i> <sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022 29
<i>Obr. 30 Průměrné denní koncentrace benzo[a]pyrenu, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022</i>
Obr. 31 Statistické rozložení průměrných 24hodinových koncentrací benzo[a]pyrenu, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
Obr. 32 Průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu za období 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
<i>Obr. 33 Průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu po měsících za období 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022 33</i>
<i>Obr. 34 Lokalita Ostrava-Bartovice (TOBA), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022</i>
<i>Obr. 35 Lokalita Ostrava-Bartovice (TOBA), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022</i>
<i>Obr. 36 Lokalita Ostrava-Kunčičky (TOKU), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022</i>
<i>Obr. 37 Lokalita Ostrava-Kunčičky (TOKU), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022</i>
<i>Obr. 38 Lokalita Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022</i>
<i>Obr. 39 Lokalita Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022</i>
<i>Obr. 40 Lokalita Ostrava-Radvanice OZO (TORO), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022</i>
<i>Obr. 41 Lokalita Ostrava-Radvanice OZO (TORO), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022</i>
Obr. 42 Lokalita Petřvald (TPTV), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
Obr. 43 Lokalita Petřvald (TPTV), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
Obr. 44 Lokalita Studénka (TSTD), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
Obr. 45 Lokalita Studénka (TSTD), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
Obr. 46 Lokalita Věřňovice (TVER), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
Obr. 47 Lokalita Věřňovice (TVER), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022
<i>Obr. 48 Podíl identifikovaných faktorů na imisní koncentraci</i> $PM_{10} \left[ \mu g \cdot m^{-3} \right]$
<i>Obr. 49 Podíl identifikovaných faktorů na imisní koncentraci benzo</i> [ $a$ ]pyrenu [ $ng \cdot m^{-3}$ ]46
Obr. 50 Pearsonova korelace mezi teplotními frakcemi uhlíku na základě 3hodinových vzorků (14. 1. 2021–13. 4. 2021)
Obr. 51 Pearsonova korelace mezi teplotními frakcemi uhlíku na základě 24hodinových vzorků (13. 4. 2021–13. 1. 2022)
<i>Obr. 52 Přibližné vymezení zájmového území</i>

# Seznam tabulek:

т

Č

Α

R

Tab. 1 Přehled provedených činností na jednotlivých lokalitách	
Tab. 2 Průměrné koncentrace a počty překročení hodnoty 50 µg·m <sup>-3</sup> pro denní konc	entrace PM <sub>10</sub>
rozdělené dle kategorií rychlostí větru, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022	

# Seznam zkratek:

I–XII	měsíce v roce (leden-prosinec)
BaA	benzo[a]antracen
BaP	benzo[a]pyren
BeP	benzo[ <i>e</i> ]pyren
BbF	benzo[b]fluoranten
BghiPRL	benzo[g,h,i]perylen
BjF	benzo[ <i>j</i> ]fluoranten
BkF	benzo[k]fluoranten
BORA	výzkumný koncept hodnocení příčin zvýšeného znečištění ovzduší ve
	východní části Ostravy
COR	koronen
CRY	Chrysen
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
DBahA	dibenzo[a,h]antracen
DTP	denní typ proudění
EC	elementární uhlík
I123cdP	indeno[1,2,3-cd]pyren
NO <sub>2</sub>	oxid dusičitý
O <sub>3</sub>	přízemní ozon
OC	organický uhlík
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky
PIC	picen
$PM_{10}/PM_{2,5}$	suspendované částice PM <sub>10</sub> /PM <sub>2,5</sub>
PRL	Perylen
PSCF	Potentional Source Contribution Function
RET	reten
SEČ	středoevropský čas (UTC + 1 hod)
$SO_2$	oxid siřičitý
UTC	světový čas (SEČ – 1hod)
ZÚ	Zdravotní ústav

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí v rámci **Programu Prostředí pro život**.

www.tacr.cz

www.mzp.cz

Č

R

Т



# 1. Úvod

V rámci projektu ARAMIS<sup>1</sup>, dílčího cíle 2.1, byla v období 14. 1. 2021–13. 1. 2022 provedena identifikace zdrojů znečišťování ovzduší v okolí městské části Ostravy – Radvanic. Jedná se o dlouhodobě problematickou oblast z hlediska hodnocení příčin zdejšího výrazně nadlimitního znečištění ovzduší, především aerosolovými částicemi  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  a benzo[*a*]pyrenem, přičemž dominují imisní příspěvky chladné části roku [2, 14–16]. Provedenými pracemi byly plněny tyto projektové úkoly:

- rozlišení a kvantifikace imisního podílu jednotlivých typů sekundárního aerosolu,
- otestování nových markerů pro zvýšení detailu a přesnosti identifikace zdrojů znečišťování,
- porovnání výsledků receptorového modelování s identifikací zdrojů izotopovou metodou,
- ověření použitelnosti a případné využití izotopových systémů pro zpřesnění identifikace zdrojů receptorovým modelováním.

Předkládaná zpráva obsahuje doplnění k závaznému projektovému výsledku Dílčího cíle 2.1. (vyhodnocení dat získaných v období 14. 1. 2021–13. 4. 2021), klteré bylo publikováno k datu 30. 6. 2022 (závazný projektový výsledek) [22]. Nyní na tuto již publikovanou část navazuje souhrnné celoroční vyhodnocení za období 14. 1. 2021–13. 1. 2022.

Podobně jako při předchozím hodnocení byly využity dva nezávislé metodické přístupy pro vyčíslení imisních podílů zdrojů znečišťování:

- identifikace zdrojů na základě imisně-meteorologických vztahů,
- identifikace zdrojů na základě modelu PMF (Positive Matrix Factorization).

Provedené činnosti byly součástí širšího konceptu měření a hodnocení kvality ovzduší a příčin znečištění na Ostravsku s názvem BORA<sup>2</sup>. V tomto konceptu jsou sdruženy činnosti několika projektů, aby bylo možno pokrýt financování a nashromáždit nezbytnou techniku i personální kapacity. Práce byly časově a věcně sladěny s projektem KAPOOO<sup>3</sup>, ve kterém ČHMÚ zodpovídá, mimo jiné, za měření znečištění v okolí průmyslových podniků. Činnosti v rámci obou zmíněných projektů probíhaly s podporou Krajského úřadu Moravskoslezského kraje, Statutárního města Ostravy, samospráv dotčených městských částí, Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě a společnosti Liberty Ostrava a.s.

Na řešení projektových prací prezentovaných v předkládané zprávě se na straně ČHMÚ podíleli:

- Pavel Smolík, Alois Medlen, František Kuchrýk, Roman Mainda montáž, obsluha a údržba přístrojové techniky, technické konzultace k vyhodnocení
- Lucie Böhmová, Pavlína Podskočová, Václav Uher příprava materiálu a laboratorní analýzy, konzultace k analytickým nejistotám
- Irina Nikolova, Zdenka Rohanová konzultace k organickým analýzám a molekulovým markerům
- Vladimíra Volná, Daniel Hladký, Blanka Krejčí, Ondřej Vlček imisně-meteorologické hodnocení, konzultace k vyhodnocení
- Josef Keder měření prostředky distanční sondáže a sovisející vyhodnocení
- Radim Seibert návrh měření, koordinace prací, receptorové modelování, celkové hodnocení

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> www.projekt-aramis.cz/

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> www.ovzdusi.cz/bora

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> www.msk.cz/cs/temata/zivotni\_prostredi/krajsky-akcni-plan-pro-oblast-ochrany-ovzdusi---kapooo-10409/



Externí spolupracující subjekty:

Т

Č

- Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě: laboratorní analýzy PAH
- ALS Czech Republic, s.r.o.: laboratorní analýzy PAH

# 2. Hodnocená oblast a měřicí lokality

Měření znečištění ovzduší probíhala od ledna 2021 do ledna 2022 celkem na 8 lokalitách. Šest měřicích míst na východní straně Ostravy (Ostrava-Bartovice, Ostrava-Kunčičky, Ostrava-Liberty, Ostrava-Radvanice OZO, Ostrava-Radvanice ZÚ a Petřvald) bylo doplněno dvěma vzdálenějšími stanicemi (Studénka, Věřňovice) pro hodnocení regionálního přenosu znečištění (Obr. 1).



#### Obr. 1 Umístění lokalit

Hlavní pozornost byla věnována oblasti východní části Ostravy a přilehlých obcí, která je přibližně vymezena polygonem Vratimov, Slezská Ostrava, Rychvald, Orlová, Havířov. Grafické vymezení zájmového území je součástí závěrečné kapitoly této zprávy (Obr. 52).





#### Ostrava-Bartovice (TOBA)

т

Č

Stanice Ostrava-Bartovice byla umístěna v areálu sadu Kpt. Jaroše u hasičské stanice na ulici U Statku (49.7895992N, 18.3469469E, Obr. 2). Jedná se víceméně o okraj obce v blízkosti základní školy a pošty. V okolí jsou zemědělské plochy.



Obr. 2 Lokalita Ostrava-Bartovice (foto: ČHMÚ, březen 2021)

#### Ostrava-Kunčičky (TOKU)

Stanice Ostrava-Kunčičky byla umístěna v areálu hasičské zbrojnice na ulici Bořivojova (49.8084997N, 18.3069553E, Obr. 3). V okolí je nízkopodlažní obytná zástavba, služby, sběrné suroviny.



Obr. 3 Lokalita Ostrava-Kunčičky (foto: ČHMÚ, březen 2021)

#### Ostrava-Liberty (TLIB)

Stanice Ostrava-Liberty byla umístěna v jižní části areálu průmyslového podniku Liberty Ostrava a.s. (49.7838517N, 18.3065211E, Obr. 4).

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí v rámci Programu Prostředí pro život. R www.tacr.cz

Т

Č

ARAM



*Obr. 4 Lokalita Ostrava-Liberty a.s. (foto: ČHMÚ, leden 2021)* 

www.mzp.cz

#### Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE)

Stanice Ostrava-Radvanice ZÚ byla umístěna v jižní části Ostravy-Radvanic v lokalitě stávající stanice imisního monitoringu Ostrava-Radvanice ZÚ<sup>4</sup> Statutárního města Ostrava a Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě. Stanice se nachází v ulici Nad Obcí (49.8070742N, 18.3392100E, Obr. 5), je klasifikována jako průmyslová, v předměstské zóně, s průmyslovou a obytnou charakteristikou. V okolí stanice je na svažitém terénu řídká nízkopodlažní zástavba převážně rodinných domů, ve vzdálenosti cca 60 m se nachází středně frekventovaná komunikace. Průmyslová charakteristika stanice je dána hutním průmyslovým komplexem, jehož areál se nachází v údolní poloze asi 1,5 km směrem na jihozápad (proti směru převládajícího proudění). Účelem této stanice imisního monitoringu je vystihovat příspěvek z průmyslových zdrojů znečišťování ovzduší v mikroměřítku (několik m až 100 m) dle Vyhlášky č. 330/2012 Sb.



*Obr. 5 Lokalita Ostrava-Radvanice ZÚ (foto: ČHMÚ, březen 2021)* 

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web generator/locality/pollution locality/loc TORE CZ.html

Č



#### Ostrava-Radvanice OZO (TORO)

Stanice Ostrava-Radvanice OZO byla umístěna v lokalitě stávající stanice imisního monitoringu Ostrava-Radvanice OZO<sup>5</sup>, která je majetkem Statutárního města Ostrava a Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě. Stanice se nachází v ulici Poláškova (49.8185528N, 18.3403850E, Obr. 6) a je klasifikována jako pozaďová, v předměstské zóně, s obytnou charakteristikou. Stanice se nachází na okraji parkoviště u areálu KOUPARK. V okolí je nízkopodlažní zástavba rodinných domů; nejblížší z nich jsou asi 50 m od stanice.



Obr. 6 Lokalita Ostrava-Radvanice OZO

#### Petřvald (TPTV)

Stanice Petřvald byla umístěna v blízkosti domů s pečovatelskou službou a společnosti Metal-Management s.r.o. na ulici Ráčkova (49.8159492N, 18.3653983E, Obr. 7). Jedná se o dopravně málo exponovanou lokalitu se zelení a převažující ne příliš hustou nízkopodlažní zástavbou.



Obr. 7 Lokalita Petřvald (foto: ČHMÚ, březen 2021)

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web\_generator/locality/pollution\_locality/loc\_TORO\_CZ.html



#### Studénka (TSTD)

т

Č

Stanice Studénka byla umístěna v lokalitě stávající stanice ČHMÚ Studénka<sup>6</sup> (49.7209333N, 18.0893131E, Obr. 8), která je součástí Státní sítě imisního monitoringu. Jedná se o otevřenou lokalitu na okraji města Studénka. V blízkosti se nachází zemědělské plochy a řídká nízkopodlažní zástavba rodinných domů. Stanice je klasifikována jako pozaďová, ve venkovské zóně, se zemědělskou charakteristikou.



Obr. 8 Lokalita Studénka (TSTD)

#### Věřňovice (TVER)

Stanice Věřňovice byla umístěna v lokalitě stávající stanice ČHMÚ Věřňovice<sup>7</sup>, která je součástí Státní sítě imisního monitoringu. Nachází se asi 500 m od kraje obce Věřňovice. V blízkosti stanice protéká řeka Olše a nachází se hranice s Polskem (49.9246814N, 18.4228911E, Obr. 9). Stanice je klasifikována jako pozaďová, ve venkovské zóně, se zemědělskou a průmyslovou charakteristikou. V nejbližším okolí se nacházejí zemědělské plochy. Stávající řazení mezi lokality s částečně průmyslovou charakteristikou vychází ze skutečnosti, že se ve vzdálenosti cca 3 km nachází Tepelná elektrárna Dětmarovice a imisně se zde projevuje také přenos průmyslových emisí z Ostravska a polské části Slezska.



Obr. 9 Lokalita Věřňovice (foto: ČHMÚ, červenec 2022)

 $<sup>^{6}</sup> www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_locality/loc_TSTD_CZ.html$ 

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web\_generator/locality/pollution\_locality/loc\_TVER\_CZ.html

Č

Α

R

www.tacr.cz www.mzp.cz



# 3. Rozsah a metodika prací

Na třech monitorovacích lokalitách bylo v období přibližně od poloviny ledna 2021 do poloviny ledna 2022 provedeno širokospektrální měření znečištění ovzduší. Na základě následných laboratorních analýz bylo provedeno vyhodnocení imisně-meteorologických vztahů a matematické modelování pomocí statistické metody PMF (Positive Matrix Factorization), kterou byly vypočteny imisní příspěvky zdrojů znečišťování ovzduší, které se v měřeném období v posuzované oblasti podílely na znečištění ovzduší aerosolovými částicemi PM<sub>10</sub> a benzo[*a*]pyrenem. Rozsah provedených prací přehledně shrnuje tabulka 1 v kap. 3.5, podrobnosti jsou obsahem podkapitol 3.1 až 3.4. Kromě prací popsaných v následujících podkapitolách bylo provedeno experimentální měření mikrovlnným radiometrem a dopplerovským lidarem. Tyto práce provedené v rámci projektu ARAMIS s částečnou vazbou na projekt KAPOOO (https://www.msk.cz/cs/temata/zivotni\_prostredi/krajsky-akcni-plan-pro-oblast-ochrany-ovzdusi---kapooo-10409/) sloužily k posouzení použitelnosti nových metod pro případná budoucí hodnocení. Podrobnosti dokumentuje příloha 5. Oba přístroje jsou v rané fázi testování a získané výsledky zatím nebylo možné využít pro předkládanou identifikaci příčin znečištění ovzduší netodami nevycházelo.

### 3.1. Terénní práce

V období 14. 1. 2021–13. 1. 2022 byla provedena odběrová kampaň ve výše popsaných měřicích lokalitách. Automatickými sekvenčními vzorkovači Leckel SEQ zde byly odebírány vzorky prašného aerosolu frakce PM<sub>10</sub> na filtry. Ve většině lokalit byly umístěny 3 ks těchto vzorkovačů. Výjimkou byla lokalita Ostrava-Radvanice, OZO (TORO), ve které byly instalovány 2 ks vzorkovačů SEQ (nebyly zde prováděny odběry pro stanovení elementárního a organického uhlíku) a lokality Liberty (TLIB) a Petřvald (TPTV) osazené 1 ks (sloužily pouze pro ohraničení ohniska vysokých koncentrací PAH a nebyly využity pro identifikaci zdrojů znečišťování ovzduší). V období 14. 1. 2021–13. 4. 2021 byly v lokalitách TOBA, TORE a TOKU odebírány 3hodinové vzorky každých 9 hodin při průtoku vzduchu cca 2,3 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>. Ve zbývající části měřeného roku (13. 4. 2021–13. 1. 2022) na těchto třech stanicích probíhaly odběry 24hodinové, souběžně s termíny odběrů prováděných v rámci Státní sítě imisního monitoringu. Na ostatních stanicích byly po celý rok (14. 1. 2021–13. 1. 2022) prováděny 24hodinové odběry každý 3. den. Veškeré terénní práce, jejichž výsledky jsou popsány v předkládané zprávě, byly provedeny pracovníky ČHMÚ.

### 3.2. Laboratorní práce

Odebrané vzorky na filtrech byly v laboratoři analyzovány pro stanovení hmotnostní koncentrace látek a sloučenin, které jsou nezbytné pro dostatečné rozlišení a přesnost navazujícího hodnocení, především matematického modelu PMF.

Rozsah laboratorně stanovených látek byl následující:

- gravimetrické stanovení koncentrace suspendovaných částic PM<sub>10</sub>,
- OC, EC včetně teplotně rozlišených frakcí OC1 až OC4, resp. EC1 až EC4 (termooptická analýza)<sup>8</sup>,
- ionty (iontová chromatografie): SO4<sup>2-</sup>, NO3<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, NH4<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Analýzy organického a elementárního uhlíku proběhly ve všech lokalitách s výjimkou TORO.

Č

R



- PAH (kapalinová chromatografie): fluoranten, pyren, benzo[a]antracen, chrysen, benzo[b]fluoranten, benzo[k]fluoranten, benzo[a]pyren, dibenzo[a,h]antracen, benzo[ghi]perylen, indeno[1,2,3-cd]pyren,
- prvkové složení (ED XRF): Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, In, Sb, Ba, Pb,
- anhydrosacharidy (iontová chromatografie HPAE-PAD): levoglucosan, mannosan, galactosan.

Analytické práce byly provedeny v laboratoři ČHMÚ, pobočky Ostrava, s výjimkou rozborů PAH. Koncentrace PAH ve vzorcích z lokalit Studénka a Věřňovice byly stanoveny ČHMÚ, pobočkou Ústí nad Labem, z ostatních lokalit byly analyzovány Zdravotním ústavem se sídlem v Ostravě (vzorky odebrané do 11. 9. 2022), resp. společností ALS Czech Republic, s.r.o. (vzorky odebrané od 8. 9. 2022).

### 3.3. Metodika hodnocení imisně-meteorologických dat a vztahů

Imisní hodnocení a hodnocení koncentrací škodlivin v závislosti na směru a rychlosti větru z intenzivní kampaně (3hodinové odběry) bylo provedeno a předloženo v předchozí zprávě [22]. Aktuální hodnocení spočívá ve zpracování 24hodinových údajů za celé období měření, tedy od 14. ledna 2021 do 13. ledna 2022. Časy odběru vzorků jsou v UTC a jsou vztaženy k začátku měřicího intervalu.

Ve zpracování byly využity 24hodinové průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu (na všech stanicích) a PM<sub>10</sub> (na všech stanicích s výjimkou Petřvaldu (TPTV) a Ostrava-Liberty a.s. (TLIB)). Bližší informace o stanicích a provedených měřeních jsou uvedeny v kapitole 3.5 (Tab. 1). Naměřené průměrné roční koncentrace benzo[a]pyrenu byly kartograficky zpracovány v GRASS GIS v. 8.0 gridováním metodou regularized spline tension.

Protože v období 14. 1. 2021–13. 4. 2021 probíhaly v lokalitách Ostrava-Bartovice (TOBA), Ostrava-Kunčičky (TOKU) a Ostrava-Radvanice, ZÚ (TORE) odběry jako 3hodinové, byly výsledky analýz z tohoto období agregovány do 24hodinových průměrů. To umožnilo stejný způsob jejich zpracování jako v případě ostatních lokalit, ve kterých po celý rok probíhaly odběry jako 24hodinové každý 3. den.

Pro potřeby hodnocení 24hodinových koncentrací škodlivin v závislosti na směru větru byla použita interní metodika ČHMÚ stanovení denního typu směru proudění (DTP) z hodinových dat směru a rychlosti větru [4] z automatického měření meteorologických veličin ČHMÚ. Na základě metodiky je možné určit DTP pro 8 základních směrů (S, SV, SZ, V, Z, J, JZ, JV), dále pro bezvětří ( $\leq 0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a proměnlivý vítr. Hodnocení koncentrací v závislosti na DTP nemusí být vypovídající s ohledem na skutečnost, že měření neprobíhalo každý den. Je také pravděpodobné, že koncentrace (zvláště při naměřených vysokých hodnotách) zjištěná v daném dni měření (po dobu 24 hodin) nemusí být reprezentativní pro vypočtené převládající proudění, ale může být naopak naplněna ze směru, kdy proudění trvalo jen kratší dobu. Jedná se tedy o orientační charakteristiku s omezenou vypovídací hodnotou.

DTP byly vypočteny z meteorologických měření na dané stanici. Výjimkou jsou stanice, kde tato měření nebyla k dispozici (TOKU, TPTV a TLIB). U stanic TOKU a TPTV bylo pro určení DTP využito měření ze stanice státního imisního monitoringu Havířov (THAR; vlastník ČHMÚ). Imisně-meteorologické hodnocení na základě DTP vyžaduje měřicí místo situované tak, aby bylo možno vyhodnotit změny imisních koncentrací při různém směru a rychlosti větru vzhledem k předpokládaným zdrojům emisí. V lokalitě TLIB nebyly DTP hodnoceny z důvodu malé vzdálenosti měřicího místa od koksárenských baterií a zastavěnosti areálu Liberty Ostrava a.s. Hustá zástavba průmyslovými objekty zde lokálně významně ovlivňuje směr a rychlost větru a neumožňuje správně vyhodnotit vliv směru proudění.

R



Statistické charakteristiky s rozložením koncentrací s vyznačením mediánových a odlehlých hodnot jsou vyjádřeny pomocí boxplotů. Statistické analýzy a jejich grafické zobrazení byly provedeny pomocí programovacího jazyka R, MS Excel a ArcGIS.

### 3.4. Metodika identifikace zdrojů znečišťování metodou PMF

Pro identifikaci zdrojů znečišťování ovzduší (posouzení, které zdroje se v hodnoceném místě podílejí na celkové imisní koncentraci hodnocených látek, a jaká je velikost jejich imisních příspěvků) byl použit receptorový matematický model PMF. Jedná se o standardní statistickou metodu, mnohorozměrnou faktorovou analýzu, která je k tomuto účelu celosvětově běžně používána. Je založena na vzájemných korelacích časových řad imisních koncentrací jednotlivých analytů a jejich skupin. Analyty s podobným časovým průběhem jsou modelem seskupeny do tzv. faktorů. Tyto identifikované faktory (jejich složení a časový průběh) reprezentují konkrétní zdroje nebo skupiny zdrojů znečišťování ovzduší, které v posuzované lokalitě přispívají ke znečištění ovzduší zájmovou látkou. Pro každý faktor byl modelem vypočten absolutní i relativní podíl na imisní koncentraci PM<sub>10</sub>. Ze zastoupení benzo[*a*]pyrenu v jednotlivých faktorech byl následně vypočten podíl zdrojů na imisní koncentraci této škodliviny. Vypracován byl souhrnný model všech tří lokalit, který vede ke stabilnějším (spolehlivějším) výsledkům díky rozsáhlému datasetu a současně umožňuje přímé porovnání lokalit z hlediska podílů jednotlivých faktorů (typů zdrojů znečišťování).

Protože v období 14. 1. 2021-13. 4. 2021 probíhaly v lokalitách Ostrava-Bartovice (TOBA), Ostrava-Kunčičky (TOKU) a Ostrava-Radvanice, ZÚ (TORE) odběry jako 3hodinové, byly výsledky analýz z tohoto období agregovány do 24hodinových průměrů, aby mohly být využity v modelu spolu s daty z ostatních stanic. Porovnáním takto agregovaných 3hodinových koncentrací benzo[a]pyrenu v lokalitě TORE s výsledky 24hodinových měření prováděných na této stanici v rámci provozu Státní sítě imisního monitoringu byla zjištěna shoda vyjádřená koeficientem determinace  $R^2 = 0.86$  (jak bylo uvedeno výše, mezi jednotlivými 3hodinovými odběry byla 6hodinová pauza a odběry tak pokrývaly 6-9 hodin z danného dne). Tuto korelaci lze považovat za dostatečnou a velmi dobrou uvážíme-li, že se jednalo o vzorky odebírané v odlišném časovém rozlišení, odlišnými vzorkovači a analyzované v odlišné laboratoři (samotná relativní rozšířěná nejistota laboratorního stanovení činí obvykle cca 20 %). Agregace tedy neměla podstatný vliv na nejistotu modelu. Tímto způsobem vznikla za první 3 měsíce měření souvislá časová řada 24hodinových hodnot. Po zbývající část roku probíhaly ve všech lokalitách 24hodinové odběry každý 3. den. Po spojení dat z prvního kvartálu s daty naměřenými ve zbývající části roku se proto roční časová řada vyznačovala 3 krát vyšším počtem vzorků v úvodních chladných 3 měsících oproti ostatním sezonám. Tato asymetrie by způsobila zkreslení vypočtených podílů zdrojů oproti průměrným ročním hodnotám. Výsledky měření z období 13. 4. 2021–13. 1. 2022 prováděných každý třetí den byly proto ve všech lokalitách přiřazeny i dvěma následujícím dnům, ve kterých odběry ve skutečnosti neprobíhaly. Toto vyplnění mezilehlých dnů bylo nutné provést i v lokalitách, kde probíhaly po celý rok odběry každý 3. den, tj. ve Studénce (TSTD), Věřňovicích (TVER) a Ostravě-Radvanicích OZO (TORO). Bez této úpravy by v souhrnném modelu měly slabší váhu oproti stanicím s vyšším počtem vzorků. Po doplnění o uvedená fiktivní měření obsahoval dataset ve všech lokalitách hodnoty pro každý den v roce (s výjimkou trojic dnů, kdy došlo k výpadku měření). Zvažován byl i opačný postup k odstranění zmíněné asymetrie, tj., v prvním kvartálu měření využít pouze hodnoty z každého třetího dne. Tento přístup by ale vedl ke ztrátě cenných informací o variabilitě koncentrací jednotlivých analytů, což by snížilo vypovídací hodnotu následného statistického zpracování a možná i snížení rozlišovací schopnosti receptorového modelu. Navzdory vyšší výpočtové náročnosti byl proto zvolen výše popsaný postup.

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí v rámci **Programu Prostředí pro život**. www.tacr.cz www.mzp.cz

т

Č

R



V lokalitě Ostrava-Radvanice OZO (TORO) nebyly prováděny laboratorní analýzy elementárního a organického uhlíku. Bez těchto údajů nebylo možno využít ani koncentrace dalších naměřených analytů v lokalitě z důvodu nekonvergentního modelového řešení. Využita byla proto statisticky významná korelace mezi PAH a EC zjištěná ve všech ostatních lokalitách. V případě závislosti EC a benzo[*a*]antracenu se jednalo o  $R^2 = 0,71$  (Ostrava-Radvanice, ZÚ) až 0,85 (Ostrava-Kunčičky, Studénka a Věřňovice). Velmi stálou regionální korelaci elementárního a organického uhlíku a PAH okolo  $R^2 = 0,85$  narušují v zájmovém území emise z provozu Liberty Ostrava a.s. (v hodnoceném období snižovaly hodnotu  $R^2$  na 0,82 v lokalitě Ostrava-Bartovice a 0,71 v lokalitě Ostrava-Radvanice, ZÚ). Lokalita Ostrava-Radvanice OZO (TORO) se ve vztahu k proudění od areálu Liberty Ostrava a.s. nachází mezi lokalitami Ostrava-Kunčičky (TOKU) a Ostrava-Radvanice, ZÚ (TORE) a i ona je částečně tímto areálem ovlivňována. K výpočtu fiktivní časové řady koncentrací elementárního a organického uhlíku v lokalitě Ostrava-Radvanice OZO (TORO) byl proto využit poměr mezi 24hodinovými koncentracemi EC a benzo[*a*]antracenu na těchto stanicích podle vztahu:

 $EC_{TORO} = (EC_{TOKU} / BaA_{TOKU} + EC_{TORE} / BaA_{TORE}) / 2 \cdot BaA_{TORO}$ 

Fiktivní koncentrace organického uhlíku a jednotlivých teplotně rozlišených frakcí uhlíku v této lokalitě byly následně vypočteny jako:

$$OC_{TORO} = (OC_{TOKU} / EC_{TOKU} + OC_{TORE} / EC_{TORE}) / 2 \cdot EC_{TORO},$$
$$EC_{XTORO} = (EC_{XTOKU} / EC_{TOKU} + EC_{XTORE} / EC_{TORE}) / 2 \cdot EC_{TORO},$$

 $OC_{X_{TORO}} = (OC_{X_{TOKU}} / OC_{TOKU} + OC_{X_{TORE}} / OC_{TORE}) / 2 \cdot OC_{TORO},$ 

kde x je označení jednotlivých teplotně rozlišených frakcí (EC1 až EC4, resp. OC1 až OC4).

Rozšířená nejistota takto vypočtených hodnot byla pro účely modelu PMF odhadnuta na 50 %. Popisovaná úprava zajistila konvergentní běh modelu s přidanou lokalitou Ostrava-Radvanice OZO (TORO), čímž byly v modelu využity koncentrace iontů, prvků a PAH naměřené na této stanici. Toto doplnění vedlo k podstatně lepšímu prostorovému rozlišení hodnocení (posouzení dosahu vlivu různých zdrojů v imisně silně heterogenní severovýchodní části Ostravy).

Při modelování bylo postupováno v souladu s požadavky manuálu k programu PMF 5.0 [5]. Matematicky stabilní a smysluplně interpretovatelné řešení bylo nalezeno pro 10 faktorů. Základní modelové řešení (Base Run) se vyznačovalo poměrem Qtrue/Qexp modelu ve výši 0,91. Přiléhavost modelem vypočtené koncentrace k naměřeným hodnotám je vyjádřena koeficientem determinace  $R^2=0.93$  v případě PM<sub>10</sub> a  $R^2=0.86$  v případě benzo[*a*]pyrenu, což je v kontextu dřívějšího použití modelu PMF v jiných lokalitách ČR standardně dobrá shoda. Přidaná nejistota modelu dosahovala 13 %. Použito bylo celkem 38 analytů označených jako STRONG. Dva analyty (chrom a  $PM_{10}$ ) byly označeny jako WEAK. Gravimetricky stanovená koncentrace PM10 v modelu plnila funkci tzv. totální proměnné, která v ideálním případě reprezentuje součet hmotnosti jednotlivých analytů. Z důvodu nevyhovujícího poměru signál/šum, důvodu nadbytečnosti (duplicita hmoty s jiným analytem, nespecifičnost původu) nebo nedostatečné datové sady (např. měření pouze na jedné z hodnocených lokalit) byly z měřených analytů vyřazeny teplotně rozlišené frakce organického uhlíku (OC1 až OC4) měřené termooptickou metodou, fluoridy a bromidy měřené iontovou chromatografií, K, S, Cl, No, Cd a In stanovené metodou ED XRF, některé PAH (BaA, BbF, BjF, BkF) a plynné polutanty měřené automatickými analyzátory. Tyto vyřazené analyty byly v modelu označeny jako BAD. Naměřené koncentrace ostatních duplicitních a plynných analytů v datové sadě (např. iontů prvků stanovených iontovou chromatografií, které byly současně analyzovány pomocí XRF), které byly v datasetu ponechány pro zvýšení rozlišovací schopnosti a lepší možnosti interpretace modelu, byly o 3 řády sníženy, aby významně neovlivňovaly kvantifikaci hmotnostních podílů v PM10.

R



Stabilita řešení byla ověřována především metodou bootstrap (vždy použito 20 testovacích výběrů). Protože základní model (Base Run) nedosahoval v případě některých faktorů dostatečné shody, byla provedena jemná rotace modelového řešení s nejlepšími výsledky při hodnotě Fpeak = -0.5. Podíly faktorových imisních příspěvků v tomto rotovaném řešení se od základního běhu (Base Run) lišily pouze o desetiny procenta, ale po matematické stránce byla stabilita modelu vyhovující (shoda bootstrap řešení  $\ge 95$  %).

Jak základní, tak i rotovaný model v případě některých modelových faktorů obsahoval v malé míře i podíl analytů, který neodpovídal charakteru relevantních typů znečištění. Jednalo se o uhlíkaté částice, anhydrosacharidy a PAH v částicích z průmyslového nakládání s prašnými minerálními hmotami (vápno, ruda, struska, apod.), a anhydrosacharidy v částicích z výroby koksu, surového železa a oceli. Tyto nelogické příměsi se ve faktorových profilech vyskytovaly v relativně i absolutně nízkých koncentracích jako důsledek mezifaktorových interferencí a statistického šumu. Protože mohly nežádoucím způsobem mírně deformovat vyhodnocené podíly zdrojů, byl zpracován upravený model (Constrained Run), ve kterém bylo zastoupení těchto analytů v uvedených faktorech redukováno metodou Pull Down Maximally). Upravený model (Constrained Run) se vyznačoval hodnotou  $Q_{true}/Q_{exp}$ = 0,92 a koeficientem determinace modelových a naměřených hodnot  $R^2$  = 0,93 (PM<sub>10</sub>), resp.  $R^2$  = 0,86 (benzo[*a*]pyren). Upravený model zůstal podle metody bootstrap dostatečně stabilní (> 95% shoda pro 20 zkušebních běhů). Nejistota vypočtená metodou Displacement dosahovala ještě nižších hodnot než bootstrap test.

Po interpretaci faktorových profilů bylo provedeno ověření, zda směr, odkud byly do hodnocených lokalit transportovány modelem identifikované typy znečištění, odpovídá poloze skutečných zdrojů. Za tímto účelem byly výsledky modelu v podobě vypočtených imisních příspěvků spárovány s naměřenými hodnotami směru a rychlosti větru s využitím denních typů proudění v hodnocených lokalitách (viz kapitola 6.2). Pro tuto analýzu byly využity pouze dny s odběry vzorků. Nebyly do ní zahrnuty dny bez odběru, pro které byla provedena výše popsaná kompenzace sezonní asymetrie spočívající v doplnění mezilehlých dnů hodnotami z nejbližšího vzorkovaného dne (v období 14. 1. 2021–13. 4 2021 byl analyzován každý den, ve zbytku odběrové kampaně každý 3. den). Kromě ověření správnosti interpretace posloužila tato analýza také k vytěžení dalších užitečných informací z modelových výstupů.

Č

Α

R

# 3.5. Přehled provedených prací

Činnosti provedené za účelem předkládaného hodnocení v jednotlivých lokalitách jsou shrnuty v následující tabulce 1.

			Časové rozlišení			PM <sub>10</sub>	Rozsah analýz						
Lokalita	Kód lok.	Тур	Fáze I	Fáze II	Počet vz.	(aut.) + plyny	PM <sub>10</sub> (GRV)	BaP	EC, OC	prvky, ionty, anh.	Měř. větru	DTP	PMF
Ostrava-Bartovice	TOBA	Р	3h/9h	24h/3d	3	N	А	А	А	A	А	Α	Α
Ostrava-Kunčičky	TOKU	Р	3h/9h	24h/3d	3	N	Α	А	А	A	N	A	A
Ostrava-Liberty	TLIB	0	24h/6d	24h/6d	1	N	N	А	N	N	А	N	N
Ostrava-Radvanice ZÚ	TORE	Р	3h/9h	24h/3d	3	A	А	А	А	A	А	Α	Α
Ostrava-Radvanice OZO	TORO	D	24h/3d	24h/3d	2	A	А	А	N	A	Α	A	Α
Petřvald	TPTV	0	24h/6d	24h/6d	1	N	N	А	N	N	N	A	N
Studénka	TSTD	D	24h/3d	24h/3d	3	A	А	А	А	A	Α	A	Α
Věřňovice	TVER	D	24h/3d	24h/3d	3	A	Α	А	А	A	A	A	Α

Tab. 1 Přehled provedených činností na jednotlivých lokalitách

Vysvětlivky:

Тур	Typ lokality z hlediska výzkumného účelu
Р	Prioritní lokalita pro detailní identifikaci lokálních zdrojů
D	Doplňková lokalita pro identifikaci lokálních a regionálních zdrojů
0	Lokalita pro ohraničení imisního hot-spotu benzo[a]pyrenu
Fáze I	Období 14. 1. 2021–13. 4. 2021
Fáze II	Období 13. 4. 2021–13. 1. 2022
3h/9h	3hodinový odběr každou 9. hodinu
24h/3d	24hodinový odběr každý 3. den
Počet vz.	Počet automatických sekvenčních vzorkovačů Leckel SEQ využitých na lokalitě
$PM_{10}(aut.) + plyny$	Měření PM10 a plynů automatickými analyzátory
PM <sub>10</sub> (GRV)	Gravimetrické stanovení PM10
BaP	Benzo[a]pyren
EC, OC	Elementární a organický uhlík
prvky, ionty, anh.	Prvkové složení, ionty a anhydrosacharidy
DTP	Imisně-meteorologické hodnocení na základě denních typů proudění
PMF	Receptorový model PMF
A	Ano (bylo realizováno)
Ν	Ne (nebylo realizováno)

Č

R

www.tacr.cz www.mzp.cz



# 4. Výsledky a hodnocení prací

## 4.1. Meteorologické podmínky

Pro hodnocení imisní situace je důležité posouzení meteorologických podmínek, především s ohledem na to, zda v daném období nedošlo k významným změnám/výkyvům oproti dlouhodobým průměrům. Reprezentativní stanicí pro Ostravu je stanice Ostrava-Poruba. V roce 2021 byla průměrná roční teplota vzduchu v Ostravě-Porubě 9,2 °C, což bylo o 0,3 °C méně než je dlouhodobý průměr (normál) za období let 1991–2020. Rok byl vyhodnocen jako teplotně normální. Nejvíce teplotně podnormální měsíc roku 2021 byl duben s průměrnou měsíční teplotou vzduchu o 3,0 °C nižší než normál za období let 1991–2020. Měsíc květen byl teplotně podnormální o 2,0 °C a srpen o 1,8 °C. Nejvíce teplotně nadnormální byly červen, a to o 2,0 °C a červenec o 1,3 °C. V roce 2021 zde spadlo 733,5 mm srážek, což je 105 % srážkového normálu za období let 1991–2020. Rok byl tak hodnocen jako srážkově normální. Nejvíce srážkově nadnormální byly měsíce srpen s 217 % srážkového normálu (172,9 mm) a duben se 147 % normálu (64,8 mm). V říjnu spadlo pouze 39 % normálu (20,1 mm) a 42 % v září (31,3 mm). Poměrné zastoupení směrů větru nevykazovalo žádné významné odchylky od 5letého průměru za roky 2016–2020 a 10letého průměru 2011–2020 (Obr. 10). Celkově bylo sledované období z meteorologického hlediska hodnoceno jako normální.

Pro hodnocení vlivu zdrojů znečišťování na kvalitu ovzduší v dané lokalitě jsou nejdůležitějšími meteorologickými veličinami směr a rychlost větru. V období 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022 převládalo proudění z jihozápadního sektoru, na radvanických stanicích ze severního sektoru (Obr. 11). Měření směru a rychlosti větru na stanicích TORO a TORE je reprezentativní pouze pro tyto stanice v lokálním měřítku.

S ohledem na to, že byly hodnoceny 24hodinové koncentrace  $PM_{10}$  a benzo[*a*]pyrenu, nebylo možné v závislosti na směru větru dosáhnout tak spolehlivých výsledků v identifikaci zdrojů znečištění jako v případě hodnocení 3hodinových koncentrací v období 14. 1. až 13. 4. 2021. Vzhledem k tomu, že měření neprobíhalo každý den, nebylo možné věrohodně zachytit všechny typy meteorologických situací v průběhu roku. Není k dispozici úplná datová sada denních koncentrací měřených škodlivin a nelze je tedy hodnotit v návaznosti na všechny denní typy proudění v průběhu období 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022.

Nepřesnosti hodnocení DTP jsou také popsány v kap. 3.3.



*Obr. 10 Větrné růžice, Ostrava-Poruba, období: 2021, 2016–2020 a 2011–2020* 

#### 17



Č





Obr. 11 Větrné růžice použité v hodnocení, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



Č

R

### 4.2. Chemická skladba PM<sub>10</sub>

Laboratorním stanovením imisních koncentrací měřených analytů v aerosolu PM<sub>10</sub> bylo zjištěno jeho průměrné složení za dobu odběrové kampaně, které dokládá Obr. 12.



Obr. 12 Hmotnostní složení aerosolu PM<sub>10</sub>

Největší část hmoty částic zachycených na filtrech byla ve všech lokalitách tvořena organickým uhlíkem (cca 33 až 47 %), významnými složkami byly sírany a dusičnany (v součtu celkem cca 23 až 32 %). Organický uhlík zde reprezentuje pouze hmotnost samotného uhlíku obsaženého v organických sloučeninách, nikoliv celkovou hmotnost těchto organických sloučenin. Elementární uhlík tvořil cca 7 až 12 % hmotnosti PM<sub>10</sub>. Přibližně 5 až 10 % připadalo na amonné ionty, pětiprocentní podíl byl výrazně překročen také v případě železa v lokalitách Ostrava-Radvanice, ZÚ (TORE) a Ostrava-Radvanice OZO (TORO) a v případě chloridů v lokalitě Ostrava-Radvanice, ZÚ (TORE). Z hodnocených lokalit mírně vyniká zvýšeným relativním podílem dusičnanů a síranů Studénka (TSTD) a násobně zvýšeným obsahem železa a chloridů vybočují ostravské lokality TORE a TORO. V případě tří ostravských lokalit Ostrava-Bartovice (TOBA), Ostrava-Kunčičky (TOKU) a Ostrava-Radvanice, ZÚ (TORE) je zřejmý mírně zvýšený relativní podíl elementárního uhlíku oproti mimoměstským stanicím ve Studénce a Věřňovicích (TSTD a TVER).

Č

R



## 4.3. Plošný rozsah ohniska benzo[a]pyrenu

Dosud nejvyšší počet lokalit se souběžným měřením benzo[*a*]pyrenu ve východní části Ostravy a přilehlých obcích umožnil nově plošně ohraničit ohnisko zvýšených koncentrací tohoto polutantu v okolí stanice Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE). S využitím naměřených koncentrací za celé projektové měření byla vypracována mapa rozložení průměrné roční koncentrace benzo[*a*]pyrenu (Obr. 13).



Obr. 13 Pole průměrné roční koncentrace benzo[a]pyrenu (14. 1. 2021–13. 1. 2022)

Z vypracované mapy vyplývá, že koncentracemi benzo[*a*]pyrenu nad 8 ng·m<sup>-3</sup> bylo zasaženo okolí stanice Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), do vzdálenosti 500 až 800 metrů kolmo na převládající směr proudění a do vzdálenosti cca 800 až 1000 metrů podél osy převládajícího směru proudění. Jednalo se o jižní část městské části Ostrava-Radvanice, na severu ohraničenou přibližně silnicí I/59, a severní okraj Bartovic. Koncentrace nad 5 ng·m<sup>-3</sup> se vyskytovaly do vzdálenosti 1,0 až 1,7 km ve směru kolmém na převládající směr proudění, do vzálenosti cca 2,0 km proti a cca 3,5 km po směru převládajícího proudění od uvedené stanice. Tato zóna zasahovala téměř celé Radvanice a Bartovice a přibližně polovinu Petřvaldu.

Výsledky potvrzují výchozí předpoklady (jedná se o lokální hot-spot, úroveň znečištění nevybočuje z hodnot zjištěných v této lokalitě imisním monitoringem v posledních 5 letech) a správnost stávající klasifikace stanice imisního monitoringu Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE). Údaje z této stanice jsou reprezentativní v mikroměřítku, tzn., platí pouze pro její nejbližší okolí (do cca 100 metrů od stanice) a nejsou použitelné pro hodnocení kvality a příčin znečištění ovzduší v Ostravě-Radvanicích jako celku, v okolních městských částech, ani v širším okolí. Úroveň znečištění benzo[*a*]pyrenem nad 5 ng·m<sup>-3</sup> v okolí této monitorovací lokality ovlivňuje populaci čítající přibližně 8 400 osob a úroveň nad 8 ng·m<sup>-3</sup> přibližně 860 osob (jedná se o orientační odhad na základě údajů ze sčítání lidu z roku 2011, protože aktuálnější údaje o populaci nebyly v době zpracování zprávy k dispozici). Parametry vyjadřující

Č



expozici populace (počet obyvatel a úroveň znečištění) benzo[*a*]pyrenu v ovzduší mimo zmíněný imisní hot-spot jsou odhadnuty v závěrečné kapitole.

### 4.4. Imisně-meteorologické hodnocení

Imisně-meteorologické hodnocení bylo provedeno pouze pro všechny odběrové dny. V lokalitách Ostrava-Bartovice (TOBA), Ostrava-Kunčičky (TOKU) a Ostrava-Radvanice, ZÚ (TORE) to znamená, že v úvodním tříměsíčním období byl hodnocen každý den s využitím agregace 3hodinových vzorků, ve zbývající části měřeného roku byla zpracována data z odběrů prováděných každý 3. den (viz kapitola 3.3). S ohledem na nezbytné časté odkazy na názvy měřicích míst jsou pro snazší čitelnost textu v podkapitole 4.4. používány pouze jejich zkratky (kódy, které jsou v jiných kapitolách uváděny v závorkách za názvem lokalit).

#### 4.4.1. PM<sub>10</sub>

Nejvyšší denní průměrné koncentrace  $PM_{10}$  byly na všech šesti stanicích s měřením této škodliviny dosaženy v chladném, resp. zimním období, nejčastěji v únoru 2021 (Obr. 14). Tomu odpovídá i vyhodnocení nejvyšších měsíčních průměrných koncentrací  $PM_{10}$ , které připadalo na měsíc únor v roce 2021 (Obr. 17). Nejvyšší průměrná koncentrace  $PM_{10}$  za celé období měření 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022 (Obr. 16) byla naměřena na stanici TORE (40  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>), dále v lokalitách TORO a TVER (30  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>), TOKU (27  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>), TOBA (25  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>) a v průměru nejnižší koncentrace byla naměřena na stanici TSTD (23  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>). Statistické rozložení 24hodinových koncentrací  $PM_{10}$  je znázorněno na Obr. 15.

V lokalitě TOBA byly v průměru nejvyšší koncentrace  $PM_{10}$  zjištěny při východním denním typu proudění. Jednalo se však pouze o šest denních koncentrací  $PM_{10}$  (z toho dvě v hodnotách nad 90 µg·m<sup>-3</sup> v zimním období). Podobně vysoké hodnoty byly zaznamenány rovněž při severním a severovýchodním DTP. V průměru nejnižší koncentrace  $PM_{10}$  byly naměřeny při severozápadním denním typu proudění. Jihovýchodní DTP byl zaznamenán pouze jeden (Obr. 18 a 19).

V průměru nejvyšší koncentrace PM<sub>10</sub> byly v lokalitě TOKU naměřeny při východním DTP. Obdobně však jako u lokality TOBA byly způsobeny hlavně dvěma vysokými denními koncentracemi v zimním období z tohoto směru (z celkových pěti případů). V průměru nejnižší koncentrace PM<sub>10</sub> byly při jihozápadním denním typu proudění. Jihovýchodní DTP nebyl na stanici zaznamenán (Obr. 20 a 21).

V lokalitě TORE byly nejvyšší průměrné koncentrace  $PM_{10}$  za sledované období naměřeny při z jihozápadním a dále západním DTP. S jihozápadním DTP bylo také spojeno nejvíce denních koncentrací  $PM_{10}$  vyšších než 100  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>, a to v zimních měsících sledovaného období. Severovýchodní, východní a jihovýchodní DTP nebyly zaznamenány. Nejnižší průměrné denní koncentrace se vyskytly při severních a severozápadních DTP (Obr. 22 a 23).

V průměru nejvyšší koncentrace  $PM_{10}$  přicházely na stanici TORO při severozápadním DTP a při proměnlivém proudění větru. Nejvyšší denní průměrné koncentrace  $PM_{10}$  nad 100 µg·m<sup>-3</sup> byly na stanici TORO zjištěny při východním a severozápadním DTP. Jihovýchodní DTP nebyl na stanici zaznamenán (Obr. 24 a 25).

Na stanici Studénka (TSTD) byly naměřeny v průměru nejvyšší průměrné koncentrace  $PM_{10}$  při severovýchodním, východním a proměnlivém denním typu proudění, přičemž vysoké denní koncentrace  $PM_{10}$  (nad 100 µg·m<sup>-3</sup>) byly zjištěny při severních a severovýchodních DTP. Severozápadní DTP byl zaznamenán pouze jeden a jihovýchodní žádný (Obr. 26 a 27).

V lokalitě ve Věřňovicích (TVER) byly naměřeny nejvyšší průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> při východním, západním, severovýchodním DTP, a dále při proměnlivém proudění. Maximální denní koncentrace

 Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí v rámci Programu Prostředí pro život.
 R www.tacr.cz www.mzp.cz

Т

Č



PM<sub>10</sub> byla zjištěna při východním DTP. Jihovýchodního DTP nebyl na stanici zaznamenán (Obr. 28 a 29).

Závislost denních koncentrací  $PM_{10}$  na rychlosti větru je obsahem tab. 2. Na stanicích TOBA a TOKU docházelo k nejvyššímu počtu překročení hodnoty denních koncentrací  $PM_{10}$  50 µg·m<sup>-3</sup> při průměrné denní rychlosti větru 0,5–1,0 m·s<sup>-1</sup>, na stanicích TORE a TORO při rychlostech větru 1,0–2,0 m·s<sup>-1</sup>, na stanicích TVER a TSTD při rychlostech větru nad 1,0 m·s<sup>-1</sup>. Nejvyšší průměrná koncentrace na stanicích TOBA, TOKU a TSTD připadala na kategorii rychlosti větru 0,5–1,0 m·s<sup>-1</sup>. Na stanici TORE byla nejvyšší průměrná koncentrace  $PM_{10}$  zjištěna při průměrných denních rychlostech větru nad 2,0 m·s<sup>-1</sup> a v intervalu 1,0–2,0 m·s<sup>-1</sup>, na stanicích TORO a TVER při 1,0–2,0 m·s<sup>-1</sup>. Na stanicích TOBA, TSTD a TVER nebyla naměřena průměrná denní rychlost větru pod 0,5 m·s<sup>-1</sup>.



Obr. 14 Průměrné denní koncentrace PM<sub>10</sub>, 14. 1.2021 až 13. 1. 2022



Obr. 15 Statistické rozložení průměrných 24hodinových koncentrací PM<sub>10</sub>, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



*Obr. 16 Průměrné koncentrace PM*<sub>10</sub> za období 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022

Č



Obr. 17 Průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> po měsících za období 14. 1. 2021 až 13 1. 2022

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Α Technologické agentury ČR a Ministerstva životního ARAN prostředí v rámci Programu Prostředí pro život. R www.tacr.cz www.mzp.cz 60 Průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> [µg.m<sup>-3</sup>] 40 20 0 V JV Ζ SV proměnlivý bezvětří S JZ SZ J

т

Č

*Obr.* 18 Lokalita Ostrava-Bartovice (TOBA), koncentrace PM<sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



*Obr.* 19 Lokalita Ostrava-Bartovice (TOBA), koncentrace PM<sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



*Obr. 20 Lokalita Ostrava-Kunčičky (TOKU), koncentrace PM*<sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



*Obr. 21 Lokalita Ostrava-Kunčičky (TOKU), koncentrace PM*<sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



*Obr. 22 Lokalita Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), koncentrace PM*<sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



*Obr. 23 Lokalita Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), koncentrace PM*<sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



*Obr. 24 Lokalita Ostrava-Radvanice OZO (TORO), koncentrace PM*<sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



*Obr. 25 Lokalita Ostrava-Radvanice OZO (TORO), koncentrace PM*<sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



Obr. 26 Lokalita Studénka (TSTD), koncentrace PM<sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



Obr. 27 Lokalita Studénka (TSTD), koncentrace PM<sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



Obr. 28 Lokalita Věřňovice (TVER), koncentrace PM<sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



Obr. 29 Lokalita Věřňovice (TVER), koncentrace PM<sub>10</sub> v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022

rychlost	ТОВА		TOKU		TORE		TORO		TSTD		TVER	
větru [m·s <sup>-1</sup> ]	počet nad 50 μg·m <sup>-3</sup>	průměr [µg·m <sup>−3</sup> ]	počet nad 50 µg·m <sup>−3</sup>	průměr [µg·m <sup>−3</sup> ]	počet nad 50 µg·m <sup>-3</sup>	průměr [µg·m <sup>−3</sup> ]	počet nad 50 μg·m <sup>-3</sup>	průměr [µg·m <sup>−3</sup> ]	počet nad 50 µg·m <sup>−3</sup>	průměr [µg·m <sup>-3</sup> ]	počet nad 50 μg·m <sup>-3</sup>	průměr [µg·m <sup>−3</sup> ]
< 0,5	-	-	2	30	5	39	1	22	-	-	-	-
0.5–1	8	36	15	37	13	39	3	33	1	26	2	29
1–2	6	28	6	27	30	48	5	36	1	24	8	33
> 2	4	22	1	20	9	50	3	30	2	20	8	28

Tab. 2 Průměrné koncentrace a počty překročení hodnoty 50  $\mu$ g·m<sup>-3</sup> pro denní koncentrace PM<sub>10</sub> rozdělené dle kategorií rychlostí větru, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022

### 4.4.2. Benzo[a]pyren

Nejvyšší denní průměrné koncentrace benzo[*a*]pyrenu byly na všech stanicích naměřeny v chladném, resp. zimním období roku, nejčastěji v únoru 2021 (Obr. 30). Na stanici TORE byla nejvyšší úroveň znečištění ovzduší benzo[*a*]pyrenem zjištěna v lednu 2021 (v lednu 2021 bylo měřeno pouze od 14. do 31.) (Obr. 33). Z chodu měsíčních koncentrací benzo[*a*]pyrenu je patrné, že vzájemné koncentrační poměry mezi stanicemi byly během jednotlivých měsíců rozkolísanější než u PM<sub>10</sub> (Obr. 33 a Obr. 17), kde rozdíly v průměrných měsíčních koncentracích mezi jednotlivými stanicemi byly poměrně vyrovnané. Nejvyšší průměrná koncentrace benzo[*a*]pyrenu za celé hodnocené období (Obr. 32) byla naměřena na stanici TORE (10,0 ng·m<sup>-3</sup>), další v lokalitách TPTV (6,6 ng·m<sup>-3</sup>) a TVER (6,5 ng·m<sup>-3</sup>), TORO (5,5 ng·m<sup>-3</sup>), TLIB (4,1 ng·m<sup>-3</sup>), TOBA (3,8 ng·m<sup>-3</sup>), TOKU (3,6 ng·m<sup>-3</sup>). Nejnižší průměrná koncentrace benzo[*a*]pyrenu je ng·m<sup>-3</sup>). Statistické rozložení 24hodinových koncentrací benzo[*a*]pyrenu je znázorněno na Obr. 31.

Jak je vysvětleno v kap. 3.3, vyhodnocení koncentrací benzo[*a*]pyrenu v závislosti na denním typu proudění bylo provedeno na všech lokalitách s výjimkou TLIB.

V průměru nejvyšší denní koncentrace benzo[*a*]pyrenu byly na lokalitě TOBA evidovány ze při východním DTP. Pokud se však podíváme podrobněji, zjistíme, že dnů s východním DTP bylo pouze šest a zahrnovaly i dva dny s nejvyššími koncentracemi benzo[*a*]pyrenu za celou měřicí kampaň. Vysoké koncentrace (denní koncentrace nad 15 ng·m<sup>-3</sup>) byly zaznamenány dále při jihozápadních, západních, severních DTP a při proměnlivém proudění. Nejnižší hodnoty byly v lokalitě TOBA dosaženy při jižních a severozápadních DTP (Obr. 34 a 35).

Nejvyšší průměrné koncentrace benzo[*a*]pyrenu (téměř 15 ng·m<sup>-3</sup>) byly na lokalitě TOKU dosaženy při východním DTP. Tento vysoký průměr však způsobily pouze dva dny s denní koncentrací okolo 30 ng·m<sup>-3</sup>, zatímco během zbývajících tří dnů s východním DTP byly koncentrace benzo[*a*]pyrenu velmi nízké. Nejnižší průměrná koncentrace benzo[*a*]pyrenu nastala při jihozápadních a jižních DTP, přičemž jihozápadní DTP byly ze všech nejčetnější, a to i ve srovnání s bezvětřím a proměnlivým prouděním (Obr. 36 a 37).

V lokalitě TORE jsme nezaznamenali žádný DTP reprezentující proudění z východního sektoru od stanice (SV, V, JV). Nejvyšší denní koncentrace benzo[*a*]pyrenu byly naměřeny při jihozápadních a jižních DTP, které se v lokalitě vyskytovaly nejčastěji. Relativně vysoké denní koncentrace benzo[*a*]pyrenu (nad 40 ng·m<sup>-3</sup>) v rámci měření na této stanici byly zaznamenány také při proměnlivém denním typu proudění (Obr. 38 a 39).

www.mzp.cz

Т

Č



V průměru nejvyšší denní koncentrace benzo[a]pyrenu byly na stanici TORO zjištěny při severozápadním DTP, zároveň zde ale byly tímto DTP klasifikovány pouze čtyři dny za celé období měření. Nejvyšší počet relativně vysokých denních koncentrací benzo[a]pyrenu (nad 10 ng·m<sup>-3</sup>) v rámci měření na TORO byl zaznamenán při jihozápadním, západním a proměnlivém DTP (Obr. 40 a 41).

V lokalitě Petřvald byly naměřeny nejvyšší průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu při východním DTP, což ovšem způsobily dvě průměrné denní koncentrace (nad 20 ng·m<sup>-3</sup>) z celkového počtu tří dnů s východním DTP. Vysoké koncentrace benzo[a]pyrenu byly v této lokalitě nejčastěji evidovány při jihozápadních a západních denních typech proudění a při bezvětří (Obr. 42 a 43).

V lokalitě Studénka byly v průměru nejvyšší koncentrace benzo[a] pyrenu zjištěny při DTP ze západních a jihozápadních směrů. Jihozápadní DTP se zároveň vyskytoval s nejvyšší četností. Maximální denní koncentrace změřené na této stanici ve sledovaném období byly evidovány při severních a severovýchodních denních typech proudění (Obr. 44 a 45).

V průměru nejvyšší průměrné denní koncentrace benzo[a]pyrenu za celé období v lokalitě Věřňovice byly měřeny při západním denním typu proudění. Maximální denní koncentrace však byly naměřeny při proměnlivém a východním DTP. Při jihovýchodním DTP nebyla evidována žádná koncentrace benzo[*a*]pyrenu (Obr. 46 a 47).

Závislost denních koncentrací benzo[a]pyrenu na rychlosti větru je obsahem tab. 3. K nejvyššímu počtu překročení hodnoty denních koncentrací 1 ng·m<sup>-3</sup> docházelo na ostravských městských lokalitách při průměrné denní rychlosti větru 1,0-2,0 m·s<sup>-1</sup>. Odlišná byla situace na pozaďových venkovských stanicích Studénka a Věřňovice, kde k překračování této hodnoty nejčastěji docházelo při rychlostech větru nad 2,0 m·s<sup>-1</sup>. Nejvyšší průměrné koncentrace vypočítané z denních hodnot benzo[a]pyrenu (rozdělené do kategorií větru) na stanicích TOBA, TOKU a TPTV připadaly na kategorii rychlosti větru  $0.5-1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Na stanici TORE byla nejvyšší průměrná koncentrace benzo[a]pyrenu zjištěna při průměrných denních rychlostech větru nad 2,0 m·s<sup>-1</sup>, na TORO a TVER při 1,0–2,0 m·s<sup>-1</sup> a na stanici TSTD byl průměr vyrovnaný pro každou kategorii rychlosti větru. Na stanicích TOBA, TSTD a TVER se nevyskytl ani jeden den s průměrnou denní rychlostí větru pod  $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



Obr. 30 Průměrné denní koncentrace benzo[a]pyrenu, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



*Obr. 31 Statistické rozložení průměrných 24hodinových koncentrací benzo[a]pyrenu, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022* 







Obr. 32 Průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu za období 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



*Obr. 33 Průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu po měsících za období 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022* 



*Obr. 34 Lokalita Ostrava-Bartovice (TOBA), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022* 



*Obr. 35 Lokalita Ostrava-Bartovice (TOBA), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022* 



*Obr. 36 Lokalita Ostrava-Kunčičky (TOKU), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022* 



*Obr.* 37 Lokalita Ostrava-Kunčičky (TOKU), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022


*Obr. 38 Lokalita Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022* 



*Obr. 39 Lokalita Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022* 



*Obr. 40 Lokalita Ostrava-Radvanice OZO (TORO), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022* 



*Obr. 41 Lokalita Ostrava-Radvanice OZO (TORO), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022* 



*Obr. 42 Lokalita Petřvald (TPTV), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022* 



*Obr. 43 Lokalita Petřvald (TPTV), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022* 



*Obr. 44 Lokalita Studénka (TSTD), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022* 



*Obr. 45 Lokalita Studénka (TSTD), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022* 



*Obr.* 46 Lokalita Věřňovice (TVER), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022



*Obr. 47 Lokalita Věřňovice (TVER), koncentrace benzo[a]pyrenu v závislosti na DTP, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022* 



	TOBA		TOKU		TORE		TORO		TPTV		TSTD		TVER	
rychlost větru [m·s <sup>−1</sup> ]	počet nad 1 ng·m <sup>-3</sup>	průměr [ng∙m <sup>-3</sup> ]	počet nad 1 ng·m <sup>-3</sup>	průměr [ng·m <sup>−3</sup> ]	počet nad 1 ng·m <sup>-3</sup>	průměr [ng∙m <sup>-3</sup> ]	počet nad 1 ng·m <sup>-3</sup>	průměr [ng·m <sup>−3</sup> ]	počet nad 1 ng·m <sup>-3</sup>	průměr [ng∙m <sup>-3</sup> ]	počet nad 1 ng·m <sup>-3</sup>	průměr [ng·m <sup>−3</sup> ]	počet nad 1 ng·m <sup>-3</sup>	průměr [ng∙m <sup>-3</sup> ]
< 0,5	-	-	6	4	17	7	14	2	3	8	-	-	-	-
0.5–1	25	6	49	5	44	8	22	6	18	7	3	2	7	5
1–2	54	4	62	4	82	15	33	8	21	6	18	2	30	7
> 2	39	3	13	2	18	19	23	5	5	5	31	2	37	6

Tab. 3 Průměrné koncentrace a počty překročení hodnoty 1  $ng m^{-3}$  pro denní koncentrace benzo[a]pyrenu rozdělené dle kategorií rychlostí větru, 14. 1. 2021 až 13. 1. 2022

#### 4.5. Identifikace zdrojů metodou PMF

Modelové řešení zahrnuje následující faktory, jejichž chemické složení a časový průběh jsou obsahem příloh 1 a 2. Denní chod imisních příspěvků jednotlivých faktorů je doložen grafy v příloze 3.

HEAT CC	Převážně primární a v malé míře i sekundární částice z vytápění domácností
	uhlím. Vysoké zastoupení EC, OC, PAH a chloru v chloridové formě.
	V uhlíkatých částicích výrazně převažovaly nízkoteplotní frakce. Z kovů
	relativně nejvýznamnější zastoupení As a Pb. Výrazně kolísavé 24hodinové
	imisní příspěvky s hodnotami běžně do 30 µg·m-3, ojediněle až 70 µg·m-3,
	s téměř nulovým imisním příspěvkem mimo topnou sezonu.

HEAT BB Primární i sekundární částice z vytápění domácností biomasou. Vysoké zastoupení EC, OC, anhydrosacharidů a draslíku v iontové formě. PAH ve výrazně nižších koncentracích než ve faktoru reprezentujícím vytápění uhlím. V uhlíkatých částicích převažovaly nízkoteplotní frakce. Z kovů významně zastoupena pouze Cu. Časový chod 24hodinového imisního příspěvku byl výrazně kolísavý, běžně nabýval hodnot do 10 μg·m<sup>-3</sup>, špičkově přes 20 μg·m<sup>-3</sup>. Faktor s řádově nižšími imisními příspěvky k PM<sub>10</sub> mimo topnou sezonu, ale vyššími než v případě faktoru "heat CC" (první jednotky μg·m<sup>-3</sup>).

CRUSTAL Primární částice tvořené minerálními částicemi (zejména Al, Si, Ti, Ba), převážně přírodního původu. Časový průběh faktorového imisního příspěvku se vyznačoval nárazovými 24hodinovými příspěvky, mezi 24. a 27. 2. 2021 až přes 30 μg·m<sup>-3</sup> (epizoda dálkového přenosu částic z oblasti Sahary). Velmi nízký imisní příspěvek v zimě, v letním a zejména podzimním období naopak zvýšené hodnoty až přes 10 μg·m<sup>-3</sup>. Celkově malé rozdíly v chodu imisních příspěvků na jednotlivých lokalitách.

SALT Primární částice tvořené sodíkem a hořčíkem v iontové formě, chloridy a dusičnany. Z těžkých kovů nevýrazné akcesorické zastoupení prvků typických pro dálkový přenos znečištění (Se, Cr, V). Časový chod imisního příspěvku byl ve srovnání s ostatními faktory středně kolísavý, s nevýznamnými odlišnostmi mezi lokalitami s výjimkou zimního období na ostravských lokalitách, které byly ovlivněny resuspenzí chemického posypu vozovek. V ostatních lokalitách www.mzp.cz



byl hlavním původem pravděpodobně přenos z přímořských oblastí. V lokalitě TORE byl pravděpodobně zvýšený příspěvek tohoto faktoru vyvolán také zastoupením sodíku pocházejícího ze spalování uhlí v areálu Liberty Ostrava a.s. Na lokalitách mimo Ostravu, kde byl málo významný vliv posypové soli, dosahoval 24hodinový imisní příspěvek prvních jednotek µg·m<sup>-3</sup>, s občasnými špičkami do 4  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>, bez výrazného ročního chodu. V zimním období v Ostravě dosahoval občasně až více než 5  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>.

IND Ca Primární částice tvořené převážně Ca a Mg v doprovodu Sb, méně významně také V a Mn. Jedná se převážně o částice z průmyslového nakládání se sypkými materiály v severovýchodní části areálu podniku Liberty Ostrava a.s. Faktor měl významný imisní příspěvek v lokalitách TORE, TORO a TOKU. V lokalitě TOBA byl vliv faktoru slabší, zřetelný pouze v teplé části roku (vliv skládek sypkých hmot v jihovýchodní části areálu podniku Liberty Ostrava a.s.). V ostatních uvedených lokalitách kulminovaly imisní příspěvky faktoru v době transportu částic z oblasti teplého hutního odvalu uvedeného podniku. Časový chod byl silně kolísavý, s extrémními odlišnostmi mezi měřicími lokalitami, v lokalitě TORE s 24hodinovými imisními příspěvky až přes 15 µg·m<sup>-3</sup>.

IND HM Primární částice s komplexním polymetalickým složením (Mn, Fe, As, Zn, Pb, Cu, méně významně také Cr, V, Sb, Ca a Cl<sup>-</sup>). Skladba s dominantním zastoupením Mn a Fe je typická pro částice z výroby železa a oceli. Průměrný 24hodinový imisní příspěvek byl zásadně odlišný na jednotlivých lokalitách. Relativně výrazně zvýšený byl oproti ostatním měřicím místům v lokalitě TORE, méně významně také v lokalitě TORO, výjimečně se nižší špičkové hodnoty vyskytovaly také v lokalitě TOKU. Jinde nabýval imisní příspěvek hodnot blízkých nule. Časový průběh imisního příspěvku ke koncentraci PM<sub>10</sub> byl extrémně kolísavý, v lokalitě TORE s denními píky až přes 20 μg·m<sup>-3</sup>, špičkové koncentrace byly rovnoměrně rozložené v průběhu celého roku.

IND PAH Primární částice s dominantním zastoupením polycyklických aromatických uhlovodíků a železa, s uhlíkatými částicemi tvořenými téměř výhradně vysokoteplotními frakcemi EC3 a zejména EC4. Časový průběh faktorového imisního příspěvku byl silně kolísavý a specifický pro lokalitu TORE, jinde málo významný. Vysoký podíl železa, manganu a chromu ve faktorovém profilu je důsledkem interference s faktorem IND HM a naznačuje původ v geograficky stejné oblasti. Hmotnostní příspěvek tohoto faktoru ke koncentraci PM10 nabýval v lokalitě TORE hodnot až prvních desítek µg·m<sup>-3</sup>. Z hodnocených lokalit byly daleko nejvyšší nárazové denní imisní příspěvky rovnoměrně rozložené v průběhu roku identifikovány v lokalitě TORE, méně významně také v lokalitách TORO a TOBA, pouze ojediněle a nevýrazně v lokalitě TOKU, jinde se blížil nule.

TRA Primární částice ze silniční dopravy. V chemické skladbě relativně převažovala skupina kovů typických pro otěry a resuspenzi ze silniční dopravy (Cr, Cu, Ba, Ti, V, Mn, Fe, Sb), resuspenzi z povrchu vozovek reprezentovaly také Si, Na, Mg. V kontextu ostatních faktorů byl průměrný denní imisní příspěvek k PM<sub>10</sub> výrazně kolísavější v chladné části roku (špičkové příspěvky na podzim a v zimě přes 10  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>). Naopak v letním období byla kolísavost imisních příspěvků na všech lokalitách nízká, ale celkově byly oproti zimě zvýšené. Nejvyšší imisní příspěvek byl zjištěn v lokalitě TOKU (maximum 24hodinové koncentrace PM<sub>10</sub> okolo 15  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>).

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí v rámci **Programu Prostředí pro život**.

www.tacr.cz

www.mzp.cz

т

Č

R



- SIA w Sekundární částice převážně anorganické povahy, sestávající především ze síranu a dusičnanu amonného. Z kovů významný podíl pouze Se. Plynulý časový průběh imisního příspěvku s nízkou kolísavostí, s násobně až řádově vyššími hodnotami v chladné části roku. Jedná se o zimní typ sekundárního aerosolu s komplexním původem, na kterém se významně podílelo především vytápění domácností, pravděpodobně také automobilová doprava a průmyslové emise. Imisní příspěvky v zimě obvykle do 20 μg·m<sup>-3</sup>, s občasnými zvýšenými hodnotami v desítkách μg·m<sup>-3</sup> při epizodách zhoršené kvality ovzduší. Příkladem může být období mezi 9.2. až 11.2. 2021, kdy byla při severozápadním až severovýchodním denním typu proudění dosažena maxima faktorového imisního příspěvku (až téměř 50 μg·m<sup>-3</sup>) na všech ostravských lokalitách a ve Věřňovicích viz přílohy 3 a 4.
- SOA + SIASekundární organický a anorganický aerosol, sestávající hmotnostně především z vysokoteplotních uhlíkatých částic (hlavně EC3) a síranu amonného. Z kovů významný podíl Se, As, Pb, méně významné byly také Cu, Cr, Zn, Ba a V. Celoročně významný imisní příspěvek se zřetelným zvýšením na všech lokalitách a nižší kolísavostí 24hodinového příspěvku v teplé části roku, která je způsobena vznikem sekundárního aerosolu fotochemickými procesy. Odlišná byla situace v ostravských lokalitách TOBA, TORE a TOKU v lednu až dubnu 2021, kdy faktorový imisní příspěvek zde dosahuje výrazně vyšších hodnot oproti zbývající části roku. Z těchto tří lokalit byla data získána 3hodinovými odběry a projevuje se u nich vliv specifického znečištění identifikovaného dřívějším modelem PMF [22] (faktor "C-NO3-Na", viz diskuse v kapitole 6). Imisní příspěvky se pohybovaly v zimě okolo 5  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>, v létě okolo 10  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>, s občasnými špičkami mírně nad 15 µg·m<sup>-3</sup>. Tato maxima příspěvku byla v ostravských lokalitách dosažena při epizodách zhoršené kvality ovzduší v únoru 2021 (severozápadní až severní denní typ proudění - pravděpodobný vliv jádrové části Ostravy) a 16. 11. 2021 (východní až jihovýchodní denní typ proudění – pravděpodobný vliv Havířova) – viz přílohy 2 až 4. Hlavním zdrojem faktoru "SOA + SIA" je pravděpodobně průmyslová energetika (časově stálý plošný příspěvek) spolu s automobilovou dopravou (nárazový příspěvek v závislosti na aktuálním směru větru od oblastí s vysokou dopravní emisní hustotou).

#### 4.5.1. PM<sub>10</sub>

Modelem vypočtené imisní příspěvky jednotlivých faktorů ke koncentraci  $PM_{10}$  v období měřicí kampaně dokumentují grafy na Obr. 48 (výsledný Constrained Run model – viz kapitola 3.4).

Hmotnostně nejvýznamnější byly faktory reprezentující sekundární, převážně anorganický aerosol (faktory "SIA w" a "SOA + SIA"). Tyto faktory tvořily necelou třetinu až více než polovinu  $PM_{10}$ . Vyššího podílu dosahovaly v lokalitách venkovského typu, tj. ve větších vzdálenostech od zdrojů prekurzorů a v lokalitách s nízkým vlivem lokálních zdrojů emisí primárních částic. Nejnižšího relativního podílu dosahovaly v lokalitách Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), Ostrava-Radvanice OZO (TORO) a Věřňovice (TVER), naopak nejvyšší byly v součtu ve Studénce (TSTD) a Ostravě-Bartovicích (TOBA).







Α

т

Č

www.tacr.cz www.mzp.cz



*Obr.* 48 Podíl identifikovaných faktorů na imisní koncentraci  $PM_{10}$  [µg·m<sup>-3</sup>]

Po sekundárním aerosolu se druhým nejvyšším hmotnostním podílem na průměrné roční koncentraci  $PM_{10}$  vyznačovalo vytápění domácností uhlím (faktor "HEAT CC"). Jednalo se o primární částice, které byly tvořeny především uhlíkatými částicemi. Relativní podíl těchto primárních částic v  $PM_{10}$  se v ročním průměru pohyboval okolo 10 % ve všech lokalitách s výjimkou Věřňovic, kde dosahoval téměř třetiny celkové koncentrace. V absolutních hodnotách se jednalo o průměrný roční příspěvek mezi 2 až

44

т

Č

R



 $4 \ \mu g \cdot m^{-3}$  s výjimkou Věřňovic, kde dosahoval necelých  $9 \ \mu g \cdot m^{-3}$ . Vypočtené rozdíly (mezi Studénkou a Věřňovicemi relativně přibližně trojnásobek, v absolutní hodnotě téměř čtyřnásobek) svědčí o zvyšujícím se podílu uhlí v palivovém mixu ve směru od Moravské brány k polské hranici.

Jako celkově třetí v pořadí podle podílu na hmotnostní koncentraci  $PM_{10}$  bylo vyhodnoceno vytápění domácností biomasou (faktor "HEAT BB"), s relativně nejvyšším příspěvkem na mimoostravských lokalitách Studénka (TSTD) a Věřňovice (TVER), kde dosahoval více než 10 %. V rámci Ostravy se relativní podíl vytápění biomasou pohyboval do 10 %, nejvyšší byl v lokalitě Ostrava-Radvanice OZO (TORO) a nejnižší v Ostravě-Bartovicích (TOBA). V absolutních hodnotách se jednalo o cca 1 µg·m<sup>-3</sup> (Ostrava-Bartovice) až 3,4 µg·m<sup>-3</sup> (Věřňovice).

Průmyslové nakládání se sypkými materiály (faktor "IND Ca"), které jsou využívány v souvislosti s hutní výrobou v areálu podniku Liberty Ostrava a.s., mělo relativně největší dopad v lokalitách Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), Ostrava-Radvanice OZO (TORO) a Ostrava-Kunčičky (TORO), kde se na celkové koncentraci podílely desetinou až 15 %. Na lokalitách mimo Ostravu byl jeho podíl málo významný (nižší jednotky procent) a souvisel s nedokonalým rozlišením tohoto znečištění od přírodní minerální prašnosti (interference zejména vlivem vápníku a dalších prvků typických jak pro úlet z vápenného hospodářství a teplého odvalu společnosti Liberty Ostrava a.s., tak i pro půdní částice).

Primární částice ze silniční dopravy (výfukové emise, resuspenze, otěry brzd, vozovky a pneumatik), reprezentované faktorem "TRA", se projevovaly hmotnostním podílem v PM<sub>10</sub> v rozmezí 5 až 10 %, nejvíce na stanici Ostrava-Kunčičky (TOKU). V absolutní hodnotě se jednalo on 1,4 až 2,6  $\mu$ g·m<sup>-3</sup> v Ostravě, mimo Ostravu 1,0  $\mu$ g·m<sup>-3</sup> (Věřňovice) až 1,6  $\mu$ g·m<sup>-3</sup> (Studénka). V rámci Ostravy relativně nižší podíl dopravy na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE) nebyl způsoben jejím menším vlivem v tomto místě, ale skutečností, že zde významněji působily průmyslové zdroje emisí (v absolutní hodnotě zde dosahoval imisní příspěvek primárních částic ze silniční dopravy necelých 2  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>).

Přírodní minerální prašnost v podobě převážně půdních částic, včetně dálkového přenosu těchto částic (např. saharský písek), byla označena jako faktor "CRUSTAL" a tvořila cca 5 až 10 % průměrné roční koncentrace PM<sub>10</sub>. V absolutní hodnotě nejvyšší imisní příspěvek (cca 2,5  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>) byl vypočten v lokalitě Ostrava-Radvanice OZO (TORO), což pravděpodobně souvisí s využíváním zpevněné přilehlé plochy ke skladování stavebních materiálů a s pohybem vozidel po této ploše, ke kterým v měřeném roce docházelo. Naopak nejnižší imisní příspěvek tohoto faktoru (okolo 1,3  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>) byl zjištěn v lokalitě Ostrava-Bartovice (TOBA).

Koksárenské emise reprezentované faktorem "IND PAH" a emise z výroby surového železa a oceli (faktor "IND HM") přispívaly ke koncentraci PM<sub>10</sub> významně pouze v lokalitě Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE) a v lokalitě Ostrava-Radvanice OZO (TORO). V součtu se jednalo v lokalitě TORE o cca čtvrtinu znečištění PM<sub>10</sub>, v lokalitě TORO přibližně o 15 %, v absolutních hodnotách o cca 10  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>, resp. 4  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>.

Částečně degradované částice mořské a posypové soli (faktor "salt") zaujímaly mezi identifikovanými zdroji v PM<sub>10</sub> hmotnostně nejnižší podíl (nižší jednotky %).



#### 4.5.2. Benzo[a]pyren

Т

Č

Modelem vypočtené imisní příspěvky jednotlivých faktorů ke koncentraci benzo[*a*]pyrenu v období měřicí kampaně dokumentuje graf na Obr. 49 (výsledný Constrained Run model).



*Obr.* 49 Podíl identifikovaných faktorů na imisní koncentraci benzo[a]pyrenu  $[ng \cdot m^{-3}]$ 

R

Č

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí v rámci **Programu Prostředí pro život**. www.tacr.cz www.mzp.cz



Ve všech hodnocených lokalitách s výjimkou Ostravy-Radvanic ZÚ (TORE) pocházela největší část znečištění benzo[*a*]pyrenem z individuálního vytápění domácností uhlím. S výjimkou této stanice se v Ostravě jednalo přibližně o polovinu průměrné roční koncentrace, ve Studénce (TSTD) a Věřňovicích (TVER) o tři, resp. čtyři pětiny znečištění. V lokalitě Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE) pocházela z vytápění domácností uhlím asi čtvrtina průměrné roční koncentrace benzo[*a*]pyrenu. V absolutních hodnotách se jednalo v Ostravě o rozmezí 1,8 až 2,4 ng·m<sup>-3</sup>, ve Studénce cca 1,3 ng·m<sup>-3</sup> a ve Věřňovicích cca 5,2 ng·m<sup>-3</sup>.

Průmyslové emise se na průměrné roční imisní koncentraci benzo[a]pyrenu podílely nejvíce v lokalitě Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), kde tvořily asi dvě třetiny znečištění (cca 6 ng·m<sup>-3</sup>) a výrazně tím převyšovaly vliv všech ostatních zdrojů. Celoroční hodnocení ve shodě s výsledky předchozí zimní identifikace zdrojů [22] potvrdilo, že se v okolí lokality TORE jedná o lokální anomálii koncentrace benzo[a]pyrenu způsobenou koksárenskou výrobou v areálu Liberty Ostrava a.s. Významný, byť ne převažující imisní příspěvek koksárenské výroby byl zjištěn i v dalších lokalitách v okolí uvedeného průmyslového areálu (Ostrava-Radvanice OZO, Ostrava-Bartovice a Ostrava-Kunčičky), kde dosáhl třetiny až dvou pětin průměrné roční koncentrace (1,2 až 1,6 ng·m<sup>-3</sup>). Na základě celoročního měření byl vliv průmyslových emisí benzo[a]pyrenu identifikován i ve Studénce (TSTD) a Věřnovicích (TVER), kde podle modelu dosáhl asi pětiny (Studénka), resp. desetiny (Věřňovice) průměrné roční koncentrace, což v absolutním vyjádření představuje hodnoty 0,2 ng·m<sup>-3</sup>, resp. 0,6 ng·m<sup>-3</sup>. Tento výsledek v zásadě potvrzuje závěry identifikace zdrojů za období 1. 1. 2021-31. 12. 2021 pro samostatné lokality Studénka (TSTD) a Věřňovice (TVER) [23], kdy byl tento příspěvek modelem vyčíslen na cca 0,2 ng·m<sup>-3</sup>. Jednalo se o hodnoty na úrovni statistického šumu modelu s vysokou mírou nejistoty, což bylo způsobeno využitím pouze dvou lokalit. Na těchto stanicích mohl být navíc s ohledem na velkou vzdálenost od zdrojů detekován pouze nejasný a pravděpodobně již chemicky transformovaný podpis koksárenské výroby, obtížně odlišitelný od jiných faktorů. Předkládané hodnocení, které využívá data z šesti lokalit, včetně míst situovaných v blízkosti průmyslových zdrojů PAH, je z tohoto hlediska přesnější. I při zohlednění modelových nejistot je možné počítat s průměrným ročním imisním příspěvkem koksárenské výroby ke koncentraci benzo[a]pyrenu ve Studénce v řádu nižších desetin ng·m<sup>-3</sup>, ve Věřňovicích okolo 0,5 ng·m<sup>-3</sup>. Tento vliv je součtem všech koksárenských baterií provozovaných na české a polské straně hranice. S ohledem na převládající směr proudění a vzdálenost se na něm podílí pravděpodobně zejména koksovna v areálu Liberty Ostrava, a.s. a koksovna společnosti OKK a.s. Vliv koksovny v areálu společnosti TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, A. S. a koksoven v Polsku je v hodnocených lokalitách s ohledem na velkou vzdálenost a převládající směr větru pravděpodobně menší.

Vytápění biomasou bylo v posuzovaných lokalitách třetím nejvýznamnějším faktorem znečištění ovzduší benzo[*a*]pyrenem. Reprezentativní podíl tohoto typu znečištění pro většinu východní části Ostravy lze na základě modelu odhadovat okolo 5 až 10 %. V lokalitě Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), byl relativní podíl vytápění nižší vlivem dominance průmyslových emisí. V absolutní hodnotě se zde jednalo o cca 0,5 ng·m<sup>-3</sup>, tedy podobnou hodnotu jako v lokalitě Ostrava-Radvanice OZO (TORO) a Ostrava-Kunčičky (TOKU). V absolutní hodnotě podobným imisním příspěvkem k průměrné roční koncentraci benzo[*a*]pyrenu (okolo 0,5 ng·m<sup>-3</sup>) se projevovalo vytápění biomasou také ve Studénce (TSTD) a Věřňovicích (TVER). Vlivem celkově nižší celkové imisní koncentrace benzo[*a*]pyrenu ve Studénce dosahoval v této lokalitě podíl vytápění biomasou relativně nejvyšší hodnoty (asi čtvrtina průměrné roční koncentrace). Oproti identifikaci zdrojů za období 1. 1. 2021–31. 12. 2021 pro samostatné lokality Studénka (TSTD) a Věřňovice (TVER) [23] jsou identifikované podíly tohoto znečištění ve Studénce a Věřňovicích méně než poloviční, a to v absolutním i relativním vyjádření (aktuální podrobnější model přisuzuje vyšší podíl uhlíkatých částic vlivu vytápění uhlím namísto vytápění biomasou).

R



Individuální vytápění domácností a koksárenská výroba jsou zcela dominantní antropogenní faktory, které v hodnoceném období určovaly imisní koncentraci benzo[*a*]pyrenu. Jiné zdroje byly nevýznamné.

#### 5. Porovnání výsledků použitých metod hodnocení

Při vyhodnocení pro účely předkládané zprávy byly aplikovány dva nezávislé způsoby hodnocení. Jednalo se o posouzení imisně-meteorologických vztahů, zejména velikosti naměřených imisních koncentrací při různých směrech větru, a receptorový model PMF. Z imisně meteorologického hodnocení je zřejmá významně zvýšená koncentrace  $PM_{10}$  a benzo[*a*]pyrenu zejména v lokalitě Ostrava-Radvanice ZÚ, a oproti ostatním hodnoceným lokalitám naopak nižší koncentrace těchto polutantů v lokalitě Studénka. Podstatně výraznější jsou tyto rozdíly u benzo[*a*]pyrenu, než v případě PM<sub>10</sub>. Tyto skutečnosti indikují existenci významného zdroje znečišťování ovzduší v blízkosti lokality Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), přičemž se musí jednat o zdroj umístěný proti převládajícímu směru proudění od této stanice. Protože jinde nebylo podobně markantní navýšení průměrných koncentrací oproti průměru zájmového území naměřeno, jedná se zde o lokální efekt zdroje, jehož imisní vliv je v okolí ostatních měřených lokalit podstatně slabší. Imisně-meteorologické hodnocení tedy ukazuje na pravděpodobnou hlavní příčinu zvýšených koncentrací uvedených polutantů v lokalitě Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE) jihozápadně od této lokality, pravděpodobně v areálu Liberty Ostrava a.s.

Plánovanou součástí imisně-meteorologického hodnocení bylo odlišení imisního podílu provozu společnosti Liberty Ostrava a.s. od ostatních zdrojů působících v hodnoceném území a jeho kvantifikace. Podobná analýza byla provedena na základě sady 3hodinových vzorků odebraných v období 14. 1. 2021-13. 4. 2021, která byla publikována v dřívější odborné zprávě [22]. V rámci předkládaného celoročního hodnocení bylo za tímto účelem potřebné vypočíst reprezentativní 24hodinové hodnoty směru větru (3hodinové odběry ve zbývající části roku 2021 neprobíhaly). Při zpracování se jako zásadní překážka ukázaly nejistoty spojené s agregací směru větru na požadované 24hodinové rozlišení, a to přesto, že byla využita metoda denních typů proudění (viz kapitola 3.3), namísto prostého vektorového průměru naměřeného směru větru. Při 24hodinovém rozlišení a počtu odebraných vzorků nebylo možné touto metodou vliv výše uvedených hlavních skupin zdrojů jednoznačně rozlišit, a tedy ani kvantifikovat jejich podíl na naměřeném znečištění ovzduší. Na základě provedených výzkumných činností lze metodu imisně-meteorologického hodnocení doporučit pouze v případech, kdy jsou k dispozici data s vyšším časovým rozlišením (bylo ověřeno, že rozlišení 3hodinových odběrů je zcela vyhovující), nebo pokud jsou k dispozici delší časové řady (větší počet 24hodinových vzorků), které umožní potlačit zásadní vliv odlehlých hodnot (vysokých imisních příspěvků, které nastávají nahodile při mimořádných emisně-meteorologických situacích). Vysoký požadovaný počet 24hodinových vzorků ale v praxi obvykle naráží na ekonomické limity. Hodnocení v rámci předkládaného projektu tedy na dvou datových sadách (3hodinová a 24hodinová) ukázalo, že obvyklé 24hodinové rozlišení odběrů vzorků je pro identifikaci zdrojů imisně-meteorologickou metodou, tedy na základě analýzy směru a rychlosti větru, nedostatečné. Může se jednat o jednu z hlavních příčin nejasných, nekonkrétních, a proto diskutabilních závěrů dřívějších hodnocení příčin znečištění ovzduší ve východní části Ostravy.

Z výše uvedených důvodů nebyla kvantifikace imisních podílů zdrojů znečišťování na celkových koncentracích  $PM_{10}$  a benzo[*a*]pyrenu v rámci předkládaného celoročního hodnocení provedena a výsledek proto nebylo možno porovnat s receptorovým modelem PMF.

Zjištění, že vyšší časové rozlišení odběrů zásadně zvyšuje rozlišení a vypovídací hodnotu imisněmeteorologické analýzy, vede k doporučení, aby budoucí identifikace zdrojů touto metodou byly realizovány s co možná nejvyšším časovým rozlišením odběrů. Je ale potřeba zvážit meze detekce laboratorních metod (zkrácení odběru vede bez zvýšení odběrových průtoků k nižšímu zachycenému т

Č

R



množství aerosolu) a ekonomickou náročnost. Není na závadu, pokud jsou ve vyšším časovém rozlišení odběry prováděny nesouvisle (v rámci předkládaného výzkumného konceptu byl úspěšně ověřen pravidelný režim 3 hodiny odběr a 6 hodin čekání na odběr dalšího vzorku), což umožňuje udržet náklady na přijatelné úrovni. Rozlišovací schopnost a vypovídací hodnota posouzení jsou při využití vyššího časového rozlišení podstatně lepší oproti stejně četné sadě 24hodinových vzorků. I v případě významně vyššího počtu odebraných vzorků by byla metoda imisně-meteorologického hodnocení levnější než robustnější receptorové modelování (není při ní potřeba laboratorně stanovovat velké množství analytů). V řadě případů by byla pravděpodobně pro požadovaný účel dostatečná. Hodnocení příčin znečištění ovzduší pomocí receptorových modelů je s ohledem na ekonomickou a organizační náročnost vhodnou volbou v případech, kdy selže kvantifikace pomocí imisně-meteorologických vztahů.

## 6. Nejistoty hodnocení

Následující kapitola se věnuje interpretačním nejasnostem a rozporům, které byly při vyhodnocení řešeny.

# 6.1. Rozdíl mezi modelem PMF a naměřenými imisními koncentracemi

Vyčíslení podílu jednotlivých zdrojů na celkové koncentraci benzo[*a*]pyrenu bylo provedeno na základě zastoupení tohoto polutantu v jednotlivých modelových faktorech. Do faktorových příspěvků se promítá nejistota modelu vyjádřená regresí mezi naměřenými a modelovanými hodnotami s  $R^2$ =0,93 (PM<sub>10</sub>), resp.  $R^2$ =0,86 (benzo[*a*]pyren). Součet všech faktorů ve výše uvedených grafech se proto nemusí shodovat s naměřenou celkovou koncentrací. Dalším důvodem pro odchylku celkového součtu faktorových příspěvků od naměřené koncentrace je způsob přípravy dat. Datová sada použitá pro model PMF vznikla kompletací několika skupin analytů, které byly odebírány různými vzorkovači a analyzovány různými metodami, s možnými výpadky v průběhu odběrů a analýz. Do modelu PMF byly následně použity pouze využitelné databázové záznamy (pokud možno kompletní řada analytů). Počet údajů konkrétního analytu použitých v modelu proto může být nižší než počet validních laboratorních analýz jednotlivých analytů. Rozdíly průměrné koncentrace vypočtené ze všech naměřených hodnot a průměrné koncentrace vypočtené z datové sady použité pro PMF jsou zřejmé z tabulky 4.

	PN	$\Lambda_{10}$	benzo[ <i>a</i> ]pyren			
	[µg·	$m^{-3}$ ]	$[ng \cdot m^{-3}]$			
Lokalita	Naměřená	Součet imisních	Naměřená	Součet imisních		
	průměrná	příspěvků faktorů	průměrná	příspěvků faktorů		
	koncentrace	PMF	koncentrace	PMF		
TOBA	25,0	25,7	3,8	3,5		
TOKU	27,2	28,0	3,6	3,4		
TORE	40,1	39,8	10,0	9,9		
TORO	30,0	29,6	5,5	4,0		
TSTD	22,8	23,1	1,9	2,2		
TVER	29,9	30,2	6,5	6,8		

Tab. 4 Porovnání naměřených a modelových koncentrací PM<sub>10</sub> a benzo[a]pyrenu

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí v rámci **Programu Prostředí pro život**. www.tacr.cz www.mzp.cz

Т

Č

R



V případě PM<sub>10</sub> je relativní odchylka naměřené a modelové koncentrace málo významná (–1 % až +3 %), s nejvýznamnějším podhodnocením v lokalitě Ostrava-Radvanice, OZO (TORO), způsobeným pravděpodobně absencí měření organického uhlíku. V případě benzo[*a*]pyrenu činila tato nejistota - 27 % až +16 %, s největším podhodnocením oproti skutečné koncentraci v lokalitě Ostrava-Radvanice OZO (TORO) a nejvyšším nadhodnocením v lokalitě Studénka (TSTD). Dosažená nejistota je přijatelná, uvážíme-li, že nejistota samotného gravimetrického stanovení PM<sub>10</sub> se pohybuje běžně okolo cca 10 % a laboratorního stanovení benzo[*a*]pyrenu okolo 20 až 25 %.

Model tedy matematicky přiřadil hmotu aerosolu PM<sub>10</sub> jednotlivým identifikovaným faktorům s přijatelnou přesností. Z hlediska nejistot je ale také podstatné, jak dobře postihují celkovou naměřenou koncentraci vzorkovaného aerosolu látky a sloučeniny, které byly ve vzorcích analyzovány. Byl proto proveden součet hmotnosti všech analytů ve vzorku, laboratorně stanovených jednotlivými druhy prováděných analýz. Aby nedošlo k nadhodnocení této sumy, byly vyřazeny duplicitní prvky (např. síra stanovovaná pomocí ED XRF i v síranové formě iontovou chromatografií). Součet hmotnosti analytů dosahoval 58 až 66 % gravimetricky stanovené hmotnosti PM<sub>10</sub>. V lokalitě Ostrava-Radvanice, OZO, kde nebyly k dispozici naměřené koncentrace EC/OC, bylo identifikováno pouze pouze 51 % hmoty PM<sub>10</sub>. Tento problém a jeho dopady na zkreslení výsledků modelu oproti realitě již byly diskutován při vyhodnocení zimní intenzivní měřicí kampaně založené na odběru 3hodinových vzorků [22]. Jako nejpravděpodobnější hlavní příčina se i nadále jeví podhodnocení hmotnosti organických sloučenin. Tuto hypotézu podporuje i nově zjištěná pravděpodobná degradace organických látek v průběhu odběru vzorků, která je diskutována v podkapitole 6.3. Vzhledem k největšímu zastoupení organické hmoty ze všech identifikovaných zdrojů v emisích z vytápění domácností může podhodnocení hmoty  $PM_{10}$  oproti skutečnosti zkreslovat nejvíce podíl primárních emisí z těchto zdrojů, a také podíl s nimi spojeného sekundárního organického aerosolu. Toto podhodnocení se může obdobnou měrou promítat jak do podílu na znečištění  $PM_{10}$ , tak i benzo[*a*]pyrenem.

#### 6.2. Správnost interpretace modelu PMF

Na základě statistického zpracování směru a rychlosti větru byla provedena kontrola, zda zvýšené imisní příspěvky identifikovaných typů znečištění nastávají při směru větru od relevantních skutečných zdrojů emisí. Protože model PMF byl založen na vzorcích odebíraných po dobu 24 hodin, bylo nutno spárovat průměrné denní faktorové imisní příspěvky se směrem a rychlostí větru se stejným časovým rozlišením. Prostý vektorový průměr směru a rychlosti větru za takto dlouhou dobu by byl ve dnech s neustáleným směrem proudění zatížen významnou nejistotou. Využity proto byly vypočtené denní typy proudění (viz kapitola 3.3), které vyjadřují směr větru typický pro jednotlivé dny. Na každé stanici byl pro každý denní typ proudění vypracován krabicový graf imisního příspěvku jednotlivých identifikovaných faktorů. Porovnáním grafů pro jednotlivé denní typy proudění (směry větru) lze posoudit, při jakém směru větru nastal vysoký nebo naopak nízký modelový imisní příspěvek daného faktoru. Směry s nejvyšším imisním příspěvkem by se měly shodovat se směrem, ve kterém leží odpovídající skutečný zdroj znečištění. Posoudit lze takto i kolísavost imisních příspěvků jednotlivých zdrojů z jednotlivých směrů, která je dána režimem provozu zdrojů (nárazové, sezonní nebo naopak časově stálé emise) a jejich prostorovým typem (bodový nebo naopak plošně rozsáhlý). Vypracované krabicové diagramy pro jednotlivé lokality jsou zařazeny do zprávy jako příloha č. 3.

Provedená analýza na základě denních typů proudění (DTP) ukazuje, že nejvyšší imisní příspěvky z vytápění domácností (faktory HEAT CC a HEAT BB) se v lokalitách Ostrava-Bartovice (TOBA), Ostrava-Kunčičky (TOKU) a Ostrava-Radvanice, OZO (TORO) vyskytovaly při proudění z východního směru (Petřvald, Šenov, Ostrava-Radvanice). V lokalitě Ostrava-Radvanice, OZO (TORO) kromě východního směru (od Petřvaldu) také ze severovýchodu (Slezská Ostrava) a od jihozápadu (Ostrava-Radvanice). V lokalitě Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE) model ukazuje

Т

Č

R



nejvýznamnější přenos tohoto typu znečištění od jihu až jihovýchodu (pravděpodobně blízké zdroje v Ostravě-Radvanicích nebo Ostravě-Bartovicích). Ve Studénce je hlavní přenos znečištění z vytápění domácností výrazně orientován ve dvou preferenčních směrech (od jihozápadu až západu a od severu až severovýchodu), což souvisí s meteorologickými poměry v koridoru Moravské brány. Ve Věřňovicích převažuje transport od východu a západu, ale významné jsou i další směry, což souvisí s existencí řady dalších sídel na české i polské straně v okolí měřicí lokality.

Průmyslové znečištění těžkými kovy (faktor IND HM) i benzo[*a*]pyrenem (faktor IND PAH) pochází podle modelu a analýzy DTP zřetelně z prostoru areálu Liberty Ostrava a.s. V lokalitě Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), se jedná o přenos od jihozápadu, v měřicí lokalitě Ostrava-Bartovice (TOBA) byly transportovány těžké kovy od severozápadu až severu, PAH od jihozápadu až západu, což dobře koresponduje s polohou ocelárny a jednotlivých koksárenských baterií. V lokalitě Ostrava-Kunčičky (TOKU) je přenos těžkých kovů a PAH od hutních provozů podobně dobře potvrzen indikovaným jižním až jihovýchodním směrem v případě kovů a jižním až východním směrem v případě PAH.

Průmyslové vápenaté minerální částice (IND Ca) pocházely dle analýzy modelových výsledků v lokalitě Ostrava-Kunčičky (TOKU) jednak z areálu Liberty Ostrava a.s. (jihovýchodní až jižní směr), jednak přibližně ze směru od východní části teplého odvalu, na kterém probíhá zpracování hutních strusek (severovýchodní až východní směr od měřicího místa). Vzhledem k tomuto indikovanému směru se kromě areálu Liberty Ostrava a.s. jako podstatný zdroj minerálního prachu v hodnoceném území jeví nikoliv teplý hutní odval (v lokalitě TOKU by převažoval severovýchodní směr, východní směr by byl vyloučen), ale k němu přilehlý areál společnosti Calumite s.r.o. (výroba sklářské suroviny zpracováním vysokopecní strusky, cca 900 m od měřicího místa). V lokalitě Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE) pocházely minerální průmyslové částice převážně z areálu Liberty Ostrava a.s. (přenos od jihozápadu). Stejný směr přenosu těchto částic je modelem indikován také v lokalitě Ostrava-Radvanice, OZO (TORO), kde ale přibližně v tomto směru leží jak areál Liberty Ostrava a.s., tak i další zdroje (vůbec nejvyšší imisní příspěvky zde dle modelu pocházely ze směru JZ-Z, což koresponduje spíše s polohou areálu společnosti Calumite s.r.o.).

Minerální částice faktoru CRUSTAL reprezentují prašnost, která se od průmyslové karbonátové prašnosti (IND Ca) liší relativně nižším obsahem vápníku. Jedná se o půdní a jiné minerální částice. Imisní příspěvky tohoto faktoru jsou v čase výrazně kolísavé v návaznosti na meteorologické podmínky a zemědělské práce. Vůbec nejvyšší příspěvky tohoto faktoru nastaly ve většině lokalit ve dnech 24. 2.– 25. 2. 2021 ze směru od jihozápadu až západu, kdy se jednalo o intenzivní epizodu transportu částic z oblasti Sahary. V lokalitě Ostrava-Kunčičky (TOKU) model přisuzuje nejvyšší příspěvky severovýchodnímu až východnímu směru, pravděpodobně z areálu společnosti Calumite s.r.o. (vysoký příspěvek od J až JV nelze spolehlivě hodnotit, s ohledem na pouze jediný případ s denním typem proudění z tohoto směru v měřeném roce). V lokalitě Ostrava-Radvanice, OZO (TORO) pocházely tyto minerální částice podle modelu nejvíce z jižního směru, což mohlo souviset se skladováním sypkých hmot a dalších stavebních materiálů na přilehlé asfaltové ploše v době měření.

Směr transportu solných částic (faktor SALT) odpovídá poloze silně urbanizovaných území, popř. jednotlivých frekventovaných komunikací, ve Studénce preferenčním směrům proudění v Moravské bráně, ve Věřňovicích bez výrazných směrových rozdílů. Pravděpodobný je v tomto faktoru také příspěvek spalování uhlí, který se může nejvíce projevovat ve Věřňovicích a lokalitách na závětrné straně Liberty Ostrava a.s.

Primární částice z dopravy (faktor TRA) vykazují výraznou směrovost pouze v lokalitách Ostrava-Kunčičky (TOKU), kde se projevuje především vliv jižně situované slinice I/11, Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), kde je patrný vliv Těšínské ulice (cca 60 m od měřicího místa) a překvapivě také v lokalitě Ostrava-Radvanice, OZO (TORO) s indikovaným přenosem těchto emisí z východu až jihovýchodu. Т

Č



Možným zdrojem je cca 70 m od stanice vzdálená svažitá ulice Radvanická, kde dochází k zastavování a rozjezdu vozidel před křižovatkou (zvýšený otěr brzdového obložení a výfukové emise).

Celoroční typ sekundárního aerosolu (SOA + SIA) měl v ostravských lokalitách nevýraznou směrovost, což svědčí o regionálním původu (hodnocené území je pravděpodobně součástí zdrojové oblasti tohoto typu znečištění). V lokalitách Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), a zejména Ostrava-Radvanice, OZO (TORO), je zřejmý snížený imisní příspěvek tohoto typu znečištění z jihozápadních směrů. Na základě dostupných informací nelze příčinu jednoznačně vysvětlit, hypoteticky lze spatřovat souvislost se znečišťujícími látkami v emisní vlečce Liberty Ostrava a.s. (vzájemné přednostní reakce látek nebo teplotní a vlhkostní podmínky snižující dostupnost radikálů pro následnou degradaci organických sloučenin). V pozaďové lokalitě Studénka nebyl zjištěn rozdíl mezi transportem tohoto typu znečištění ze dvou protilehlých preferenčních směrů proudění (od severovýchodu a od jihozápadu). Hodnocení jiných směrů je ve Studénce nereprezentativní z důvodu malého počtu případů s těmito typy proudění. Ve Věřňovicích je indikován převažující transport tohoto typu sekundárního aerosolu ze severovýchodního kvadrantu, tj. z Polska.

Zimní typ sekundárního anorganického aerosolu (SIA W) se v lokalitách Ostrava-Bartovice (TOBA) a Ostrava-Kunčičky (TOKU) projevoval vysokými příspěvky tohoto typu znečištění z východního, jihozápadního a severovýchodního směru. V lokalitě Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), byla jeho směrovost nevýrazná. V lokalitě Ostrava-Radvanice, OZO (TORO), pocházelo toto znečištění relativně více z východu a severozápadu až severu. Ve Studénce (TSTD) byly hlavní směry transportu zimního sekundárního anorganického aerosolu orientovány souhlasně s nejčastějšími směry proudění (severovýchodní a jihozápadní). V zásadě totéž platí pro lokalitu Věřňovice (TVER), pouze s významně vyšší četností vysokých příspěvků od východu. V případě faktoru SIA W je tedy zřejmá souvislost s polohou hlavních oblastí emisí z vytápění domácností. Jedná se o další argument pro tvrzení, že vytápění bylo v zimním období v hodnoceném území hlavním zdrojem těchto sekundárních částic (síranu a dusičnanu amonného).

Provedenou analýzou modelových imisních příspěvků ve vztahu k denním typům proudění nebyly zjištěny žádné modelové výsledky, které by odporovaly očekávanému chování a umístění známých zdrojů emisí. Výstupy modelu lze považovat za věrohodné a využitelné pro formulaci závěrů a doporučení.

т

Č

R

www.tacr.cz www.mzp.cz



#### 6.3. Vliv chemických reakcí v systému OC/NO3<sup>-</sup>/NaCl

Při dřívější identifikaci zdrojů, která byla založena na měření v tříměsíčním zimním období 2021 v lokalitách Ostrava-Bartovice (TOBA), Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE) a Ostrava-Kunčičky (TOKU) [22], byl identifikován faktor "C-NO3-Na", tvořený směsí vysokoteplotních organických uhlíkatých částic s obsahem PAH, solných částic a dusičnanů. Tento faktor se vyskytoval i v modelových řešeních při hodnocení, jehož výsledky jsou zde prezentovány. Významné faktorové imisní příspěvky se však vyskytovaly pouze v úvodním tříměsíčním období a po zbývající část roku byly výrazně nižší. Časový průběh modelového příspěvku naznačoval, že by se mohlo jednat o falešný modelový faktor (zdánlivě nahodilé kolísání bez zřetelné vazby na konkrétní meteorologické nebo emisí situace, skokový pokles imisního příspěvku přibližně v polovině dubna 2021, tj., v době přechodu z 3hodinových na 24hodinové odběry). Uvedený faktor byl velmi stabilní v mnoha testovaných modelových konfiguracích (modelový běh bez jednotlivých teplotních frakcí EC/OC, bez NO3, bez Na) a vyskytoval se v modelovém řešení při všech testovaných počtech PMF faktorů (od 7 do 12). Důvodem stability faktoru "C-NO3-Na" byla zřejmě, mimo jiné, i skutečnost, že souhlasný průběh a skokový pokles naměřených koncentrací v polovině dubna 2021 byly zjištěny současně u několika analytů (vysokoteplotní frakce EC/OC, Na, Na+, Cr a některé další kovy). Koncentrace těchto analytů byly přitom stanoveny nezávislými laboratorními metodami (EC/OC termooptickou metodou, prvky pomocí ED XRF a sodíkové ionty iontovou chromatografií), a dokonce i z filtrů jiných materiálů, odebraných v terénu jinými vzorkovači (PTFE pro ED XRF a iontovou chromatografii, QF pro EC/OC). Přesto byl u těchto analytů zaznamenán podobný skokový pokles koncentrace, zatímco u jiných analytů stanovených stejnými metodami nenastal. Případná chyba při odběru, při skladování i následné analýze je proto nepravděpodobná.

Kromě vyloučené chyby při odběru, transportu, skladování a analýze byly zvažovány tyto další hypotézy zmíněného skokového poklesu faktorového příspěvku:

- a) Chemická degradace při archivaci vzorků před analýzou: 24hodinové vzorky byly skladovány shodně s 3hodinovými. Doba archivace byla pouze mírně delší, než u některých vzorků z 3hodinových odběrů. Je nepravděpodobné, že by došlo k tak výraznému skokovému rozdílu naměřených koncentrací. Navíc méně významný pokles nastal i u analytů, u kterých je silná degradace těžko vysvětlitelná (Cr, Na).
- b) Chemická degradace během delšího odběru: Aerosol zachycený na filtrech je v případě 24hodinového odběru vystaven intenzivnímu kontaktu s okolním vzduchem 8krát déle než u 3hodinového vzorku. Prosávání průtokem cca 55 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> efektivním průměrem filtru cca 40 mm odpovídá rychlosti proudění 12 m·s<sup>-1</sup>, mezi vlákny filtru je navíc rychlost podstatně vyšší. Toto proudění způsobuje intenzivní kontakt zachyceného aerosolu s molekulami plynů a dalšího nasávaného kapalného i pevného aerosolu z ovzduší. Rychlost chemických reakcí, a tedy rychlost degradace vzorkovaného aerosolu během odběru proto může být výrazně vyšší než při jeho následné archivaci.
- c) Chemická degradace během uložení exponovaných vzorků v sekvenčních vzorkovačích do pravidelné návštěvy obsluhy: Exponované vzorky byly uloženy v zásobníku v chlazeném oddílu sekvenčního vzorkovače. V případě 3hodinových odběrů se jednalo o dojezd technika do maximálně 3 dnů, v případě 24hodinových vzorků byla pravidelná obsluha prováděna v intervalu 14 dnů. Čtrnáctidenní interval obsluhy se nelišil od běžné praxe, která je v souladu se standardními operačními postupy i u nestálých analytů, např. PAH. Za celé období provozu imisního monitoringu nebyly při tomto režimu zjištěny zjištěny významné ztráty navážky analytu, a to ani v letním období s vysokými teplotami. Oproti 3hodinovým odběrům byly 24hodinové koncentrace nízké po celý zbytek roku, včetně chladného období v jeho závěru. Tato příčina se proto jeví nepravděpodobná.

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí v rámci **Programu Prostředí pro život**.

www.tacr.cz

www.mzp.cz

т

Č

R



Chemicky podobný faktor jako zde prezentovaný "C-NO3-Na" nebyl při dřívějších použitích modelu PMF, založených na minimálně 12hodinových dobách odběru vzorků nikdy identifikován. Nikdy také nebyly ve stejném modelu využity údaje z odběrů s různým časovým rozlišením a v časové řadě proto nevznikl skokový pokles naměřených hodnot některých analytů. Tento skokový pokles ale nebyl důvodem pro identifikaci uvedeného faktoru (sám o sobě nevedl model k nutnosti vysvětlit tuto variabilitu dalším faktorem). Lze to doložit samostatným zpracováním 3hodinových dat pomocí PMF [22], při kterém k podobnému zlomu v časové řadě nedošlo, přesto byl tento identifikován chemicky téměř stejný faktor. Je proto pravděpodobné, že 3hodinovými odběry byla zachycena skutečná chemicky specifická část znečištění, kterou se při 24hodinových odběrech nepovedlo zachytit. Jako nejpravděpodobnější se proto jeví hypotéza uvedená výše v bodu b).

Frakce EC4, která je nositelem převážné části hmoty faktoru "C-NO3-Na", reprezentuje částečně primární částice z vysokoteplotních spalovacích procesů, zejména ale vysokomolekulární látky, převážně sekundárního původu, typicky např. dikarboxylové a polykarboxylové kyseliny [17]. Obr. 50 ukazuje na základě 3hodinových odběrů (období 14. 1. 2021–13. 4. 2021), že zatímco v lokalitě Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE) byla zjištěna významná korelace mezi frakcí EC4 a EC3 (R=0,81), v případě lokalit Ostrava-Bartovice (TOBA) a Ostrava-Kunčičky (TOKU) byla slabá až nevýznamná (R=0,43, resp. R=0,36), a naopak těsnější závislost (R=0,67, resp. R=0,63) se zde vyskytovala s organickým uhlíkem frakce OC4. To naznačuje, že původ různých frakcí EC je v těchto lokalitách jiný. Zatímco v lokalitě TORE pochází většina EC4 ze stejných procesů jako EC3 (pravděpodobně primární částice z hutních zdrojů), v lokalitách TOBA a TOKU se projevuje více formace sekundárního organického aerosolu.



*Obr. 50 Pearsonova korelace mezi teplotními frakcemi uhlíku na základě 3hodinových vzorků (14. 1. 2021–13. 4. 2021)* 

Sekundární původ vysokoteplotní frakce uhlíku EC4 lze dokumentovat i zpracováním 24hodinových koncentrací (Obr. 51). Významnými korelacemi EC4 s OC4 a nižšími korelacemi EC4 s jinými frakcemi se v případě 24hodinových odběrů vyznačují koncentrace z lokalit Ostrava-Kunčičky (TOKU), Studénka (TSTD) a Věřňovice (TVER), které jsou relativně více ovlivněny emisemi ze silniční dopravy, resp. regionálním přenosem emisí, které tvorbu sekundárního organického aerosolu podporují. Naopak průmyslově více ovlivněné lokality Ostrava-Radvanice OZO (TORO) a Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE) se vyznačují významnou korelací koncentrace EC4 s EC3 a naopak nízkou korelací s koncentracemi frakcí organického uhlíku, protože zde převládá EC4 ve formě primárních částic.





www.tacr.cz

www.mzp.cz

т

Č



Obr. 51 Pearsonova korelace mezi teplotními frakcemi uhlíku na základě 24hodinových vzorků (13. 4. 2021–13. 1. 2022)

Barva a tvar v korelačních maticích na výše uvedených Obr. 50 a 51 vyjadřují korelační vztah a jeho statistickou významnost. Zelenými a modrými odstíny se vyznačuje záporná (nepřímá) závislost (modrá nejvýznamnější), naopak odstíny od světle žluté po tmavě červenou reprezentují rostoucí přímou závislost. Jak je zjevné, ve všech zde prezentovaných případech se mezi koncentracemi uhlíkatých částic jedná o kladné (přímé) závislosti. Síla závislosti bez rozlišení její orientace (přímá / nepřímá) je v obrázcích vyjádřena tvarem od kruhu (nulová korelace) přes elipsu až po extrémní případ úsečky v případě 100 % kladné nebo záporné korelace.

Zjištěný vliv formace sekundárního aerosolu na vysokoteplotní frakce uhlíku souhlasí s laboratorními měřeními standardů organických látek termooptickou analýzou [19], ze kterých vyplývá, že silnou odezvou v pásmu OC4 se projevují např. některé dikarboxylové kyseliny a vysokomolekulární látky (široká a nejasně definovaná skupina látek HULIS). Silně zastoupenými organickými látkami v ovzduší v topné sezoně jsou levoglucosan, další anhydrosacharidy a sloučeniny pocházející z vytápění domácností biomasou. Produktem jejich degradace jsou ve významné míře právě HULIS [20, 21]. Dikyrboxylové a polykarboxylové kyseliny, stejně jako další látky skupiny HULIS jsou dále degradovány. V zimním období v území s velmi komplexní skladbou znečištění se v aerosolu spolu s uhlovodíky vyskytuje složitý systém reaktivních sloučenin a katalyzátorů, např. OH<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>3</sub>, HNO<sub>3</sub>, NaCl, HCl, uhlovodíkové radikály, přechodné kovy. Přítomnost HCl lze v zimním vlhkém období přepokládat na základě znečištění oxidy dusíku a aerosolem posypové soli z vozovek, kdy dochází k rychlé reakci mezi NaCl a HNO<sub>3</sub> [18]:

$$HNO_{3(g)} + Cl^{-}_{(aq)} \leftrightarrow NO^{-}_{3(aq)} + HCl_{(g)}$$

Degradaci původních uhlovodíků působí zejména HNO<sub>3</sub>, HCl a volné radikály, reakce usnadňuje přítomnost katalyzátorů, např. Cr. K významné degradaci organického znečištění může docházet v řádu Т

Č

R



desítek minut až hodin, zejména při vysoké koncentraci OH<sup>-</sup> radikálů, tedy při zvýšené vlhkosti, typicky v chladné části roku. V případě 24hodinových odběrů mohla být proto degradována podstatná část těchto látek a na filtru mohlo přetrvat pouze množství z posledních hodin odběru. K další degradaci mohlo docházet při uložení exponovaných vzorků v chlazeném zásobníku vzorkovače do příjezdu obsluhy (až 3 dny v případě 3hodinových a až 14 dnů v případě 24hodinových odběrů). V poměru ke hmotnosti celého vzorku, a tedy i v poměru k odebranému objemu, byl jejich obsah v takto odebraných vzorcích podstatně nižší, než ve vzorcích z 3hodinových odběrů. Podstatně nižší byla tedy i jejich naměřená koncentrace. Protože frakce EC4 představuje hmotnostně nejmenší část sumy EC (6 až 12 %), posun do nízkoteplotních frakcí vlivem degradace způsobí pouze nerozeznatelně malou změnu v modelovém výsledku (neprojeví se zjevným nárůstem nízkoteplotních frakcí v jiných faktorech).

Obtížná interpretace faktoru "C-NO<sub>3</sub>-Na", a zejména nevyhovující bootstrap test modelového řešení (pouze u tohoto faktoru nebyla dosažena dostatečná shoda), nakonec vedla k nutnosti snížit počet faktorů z 11 na konečných zde prezentovaných 10 při nezbytném zvýšení přidané nejistoty modelu z původních 12 na 13 %. Hmota faktoru "C-NO<sub>3</sub>-Na" se po této úpravě rozdělila do nynějších faktorů "SALT" (obsah sodíku) a "SOA + SIA" (uhlíkaté částice a dusičnany). Nelze vyloučit, že v případě 3hodinových odběrů po celý rok by se typ znečištění reprezentovaný faktorem "C-NO<sub>3</sub>-Na" projevoval ve větší části roku, což by zvýšilo zde prezentovaný podíl sekundárního organického aerosolu a s ohledem na jeho pravděpodobný původ z velké části ve vytápění domácností biomasou také podíl faktoru "HEAT BB". Odhadovaná odchylka činí jednotky procent podílu těchto faktorů na koncentraci PM<sub>10</sub>. Degradace organického znečištění během odběru vzorků si zasluhuje podrobný budoucí výzkum. Je vhodné porovnat výsledky paralelních měření s různou dobou odběru vzorků.

#### 6.4. Omezení hodnocení v lokalitě Ostrava-Radvanice, OZO

V lokalitě Ostrava-Radvanice, OZO (TORO) nebyly prováděny laboratorní analýzy organického a elementárního uhlíku. Pro zajištění konvergence modelu PMF bylo nutno do modelu zadat fiktivní hodnoty imisních koncentrací těchto analytů, vypočtené na základě jejich silné korelace s PAH (viz kapitola 3.4). Tato úprava vedla ke zvýšené nejistotě kvantifikovaných imisních podílů zdrojů znečišťování ovzduší v této lokalitě. Zejména se to týká zdrojů s významným podílem organického a elementárního uhlíku ve faktorových profilech, tzn., vytápění domácností a celoroční složky sekundárního aerosolu (faktor "SOA + SIA"). Vzájemné vypočtené poměry imisních podílů těchto zdrojů, resp. typů znečištění, mohou být v této lokalitě zkreslené, což by mělo být při případném využití předkládaných výsledků zohledněno.

www.tacr.cz

www.mzp.cz



### 7. Shrnutí

Т

Č

R

Provedená identifikace zdrojů znečišťování ovzduší je založena na celoroční odběrové kampani 24hodinových vzorků atmosférického aerosolu  $PM_{10}$  v 8 lokalitách. Pro vyšší rozlišovací schopnost identifikace zdrojů bylo ve třech z těchto lokalit po dobu tří chladných měsíců zvýšeno časové rozlišení měření (odebírány zde byly 3hodinové vzorky). V šesti lokalitách se stanovenou imisní koncentrací  $PM_{10}$ , byly naměřené údaje využity pro vyhodnocení příčin znečištění receptorovým modelem PMF.

Na rozdíl od dřívějšího zpracování dat ze 3hodinových odběrů [22] byla kvantifikace podílů hlavních zdrojů znečišťování ovzduší imisně-meteorologickou analýzou (hodnocením imisních koncentrací ve vztahu ke směru a rychlosti větru) na základě 24hodinových odběrů neprůkazná. V praxi tak bylo ověřeno, že obvykle používané rozlišení monitoringu benzo[*a*]pyrenu (24 hodin) je pro tento účel nedostatečné. Vyšší časové rozlišení odběrů zásadně zvyšuje rozlišení a vypovídací hodnotu imisně-meteorologické analýzy. Tato zkušenost, vede k doporučení, aby budoucí identifikace zdrojů touto metodou byly realizovány s co možná nejvyšším časovým rozlišením odběrů. Pokud kvantifikace pomocí imisně-meteorologických vztahů přesto selže, je vhodnou volbou analýza příčin znečištění pomocí receptorového modelování. Optimální je obě metody kombinovat a využít křížové porovnání výsledků.

Receptorovým modelem PMF bylo identifikováno 10 faktorů, které jsou příčinou znečištění ovzduší v hodnoceném území. Hodnocení bylo založeno na nadstandardně vysokém časovém rozlišení měření koncentrací benzo[*a*]pyrenu a dalších analytů a na celkově vysokém počtu lokalit a odebraných vzorků. Tyto skutečnosti vedly k dobré rozlišovací schopnosti a jistotě vyslovených závěrů. Bylo možné formulovat specifické závěry pro různé části hodnoceného území a snížit tím riziko jejich nesprávné interpretace, např. vztahování závěrů pro specifické okolí měřicí stanice Ostrava-Radvanice ZÚ na širší území.

Měření ovzduší pro receptorové modelování pokrývalo období celého měřeného roku, který meteorologickými parametry významně nevybočoval z dlouhodobého průměru. Níže uvedené závěry proto platí pro průměrné roční koncentrace. Lze je případně vztáhnout i na další roky v rámci střednědobého časového horizontu (cca 5 let), pokud meteorologicky nebo emisně výrazně nevybočí z průměru let 2017–2021. Ačkoliv jsou hodnocení imisně-meteorologických vztahů a receptorový model PMF ve všech svých parametrech platné pouze pro místa, ve kterých probíhalo imisní měření, vzhledem k poměrně velkému počtu a rozmístění měřicích lokalit bylo možné interpretovat i některé regionální příčiny znečištění.

Podle územní reprezentativnosti jsou následující závěry členěny na tři druhy:

- Závěry platné pro imisní hot-spot v okolí měřicí lokality Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), která je oproti ostatním hodnoceným lokalitám z hlediska hlavních příčin znečištění zásadně odlišná. (červeně vymezené území v Obr. 52).
- Lokálně platné závěry, které jsou s výjimkou okolí měřicí lokality Ostrava-Radvanice ZÚ, reprezentativní pro oblast východní části Ostravy a přilehlých obcí. Jedná se o zájmové území vymezené přibližně polygonem Vratimov, Slezská Ostrava, Rychvald, Orlová, Havířov (modře vymezené území v Obr. 52).
- Regionální závěry, platné pro širší Ostravsko v prostoru od Moravské brány po státní hranici s Polskem, s výjimkou dopravně silně zatížených městských center.

www.tacr.cz

www.mzp.cz

т

Č





Obr. 52 Přibližné vymezení zájmového území

#### Závěry pro lokální imisní hot-spot v okolí měřicí lokality Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE)

Příčiny znečištění ovzduší suspendovanými částicemi  $PM_{10}$  i benzo[*a*]pyrenem v okolí lokality Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE) jsou výrazně odlišné od ostatních částí zájmového území. Významný vliv průmyslových zdrojů znečišťování identifikovaný je zde lokální a v ostatních hodnocených oblastech se projevuje podstatně slaběji.

Na rozdíl od ostatních částí zájmového území zde významné znečištění aerosolem PM10 působí emise primárních částic z výroby surového železa a oceli (faktory "IND HM" a "IND PAH"), které v tomto hot-spotu v součtu dosáhly průměrného ročního imisního příspěvku až cca 10 µg·m<sup>-3</sup> a tvořily tak přibližně až čtvrtinu celkové koncentrace. Tyto primární průmyslové částice zde měly přibližně stejný podíl na průměrné roční koncentraci PM<sub>10</sub> jako sekundární aerosol, který na všech ostatních lokalitách výrazně převažoval. Významný vliv zde mělo také průmyslové skladování sypkých vápenatých materiálů, pravděpodobně hlavně strusky a vápna (příspěvek až okolo 5  $\mu$ g·m<sup>-3</sup>, tj. relativně mezi 10 až 15 % PM<sub>10</sub>). Další identifikované faktory zde dosahovaly v absolutních hodnotách podobných imisních příspěvků jako v ostatních ostravských lokalitách. Jejich relativní podíl byl ale v okolí lokality Ostrava-Radvanice ZÚ nižší z důvodu zvýšeného zastoupení částic průmyslového původu.

Т

Č

R



Zásadně odlišná od ostatních měřicích míst je zde příčina znečištění benzo[*a*]pyrenem. Většina znečištění ovzduší touto látkou pocházela v lokalitě Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE) a jejím blízkém okolí převážně z areálu hutního podniku Liberty Ostrava a.s. (až cca 2/3 znečištění). Téměř celá zbývající část připadala na vytápění domácností, zejména uhlím. Úroveň znečištění benzo[*a*]pyrenem nad 5 ng·m<sup>-3</sup> v lokálním imisním hot-spotu v okolí měřicí lokality Ostrava-Radvanice ZÚ (viz Obr. 52) ovlivňuje populaci čítající přibližně 8 400 osob a úroveň nad 8 ng·m<sup>-3</sup> přibližně 860 osob.

Jedním ze závěrů provedené identifikace zdrojů založené na celoročním monitoringu je také ověření, že stanice stálého imisního monitoringu Statutárního města Ostrava a Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě Ostrava-Radvanice ZÚ (TORE), je ve shodě s její klasifikací a účelem umístěna v místě silného lokálního vlivu průmyslového zdroje. Údaje získané imisním monitoringem v tomto bodě jsou reprezentativní pouze pro nejbližší okolí stanice (dle klasifikace lokality 100 metrů od stanice) a nejsou použitelné pro hodnocení kvality a příčin znečištění ovzduší v Ostravě-Radvanicích jako celku, v okolních městských částech, ani v širším okolí.

# Závěry pro oblast východní části Ostravy a přilehlých obcí (neplatí pro blízké okolí lokality Ostrava-Radvanice ZÚ)

Nejvýznamnější část znečištění ovzduší suspendovanými částicemi PM<sub>10</sub> v této části zájmového území tvořily sekundární částice. Tento typ znečištění zde zaujímal třetinový až mírně nadpoloviční podíl na průměrné roční koncentraci PM<sub>10</sub>. Jeho původ byl regionální, rozhodující měrou se na něm podílely pravděpodobně emise z individuálního vytápění domácností. Tento zimní typ sekundárního aerosolu zahrnoval jak částice vznikající z tuzemských emisí, tak i znečištění z polské části Slezska (při občasných situacích se severovýchodním prouděním). Podíl sekundárních částic vzniklých z dopravních emisí a průmyslové energetiky (celoroční a letní typ sekundárního aerosolu) byl v tomto území sice také významný, ale podstatně menší, než podíl výše zmíněných částic indukovaných vytápěním. Druhý nejvýznamnější podíl na koncentraci PM<sub>10</sub> měly primární částice vznikající při individuálním vytápění domácností (až cca pětina celkové koncentrace). Podíl primárních částic (otěrů a výfukových emisí) ze silniční dopravy nebyl sice sám o sobě významný (v blízkosti frekventovaných komunikací dosahoval okolo 10%), ale vliv automobilových emisí se projevil také prostřednictvím výše zmíněného celoročního typu sekundárního aerosolu a resuspenzí částic soli z chemického posypu vozovek. V součtu primárních a sekundárních částic doprava působila celkově průměrný roční imisní příspěvek ve výši přibližně okolo desetiny až třetiny koncentrace PM<sub>10</sub>, v závislosti na typu lokality (vyšší koncentrace v blízkosti frekventovaných víceproudých komunikací, nižší v okrajových částech Ostravy s venkovským charakterem). Ostatní zdroje znečišťování ovzduší měly na průměrnou roční koncentraci PM<sub>10</sub> v této části zájmového území málo významný vliv.

Znečištění benzo[*a*]pyrenem pocházelo ve východní části a na přilehlých periferiích Ostravy s výjimkou lokality Ostrava-Radvanice ZÚ, dominantně z individuálního vytápění domácností uhlím. Vytápění domácností zde bylo v ročním průměru příčinou přibližně poloviny průměrné roční koncentrace benzo[*a*]pyrenu. Při zohlednění interpretačních nejistot, včetně problému možné degradace organických látek (viz kapitola 6.3), se může jednat až o 3/5 znečištění. Zbývající část znečištění v této oblasti (cca 1 až 3 ng·m<sup>-3</sup>, v relativním vyjádření 2/5 až polovina) pocházela převážně z koksárenské výroby, jiné zdroje zde byly imisně nevýznamné. Ve vymezeném zájmovém území ve východní části Ostravy a přilehlých obcích lze po odečtení vlivu koksárenské výroby odhadovat průměrnou koncentraci benzo[*a*]pyrenu na cca 2 až 3 ng·m<sup>-3</sup> a velikost dotčené populace na cca 80 tis. osob.

#### Závěry pro širší Ostravsko v prostoru od Moravské brány po státní hranici s Polskem

V širším zájmovém území zaujímaly v aerosolu  $PM_{10}$  největší podíl sekundární částice, což souvisí s jejich tvorbou z plynných polutantů během atmosférického transportu znečištění. Ve venkovských lokalitách Studénka (TSTD) a Věřňovice (TVER) v ročním průměru výrazně převažoval zimní typ

Т

Č

R



těchto sekundárních částic, který byl dominantně tvořen směsí síranu a dusičnanu amonného. Ty pocházely hlavně z individuálního vytápění domácností. Naproti tomu v ostravských lokalitách byl identifikován vyšší podíl celoročního a letního typu sekundárního aerosolu (převážně sekundární organický aerosol a síran amonný indukovaný hlavně prekurzory ze silniční dopravy a průmyslové energetiky). S výjimkou městské části Ostrava-Radvanice, která je relativně více ovlivněna průmyslovými zdroji, se podíl těchto sekundárních částic na průměrné roční koncentraci PM10 pohyboval v součtu okolo 12 µg·m<sup>-3</sup>. V relativním vyjádření se v hodnocených okrajových částech Ostravy a ve vzdálenějších venkovských oblastech jednalo o přibližně polovinu znečištění PM10. Primární částice z vytápění domácností v periferních částech Ostravy přispívaly ke znečištění PM<sub>10</sub> necelou pětinou, v jihozápadní části kraje čtvrtinou (odhad na základě situace ve Studénce) a v polském příhraničí přibližně dvěma pětinami (odhad na základě situace ve Věřňovicích). V rámci hodnoceného území se výrazně lišil poměr mezi příspěvkem vytápění uhlím a vytápěním biomasou, přičemž byl zřejmý postupný nárůst podílu spalování uhlí ve směru od Moravské brány k polské hranici. Ve Studénce převažoval příspěvek vytápění biomasou, v Ostravě byl s výjimkou vysloveně venkovské stanice Ostrava-Bartovice (TOBA) vliv těchto druhů paliva vyrovnanější a ve Věřňovicích násobně převažoval vliv vytápění uhlím. Přírodní minerální prašnost tvořila v lokalitách mimo Ostravu asi 5 až 15 % průměrné roční koncentrace PM<sub>10</sub> (s přihlédnutím k modelovým nejistotám a možné interferenci s průmyslovými zdroji minerální prašnosti). Silniční doprava se na průměrné roční koncentraci PM<sub>10</sub> podílela primárními částicemi řádově jednotkami procent, při zahrnutí vlivu formace sekundárních částic (obsaženy ve faktoru "SOA + SIA") se mohlo jednat až o 20 %. Vliv jiných zdrojů byl v regionálním měřítku málo významný.

Znečištění benzo[*a*]pyrenem pocházelo v širším okolí Ostravy dominantně z individuálního vytápění domácností. Zřetelně se zde projevuje gradient znečištění z různých typů paliv. Ačkoliv podíl vytápění uhlím dle modelových výpočtů převažuje v celém regionu, v jižní části území se na znečištění benzo[*a*]pyrenem podílelo významně i spalování biomasy (okolo čtvrtiny znečištění). Naproti tomu v blízkosti Polska z hlediska benzo[*a*]pyrenu zcela dominoval vliv spalování uhlí (více než 4/5 znečištění), zatímco na biomasu zde připadala jen asi desetina. V ročním průměru nebyl zanedbatelný ani podíl koksárenského průmyslu, který podle modelu dosahoval desetin ng·m<sup>-3</sup> (nižší příspěvek v celkově méně znečištěné jihozápadní části, vyšší ve znečištěnější severovýchodní části regionu), což představovalo relativně asi desetinu celkové průměrné roční koncentrace. Jedná se o součet vlivu koksárenských emisí na české i polské straně hranice. S ohledem na vzdálenost a převládající směr větru je pravděpodobná převaha českých zdrojů. Jiné zdroje benzo[*a*]pyrenu, než zmíněné individuální vytápění domácností a koksárenská výroba, byly regionálně nevýznamné.

Případné budoucí kroky ke zlepšení kvality ovzduší v zájmovém území by měly prioritně směřovat ke snížení koncentrace benzo[*a*]pyrenu, který zde ze všech znečišťujících látek největší měrou překračuje imisní limit a působí největší příspěvek zdravotního rizika. Z výše uvedeného hodnocení pro jednotlivé části zájmového území vyplývá, že ve východní části Ostravy a v přilehlých obcích dosahuje znečištění ovzduší benzo[*a*]pyrenem nejvyšší úrovně tam, kde dochází ke kumulativnímu vlivu vytápění domácností a koksárenského průmyslu. Koksárenská výroba vytváří ve specifické lokalitě v blízkosti stanice imisního monitoringu Ostrava-Radvanice ZÚ přibližně 2 krát vyšší imisní příspěvek než vytápění domácností, ale zasahuje oproti němu podstatně menší populaci. V části zájmového území, kde převažuje vliv vytápění domácností, žije přibližně 8 krát více obyvatel, než v části zájmového území, kde převažuje vliv koksárenské výroby. Vytápění domácností tak působí v zájmovém území přibližně 4 krát vyšší populační zdravotní riziko (statistický počet případů onemocnění) spojené se znečištěním ovzduší benzo[*a*]pyrenem, než koksárenská výroba.

www.tacr.cz

www.mzp.cz



## Literatura

Т

Č

R

[1] ČHMÚ, 2021. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020. [online]. [cit. 7. 6. 2022]. Dostupné z WWW:

https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/20\_00\_obsah\_v1.pdf.

- [2] Schreiberová, M., Vlasáková, L., Vlček, O., Šmejdířová, J., Horálek, J., Bieser, J., 2020. Benzo[a]pyrene in the Ambient Air in the Czech Republic: Emission Sources, Current and Long-Term Monitoring Analysis and Human Exposure. Atmosphere 2020, 11, 955. <u>https://doi.org/10.3390/atmos11090955</u>.
- [3] Volná, V., Hladký, D., 2021. Zpráva o průběhu sanačních prací ropných lagun v Ostravě a identifikaci špiček koncentrací SO2 v jejich okolí. In: Meteorologické zprávy, roč. 74, č. 3, s. 76– 83. ISSN 0026-1173.

https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/casmz/assets/2021/MZ\_03\_2021.pdf.

- [4] Volná, V., Hladký, D., Seibert, R., Krejčí, B., 2022. Transboundary Air Pollution Transport of PM<sub>10</sub> and Benzo[a]pyrene in the Czech–Polish Border Region. Atmosphere 2022, 13, 341. <u>https://doi.org/10.3390/atmos13020341</u>.
- [5] Norris, G.; Duvall, R.; Brown, S.; Bai, S. Positive Matrix Factorization (PMF), Fundamentals and User Guide; U. S. EPA: Washington, DC, USA, 2014. Available online: <u>https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-02/documents/pmf\_5.0\_user\_guide.pdf</u> (accessed on 30 April 2020).
- [6] Hladký, D., Seibert, R., Volná, V., Krejčí, B., 2022, Vyhodnocení měření na monitorovacích stanicích Studénka a Věřňovice v roce 2021, Projekt Měření znečištění ovzduší vzorkovači pro identifikaci zdrojů znečišťování na dvou lokalitách v Moravskoslezském kraji 2021, Závěrečná zpráva projektu (1. 1.–31. 12. 2021).

https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/OCO/prehledy/studenka\_vernovice/MSK\_2021\_final .pdf.

- [7] Hazem S El-Zanan, Barbara Zielinska, Lynn R Mazzoleni & D. Alan Hansen (2009) Analytical Determination of the Aerosol Organic Mass-to-Organic Carbon Ratio, Journal of the Air & Waste Management Association, 59:1, 58-69, DOI: 10.3155/1047-3289.59.1.58
- [8] ČHMÚ, TD 000147, Identifikace zdrojů znečišťování ovzduší souhrnná zpráva za oblast 1 (Třinecko), 11. 02. 2022. <u>https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/assets/td\_147.pdf</u>.
- [9] ČHMÚ, TD 000148, Identifikace zdrojů znečišťování ovzduší souhrnná zpráva za oblast 2 (Kladensko), 11. 02. 2022.

https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/assets/td\_148.pdf.

- [10] ČHMÚ, TD 000149, Identifikace zdrojů znečišťování ovzduší souhrnná zpráva za oblast 3 (Brno, Hradec Králové, Olomouc), 11. 02. 2022. https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/assets/td 149.pdf.
- [11] ČHMÚ, TD 000150, Identifikace zdrojů znečišťování ovzduší souhrnná zpráva za oblasti 1 až 3, 11. 02. 2022.

https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/assets/td\_150.pdf.

- [12] Seibert, R.; Nikolova, I.; Volná, V.; Krejčí, B.; Hladký, D. Air Pollution Sources' Contribution to PM<sub>2.5</sub> Concentration in the Northeastern Part of the Czech Republic. Atmosphere 2020, 11, 522. <u>https://doi.org/10.3390/atmos11050522</u>.
- [13] Seibert, R.; Nikolova, I.; Volná, V.; Krejčí, B.; Hladký, D. Source Apportionment of PM<sub>2.5</sub>, PAH and Arsenic Air Pollution in Central Bohemia. Environments 2021, 8, 107. <u>https://doi.org/10.3390/environments8100107</u>.

т

Č

R

- [14] MŽP ČR, Program zlepšování kvality ovzduší Aglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek-CZ08A, <u>https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/platne\_programy\_zlepsovani\_kvality\_2016</u> /\$FILE/OOO-PZKO\_CZ08A-20190718.pdf.
- [15] Vossler, T.; Cernikovsky, L.; Novak, J.; Placha, H.; Krejci, B.; Nikolova, I.; Chalupnickova, E.; Williams, R. An Investigation of local and regional sources of fine particulate matter in Ostrava, the Czech Republic. Atmos. Pollut. Res. 2015
- [16] Vossler, T.; Cernikovsky, L.; Novak, J.; Williams, R. Source apportionment with uncertainty estimates of fine particulate matter in Ostrava, Czech Republic using Positive Matrix Factorization. Atmos. Pollut. Res. 2016
- [17] Ehsan Soleimanian, Amirhosein Mousavi, Sina Taghvaee, Mohammad H. Sowlat, Sina Hasheminassab, Andrea Polidori, Constantinos Sioutas, Spatial trends and sources of PM<sub>2.5</sub> organic carbon volatility fractions (OCx) across the Los Angeles Basin, Atmospheric Environment, Volume 209, 2019, Pages 201-211, ISSN 1352-2310, https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.04.027.
- [18] Purnendu K. Dasgupta, Scott W. Campbell, Rida S. Al-Horr, S.M. Rahmat Ullah, Jianzhong Li, Carlo Amalfitano, Noreen D. Poor, Conversion of sea salt aerosol to NaNO3 and the production of HCl: Analysis of temporal behavior of aerosol chloride/nitrate and gaseous HCl/HNO3 concentrations with AIM, Atmospheric Environment 41, 2007, 4242–4257
- [19] Miyazaki, Y., Y. Kondo, S. Han, M. Koike, D. Kodama, Y. Komazaki, H. Tanimoto, and H. Matsueda (2007), Chemical characteristics of water-soluble organic carbon in the Asian outflow, J. Geophys. Res., 112, D22S30, doi:10.1029/2007JD009116
- [20] Aristeidis Voliotis, Roman Prokeš, Gerhard Lammel, Constantini Samara, New insights on humic-like substances associated with wintertime urban aerosols from central and southern Europe: Size-resolved chemical characterization and optical properties, Atmospheric Environment, Volume 166, 2017, Pages 286-299, ISSN 1352-2310, <u>https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.07.024</u>
- [21] Guangming Wu, Xin Wan, Shaopeng Gao, Pingqing Fu, Yongguang Yin, Gang Li, Guoshuai Zhang, Shichang Kang, Kirpa Ram, and Zhiyuan Cong, Humic-Like Substances (HULIS) in Aerosols of Central Tibetan Plateau (Nam Co, 4730 m asl): Abundance, Light Absorption Properties, and Sources, Environmental Science & Technology, 2018 52 (13), 7203-7211, DOI: 10.1021/acs.est.8b01251
- [22] Hladký, D., Seibert, R., Volná, V., Krejčí, B., 2022, Identifikace příčin znečištění ovzduší ve východní části Ostravy, Závazný výsledek Dílčího cíle 2.1 Zlepšení identifikace zdrojů znečištění, SS02030031: Integrovaný systém výzkumu, hodnocení a kontroly kvality ovzduší, 30. 6. 2022.
- [23] Hladký, D., Seibert, R., Volná, V., Krejčí, B., 2022, Příčiny znečištění ovzduší a jeho šíření hlavním transportním koridorem severní Moravy, Doplněk č. 1 Závazného výsledku Dílčího cíle 2.1 Zlepšení identifikace, SS02030031: Integrovaný systém výzkumu, hodnocení a kontroly kvality ovzduší, 31. 7. 2022.

62





# Příloha 1 Chemické profily identifikovaných faktorů





т Č

Α

R

ARAMIS



www.tacr.cz www.mzp.cz



# Příloha 2 Časové řady faktorových imisních příspěvků ke koncentraci PM<sub>10</sub>



т

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou



lmisní příspěvek ke koncentraci PM10 [µg.m<sup>-3</sup>]

т č Α

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou



www.tacr.cz www.mzp.cz



## Příloha 3

Faktorové imisní příspěvky členěné dle denních typů proudění

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí v rámci **Programu Prostředí pro život**.

www.tacr.cz

www.mzp.cz

Т

Č

Α

R





Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí v rámci **Programu Prostředí pro život**.

www.tacr.cz

www.mzp.cz

Т

Č

A

R





www.mzp.cz

Т

Č

Α










Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí v rámci **Programu Prostředí pro život**.

www.tacr.cz

www.mzp.cz

Т

Č

Α

R













www.tacr.cz www.mzp.cz



# Příloha 4

# Naměřené koncentrace PM<sub>10</sub> ve vztahu k teplotě a rychlosti větru

Č



# Graf koncentrace PM<sub>10</sub> v lokalitách TORE a TVER ve vztahu k teplotě vzduchu ve 2 m nad terénem (koncentrace plnou čarou, teplota čárkovaně)













# Příloha 5 Měření prostředky distanční sondáže

www.tacr.cz

R



# Měření prostředky distanční sondáže

www.mzp.cz

V rámci projektu ARAMIS, dílčího cíle 4.3 (a s částečným propojením projektu KAPOOO, https://www.msk.cz/cs/temata/zivotni\_prostredi/krajsky-akcni-plan-pro-oblast-ochrany-ovzdusi--- kapooo-10409/), byla v období listopad 2021 až leden 2022 provedena měření prostředky distanční sondáže – mikrovlnným radiometrem a dopplerovským lidarem - v Ostravě-Porubě a Ostravě-Radvanicích. Nasazení této pokročilé techniky umožnilo sledování vývoje vertikálních profilů teploty vzduchu, směru a rychlosti větru ve vysokém časovém a prostorovém rozlišení a jejich porovnání s vývojem koncentrací znečišťujících látek.

## 1. Mikrovlnný radiometr MTP-5

Mikrovlnný radiometr MTP-5, dodaný firmou IfU GmbH - Privates Institut für Umweltanalysen GmbH, umožňuje bezobslužné měření teplotního profilu v dolní části mezní vrstvy ovzduší do výšky 1000 m nad terénem v reálném čase, ve výškovém rozlišení po 50 m. Využívá se vysoce citlivý mikrovlnný přijímač, měřící intenzitu tepelného vyzařování atmosféry na frekvenci 60 GHz. Přístroj je pasivní, nevyzařuje žádné záření a nevyžaduje žádné provozní licence. Po dobu měření byl radiometr instalován na střeše budovy pobočky ČHMÚ v Ostravě (Obr. 1).

Zařízení je vybaveno softwarem, umožňujícím nastavení provozního režimu, vyhodnocení, záznam a zobrazení naměřených dat. Pro měření v Ostravě byl přístroj nastaven na záznam teplotního profilu v intervalu každých 5 minut. Zobrazovací program umožňuje sledovat změny vertikálního profilu teploty, lokalizaci teplotních inverzí a vývoj časových řad teploty vzduchu v jednotlivých výškových hladinách. Příklad zobrazení teplotního profilu s výraznou inverzí teploty je na Obr. 2.



*Obr. 1 Mikrovlnný radiometr na střeše budovy pobočky ČHMÚ v Ostravě (Foto: B. Krejčí, prosinec 2021)* 







Obr. 2 Výrazná inverze teploty detekovaná mikrovlnným radiometrem, 27. 12. 2021

#### 1.1. Vyhodnocení režimu rozptylových podmínek na základě měření MWR

Datové soubory profilů teploty vzduchu, získané v průběhu měření na lokalitě Pobočka ČHMÚ Ostrava umožnily vyhodnocení statistiky výskytu rozptylových podmínek v průběhu měřicí periody. Byly vyhodnoceny hodinové průměry teplotních gradientů v deseti výškových vrstvách po 100 m výškového rozpětí, tedy  $0 - 100, 100 - 200 \dots 900 - 1000$  m nad terénem. Hodnoty teplotních gradientů byly následně roztříděny podle stabilitní klasifikace Bubník a Koldovského, která se široce využívá ve výpočtech rozptylových studií modelem SYMOS a rozčleňuje podmínky stability a rozptylové podmínky do 5 tříd, od velmi špatných až po velmi dobré. Třídění teplotních gradientů podle zmíněné klasifikace je uvedeno v Tab. 1.

Statistika výskytu stabilitních tříd byla zpracována z celkového počtu 16960 hodin. Na obrázku 3 je znázorněn procentuální výskyt jednotlivých tříd stability v průběhu sledovaného období, bez ohledu na výškovou hladinu, v níž byly detekovány. Je zřejmé, že naprosto převažovaly mírně zhoršené podmínky rozptylu. Obrázek 4 ukazuje poměrné zastoupení tříd stability v jednotlivých stometrových vrstvách. Třída s nejhoršími rozptylovými podmínkami je zastoupena do výšky 400 m. Nad hladinou 500 m začíná převažovat izotermní kategorie 3. Poměrně četná, a to až do hladiny 600 m, je třída 5 s gradientem teploty nad 0.8 °C/100 m.

т

Č

R



Jiný pohled na režim rozptylových podmínek poskytuje obrázek 5. Nejmarkantnější inverze teploty (třída 1) se vyskytovaly v blízkosti zemského povrchu, kde blokovaly rozptyl emisí z nízkých zdrojů. Četnost výskytu izotermní třídy (kategorie 3) postupně narůstala s rostoucí výškou, zatímco četnost výskytu normálních podmínek (třída 4) s výškou mírně kolísala a výrazný pokles nastal až nad hladinou 800 m. Četnost velkých gradientů ve třídě 5 výrazně poklesla nad hladinou 600 m.

Třída stability	Vertikální teplotní gradient Ƴ =−dT/dz·100 [°C na 100 m]	Popis
1. superstabilní	Y < -1,6	silné inverze,
		velmi špatné rozptylové podmínky
2. stabilní	−1,6 ≤ Y < −0,7	běžné inverze,
		špatné rozptylové podmínky
3. izotermní	-0,7 ≤ Y < 0,6	slabé inverze, izotermie nebo malý kladný teplotní gradient,
		často se vyskytující mírně zhoršené rozptylové podmínky
4. normální	0,6 ≤ Ƴ < 0,8	indiferentní teplotní zvrstvení,
		běžný případ dobrých rozptylových podmínek
5. konvektivní	Y > 0,8	labilní teplotní zvrstvení,
		rychlý rozptyl znečišťujících látek

Tab. 1 Stabilitní klasifikace dle Bubníka a Koldovského



*Obr. 3 Výskyt jednotlivých tříd stability dle Bubníka a Koldovského (viz Tab. 1) ve sledovaném období, ve výškových 0–100, 100–200 ……900–1000 m bez rozlišení výškové hladiny* 





Procentuální podíl výskytu stabilitních kategorií ve výškových hladinách



*Obr. 4 Poměrné zastoupení [%] tříd teplotní stability dle Bubníka a Koldovského (viz Tab. 1) v jednotlivých výškových hladinách* 



*Obr. 5 Poměrné zastoupení [%] tříd teplotní stability dle Bubníka a Koldovského (viz Tab. 1) v jednotlivých výškových hladinách – 3D graf* 

# 1.2. Příklad využití měření radiometru při vyhodnocení epizody vysokého znečištění ovzduší

V období vánočních svátků roku 2021 se v Ostravě vyskytla epizoda vysokého znečištění ovzduší, v níž hodinové koncentrace suspendovaných částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Ostrava-Poruba překročily hodnotu 150 µg·m<sup>-3</sup>. Ve stejném období byly naměřeny rovněž vysoké koncentrace oxidů dusíku a oxidu siřičitého. Na obrázku 6 je fialovou plochou znázorněn vývoj hodnot gradientu teploty v přízemní vrstvě atmosféry mezi povrchem a hladinou 200 m. Záporné hodnoty gradientu indikují výskyt inverze teploty v této т

Č



vrstvě. Nárůst koncentrací PM<sub>10</sub>, který začal ve večerních hodinách 25. 12. 2021, korespondoval se zhoršením rozptylových podmínek, manifestovaným postupným poklesem gradientu teploty k záporným (inverzním) hodnotám. Dvě maxima koncentrací PM<sub>10</sub> odpovídají obdobím výskytu nejintenzivnější inverze teploty. Je rovněž pozorovatelný krátkodobý pokles koncentrace PM<sub>10</sub>, související se zlepšením rozptylových podmínek a zeslabením inverze v odpoledních hodinách 27. 12. 2021. Epizoda byla ukončena rozpadem přízemní teplotní inverze odpoledních hodinách 28. 12. 2021.

Obrázek 7 zachycuje sekvenci teplotních profilů, získaných z měření radiometru v lokalitě Ostrava-Poruba během epizody vysokého znečištění ve dnech 25.–29. 12. 2021. Datum a čas UTC registrace jednotlivých profilů jsou uvedeny v horní části jednotlivých panelů. Sekvence dokumentuje vývoj teplotní inverze a její rozrušení v přízemní vrstvě, jak bylo popsáno v analýze vývoje teplotního gradientu na obrázku 6.



*Obr.* 6 Vývoj průměrných hodinových koncentrací znečišťujících látek a teplotního zvrtsvení v přízemní vrstvě atmosféry na stanici Ostrava-Poruba ČHMÚ (TOPOA) ve dnech 25.–29. 12. 2021



*Obr. 7 Vývoj profilu teploty dle měření mikrovlnného radiometru, stanice Ostrava-Poruba ČHMÚ, 25.– 29. 12. 2021 (čas v UTC)* 

www.tacr.cz

Т

Č

R



## 2. Dopplerovský lidar Halo Photonics Stream Line XR

www.mzp.cz

Pulzní systém Doppler Lidar "Stream Line" vyrobený britskou společností Halo Photonics a dodaný německou firmou METEK GmbH je provozován na vlnové délce bezpečné pro oči (1,5 µm, třída 1M) a poskytuje profily intenzity zpětného rozptylu z aerosolu nebo oblaků, dopplerovské složky větru a odvozené profily horizontálních rychlostí a směru větru. Systém umožňuje snadné nastavení a pohodlné dálkové ovládání. Unikátní skenovací jednotka umožňuje komplexní skenování v celé horní hemisféře. METEK GmbH přidává sofistikované rutiny pro odvození vertikálních profilů větru z libovolných 3D skenovacích vzorů, pro instalaci až tří virtuálních větrných stožárů a pro zobrazení výstupních proměnných pomocí METEK Graphics.

#### 2.1. Místo instalace lidaru a navržený měřicí program

Lidar byl zprovozněn 29. 11. 2021 na vodojemu v Ostravě-Radvanicích díky vstřícnému přístupu společnosti Ostravské vodárny a kanalizace a.s. (Obr. 8 a 9). Měření probíhala do konce ledna 2022. Lokalita leží v závětří převládajícího proudění z jihozápadního sektoru od hutního závodu Liberty Ostrava a.s. v Ostravě-Kunčicích (Obr. 10). Záměrem bylo otestovat možnost mapování rozložení aerosolů ve vertikální rovině, kolmé na směr převládajícího proudění, doplněné o měření výškového profilu větru. Vertikální rovina byla tudíž orientována v azimutech 120° a 300° (vyznačeno červenou čárou na Obr. 10).

V souladu s tímto záměrem byl v měřicím programy nastaven režim skenování RHI (Range Height Indicator). Skenovací paprsek lidaru byl ve fixovaném azimutu 300° postupně nastavován na elevační úhly s krokem 10° počínaje 0°přes 90° zpět do horizontální roviny (Obr. 11). Pro každé nastavení paprsku byla snímána a registrována intenzita rozptýleného signálu, která je úměrná koncentraci aerosolu. Použití malému kroku v nastavení elevačního úhlu mělo umožnit plošnou analýzu rozložení aerosolu ve vertikální rovině. Každé měření v režimu RHI bylo doplněno měřením vertikálního profilu směru a rychlosti větru.



*Obr.* 8 Dopplerovský lidar HALO Photonic umístěný v místě vodárenského objektu v Ostravě-Radvanicích, (Foto: B. Krejčí, prosinec 2021)







*Obr. 9 Umístění lidaru HALO Photonic na vodárně v Ostravě-Radvanicích (podkladová mapa: www.google.cz)* 



Obr. 10 Umístění lidaru v závětří areálu ocelárny Liberty (Červenou čárou je vyznačena stopa vertikální roviny kolmé na směr převládajícího proudění. Délka stopy 3000 m je dána nastavením maximálního dosahu lidaru 1500 m), podkladová mapa: www.google.cz



Obr. 11 Schéma skenovacího režimu RHI

### 2.2. Příklady možného vyhodnocení naměřených data jejich interpretace

Měřicí kampaň v Ostravě-Radvanicích představovala vůbec první nasazení lidaru v režimu expedičního měření a získávání prvních zkušeností v reálných terénních a povětrnostních podmínkách. Práce spojené s vyhodnocením velkých objemů získaných dat stále pokračují a hledají se optimální postupy jejich zpracování. V dalším jsou prezentovány příklady prozatím získaných výsledků.

#### 2.2.1. Případ proudění od areálu Liberty

Výškový profil směru větru (Obr. 12a), vyhodnocený dopplerovským lidarem 30. 11. 2021 v čase 11:48 UTC ukazuje ve vrstvě do 400 m nad terénem proudění v sektoru směrů 180° až 210°. Vertikální rovina proložená stanovištěm lidaru je tudíž v závětří proudění od areálu Liberty. Profil rychlosti větru (Obr. 12b) ukazuje její postupný nárůst do hladiny 300 m s lokálním maximem 15 m·s<sup>-1</sup>. Rychlost proudění opět roste od hladiny 600 m. Výškový profil teploty vzduchu, detekovaný v tomto termínu mikrovlnným radiometrem, odpovídá neutrálnímu teplotnímu zvrstvení (Obr. 12c). Na rozložení intenzity rozptýleného signálu ve vertikální rovině (Obr. 12d) je vidět oblast intenzivního signálu zejména mezi hladinami cca 300–500 m, která by mohla odpovídat aerosolové vlečce, pocházející z areálu Liberty.



*Obr. 12a Výškový profil směru větru nad vodojemem v Ostravě-Radvanicích vyhodnocený dopplerovským lidarem 30. 11. 2021 v čase 11:48 UTC* 



*Obr. 12b Výškový profil rychlosti větru nad vodojemem v Ostravě-Radvanicích vyhodnocený dopplerovským lidarem 30. 11. 2021 v čase 11:48 UTC* 



т

Č

*Obr. 12c Výškový profil teploty vzduchu na stanici Ostrava Poruba ČHMÚ 30. 11. 2021 v čase 11:45 UTC. Žlutě zvýrazněný je průběh teploty, jak by vypadal při adiabatickém profilu.* 



*Obr. 12d Rozložení intenzity rozptýleného signálu ve vertikální rovině 120° (E) a 300° (W) procházející vodojemem v Ostravě-Radvanicích vyhodnocený dopplerovským lidarem 30. 11. 2021 v čase 11:47 UTC* 

**ARAM** 

Č

Α

R



#### 2.2.2. Případ proudění ze severního sektoru směrů

Výškový profil směru větru (Obr. 13a), vyhodnocený dopplerovským lidarem 12. 12. 2021 v čase 08:59 UTC ukazuje ve vrstvě do 1000 m nad terénem severní proudění v sektoru směrů 330° až 30°. Vertikální rovina proložená stanovištěm lidaru se tedy nemohla nalézat v závětří proudění od areálu Liberty. Profil rychlosti větru (Obr 13b) ukazuje její postupný nárůst do hladiny 300 m s lokálním maximem cca 8 m·s<sup>-1</sup>. Rychlost proudění opět roste od hladiny 500 m. Výškový profil teploty vzduchu, detekovaný v tomto termínu mikrovlnným radiometrem (Obr. 13c) ukazuje neutrální teplotní zvrstvení mezi hladinami 50 až 400 m. Stabilní zvrstvení v tomto termínu bylo detekováno v přízemní vrstvě a nad hladinou 500 m (izotermie).

Na rozložení intenzity rozptýleného signálu ve vertikální rovině (Obr. 13d) je pozorovatelná oblast zvýšené intenzity rozptýleného signálu, indikující přítomnost vrstvy aerosolu mezi hladinami cca 200 až 400 m. Tento by mohl pocházet z domácích topenišť, nalézajících se severně od stanoviště lidaru.



*Obr. 13a Výškový profil směru větru nad vodojemem v Ostravě-Radvanicích vyhodnocený dopplerovským lidarem 12. 12. 2021 v čase 8:59 UTC* 







*Obr. 13b Výškový profil rychlosti větru nad vodojemem v Ostravě-Radvanicích vyhodnocený dopplerovským lidarem 12. 12. 2021 v čase 8:59 UTC* 



*Obr. 13c Výškový profil teploty vzduchu na stanici Ostrava Poruba ČHMÚ 12. 12. 2021 v čase 9:00 UTC. Žlutě zvýrazněný je průběh teploty, jak by vypadal při adiabatickém profilu.* 





*Obr. 13d Rozložení intenzity rozptýleného signálu ve vertikální rovině 120° (E) a 300° (W) procházející vodojemem v Ostravě-Radvanicích vyhodnocený dopplerovským lidarem 30. 11. 2021 v čase 11:47 UTC* 

### 2.2.3. Struktury pozorované nezávisle na směru proudění

V rozložení intenzity rozptýleného signálu ve vertikální rovině, získaném skenováním v režimu RHI, se nezávisle na směru proudění stabilně vyskytovaly struktury, označené na Obrázku 14 písmeny A a B, jejichž původ je obtížné interpretovat. Pokud jsou způsobeny rozptylem na emitovaných aerosolech, musí se jejich zdroje nalézat přímo v rovině skenování, což by vysvětlovalo jejich přítomnost při různých směrech proudění. Na obrázku 15 je červeně vyznačena úsečka (část stopy vertikální roviny RHI skenu), jejíž krajní body odpovídají vzdálenostem struktur A a B od stanoviště lidaru. Jako možnou hypotézu o původu zmíněných stabilních struktur lze uvažovat oblast s rodinnými domky v azimutu 300° (struktura A) a komunikaci Radvanická v azimutu 120°(struktura B).





Obr. 14 Stabilně se vyskytující struktury v poli rozptýleného signálu



*Obr. 15 Odhad lokalizace zdrojů emise, odpovídající strukturám A a B. Lidar je situován v prostředním bodě (podkladová mapa: <u>www.google.cz</u>)* 

## 3. Shrnutí

První nasazení dopplerovského lidaru terénních podmínkách přineslo řadu podnětů k dalšímu řešení praktických problémů, spojených jak se samotnou organizací měření a výběru skenovacích strategií, tak s interpretací získaných dat, zejména rozložení rozptylujících aerosolů a jejich přiřazení zdrojům.