

# Příčiny znečištění ovzduší a jeho šíření hlavním transportním koridorem severní Moravy

## Doplněk č. 1 Závazného výsledku Dílčího cíle 2.1 Zlepšení identifikace zdrojů znečištění

Na lokalitách Studénka a Věřňovice bylo v roce 2021 provedeno specializované celoroční měření kvality ovzduší a následná identifikace zdrojů a typů znečištění aerosolovými částicemi PM<sub>10</sub> a benzo[*a*]pyrenem s využitím matematického modelu PMF (Positive Matrix Factorization).

Projekt: SS02030031: Integrovaný systém výzkumu, hodnocení a kontroly kvality ovzduší

Autoři: Radim Seibert, Vladimíra Volná, Dan Hladký, Blanka Krejčí

Datum: 31. 7. 2022

## Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Hodnocená oblast a měřicí lokality</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Rozsah a metodika prací</b> .....	<b>4</b>
3.1. Terénní práce .....	4
3.2. Laboratorní práce .....	5
3.3. Metodika identifikace zdrojů znečišťování metodou PMF .....	5
<b>4. Výsledky a diskuse</b> .....	<b>6</b>
4.1. Meteorologické podmínky .....	6
4.2. Složení aerosolu PM <sub>10</sub> .....	8
4.3. Identifikované faktory kvality ovzduší .....	8
4.4. Podíly na průměrných ročních koncentracích .....	12
4.5. Oblasti původu znečištění .....	14
<b>5. Závěr</b> .....	<b>18</b>
<b>Literatura</b> .....	<b>19</b>

## Seznam obrázků:

<i>Obr. 1 Umístění lokalit</i> .....	4
<i>Obr. 2 Větrné růžice pro období 14. 1.2021–14. 1. 2022</i> .....	6
<i>Obr. 3 Větrné růžice pro desetiletí 14. 1.2012–14. 1. 2022</i> .....	7
<i>Obr. 4 Hmotnostní složení aerosolu PM<sub>10</sub></i> .....	8
<i>Obr. 5 Chemické profily identifikovaných faktorů</i> .....	10
<i>Obr. 6 Chemické profily identifikovaných faktorů</i> .....	11
<i>Obr. 7 Podíl identifikovaných faktorů na průměrné roční koncentraci PM<sub>10</sub></i> .....	12
<i>Obr. 8 Podíl identifikovaných faktorů na průměrné roční koncentraci benzo[a]pyrenu</i> .....	13
<i>Obr. 9 Modelové imisní příspěvky vzhledem k denním typům proudění</i> .....	15

## Seznam tabulek:

<i>Tab. 1 Analýza přenosu aerosolu PM<sub>10</sub> v hlavních směrech proudění</i> .....	16
--	----

## Seznam zkratek:

I–XII	měsíce v roce (leden–prosinec)
BaA	benzo[ <i>a</i> ]antracen
BaP	benzo[ <i>a</i> ]pyren
BeP	benzo[ <i>e</i> ]pyren
BbF	benzo[ <i>b</i> ]fluoranten
BghiPRL	benzo[ <i>g,h,i</i> ]perylene
BjF	benzo[ <i>j</i> ]fluoranten
BkF	benzo[ <i>k</i> ]fluoranten
BORA	výzkumný koncept hodnocení příčin zvýšeného znečištění ovzduší ve východní části Ostravy
COR	koronen
CRY	Chrysen
CWT	Concentration Weighted Trajectories
ČGS	Česká geologická služba
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
DBahA	dibenzo[ <i>a,h</i> ]antracen
DTP	denní typ proudění
I123cdP	indeno[1,2,3- <i>cd</i> ]pyren
NO <sub>2</sub>	oxid dusičitý
O <sub>3</sub>	přízemní ozon
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky
PIC	picen
PM <sub>10</sub> /PM <sub>2,5</sub>	suspendované částice PM <sub>10</sub> /PM <sub>2,5</sub>
PRL	Perylen
PSCF	Potential Source Contribution Function
RET	reten
SEČ	středoevropský čas (UTC + 1 hod)
SO <sub>2</sub>	oxid siřičitý
TK	těžké kovy
UTC	světový čas (SEČ – 1hod)
WHO	Světová zdravotnická organizace
ZÚ	Zdravotní ústav

## 1. Úvod

V rámci projektu ARAMIS<sup>1</sup>, dílčího cíle 2.1, byla provedena celoroční identifikace zdrojů znečišťování ovzduší v lokalitách Studénka a Věřňovice, které jsou umístěny v hlavním koridoru regionálních atmosférických přenosů znečištění podél toku Odry. Provedenými pracemi byly plněny tyto projektové úkoly:

- rozlišení a kvantifikace imisního podílu jednotlivých typů sekundárního aerosolu,
- ověření použitelnosti výsledků měření Státní sítě imisního monitoringu pro identifikaci zdrojů receptorovým modelováním.

Provedené činnosti byly součástí širšího konceptu měření a hodnocení kvality ovzduší a příčin znečištění na Ostravsku v roce 2021 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. Činnosti probíhaly m. j. s dotační podporou Krajského úřadu Moravskoslezského kraje na základě smlouvy ev. č. 00633/2021/ŽPZ, uzavřené s Českým hydrometeorologickým ústavem.

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 – laboratorní analýzy, konzultace k organickým analýzám a molekulovým markerům
- Vladimíra Volná, Daniel Hladký, Blanka Krejčí – imisně-meteorologické vstupy, konzultace k vyhodnocení
- Radim Seibert – návrh měření, koordinace prací, modelové a celkové vyhodnocení

## 2. Hodnocená oblast a měřicí lokality

Lokality Studénka (TSTD)<sup>3</sup> a Věřňovice (TVER)<sup>4</sup> jsou shodné se stejnojmennými lokalitami Státní sítě imisního monitoringu. Jejich poloha (Obr. 1) umožňuje hodnotit významný regionální přenos znečištění, ke kterému v návaznosti na převládající směry větru dochází přibližně ve směrech od jihozápadu k severovýchodu a od severovýchodu k jihozápadu. Obě lokality se nacházejí přibližně ve stejné vzdálenosti od průmyslového centra Moravskoslezského kraje (cca 18 km, resp. 16 km od areálu společnosti Liberty Ostrava a.s.). Lokalita Studénka reprezentuje emisně-imisní podmínky, které se více blíží situaci na Střední Moravě, zatímco Věřňovice jsou více ovlivněny poměry v polské části Slezska.

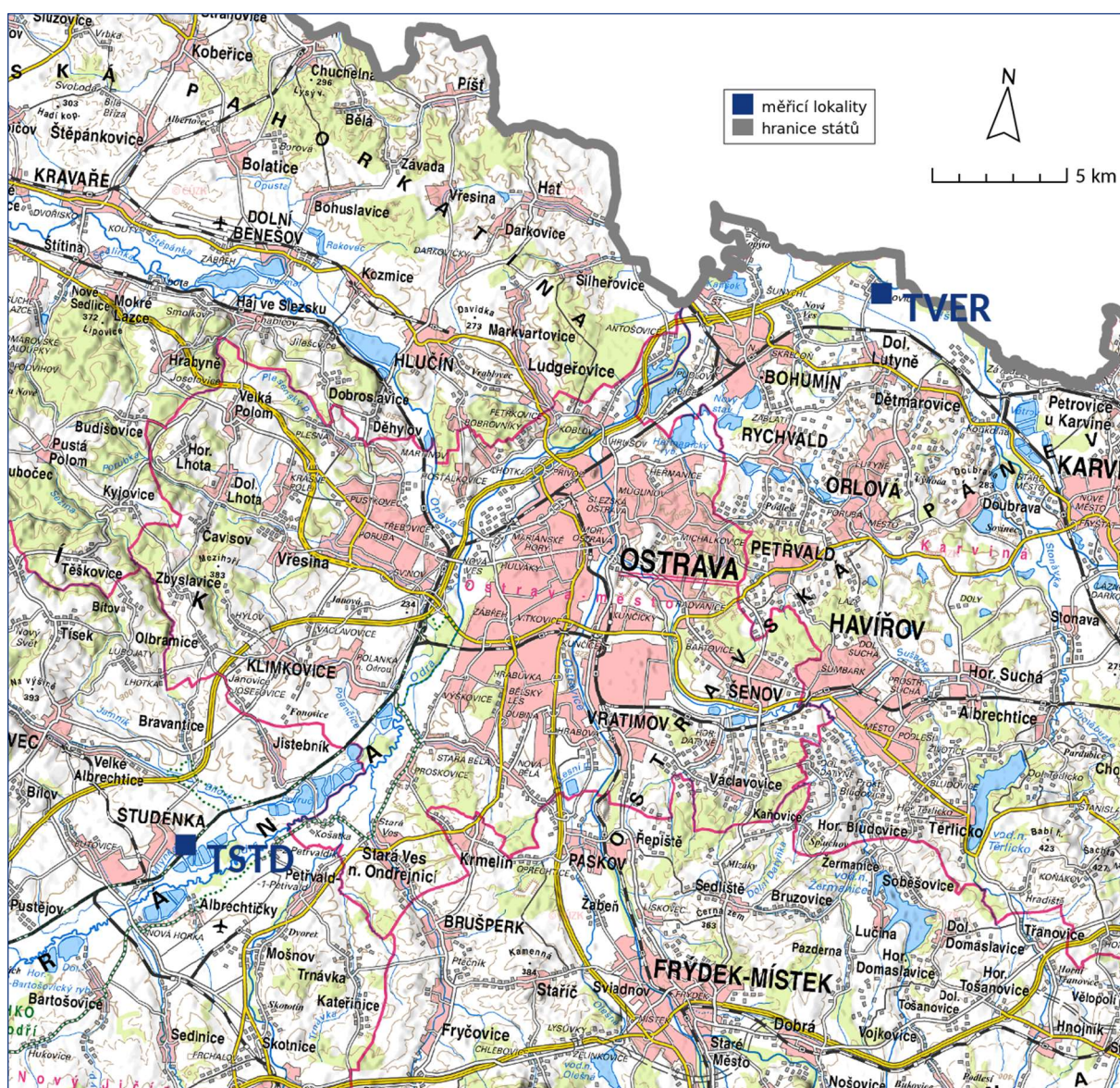
---

<sup>1</sup> [www.projekt-aramis.cz/](http://www.projekt-aramis.cz/)

<sup>2</sup> [www.ovzdusi.cz/bora](http://www.ovzdusi.cz/bora)

<sup>3</sup> [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web\\_generator/locality/pollution\\_locality/loc\\_TSTD\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_locality/loc_TSTD_CZ.html)

<sup>4</sup> [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web\\_generator/locality/pollution\\_locality/loc\\_TVER\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_locality/loc_TVER_CZ.html)



Obr. 1 Umístění lokalit

### 3. Rozsah a metodika prací

Na obou monitorovacích lokalitách bylo provedeno širokospektrální měření znečištění ovzduší. Na základě následných laboratorních analýz bylo provedeno matematické modelování pomocí statistické metody PMF (Positive Matrix Factorization), kterými byly vypočteny imisní příspěvky zdrojů znečišťování ovzduší aerosolovými částicemi  $PM_{10}$  a benzo[*a*]pyrenem.

#### 3.1. Terénní práce

V období 14. 1. 2021–14. 1. 2022 byla provedena odběrová kampaň ve výše popsaných měřicích lokalitách. Automatickými sekvenčními vzorkovači Leckel SEQ (3 ks v každé lokalitě) zde byly odebrány vzorky prашného aerosolu frakce  $PM_{10}$  na filtry. Jednalo se o 24hodinové vzorky odebírané každý 3. den při průtoku vzduchu cca  $2,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Časy odběrů všemi vzorkovači na lokalitách byly

shodné. 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 + teplotně rozlišené frakce OC1 až OC4, resp. EC1 až EC4 (termooptická analýza),
- ionty (iontová chromatografie): SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>,
- PAH (kapalinová chromatografie): fluoranten, pyren, benzo[*a*]antracen, chrysen, benzo[*b*]fluoranten, benzo[*k*]fluoranten, benzo[*a*]pyren, dibenzo[*a,h*]antracen, benzo[*ghi*]perylene, 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.

Laboratorně stanovené imisní koncentrace ve vzorcích prašného aerosolu na filtrech byly v případě doplněny o imisní koncentrace plynů sledovaných v hodnocených lokalitách v rámci provozu stálých stanic imisního monitoringu. Počet validních vzorků pro hodnocení byl 122 (TSTD), resp. 121 (TVER). Analytické práce byly provedeny v laboratořích ČHMÚ, pobočce Ostrava, s výjimkou analýz PAH, provedených v pobočce Ústí nad Labem.

## 3.3. 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 PM<sub>10</sub> na imisní koncentraci hodnocených látek. Z vypočteného podílu benzo[*a*]pyrenu v jednotlivých faktorech byl následně vypočten podíl zdrojů na imisní koncentraci této škodliviny. Vypracován byl souhrnný model obou lokalit, který vede ke stabilnějším (spolehlivějším) výsledkům díky rozsáhlému datasetu a umožňuje přímé porovnání lokalit z hlediska podílů jednotlivých faktorů (typů zdrojů znečišťování).

Modelování bylo provedeno v souladu s požadavky manuálu k programu PMF 5.0 [5]. Matematicky stabilní a smysluplně interpretovatelné řešení bylo nalezeno pro 8 faktorů. Základní řešení (Base Run) bylo mírně rotováno ( $F_{\text{peak}} = -0,5$ ) pro dosažení vyšší stability modelu, která byla testována metodami bootstrap (50 testovacích výběrů se shodou  $\geq 96$  %) a displacement. Výsledné řešení se vyznačuje poměrem  $Q/Q_{\text{exp}}$  modelu ve výši 1,00. Přiléhavost modelem vypočtené koncentrace k naměřeným

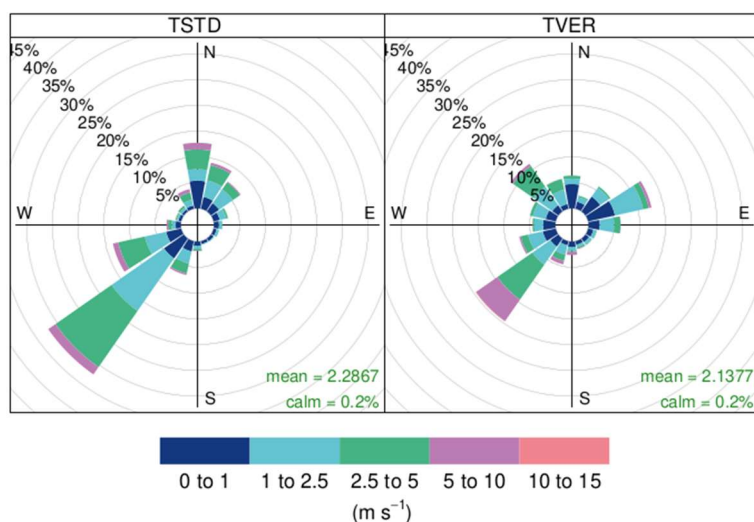
hodnotám je vyjádřena koeficientem determinace  $R^2=0,93$  v případě  $PM_{10}$  a  $R^2=0,91$  v případě benzo[*a*]pyrenu, což je v kontextu dřívějšího použití modelu PMF v jiných lokalitách ČR nadstandardně dobrá shoda. Přidaná nejistota modelu dosahovala 9 %. Použito bylo celkem 34 analytů označených jako STRONG a 2 jako WEAK (NO a totální proměnná  $PM_{10}$ ). Naměřené koncentrace ostatních duplicitních a plynných analytů v datové sadě byly o 3 řády sníženy, aby významně neovlivňovaly kvantifikaci hmotnostních podílů v  $PM_{10}$ . Z datových sad byly v průběhu modelování vyloučeny vzorky z 31. 12. 2021, které s ohledem na imisní vliv ohňostrojů snižovaly kvalitu modelu. Ze stejného důvodu byl z modelu v lokalitě Věřňovice vyloučen také termín 15. 8. 2021, který jako jediný vykazoval extrémní hodnotu reziduí (příčina nebyla zjištěna, zřejmě se jedná o chybu některé z hmotnostně stěžejních laboratorních metod).

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 vyhodnocenými denními typy proudění (doba odběrů vzorků byla 24 hodin, případná analýza na základě neupravených naměřených směrů a rychlostí větru by proto nebyla dostatečně reprezentativní).

## 4. Výsledky a diskuse

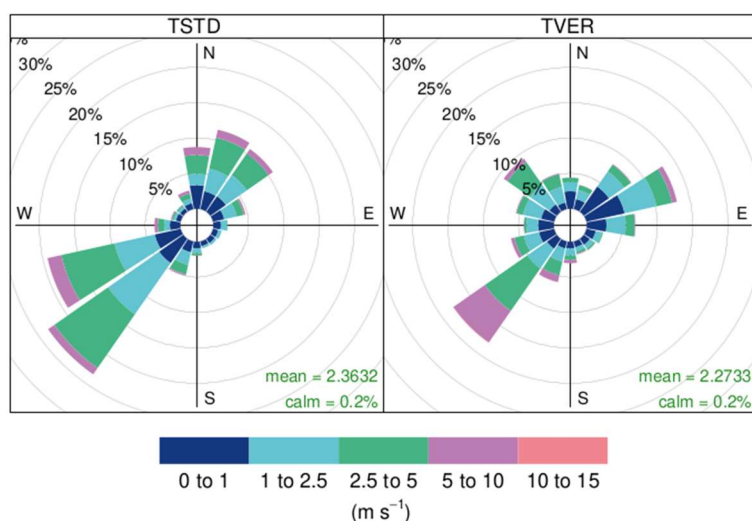
### 4.1. Meteorologické podmínky

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 14. 1. 2022 převládalo na lokalitách Studénka (TSTD) a Věřňovice (TVER) jihozápadní proudění (Obr. 2). Druhým nejčetnějším směrem větru byl ve Studénce severní, ve Věřňovicích východoseverovýchodní, a také severozápadní, který zde dosahoval téměř stejné četnosti jako východoseverovýchodní směr.



Obr. 2 Větrné růžice pro období 14. 1. 2021–14. 1. 2022

Větrné růžice za uvedené období byly porovnány s větrnou růžicí pro desetiletý průměr stejného období za roky 2012–2022 (Obr. 3).



Obr. 3 Větrné růžice pro desetiletí 14. 1.2012–14. 1. 2022

V období 14. 1. 2021–14. 1. 2022 byla ve Studénce oproti desetiletému průměru naměřena nižší četnost severovýchodního a naopak vyšší četnost severního směru větru. Tato skutečnost mohla ve srovnání s dlouhodobým průměrem oslabit vliv přenosu znečištění do Studénky ze směru od Ostravska a Polska. Ve střednědobém horizontu lze proto počítat s mírně vyšším vlivem faktorů kvality ovzduší, které se nacházejí severovýchodním směrem od Studénky. Jde zejména o vytápění domácností uhlím, zimní typ sekundárního aerosolu a vliv průmyslových zdrojů (popis těchto zdrojů a jejich imisních příspěvků je obsahem navazujících kapitol). Ve Věřnovicích je rozdíl v četnosti směru větru v době imisních měření oproti dlouhodobému průměru malý a nemá vliv na střednědobou platnost níže vyslovených závěrů hodnocení.

Odchytky v četnosti bezvětrí a průměrné rychlosti větru od dlouhodobého průměru byly na obou lokalitách malé a nemohly ovlivnit závěry hodnocení. Podíl dnů s průměrnou rychlostí větru nižší než  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  dosahoval 12 % (TSTD), resp 13 % (TVER) hodnoceného období. Ve Studénce bylo zaznamenáno více než 3/4 a ve Věřnovicích přibližně 2/3 těchto případů v období duben až září.

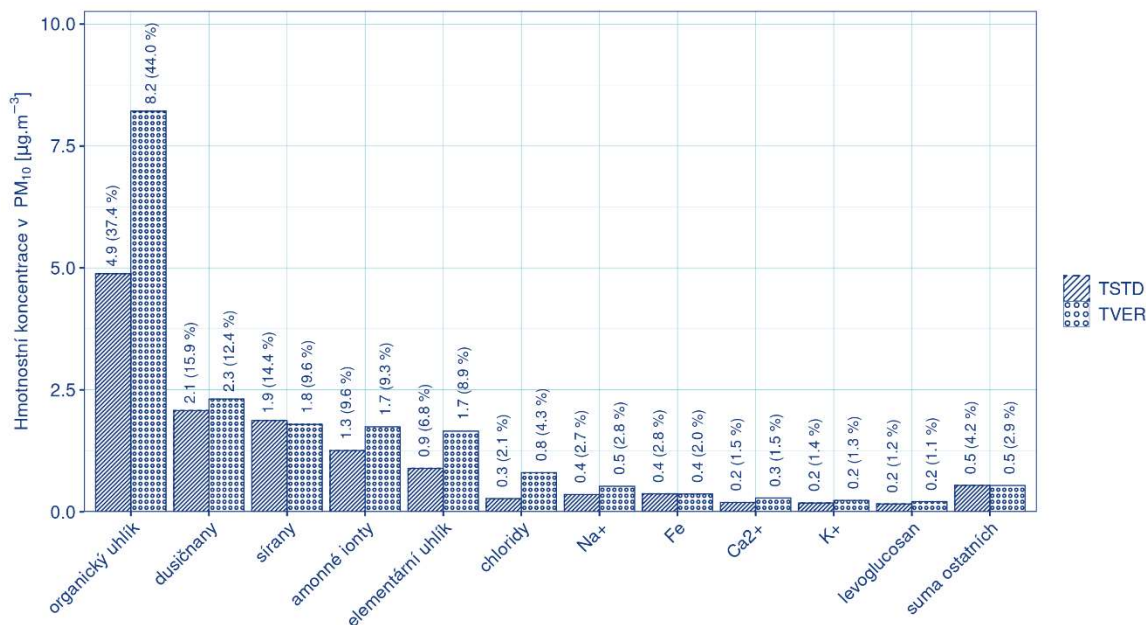
Průměrná teplota v roce imisních měření ve Studénce a Věřnovicích dosahovala 9,4, resp. 9,5°C, což je o 0,3, resp. 0,5 °C nižší hodnota než desetiletý průměr. Tento rozdíl mohl způsobit pouze nevýznamně vyšší spotřebu paliv a související produkci emisí oproti desetiletému průměru (o první jednotky %) a neovlivňuje střednědobou platnost vyslovených závěrů.

Celkově byly meteorologické podmínky v době měření reprezentativní pro extrapolaci výsledků na střednědobé časové období (několik let) s určitou opatrností při interpretaci podílu vytápění domácností uhlím a podílu zimního typu sekundárního aerosolu (ve střednědobém průměru mohou být oproti závěrům mírně vyšší).



## 4.2. Složení aerosolu 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. 4.



Obr. 4 Hmotnostní složení aerosolu PM<sub>10</sub>

Největší část hmoty částic zachycených na filtrech byla tvořena organickým uhlíkem (cca 40 %). Významnými složkami byly sířany a dusičnany, které tvořily hlavní část sekundárního anorganického aerosolu (v součtu celkem cca 30 % ve Studénce a přes 20 % ve Věřňovicích. Amonné ionty tvořily okolo 10 % hmoty PM<sub>10</sub>, na elementární uhlík připadalo cca 7 až 9 %. Významný rozdíl absolutních hodnot průměrných koncentrací mezi lokalitami byl patrný u organického uhlíku, amonných iontů, elementárního uhlíku a chloridů, přičemž u všech těchto analytů byly naměřeny vyšší hodnoty ve Věřňovicích.

## 4.3. Identifikované faktory kvality ovzduší

Výsledné modelové řešení zahrnuje následující faktory:

**HEAT CC** Primární částice z vytápění domácností uhlím. Vysoké zastoupení EC, OC, PAH a chloru v chloridové formě, s akcesorií bromidů. V EC a OC převažovaly nízkoteplotní frakce. Z kovů nejvýznamnější zastoupení As, Se a Pb. Výrazně kolísavé imisní příspěvky v chladné části roku ve Věřňovicích běžně nabývaly hodnot okolo 25 µg.m<sup>-3</sup>, se řádově vyššími hodnotami v zimě (v létě blízké nule).

**HEAT BB** Primární částice z vytápění domácností biomasou. Vysoké zastoupení OC, anhydrosacharidů a draslíku v iontové formě. PAH ve výrazně nižších koncentracích než ve faktoru reprezentujícím vytápění uhlím. V uhlíkatých částicích převažovaly nízkoteplotní frakce. Významné zastoupení K v iontové formě, z kovů významné pouze Zn a Cu. Časový chod příspěvku byl výrazně kolísavý, v zimě běžně nabýval hodnot okolo 10 µg.m<sup>-3</sup>. Řádově vyšší imisní

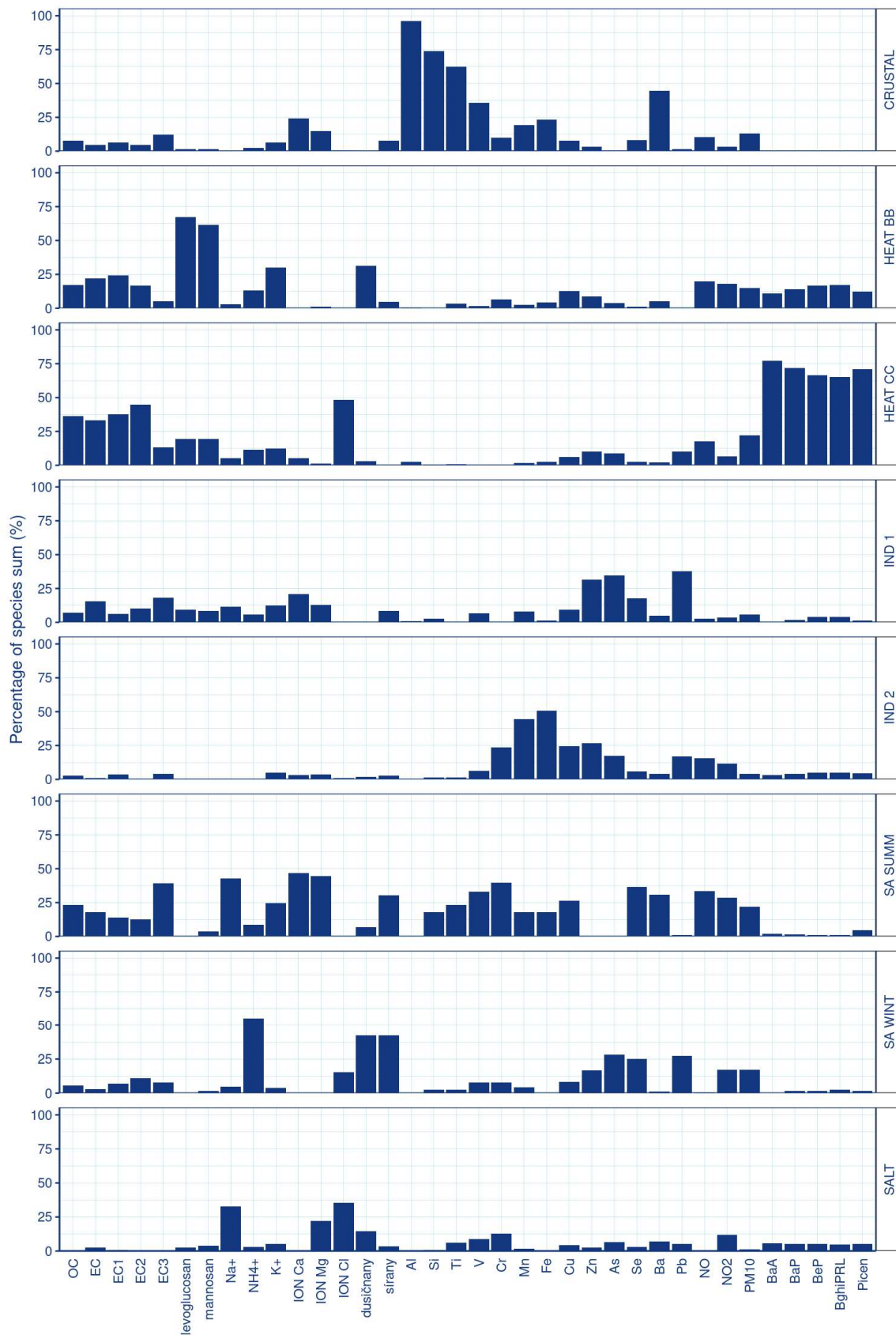
příspěvky nastávaly v chladné části roku, v létě byly velmi nízké, ale vyšší než v případě faktoru HEAT CC.

---

CRUSTAL	Primární částice tvořené minerálními částicemi (Al, Si, Ti, Fe, Ca, Mg, Ba). Převážně se jedná o částice přírodního původu. Časový průběh faktorového imisního příspěvku se vyznačoval dominantním krátkodobým příspěvkem v rozmezí 40 až více než 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ mezi 24. a 27. 2. 2021, tedy během epizody dálkového přenosu aerosolu z oblasti Sahary. Ve zbytku období dosahoval vyšších hodnot v teplé části roku.
SALT	Primární částice tvořené dominantně sodíkem, hořčíkem a chlorem. Akcesorické zastoupení dusičnanů a oxidů dusíku. Pravděpodobný původ solných částic jak v přenosu mořského aerosolu, tak posypové soli v zimním období, čemuž nasvědčuje časový chod imisního příspěvku. Ten byl ve srovnání s ostatními faktory středně kolísavý, v létě v desetinách, v létě až přes 1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .
IND 1	Primární částice s těžkými kovy (Zn, As, Se, Pb), s částicemi převážně vysokoteplotní frakce elementárního uhlíku (EC3) a doprovodem iontů alkálií ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ ) a se sírany. Časový průběh imisního příspěvku ke koncentraci $\text{PM}_{10}$ v kontextu ostatních faktorů spíše kolísavější, celoročně stálý s vyššími hodnotami ve Veřňovicích (ve Studénce obvykle okolo 1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , ve Veřňovicích v létě okolo 2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , v zimě až 3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ).
IND 2	Primární částice s polymetalickým složením typickým pro hutnictví železa (Fe, Mn, Cu, Cr, Zn, As, Pb), s oxidy dusíku a málo významným zastoupením polycyklických aromatických uhlovodíků. Časový průběh faktorového imisního příspěvku kolísavý, na obou lokalitách běžně okolo 1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .
SA SUMM	Směs organických (organický uhlík, dominantně vysokoteplotní frakce EC3 elementárního uhlíku) i anorganických částic (sírany alkálií). Z kovů nejvíce V, Cr a Cu, vysoký poměr a koncentrace NO/NO <sub>2</sub> . V rámci 24 hodinových vzorků nejméně kolísavých časový chod ze všech faktorů se zřetelně vyššími příspěvky v létě (v zimě nižší jednotky $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , v létě až okolo 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), podobný na obou lokalitách. Ve faktorovém profilu je zjevný vliv slunečního záření (plynulý roční chod s letními maximy) a dopravních emisí (specifické kovy, typické pro otěry, oxidy dusíku).
SA WINT	Sekundární převážně anorganické povahy, sestávající především ze síranu a dusičnanu amonného, s doprovodem chloridů. Z kovů významný podíl As, Se, Pb. Časový průběh imisního příspěvku s výraznými zimními maximy a plynulým poklesem k téměř nulovým hodnotám v létě. Jedná se o zimní typ sekundárního aerosolu s komplexním původem, na kterém se významně podílelo především vytápění domácností. Imisní příspěvky v zimě obvykle okolo 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , s občasnými zvýšenými hodnotami v desítkách $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

---

Chemické složení a časový průběh identifikovaných faktorů je obsahem obrázků 5 a 6.



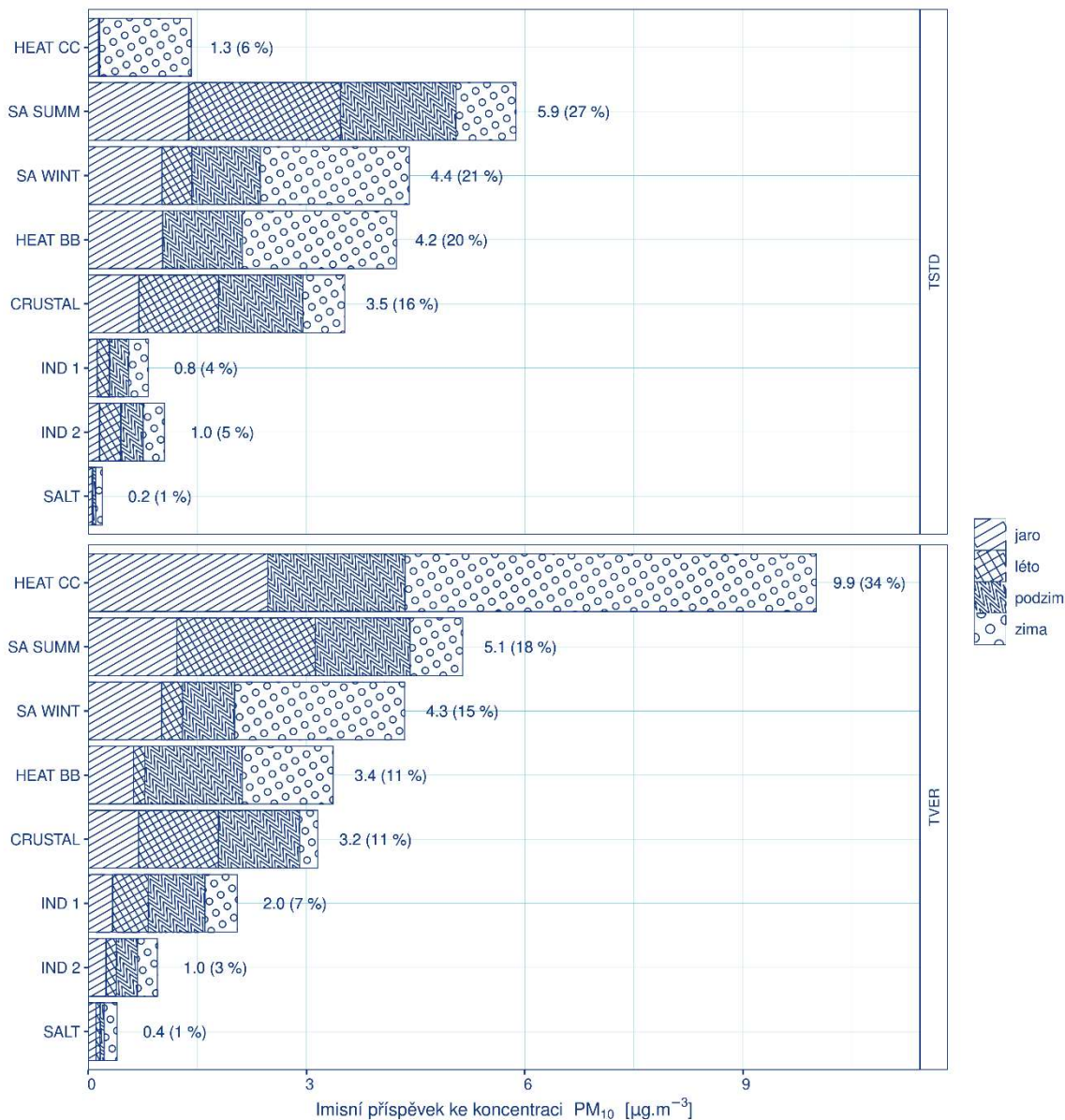
Obr. 5 Chemické profily identifikovaných faktorů



Obr. 6 Chemické profily identifikovaných faktorů

## 4.4. Podíly na průměrných ročních koncentracích

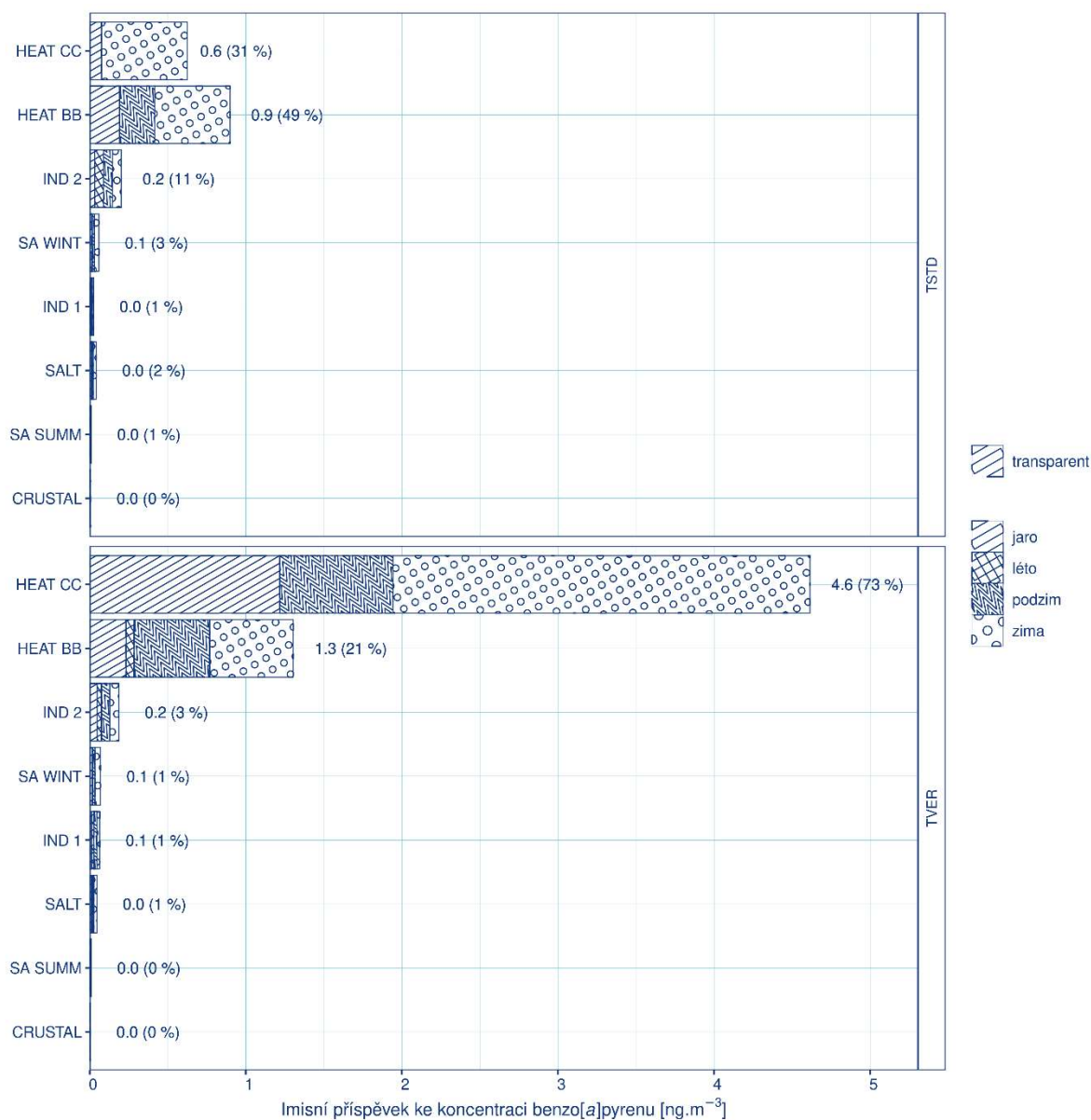
Podíly faktorů identifikovaných modelem PMF na průměrné roční imisní koncentraci PM<sub>10</sub> jsou znázorněny v grafu na Obr. 7.



Obr. 7 Podíl identifikovaných faktorů na průměrné roční koncentraci PM<sub>10</sub>

Celkově největší podíl na průměrné roční koncentraci mělo podle modelu PMF ve Věřňovicích vytápění domácností uhlím (10 µg.m<sup>-3</sup>, tj. 34 % aerosolu PM<sub>10</sub>), které ve Studénce tvořilo příspěvek pouze cca 1,3 µg.m<sup>-3</sup>, tj. 6 % tammí koncentrace PM<sub>10</sub>. Absolutní velikosti imisních příspěvků ostatních faktorů byly na obou lokalitách podobné s výjimkou přibližně dvojnásobného podílu průmyslové energetiky (IND 1) ve Věřňovicích. Jednalo se o letní sekundární aerosol (okolo 4–5 µg.m<sup>-3</sup>), zimní sekundární aerosol (přibližně 4,5 µg.m<sup>-3</sup>), vytápění biomasou (cca 3,5–4 µg.m<sup>-3</sup>), minerální částice (3–4 µg.m<sup>-3</sup>) a průmyslové emise (v součtu faktorů IND 1 a IND 2 ve Studénce cca 2 µg.m<sup>-3</sup>, ve Věřňovicích cca 3 µg.m<sup>-3</sup>). Nejnižší podíl zaujímaly částice tvořené mořskou a posypovou solí (< 0,5 µg.m<sup>-3</sup>).

Podíl faktorů identifikovaných modelem PMF na průměrné roční imisní koncentraci benzo[*a*]pyrenu jsou znázorněny v grafu na Obr. 8.



Obr. 8 Podíl identifikovaných faktorů na průměrné roční koncentraci benzo[*a*]pyrenu

Dominantní podíl na celkové průměrné roční koncentraci benzo[*a*]pyrenu mělo v obou lokalitách individuální vytápění domácností. Zásadně se ale od sebe měřicí místa liší vzájemným podílem znečištění vzniklým z vytápění uhlím a biomasou. Zatímco ve Věřňovicích pocházelo z vytápění uhlím více než třikrát více benzo[*a*]pyrenu než z vytápění biomasou, ve Studénce byl podíl vytápění uhlím oproti vytápění biomasou o cca 1/3 nižší. Vzhledem k tomu, že ve Studénce je absolutní úroveň znečištění tímto polutantem oproti Věřňovicím výrazně nižší, nelze zde vyloučit sice absolutně nízký, ale relativně nezanedbatelný podíl hutnictví železa (koksárství) na průměrné koncentraci. Model přisuzuje hutním emisím podíl na koncentraci benzo[*a*]pyrenu ve Studénce cca 10 %, ve Věřňovicích cca 3 %, reálně se však bude pravděpodobně jednat o nižší hodnoty, protože ze statistické podstaty modelu vyplývá, že vlivem statistického šumu a s ním spojené interference faktorů pravděpodobně nadhodnocuje faktory s nízkými příspěvky.

## 4.5. Oblasti původu znečištění

S ohledem na použité 24hodinové časové rozlišení odběru vzorků pro identifikaci zdrojů nebyly pro interpretaci výsledků dostatečně vypovídající samotné informace o směru a rychlosti větru, které byly v hodnocených lokalitách měřeny v desetiminutovém intervalu (v průběhu 24 hodin se mohl směr proudění výrazně měnit a z agregovaného vektorového denního průměru směru a rychlosti větru proto nebylo možno dostatečně věrohodně usuzovat na směr, odkud bylo znečištění k měřicím místům transportováno). Imisní příspěvky faktorů vypočtené modelem PMF byly proto posouzeny vzhledem k převažujícím směřům větru na základě vyhodnocených denních typů proudění. Modelové imisní příspěvky byly spárovány s těmito typy proudění a výsledek je prezentován v Obr. 9 prostřednictvím krabicových diagramů.

Z této analýzy vyplývá, že minerální prašnost (CRUSTAL) nemá vyhraněnou zdrojovou oblast, mírně ale převládá původ severovýchodně od obou měřicích míst. Pravděpodobně se jedná o přilehlé zemědělské plochy, s výjimkou dne 25. 2. 2021, kdy ve Studénce dosáhl modelový imisní příspěvek tohoto faktoru vůbec nejvyšší hodnoty (téměř  $60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$   $\text{PM}_{10}$ ), což souvisí s transportem saharského prachu nad střední Evropu v tomto období.

Vliv vytápění biomasou ve Studénce se projevoval ve směru od jihozápadu, zatímco ve Věřňovicích není směr přenosu tak jednoznačný, významné jsou zde jak jihozápadní, tak i východní a severovýchodní směry.

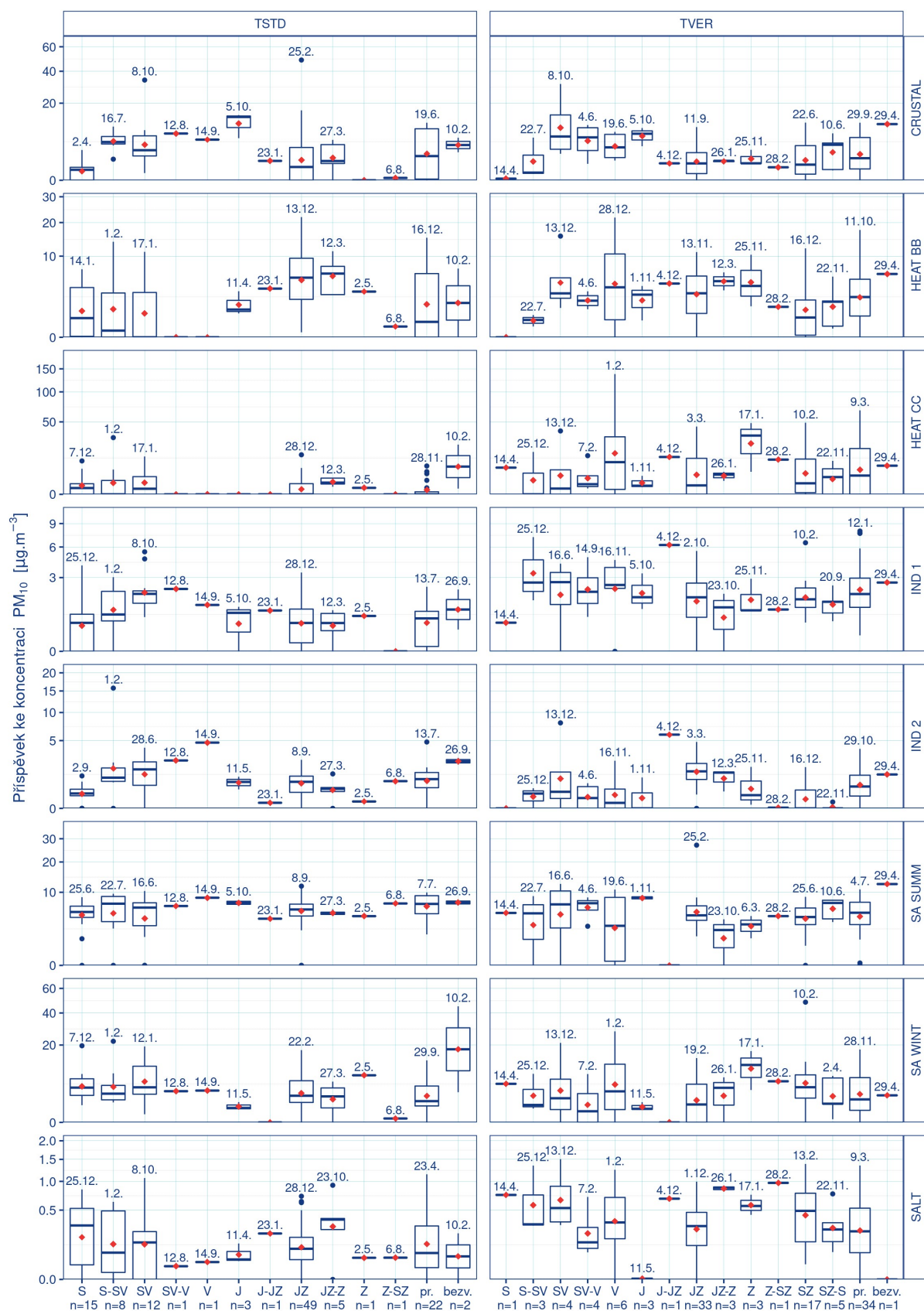
Směr transportu emisí z vytápění uhlím ve Studénce nelze touto analýzou jednoznačně určit, protože nejvyšší hodnoty byly zaznamenány při bezvětří, většinou se jedná pravděpodobně o vliv lokálních zdrojů přímo ve Studénce. Ve Věřňovicích v případě vytápění uhlím převládá přenos znečištění ze západního (Věřňovice, popř. Šunychl) a východního směru (Łaziska, Godów, Gołkowice).

Průmyslové emise (faktory IND 1 a IND 2) jsou do oblasti Studénky dle analýzy na základě denních typů proudění transportovány převážně ze severovýchodního směru, tedy pravděpodobně Ostravska. Ve Věřňovicích pocházejí emise z průmyslové energetiky (IND 2) z mnoha směrů (sever až východ, a také severozápad a jihozápad) bez jasné převahy některého z nich. Znečištění z hutního průmyslu do Věřňovic se přenáší převážně od jihozápadu (Ostravsko), nelze ale vyloučit ani občasný přenos od severovýchodu (polské Slezsko).

Oblasti původu sekundárního aerosolu letního typu (SA SUMM) jsou na základě analýzy denních typů proudění nejasné. Imisní příspěvky podobné velikosti se vyskytují při proudění z mnoha směrů.

Naproti tomu zimní typ sekundárních částic vázaný hlavně na vytápění domácností pochází ve Studénce převážně a poměrně jednoznačně ze severovýchodního směru (Ostravsko), ve Věřňovicích nejvíce od západu (Věřňovice, Šunychl, Chałupki, Zabelków, aj.), severozápadu a východu (Łaziska, Godów, Gołkowice, Jastrzębie-Zdrój).

Relativně vysoké imisní příspěvky solných částic (faktor SALT) nastávají ve Studénce nejčastěji při proudění ze směru od jihozápadu až západu, a také od severu, tedy z podobných směrů jako ve Věřňovicích (transport ze severních přímořských oblastí a od Moravské brány), kde je ale směrů možného původu více, pravděpodobně ve vazbě na regionální příspěvek resuspenze posypové soli z vozovek v dopravně silně zatížené pánevní oblasti Slezska (hypotézu podporují výrazně vyšší zimní imisní příspěvky tohoto faktoru).



Obr. 9 Modelové imisní příspěvky vzhledem k denním typům proudění



Pro zřetelnější a jednodušěji uchopitelné výsledky byly v dalším hodnocení využity pouze denní typy proudění reprezentující severní až východní směr a typy reprezentující jižní až západní směr. Jednotlivé denní typy proudění a jim přiřazené odpovídající imisní příspěvky byly v rámci těchto kvadrantů sloučeny. Reprezentují dva nejčastější směry přenosu znečištění Ostravskem (od jihozápadu k severovýchodu a obráceně). Výsledek analýzy imisních příspěvků při proudění z těchto hlavních směrů je shrnut v Tab. 1.

Tab. 1 Analýza přenosu aerosolu PM<sub>10</sub> v hlavních směrech proudění

Faktor	Studénka (TSTD)				Věřňovice (TVER)			
	JZ (od Moravské brány)		SV (od Ostravska a Polska)		JZ (od Ostravska a Moravské brány)		SV (od Polska)	
	µg.m <sup>-3</sup>	%	µg.m <sup>-3</sup>	%	µg.m <sup>-3</sup>	%	µg.m <sup>-3</sup>	%
CRUSTAL	3.1	34%	5.9	66%	1.9	21%	7.1	79%
HEAT BB	6.3	71%	2.6	29%	3.7	56%	3.0	44%
HEAT CC	1.1	23%	3.5	77%	8.0	55%	6.7	45%
IND 1	0.7	28%	1.8	72%	1.8	40%	2.8	60%
IND 2	0.8	26%	2.2	74%	1.7	65%	0.9	35%
SA SUMM	5.8	51%	5.6	49%	5.3	47%	6.1	53%
SA WINT	3.8	38%	6.1	62%	3.1	43%	4.0	57%
SALT	0.2	45%	0.2	55%	0.4	41%	0.5	59%

Při interpretaci výsledků je potřeba zohlednit, že zdroje vytápění domácností a resuspenze vlivem větru, reprezentované faktory CRUSTAL, HEAT BB a HEAT CC, se nacházejí i v blízkosti měřicích lokalit, tzn. v jejich imisních příspěvcích se mohou až dominantně projevovat lokální vlivy. Výsledky v tabulce v těchto případech svědčí o poloze těchto zdrojů vůči měřicímu místu, ale nemusí být vždy věrohodné při hodnocení regionálních přenosů znečištění. Regionální vznik a/nebo přenos je naopak typický pro faktory IND 1, IND 2, SA SUMM, SA WINT a SALT (řádově nad 10 km). Do uvedeného hodnocení přenosů nevstupovaly stavy bezvětrí. Jak je popsáno v kapitole 4.1, dny s nízkou rychlostí větru a bezvětrí se vyskytovaly převážně v teplé polovině roku, takže nejistota spojená s těmito stavy se mohla promítnout hlavně do hodnocení původu znečištění reprezentovaného faktory CRUSTAL, SA SUMM a méně významně také IND 1, IND2 a SALT. Bezvětrí mohlo u těchto faktorů snižovat rozdíl příspěvků při různých směrech proudění. Přesto je i u těchto faktorů s výjimkou SA SUMM směrnost původu zřejmá. Na odhad původu zimních typů znečištění (HEAT BB, HEAT CC a SA WINT) měly stavy bezvětrí nevýznamný vliv.

Převaha přenosu od severovýchodu je indikována v případě minerální prašnosti (CRUSTAL), tento faktor je ale pravděpodobně významně závislý na zemědělském hospodaření v nejbližším okolí měřicích míst (jak ve Studénce, tak Věřňovicích k měřicím lokalitám těsně přiléhají plochy orné půdy).

Ač se lokální vlivy mohou významně projevovat i u vytápění domácností, je pozoruhodný rozdíl v imisním příspěvku vytápění uhlím a biomasou. Zatím co ve Věřňovicích byl přenos znečištění od severovýchodu a jihozápadu přibližně stejně zastoupený, ve Studénce pocházela většina znečištění PM<sub>10</sub> z vytápění uhlím ze severovýchodního kvadrantu, tedy z Ostravska, potažmo Polska. Naproti tomu znečištění biomasou bylo do Studénky přenášeno dominantně z jihozápadního kvadrantu, tzn. Moravskou branou ze střední a jižní Moravy.

Průmyslové znečištění (IND 1 a IND 2) PM<sub>10</sub> ve Studénce pocházelo dominantně ze směru od severovýchodu, tzn. z Ostravska, popř. Polska. Ve Věřňovicích pocházel příspěvek průmyslové energetiky ke koncentraci PM<sub>10</sub> pravděpodobně s mírou převahou z Polska, emise z hutnictví železa naopak z Ostravska.

V případě letního typu sekundárního aerosolu (SA SUMM) byly oba hlavní směry šíření znečištění z hlediska podílu na průměrné imisní koncentraci  $PM_{10}$  přibližně stejně významné.

Zimní typ sekundárního aerosolu, který je silně svázaný s vytápěním domácností, pocházel ve Studénce většinou z Ostravska, zatímco ve Věřňovicích byl jeho podíl z Ostravska i Polska téměř stejný, s mírnou převahou polského vlivu.

Interpretaci výsledků lze dále prohloubit na základě odlišného podílu znečištění transportovaného z jednotlivých kvadrantů. Zatímco ve Studénce v případě znečištění z vytápění domácností uhlím (HEAT CC) výrazně převažoval podíl znečištění od severovýchodu, ve Věřňovicích byl podíl z tohoto směru podstatně nižší a mírně většinový zde byl naopak podíl z jihovýchodního kvadrantu. Z toho lze usuzovat na přítomnost významného zdroje emisí  $PM_{10}$  z vytápění domácností uhlím v prostoru mezi těmito stanicemi. V případě tohoto faktoru může jít o lokální vliv nejbližších obcí na české straně hranice.

Mírná změna podílu znečištění z různých kvadrantů je zřejmá také u vytápění domácností biomasou (HEAT BB). Zde je naopak patrné, že jak při proudění od jihozápadu k severovýchodu, tak i od severovýchodu k jihozápadu docházelo v prostoru Ostravska k poklesu znečištění. Hlavní zdroje emisí z vytápění domácností biomasou lze proto očekávat mimo oblast Ostravska, a to především na střední, popř. jižní Moravě (absolutní velikost imisního příspěvku ve Studénce byla podstatně vyšší než ve Věřňovicích).

Významný rozdíl směrově členěného příspěvku znečištění je patrný také v případě znečištění z hutnictví železa (IND2). Zatímco ve Studénce pocházela většina tohoto typu znečištění od SV, ve Věřňovicích tomu bylo naopak. Z toho plyne, že hlavní hutní zdroj emisí ovlivňující imisní situaci  $PM_{10}$  v těchto dvou lokalitách se nachází v prostoru mezi těmito stanicemi (na Ostravsku), nikoliv v Polsku. V případě průmyslových emisí z energetiky je rozdíl v podílu obou hlavních směrů méně významný, přesto zjevný. Ve Studénce je přenos od severovýchodu dominantní, zatímco ve Věřňovicích již pouze mírně nadpoloviční. Z toho plyne, že na regionálních přenosech  $PM_{10}$  z energetiky se zřetelně podílely jak ostravské, tak polské zdroje.

Významnost regionálních přenosů znečištění v předchozím textu je posouzena v relativním vyjádření vůči oběma hlavním směrům proudění. V souladu s výše uvedenými skutečnostmi platí, že transport znečištění z vytápění domácností a regionální přenos sekundárního aerosolu jsou v absolutní hodnotě násobně vyšší oproti transportu průmyslových a dalších identifikovaných typů znečištění.

Protože dominantní podíl benzo[*a*]pyrenu je vázán na faktory vytápění domácností (HEAT CC a HEAT BB), jsou hlavní oblasti původu znečištění tímto polutantem vázány na hlavní oblasti, odkud pocházely imisní příspěvky těchto faktorů ke koncentraci  $PM_{10}$ . Zásadní vliv na celkovou úroveň znečištění benzo[*a*]pyrenem ve Věřňovicích mělo vytápění uhlím, a to především v přibližně 20 km širokém pásu podél státní hranice s Polskem (okolí měst Bohumín, Wodzisław Śląski, Jastrzębie-Zdrój). Naproti tomu ve Studénce je již vliv přenosu znečištění z této příhraniční oblasti na celkovou koncentraci benzo[*a*]pyrenu relativně méně významný než vliv vytápění domácností biomasou v oblasti situované jihozápadně (přenos znečištění Moravskou bránou).

## 5. Závěr

V rámci projektu ARAMIS<sup>5</sup>, dílčího cíle 2.1, byla provedena celoroční identifikace zdrojů znečišťování ovzduší v lokalitách Studénka a Věřňovice, které jsou umístěny v hlavním koridoru regionálních přenosů znečištění podél toku Odry. Provedené činnosti byly součástí širšího konceptu měření a hodnocení kvality ovzduší a příčin znečištění na Ostravsku v roce 2021 s názvem BORA. Činnosti probíhaly rovněž s dotační podporou Krajského úřadu Moravskoslezského kraje na základě smlouvy ev. č. 00633/2021/ŽPZ, uzavřené s Českým hydrometeorologickým ústavem.

Matematickým modelem PMF bylo identifikováno 8 hlavních faktorů, které přispívají v uvedených lokalitách ke znečištění suspendovanými částicemi PM<sub>10</sub> a benzo[*a*]pyrenem.

Podle modelu PMF měly ve Věřňovicích celkově největší podíl na **průměrné roční koncentraci PM<sub>10</sub>** primární částice z vytápění domácností uhlím, zatímco ve Studénce byl vliv vytápění uhlím z hlediska jeho podílu až pátý v pořadí. Kromě zmíněného vytápění domácností uhlím ve Věřňovicích se na znečištění PM<sub>10</sub> podílely nejvíce tyto faktory (seřazeno podle absolutní velikosti imisního příspěvku):

- Letní typ sekundárního aerosolu (převážně fotochemicky vzniklé částice z automobilových emisí a z provozu průmyslové energetiky),
- Zimní typ sekundárního aerosolu (částice vzniklé převážně z prekursorů z individuálního vytápění),
- Primární částice z vytápění domácností biomasou,
- Minerální částice (převážně půdní částice vířené větrem a zemědělskou činností)
- Primární průmyslové částice (průmyslová energetika a hutnictví železa)
- Částice chloridu sodného (mořský aerosol a posypová sůl vířená ze zpevněných povrchů).

Dominantní podíl na celkové **průměrné roční koncentraci benzo[*a*]pyrenu** mělo v obou lokalitách individuální vytápění domácností. Zatímco ve Věřňovicích pocházelo z vytápění uhlím více než třikrát více benzo[*a*]pyrenu než z vytápění biomasou, ve Studénce byl podíl vytápění uhlím oproti vytápění biomasou o cca 1/3 nižší.

Zásadní faktory (primární částice z vytápění domácností a oba typy sekundárního aerosolu) ovlivňovaly kvalitu ovzduší přenosem znečištění z těchto zdrojových oblastí:

- Vytápění uhlím z přibližně 20 km širokého pásu podél státní hranice s Polskem (okolí měst Bohumín, Wodzisław Śląski, Jastrzębie-Zdrój).
- Vytápění biomasou ve Studénce ze směru od jihozápadu (přenos znečištění Moravskou bránou), ve Věřňovicích z jihozápadních (Bohumínsko), východních a severovýchodních směrů (polské příhraniční obce).
- Zimní typ sekundárního aerosolu ovlivňoval Studénku nejvíce ze severovýchodního směru (Ostravsko), zatímco Věřňovice od západu (Věřňovice, Šunychl, Chaňupki, Zabełków, aj.), severozápadu a východu (Łaziska, Godów, Gołkowice, Jastrzębie-Zdrój).
- Oblasti původu sekundárního aerosolu letního typu jsou na základě provedených analýz neprůkazné, pravděpodobně se jedná o plošný vznik v oblastech situovaných všemi směry od hodnocených lokalit.

---

<sup>5</sup> [www.projekt-aramis.cz/](http://www.projekt-aramis.cz/)

## Literatura

- [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](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/20_00_obsah_v1.pdf).
- [2] Schreiberová, M., Vlasáková, L., Vlček, O., Šmejdiřová, 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.  
<https://doi.org/10.3390/atmos11090955>.
- [3] Volná, V., Hladký, D., 2021. Zpráva o průběhu sanačních prací ropných lagun v Ostravě a identifikaci špiček koncentrací SO<sub>2</sub> 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](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.  
<https://doi.org/10.3390/atmos13020341>.
- [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:  
[https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-02/documents/pmf\\_5.0\\_user\\_guide.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-02/documents/pmf_5.0_user_guide.pdf) (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 vzorkovací 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](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.  
[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/assets/td\\_147.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/assets/td_147.pdf).
- [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](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](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](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.  
<https://doi.org/10.3390/atmos11050522>.
- [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.  
<https://doi.org/10.3390/environments8100107>.

- [14] MŽP ČR, Program zlepšování kvality ovzduší Aglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek-CZ08A, [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/platne\\_programy\\_zlepsovani\\_kvality\\_2016/\\$FILE/OOO-PZKO\\_CZ08A-20190718.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/platne_programy_zlepsovani_kvality_2016/$FILE/OOO-PZKO_CZ08A-20190718.pdf).
- [15] Vossler, T.; Cernikovský, L.; Novák, J.; Placha, H.; Krejčí, B.; Nikolová, I.; Chalupnicková, 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.; Cernikovský, L.; Novák, 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] Seibert, R.; Volná, V.; Krejčí, B.; Hladký, D. Identifikace příčin znečištění ovzduší ve východní části Ostravy, Závazný výsledek Dílčího cíle 2.1 Zlepšení identifikace zdrojů znečištění, 30. 6. 2022