

Identifikace zdrojů znečišťování ovzduší - souhrnná zpráva za oblast 1 (Třinecko)

Ing. Radim Seibert, Mgr. Blanka Krejčí, Ph.D.,
RNDr. Vladimíra Volná, Ing. Daniel Hladký

Konečný uživatel výsledků: Ministerstvo životního prostředí
Vršovická 1442/65
110 10 Praha 10

Název projektu: Měření a analýza znečištění ovzduší s důrazem na
vyhodnocení podílu jednotlivých skupin zdrojů

Číslo projektu: TITSMZP704

Řešitel projektu: Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 17
143 06 Praha 4

Doba řešení: 1. 4. 2018–31. 12. 2021

Další informace o projektu:

Cílem je rozšířit znalosti o vlivu zdrojů na kvalitu ovzduší a ověřit modelové výpočty podílů zdrojů stanovených v Programech zlepšování kvality ovzduší ve vybraných lokalitách.

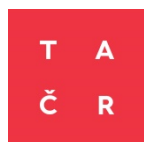
Autoři zprávy:

Ing. Radim Seibert

Mgr. Blanka Krejčí, Ph.D.

RNDr. Vladimíra Volná, Ph.D.

Ing. Daniel Hladký



Program veřejných zakázek v aplikovaném výzkumu a inovacích pro potřeby státní správy BETA2 byl schválen usnesením vlády České republiky č. 278 ze dne 30. 3. 2016 a je zaměřen na podporu aplikovaného výzkumu a inovací pro potřeby orgánů státní správy. Poskytovatelem finančních prostředků je Technologická agentura ČR.

OBSAH

1	Úvod	6
2	Koncepce provedené identifikace zdrojů	6
3	Popis posuzované oblasti	7
3.1	Popis měřicích lokalit	9
3.1.1	Popis měřicího místa Třinec-Ropice	10
3.1.2	Popis měřicího místa Třinec-Kosmos	10
3.1.3	Popis měřicího místa Třinec-Nebory, místní část Vrchy	10
3.2	Meteorologická charakteristika posuzované oblasti	11
3.3	Emisní charakteristika	13
3.3.1	Průmyslové emise	13
3.3.2	Individuální vytápění domácností	17
3.3.3	Liniové zdroje	18
3.4	Imisní charakteristika	19
3.5	Exponovaná populace	22
4	Přehled provedených prací	23
4.1	Odběry vzorků	24
4.2	Laboratorní práce	25
4.3	Vyhodnocovací práce	26
5	Výsledky vyhodnocení	26
5.1	Meteorologické poměry	26
5.2	Základní statistické zhodnocení naměřených imisních koncentrací	28
5.3	Časová variabilita naměřených hodnot	29
5.4	Vztah mezi sledovanými analyty	30
5.5	Identifikace zdrojů znečišťování pomocí PMF	31
5.5.1	Modelové řešení lokality Ropice a porovnání využití datových sad ED XRF a ICP-MS	31
5.5.2	Souhrnné modelové řešení měřených lokalit	36
5.5.3	Chemická a časová charakteristika identifikovaných fingerprintů	43
5.5.4	Analýza pravděpodobných zdrojových oblastí znečištění	46
5.5.5	Předběžné vyhodnocení opatření PZKO s ohledem na získané výsledky	53
6	Závěrečné shrnutí a diskuse výsledků	54

PŘÍLOHY

- Příloha č. 1: Základní popisná statistika souborů naměřených dat
- Příloha č. 2: Přehled parametrů statistických rozdělení měřených látek
- Příloha č. 3: Korelační matice měřených analytů
- Příloha č. 4: Časový chod celkové imisní koncentrace suspendovaných částic PM_{2.5} a imisních příspěvků identifikovaných faktorů kvality ovzduší

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1:	Vyznačení oblasti 1 na mapě České republiky	7
Obrázek 2:	Bližší vymezení oblasti 1.....	8
Obrázek 3:	Měřicí lokality v rámci oblasti č. 1.....	9
Obrázek 4:	Průměrná desetiletá sezónně členěná větrná růžice lokality Třinec-Kosmos	11
Obrázek 5:	Průměrná desetiletá sezónně členěná větrná růžice lokality Třinec-Kanada.....	12
Obrázek 6:	Velikost průmyslových emisí TZL za rok 2017.....	14
Obrázek 7:	Velikost průmyslových emisí NO _x za rok 2017	15
Obrázek 8:	Velikost průmyslových emisí benzo[a]pyrenu za rok 2017	16
Obrázek 9:	Odhad velikosti emisí TZL z individuálního vytápění domácností za rok 2015...	17
Obrázek 10:	Intenzity dopravy na silničních komunikacích zařazených do celostátního sčítání dopravy v roce 2016 [počet vozidel/24 hodin]	18
Obrázek 11:	Pětileťý průměr průměrných ročních koncentrací suspendovaných částic PM _{2,5} za období 2013–2017 [μg.m ⁻³]	20
Obrázek 12:	Pětileťý průměr průměrných ročních koncentrací NO ₂ za období 2013–2017 [μg.m ⁻³].....	21
Obrázek 13:	Pětileťý průměr průměrných ročních koncentrací benzo[a]pyrenu za období 2013–2017 [ng.m ⁻³].....	22
Obrázek 14:	Orientační přehled o hustotě obyvatelstva na základě dat ČSÚ za rok 2011 [počet obyvatel/km ²]	23
Obrázek 15:	Sestava vzorkovačů a měřicí vozík v lokalitě Třinec-Ropice	25
Obrázek 16:	Sezónně členěné větrné růžice reprezentující projektovou odběrovou kampaň	27
Obrázek 17:	Celkové větrné růžice reprezentující projektovou odběrovou kampaň	28
Obrázek 18:	Podíl zdrojů znečišťování ovzduší suspendovanými částicemi PM _{2,5} v lokalitě Třinec-Ropice identifikovaný pomocí PMF na základě analýz ICP-MS a ED XRF	32
Obrázek 19:	Souvislost imisních příspěvků faktorů „lokální vytápění domácností“ a „regionální aerosol“, identifikovaných pomocí PMF na základě analýz ICP-MS a ED XRF	33
Obrázek 20:	Chemický profil faktoru „lokální vytápění domácností“ v Ropici	34
Obrázek 21:	Časový chod faktoru „lokální vytápění domácností“ v Ropici	34
Obrázek 22:	Chemický profil faktoru „regionální aerosol“ v Ropici.....	35
Obrázek 23:	Časový chod faktoru „regionální aerosol“ v Ropici.....	35
Obrázek 24:	Časový chod faktoru „resuspenze ze zemského povrchu“ v Ropici	36
Obrázek 25:	Časový chod faktoru „dálkový transport“ v Ropici	36
Obrázek 26:	Shoda naměřených a modelem PMF vypočtených koncentrací suspendovaných částic PM _{2,5} [μg.m ⁻³]	37
Obrázek 27:	Shoda modelových (F _{peak}) a bootstrapových (BS) procentuálních podílů analytů v chemickém profilu faktoru „lokální vytápění domácností“	38

Obrázek 28: Shoda modelových (F_{peak}) a bootstrapových (BS) procentuálních podílů analytů v chemickém profilu faktoru „lokální vytápění domácností nekvalitním palivem“	38
Obrázek 29: Shoda modelových (F_{peak}) a bootstrapových (BS) procentuálních podílů analytů v chemickém profilu faktoru „regionální aerosol“	39
Obrázek 30: Shoda modelových (F_{peak}) a bootstrapových (BS) procentuálních podílů analytů v chemickém profilu faktoru „resuspenze ze zemského povrchu“	39
Obrázek 31: Shoda modelových (F_{peak}) a bootstrapových (BS) procentuálních podílů analytů v chemickém profilu faktoru „dálkový transport“	40
Obrázek 32: Shoda modelových (F_{peak}) a bootstrapových (BS) procentuálních podílů analytů v chemickém profilu faktoru „hutnictví železa“	40
Obrázek 33: Relativní (vlevo) a absolutní (vpravo) hodnoty podílu zdrojů znečišťování ovzduší suspendovanými částicemi PM _{2,5} na Třinecku identifikované pomocí PMF	42
Obrázek 34: Koncentrační růžice a celkový graf CPF faktoru „lokální vytápění domácností“ za období 5. 6. 2018 – 4. 7. 2018 a 14. 12. 2018 – 17. 1. 2019	47
Obrázek 35: Koncentrační růžice a celkový graf CPF faktoru „lokální vytápění domácností nekvalitním palivem“ za období 5. 6. 2018 – 4. 7. 2018 a 14. 12. 2018 – 17. 1. 2019.....	48
Obrázek 36: Koncentrační růžice a celkový graf CPF faktoru „regionální aerosol“ za období 5. 6. 2018 – 4. 7. 2018 a 14. 12. 2018 – 17. 1. 2019	49
Obrázek 37: Sezónně členěná koncentrační růžice a celkový graf CPF faktoru „resuspenze ze zemského povrchu“ za období 5. 6. 2018 – 4. 7. 2018 a 14. 12. 2018 – 17. 1. 2019	50
Obrázek 38: Sezónně členěná koncentrační růžice a celkový graf CPF faktoru „dálkový transport“ za období 5. 6. 2018 – 4. 7. 2018 a 14. 12. 2018 – 17. 1. 2019.....	51
Obrázek 39: Sezónně členěná koncentrační růžice a celkový graf CPF faktoru „hutnictví železa“ za období 5. 6. 2018 – 4. 7. 2018 a 14. 12. 2018 – 17. 1. 2019.....	52

SEZNAM ZKRATEK

CO	oxid uhelnatý
CPF	Conditional Probability Function
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
EC	elementární uhlík
ED XRF	energieově disperzní rentgenová fluorescenční spektrometrie
ICP-MS	hmotnostní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NO _x	oxidy dusíku
OC	organický uhlík
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky
PM ₁₀	suspendované částice, které projdou selektivním filtrem o velikosti 10 µm s odlučivostí 50 %
PM _{2,5}	suspendované částice, které projdou selektivním filtrem o velikosti 2,5 µm s odlučivostí 50 %
PMF	Positive Matrix Factorization (matematický model multikomponentní statistiky Positive Matrix Factorization, vyvinutý U. S. EPA)
PSCF	Potential Source Contribution Function
PZKO	Program zlepšování kvality ovzduší
R HOMOHop	17α(H)-21β(H)-22R-Homohopane
S HOMOHop	17α(H)-21β(H)-22S-Homohopane
TA ČR	Technologická agentura České republiky
TZL	tuhé znečišťující látky
U. S. EPA	Agentura na ochranu životního prostředí Spojených států amerických

1 ÚVOD

Předkládaná zpráva je vypracována v rámci projektu TITSMZP704, výsledku V1 (Identifikace zdrojů znečišťování ovzduší ve třech vybraných oblastech ČR). Uvedený projekt byl řešen s finanční podporou Technologické agentury České republiky. Obsahuje dokumentaci a vyhodnocení prací, které proběhly v roce 2018 a první polovině roku 2019 na Třinecku, tj. v první ze tří oblastí, na které jsou postupně zaměřovány projektové aktivity v rámci části V1 předmětného projektu.

2 KONCEPCE PROVEDENÉ IDENTIFIKACE ZDROJŮ

V souladu s koncepcí rozvoje Českého hydrometeorologického ústavu v oblasti identifikace zdrojů a se smlouvou uzavřenou mezi Českým hydrometeorologickým ústavem a Technologickou agenturou České republiky byla identifikace zdrojů provedena na základě receptorového modelování. Cílem bylo aplikovat postupy, které lze v rámci EU při identifikaci zdrojů považovat za nejlepší dostupnou praxi, a které dosud nebyly v ČR běžně používány. Projektové práce na Třinecku navázaly na zkušenosti, které byly poprvé použity ČHMÚ ve spolupráci s U. S. EPA, Research Triangle Park, North Carolina, USA, při pilotní identifikaci zdrojů v okolí velkého průmyslového zdroje znečišťování v rámci výzkumného projektu „EMSA“ k ověření využitelnosti pokročilejších modelů multivariačních receptorů pro identifikaci zdrojů znečišťování ovzduší jemnými částicemi PM_{2,5} na Ostravsku v roce 2012.

Použitá koncepce identifikace zdrojů je založena na kampaňovém měření imisních koncentrací širokého spektra znečišťujících látek, zejména anorganických a organických markerů znečištění z různých typů zdrojů, na které navazuje statistické zpracování dat a matematické modelování s využitím Positive Matrix Factorization (PMF), jehož cílem je nalézt jednoznačný vztah mezi naměřenými koncentracemi v ovzduší a chemickými podpisy (tzv. fingerprinty) zdrojů znečišťování nebo jejich skupin. Jedná se o vícerozměrnou faktorovou analýzu pro určení fingerprintů, kterými lze vysvětlit variace chemických koncentrací měřených látek v ovzduší, a pro vyčíslení imisních podílů těchto fingerprintů na celkové imisní koncentraci zvolené látky. Podpisy zdrojů a jejich imisní podíly identifikované pomocí PMF jsou následně na základě kvalitativní skladby emisí přiřazeny skutečným zdrojům znečišťování nebo jejich skupinám.

Výhodou využití PMF je, že modelové řešení nevyžaduje žádné kvantitativní ani i kvalitativní emisní vstupy, které u jiných modelů představují významnou nejistotu a možné zkreslení výsledků oproti realitě. Tato schopnost modelu je zejména důležitá v lokalitách s velkým počtem různých působících zdrojů, včetně sekundárního aerosolu a dálkově přenášeného znečištění z jiných oblastí, jejichž podíly je velmi obtížné jinými modely rozlišit a/nebo správně kvantifikovat.

3 POPIS POSUZOVANÉ OBLASTI

Projektová oblast 1 pro provedení identifikace zdrojů v rámci projektu TA ČR TITSMZP704 se nachází na východě České republiky, v Moravskoslezském kraji v blízkosti státní hranice s Polskem. Toto zájmové území není přesně ohraničeno, je vymezeno reprezentativností provedeného hodnocení, která zahrnuje město Třinec a jeho okolí do vzdálenosti prvních desítek kilometrů (viz obrázky 1 a 2).



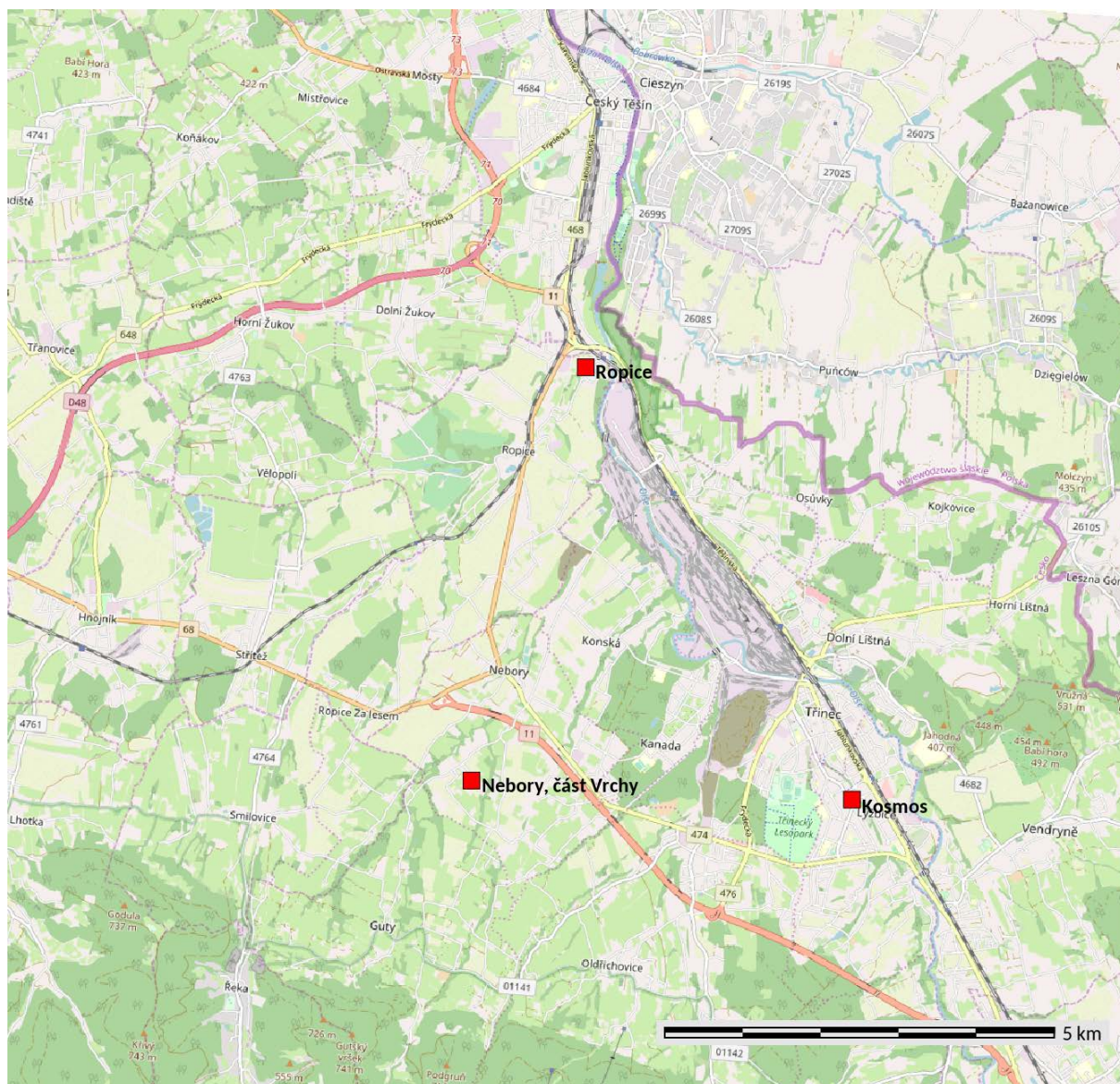
Obrázek 1: Vyznačení oblasti 1 na mapě České republiky



Obrázek 2: Blížší vymezení oblasti 1

3.1 POPIS MĚŘICÍCH LOKALIT

V rámci posuzované projektové oblasti byly pro identifikaci zdrojů využity 3 měřicí lokality (Třinec-Kosmos, Třinec-Ropice a Třinec-Nebory, místní část Vrchy) situované v okolí města Třinec. Jejich umístění je vyznačeno na obrázku 3 a jejich hlavní charakteristiky jsou obsahem následujícího textu.



Obrázek 3: Měřicí lokality v rámci oblasti č. 1

3.1.1 Popis měřicího místa Třinec-Ropice

Měřicí místo Třinec-Ropice (dále jen Ropice) je situováno v plochem údolí řeky Olše, mezi městy Třinec a Český Těšín. Vzdálenost center obou měst je cca 8,5 km. Imisní zátěž je zde tvořena průmyslovou činností, především v Třinci (ve vzdálenosti cca 1,5 km jihovýchodně se nachází integrovaný hutní podnik, průmyslová zóna Kanská je situována cca 700 m stejným směrem od měřicího místa), automobilovou dopravou (silnice I/11 a její mimoúrovňové křížení se silnicí II/468 ve vzdálenosti cca 300 m severozápadně), lokálními zdroji suspendovaných částic (zařízení k využívání stavebně-demoličních odpadů a nakládání s dalšími druhy sypkých materiálů) a individuálním vytápěním rodinných domů. S ohledem na vzdálenost státní hranice (cca 650 m severovýchodně) je zde významný také přeshraniční přenos znečištění mezi Polskem a ČR.

3.1.2 Popis měřicího místa Třinec-Kosmos

Měřicí místo je totožné s místem stávající stanice Třinec-Kosmos (kód lokality TTRO, dále také jen jako Kosmos), která je provozována ČHMÚ v rámci Státní sítě imisního monitoringu ČR. Jedná se o stanici, která reprezentuje pozadové koncentrace v obytných zónách v městském prostředí. Dle karty lokality¹ jsou naměřené výsledky reprezentativní v okřskovém měřítku (0,5 až 4 km). Měřicí místo Třinec-Kosmos je situováno na pozvolném svahu orientovaném přibližně k severu, nad plochým údolím řeky Olše, v sídlištní zástavbě centrální části města Třinec. Imisní zátěž je zde tvořena automobilovou dopravou na přilehlých parkovištích a čtyřproudých silnicích ve vzdálenosti prvních stovek metrů, dále individuálním vytápěním domácností (zejména v zástavbě v údolí Olše) a průmyslovou činností, především integrovaným hutním podnikem, který se nachází cca 2 km od měřicího místa severně až severovýchodně. S ohledem na vzdálenost státní hranice (cca 3,5 km severovýchodně) je i zde významný přeshraniční přenos znečištění z/do Polska.

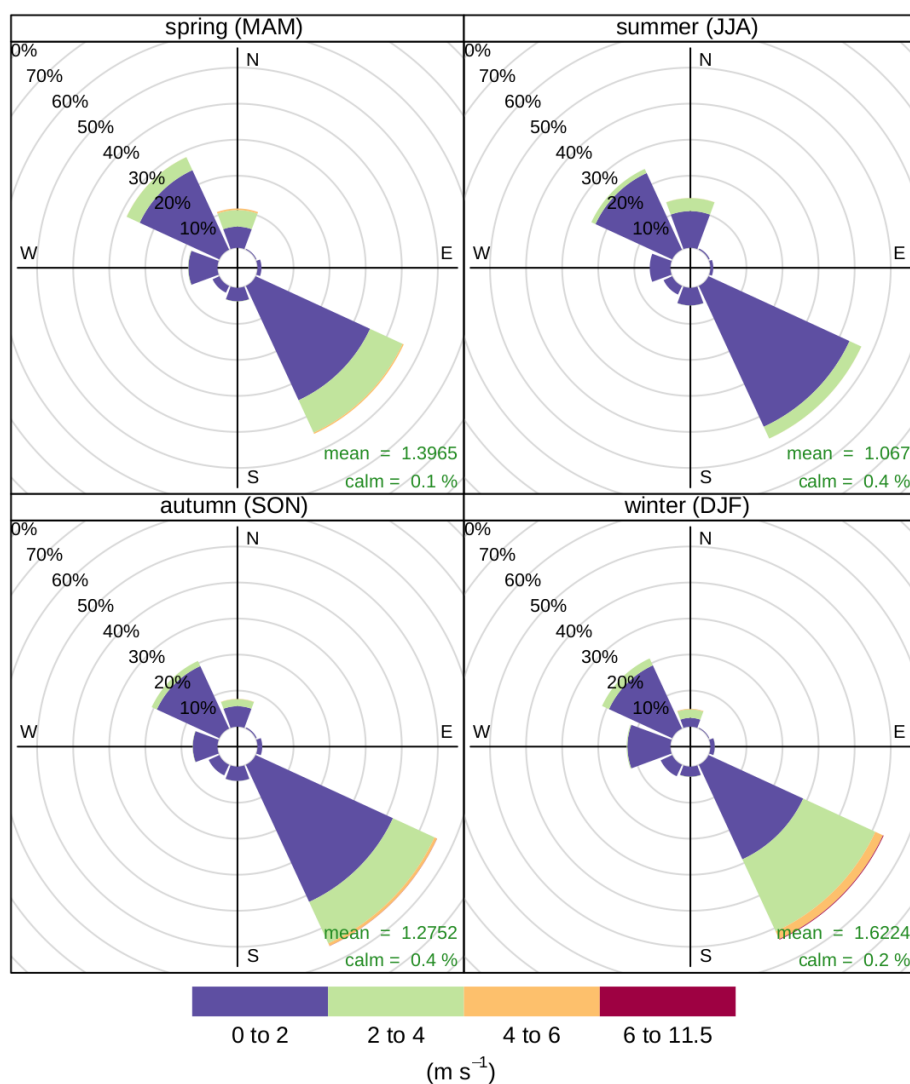
3.1.3 Popis měřicího místa Třinec-Nebory, místní část Vrchy

Měřicí místo Třinec-Nebory, místní část Vrchy (dále jen Vrchy) se nachází v mírně se svažujícím terénu od úpatí Beskyd k nivě řeky Olše. Reprezentuje pozadovou koncentraci ve venkovském prostředí, v otevřené, málo zalesněné krajině s rozptýleným osídlením rodinnými domy (tzv. slezská zástavba). Na imisních koncentracích se zde místní zdroje podílejí relativně menší částí než na ostatních dvou měřicích místech. Jedná se především o individuální vytápění domácností pevnými palivy a zemědělskou činností. Průmyslové zdroje zde rovněž mají menší význam, občasně se zde může projevit pouze příspěvek hutnictví železa v Třinci. Vliv dopravy je omezen především na nově vybudovanou rychlostní čtyřproudou komunikaci I/11 ve vzdálenosti cca 850 m. Z důvodu absence významných místních zdrojů emisí zde zaujímá významný podíl na celkovém znečištění transport ze vzdálenějších míst, zejména z Polska a dalších silně urbanizovaných lokalit, hlavně na území aglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek.

¹ www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_locality/loc_TTRO_CZ.html

3.2 METEOROLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA POSUZOVANÉ OBLASTI

Pro interpretaci výsledků identifikace zdrojů znečišťování ovzduší jsou zásadní informace o směru a rychlosti větru. Třinecko je z tohoto hlediska heterogenní oblastí. Výrazně se liší charakteristiky proudění v údolí Olše a ve výše položených místech v podhůří Beskyd. Poměry v údolí Olše jsou reprezentovány měřením realizovaným na stanici imisního monitoringu Třinec-Kosmos, která je současně jednou z lokalit, na kterých probíhalo měření v rámci projektu. Průměrné podmínky v této lokalitě jsou znázorněny na obrázku 4 větrnými růžicemi za období 2009–2018 členěnými podle ročních období.

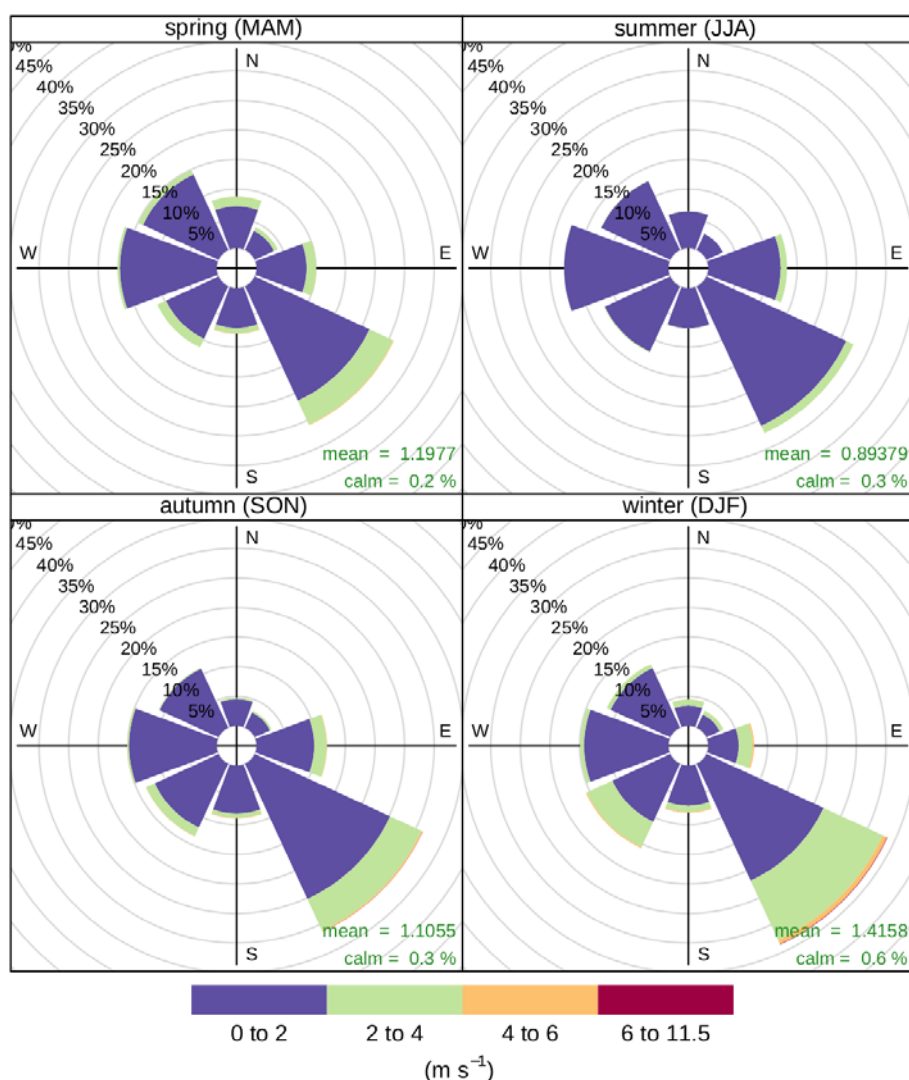


Obrázek 4: Průměrná desetiletá sezónně členěná větrná růžice lokality Třinec-Kosmos

Z výše uvedeného obrázku je zřejmý výrazně převažující jihovýchodní směr proudění na této lokalitě (vliv Jablunkovské brázdy), který se vyskytuje přibližně v polovině případů. Druhým nejčastějším směrem proudění je severozápadní a severní, které se v součtu objevují ve 25–40 % případů. Lokalita se vyznačuje málo významnými rozdíly v rozložení četností směru proudění v průběhu roku. Na jaře a v létě narůstá oproti zbytku roku četnost proudění

zejména ze severozápadu a severu na úkor jihozápadního směru (v součtu o cca 10 %). Výrazně se zde liší rozložení kategorií rychlosti větru v průběhu roku. Počet dnů s rychlostí větru nad 2 m.s^{-1} je v zimě přibližně o 20 % vyšší než v létě, výrazně vyšší jsou v zimním období také četnosti nad 4 m.s^{-1} a nad 6 m.s^{-1} .

Situaci ve výše položených lokalitách Třinecka odpovídá lépe měření na stanici imisního monitoringu Statutárního města Třinec Třinec-Kanada (kód lokality TTRK)². Na obrázku 5 jsou znázorněny sezónní větrné růžice zkonstruované na základě zdejšího měření z období let 2009–2018.



Obrázek 5: Průměrná desetiletá sezónně členěná větrná růžice lokality Třinec-Kanada

Ve srovnání s lokalitou Kosmos je zde výrazně vyšší četnost proudění z jihozápadního a severovýchodního kvadrantu. Převládající jihovýchodní směr zde není tak dominantní (nastává po dobu cca 27–35 % ročního času, v průměru tedy o cca 20 % méně často oproti Třinci-Kosmosu), a také proudění od severozápadu je zde v průměru o cca 10 % méně časté

² www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_locality/loc_TTRK_CZ.html

ve prospěch zejména západních směrů. Pro rozložení rychlosti větru v průběhu roku platí podobné zákonitosti jako v případě lokality Kosmos. Rychlost proudění nad 2 m.s⁻¹ je v zimě oproti létu o více než 20 % četnější.

Všechny tři projektové lokality jsou z hlediska směrů a rychlosti větru výrazně odlišné. Lokalita Kosmos je specifická umístěním v zástavbě s výškovými budovami, což pravděpodobně zesiluje četnost převládajících směrů proudění (jihovýchodní a severozápadní), souhlasně s orientací údolí. Lokalita Kosmos je na severovýchodě cloněna koncovou částí hřbetu Těšínských Beskyd, který kolmo na směr údolí převyšuje nadmořskou výšku stanice o cca 130 m, takže oproti Ropici se zde charakter proudění více blíží Jablunkovské brázdě.

Lokalita Ropice je sice také umístěna geograficky v blízkosti dna údolí, ale na rozdíl od lokality Kosmos je zde údolí Olše směrem k severovýchodu zcela otevřené. Z hlediska převažujících směrů a rychlosti proudění lze proto očekávat podobnost lokality Ropice se stanicí Třinec-Kanada, spíše než se stanicí Kosmos. Lokalita Vrchy je poměrně daleko od obou měřených míst a je situována ve vyšších polohách v podhůří Beskyd, takže lze očekávat oproti ostatním zde zmiňovaným místům výrazně odlišné meteorologické poměry. Větrné růžice zkonstruované na základě směru a rychlosti větru naměřených v průběhu projektové odběrové kampaně jsou součástí kapitoly 5.1.

3.3 EMISNÍ CHARAKTERISTIKA

Řešená projektová oblast je zatížena emisemi z mnoha různých typů zdrojů znečišťování ovzduší. Ze zdrojů umístěných na území ČR je zde mimořádné emisní zastoupení zejména hutnictví železa (integrováný hutní podnik TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s. na severním až severozápadním okraji města Třince). Ostatní zdejší průmyslové provozy jsou navázány hlavně na hutní výrobu v Třinci a regionálně silně rozvinutý automobilový průmysl.

Z hlediska individuálního vytápění je zde situace podobná jako v širším okolí v rámci Slezska, tzn., mimo města se jedná o roztroušenou nízkopodlažní zástavbu s nadprůměrným zastoupením uhlí v palivovém mixu vzhledem k průměru ČR.

Intenzita automobilové dopravy zde nepřevyšuje hodnoty obvyklé v podobně urbanizovaných lokalitách ČR. Je koncentrována do centra Třince a do okolí mezinárodních dálničních komunikací směrem do Polska a na Slovensko.

Emisní analýza byla provedena pouze pro hlavní znečišťující látky, které reprezentují buď nejvíce problémové polutanty z hlediska plnění emisních limitů (tuhé znečišťující látky, benzo[a]pyren) nebo jsou orientačním markerem určitého segmentu zdrojů znečišťování (NO_x).

3.3.1 Průmyslové emise

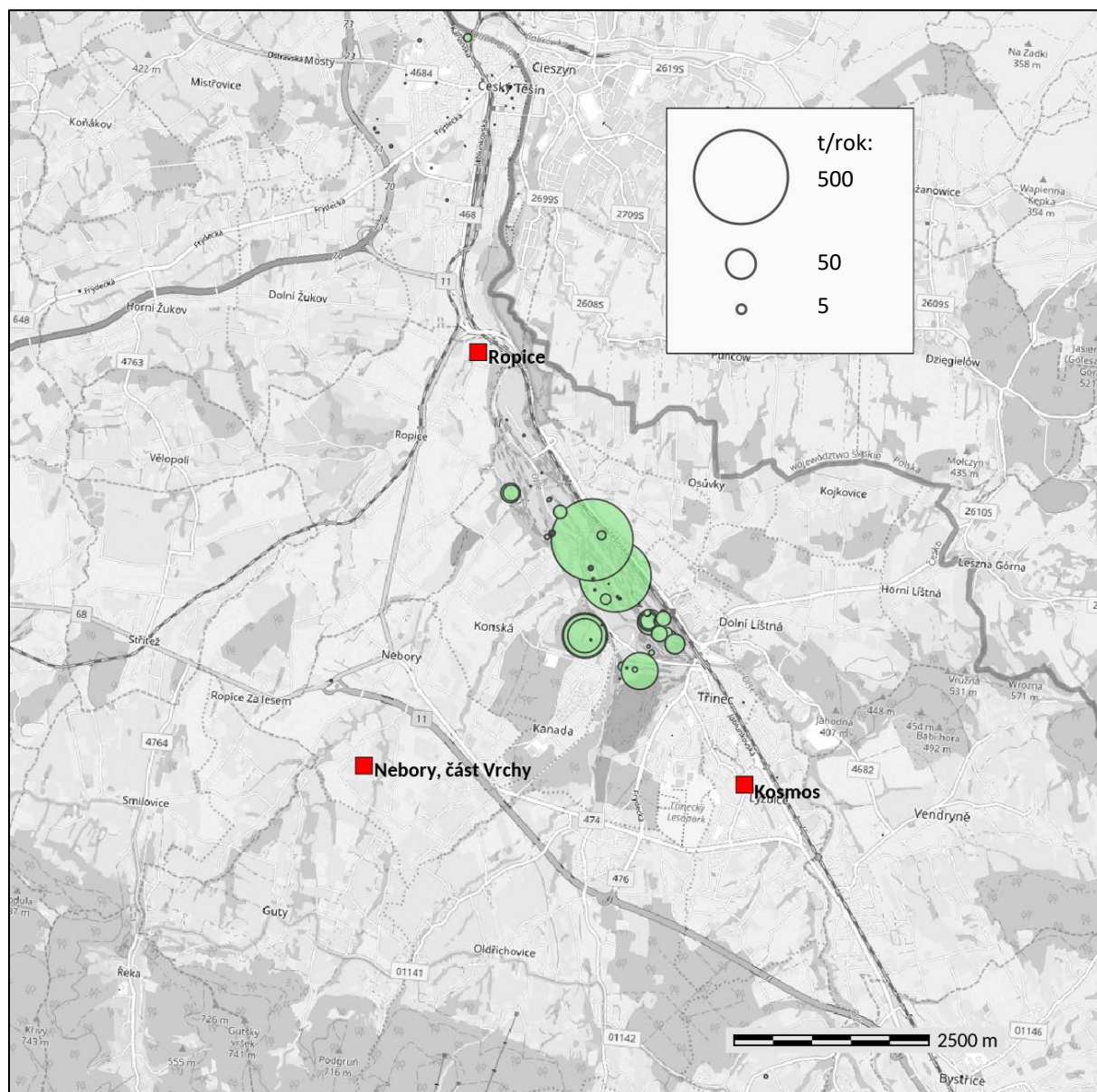
Obrázky 6–8 znázorňují plochou terčíku relativní velikost ročních průmyslových emisí v projektové oblasti za rok 2017. Je zřejmé, že relativně nejvýznamnější průmyslové emise jsou spojeny s hutními provozy v Třinci. Ostatní průmyslové provozy dosahují řádově nižších emisních hodnot, a to v případě všech zde uvedených znečišťujících látek.

V případě TZL je kromě přímé hutní výroby viditelný i vliv nakládání s hutními odpady na odvalu jižně od hutního podniku na území městské části Třinec-Kanada. Oxidy dusíku jsou emitovány v největším množství výrobou surového železa a velkými energetickými zdroji (ENERGETIKA TŘINEC, a.s.). V případě benzo[a]pyrenu je zjevné, že průmyslové emise

pocházejí v projektové oblasti téměř výhradně z koksárenské výroby v rámci TŘINECKÝCH ŽELEZÁREN, a. s.



Obrázek 6: Velikost průmyslových emisí TZL za rok 2017



Obrázek 7: Velikost průmyslových emisí NO_x za rok 2017

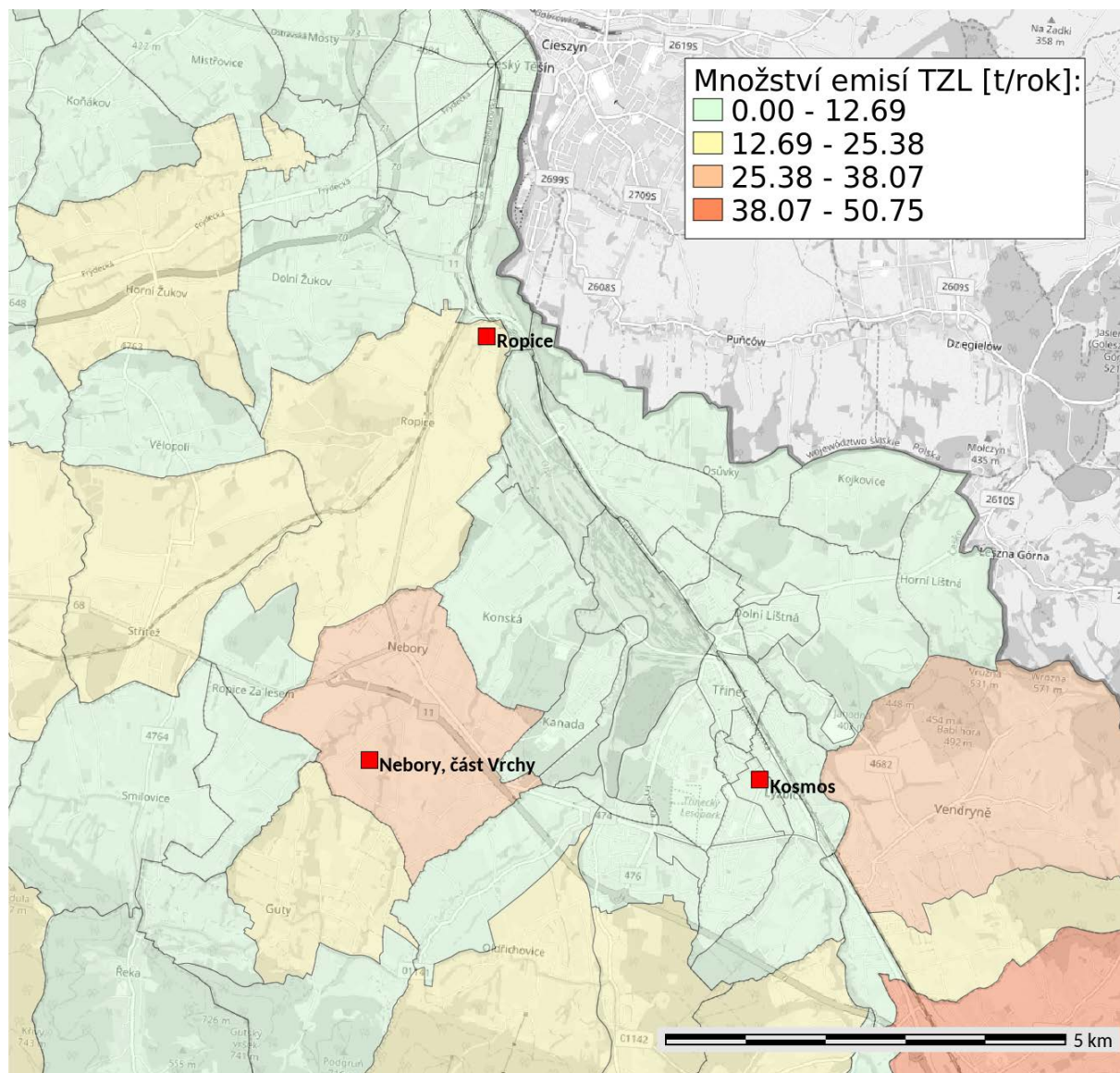


Obrázek 8: Velikost průmyslových emisí benzo[a]pyrenu za rok 2017

3.3.2 Individuální vytápění domácností

Na základě emisní analýzy v základních sídelních jednotkách (viz obrázek 9) lze očekávat, že vlivem emisí z individuálního vytápění domácností jsou nejvíce zasaženy měřicí lokality Vrchy (vliv roztroušených lokálních zdrojů, tzv. slezské zástavby) a Kosmos (vliv blízké emisně vydatné oblasti Vendryně a dalších obcí v Jablunkovské brázdě situovaných jihovýchodně od této měřicí lokality). Lokalita Ropice je takto emisně zatížena méně. Při interpretacích je nutno zohlednit sníženou vypovídací hodnotu této plošné analýzy pro odhad očekávaného imisního vlivu, která je dána jednak nejistotou vstupních dat (např. komplikovaný odhad palivového mixu a předpoklad, že jsou spalovací zařízení správně provozována), jednak existencí lokálních extrémů, které se v rámci průměrných hodnot na ploše sídelních jednotek neprojeví (variabilita emisí z domácností je ve skutečnosti významná již v měřítku desítek metrů).

Prezentována je zde pouze mapa emisí TZL, protože relativní plošná distribuce NO_x a benzo[a]pyrenu z vytápění domácností v řešeném území je vizuálně prakticky shodná.

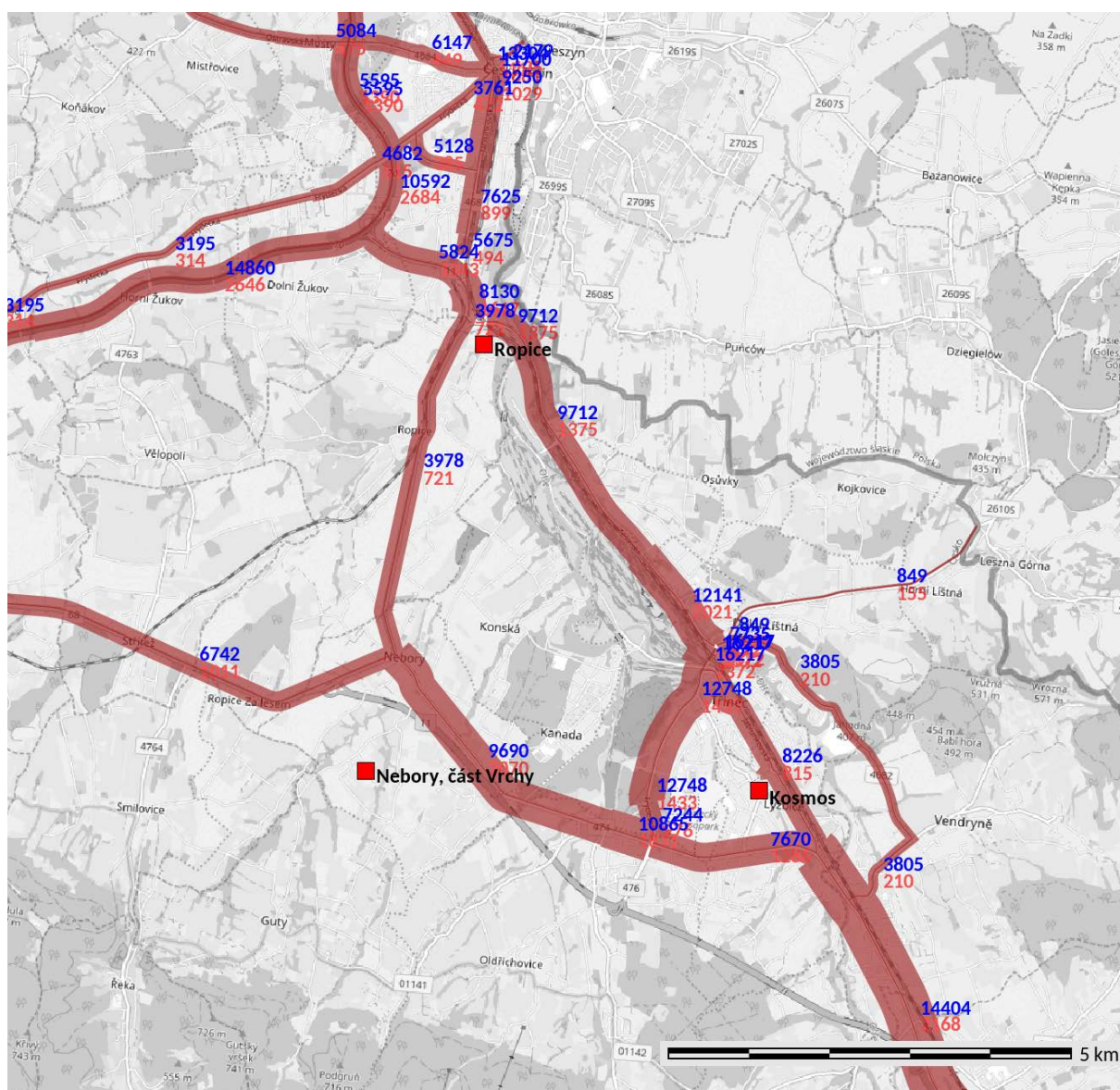


Obrázek 9: Odhad velikosti emisí TZL z individuálního vytápění domácností za rok 2015

3.3.3 Liniové zdroje

Vliv dopravních zdrojů se projevuje pravděpodobně významně v lokalitě Kosmos, kde působí nejen sčítané silniční komunikace, ale také dopravní znečištění plošného charakteru v městské zástavbě Třince. Imisní vliv automobilové dopravy lze očekávat také v Ropici, která je ze severních směrů obklopena silnicemi s vysokou intenzitou dopravy (přes 10 tis. vozidel/24 hodin). Nejnižší vliv dopravy lze z měřicích lokalit očekávat na venkovské lokalitě Vrchy.

Významné silniční komunikace na Třinecku včetně průměrné denní intenzity osobních (modře) a nákladních vozidel (červeně) jsou znázorněny obrázkem 10.



Obrázek 10: Intenzity dopravy na silničních komunikacích zařazených do celostátního sčítání dopravy v roce 2016 [počet vozidel/24 hodin]

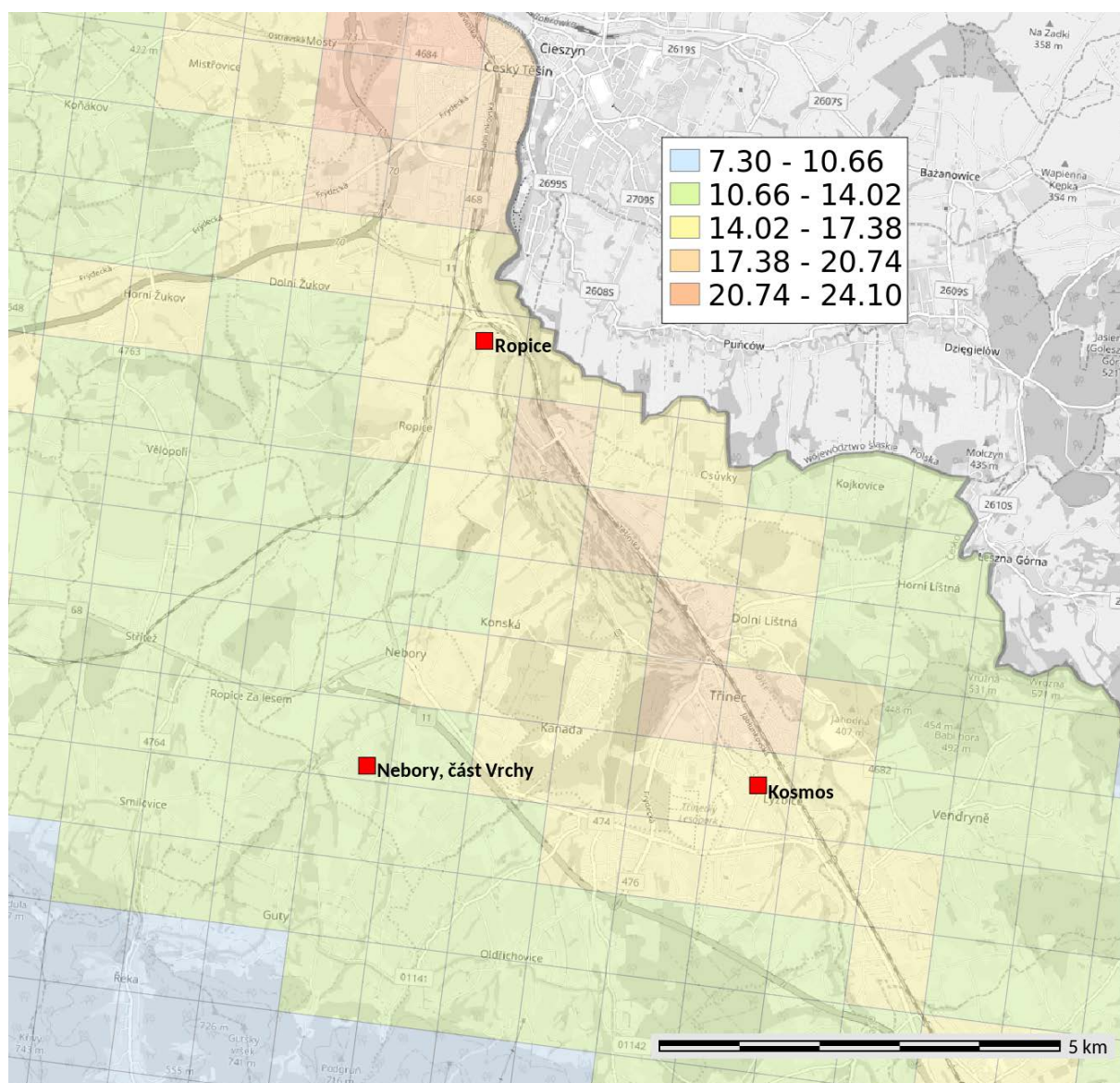
3.4 IMISNÍ CHARAKTERISTIKA

Imisní situace byla vyhodnocena na základě pětiletých průměrů vybraných znečišťujících látek za roky 2013–2017. Vzhledem k prioritám ochrany ovzduší na Třinecku a charakteru této oblasti byly předmětem analýzy suspendované částice PM_{2.5}, benzo[*a*]pyren a oxid dusičitý.

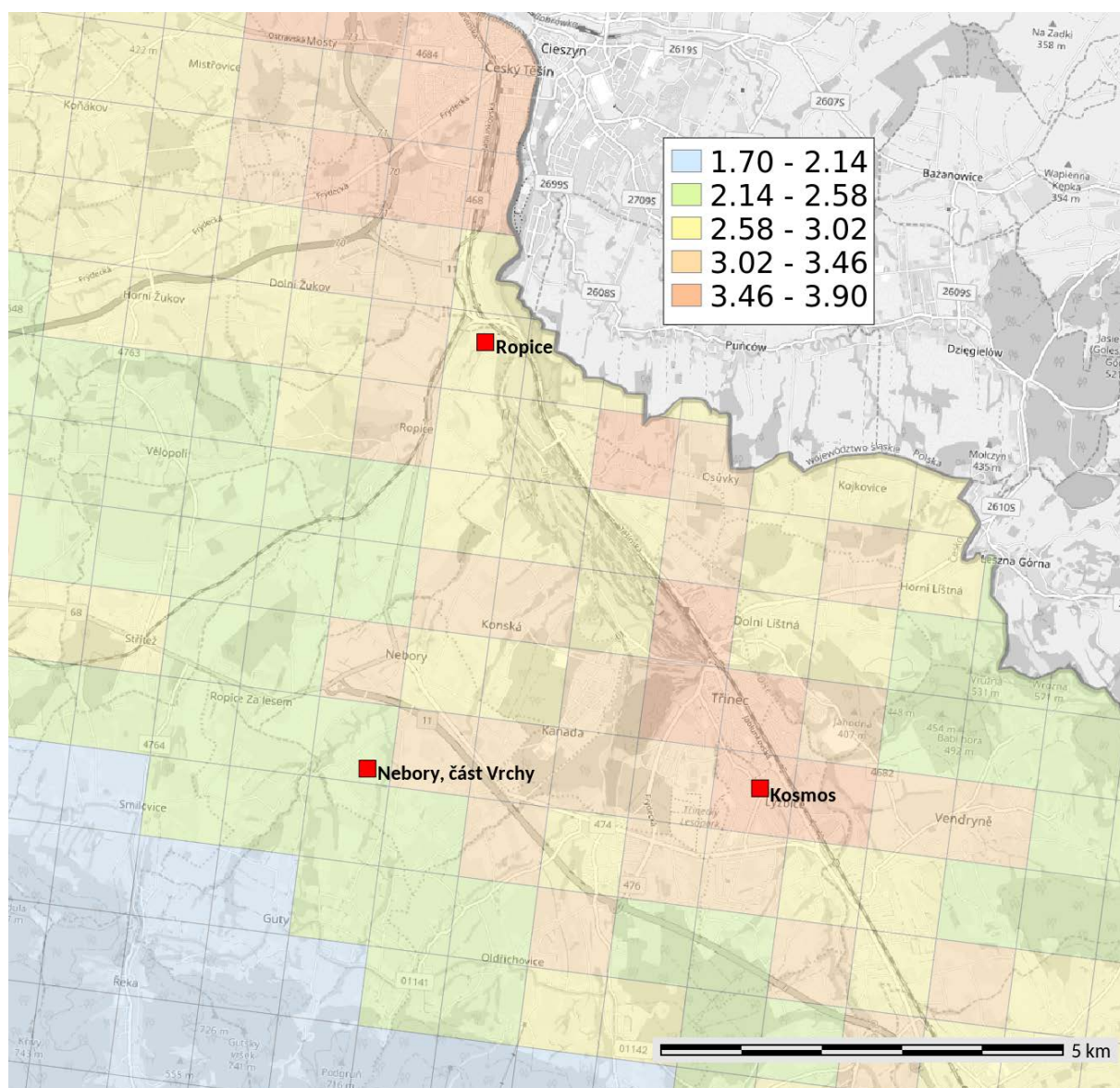
Zejména v případě průměrných ročních imisních koncentrací suspendovaných částic PM_{2.5} se úroveň znečištění v projektové oblasti snižuje ve směru od Těšínska a silněji znečištěného území Ostravska a polské části Slezska k jihozápadu až jihu, tj. k oblasti Beskyd. Kromě území Beskyd dochází v celé projektové oblasti k překročení hodnoty příslušného imisního limitu ve výši 20 µg.m⁻³, která vejde v platnost od roku 2020. Z projektových měřicích lokalit je úroveň znečištění touto látkou nejvyšší v Ropici, naopak nejlepší kvalita ovzduší je v lokalitě Vrchy.

V případě oxidu dusičitého je zřejmá těsnější vazba na automobilovou dopravu, kdy významné znečištění je vázáno na město Třinec a okolí frekventovaných mezinárodních dopravních tahů. K překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci NO₂ v projektové oblasti nedochází.

Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci benzo[*a*]pyrenu je naopak překračován v celé projektové oblasti, a to několikanásobně (v Třinci a Českém Těšíně až téměř 4násobně). Z hlediska pětiletých průměrů lze z projektových měřicích lokalit nejvyšší úroveň znečištění benzo[*a*]pyrenem očekávat v Třinci, nejnižší v lokalitě Vrchy. Podobně jako v případě emisního hodnocení je vhodné upozornit na skutečnost, že **použitý rastr pětiletých průměrů (1x1 km) neumožňuje zohlednit lokální extrémy koncentrací, které v projektové oblasti nepochybně existují.**



Obrázek 12: Pětiletý průměr průměrných ročních koncentrací NO_2 za období 2013–2017 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]



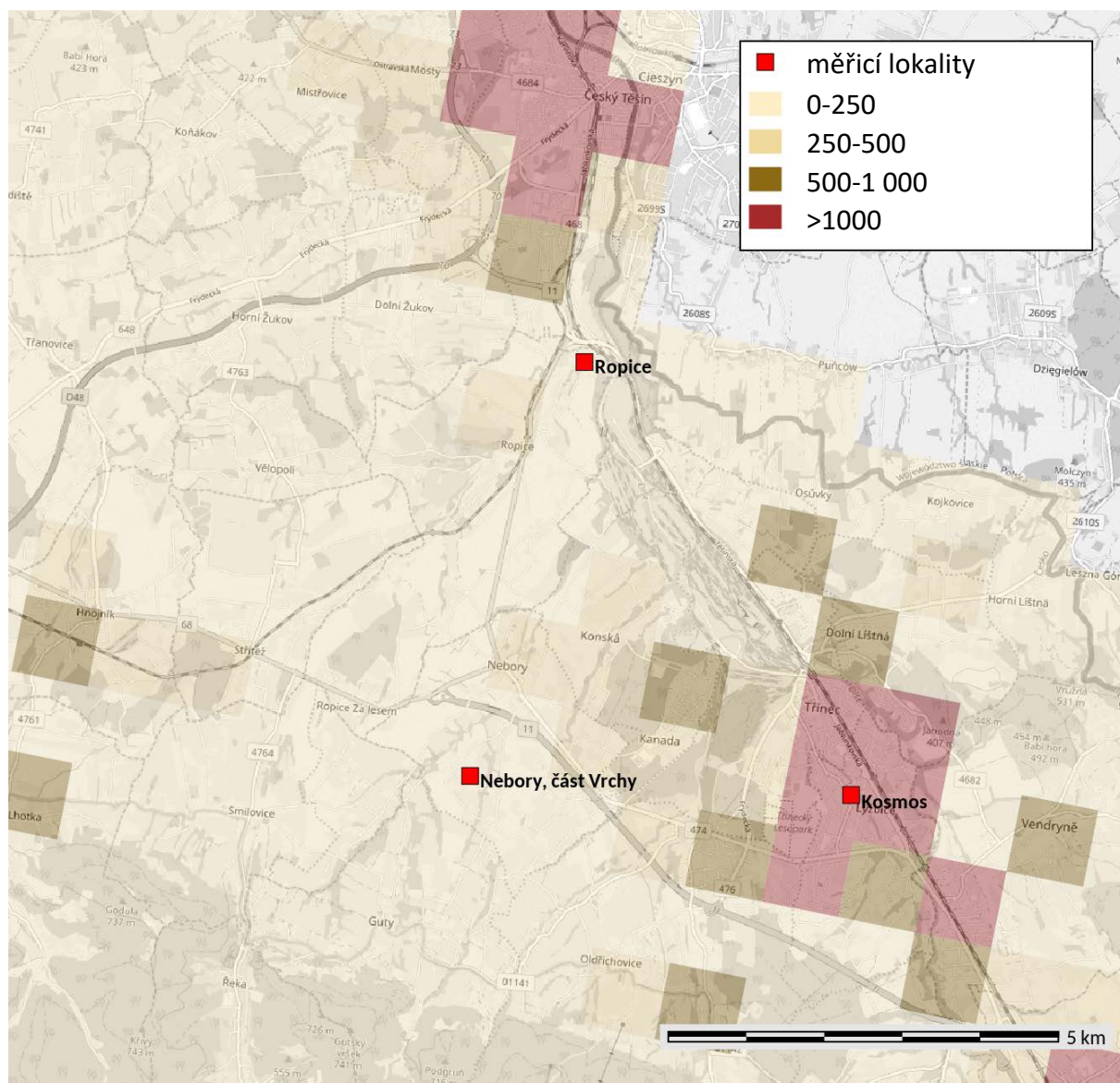
Obrázek 13: Pětiletý průměr průměrných ročních koncentrací benzo[a]pyrenu za období 2013–2017 [ng.m^{-3}]

3.5 EXPONOVANÁ POPULACE

Obyvatelstvo je v projektové oblasti soustředěno zejména v údolí Olše, hlavně ve městech Třinec a Český Těšín (obrázek 14).

V návaznosti na velikost dotčené populace a imisní koncentrace škodlivin představuje v rámci hodnocené oblasti zhoršená kvalita ovzduší nejvyšší expozici a související populační zdravotní riziko ve městech Třinec a Český Těšín. Zvýšenou hustotou obyvatelstva, a tedy s přihlédnutím ke koncentracím znečišťujících látek současně i největším příspěvkem populačního rizika z ovzduší, se na Třinecku vyznačují také obce v Jablunkovské brázdě (Vendryně, Bystřice) a další větší obce, zejména Hnojník, Střítež a Oldřichovice.

Z měřicích projektových lokalit představuje v návaznosti na úroveň znečištění a hustotu populace výrazně nejvyšší příspěvek populačního zdravotního rizika ovzduší v okolí lokality Kosmos, naopak nejnižší v okolí lokality Vrchy.



Obrázek 14: Orientační přehled o hustotě obyvatelstva na základě dat ČSÚ za rok 2011 [počet obyvatel/km²]

4 PŘEHLED PROVEDENÝCH PRACÍ

4.1 ODBĚRY VZORKŮ

Spektrum měřených látek a délka kampaně byly dány požadavky následného vyhodnocení pomocí PMF modelu. Pro zajištění hodnot imisních koncentrací požadovaných analytů bylo každé měřicí místo osazeno 3 ks sekvenčních automatických vzorkovačů fy Leckel pro odběr různých skupin analytů na samostatné filtry a 1 ks manuálního vzorkovače s každodenní obsluhou stejné firmy pro analýzu těkavých PAH (odběr na polyuretanovou pěnu). V lokalitě Ropice byl provozován navíc 1 ks automatického sekvenčního vzorkovače Leckel pro paralelní odběr levoglukosanu a 1 ks stejného vzorkovače pro paralelní odběr pro testování metody XRF. Kromě těchto analýz byl při zimní kampani v Ropici umístěn také 1 ks stejného vzorkovače pro odběr vzorků, které budou pro porovnání naměřených koncentrací prvků a analytické nejistoty analyzovány pomocí nukleární aktivační analýzy na pracovišti v Dubně (Rusko). Celkem tak bylo toto měřicí místo při zimní kampani osazeno 6 ks a při letní kampani 5 ks automatických sekvenčních vzorkovačů.

Měření plynných znečišťujících látek bylo prováděno v Třinci-Ropici a Třinci-Neborech kontinuálními analyzátory umístěnými v měřicích vozech. Na všech lokalitách byla po celou dobu měření sledována rychlost a směr větru.

S výjimkou kontinuálně měřených plynných polutantů s hodinovými výstupy byly odběry aerosolu prováděny jako 12hodinové. Všechny odebrané vzorky prašného aerosolu reprezentují frakci suspendovaných částic PM_{2.5}. Letní odběrová kampaň proběhla v období 5. 6. 2018 7:00 do 4. 7. 2018 19:00 a zimní v období 14. 12. 2018 7:00 do 21. 1. 2019 19:00, přičemž v období 18. 1. 2019 – 21. 1. 2019 probíhalo měření pouze v lokalitě Ropice (časy uvedeny v SEČ³).

Při letní kampani bylo úspěšně zanalyzováno mezi 54 (Ropice) a 56 vzorky (Vrchy). V rámci zimní kampaně byly laboratorně stanoveny koncentrace sledovaných analytů v 70 (Kosmos a Vrchy), resp. 78 vzorcích (Ropice).

Kromě výše uvedených prací bylo na každé lokalitě v zimní části kampaně odebráno také 6 ks vzorků pro skenovací elektronovou mikroskopii (SEM), jako podpůrnou metodu interpretace chemických podpisů při identifikaci zdrojů (celkem za zimní kampaň tedy 18 vzorků).

³ středoevropský čas



Obrázek 15: Sestava vzorkovačů a měřicí vozík v lokalitě Třinec-Ropice

4.2 LABORATORNÍ PRÁCE

Všechny odebrané vzorky ze všech lokalit byly analyzovány ve stejném rozsahu:

- gravimetrické měření suspendovaných částic $PM_{2.5}$
- termo-optické stanovení OC^4 , EC^5
- spektrometrické stanovení NH_4^+
- ICP-OES⁶: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}
- IC - CD⁷: SO_4^{2-} , NO_3^-
- GC-MS⁸: PAH⁹ (Fl, FEN, A, FLU, PYR, BaA, CRY, BbF, BkF, BjF, BaP, I123cdP, DBahA, BghiPRL, COR, Per, Reten, Picen, BeP), hopany
- měření kontinuálními analyzátory plynů a částic: SO_2 , NO, NO_2 , NO_x , $PM_{2.5}$, PM_{10}
- ICP-MS¹⁰: Li, B, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Mo, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U
- ED XRF¹¹: Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Sb, Ba, Pb
- IC HPAE-PAD¹²: levoglucosan
- velikost, tvar a chemické složení částic pomocí SEM¹³.

⁴ organický uhlík

⁵ elementární uhlík

⁶ optická emisní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou

⁷ iontová chromatografie s vodivostní detekcí

⁸ plynová chromatografie

⁹ polycyklické aromatické uhlovodíky

¹⁰ hmotnostní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou

¹¹ energiově disperzní rentgenová fluorescenční spektrometrie

¹² aniontově výměnná chromatografie s pulzně ampérometrickou detekcí

¹³ skenovací elektronový mikroskop

4.3 VYHODNOCOvací PRÁCE

Na laboratorní část prací navazovalo zpracování datových souborů koncentrací sledovaných látek a určení adekvátní velikosti nejistot způsobem, který je doporučen v metodice k matematickému modelu PMF. Statistické zpracování provedené zejména za účelem zjištění základních informací o statistickém rozdělení a posouzení vzájemných vztahů mezi koncentracemi různých analytů bylo provedeno s využitím statistického programu R.

Po orientačním statistickém posouzení získaných laboratorních výsledků bylo provedeno jejich další zpracování v programu PMF 5.0. Jednalo se o kroky vycházející z doporučeného postupu přípravy dat, který je shrnut v manuálu U. S. EPA EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0, Fundamentals and User Guide (04/2014) a ze zkušeností popsanych ve veřejně dostupných odborných studiích. Jednalo se zejména o určení váhy naměřených hodnot koncentrací jednotlivých analytů dle jejich předpokládané věrohodnosti a významu pro identifikaci zdrojů. Po odladění vstupních souborů byly testovány různé modelové varianty řešení, zejména s ohledem na těsnost predikovaných a naměřených hodnot a vzájemnou statistickou nezávislost vyhodnocených faktorů. Na základě výsledků modelu byla provedena zpětná optimalizace nejistot a vah jednotlivých analytů k dosažení co nejlepší shody modelového řešení se skutečností.

Kromě společného modelového řešení všech měřicích míst bylo samostatně modelově vyhodnoceno měřicí místo v Ropici, kde bylo provedeno paralelní měření koncentrací těžkých kovů metodami MS-ICP a ED XRF. Výsledky modelu PMF při použití těchto dvou laboratorních metod byly vzájemně porovnány. Po ukončení časově náročnějších analýz vzorků z Ropice pomocí neutronové aktivační analýzy (NAA) bude možno podobně zpracovat modelové řešení i s touto datovou sadou a vyhodnotit, která z laboratorních metod je pro identifikaci zdrojů nejefektivnější.

Časové řady jednotlivých skupin zdrojů znečišťování ovzduší identifikované modelem PMF a údaje o směru a rychlosti větru z měřicích lokalit za dobu obou kampaní byly následně použity ke konstrukci příspěvkových koncentračních růžic. Tyto výsledky byly využity pro ověření modelových výsledků na základě porovnání velikosti imisních příspěvků z jednotlivých směrů s očekávaným směrem působení skutečných zdrojů znečišťování. Výsledky byly vizualizovány také pomocí CPF (Conditional Probability Function).

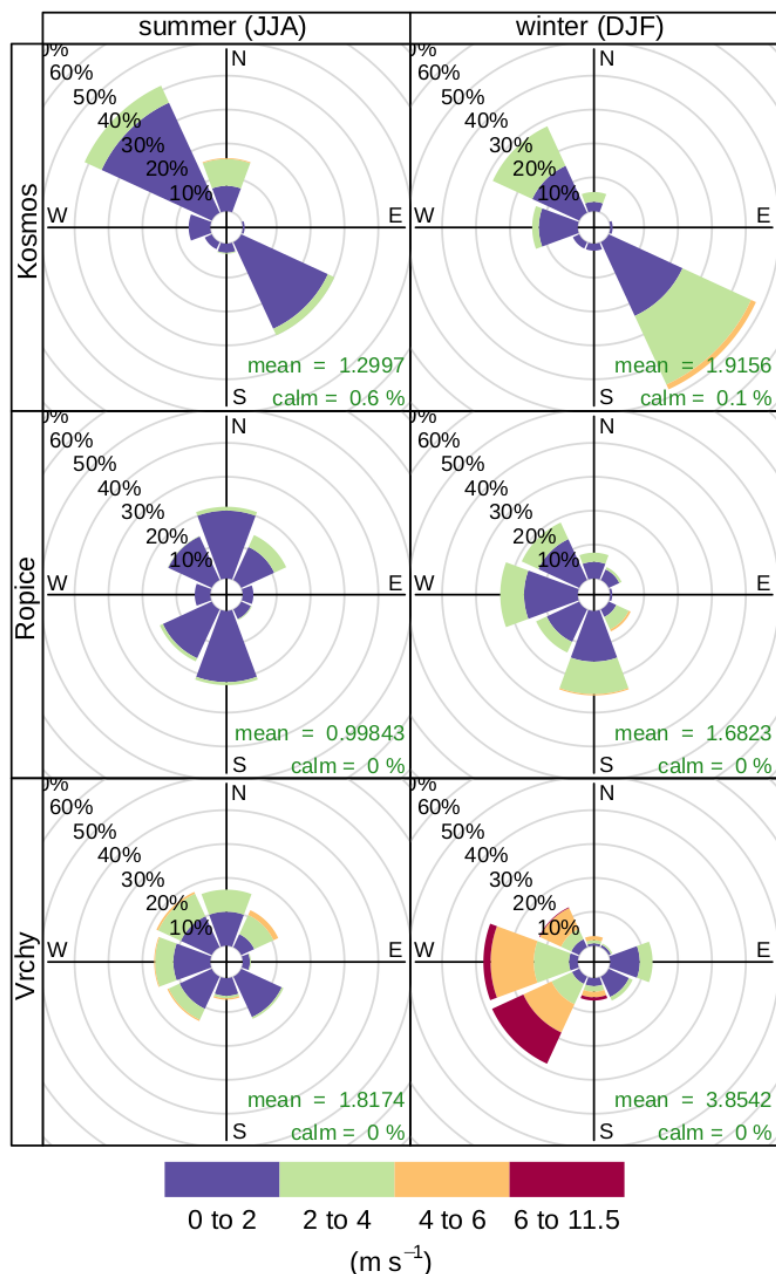
5 VÝSLEDKY VYHODNOCENÍ

5.1 METEOROLOGICKÉ POMĚRY

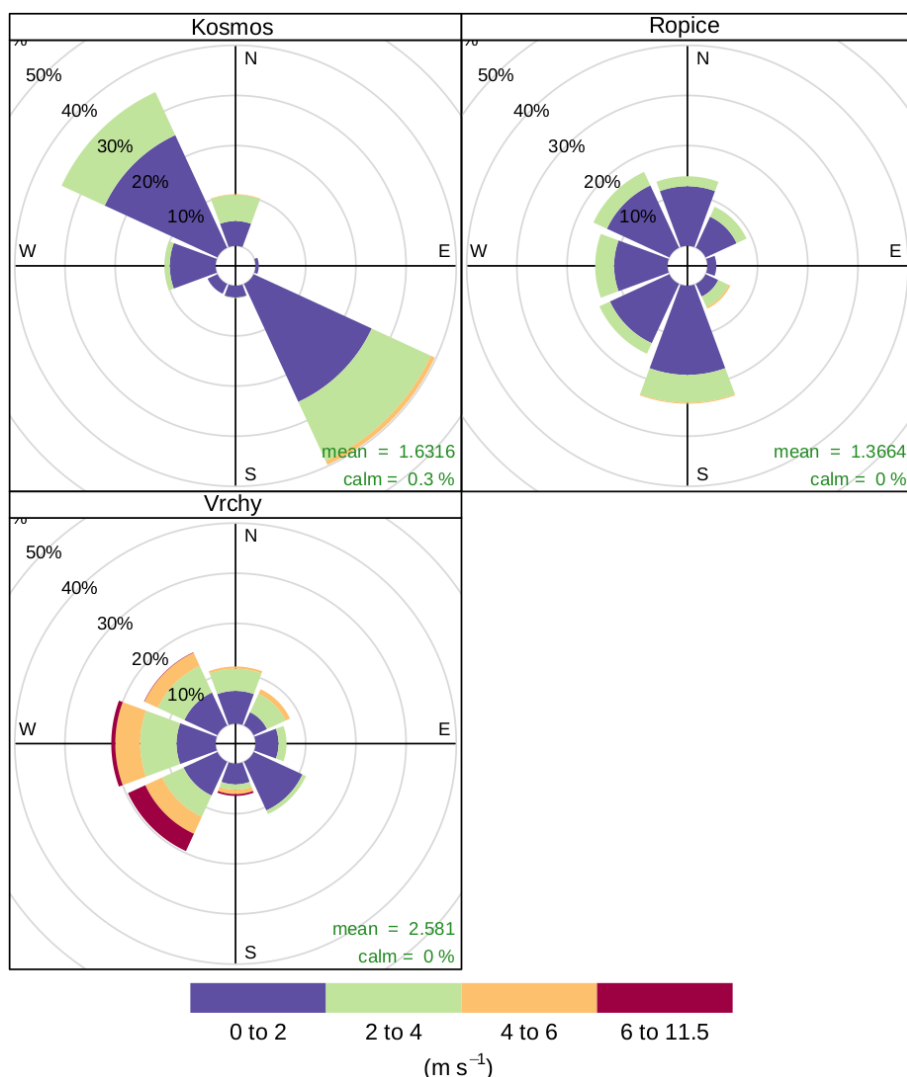
Pro interpretaci modelových výstupů a posouzení vypovídací hodnoty hodnocení byly porovnány meteorologické parametry, zejména směr a rychlost větru, naměřené v průběhu projektových kampaní, s dlouhodobými průměry získanými na stávajících stanicích na Třinecku (viz kapitola 3.2). Následující větrné růžice dokumentují situaci na projektových lokalitách v době letní a zimní odběrové kampaně.

Na měřicí lokalitě Kosmos, která je současně stanicí s dlouhodobým měřením základních meteorologických parametrů, poměrně dobře souhlasí převažující směry proudění. Rozptylové podmínky, které jsou významnou měrou určovány rychlostí proudění, byly v době projektového měření oproti dlouhodobému průměru celkově lepší, a to přibližně stejným rozdílem v letní i zimní části kampaně (celkově průměrně cca 1,6 oproti cca 1,3 m.s⁻¹).

Za bezvětrí je ve vypracovaných růžicích považována pouze naměřená rychlost větru rovná 0 m.s^{-1} . S ohledem na zvýšenou nejistotu měření směru větru při slabém proudění (do cca $0,25 \text{ m.s}^{-1}$) mohla tato skutečnost v následujících obrázcích 16 a 17 ovlivnit zobrazení nejnižší třídy rychlosti větru ($0 - 2 \text{ m.s}^{-1}$). Četnost rychlostí větru $< 0,25 \text{ m.s}^{-1}$ dosáhla za dobu projektových měření cca 0,3 % (Vrchy) – 4 % (Ropice). Případné zkreslení větrných růžic vlivem tohoto faktoru proto není významné.



Obrázek 16: Sezónně členěné větrné růžice reprezentující projektovou odběrovou kampaň



Obrázek 17: Celkové větrné růžice reprezentující projektovou odběrovou kampaň

5.2 ZÁKLADNÍ STATISTICKÉ ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH IMISNÍCH KONCENTRACÍ

Z výsledků laboratorních analýz vyplývá, že ve sledovaném období byly problematicky stanovitelnými polutanty některé kovy a hopany. Důvodem byly zejména nízké imisní koncentrace v blízkosti meze detekce použitých laboratorních metod, vyskytující se častěji v letní kampani. Ostatní látky byly stanoveny s přesností, která pro účely identifikace zdrojů s využitím modelu PMF plně vyhovuje. Základní statistické parametry souborů naměřených hodnot sledovaných analytů tvoří přílohu č. 1.

Nejvyšší úroveň znečištění suspendovanými částicemi byla měřicími kampaněmi zjištěna v Ropici, o něco nižší v lokalitě Kosmos a výrazně nejnižší v lokalitě Vrchy. Tato skutečnost je v souladu s pětiletými průměry koncentrací publikovanými ČHMÚ za období 2013–2017 (viz výše).

Pokud hodnotíme pouze období, pro které bylo proveditelné souhrnné modelování všech lokalit pomocí PMF, tzn. období, ve kterém byly odebírány vzorky ovzduší současně pro

všechny tři hodnocené lokality (5. 6. 2018–4. 7. 2018 a 14. 12. 2018–17. 1. 2019), úroveň znečištění dosahovala na všech třech lokalitách v průměru pouze cca 2/3 pětiletého průměru. Z rozboru statistického rozdělení vyplývá, že většina sledovaných analytů vykazuje rozdělení blíží se lognormálnímu. Normálnímu rozdělení se blíží datová sada pouze v případě O₃. Na měřicích místech Kosmos a Ropice je rozdělení řady analytů silněji deformováno v oblasti vysokých hodnot. Pravděpodobně to souvisí s výskytem intenzivních koncentračních špiček v těchto více znečištěných lokalitách (důsledek meteorologických situací, které nastávají zřídka, ale přinášejí ze zdrojových oblastí vysoké koncentrace znečištění).

Část analytů vykazuje bimodální rozdělení naznačující působení nejméně dvou odlišných zdrojů znečišťování. Různé populace dat jsou v histogramech vizuálně indikovány zejména v případě těchto analytů:

Kosmos: Na⁺, K⁺, Ca, Ca²⁺, Mg, SO₄²⁻, Co, Cr, Fe, Se, fenanthren, OC, levoglucosan

Ropice: Mg²⁺

Vrchy: Mg²⁺, B, Cr, Fe, levoglucosan, V, W, Zn

Protože podstatně více takto ovlivněných datových souborů bylo zjištěno v lokalitách Kosmos a Vrchy, lze se domnívat, že zde jde o důsledek přenosu znečištění ze vzdálenějších oblastí při specifických meteorologických podmínkách, zatímco v Ropici má pravděpodobně větší vliv znečištění z nedalekých zdrojů. Histogramy, distribuční funkce rozdělení a fitování rozdělení souborů naměřených hodnot sledovaných analytů tvoří přílohu č. 2.

5.3 ČASOVÁ VARIABILITA NAMĚŘENÝCH HODNOT

Analýza časových řad naměřených koncentrací jednotlivých analytů prokázala u většiny polutantů v průměru vyšší koncentrace v zimním období a v noci, což je v souladu s chodem koncentrací suspendovaných částic PM_{2.5}.

Výrazně vyšší zimní koncentrace byly naměřeny hlavně u analytů, jejichž emise bývají spojeny s vytápěním rodinných domů pevnými palivy. Jedná se o As, K, K⁺, levoglucosan, reten, pícen, EC a PAH. Kromě nich byly zjištěny až několikanásobně vyšší imisní koncentrace v chladné polovině roku oproti letní kampani také v případě oxidů dusíku a dusíkatých iontů.

Překvapením byly vysoké koncentrace některých kovů a síranů (Zn, Se, Sb, Mo) v letní části odběrové kampaně, zejména v lokalitách Vrchy a Kosmos, zatímco jejich hodnoty v zimním období byly nižší. Vzhledem ke zvýšeným letním, zejména červnovým hodnotám koncentrace Na⁺ a K⁺ v pozadřové lokalitě Vrchy a v návaznosti na výsledky PMF lze usuzovat na významný vliv dálkového přenosu těchto analytů. Vyšší letní koncentrace OC oproti chladné polovině roku lze připsat na vrub nejspíše pylům a biogennímu detritu, včetně resuspenze z polí. Resuspenze částic ze zemského povrchu nebo vozovek byla pravděpodobnou příčinou vyšších letních koncentrací také v případě Al. Podle očekávání byly oproti zimní kampani naměřeny výrazně vyšší hodnoty v létě také v případě ozónu.

Časová řada z obou kampaní zahrnuje pouze 60 dnů a není proto dostatečně reprezentativní pro posouzení variability koncentrací v průběhu týdne. Žádné statisticky významné vzorce týdenního chodu koncentrací nebyly v takto omezeném souboru dat identifikovány.

5.4 VZTAH MEZI SLEDOVANÝMI ANALYTY

Na základě Spearmanova a Pearsonova koeficientu byly pro jednotlivé měřicí lokality vypracovány korelační matice, na které byla aplikována klastrová analýza pomocí statistického softwaru R. Výsledky získané všemi uvedenými metodami jsou v zásadních rysech shodné, ale Pearsonův koeficient poskytuje ostřeji ohraničené skupiny korelujících analytů. Grafické korelační matice vypracované pomocí Pearsonova koeficientu tvoří přílohu č. 3 této zprávy.

Na základě provedených korelačních analýz lze orientačně předpokládat, že na variabilitu koncentrací měřených látek má vliv nejméně 4 až 5 faktorů (typů zdrojů znečišťování). Z korelačních matic je v emisích zřetelný vliv těchto skupin analytů:

- skupina individuálního vytápění domácností: levoglucosan, EC, reten, picen, PAH ($R > 0,85$) s volnější vazbou ($R > 0,6$) na dusíkaté ionty, As a Cd,
- skupina hutní výroby železa: Fe, Mn ($R > 0,8$) + Mo ($R > 0,66$),
- skupina dálkového transportu: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ($R > 0,72$), s výjimkou lokality Ropice se zřetelnou volnější vazbou k La, V, Cr,
- skupina nejasného původu s možnou souvislostí buď s hutnictvím železa, nebo lokálním vytápěním: Se, Sn, Sb, Zn ($R > \text{cca } 0,6$) méně významně také Ag, Rb a OC, kromě lokality Vrchy také s vazbou na Pb, In (s ohledem na absenci jiných významných zdrojů v lokalitě Vrchy zde Pb a In souvisí pravděpodobně s klastrem lokálního vytápění),
- klastr částic pravděpodobně minerálního původu: Ba, Sr, Bi, Al, Mg, Cu, Ti (u všech $R > 0,65$, většinou okolo $R = 0,85$ a vyšší), s výjimkou lokality Vrchy také K a K^+ (v lokalitě Vrchy je draslík z tohoto klastru vyčleněn pravděpodobně vlivem vyššího vlivu vytápění biomasou).

Lze také vysledovat nepřímou úměru mezi koncentracemi ozónu a klastrem individuálního vytápění domácností, a také mezi klastrem dálkového transportu a klastrem individuálního vytápění domácností. To je v souladu s předpokladem, že ozón a dálkový transport aerosolu se zvýšenými koncentracemi Na^+ , Ca^{2+} a Mg^{2+} (z velké části pravděpodobně mořská sůl) se projevují převážně mimo topnou sezónu.

Na všech lokalitách byla zjištěna poměrně významná nepřímá úměra (R v rozmezí - 0,59 až - 0,73) mezi koncentracemi ozónu a koncentrací elementárního i organického uhlíku, přičemž mezi EC a OC existuje významná korelace pouze v Ropici, jinde jsou tyto analyty prakticky nezávislé. Zjištěné souvislosti mohou souviset se skutečností, že na koncentrace ozónu mají významný vliv nejen reakce s organickými sloučeninami, ale také s dalšími polutanty vyskytujícími se v emisích spolu s elementárním uhlíkem (např. oxidy dusíku a dusíkaté ionty), popřípadě i se samotným elementárním uhlíkem.

V lokalitě Ropice byla uvedená statistická analýza provedena jak pro datovou sadu získanou analýzou kovů pomocí ICP-MS, tak i pro data z laboratorního stanovení pomocí ED XRF. Výsledek analýzy je v zásadních bodech (identifikovaných faktorech) podobný.

5.5 IDENTIFIKACE ZDROJŮ ZNEČIŠŤOVÁNÍ POMOCÍ PMF

5.5.1 Modelové řešení lokality Ropice a porovnání využití datových sad ED XRF a ICP-MS

Cílem samostatného hodnocení situace v lokalitě Ropice bylo posouzení použitelnosti datových sad imisních koncentrací kovů stanovených metodami ICP-MS a ED XRF. V průběhu obou odběrových kampaní (letní a zimní) byly na této lokalitě pořízeny dvě paralelní sady vzorků, každá z nich byla následně analyzována příslušnou metodou. Datové sady byly následně připojeny k dalším analytům naměřeným v průběhu kampaní na této lokalitě. Modelové řešení pak bylo vypracováno pomocí modelu PMF samostatně s těmito dvěma datovými sadami.

Model PMF v. 5.0 byl použit v souladu s manuálem U. S. EPA EPA Positive Matrix Factorization (PMF), Fundamentals and User Guide (04/2014). Na základě poměru signál/šum byly analyty rozříděny do kategorií STRONG, WEEK A BAD. V případě datového souboru se zahrnutím dat z ICP-MS bylo použito celkem 40 a v případě souboru s daty ED XRF celkem 33 analytů klasifikovaných jako STRONG.

Z časové řady dat bylo nutné vyloučit noční odběr z 31. 12. 2018 na 1. 1. 2019 a následující den z důvodu znečištění ovzduší širokým spektrem analytů (zejména Ba, Pd, Mg, Al, S, Ti, Cu) způsobeného silvestrovskými oslavami. Vzhledem k tomu, že tato extrémní koncentrační špička je za dobu měřících kampaní ojedinělá, je pomocí PMF nehodnotitelná. Vyloučena byla také ojedinělá hodnota Zn z odběru 21. 12. 2018 (6:00 – 18:00 UTC), která je cca o řád vyšší než průměrná koncentrace za zbytek měřeného období, byla však zjištěna při měření na XRF i ICP, takže nelze vyloučit reálnou příčinu. Z důvodu její výjimečnosti v datové sadě však ani tato hodnota není pomocí PMF interpretovatelná. Chybějící hodnoty analytu byly nahrazeny mediánem s nejistotou ve výši čtyřnásobku mediánu ostatních hodnot.

Při využití dat ICP-MS i ED XRF bylo stabilní modelové řešení splňující metodické požadavky (normální rozložení a přijatelná velikost reziduí, vzájemná nezávislost identifikovaných faktorů, poměr Q/Q_{exp} , atd.) nalezeno při počtu 5 faktorů. V obou případech byla na základě bootstrap analýzy použita rotace modelového řešení s hodnotou $F_{peak} = 0,5$ (sada z XRF), resp. 1,0 (sada z ICP). Shoda modelových a naměřených koncentrací suspendovaných částic $PM_{2.5}$ za letní i zimní kampaň dosáhla $R^2=0,91$ v případě ED XRF a $R^2=0,93$ v případě ICP-MS.

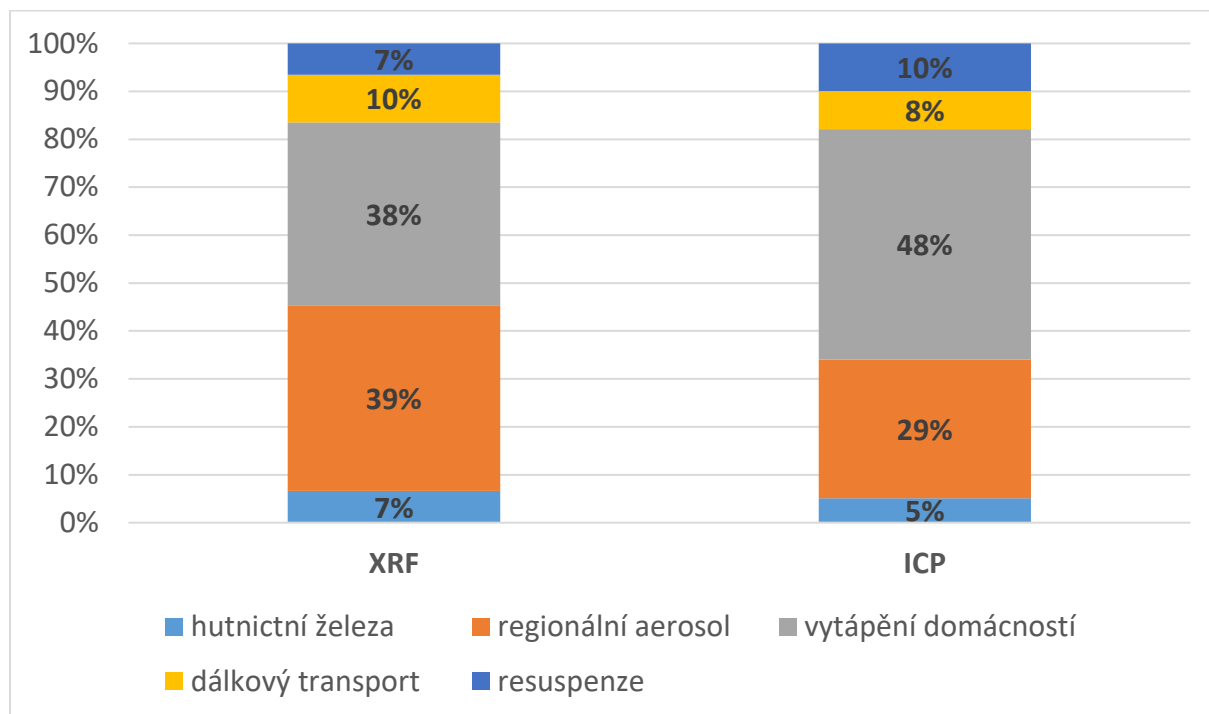
Identifikované faktory byly v případě využití obou porovnávaných analytických metod shodné:

- Lokální vytápění domácností
- Regionální aerosol
- Dálkový transport
- Hutnictví železa
- Resuspenze ze zemského povrchu

Protože prakticky identické faktory byly pomocí PMF identifikovány i v případě komplexního modelového řešení zahrnujícího všechny 3 měřené lokality, nejsou zde podrobně komentovány a popis jejich charakteristik je obsahem podkapitoly 5.5.3.

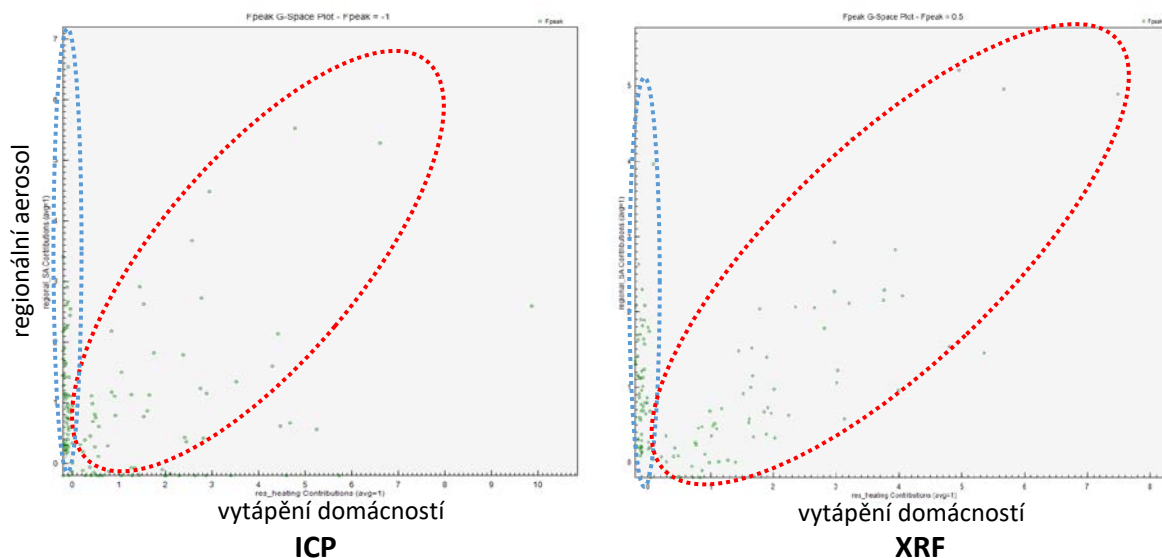
Identifikované imisní podíly faktorů kvality ovzduší v lokalitě Ropice

Porovnání podílů zdrojů znečišťování ovzduší identifikovaných s využitím datových sad ED XRF a ICP-MS umožňuje následující graf (obrázek 18).



Obrázek 18: Podíl zdrojů znečišťování ovzduší suspendovanými částicemi PM_{2,5} v lokalitě Třinec-Ropice identifikovaný pomocí PMF na základě analýz ICP-MS a ED XRF

Je zřejmé, že výsledky se významně liší pouze v případě podílu regionálního aerosolu a vlivu lokálního vytápění, přičemž v součtu jsou tyto dva faktory kvantitativně u obou datových sad shodné (celkem tvoří přibližně 3/4 znečištění). Rozdělení původu znečištění mezi tyto dva faktory je vždy diskutabilní, protože v regionálním aerosolu je významně zastoupen i příspěvek znečištění z lokálního vytápění domácností. Mezi lokálním a regionálním vlivem vytápění domácností neexistuje přesná hranice a není tedy podstatným nedostatkem, že se výsledek PMF v tomto ohledu liší. Jedná se o jediné dva identifikované faktory, které vykazují vzájemnou souvislost. Z obrázku 19 jsou zřejmé dvě různé populace dat, z nichž jedna je nezávislá (modře ohraničeno) a druhá vykazuje souvislost faktorů „lokální vytápění domácností“ a „regionální aerosol“ (červeně ohraničeno).



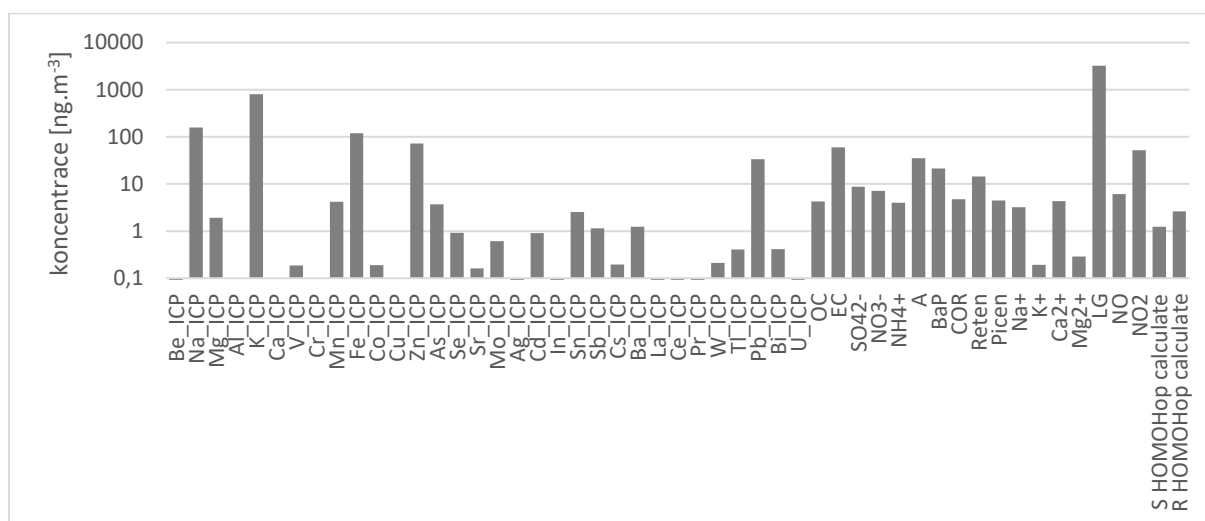
Obrázek 19: Souvislost imisních příspěvků faktorů „lokální vytápění domácností“ a „regionální aerosol“, identifikovaných pomocí PMF na základě analýz ICP-MS a ED XRF

V případě místního a regionálního znečištění nejsou jejich zdroje ani ve skutečnosti nikdy zcela nezávislé, nelze proto v tomto případě naplnit obecný metodický požadavek na nezávislost PMF faktorů. Ostatní identifikované faktory nevykazují žádnou vzájemnou souvislost a jejich podíly určené na základě ICP-MS a ED XRF se významně neliší (rozdíl v jednotkách %).

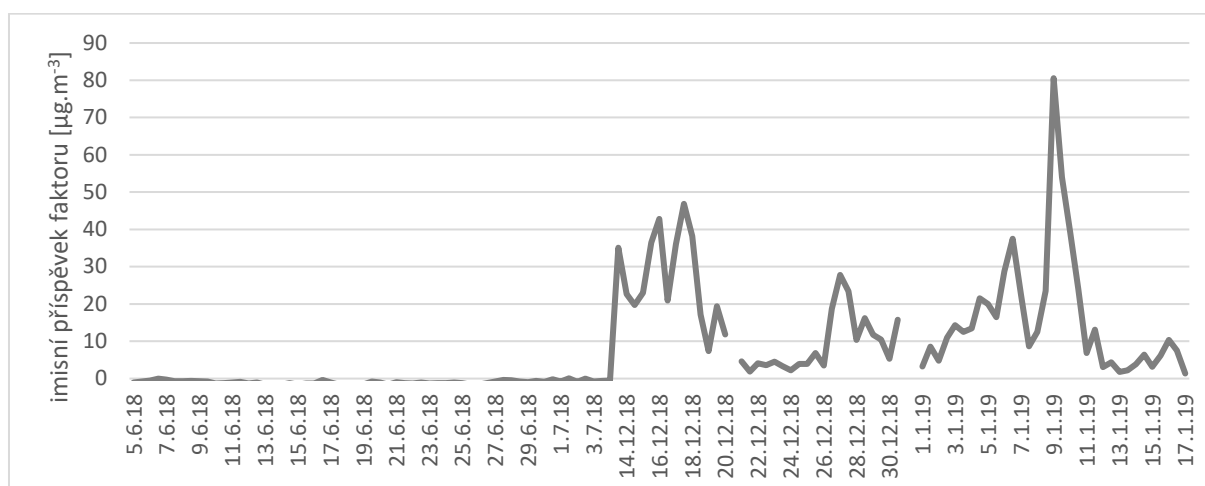
Z hlediska použitelnosti stanovení kovů metodami ICP-MS a ED XRF pro identifikaci zdrojů s využitím modelu PMF lze konstatovat, že:

- 1) Obě laboratorní metody poskytují data, která umožňují dosáhnout přibližně stejného rozlišení zdrojů znečišťování (lze jimi identifikovat stejný počet faktorů).
- 2) Imisní podíly identifikované na základě těchto dvou datových sad se s přihlédnutím k omezenému rozsahu kampaně (celkem pouze cca 2 měsíce) významně neliší, obě dosahují dostatečné přesnosti pro případný návrh strategických opatření ochrany ovzduší.
- 3) Při použití ICP-MS je možné obvykle identifikaci zdrojů pomocí PMF provést s nižší přidanou nejistotou modelu (na Třinecku se pohybovala v případě ICP-MS v rozmezí 12–18%, v případě ED XRF až 20%), což může být důsledkem nižší analytické nejistoty nebo širším spektrem analyzovaných prvků v případě ICP-MS. Tato skutečnost může vést za určitých okolností k vyšší rozlišovací schopnosti PMF při použití ICP-MS, v rámci provedených prací to ale nebylo prokázáno.

Na základě samostatného posouzení lokality Ropice pomocí PMF lze konstatovat, že největší imisní podíl na celkové průměrné koncentraci suspendovaných částic $PM_{2.5}$ mělo za dobu měření (cca měsíc v teplé a měsíc v chladné polovině roku) individuální vytápění domácností pevnými palivy. Tento druh znečištění představoval v průměru necelou polovinu koncentrace suspendovaných částic $PM_{2.5}$. Ve fingerprintu individuálního vytápění se projevuje jak vliv spalování uhlí (zvýšené koncentrace síranů a PAH, As, Se), tak i biomasy (draslík a levoglucosan), což je zřejmé z obrázku 20.

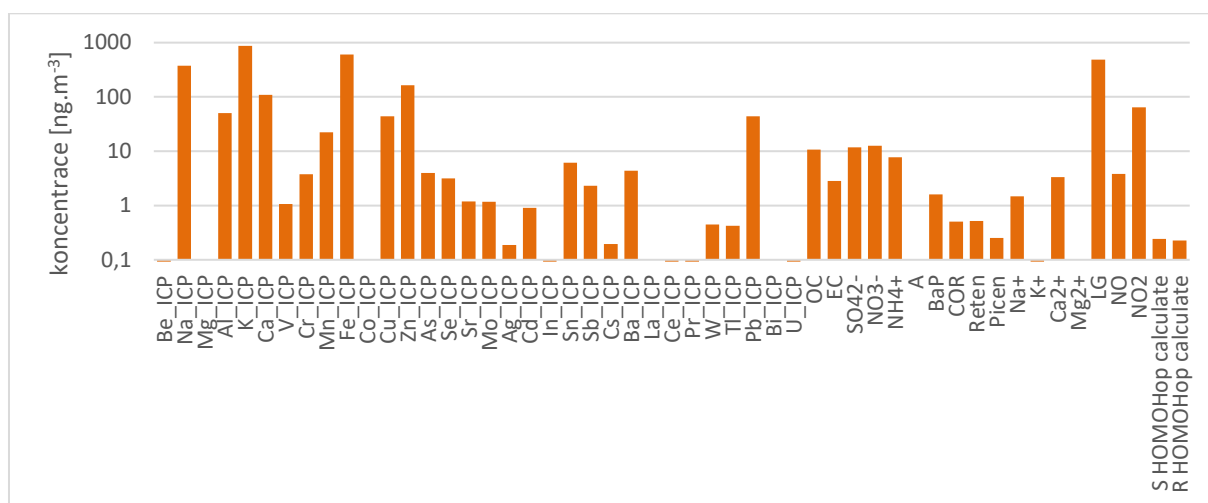


Obrázek 20: Chemický profil faktoru „lokální vytápění domácností“ v Ropici

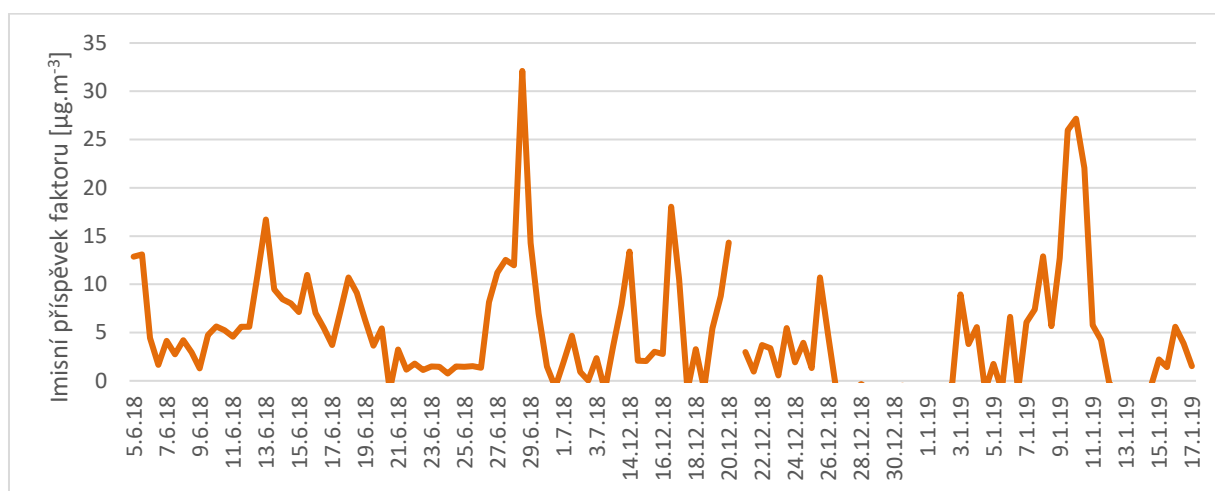


Obrázek 21: Časový chod faktoru „lokální vytápění domácností“ v Ropici

Jak je již výše komentováno, **individuální vytápění domácností pevnými palivy se projevuje také ve druhém nejvíce zastoupeném faktoru, tj. v regionálním aerosolu**, který zahrnuje primární emise (v zimě zejména z vytápění a dopravy, v létě zejména resuspenzi a biogenní částice) i sekundární aerosol vznikající v regionu (pravděpodobně v pánevní části Moravskoslezského kraje a polské části Slezska a při transportu z těchto oblastí). **Podíl tohoto faktoru na koncentraci PM_{2.5} je podle modelu přibližně třetinový.** Jeho chemický profil je obsahem obrázku 22, ze kterého je zřejmé kromě vlivu vytápění domácností (levoglucosan, draslík, sírany, PAH, As, Se) také významné zastoupení oxidů dusíku a dusíkatých iontů (pravděpodobně sekundární aerosol podmíněný dopravou a vytápěním), a také zvýšené koncentrace organického uhlíku a prvků zemské kůry (vliv resuspenze převážně v teplé polovině roku).

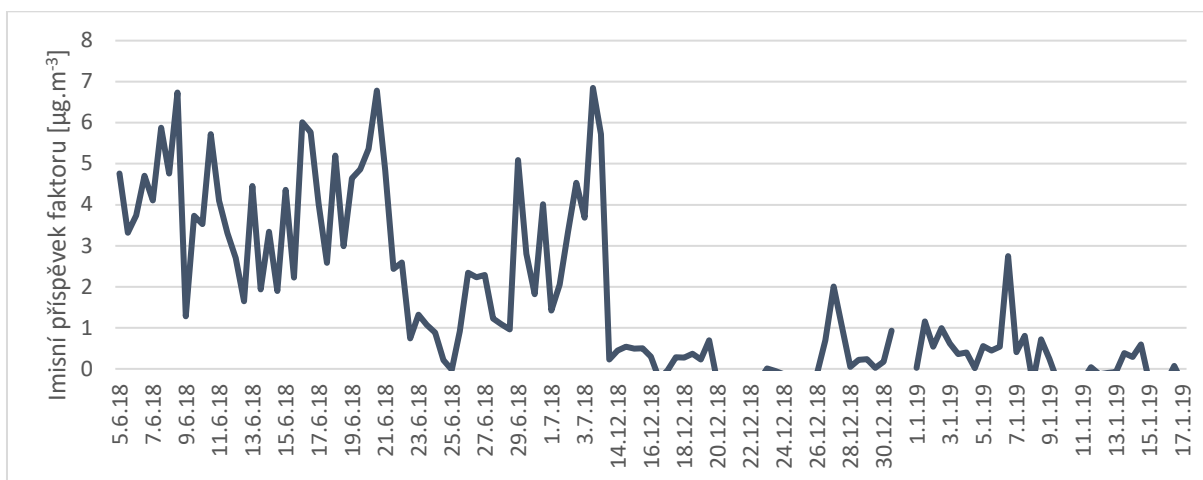


Obrázek 22: Chemický profil faktoru „regionální aerosol“ v Ropici

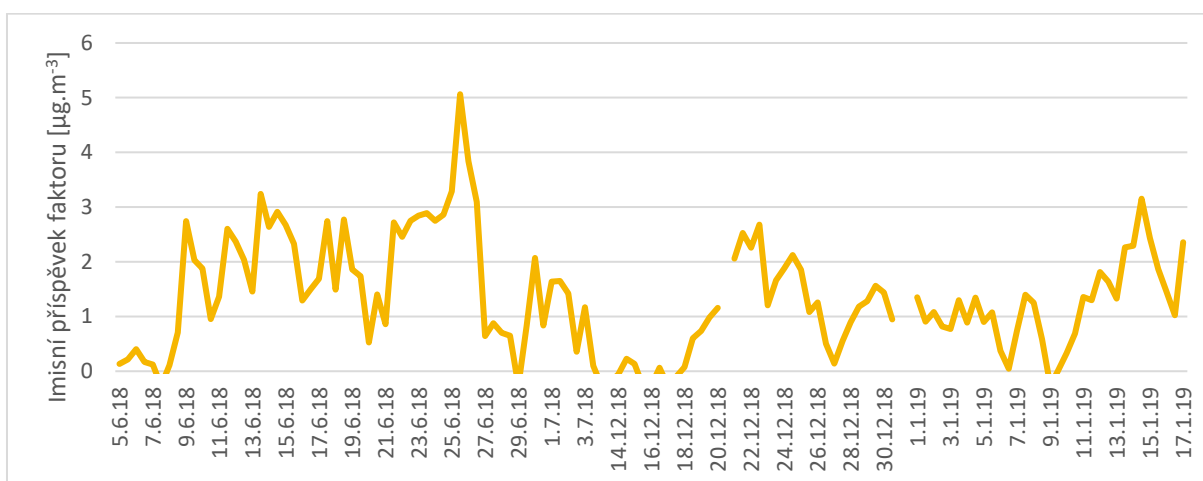


Obrázek 23: Časový chod faktoru „regionální aerosol“ v Ropici

Kromě uvedených dvou imisně nejvýznamnějších faktorů se na kvalitě ovzduší v Ropici podle modelových výpočtů podílí významně také **resuspenze částic ze zemského povrchu a dálkový přenos znečištění (dle modelu v obou případech okolo 10 % imisní koncentrace)**. Zejména resuspenze se na imisní koncentraci podílí více v letním období (viz grafy časových řad na obrázcích 24 a 25).



Obrázek 24: Časový chod faktoru „resuspenze ze zemského povrchu“ v Ropici



Obrázek 25: Časový chod faktoru „dálkový transport“ v Ropici

Z identifikovaných 5 nejvýznamnějších faktorů byl za dobu projektových měřicích kampaní v Ropici podle modelového řešení nejméně významný faktor „hutnictví železa“, který se na celkovém znečištění podílel cca 5 až 7 %.

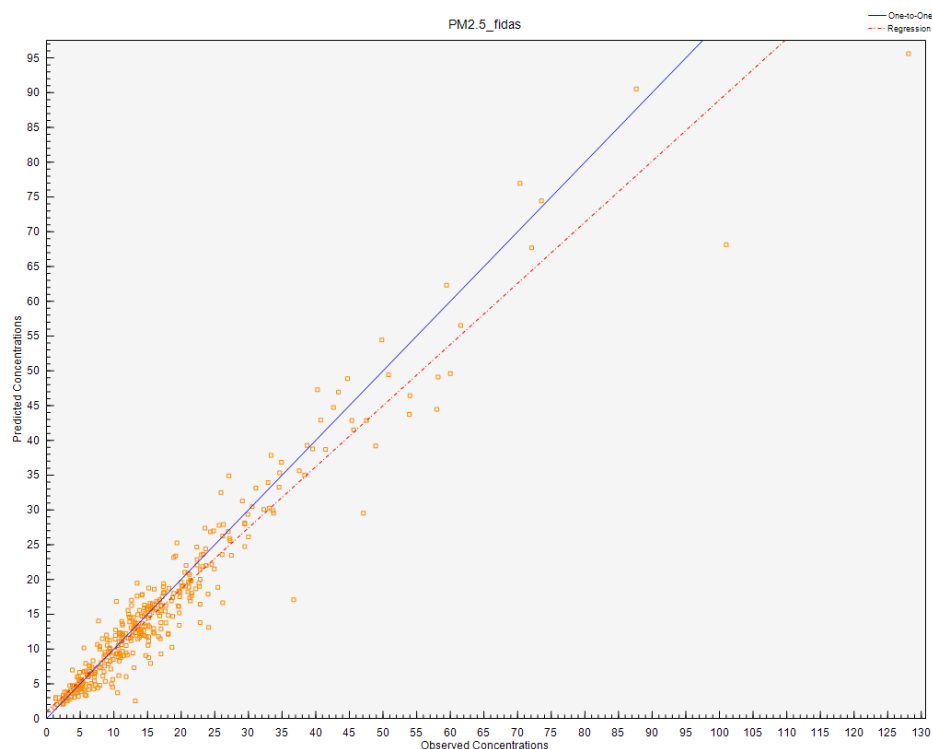
5.5.2 Souhrnné modelové řešení měřených lokalit

Pro souhrnný model PMF zahrnující lokality Kosmos, Ropice a Vrchy byla využita datová sada s kovy stanovenými pomocí ICP-MS. Rozsah použitých analytů je uveden v kapitole 4.2.

Model PMF v. 5.0 byl použit v souladu s manuálem U. S. EPA EPA Positive Matrix Factorization (PMF), Fundamentals and User Guide (04/2014). Na základě poměru signál/šum byly analyty rozříděny do kategorií STRONG, WEEK A BAD. Použito bylo celkem 31 „STRONG“, a 6 „WEAK“ analytů. Z časové řady dat byly vyloučeny stejné termíny jako v případě samostatného zpracování modelového řešení pro lokalitu Ropice (viz kapitola 5.5.1).

Stabilní modelové řešení, které bylo možno věrohodně interpretovat (přiřadit modelové fingerpinty reálným skupinám zdrojů) bylo nalezeno při 5 a 6 faktorech. Po řadě testů bylo

nakonec jako konečné ponecháno řešení se 6 faktory. Shoda modelových a naměřených koncentrací suspendovaných částic $PM_{2.5}$ dosáhla $R^2=0,93$ (grafické vyjádření viz obrázek 26).



Obrázek 26: Shoda naměřených a modelem PMF vypočtených koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ [$\mu g \cdot m^{-3}$]

Kromě suspendovaných částic $PM_{2.5}$, která byla v modelu totální proměnnou, vykazuje model poměrně dobrou shodu modelovaných hodnot se skutečně naměřenou úrovní koncentrací u řady dalších polutantů. Hodnotou $R^2 > 0,9$ se vyznačuje EC, NH_4^+ , NO_3^- , benzo[a]pyren, koronen a blíží se jí také levoglucosan ($R^2=0,88$). Model je proto dobře použitelný také k identifikaci zdrojů znečišťování ovzduší těmito látkami. Při výši přidané nejistoty modelu 18 % byl poměr Q/Q_{exp} u všech analytů < 2 .

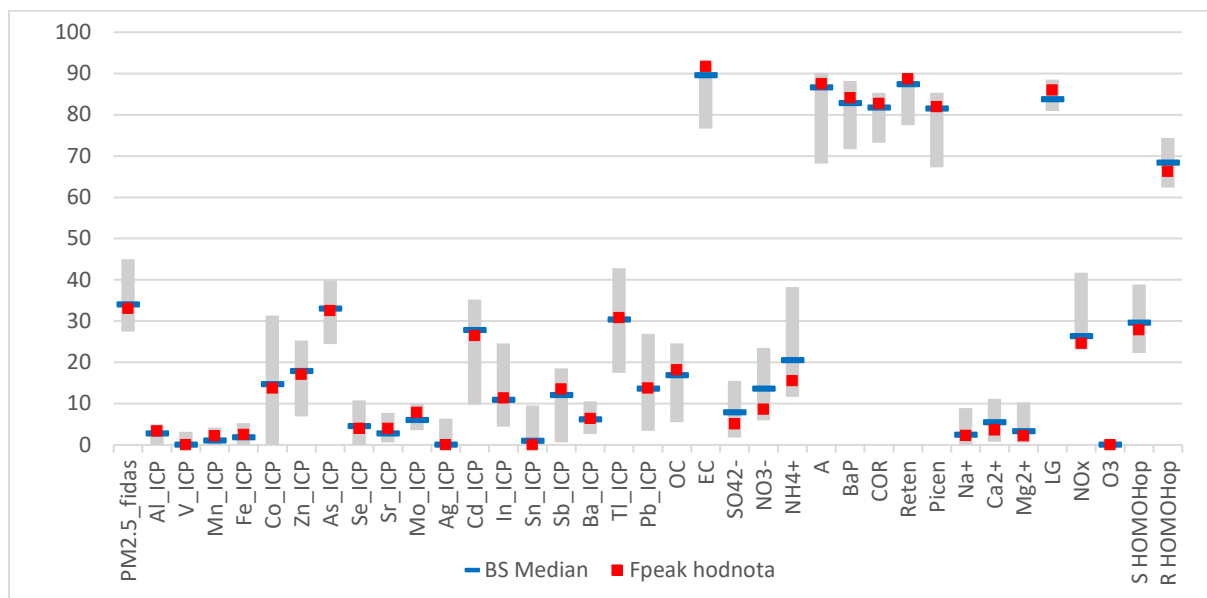
Při komplexním modelovém řešení všech tří měřených lokalit byly identifikovány tyto faktory kvality ovzduší:

- Lokální vytápění domácností
- Lokální vytápění domácností nekvalitním palivem
- Regionální aerosol
- Dálkový transport
- Hutnictví železa
- Resuspenze ze zemského povrchu

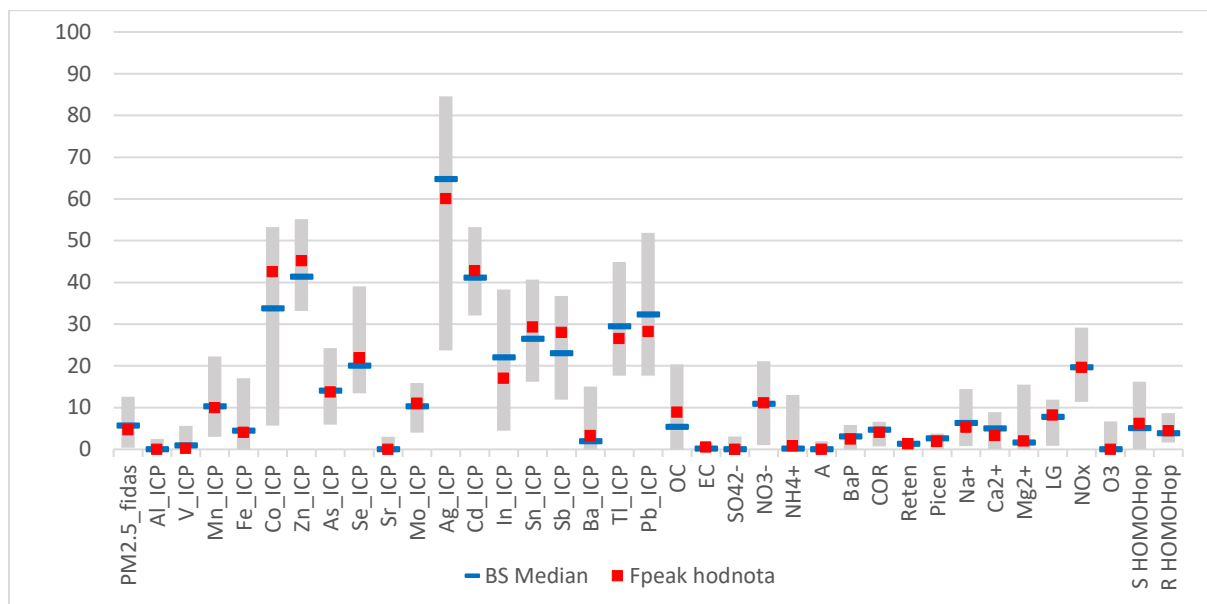
Jejich podrobný popis je obsahem následující podkapitoly.

V základním modelovém řešení (base run) byly podle bootstrap testu stabilní všechny faktory s výjimkou faktoru „lokální vytápění domácností nekvalitním palivem“. S ohledem na časový chod a skutečnost, že se tento faktor vyskytoval v řadě modelových výpočtů s různě zadanými vstupními parametry, se jevílo jako pravděpodobné, že může mít reálný základ. Modelové

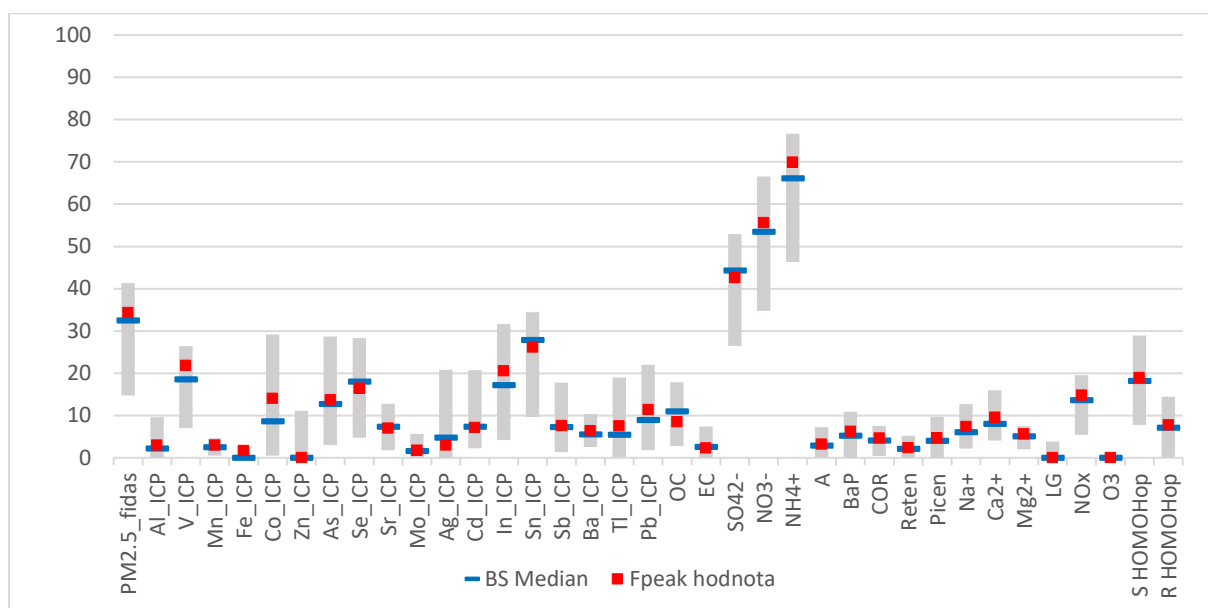
řešení bylo proto mírně rotováno s hodnotou $F_{\text{peak}} = -0,5$. Po této úpravě již bootstrapping indikuje dostatečně stabilní řešení (shoda všech „boot“ a „base“ faktorů, bez výskytu nezmapovaných faktorů). Grafické znázornění porovnání bootstrapovaných a modelových (F_{peak}) procentuálních podílů analytů v jednotlivých faktorech je obsahem obrázků 27 až 32.



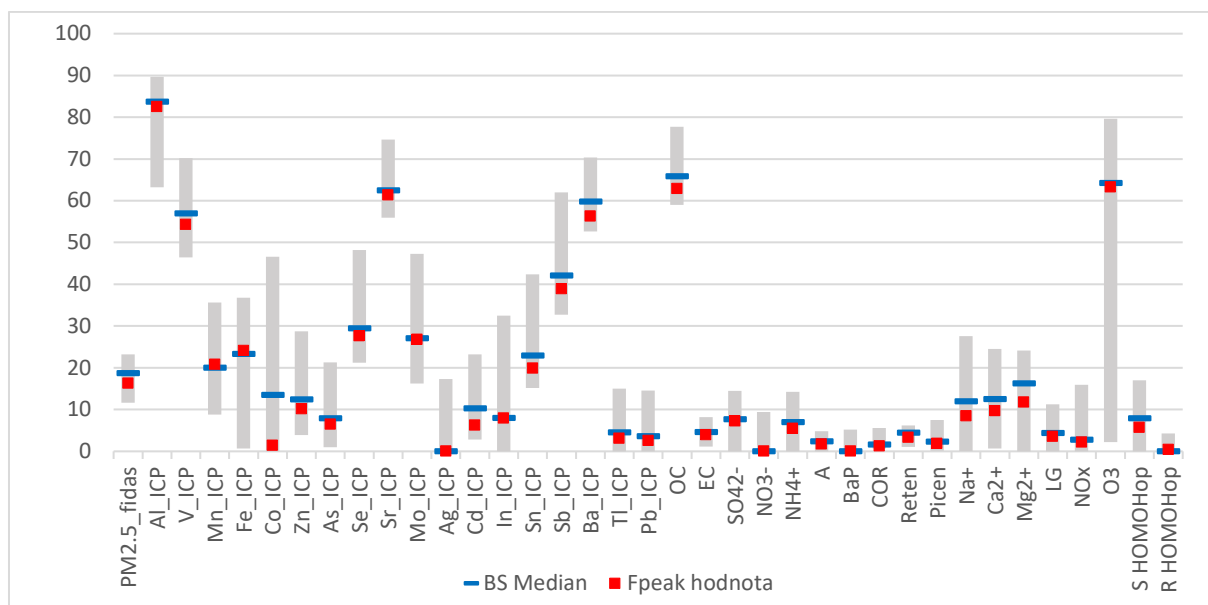
Obrázek 27: Shoda modelových (F_{peak}) a bootstrapových (BS) procentuálních podílů analytů v chemickém profilu faktoru „lokální vytápění domácností“



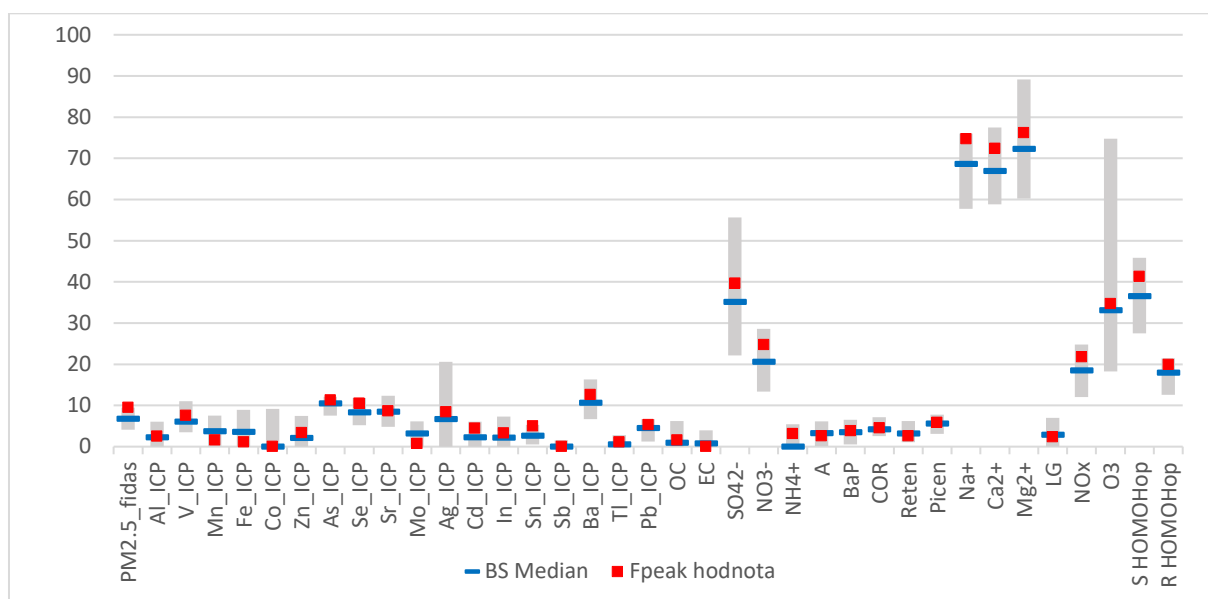
Obrázek 28: Shoda modelových (F_{peak}) a bootstrapových (BS) procentuálních podílů analytů v chemickém profilu faktoru „lokální vytápění domácností nekvalitním palivem“



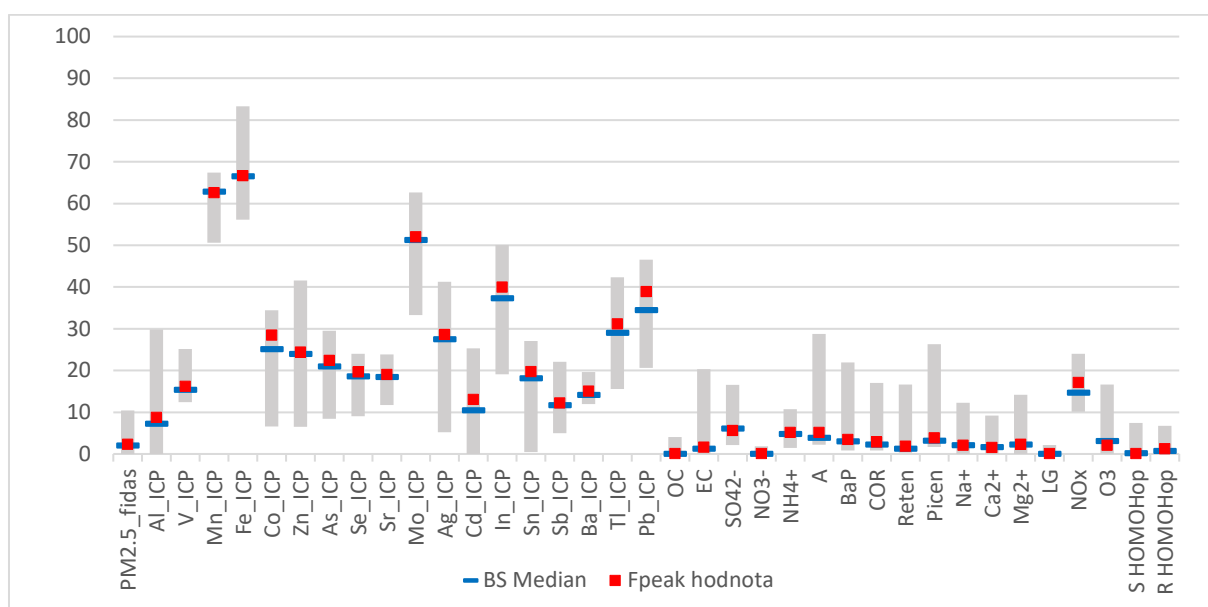
Obrázek 29: Shoda modelových (F_{peak}) a bootstrapových (BS) procentuálních podílů analytů v chemickém profilu faktoru „regionální aerosol“



Obrázek 30: Shoda modelových (F_{peak}) a bootstrapových (BS) procentuálních podílů analytů v chemickém profilu faktoru „resuspenze ze zemského povrchu“



Obrázek 31: Shoda modelových (F_{peak}) a bootstrapových (BS) procentuálních podílů analytů v chemickém profilu faktoru „dálkový transport“



Obrázek 32: Shoda modelových (F_{peak}) a bootstrapových (BS) procentuálních podílů analytů v chemickém profilu faktoru „hutnictví železa“

Po analýze stability a optimalizaci modelového řešení lze výsledek PMF považovat za stabilní a věrohodný pro určení původu znečištění v okolí všech tří posuzovaných lokalit v době měřicí kampaně.

Z porovnání skutečně naměřených hodnot a součtu imisních příspěvků jednotlivých identifikovaných faktorů je zjevné, že modelové řešení umožňuje dobře vysvětlit variabilitu koncentrací suspendovaných částic $PM_{2.5}$ na všech posuzovaných lokalitách.

Modelové faktory představují v průměru 94 % koncentrace $PM_{2.5}$. Nejlépe model z tohoto hlediska popisuje situaci v Ropici, naopak nejnižší podíl modelových faktorů k naměřeným

hodnotám byl zjištěn v lokalitě Kosmos. Podrobnější rozbor modelové a naměřené koncentrace PM_{2.5} umožňuje tabulka 1. Nejvíce podhodnocuje model letní imisní koncentraci v lokalitě Kosmos (82 % naměřené úrovně). Variabilita koncentrací PM_{2.5} v Ropici je naopak dobře interpretovaná, nezávisle na ročním období.

Tabulka 1: Porovnání průměrných modelových a naměřených hodnot imisních koncentrací suspendovaných částic PM_{2.5}

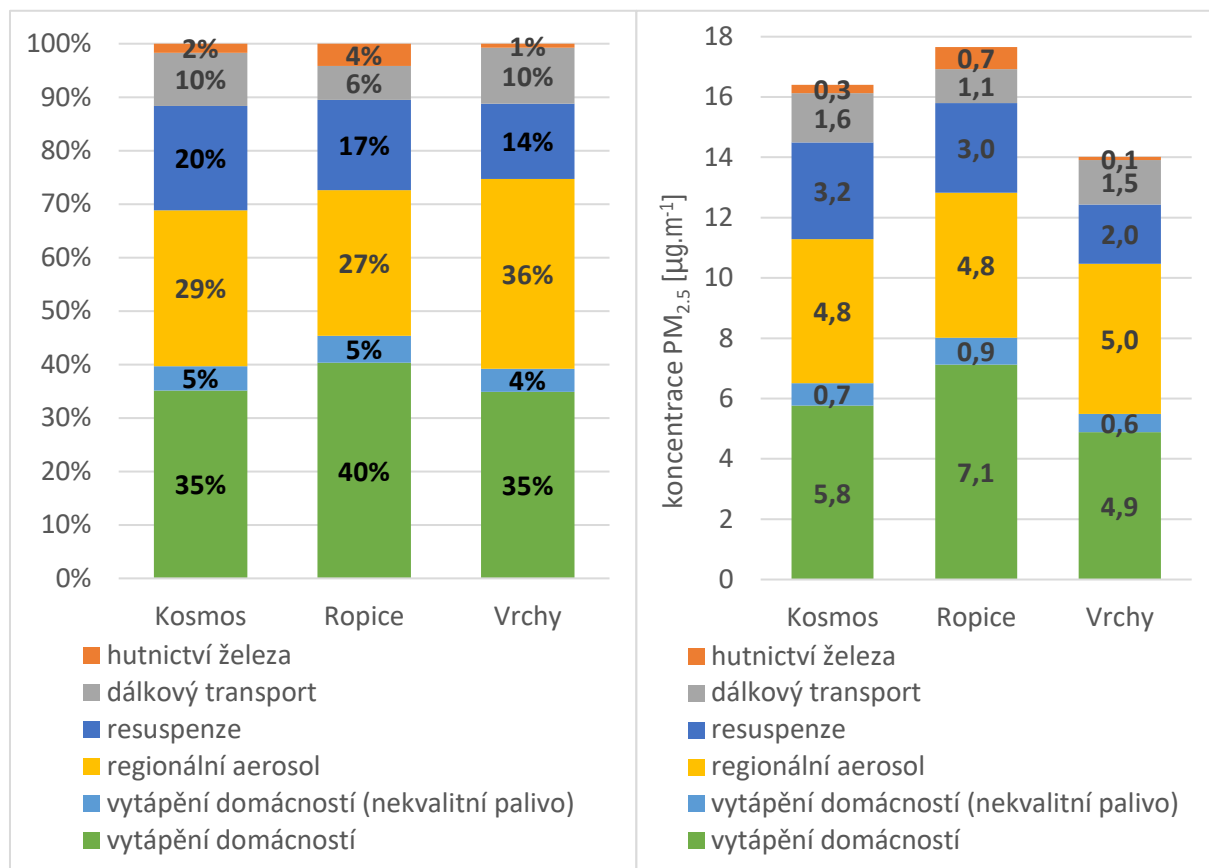
Období	Lokalita	imisní koncentrace suspendovaných částic PM _{2.5}		
		modelová hodnota*	naměřená hodnota	model/skutečnost
léto	Kosmos	12.5	15.1	82%
	Ropice	12.0	12.0	100%
	Vrchy	10.7	11.0	97%
zima	Kosmos	19.9	20.7	96%
	Ropice	22.7	23.3	97%
	Vrchy	16.8	18.3	92%
léto+zima	Kosmos	16.4	18.1	91%
	Ropice	17.7	18.0	98%
	Vrchy	14.0	15.0	94%

* součet imisních příspěvků všech faktorů identifikovaných pomocí PMF

Na základě výše uvedených hodnocení lze určení míry vlivu různých typů zdrojů na kvalitu ovzduší provedené pomocí PMF ve všech třech posuzovaných lokalitách považovat za dostatečně přesné a věrohodné a lze je využít k případné úpravě strategií v ochraně ovzduší.

Identifikované imisní podíly faktorů kvality ovzduší při souhrnném hodnocení všech lokalit

Následující grafy (obrázek 33) znázorňují relativní a absolutní velikosti podílů identifikovaných faktorů na celkové imisní koncentraci suspendovaných částic PM_{2.5} ve třech posuzovaných lokalitách na Třinecku. Grafy byly zkonstruovány na základě komplexního modelu všech tří lokalit.



Obrázek 33: Relativní (vlevo) a absolutní (vpravo) hodnoty podílu zdrojů znečišťování ovzduší suspendovanými částicemi PM_{2.5} na Třinecku identifikované pomocí PMF

Složené plošné grafy znázorňující časový průběh celkové imisní koncentrace suspendovaných částic PM_{2.5} a jednotlivých identifikovaných faktorů v průběhu letní a zimní měřicí kampaně na jednotlivých lokalitách jsou zařazeny do předkládané zprávy jako příloha č. 4. Z tohoto grafického rozboru jsou zřejmé některé další podstatné skutečnosti, např.:

- Lokalita Ropice byla ze všech tří lokalit nejvíce zatížena imisními příspěvky hutního průmyslu, který zde tvoří významné koncentrační špičky, dochází k nim ale po relativně malé části hodnoceného časového intervalu, takže průměrnou koncentraci za celé sledované období ovlivňuje tento faktor ve srovnání s jinými stabilně působícími zdroji relativně méně významně.
- Individuální vytápění domácností bylo podstatným faktorem zejména v zimním období. Velmi odlišný chemický projev těchto zdrojů byl zjištěn v teplé polovině roku, kdy má relativně podstatně vyšší vliv faktor nazvaný „lokální vytápění domácností nekvalitním palivem“. Protože v letní sezóně není s výjimkou ohřevu teplé užitkové vody potřeba vytápění, může se ve skutečnosti jednat ve velké míře o spalování zejména papírových a plastových odpadů. Hovoří pro to zejména podstatně vyšší zastoupení širokého spektra těžkých kovů.
- V době nejvýraznější koncentrační špičky PM_{2.5} v období 9. 1. 2019 – 11. 1. 2019 je zřejmý nástup vysokého příspěvku z vytápění domácností, který je na všech lokalitách následován zvyšujícím se příspěvkem faktoru „regionální aerosol“ přetrvávajícím i po odeznění špičky příspěvku lokálního vytápění. Je pravděpodobné, že zde byl zachycen proces vzniku sekundárního aerosolu. Model PMF by tak mohl být ve spojení s měřicí kampaní s vyšším časovým rozlišením vhodným nástrojem ke studiu dynamiky těchto procesů.

5.5.3 Chemická a časová charakteristika identifikovaných fingerprintů

Při identifikaci zdrojů znečišťování pro samostatnou lokalitu Ropice i při komplexním posouzení všech 3 měřených lokalit byly identifikovány stejné faktory, pouze s tím rozdílem, že komplexní posouzení zahrnuje navíc samostatně vyčleněný faktor „lokální vytápění domácností nekvalitním palivem“. Chemické profily jednotlivých faktorů jsou dostatečně zdokumentovány grafy modelových bootstrapových hodnot relativních zastoupení analytů, které jsou součástí kapitoly 5.5.2. Následující popis shrnuje jejich podstatné charakteristiky textovou formou.

Lokální vytápění domácností

Na rozdíl od letní části kampaně nebylo možno v rámci zimní kampaně ani při souhrnném modelování obou kampaní rozlišit individuální vytápění biomasou od vytápění uhlím. Důvodem je pravděpodobně skutečnost, že oba typy paliva jsou v chladné polovině roku využívány současně a v okolí neexistují lokality, které by měly výrazně odlišné zastoupení těchto druhů paliv než lokality jiné. Emise z obou těchto typů zdrojů v topné sezóně unikají prakticky ve stejné době ze stejných oblastí a není proto možné oddělit je statistickými metodami založenými na variabilitě emisí a lokalizaci těchto zdrojů. V přechodných ročních obdobích je provoz těchto zdrojů nesouvislý a nepravidelný a pomocí PMF lze proto zdroje využívající jiné druhy paliv poměrně snadno rozlišit.

Chemický profil faktoru individuálního vytápění se vyznačuje dominantním zastoupením PAH včetně retenu a picenu, EC, zvýšeným podílem levoglucosanu a některých těžkých kovů

(As, Se), hopenů a oxidů dusíku. Jedná se o jediný identifikovaný faktor, který se vyznačuje výrazně vyšším podílem $17\alpha(\text{H})$ - $21\beta(\text{H})$ - 22R -homohopanu oproti $17\alpha(\text{H})$ - $21\beta(\text{H})$ - 22S -homohopanu. U všech ostatních faktorů je podíl R a S-homohopenů opačný nebo se jejich koncentrace v profilu blíží nule.

Denní chod příspěvků je silně kolísavý s maximy v noci, ale rozdíl den/noc není při stabilním zimním vytápění zdaleka tak výrazný jako v přechodném nebo letním období, kdy dochází pouze k přitápění a ohřevu teplé užitkové vody v podvečerních až nočních hodinách.

Lokální vytápění domácností nekvalitním palivem

Jedná se o faktor, který v rozporu s obecným metodickým doporučením pro použití PMF není zcela nezávislý na ostatních, konkrétně zejména na faktoru „lokální vytápění domácností“. Tato skutečnost má ale reálný základ. Jedná se pravděpodobně o stejné zdroje, ale při používání výrazně méně kvalitních paliv nebo při nelegálním spalování odpadu, přičemž podle míry těchto excesů se vliv této skupiny zdrojů blíží více či méně faktoru „lokální vytápění domácností“. Tyto faktory proto nejsou nezávislé ani ve skutečnosti.

Chemický profil je podobný jako v případě příbuzného faktoru „lokální vytápění domácností“, ale s vyšším zastoupením širokého spektra kovů (Sb, Cd, Ag, Sn, Zn, Pb), které mohly pocházet z plastů a barevného tisku nebo jiných pigmentů, a naopak relativně nižší koncentrací arsenu pocházejícího převážně z uhlí. Relativní poměr $17\alpha(\text{H})$ - $21\beta(\text{H})$ - 22R -homohopanu a $17\alpha(\text{H})$ - $21\beta(\text{H})$ - 22S -homohopanu je přibližně vyrovnaný s mírnou převahou $17\alpha(\text{H})$ - $21\beta(\text{H})$ - 22S -homohopanu.

Časový chod byl v hodnoceném období výrazně kolísavý, zejména v letním období. Pozoruhodný je relativně vyšší procentuální podíl imisního příspěvku tohoto faktoru na celkové imisní koncentraci $\text{PM}_{2.5}$ v teplé polovině roku (viz příloha č. 4). To může být způsobeno faktem, že množství spalovaných odpadů v domácnostech v teplé polovině roku v poměru k množství „čistého“ paliva je pravděpodobně podstatně vyšší než v topné sezóně.

Regionální aerosol

Charakteristickým rysem tohoto faktoru ovlivňujícího kvalitu ovzduší je vysoké zastoupení dusíkatých iontů (NH_4^+ , NO_3^-) v kombinaci se sírany, resp. sírou, kovy (V, Se, Sn, In, As), a také hopeny a zvýšenými příspěvky OC. Podobně jako v případě chemického profilu vytápění domácností je relativní zastoupení OC v podpisu překvapivě nízké. Je to způsobeno skutečností, že procentuálně nejvýznamnější podíl OC je tvořen pravděpodobně biogenní podílem v profilu resuspenze ze zemského povrchu (viz popis tohoto fingerprintu níže). V podpisu regionálního aerosolu je zjevný vliv spalování uhlí v individuálních topeništích (síra, vanad, selen, arsen) a pravděpodobně také automobilové dopravy (dusíkaté ionty a NO_x).

Časový průběh příspěvku tohoto faktoru se vyznačuje o něco nižší kolísavostí v průběhu měření oproti lokálně působícímu vytápění domácností. V zimním období bylo zaznamenáno několik sekvencí po sobě jdoucích dnů zvýšených hodnot, kdy koncentrace na rozdíl od fingerprintů lokálních zdrojů neklesají tak rychle k nízkým hodnotám, což svědčí o znečištění transportovaném z větších vzdáleností. Při některých imisně nepříznivých epizodách v zimě byl zaznamenán zřetelný opožděný nástup imisního příspěvku tohoto faktoru za špičkou příspěvku faktoru vytápění domácností, což pravděpodobně souvisí s postupným vznikem regionálního sekundárního aerosolu.

Resuspenze ze zemského povrchu

Ve fingerprintu jsou nápadné zejména zvýšené podíly prvků zemské kůry (Al, Ba, Sr, Ti). Ve srovnání s ostatními chemickými profily jsou doprovázeny zvýšenými koncentracemi ozónu, což souvisí s dominantním podílem této části znečištění v teplé polovině roku, tedy v období s intenzivním slunečním zářením. Vysoký podíl organického uhlíku a současně nízký podíl elementárního uhlíku nasvědčují přítomnosti významné biogenní složky, pravděpodobně zejména pylu v období letní části měřicí kampaně (převážně červen).

Na první pohled obtížně vysvětlitelné jsou v tomto podpisu zvýšené podíly některých kovů, zejména V, Se, které jsou typické pro dálkový transport průmyslového znečištění (typicky spalování topných olejů a uhelná energetika), a také Sb, Mo a Sn. Za pozornost stojí také související indikované mírně zvýšené procentuální zastoupení iontů typických pro mořský aerosol (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}). Ke zvýšeným podílům resuspendované prašnosti v odebraných vzorcích dochází zejména ve dnech se silným větrem, trvajícím podstatnou část dne. Tyto podmínky umožňují rychlý přenos znečištění na velké vzdálenosti. Je proto pravděpodobné, že těžké kovy typické pro dálkový transport znečištění, které se akcesoricky projevují v podpisu resuspenze, jsou při těchto meteorologických podmínkách transportovány na území ČR spolu s aerosolem marinního původu. Ačkoliv je jejich procentuální zastoupení ve srovnání s ostatními fingerprinty významné, nepředstavují u faktoru „resuspenze ze zemského povrchu“ významnou část hmoty suspendovaných částic $\text{PM}_{2.5}$.

Resuspenze ze zemského povrchu vykazuje významné kolísání v průběhu denní doby v závislosti na rychlosti větru s maximy ve dne. V ročním chodu je zcela dominantní teplá polovina roku, v průběhu zimní měřicí kampaně byl příspěvek tohoto faktoru blízký nule. Roční chod imisního příspěvku je dobře patrný z grafů v příloze č. 4.

Dálkový transport

Jedná se o částice tvořené především mořskou solí (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}), sírany, dusičnany a ozónem se zastoupením hopanů, ve kterých výrazně převažuje $17\alpha(\text{H})$ - $21\beta(\text{H})$ - 22S -homohopan nad $17\alpha(\text{H})$ - $21\beta(\text{H})$ - 22R -homohopanem. Méně významně se v podpisu projevují také NO_x . V chemickém profilu se projevuje také malý podíl emisí ze spalování uhlí (As, Se), pravděpodobně ve velkých průmyslových energetických zdrojích. Je zřejmé, že se jedná o směs marinního aerosolu se sekundárním aerosolem vzniklým z primárních antropogenních emisí v průběhu transportu.

Vyznačuje se časovým průběhem bez výrazného denního a nočního chodu a relativně nejnižším rozdílem imisního příspěvku mezi letní a zimní částí kampaně ze všech identifikovaných faktorů.

Hutnictví železa

Vyznačuje se dominantním podílem Fe a Mn, které jsou doprovázeny Mo a relativně méně významně také širokým spektrem dalších kovů (Pb, In, Tl, Ag, Co, Zn, As, Se, Sr), což odpovídá komplexní výrobě železa, oceli a návazných výrob v rozsáhlém průmyslovém areálu v okolí podniku TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s.

Časový průběh faktorového imisního příspěvku je extrémně kolísavý v závislosti na směru větru (velmi vysoké imisní příspěvky v případě, kdy emisní vlečka směřuje na měřenou lokalitu

od hutního podniku, téměř nulové příspěvky v ostatních případech). Velikost imisního příspěvku v teplé a chladné části odběrové kampaně byla obdobná.

5.5.4 Analýza pravděpodobných zdrojových oblastí znečištění

Na základě časových řad imisních příspěvků identifikovaných faktorů ke koncentraci suspendovaných částic $PM_{2.5}$ a hodinových hodnot směru a rychlosti větru na jednotlivých měřených lokalitách byly vypracovány koncentrační růžice a grafy CPF (Conditional Probability Function), ze kterých jsou zřejmé hlavní směry původu znečištění. Koncentrační růžice zahrnují všechny modelem vypočtené hodnoty, CPF byla vizualizována pro hodnoty imisních příspěvků překračující 90. percentil. Pro uvedené analýzy byly směr a rychlost větru nejprve vektorově agregovány na časové rozlišení odběrové kampaně, tj. 12 hodin. Z níže uvedeného textu budou zřejmé některé rozpory mezi hodnocením pomocí koncentračních růžic a pomocí CPF. Důvodem je nízká přesnost CPF v důsledku členění směrů větru pouze na 90°. Podrobnější dělení nebylo možné s ohledem na nedostatečný (nulový) počet hodnot z některých směrů. Výsledek CPF je proto nutno považovat za orientační. Do analýzy pomocí CPF vstupuje oproti koncentračním růžicím nejistota spojená s další statistickou operací (výpočet pravděpodobnostní funkce). Vyšší vypovídací hodnotu je nutno přisuzovat koncentračním růžicím, které jsou na rozdíl od CPF zkonstruovány pouze na základě modelem vypočtených hodnot při naměřeném proudění z jednotlivých směrů bez dalších statistických operací, které zvyšují celkovou míru nejistoty hodnocení.

Detail určení zdrojových oblastí znečištění byl omezen zejména počtem disponibilních dat (okolo 130 hodnot pro každou lokalitu). Nebylo proto účelné aplikovat některé metody, které by umožnily určit také přibližnou geografickou polohu zdroje, ale jsou náročnější na velikost statistického souboru, např. PSCF (Potential Source Contribution Function).

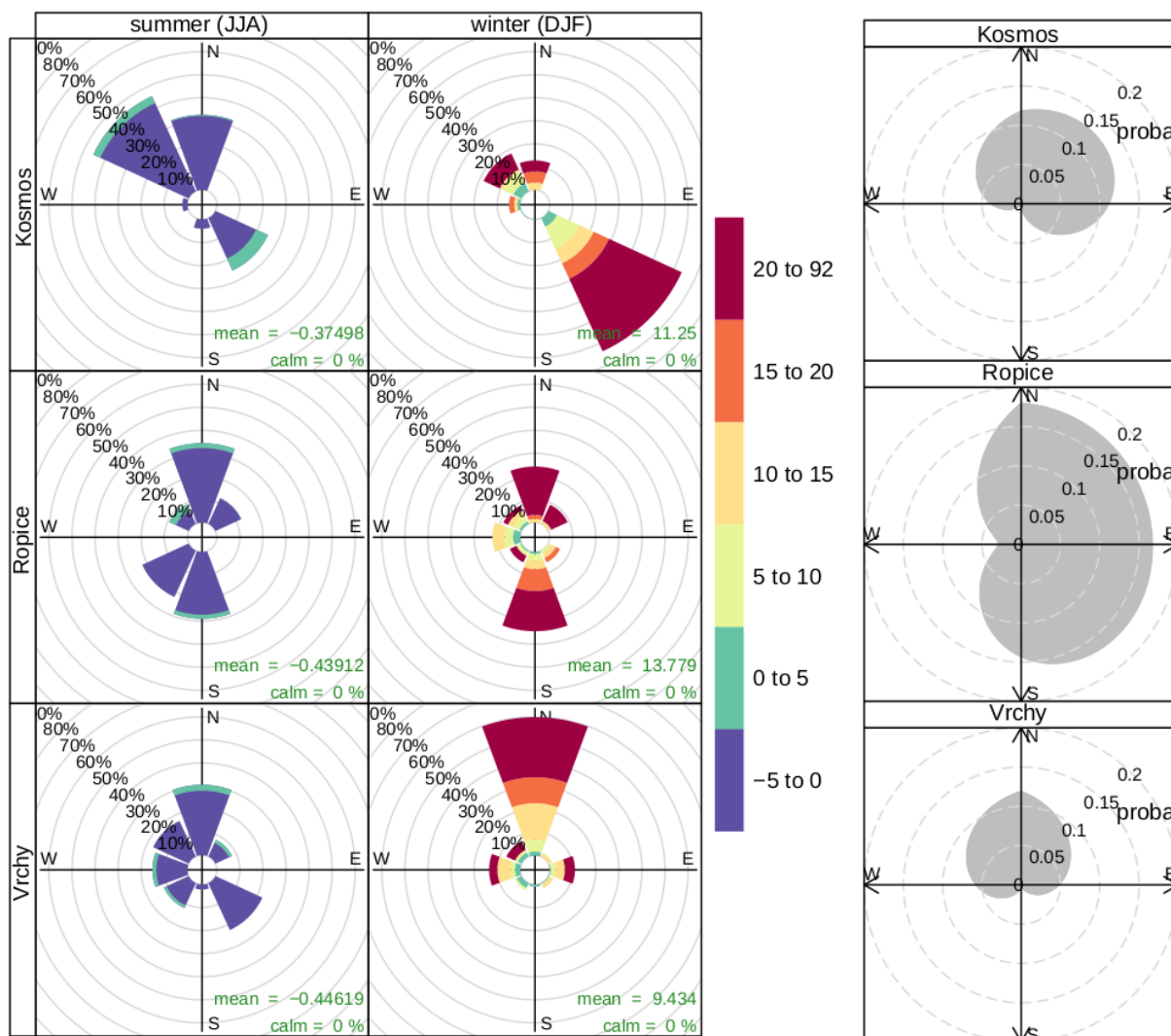
Identifikace pravděpodobných oblastí původu znečištění z identifikovaných zdrojů, resp. hlavních směrů jeho původu, je na základě takto vypracovaných grafů komentována v následujícím textu.

Lokální vytápění domácností

Ze sezónně členěných koncentračních růžic vyplývá, že zimní příspěvky jsou v souladu s očekáváním na všech lokalitách řádově vyšší, a že na městské, resp. předměstské, lokalitě Kosmos a Ropice je významný zejména vliv znečištění z údolí Olše. V lokalitě Kosmos se jedná o příspěvek zejména z hustě zalidněné Jablunkovské brázd (pravděpodobně vliv Vendryně, Bystřice a dalších obcí) a ze severozápadu až severu (pravděpodobně periferie Třince). V Ropici je hlavní část znečištění z individuálního vytápění domácností transportována ze dvou převažujících směrů – severu (údolí Olše) a jihu, v obou případech se s ohledem na průměrné vysoké příspěvky z těchto směrů jedná pravděpodobně o vliv místní blízké obytné zástavby. Lokalita Vrchy je z tohoto hlediska výrazně odlišná. Dominantní část znečištění z individuálního vytápění zde tvoří přenos ze severu a s ohledem na četnost jak vysokých, tak i nízkých imisních příspěvků se pravděpodobně jedná o kombinaci místních zdrojů z části Vrchy i vliv vzdálenějších oblastí, např. zástavby části Nebory, které se dle dostupných dat (viz obrázek 9) vyznačují relativně vysokými emisemi z individuálního vytápění.

Analýza pomocí CPF se pouze částečně shoduje s výše uvedenými zjištěními. Problematická je interpretace zdrojové oblasti znečištění v lokalitě Kosmos, kde CPF indikuje pravděpodobné hlavní původce severně až východně a zcela pomíjí jihovýchodní směr, tj. transport od

Jablunkovské brázdy. V lokalitách Ropice a Vrchy výsledek obou použitých metod v zásadě souhlasí. Důvodem mohou být imisní příspěvky od Jablunkovské brázdy, které jsou sice v průměru významné, ale nepřekračují 90. percentil naměřených, resp. predikovaných hodnot. Znečištění z tohoto směru je stabilně zvýšené a trvá po většinu času, takže silně ovlivňuje průměrný faktorový imisní příspěvek, nevytváří ale nejvyšší špičky, které přicházejí naopak od severu a severozápadu.



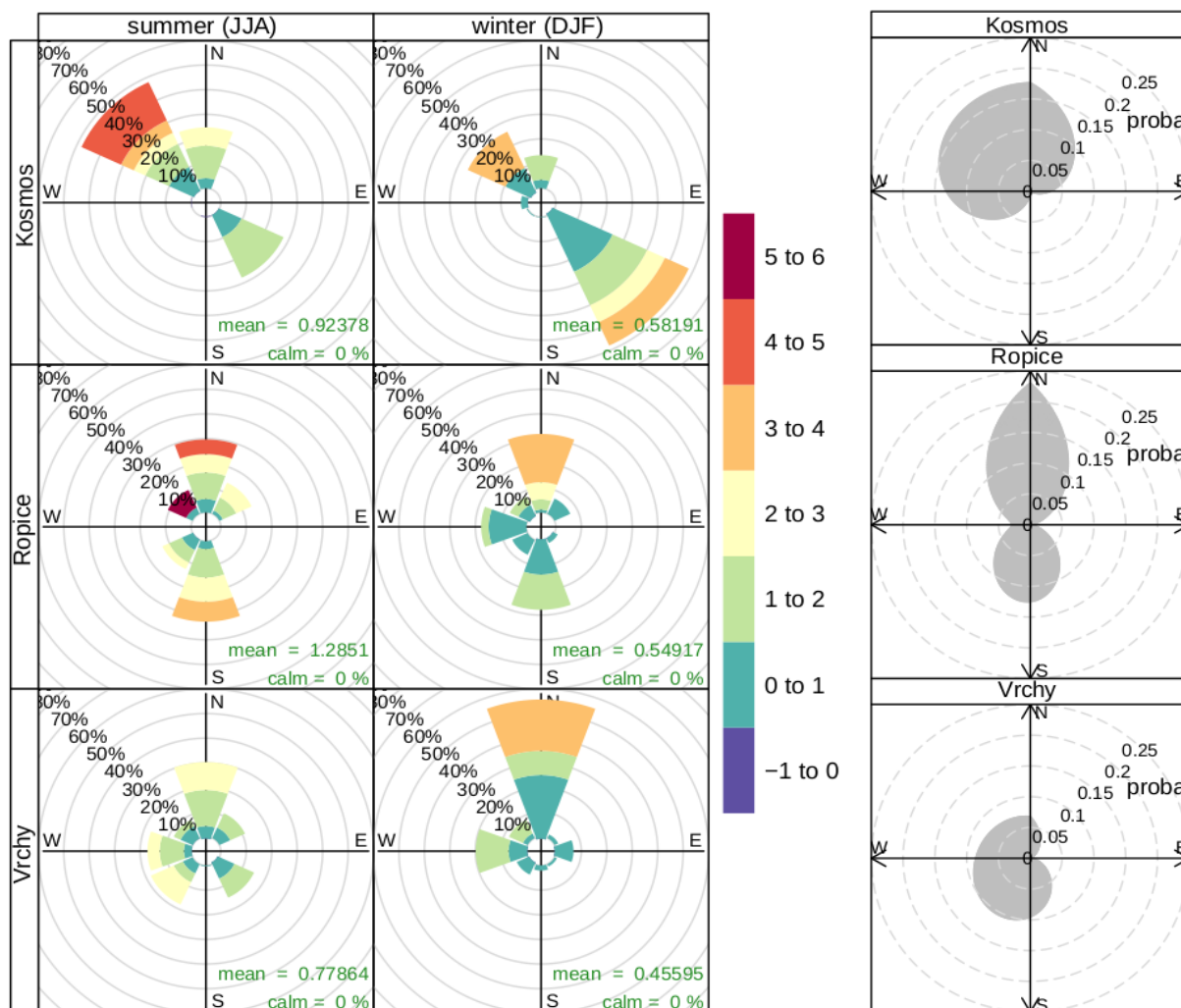
Obrázek 34: Koncentrační růžice a celkový graf CPF faktoru „lokální vytápění domácností“ za období 5. 6. 2018 – 4. 7. 2018 a 14. 12. 2018 – 17. 1. 2019

Lokální vytápění domácností nekvalitním palivem

Ve srovnání s předchozím faktorem je zde značný rozdíl v sezónnosti imisních příspěvků. V lokalitách Ropice a Kosmos se vysoké imisní příspěvky vyskytují i mimo topnou sezónu, na některých lokalitách jsou dokonce vyšší než v zimě. Ukazuje to na jiný režim provozu tohoto typu zdroje nebo pravděpodobněji na použití jiného paliva. Může se jednat o vyšší podíl spalovaného odpadu v poměru ke „standardním“ palivům v teplé polovině roku, kdy je vytápění provozováno prakticky pouze pro ohřev teplé užitkové vody, popř. ke krátkodobému zvýšení teplotního komfortu v lokálních topeništích (krbové vložky, krby apod.).

V lokalitě Kosmos dochází k nejintenzivnějším koncentračním špičkám tohoto faktoru při proudění od severozápadu (periferie Třince v údolí Olše, pravděpodobně nejde o lokální zdroj v těsné blízkosti měřicího místa). Významný příspěvek se zde vyskytuje v teplé i chladné polovině roku, v zimě však převažuje přenos znečištění od jihovýchodu. V Ropici a v lokalitě Vrchy jsou zdrojové oblasti shodné s faktorem „lokální vytápění domácností“.

Analýzy pomocí CPF se u tohoto faktoru v zásadě shoduje s koncentračními růžicemi, pouze v lokalitě Kosmos neidentifikuje příspěvky z Jablunkovské brázdy (pravděpodobně nedosahují 90. percentilu faktorového příspěvku).

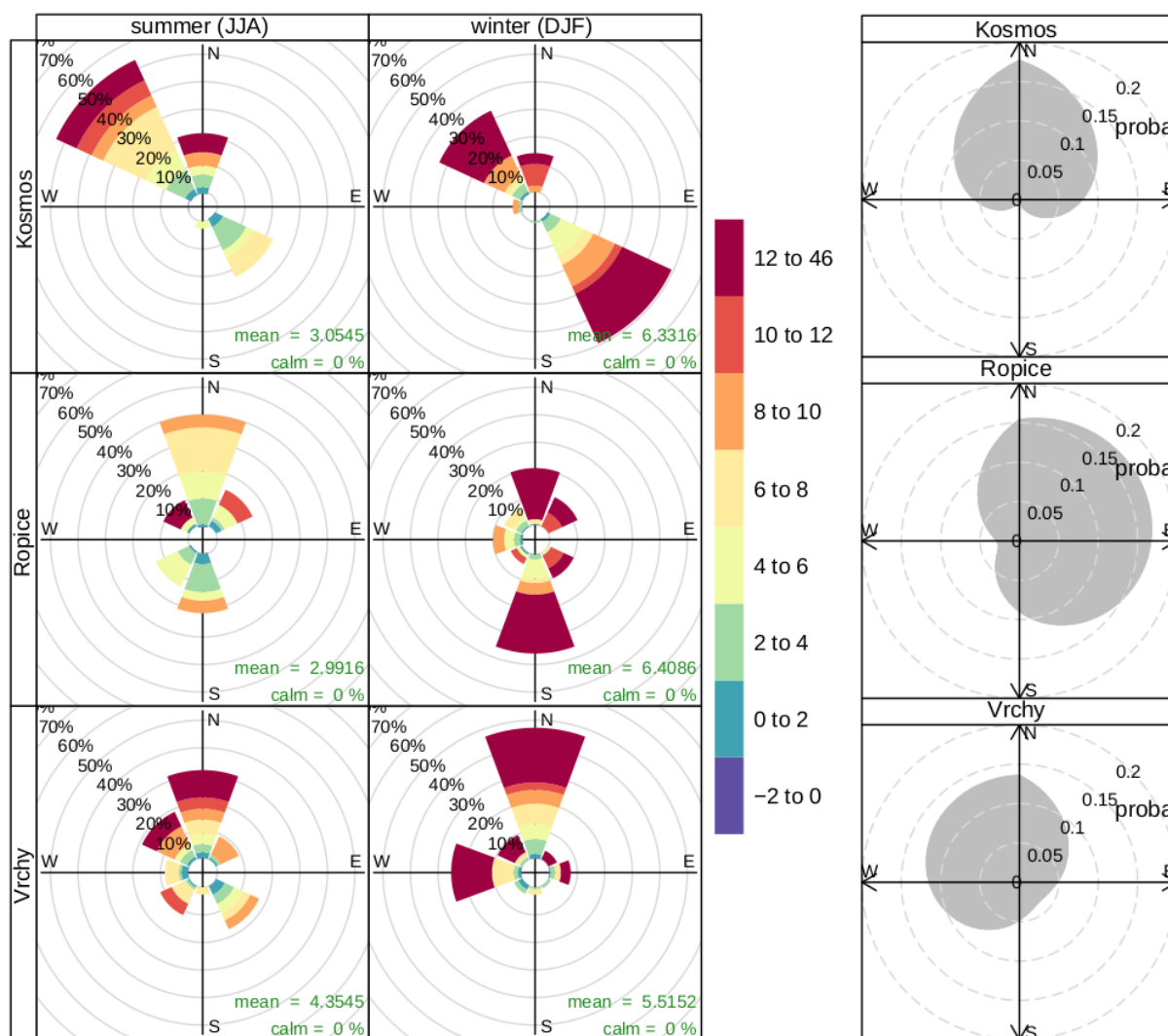


Obrázek 35: Koncentrační růžice a celkový graf CPF faktoru „lokální vytápění domácností nekvalitním palivem“ za období 5. 6. 2018 – 4. 7. 2018 a 14. 12. 2018 – 17. 1. 2019

Regionální aerosol

Jedná se o celoročně významný faktor kvality ovzduší, rozdíl jeho průměrného imisního příspěvku mezi teplou a chladnou polovinou roku není tak výrazný jako v případě individuálního vytápění domácností. V lokalitách Kosmos a Ropice byl zimní příspěvek oproti letnímu přibližně dvojnásobný a preferenční směry původu znečištění jsou obdobné jako v případě individuálního vytápění domácností (z Jablunkovské brázdy a níže položených míst v údolí Olše, v Ropici ale nejvýznamněji od jihu). V lokalitě Vrchy naopak z hlediska maxim i průměrné hodnoty příspěvků dominují severní až západní směry proudění, což ukazuje na transport znečištění nejen z okolí města Třinec, ale také Ostravska nebo obcí situovaných tímto směrem.

Shoda výsledku CPF s koncentračními růžicemi je dobrá s výjimkou lokality Kosmos, kde CPF neidentifikuje jako pravděpodobný sektor původu znečištění Jablunkovskou brázdu a označuje shodně pouze severozápadní a severní směr, pravděpodobně ze stejných důvodů, jaké jsou popsány u předchozích faktorů.



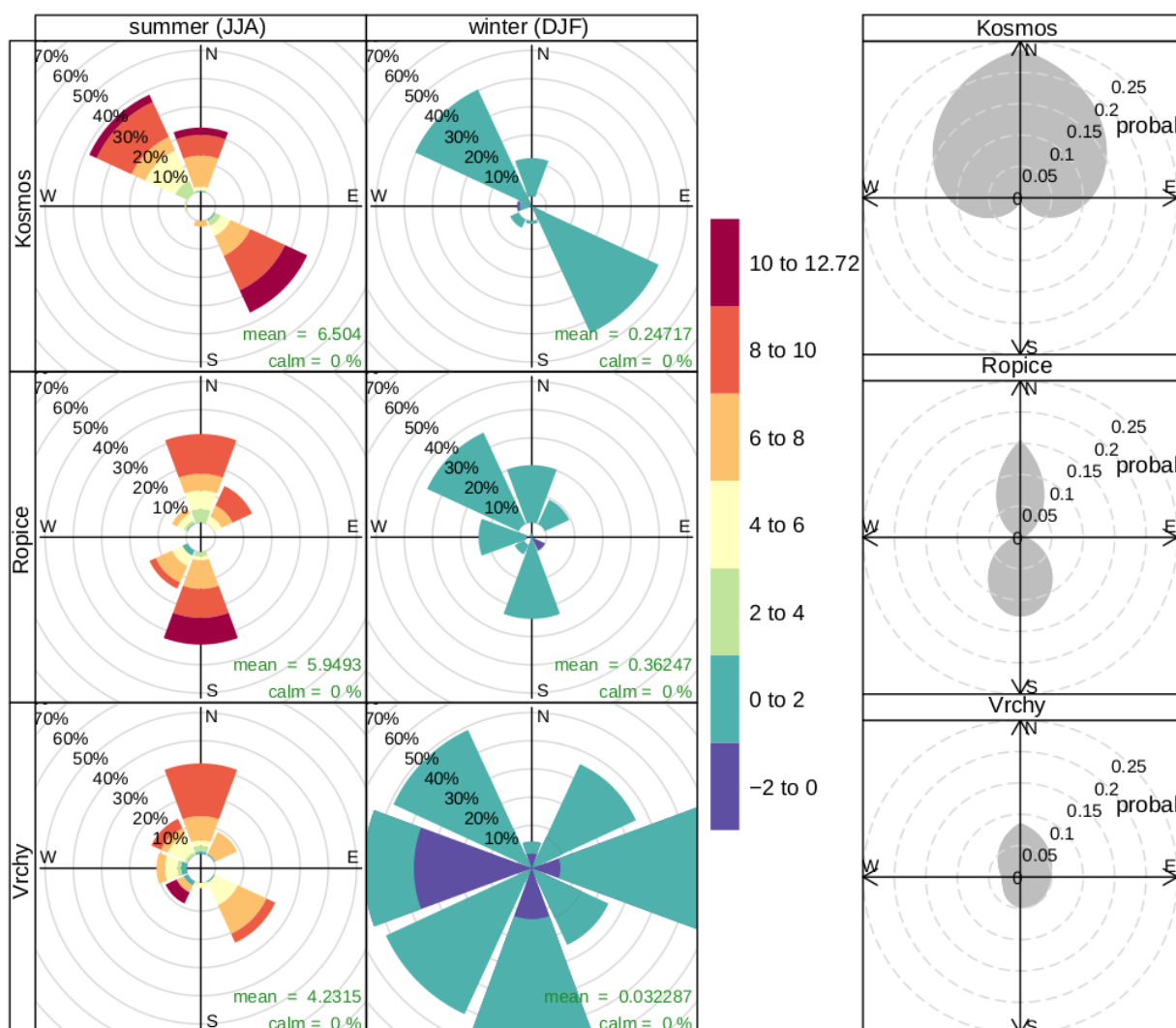
Obrázek 36: Koncentrační růžice a celkový graf CPF faktoru „regionální aerosol“ za období 5. 6. 2018 – 4. 7. 2018 a 14. 12. 2018 – 17. 1. 2019

Resuspenze ze zemského povrchu

Vliv tohoto faktoru je omezen prakticky pouze na teplou polovinu roku, protože za vlhka nebo mrazu k resuspenzi prakticky nedochází. Hodnotit zde lze proto pouze letní hodnoty, zimní jsou i podle níže uvedených koncentračních růžic řádově nižší a s přihlédnutím k nejistotě modelování pomocí PMF je lze považovat za nulové.

V lokalitě Kosmos převažují imisní příspěvky od jihovýchodu a severozápadu a v lokalitě Ropice od severu a zejména jihu. V lokalitě Vrchy jsou špičky imisních příspěvků spojeny s jihozápadním směrem proudění, pravděpodobně od blízkého místního zdroje (polní práce), na průměrný imisní příspěvek tohoto faktoru zde ale měly v době měření rozhodující vliv meteorologické situace se severním a jihovýchodním směrem proudění.

Podobně jako v případě regionálního aerosolu se výsledek analýzy pomocí CPF shoduje s koncentračními růžicemi s výjimkou proudění od Jablunkovské brázd v lokalitě Kosmos (při použití CPF nebyla označena jako zdrojová oblast).



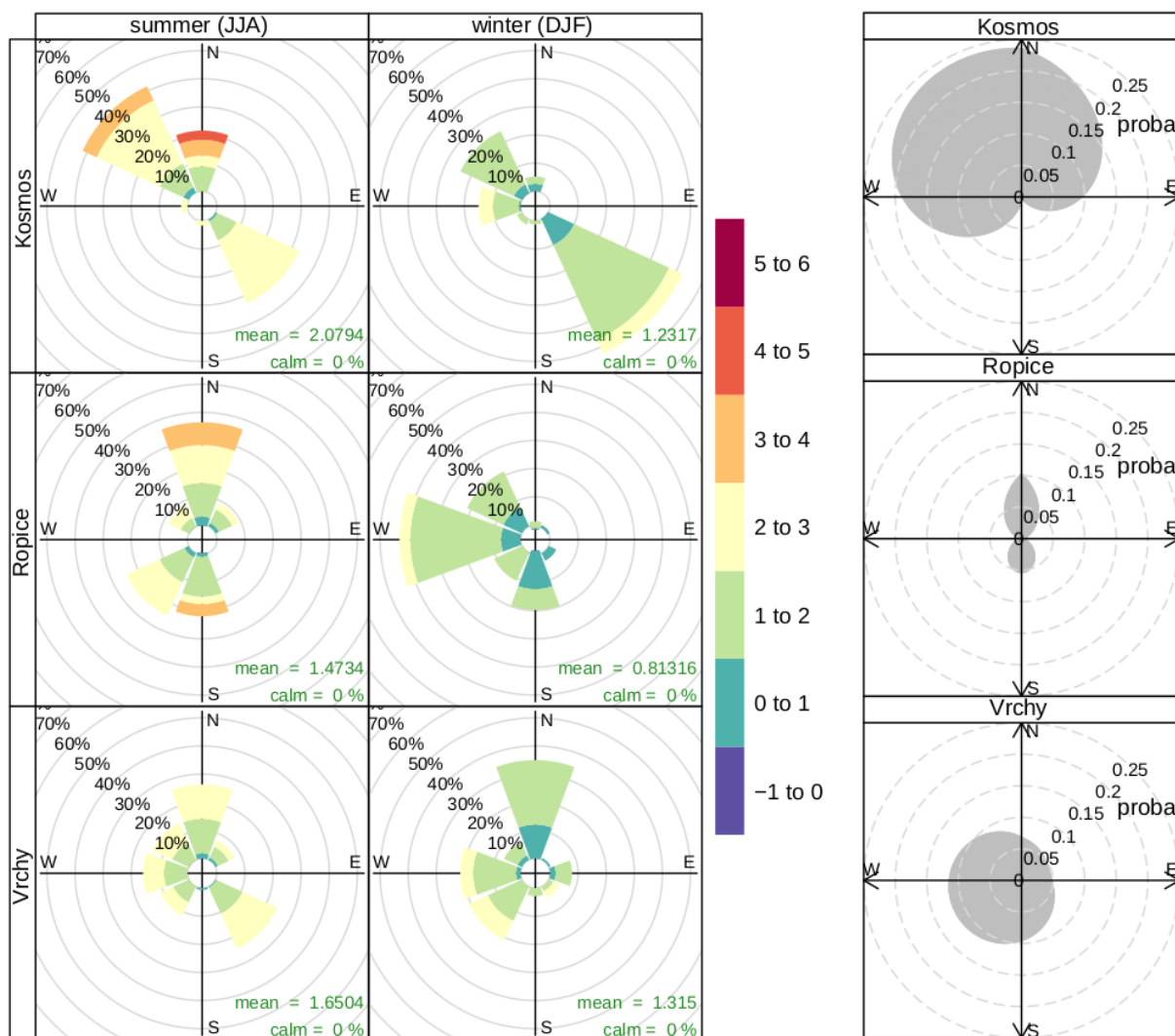
Obrázek 37: Sezónně členěná koncentrační růžice a celkový graf CPF faktoru „resuspenze ze zemského povrchu“ za období 5. 6. 2018 – 4. 7. 2018 a 14. 12. 2018 – 17. 1. 2019

Dálkový transport znečištění

Dálkový transport znečištění je celoročně působícím faktorem, přičemž zejména v lokalitách Kosmos a Ropice byl v době projektových měření průměrný letní imisní příspěvek oproti chladné polovině roku vyšší.

Hlavní průměrný příspěvek dálkového přenosu pochází ze severozápadu až severu. Méně významná část dálkově transportovaného znečištění byla v lokalitách Kosmos a Vrchy zastížena v obdobích s jihovýchodním větrem, tedy z koridoru Jablunkovské brázd, a v Ropici z jižního směru.

Analýza pomocí CPF znázorňuje možný původ dálkového transportu nejasně. V lokalitě Kosmos určuje převažující severozápadní směr, což je v souladu s koncentrační růžicí, v lokalitě Ropice severní směr a v lokalitě Vrchy směr jižní až severozápadní. S výjimkou lokality Kosmos jsou ale všechny vypočtené pravděpodobnosti transportu znečištění z těchto směrů nízké (výsledek CPF má nízkou vypovídací hodnotu), což pravděpodobně souvisí se skutečností, že se jedná o faktor s relativně nízkou časovou a směrovou variabilitou příspěvku a 90. percentil použitý pro konstrukci grafu CPF proto vylučuje některé směry původu znečištění, přesto, že jsou z hlediska průměrného příspěvku podstatné.

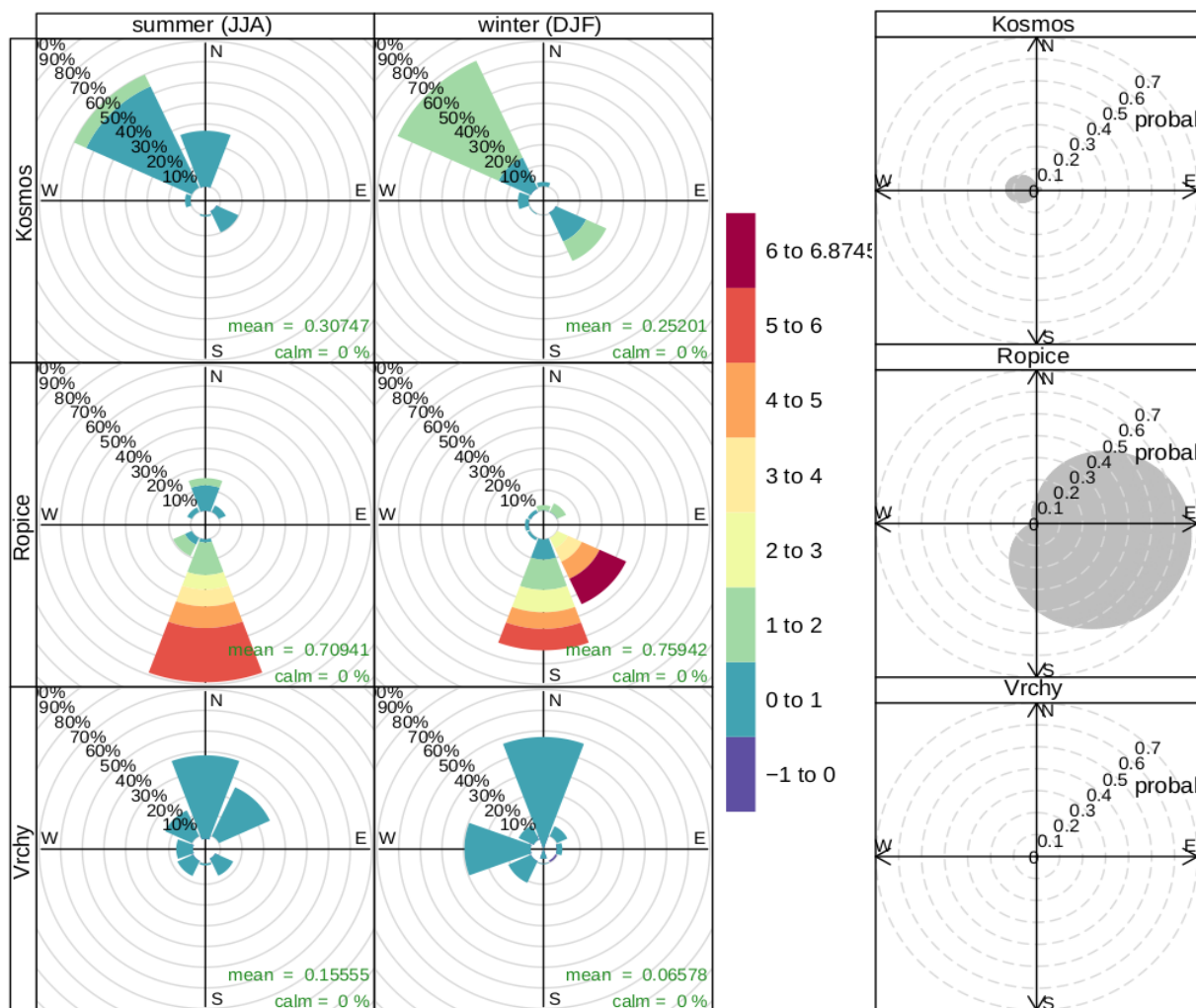


Obrázek 38: Sezónně členěná koncentrační růžice a celkový graf CPF faktoru „dálkový transport“ za období 5. 6. 2018 – 4. 7. 2018 a 14. 12. 2018 – 17. 1. 2019

Souhrnně lze konstatovat, že dálkově přenášené znečištění suspendovanými částicemi PM_{2.5} je do posuzovaných lokalit transportováno spíše ze západně až severně orientovaných směrů s méně významným příspěvkem ze směru od Jablunkovské brázdy.

Hutnictví železa

Faktor „hutnictví železa“ se vyznačoval malým rozdílem imisního příspěvku v letním a zimním období. K významným koncentračním špičkám docházelo v teplé i chladné části roku. Jedná o faktor, který lze směrově dobře identifikovat. V lokalitě Kosmos, které leží v návětrí integrovaného hutního podniku, se vysoké imisní příspěvky vyskytovaly při proudění se severozápadního směru. V Ropici, která je situována v závětrí hutních zdrojů, se jednalo dominantně o příspěvky z jihu a jihovýchodu. Na pozadové venkovské lokalitě Vrchy dosahují vypočtené imisní příspěvky tohoto faktoru nevýznamně nízkých hodnot a s ohledem na nejistotu modelu je určení směru nespolehlivé. Indikován je původ severně od měřicího místa. Interpretace CPF a koncentrační růžice je obdobná. Imisní příspěvky tohoto faktoru pocházejí s vysokou pravděpodobností z areálu podniku TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s.



Obrázek 39: Sezónně členěná koncentrační růžice a celkový graf CPF faktoru „hutnictví železa“ za období 5. 6. 2018 – 4. 7. 2018 a 14. 12. 2018 – 17. 1. 2019

5.5.5 Předběžné vyhodnocení opatření PZKO s ohledem na získané výsledky

Stávající Program zlepšování kvality ovzduší aglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek CZ08A (dále jen PZKO) definuje velké množství doporučených druhů opatření pro jednotlivé typy zdrojů. Obsahem PZKO v současnosti není jasně stanovený rozsah jednotlivých opatření ani jejich prioritizace.

Identifikace zdrojů na Třinecku vyhodnocená v předkládané zprávě zřetelně ukazuje, jaké zacílení opatření může přinést největší pozitivní efekt. Stanovení imisních podílů typů zdrojů pomocí PMF, včetně přibližného určení původu sekundárního aerosolu, který je jinými metodami obtížně hodnotitelný, poskytuje pádné argumenty pro stanovení priorit ochrany ovzduší, které dosud v PZKO chybí.

Z provedeného vyhodnocení vyplývá, že **kvalitu ovzduší na Třinecku lze rozhodující měrou zlepšit opatřeními provedenými na území ČR**. Podíl přenosu ze zahraničí je zde sice významný, ale výrazně nižší než v příhraničí na Ostravsku (nepředstavuje většinu znečištění). S ohledem na identifikované podíly zdrojů je zřejmé, že **hlavní prioritou na Třinecku je významně snížit primární emise z individuálního vytápění domácností**, které působí největší příspěvek znečištění ovzduší a s ním spojených zdravotních rizik. Zacílením opatření na tuto skupinu zdrojů **bude podpořeno i řešení druhé nejvýznamnější priority, kterou je omezení imisního příspěvku faktoru označeného jako „regionální aerosol“** (popis identifikovaných faktorů je obsahem kapitoly 5.5.3). Jak ukazují modelové výsledky, i tato část znečištění vzniká významnou měrou z primárních emisí z vytápění domácností. Pro omezení vlivu regionálního aerosolu lze dále doporučit provedení opatření k omezení emisí z automobilové dopravy ve větších sídlech Ostravska (odpovídající opatření na polském území zde s ohledem na územní působnost PZKO nejsou zmiňována). Vzhledem k prioritě řešit na Třinecku zejména emise z vytápění domácností by ale **podpora opatření v dopravě měla být zaměřena pouze na vybrané aktivity v konkrétních lokalitách, u nich lze prokazatelně doložit příznivý poměr nákladů k imisním přínosům**, např. na základě zdrojově orientovaného modelování. **Další faktory kvality ovzduší v současnosti na Třinecku nejsou regionální prioritou**, na ně zaměřená opatření mohou být účelná pouze na lokální úrovni. Uvažovat o nich má smysl v případě, že jejich lokální pozitivní efekt bude doložen konkrétním detailním posouzením.

Výsledky identifikace zdrojů pomocí PMF a z nich vyplývající **prioritní opatření jsou v souladu s analytickou částí Aktualizace PZKO a NPSE České republiky vypracovanou v roce 2019**, která z tuzemských zdrojů rovněž jako hlavní příčinu znečištění suspendovanými částicemi PM_{2.5} identifikuje individuální vytápění domácností, následované sekundárním aerosolem a přenosem ze zahraničí.

6 ZÁVĚREČNÉ SHRNUÍ A DISKUSE VÝSLEDKŮ

V rámci projektu TA ČR TITSMZP704, výsledku V1 (Identifikace zdrojů znečišťování ovzduší ve třech vybraných oblastech ČR) byly v letech 2018 a 2019 provedeny přípravné, terénní, laboratorní a vyhodnocovací práce s cílem identifikovat hlavní zdroje znečišťování na Třinecku a jejich podíly na celkovém znečištění ovzduší suspendovanými částicemi PM_{2.5} v této oblasti.

Identifikace zdrojů byla provedena ve 3 měřicích lokalitách (Třinec-Kosmos, Třinec-Ropice a Třinec-Nebory, místní část Vrchy). V souladu s projektem byla založena na souběžném kampaňovém měření imisních koncentrací spektra látek, zejména anorganických a organických markerů znečištění z různých typů zdrojů, jehož výsledky byly následně zpracovány matematickým modelem Positive Matrix Factorization (PMF). Zvolená koncepce řešení se ukázala jako funkční, z provedených prací vyplynula řada zkušeností pro zefektivnění identifikace zdrojů znečišťování ovzduší v dalších územích.

Období provedených projektových měření imisí (cca měsíc v teplé a měsíc v chladné polovině roku) se dobře shodovalo s dlouhodobým průměrem z hlediska zastoupení jednotlivých směrů větru. Rychlosti proudění v době měření byly ale o cca 20 % vyšší a imisní koncentrace suspendovaných částic PM_{2.5} o cca 1/3 nižší než dlouhodobé průměrné hodnoty naměřené v síti imisního monitoringu. Tomu odpovídá omezená reprezentativnost dosažených výsledků. Je pravděpodobné, že tyto rozdíly jsou způsobené absencí výrazných smogových epizod v průběhu měření. Oproti výsledkům v předkládané zprávě lze proto ve skutečnosti očekávat vyšší podíly individuálního vytápění domácností a regionálního aerosolu na úkor ostatních identifikovaných zdrojů. **Nejvyšší úroveň znečištění suspendovanými částicemi** byla měřicími kampaněmi v souladu s očekáváním zjištěna **v Ropici, o něco nižší v lokalitě Kosmos a výrazně nejnižší v pozadové lokalitě Vrchy.**

Při použitém způsobu identifikace zdrojů nebyl zjištěn významný rozdíl ve vypovídací schopnosti hodnocení založeného na využití testovaných metod laboratorních analýz kovů (ICP-MS a ED XRF). Oběma metodami bylo nalezeno řešení, které se v podstatných aspektech v rámci nejistoty modelování shoduje (počet identifikovaných faktorů a jejich imisní podíly na celkovém znečištění).

Nejistoty samotného modelu PMF jsou na dobré úrovni, nalezené řešení, které identifikovalo 6 faktorů (typů zdrojů znečišťování) je velmi stabilní, s vysokou mírou shody modelem predikovaných a skutečně naměřených hodnot a s vyhovujícími testy stability řešení. Modelem predikované faktory kvality ovzduší a vypočtené imisní příspěvky při různých směrech a rychlostech větru dobře odpovídají poloze skutečně existujících zdrojů znečišťování.

Nejvýznamnější část znečištění ovzduší suspendovanými částicemi PM_{2.5} je místního původu, tzn. pochází převážně z okruhu řádově jednotek km od hodnocených lokalit. **Dominantním zdrojem znečištění na všech třech měřených místech je individuální vytápění domácností pevnými palivy.** Zřetelně se zde projevuje imisní vliv vytápění uhlím i biomasou. Za pozornost stojí výrazně odlišný chemický profil těchto zdrojů v teplé a chladné polovině roku. Zřejmé je **významně vyšší relativní zastoupení širšího spektra těžkých kovů emitovaných z těchto zdrojů do ovzduší v teplé polovině roku, což pravděpodobně souvisí s rozšířeným spalováním odpadů** při krátkodobém zátopu, např. při ohřevu teplé užitkové vody. Nejvýznamnější část znečištění z individuálního vytápění domácností v Třinci a dalších

lokalitách v údolí Olše pochází z hustě zalidněného území Jablunkovské brázdy. V lokalitách mimo údolí Olše mají oproti lokalitám Kosmos a Ropice vyšší podíl místní zdroje, přesto modelové řešení indikuje, že přenos znečištění z údolí Olše významně ovlivňuje celé Třinecko. Individuální vytápění domácností je kromě identifikovaných faktorů „vytápění domácností“ a „vytápění domácností nekvalitním palivem“ zahrnuto částečně i ve faktoru „regionální aerosol“. Podle modelového řešení tedy **celkový podíl vytápění domácností na průměrné koncentraci suspendovaných částic PM_{2.5} na celém území Třinecka dosahuje včetně sekundárních částic přibližně 50 % až 60 %**. Jeho vliv je navíc pravděpodobně v předkládané zprávě mírně podhodnocen (podrobnosti uvedeny níže).

Druhým nejvýznamnějším faktorem kvality ovzduší na Třinecku je znečištění regionálního původu vznikající částečně v oblasti Třince, částečně transportované z Ostravska a polského příhraničí. Jedná se o směs primárních částic a sekundárního aerosolu. V zimě se jedná o sekundární aerosol síranového typu, pravděpodobně z individuálního vytápění domácností, transportovaný ze směru od Jablunkovské brázdy. V létě převažuje dusíkatý sekundární aerosol pocházející pravděpodobně z automobilové dopravy, který je transportován ze směru od Českého Těšína a Ostravska, v menší míře také z Třince. Faktor „regionální aerosol“ se na celkové průměrné koncentraci suspendovaných částic PM_{2.5} podílí přibližně čtvrtinou až více než třetinou, přičemž nejméně v Ropici a nejvíce na pozadové lokalitě Vrchy. Podobně jako individuální vytápění domácností je tento faktor pravděpodobně mírně podhodnocen, protože v průběhu projektové měřicí kampaně nenastaly silné smogové epizody. S přihlédnutím k tomuto zkrácení lze **dlouhodobý imisní průměr faktoru „regionální aerosol“ odhadovat na přibližně třetinu v údolí Olše a blízkém okolí až cca 40 % na vzdálenějších vesnických lokalitách Třinecka.**

Významným faktorem, který ovlivňuje koncentraci suspendovaných částic PM_{2.5}, je na všech hodnocených lokalitách, a tedy velmi pravděpodobně na celém Třinecku, také **resuspenze částic ze zemského povrchu**, která se na celkové průměrné roční koncentraci podílí **přibližně 15 až 20 %**. Tento druh znečištění vzniká téměř výhradně v teplé polovině roku, v zimě má podle provedeného posouzení okrajový význam (pouze jednotky procent celkové koncentrace), nelze ale vyloučit lokálně vyšší imisní příspěvky tohoto faktoru v chladné polovině roku v blízkosti silnic v důsledku zimního posypu.

Málo proměnlivým faktorem v rámci celého Třinecka a celého roku je dálkový přenos znečištění. Jedná se o primární i sekundární, převážně anorganické částice přírodního i antropogenního původu. Z obsahu mořské soli a směru větru v době měření lze usuzovat na pravděpodobný původ v oblasti Baltského a Severního moře, podpis faktoru ale nese také zřetelné známky akcesorických dálkových emisí ze spalování uhlí a ropných paliv. **Podíl dálkově transportovaného znečištění na průměrné roční koncentraci suspendovaných částic PM_{2.5} je na Třinecku okolo 10 % s výjimkou lokalit silně ovlivněných místními zdroji** (např. závětrí TŘINECKÝCH ŽELEZÁREN, a.s. severozápadně od Třince).

Naopak velmi proměnlivým faktorem s vysokými špičkami a velmi nízkými až nulovými imisními příspěvky i v průběhu několika hodin je hutní výroba ve městě Třinec. V průběhu roku se četnost těchto vysokých a nízkých hodnot významně nemění. Jedná se o lokálně působící faktor, který zaujímá významný podíl na celkové imisní koncentraci suspendovaných částic PM_{2.5} do vzdálenosti nižších jednotek kilometrů od předmětného integrovaného hutního podniku (zejména ve směru převládajícího proudění, ve kterém je dosah vlivu železáren delší). **Hutní zdroje znečišťování ovzduší mají významný vliv na kvalitu ovzduší mezi Třincem**

a Českým Těšínem, kde jejich průměrný roční imisní příspěvek ke koncentraci suspendovaných částic $PM_{2.5}$ dosahuje přibližně 5–10 %. Směrem do Jablunkovské brázdy je vliv méně významný. Již na jihovýchodním okraji města Třinec je vypočten imisní příspěvek ve výši cca 2 %, ale s ohledem na nejistoty modelu u takto nízkých příspěvků je zde vhodné konzervativně počítat s hodnotami do 5 %. V území severně a jižně od areálu podniku je už od prvních jednotek kilometrů imisní příspěvek hutního průmyslu nevýznamný (okolo nebo pod 1 % průměrné roční koncentrace $PM_{2.5}$).

Přestože provedené matematické testy stability řešení a ověření reálnosti výsledků modelování provedeného pomocí PMF indikují jeho dobrou vypovídací schopnost, je zjevné, že trpí některými nejistotami, které nebylo možné v průběhu prací odstranit ani výrazně zmírnit. Porovnáním meteorologických poměrů (větrných růžic) za dobu projektových odběrových kampaní s dlouhodobými průměry měření na stanici Třinec-Kosmos byla zjištěna dobrá shoda. Průměrná koncentrace suspendovaných částic $PM_{2.5}$ v době měření přesto dosáhla pouze cca 2/3 pětiletého ročního průměru publikovaného ČHMÚ za období 2013 – 2017. Není přitom jasné, zda cca třetinu znečištění, která unikla projektovému měření, a tedy i následné identifikaci zdrojů pomocí PMF, lze přiřadit identifikovaným zdrojům, nebo zda se jedná o znečištění také z jiných zdrojů, jejichž vliv se v době měření neprojevil. S ohledem na vysokou míru shody mezi modelovanými a skutečně naměřenými koncentracemi je pravděpodobné, že tento rozdíl není způsoben chybou modelu, ale pravděpodobně jde o důsledek nadprůměrně dobrých rozptylových podmínek s omezeným výskytem smogových epizod v době měřicí kampaně. V návaznosti na krátkodobost, a tedy malé časové zastoupení v průběhu roku, se zhoršené rozptylové podmínky při smogových epizodách významně neprojevují v grafickém znázornění větrných růžic, přesto významně zvyšují průměrné koncentrace. Nezachycení silných smogových epizod v průběhu projektové kampaně je zdrojem významné nejistoty i v určení identifikovaných podílů zdrojů. Je pravděpodobné, že pokud by odběrová kampaň zahrnovala období se statisticky detekovatelným vzorkem těchto situací, vedlo by to buď k identifikaci dalšího (sedmého) samostatného faktoru kvality ovzduší nebo by s ohledem na zkušenosti ze sousedního Ostravska stoupl identifikovaný podíl individuálního vytápění domácností a/nebo regionálního aerosolu na úkor ostatních faktorů.

Identifikace zdrojů provedená pomocí PMF na Třinecku vykazuje dobrou shodu modelovaných hodnot se skutečně naměřenou úrovní koncentrací nejen v případě suspendovaných částic $PM_{2.5}$, ale i dalších polutantů, např. PAH. **Model je proto dobře použitelný nejen k identifikaci zdrojů znečišťování suspendovanými částicemi $PM_{2.5}$, ale také benzo[a]pyrenu, který je v ČR největším zdrojem příspěvku zdravotního rizika působeného znečištěným ovzduším.** Výhodou zvolené koncepce identifikace zdrojů je také rozlišení regionálního a dálkově transportovaného sekundárního aerosolu.

Určení velikosti vlivu různých typů zdrojů na kvalitu ovzduší provedené pomocí PMF lze považovat za dostatečně přesné a věrohodné a je možné je případně **využít jako podklad pro přípravu a optimalizaci strategií ochrany ovzduší.**

Ve smyslu určení hlavních priorit ochrany ovzduší jsou výsledky modelování pomocí PMF v souladu s analytickou částí Aktualizace PZKO a NPSE České republiky provedenou v roce 2019. Porovnání lze provést pro lokalitu Kosmos. Jednotlivé typy zdrojů kvantifikované v tomto místě v Aktualizaci PZKO jsou oproti předkládané zprávě v jiném členění, shoda je ale v závěrech, že z tuzemských zdrojů primárních emisí má nejvyšší podíl na celkové koncentraci

suspendovaných částic PM_{2.5} individuální vytápění domácností, které je následované sekundárním aerosolem a přenosem ze zahraničí, nejnižším podílem uzavírá pořadí zdrojů hutní průmysl. Vypočtené imisní podíly některých zdrojů pomocí PMF a v Aktualizaci PZKO se značně liší, zejména pokud jde o lokální vytápění, kterému výsledek modelování pomocí PMF přisuzuje výrazně vyšší podíl, v případě sekundárního aerosolu a přenosu ze zahraničí je tomu naopak. Stanovení imisních podílů typů zdrojů pomocí PMF je dostatečným podkladem pro stanovení priorit ochrany ovzduší, které ve stávajícím PZKO chybí. **Hlavní prioritou na Třinecku je v současnosti významné snížení primárních emisí suspendovaných částic, PAH a oxidu siřičitého z individuálního vytápění domácností,** které působí největší příspěvek znečištění ovzduší a s ním spojených zdravotních rizik. **Zacílením opatření na tuto skupinu zdrojů bude podpořeno i řešení druhé nejvýznamnější priority, kterou je omezení imisního příspěvku faktoru označeného jako „regionální aerosol“.**

Při dalších aktivitách v oblasti identifikace zdrojů znečišťování ovzduší na území ČR je vhodné zohlednit zejména tyto poznatky získané při hodnocení Třinecka:

- Pro dostatečnou stabilitu modelového řešení a jeho reprezentativnost a případné zobecnění na delší období a širší území je zcela nezbytné, aby naměřená data použitá pro vyhodnocení obsahovala všechny podstatné meteorologické a emisní situace, které se v řešených lokalitách podílejí na variabilitě imisních koncentrací. Vzhledem k tomu, že PMF je statistická metoda, případný nedostatek provedené odběrové kampaně v tomto ohledu nelze následně nijak kompenzovat a vždy vede ke snížené reprezentativnosti výsledku. Z těchto důvodů se na základě získaných zkušeností jeví jako vhodné, aby odběrová kampaň pokrývala rovnoměrně co největší část ročního času. Počet vzorků ovzduší, který je omezen technickými nebo ekonomickými možnostmi, by měl být rozložen v pravidelném intervalu na co nejdelší období, namísto soustředění stejného počtu odběrů do intenzivní kontinuální kampaně pokrývající relativně malou část roku.
- V době nejvýraznější koncentrační špičky PM_{2.5} za dobu měřicí kampaně (9. 1. 2019 – 11. 1. 2019) je z modelového výstupu zřejmý nástup vysokého příspěvku vytápění domácností, který je na všech lokalitách následován zvyšujícím se příspěvkem faktoru „regionální aerosol“ přetrvávajícím i po odeznění špičky příspěvku lokálního vytápění. Je pravděpodobné, že zde byl zachycen proces vzniku sekundárního aerosolu. Model PMF by tak mohl být ve spojení s měřicí kampaní s vyšším časovým rozlišením vhodným nástrojem ke studiu dynamiky těchto procesů, jehož výsledky mohou být následně využity např. pro krátkodobé predikce vývoje znečištění a při analýze priorit ochrany ovzduší. Jeví se proto jako účelné posílit ve vybraných regionech identifikaci zdrojů na základě krátkodobých kampaní s vyšším časovým rozlišením, které by byly zacíleny na specifické situace, zejména za zhoršených rozptylových podmínek.
- V topné sezóně se neprojevil přínos 12hodinových odběrů v podobě očekávané snazší interpretace modelových výsledků, účelnost tohoto měřicího intervalu byla prokázána pouze v letní části kampaně. Zvýšené požadavky na laboratorní analýzy při takto provedené kampani (nutnost dosáhnout nižší meze detekce stanovení některých analytů) nebyly dostatečně vykompenzovány vyšší vypovídací hodnotou hodnocení. S výjimkou specifických případů se proto jeví vhodnější technicky snadnější realizace 24hodinových odběrů.

- Ze spektra imisně působících zdrojů nebyla samostatně vyčleněna automobilová doprava. Její vliv byl zachycen pouze ve faktoru „regionální aerosol“ v podobě transformovaných oxidů dusíku na sekundární částice. Není jasné, jestli tato skutečnost je způsobena jejím nízkým imisním podílem ve všech třech posuzovaných lokalitách, nebo zda se negativně projevuje absence specifických markerů tohoto typu znečištění. Vzhledem k tomu, že doprava je na řadě lokalit v ČR významným faktorem kvality ovzduší, bude nutné výzkumu v této oblasti věnovat v následujících obdobích zvýšenou pozornost.
- S uvedeným problematickým odlišením automobilové dopravy souvisí také nejasná interpretace naměřených koncentrací hopanů, jakožto v literatuře uváděných významných organických markerů určitých typů znečištění. Podíly jednotlivých zástupů této skupiny látek a jejich imisní projev v hodnocených lokalitách ve vztahu k typu působících zdrojů neodpovídaly rešeršním hodnotám. V následujícím období bude nutno jejich využitelnost pro identifikaci zdrojů podrobně vyhodnotit.