

Identifikace příčin znečištění ovzduší v Ústeckém kraji

Zpráva v rámci dílčího cíle 2.1 Zlepšení identifikace zdrojů znečištění

V období od 1. 1. 2022 do 31. 12. 2022 byly v lokalitách Chomutov, Lom, Most-letišť a Rudolice v Horách odebrány vzorky atmosférického aerosolu. Po jejich laboratorním zpracování byly na základě matematického modelu PMF (Positive Matrix Factorization) vyhodnoceny příčiny znečištění ovzduší PM₁₀ v těchto lokalitách.

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

Autoři: Radim Seibert, Vladimíra Volná, Daniel Hladký, Markéta Schreiberová, Blanka Krejčí

Datum: 30. 6. 2023

Obsah

1. Úvod	6
2. Hodnocená oblast a měřicí lokality	7
2.1. Lokalita Chomutov	9
2.2. Lokalita Lom	13
2.3. Lokalita Most–letišťe	17
2.4. Lokalita Rudolice v Horách	18
2.5. Rozptylové podmínky	21
3. Rozsah a metodika prací	25
4. Úroveň znečištění a složení aerosolu PM₁₀	26
5. Identifikované příčiny znečištění ovzduší	28
6. Podíl identifikovaných faktorů	40
7. Podíl hlavních skupin zdrojů	43
8. Nejistota výsledků	45
9. Závěr	47

Seznam příloh

Příloha 1	Chemické profily identifikovaných faktorů
Příloha 2	Časové řady identifikovaných faktorů
Příloha 3	Měsíčně členěné větrné růžice
Příloha 4	Relativní četnost směru větru a imisní příspěvky faktorů ke koncentraci PM ₁₀
Příloha 5	Směrově členěný podíl faktorů na celkovém příspěvku ke koncentraci PM ₁₀
Příloha 6	Grafy funkce CPF identifikovaných faktorů

Seznam obrázků

Obr. 1	Umístění lokalit pro odběr vzorků pro analýzu příčin znečištění na Ústecku.....	7
Obr. 2	Velké emisní zdroje v okolí monitorovacích stanic	8
Obr. 3	Umístění lokality Chomutov v mikroměřítku	9
Obr. 4	Větrná růžice pro období 1. 1. 2018 – 31. 12. 2022 (vlevo) a 1. 1. 2022 – 31. 12. 2022, stanice Chomutov.....	10
Obr. 5	Koncentrační růžice na stanici Chomutov v letech 2018–2022 (vlevo) a v roce 2022 (vpravo).....	11
Obr. 6	Koncentrační růžice na stanici Chomutov v netopné (vlevo) a v topné sezoně (vpravo) v letech 2018–2022	11
Obr. 7	Koncentrační růžice na stanici Chomutov v netopné (vlevo) a v topné sezoně (vpravo) v roce 2022.....	12
Obr. 8	Umístění lokality Lom v mikroměřítku	13
Obr. 9	Větrná růžice pro období 1. 1. 2018 – 31. 12. 2022 (vlevo) a 1. 1. 2022 – 31. 12. 2022, stanice Lom.....	14
Obr. 10	Koncentrační růžice na stanici Lom v letech 2018–2022 (vlevo) a v roce 2022 (vpravo)	15
Obr. 11	Koncentrační růžice na stanici Lom v netopné (vlevo) a v topné sezoně (vpravo) v letech 2018–2022.....	15
Obr. 12	Koncentrační růžice na stanici Lom v netopné (vlevo) a v topné sezoně (vpravo) v roce 2022.....	16
Obr. 13	Umístění lokality Most–letišť v mikroměřítku	17
Obr. 14	Umístění lokality Rudolice v Horách v mikroměřítku.....	18
Obr. 15	Větrná růžice pro období 1. 1. 2018 – 31. 12. 2022 (vlevo) a 1. 1. 2022 – 31. 12. 2022, stanice Rudolice v Horách	19
Obr. 16	Koncentrační růžice na stanici Rudolice v Horách v letech 2018–2022 (vlevo) a v roce 2022 (vpravo).....	19
Obr. 17	Koncentrační růžice na stanici Rudolice v Horách v netopné (vlevo) a v topné sezoně (vpravo) v letech 2018–2022	20
Obr. 18	Koncentrační růžice na stanici Rudolice v Horách v netopné (vlevo) a v topné sezoně (vpravo) v roce 2022	20
Obr. 19	Porovnání četností rozptylových podmínek na stanicích Chomutov, Lom a Rudolice v Horách v roce 2022	22
Obr. 20	Četnosti výskytu rozptylových podmínek v roce 2022 v porovnání s pětiletým průměrem 2018–2022, Rudolice v Horách.....	22
Obr. 21	Měsíční četnosti výskytu rozptylových podmínek v roce 2022 v porovnání s pětiletým průměrem 2018–2022, Rudolice v Horách	23
Obr. 22	Četnosti výskytu rozptylových podmínek v roce 2022 v porovnání s pětiletým průměrem 2018–2022, Chomutov	23
Obr. 23	Měsíční četnosti výskytu rozptylových podmínek v roce 2022 v porovnání s pětiletým průměrem 2018–2022, Chomutov	24
Obr. 24	Naměřené průměrné měsíční koncentrace PM ₁₀	27
Obr. 25	Hmotnostní chemické složení aerosolu PM ₁₀	27
Obr. 26	Polární graf imisního příspěvku faktoru LOC_CRUST ke koncentraci PM ₁₀ [μg.m ⁻³].....	29
Obr. 27	Polární graf imisního příspěvku faktoru LOC_HEAT ke koncentraci PM ₁₀ [μg.m ⁻³].....	30

Obr. 28	Zpětné trajektorie pro dny s vysokými příspěvky průmyslové energetiky	31
Obr. 29	Polární graf imisního příspěvku faktoru LOC_TRA ke koncentraci PM ₁₀ [μg·m ⁻³].....	32
Obr. 30	Vybrané epizody přenosu aerosolu ze Sahary (vlevo) a z Ukrajiny (vpravo).....	33
Obr. 31	Polární graf imisního příspěvku faktoru LRT_SALT ke koncentraci PM ₁₀ [μg·m ⁻³]	33
Obr. 32	Vybrané epizody přenosu sekundárního aerosolu z přímořských oblastí	34
Obr. 33	Zpětné trajektorie pro nejvyšší imisní příspěvky sekundárního organického aerosolu indukovaného významně dopravou (lokalita Most-letišť).....	37
Obr. 34	Polární grafy imisních příspěvků sekundárního organického aerosolu indukovaného významně průmyslem; lokalita Lom, vlevo říjen, vpravo rok 2022 bez října [μg·m ⁻³]	38
Obr. 35	Zpětné trajektorie pro nejvyšší imisní příspěvky sekundárního organického aerosolu indukovaného významně průmyslem (lokalita Lom).....	39
Obr. 36	Zpětné trajektorie pro nejvyšší imisní příspěvky sekundárního organického aerosolu indukovaného významně průmyslem (lokalita Most-letišť)	39
Obr. 37	Imisní příspěvky identifikovaných zdrojů k průměrné roční koncentraci PM ₁₀ [μg·m ⁻³]	41
Obr. 38	Souhrnný přehled velikosti a kolísavosti příspěvků identifikovaných zdrojů k průměrné roční koncentraci PM ₁₀	43
Obr. 39	Srovnání absolutních (nahore) a relativních (dole) výsledků modelu PMF (Fpeak Run) s výsledky testu Bootstrap.....	46

Seznam tabulek

Tab. 1	Obydlené byty podle hlavního zdroje energie používaného k vytápění v obci Chomutov dle sčítání SLDB 2021	9
Tab. 2	Roční průměrná a 36. nejvyšší denní koncentrace PM ₁₀ na stanici Chomutov, 2018–2022 [μg·m ⁻³]	12
Tab. 3	Obydlené byty podle hlavního zdroje energie používaného k vytápění v obci Lom dle sčítání SLDB 2021	13
Tab. 4	Roční průměrná koncentrace PM ₁₀ a PM _{2,5} a 36. nejvyšší denní koncentrace PM ₁₀ na stanici imisního monitoringu Lom, 2018–2022 [μg·m ⁻³]	16
Tab. 5	Obydlené byty podle hlavního zdroje energie používaného k vytápění v obci Most dle sčítání SLDB 2021	17
Tab. 6	Roční průměrná koncentrace PM ₁₀ a PM _{2,5} a 36. nejvyšší denní koncentrace PM ₁₀ na lokalitě Most-letišť, 2018–2022 [μg·m ⁻³]	18
Tab. 7	Roční průměrná a 36. nejvyšší denní koncentrace PM ₁₀ na stanici imisního monitoringu Rudolice v Horách, 2018–2022 [μg·m ⁻³]	21
Tab. 8	Naměřené průměrné roční koncentrace PM ₁₀	26

Seznam zkratek

I–XII	měsíce v roce (leden–prosinec)
BaA	benzo[<i>a</i>]antracen
BaP	benzo[<i>a</i>]pyren
BeP	benzo[<i>e</i>]pyren
BbF	benzo[<i>b</i>]fluoranten
BghiPRL	benzo[<i>g,h,i</i>]perylene
BjF	benzo[<i>j</i>]fluoranten
BkF	benzo[<i>k</i>]fluoranten
COR	koronen
CRY	Chrysen
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
DBahA	dibenzo[<i>a,h</i>]antracen
I123cdP	indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyren
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky
PIC	picen
PM ₁₀ /PM _{2,5}	suspendované částice PM ₁₀ /PM _{2,5}
PMF	Positive Matrix Factorization (statistická metoda hodnocení příčin znečištění)
PRL	Perylen
UTC	světový čas (SEČ – 1hod)

1. Úvod

V rámci projektu ARAMIS¹, dílčího cíle 2.1, byla provedena celoroční identifikace zdrojů znečišťování ovzduší v lokalitách Chomutov, Lom, Most-letišť a Rudolice v Horách. Provedenými pracemi byl plněn zejména projektový úkol „Rozlišení a kvantifikace imisního podílu jednotlivých typů sekundárního aerosolu“. Dosažené výsledky jsou využitelné také mimo rámec projektu ARAMIS, například při rozhodování o strategickém zacílení opatření ke zlepšení kvality ovzduší v Ústeckém kraji.

Aby bylo možno pokrýt náklady a nashromáždit nezbytnou techniku i personální kapacity, sdružovaly práce jednak zdroje projektu ARAMIS, jednak byla k provedení laboratorních analýz využita spolupráce se společností Ascend s.r.o. (veřejná zakázka dle smlouvy č. objednavatele S20210507, č. zhotovitele 166/2021 „Identifikace zdrojů znečištění ovzduší v Severočeské hnědouhelné pánvi“ v rámci projektu č. 3202100006 „Identifikace hlavních příčin znečištění ovzduší v Severočeské hnědouhelné pánvi“).

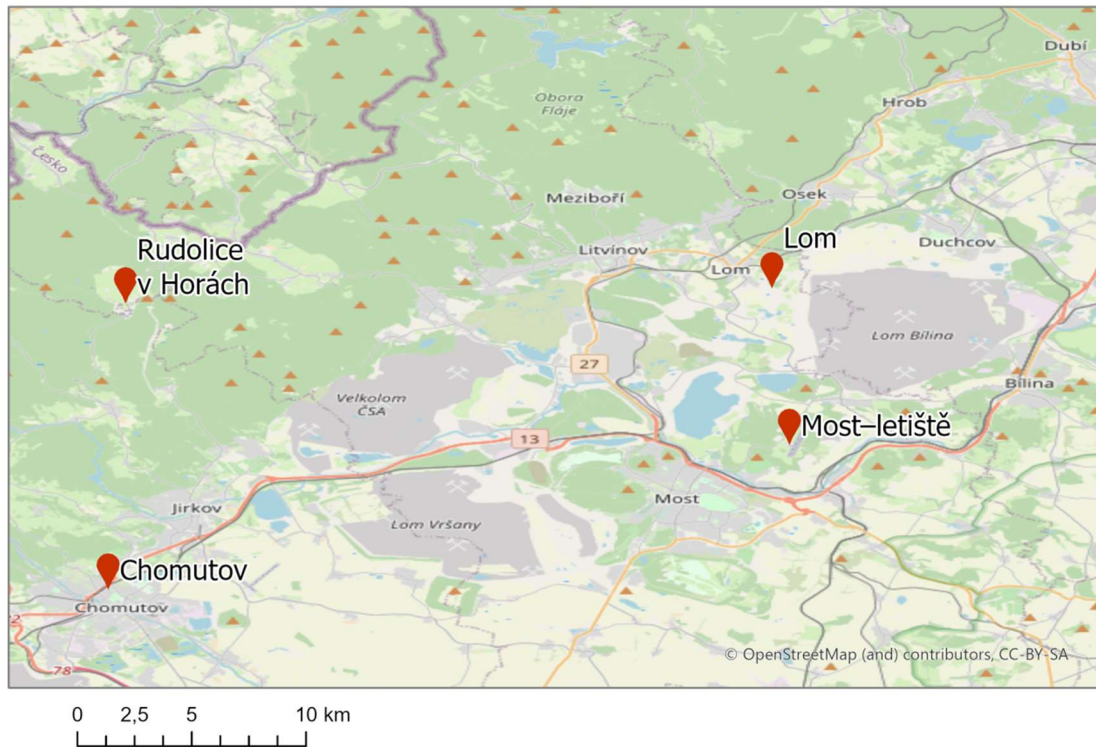
Na řešení projektových prací prezentovaných v předkládané zprávě se na straně ČHMÚ podíleli:

- Petr Goll, Jan Kufel, Martin Mašek – montáž, obsluha a údržba přístrojové techniky, technické konzultace k vyhodnocení,
- Lucie Böhmová, Pavlína Podskočová, Václav Uher, Irina Nikolova, Zdenka Rohanová – příprava materiálu a laboratorní analýzy, konzultace k analytickým nejistotám,
- Vladimíra Volná, Daniel Hladký, Markéta Schreiberová, Blanka Krejčí – imisně-meteorologické vstupy, příprava dat pro modelování, konzultace k vyhodnocení,
- Radim Seibert – koordinace prací, modelové hodnocení.

¹ www.projekt-aramis.cz/

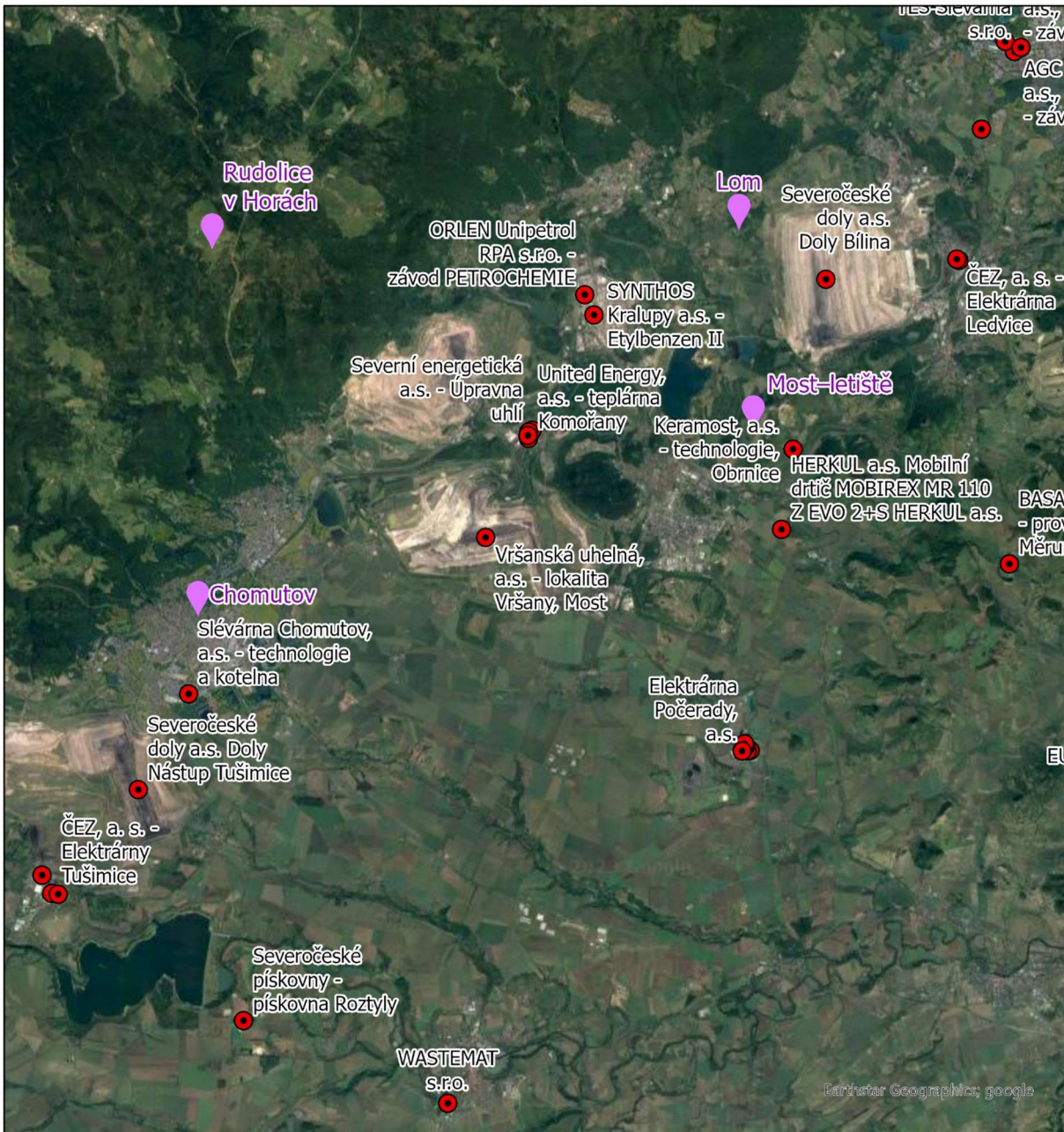
2. Hodnocená oblast a měřicí lokality

Odběry vzorků pro analýzu příčin znečištění probíhaly ve třech lokalitách imisního monitoringu – Chomutov (GPS 50,467528, 13,412696), Lom (GPS 50,585767, 13,673418) a Rudolice v Horách (GPS 50,579835, 13,419506) a v jedné projektové lokalitě Most–letišť (GPS 50,52428, 13,6802814) (Obr. 1). Zájmovým územím je myšlena oblast, pro kterou je reprezentativní provedená analýza příčin znečištění ovzduší. Pro předkládané hodnocení byla využita výše uvedená měřicí místa. V návaznosti na níže uvedenou charakteristiku území, umístění okolních zdrojů znečišťování ovzduší a použitý způsob interpretace výsledků (souhrnné hodnocení všech čtyř lokalit a jejich vzájemných odlišností) považujeme hodnocení za reprezentativní do vzdálenosti nižších desítek kilometrů od hodnocených lokalit.



Obr. 1 Umístění lokalit pro odběr vzorků pro analýzu příčin znečištění na Ústecku

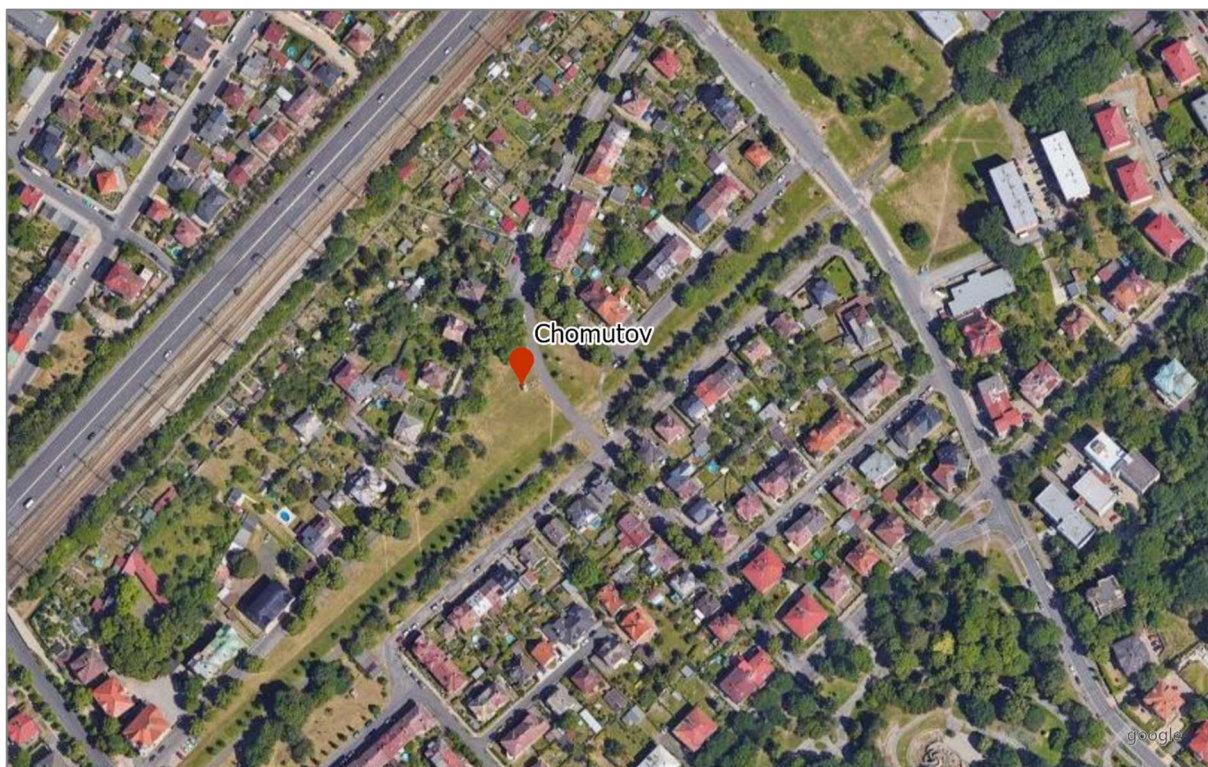
Mezi hlavní emisní zdroje v zájmovém území patří: elektrárna Pruněrov, elektrárna Tušimice, elektrárna Počerady, elektrárna Ledvice, hnědouhelný lom společnosti Severočeské doly a.s, hnědouhelný lom společnosti Vršanská uhelná a.s, ORLEN Unipetrol RPA s.r.o.-závod PETROCHEMIE, Severočeské doly a.s. Doly Bílina (Obr. 2).



Obr. 2 Velké emisní zdroje v okolí monitorovacích stanic

2.1. Lokalita Chomutov

Lokalita Chomutov je stanicí Státní sítě imisního monitoringu a je klasifikována jako pozadřová, městská, obytná (B/U/R), s reprezentativností v oblastním měřítku 4 až 50 km². Terén v okruhu jednotek km lze označit za rovinný až velmi málo zvlněný. Stanice je umístěna ve středu města na volném zatravněném prostranství obklopeném rodinnými domy (Obr. 3). Místní komunikace je vzdálená 50 m. Frekventovaná I/13 se nachází ve vzdálenosti 140 m severozápadně. Podle sčítání dopravy Ředitelství silnic a dálnic ČR z roku 2020 zde intenzita dopravy dosahuje 25 000 vozidel denně. Vytápění domácností v Chomutově je převážně centrální dálkové (Tab. 1). Část domů je vytápěna zemním plynem. Zastoupení lokálního vytápění pevnými palivy je velmi nízké.



Obr. 3 Umístění lokality Chomutov v mikroměřítku

Tab. 1 Obydlené byty podle hlavního zdroje energie používaného k vytápění v obci Chomutov dle sčítání SLDB 2021

Území	Obydlené byty celkem	v tom podle hlavního zdroje energie používaného k vytápění											
		z kotelny mimo dům	uhlí, koks, uhelné brikety	zemní plyn	jiné druhy plynu (LPG, CNG, bioplyn aj.)	elektrina	dřevo, dřevěné brikety	dřevěné pelety	topné oleje, nafta	tepelné čerpadlo	solární kolektory	jiný	nezjištěno
Chomutov	22 209	16 162	56	4 316	25	461	110	5	-	100	10	25	939

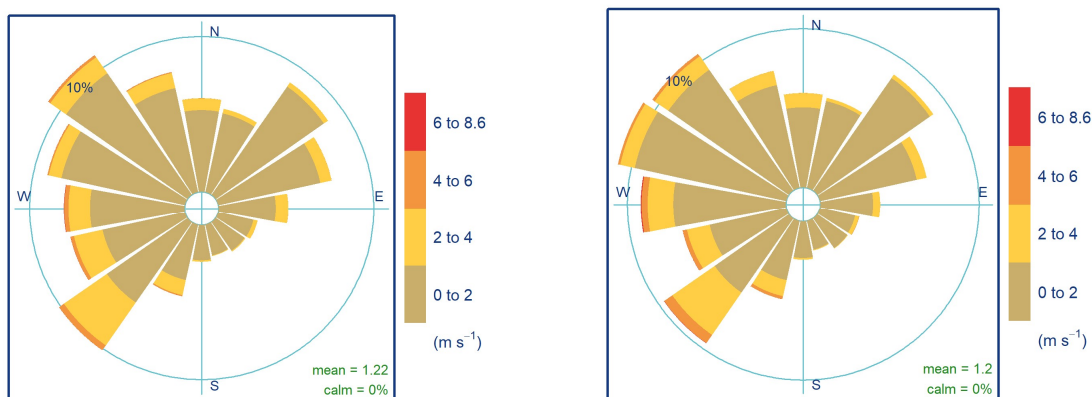
Zdroj dat: ČSÚ

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

Nejbližší významné průmyslové zdroje znečišťování ovzduší s potenciálním vlivem na imisní koncentrace PM_{10} v lokalitě Chomutov jsou:

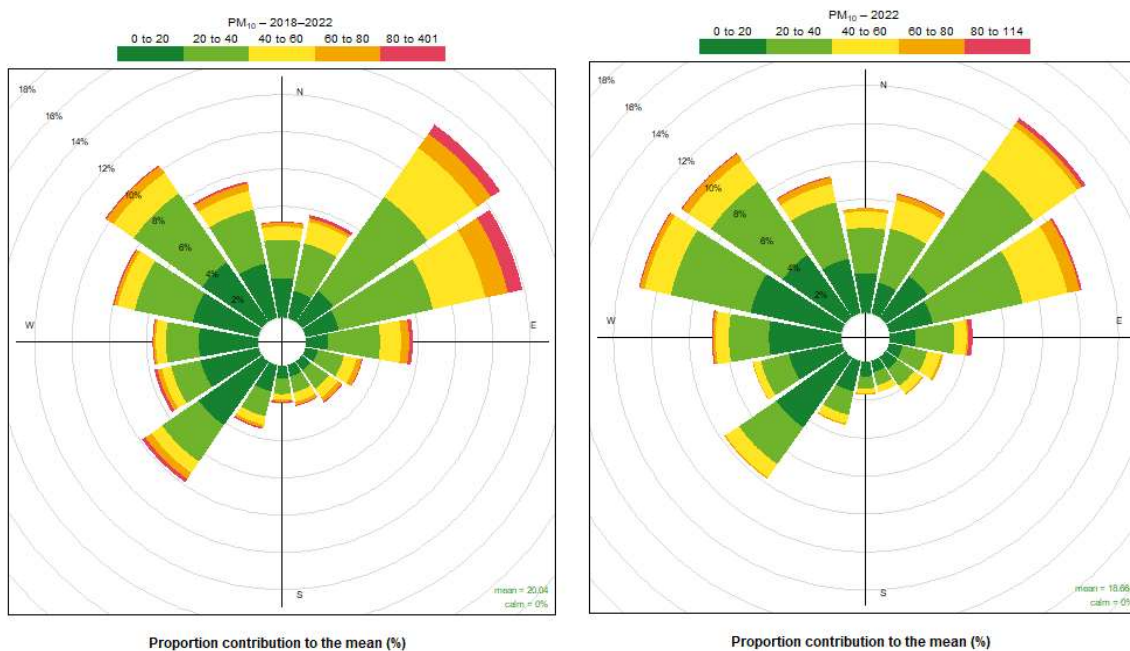
- Hnědouhelný lom společnosti Severočeské doly a.s., s aktivní těžební plochou v současnosti ve vzdálenosti cca 7–10 km jižním směrem od měřicí lokality,
- Slévárna Chomutov, a.s. - technologie a kotelna ve vzdálenosti cca 4 km jižním směrem od měřicí lokality,
- hnědouhelný lom společnosti Vršanská uhelná a.s. (cca 12 km severovýchodně),
- elektrárna Počerady (cca 31 km východně), elektrárna Pruněřov (cca 19 km jihozápadně) a elektrárna Tušimice (17 km jižně).

Na stanici Chomutov převládají dlouhodobě směry větru ze západního sektoru, případně ze severovýchodního směru (Obr. 4). V hodnoceném roce 2022 byly převažující směry shodné s dlouhodobým průměrem. Měsíčně členěné větrné růžice reprezentující rok 2022 jsou obsahem přílohy 3.

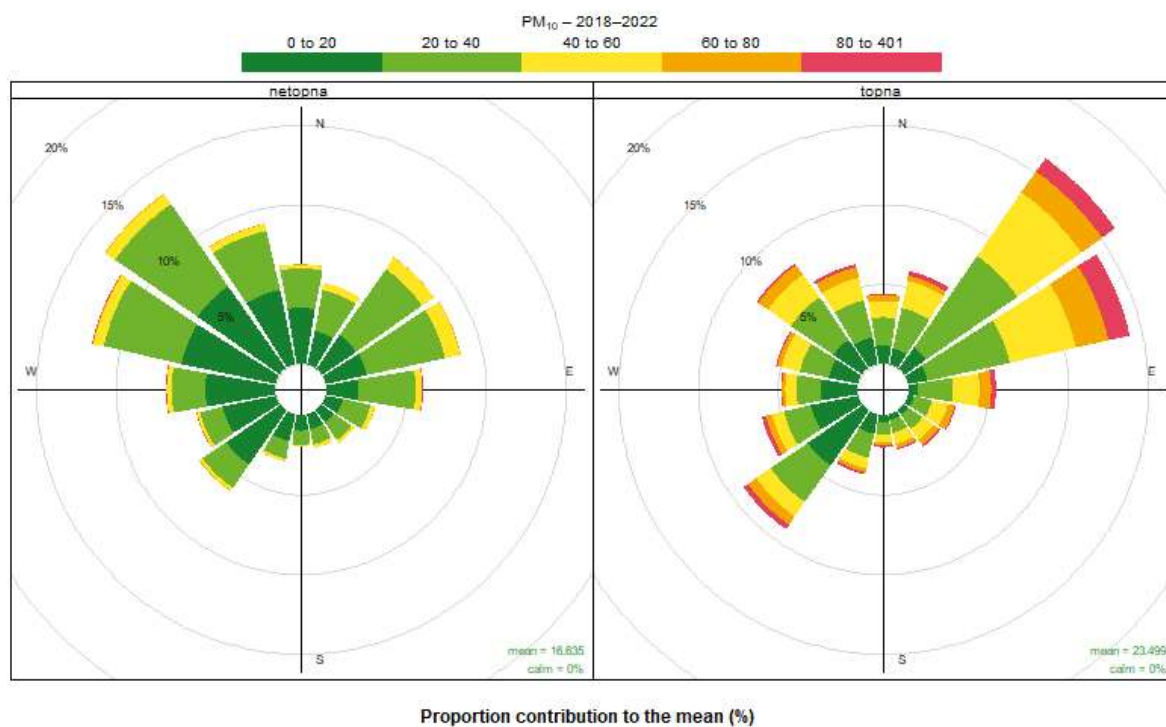


Obr. 4 Větrná růžice pro období 1. 1. 2018 – 31. 12. 2022 (vlevo) a 1. 1. 2022 – 31. 12. 2022, stanice Chomutov

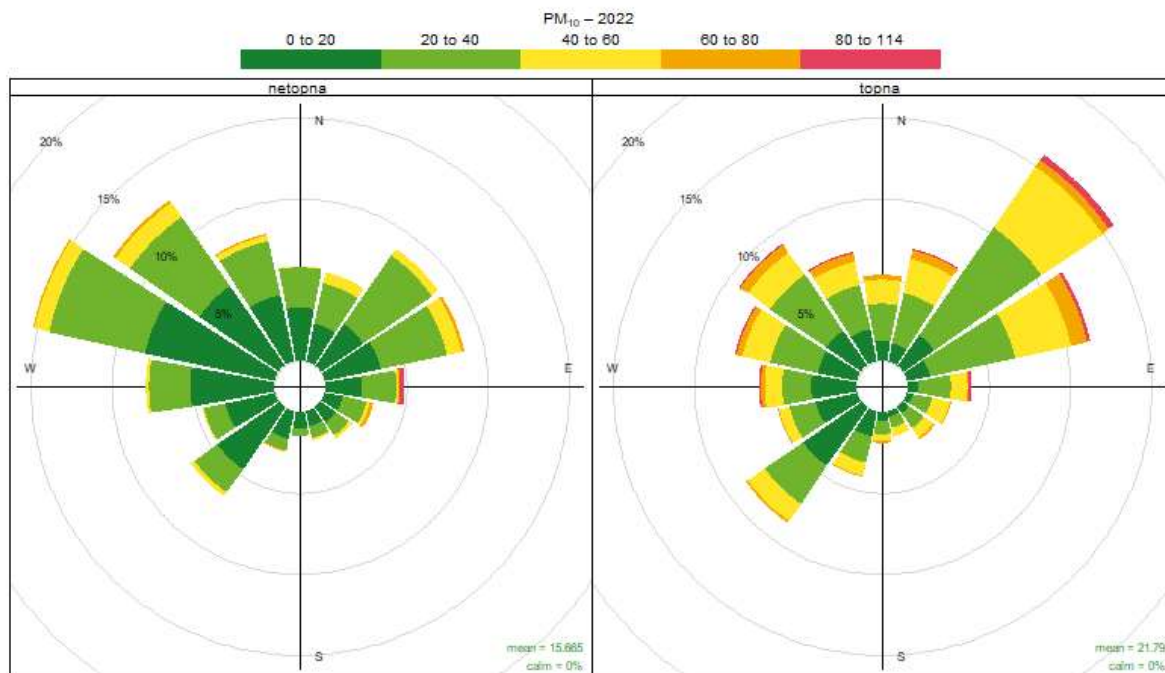
Koncentrační růžice ukazuje, jak jednotlivé úrovně koncentrací při daných směrech větru přispívají k tvorbě průměrné koncentrace naměřené na stanici. Kruh značí směr větru, poloměr (vzdálenost od středu) odpovídá procentuálnímu příspěvku dané úrovně koncentrace k průměrné koncentraci (Carlsaw 2012). S využitím této růžice lze tedy získat dobrou představu o tom, které směry větru a jaké úrovně koncentrací přispívají nejvíce k průměrné koncentraci na daném místě (měřicí stanici). Na stanici Chomutov koncentrační růžice pro pětileté období 2018–2022 i pro rok 2022 (Obr. 5) naznačují, že přestože zde převažuje západní proudění vzduchu, největší příspěvek k průměrné roční koncentraci PM_{10} (více jak 30 %) pochází ze severovýchodu. To indikuje významné zdroje severovýchodně od měřicího místa. V případě porovnání koncentračních růžic pro topnou a netopnou sezonu (Obr. 6 a Obr. 7) jsou vidět odlišné příspěvky k průměrné roční koncentraci PM_{10} z různých směrů proudění. Topná sezona je zde zjednodušeně definována jako chladná, netopná jako teplá polovina roku. Z hlediska větrných a koncentračních růžic je rozdíl oproti skutečnému rozdělení roku na topnou a netopnou část (1. 10. – 31. 3., resp. 1. 4. – 30. 9.) zanedbatelný. Během netopné sezony k průměrné roční koncentraci PM_{10} přispívají koncentrace při severozápadním proudění a úrovně koncentrací jsou nižší. Naopak v topné sezoně k průměrné roční koncentraci PM_{10} přispívají nejvíce koncentrace při severovýchodním proudění. Úrovně koncentrací v topné sezoně bývají vyšší.



Obr. 5 Koncentrační růžice na stanici Chomutov v letech 2018–2022 (vlevo) a v roce 2022 (vpravo)



Obr. 6 Koncentrační růžice na stanici Chomutov v netopné (vlevo) a v topné sezoně (vpravo) v letech 2018–2022



Proportion contribution to the mean (%)

Obr. 7 Koncentrační růžice na stanici Chomutov v netopné (vlevo) a v topné sezoně (vpravo) v roce 2022

Stanice Chomutov má dlouholetou řadu měření znečišťujících látek. Od roku 2015 zde nedochází k překračování imisních limitů pro ochranu lidského zdraví. Nejvyšší koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ v posledních pěti letech byla zaznamenána v roce 2018 (Tab. 2).

Tab. 2 Roční průměrná a 36. nejvyšší denní koncentrace PM₁₀ na stanici Chomutov, 2018–2022 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]

	2018	2019	2020	2021	2022
PM ₁₀ max36	48	34	32	35	34
PM ₁₀ roční průměr	22,5	22,4	25,9	19,3	18,3

2.2. Lokalita Lom

V lokalitě Lom je provozována stanice státní sítě imisního monitoringu. Je klasifikována jako pozad'ová, venkovská, průmyslová, přírodní s reprezentativností v oblastním měřítku 4 až 50 km³. Stanice je umístěna na otevřené ploše v podhůří Krušných hor na louce ohraničené stromy bez zástavby a dopravy v nejbližším okolí (Obr. 8). Většina domácností v nejbližší obci Lom (300 m SZ) je vytápěna převážně zemním plynem a menší část domů pevnými palivy (Tab. 3).



Obr. 8 Umístění lokality Lom v mikroměřítku

Tab. 3 Obydlené byty podle hlavního zdroje energie používaného k vytápění v obci Lom dle sčítání SLDB 2021

Území	Obydlené byty celkem	v tom podle hlavního zdroje energie používaného k vytápění											
		z kotelny mimo dům	uhlí, koks, uhelné brikety	zemní plyn	jiné druhy plynu (LPG, CNG, bioplyn aj.)	elektrina	dřevo, dřevěné brikety	dřevěné pelety	topné oleje, nafta	tepelné čerpadlo	solární kolektory	jiný	nezjištěno
Lom	1 508	48	117	832	5	123	123	4	-	53	1	8	194

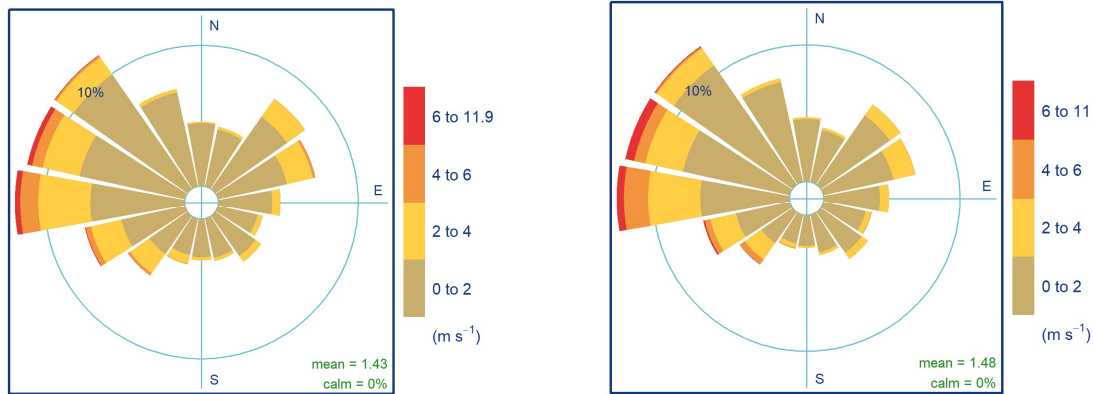
Zdroj dat: ČSÚ

Nejbližší významné průmyslové zdroje znečišťování ovzduší s potenciálním vlivem na imisní koncentrace PM₁₀ v lokalitě Lom jsou:

- Severočeské doly a.s. Doly Bílina (cca 2 km východně až jihovýchodně),
- ČEZ, a. s. - Elektrárna Ledvice (cca 12 km východně),
- ORLEN Unipetrol RPA s.r.o. - závod PETROCHEMIE (cca 9 km jihozápadně).

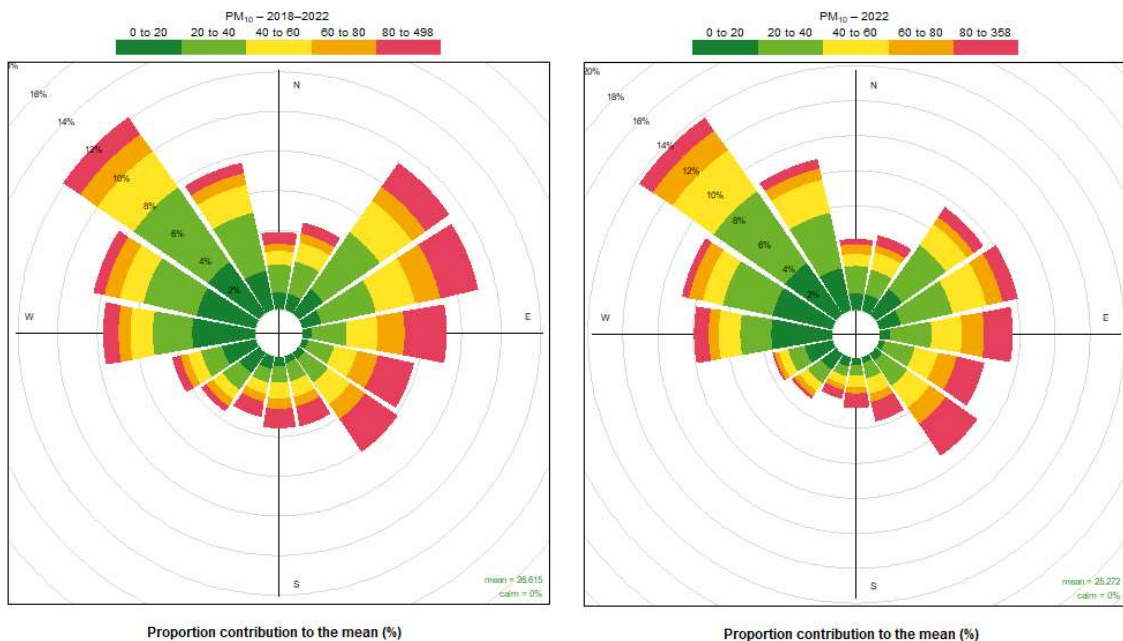
³ www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_locality/loc_ULOM_CZ.html

Na stanici Lom převládají dlouhodobě západní až severozápadní směry proudění (Obr. 9). V hodnoceném roce 2022 byly převažující směry shodné s dlouhodobým průměrem. Měsíčně členěné větrné růžice reprezentující rok 2022 jsou obsahem přílohy 3.

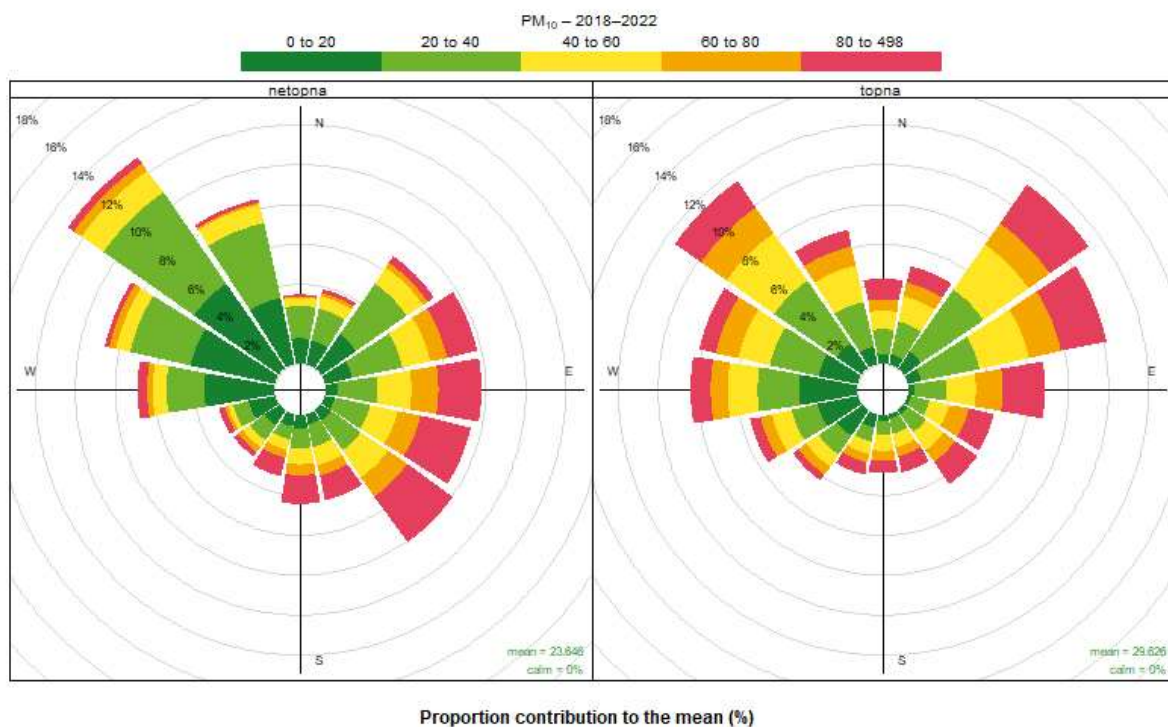


Obr. 9 Větrná růžice pro období 1. 1. 2018 – 31. 12. 2022 (vlevo) a 1. 1. 2022 – 31. 12. 2022, stanice Lom

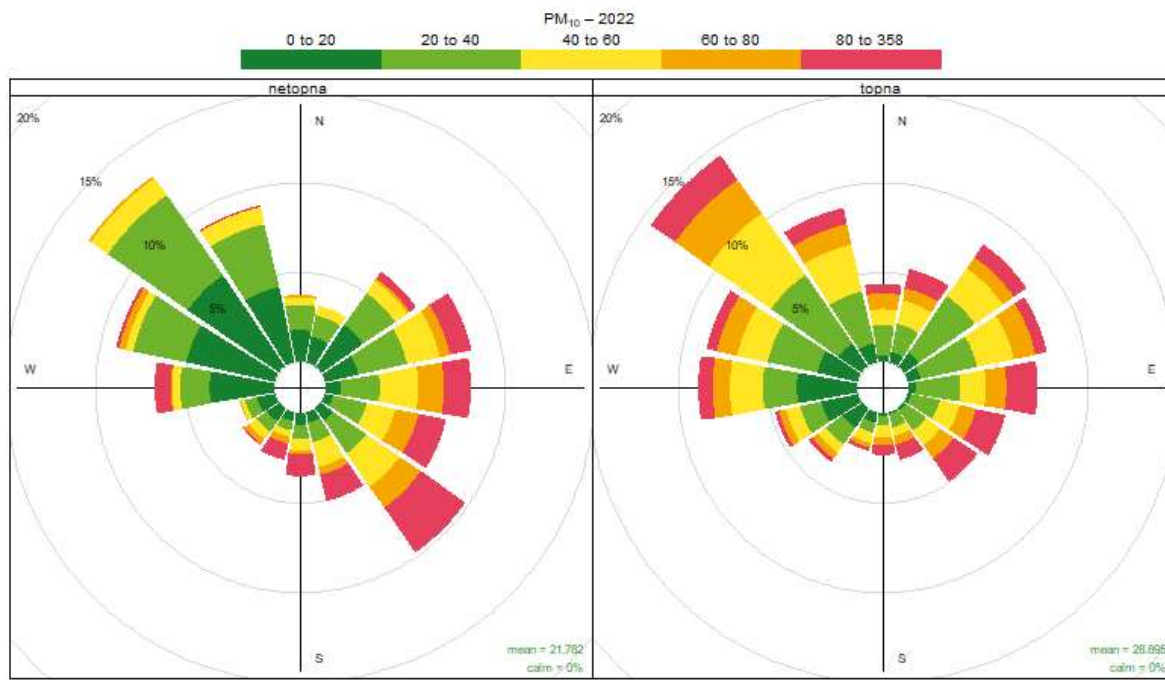
Na stanici Lom koncentrační růžice pro pětileté období 2018–2022 a i pro rok 2022 (Obr. 10) naznačují, že vyšší příspěvek k průměrné roční koncentraci PM_{10} (cca 14 %) pochází ze severozápadu, kde se nachází obec Lom. Kromě západního až severoseverozápadního směru dochází oproti ostatním směrům k vyšším příspěvkům také při proudění ze severovýchodního až jihovýchodního kvadrantu. V případě porovnání koncentračních růžic pro topnou a netopnou sezonu (Obr. 11 a Obr. 12) za pětiletí 2018–2022 jsou vidět mírně odlišné příspěvky k průměrné roční koncentraci PM_{10} z různých směrů proudění. V netopné sezoně byl v uvedeném pětiletí vyšší podíl ze severozápadu, v topné převažovaly srovnatelným podílem příspěvky při severozápadním a severovýchodním větru. Během netopné sezony k průměrné roční koncentraci PM_{10} významně přispívaly i koncentrace při jihovýchodním až východním proudění. Navíc z těchto směrů přicházely i vyšší úrovně koncentrací (nad $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). To ukazuje na emisní zdroj s vyšším letním vlivem jihovýchodně od stanice. V případě samostatného roku 2022 je v topné sezoně vidět daleko nejvýznamnější příspěvek při severozápadním proudění a oproti srovnávanému pětiletí o něco nižší příspěvky ze severovýchodního kvadrantu. Během netopné sezony 2022 také převažoval severozápadní směr, ale druhý podílově nejvýznamnější a současně s nečastějšími vysokými příspěvky byl jihovýchodní směr.



Obr. 10 Koncentrační růžice na stanici Lom v letech 2018–2022 (vlevo) a v roce 2022 (vpravo)



Obr. 11 Koncentrační růžice na stanici Lom v netopné (vlevo) a v topné sezoně (vpravo) v letech 2018–2022



Proportion contribution to the mean (%)

Obr. 12 Koncentrační růžice na stanici Lom v netopné (vlevo) a v topné sezoně (vpravo) v roce 2022

Stanice Lom má dlouholetou řadu měření znečišťujících látek. K překročení imisních limitů suspendovaných částic PM pro ochranu lidského zdraví došlo naposledy v roce 2018 (Tab. 4). Od té doby se pohybují koncentrace těchto polutantů pod imisními limity.

Tab. 4 Roční průměrná koncentrace PM_{10} a $PM_{2,5}$ a 36. nejvyšší denní koncentrace PM_{10} na stanici imisního monitoringu Lom, 2018–2022 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]

	2018	2019	2020	2021	2022
PM_{10} max36	60	50	47	47	45
PM_{10} roční průměr	33,9	26,5	25,6	23,5	25,6
$PM_{2,5}$ roční průměr	20,7	15,6	15,0	14,9	14,2

*Červená barva signalizuje překročení příslušného imisního limitu dle přílohy č. 1 a č. 3 zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší.

2.3. Lokalita Most–letišťe

Lokalita Most-letišťe není stálou stanicí imisního monitoringu. Dle klasifikace EoI se jedná o lokalitu klasifikovanou jako pozadová, venkovská, průmyslová, přírodní s reprezentativností oblastní měřítko - městské nebo venkov (4 až 50 km). Jedná se o otevřenou plochu v areálu letišťe Most (Obr. 13). Město Most je od této lokality vzdálené cca 2–3 km jihozápadním směrem. Vytápění domácností v Mostě je převážně centrální dálkové (Tab. 5). Část domů je vytápěna zemním plynem. Zastoupení lokálního vytápění pevnými palivy je velmi nízké.



Obr. 13 Umístění lokality Most–letišťe v mikroměřítku

Tab. 5 Obydlené byty podle hlavního zdroje energie používaného k vytápění v obci Most dle sčítání SLDB 2021

Území	Obydlené byty celkem	v tom podle hlavního zdroje energie používaného k vytápění											
		z kotelny mimo dům	uhlí, koks, uhelné brikety	zemní plyn	jiné druhy plynu (LPG, CNG, bioplyn aj.)	elektrina	dřevo, dřevěné brikety	dřevěné pelety	topné oleje, nafta	tepelné čerpadlo	solární kolektory	jiný	nezjištěno
Most	30 152	27 064	64	1 768	6	543	79	11	3	163	7	19	425

Zdroj dat: ČSÚ

Nejblíží významné průmyslové zdroje znečišťování ovzduší s potenciálním vlivem na imisní koncentrace PM₁₀ v lokalitě Most-letišťe jsou:

- Výroba bentonitových hrudkujících steliv - Keramost, a.s. (cca 2 km jihovýchodně),
- Severočeské doły a.s. Doły Bílina (cca 5 km severně),
- ČEZ, a. s. - Elektrárna Ledvice (cca 14 km severovýchodně).

Vzhledem k tomu, že lokalita Most-letišťe není stanicí imisního monitoringu, nejsou k dispozici data z měření znečišťujících látek. Pro odhad koncentrací znečišťujících látek byly využity hodnoty z plošných map

z grafických ročenek ČHMÚ (Tab. 6). Podle těchto odhadů byl překročen denní imisní limit PM_{10} pro ochranu lidského zdraví v roce 2018.

Tab. 6 Roční průměrná koncentrace PM_{10} a $PM_{2,5}$ a 36. nejvyšší denní koncentrace PM_{10} na lokalitě Most-letišť, 2018–2022 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]

	2018	2019	2020	2021	2022
PM_{10} max36**	52	40	36	38	36
PM_{10} roční průměr**	28,9	22,8	20,8	20,3	20,9
$PM_{2,5}$ roční průměr**	19,1	15,0	13,1	13,8	13,1

*Červená barva signalizuje překročení příslušného imisního limitu dle přílohy č. 1 a č. 3 zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší.

**Jedná se odhad hodnot koncentrací z plošných map znečišťujících látek v rozlišení 1x1 km.

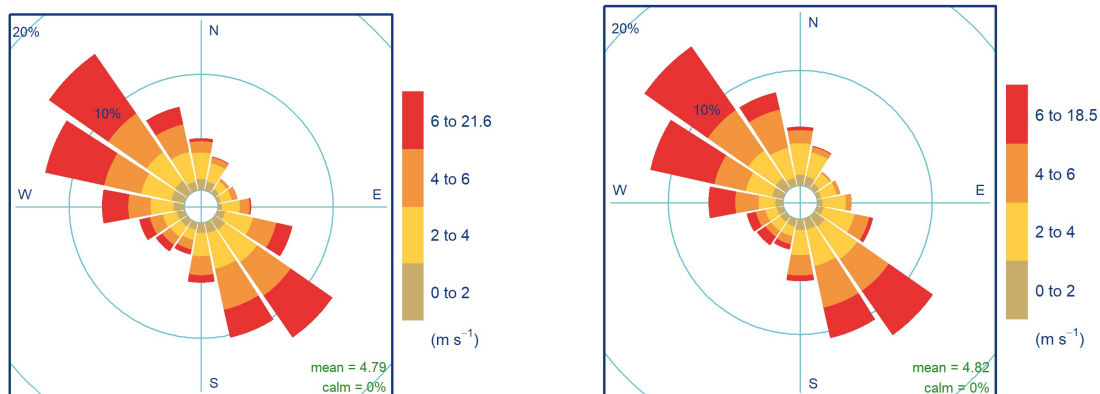
2.4. Lokalita Rudolice v Horách

Lokalita Rudolice v Horách je stanicí Státní sítě imisního monitoringu. Je klasifikována jako pozadová, venkovská, přírodní, regionální s reprezentativností v oblastním měřítku 4 až 50 km^4 . Odběrové místo se nachází na náhorní rovině Krušných hor v nadmořské výšce 840 m (Obr. 14). Krajina je zde otevřená a téměř neobydlená. V okolí se nenacházejí významné zdroje znečišťování ovzduší. Lokalita je velmi dobře provětrávaná. Na stanici převládají dlouhodobě severozápadní a jihovýchodní směry větru (Obr. 15). V hodnoceném roce 2022 byly převažující směry proudění shodné s dlouhodobým průměrem. Měsíčně členěné větrné růžice reprezentující rok 2022 jsou obsahem přílohy 3.



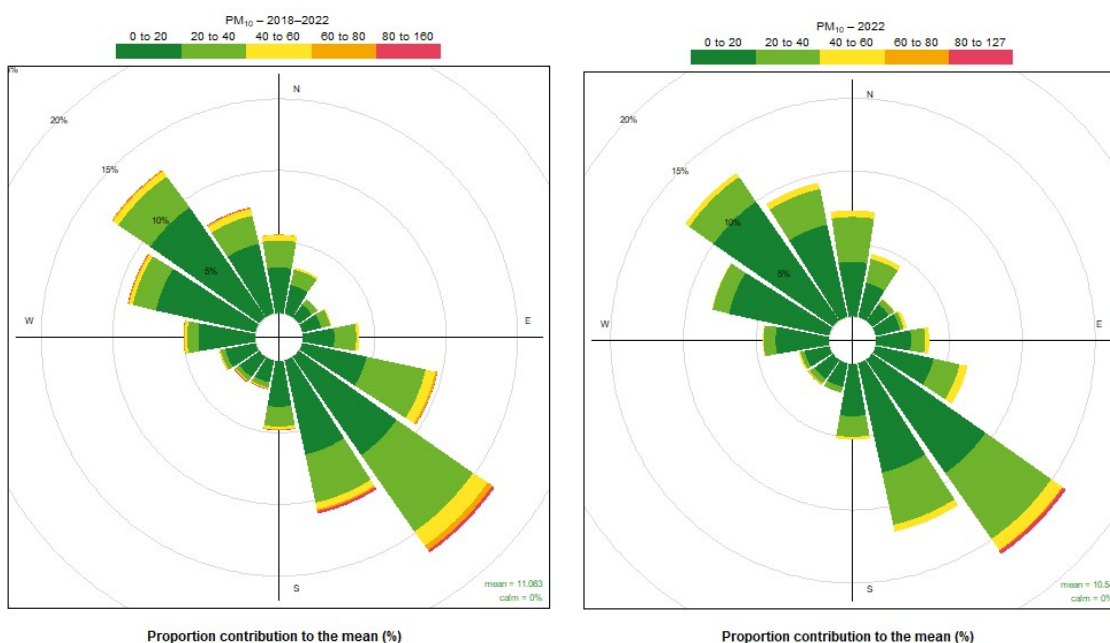
Obr. 14 Umístění lokality Rudolice v Horách v mikroměřítku

⁴ https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_locality/loc_URVH_CZ.html

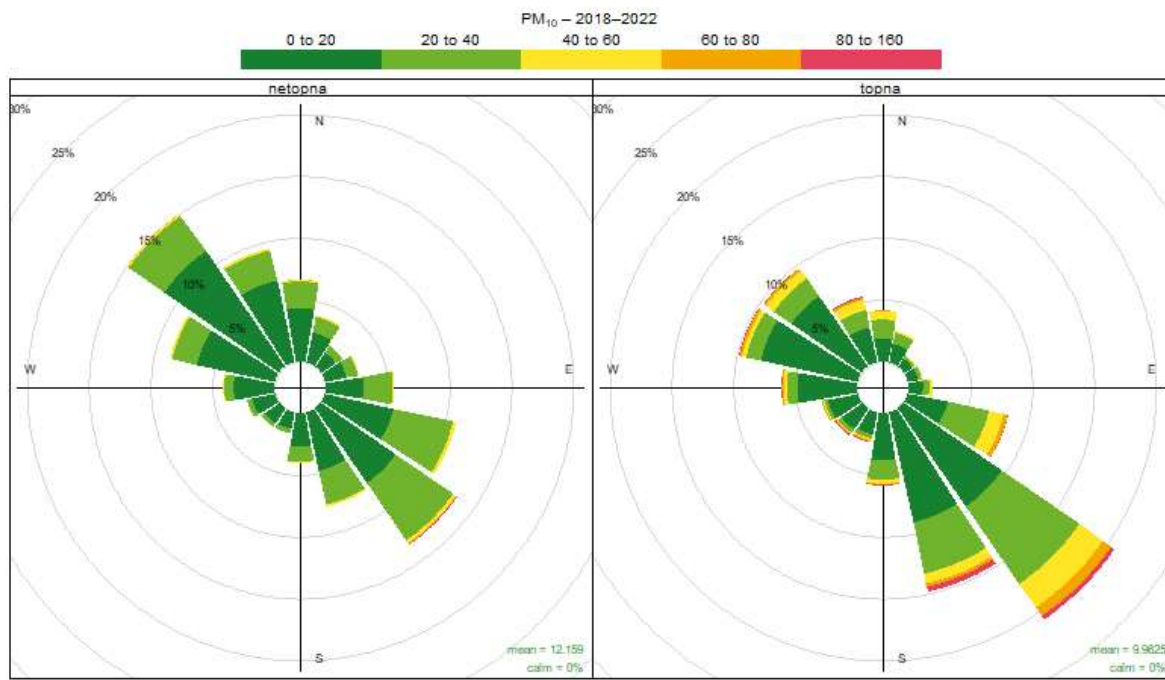


Obr. 15 Větrná růžice pro období 1. 1. 2018 – 31. 12. 2022 (vlevo) a 1. 1. 2022 – 31. 12. 2022, stanice Rudolice v Horách

Na stanici Rudolice v Horách koncentrační růžice pro pětileté období 2018–2022 a i pro rok 2022 (Obr. 16) naznačují, že největší příspěvek k průměrné roční koncentraci PM_{10} (více jak 17 %) pochází z jihovýchodu. Podle koncentračních růžic (Obr. 17 a Obr. 18) jsou příspěvky k průměrné roční koncentraci PM_{10} v netopné sezoně z uvedených dvou hlavních směrů proudění podobné. Úrovně koncentrací v topné sezoně jsou lehce vyšší s výraznou převahou příspěvků při jihovýchodních směrech proudění. Při jihovýchodním směru větru se vyskytují také nejvyšší imisní koncentrace PM_{10} . To platí jak pro srovnávané pětiletí, tak i pro samostatně hodnocený rok 2022.

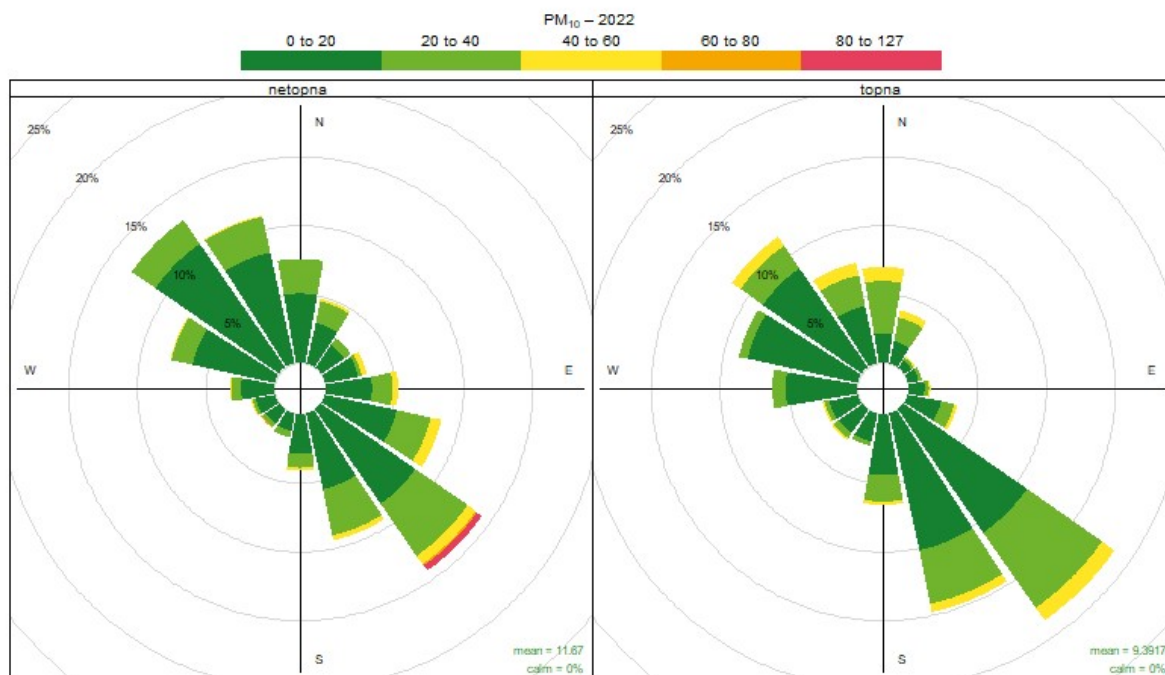


Obr. 16 Koncentrační růžice na stanici Rudolice v Horách v letech 2018–2022 (vlevo) a v roce 2022 (vpravo)



Proportion contribution to the mean (%)

Obr. 17 Koncentrační růžice na stanici Rudolice v Horách v netopné (vlevo) a v topné sezoně (vpravo) v letech 2018–2022



Proportion contribution to the mean (%)

Obr. 18 Koncentrační růžice na stanici Rudolice v Horách v netopné (vlevo) a v topné sezoně (vpravo) v roce 2022

Stanice Rudolice v Horách má dlouholetou řadu měření znečišťujících látek. Vzhledem k tomu, že se jedná o pozadřovou venkovskou regionální lokalitu, jsou hodnoty koncentrací na nízké úrovni a nepřekračují imisní limity pro ochranu zdraví (Tab. 7).

Tab. 7 Roční průměrná a 36. nejvyšší denní koncentrace PM_{10} na stanici imisního monitoringu Rudolice v Horách, 2018–2022 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]

	2018	2019	2020	2021	2022
PM_{10} max36	25,6	20,1	17,4	18,0	19,1
PM_{10} roční průměr	15	11	10	10	11

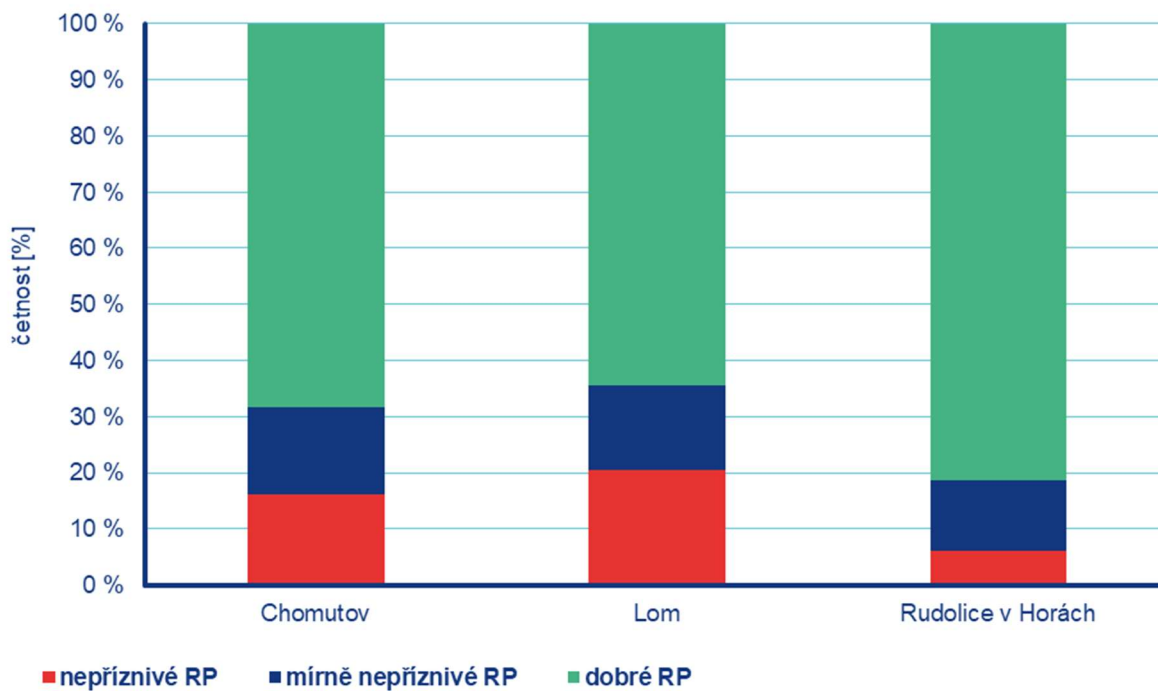
2.5. Rozptylové podmínky

V zájmovém území se významně liší rozptylové podmínky mezi stanicí Rudolice v Horách, která se nachází ve vyšší nadmořské výšce (cca 840 m n. m.), od ostatních lokalit situovaných v Podkrušnohorské pánvi. V Rudolicích se častěji vyskytovaly příznivé rozptylové podmínky oproti ostatním lokalitám (Obr. 19). Na stanici Chomutov a Lom byly rozptylové podmínky v porovnání s Rudolicemi v Horách horší, přičemž na stanici Lom byly pouze mírně horší, než na stanici Chomutov. Pro lokalitu Most-letišť nebyly data ventilačního indexu vypočteny.

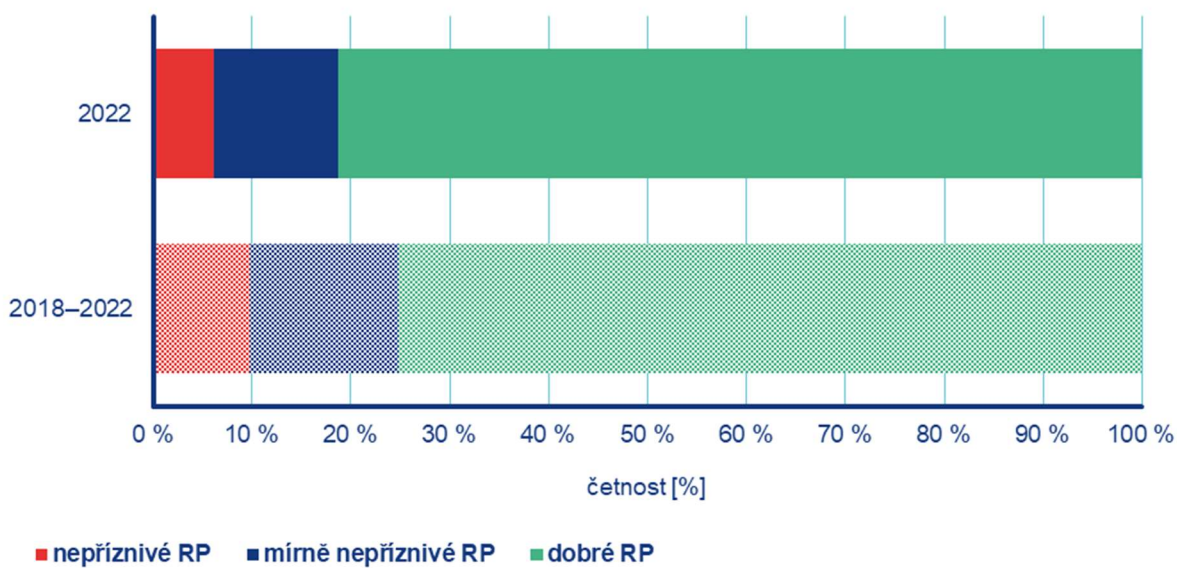
Protože rozptylové podmínky tří hodnocených lokalit v pánevní oblasti zájmového území jsou velmi podobné, je textové a grafické hodnocení v této kapitole rozděleno pouze na dvě části (pro Rudolice a pro ostatní měřicí místa).

V porovnání s pětiletým průměrem 2018–2022 panovaly v roce 2022 na stanici Rudolice v Horách lepší rozptylové podmínky (Obr. 20). V porovnání s pětiletým průměrem 2018–2022 lze většinu měsíců hodnotit jako měsíce se zlepšenými rozptylovými podmínkami (Obr. 21). V únoru a v červenci byly rozptylové podmínky výrazně lepší. Zhoršené rozptylové podmínky oproti pětiletému průměru 2018–2022 byly pouze v březnu.

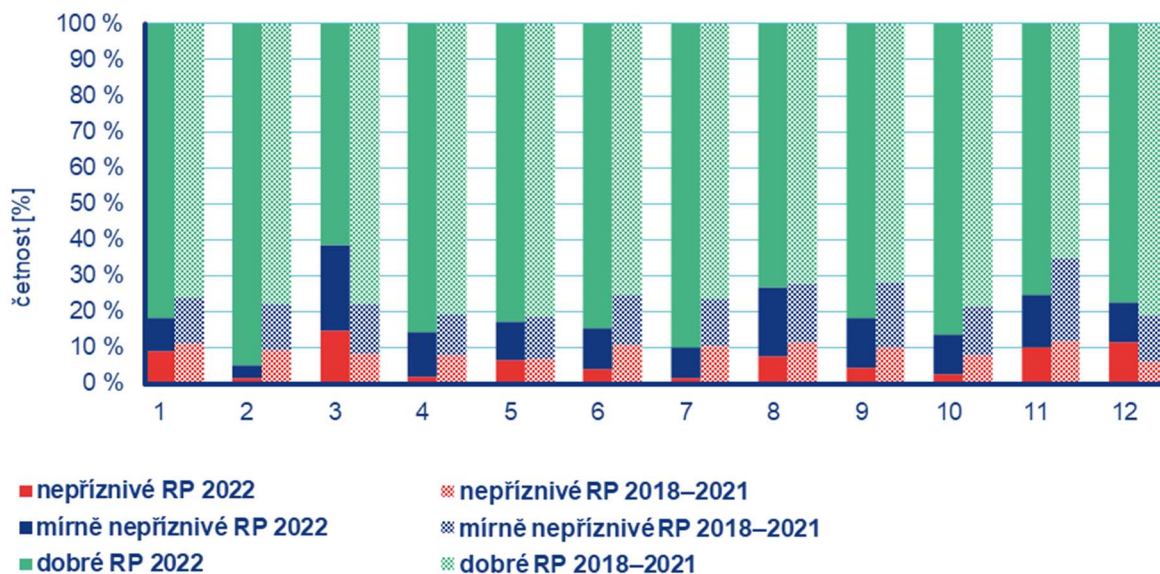
V lokalitách Chomutov, Lom a Most-letišť lze předpokládat podobné zastoupení četností rozptylových podmínek, proto jsou na Obr. 22 a Obr. 23 uvedeny grafy pouze pro jednu z těchto stanic (Chomutov). V porovnání s pětiletým průměrem 2018–2022 panovaly v roce 2022 na stanici Chomutov podobné rozptylové podmínky. V porovnání s pětiletým průměrem 2018–2022 lze část měsíců hodnotit jako měsíce se standardními rozptylovými podmínkami. Výjimku tvoří měsíce leden, únor a červenec s výrazně lepšími rozptylovými podmínkami. Naopak v březnu, květnu, říjnu a v listopadu byly rozptylové podmínky oproti pětiletému průměru 2018–2022 zhoršené.



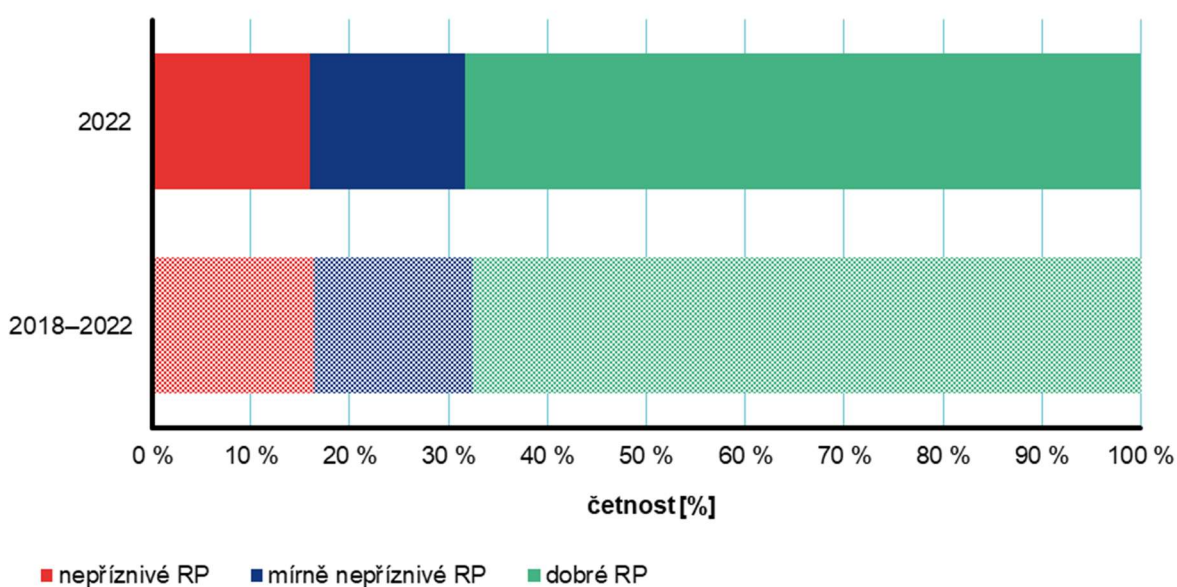
Obr. 19 Porovnání četností rozptylových podmínek na stanicích Chomutov, Lom a Rudolice v Horách v roce 2022



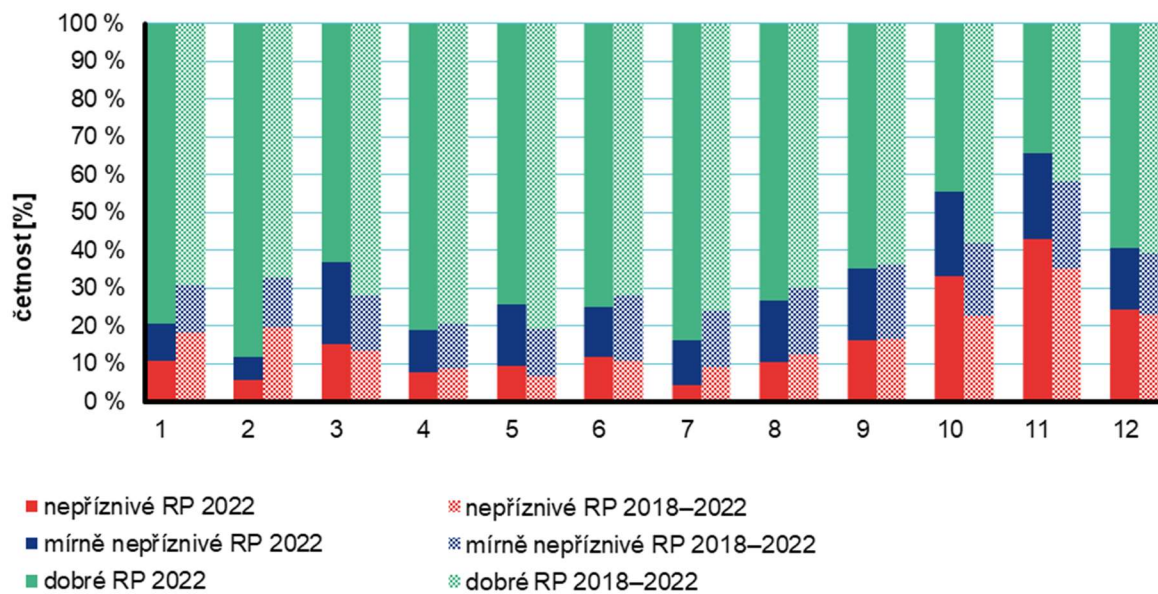
Obr. 20 Četnosti výskytu rozptylových podmínek v roce 2022 v porovnání s pětiletým průměrem 2018–2022, Rudolice v Horách



Obr. 21 Měsíční četnosti výskytu rozptylových podmínek v roce 2022 v porovnání s pětiletým průměrem 2018–2022, Rudolice v Horách



Obr. 22 Četnosti výskytu rozptylových podmínek v roce 2022 v porovnání s pětiletým průměrem 2018–2022, Chomutov



Obr. 23 Měsíční četnosti výskytu rozptylových podmínek v roce 2022 v porovnání s pětiletým průměrem 2018–2022, Chomutov

Specifické rozptylové podmínky, které nastaly v některých částech roku 2022, jsou komentovány také v diskusi k výsledkům matematického modelu v kapitole 5.

3. Rozsah a metodika prací

Ve výše popsaných lokalitách Chomutov (UCHM), Lom (ULOM), Most-letišť (UMOL, uváděná dále také jen jako Most) a Rudolice v Horách (URVH, dále také jen jako Rudolice) byla pro identifikaci příčin znečištění v období 1. 1. 2022 – 31. 12. 2022 provedena specializovaná měřicí kampaň. Automatickými sekvenčními vzorkovači Leckel SEQ 47/50 zde byly odebírány 12hodinové vzorky prашného aerosolu frakce PM₁₀ na filtry. Vzorkovací průtok byl během odběru 2,3 m³/h s přesností 2 %. Vzorky byly odebírány v intervalu 36 hodin se začátkem odběru 6:00, resp. 18:00 UTC. Kromě odběrů na filtry provedených v rámci projektu ARAMIS byly pro navazující hodnocení využity také hodnoty meteorologických parametrů a plynných škodlivin naměřené ve stejném období v lokalitách Chomutov, Lom a Rudolice v rámci Státní sítě imisního monitoringu.

Odebrané vzorky byly v laboratořích analyzovány pro stanovení hmotnostní koncentrace látek a sloučenin, které jsou nezbytné pro dostatečné rozlišení a přesnost navazujícího hodnocení, především matematického modelu PMF. Rozsah laboratorně stanovených látek byl následující:

- gravimetrické stanovení koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ přístrojem Mettler Toledo, XPR6UD5,
- OC, EC termooptickou metodou přístrojem Sunset Laboratory Inc., model 4L za použití teplotního programu EUSAAR_2, včetně teplotně rozlišených frakcí OC1 až OC4, EC1 až EC4 a pyrolytické frakce,
- ionty iontovou chromatografií přístrojem Metrohm, 940 Professional IC Vario s pulzně ampérometrickým detektorem: SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻, Br⁻, F⁻, NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺,
- PAH plynovou chromatografií: benzo[*a*]antracen, chrysen, benzo[*b*]fluoranten, benzo[*j*]fluoranten, benzo[*k*]fluoranten, benzo[*a*]pyren, dibenzo[*a,h*]antracen, benzo[*ghi*]perylene, indeno[*1,2,3-cd*]pyren,
- prvkové složení ED XRF přístrojem Thermo Scientific – ARL Quant X: Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, In, Sn, Sb, Ba, Pb,
- anhydrosacharidy iontovou chromatografií přístrojem Metrohm, 940 Professional IC Vario s vodivostním detektorem: levoglucosan, mannosan, galactosan.

Pro gravimetrické stanovení, iontovou chromatografií a stanovení anhydrosacharidů byly použity teflonové filtry (Cytiva Whatman o průměru 46,2 mm), pro stanovení EC/OC a PAH filtry z křemenných vláken (Ahlstrom-Munksjö, MK5, o průměru of 47 mm), vypalovaných při 800°C po dobu 3 hodin.

Filtry pro gravimetrii byly před a po expozici dvakrát váženy. První vážení bylo provedeno po ustálení při 19–21°C a relativní vlhkosti 45–50 % po dobu 48 hodin, druhé vážení po 12 hodinách ustalování při stejných podmínkách. Exponované filtry byly váženy při stejných podmínkách s délkou ustalování 48 hodin před prvním a 24 hodin před druhým vážením.

Pro navazující modelové řešení bylo uvedenými metodami zpracováno 243 vzorků z každé lokality, celkem tedy 972 vzorků. Rozsah stanovení byl ve všech vzorcích stejný s výjimkou PAH, hopanů a cholestanů, které byly stanoveny pouze v lokalitách Chomutov, Lom a Most a pouze ve vybraném chladném ročním období (1. 1. – 31. 3. a 13. 10. – 12. 12.).

Kromě uvedených počtů byly ke kontrole a zajištění kvality výsledků odebrány pro každou z laboratorních metod polní slepé vzorky v rozsahu 5 % počtu řádných vzorků.

Analytické práce byly provedeny v laboratoři ČHMÚ, pobočce Ostrava, s výjimkou rozborů PAH, které stanovila laboratoř pobočky ČHMÚ v Ústí nad Labem.

Pro identifikaci zdrojů znečišťování ovzduší (posouzení, které zdroje se v hodnoceném místě podílejí na celkové imisní koncentraci hodnocených látek a jaká je velikost jejich imisních příspěvků) byl použit receptorový matematický model PMF. Jedná se o mnohorozměrnou faktorovou analýzu, která je k tomuto účelu celosvětově běžně používána. Je založena na vzájemných korelacích časových řad imisních koncentrací jednotlivých analytů a jejich skupin. Analyty s podobným časovým průběhem jsou modelem seskupeny do tzv. faktorů. Tyto identifikované faktory (jejich složení a časový průběh) reprezentují konkrétní zdroje nebo skupiny zdrojů znečišťování ovzduší, které v posuzované lokalitě přispívají ke znečištění ovzduší zájmovou

látkou. Pro každý faktor byl modelem vypočten absolutní i relativní podíl na imisní koncentraci PM₁₀. Při modelování bylo postupováno v souladu s požadavky manuálu k programu PMF 5.0 [2]. Příležitostí modelem vypočtené koncentrace k naměřeným koncentracím PM₁₀ je vyjádřena koeficientem determinace R²=0,96 při přidání nejistoty modelu 9 %. Z důvodu nevyhovujícího poměru signál/šum nebo nadbytečnosti (duplicita hmoty s jiným analytem, nespecifičnost původu) byly z měřených analytů v průběhu modelování vyřazeny bromidy, Cd, In, Sn a většina PAH, hopany a cholestany. Naměřené koncentrace plynných analytů, které byly v datasetu ponechány pro zvýšení rozlišovací schopnosti a lepší možnosti interpretace modelu, byly o 3 řády sníženy, aby významně neovlivňovaly kvantifikaci hmotnostních podílů. Stabilita řešení byla ověřena metodou bootstrap s 20 testovacími výběry, přičemž základní model (Base Run) vykazoval shodu výběrových a základních modelových faktorů >87,5%. Základní modelové řešení bylo jemně rotováno s hodnotou F_{peak}=-0,5. Výsledné rotované řešení a skutečně naměřené koncentrace PM₁₀ korelují s hodnotou R²=0,96 se 100 % shodou faktorů výběrového (bootstrap) a F_{peak} řešení.

Po interpretaci faktorových profilů bylo provedeno ověření, zda směr, odkud byly do hodnocených lokalit transportovány modelem identifikované typy znečištění, odpovídá poloze skutečných zdrojů. Za tímto účelem byly využity údaje o směru a rychlosti větru zpracované metodou zpětných trajektorií (model HYSPLIT⁵ a interní aplikace ČHMÚ), polárními grafy a výsledky evropského modelování v rámci Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS)⁶. Poloha zdrojů emisí byla v případě lokálně působících faktorů hodnocena také metodou CPF (Conditional Probability Function).

4. Úroveň znečištění a složení aerosolu PM₁₀

Naměřené průměrné roční koncentrace aerosolu PM₁₀ nepřekročily imisní limit pro průměrnou roční koncentraci (40 μg.m⁻³). Případné překročení limitu pro 24hodinové koncentrace PM₁₀ nelze hodnotit, protože odebírány byly 12hodinové, nikoliv 24hodinové vzorky.

Celkově nejvyšší úroveň znečištění byla zjištěna v Lomu, naopak nejnižší v Rudolicích. Oproti této pozadové lokalitě se Chomutov vyznačoval o cca 70 % vyšší průměrnou koncentrací, Most-letišťe přibližně dvojnásobnou a Lom cca 2,3 krát vyšší.

Kolísavost koncentrací se na hodnocených lokalitách významně nelišila, přičemž Lom byl výrazněji ovlivněn občasnými extrémními hodnotami. Situaci dokumentuje Tab. 8.

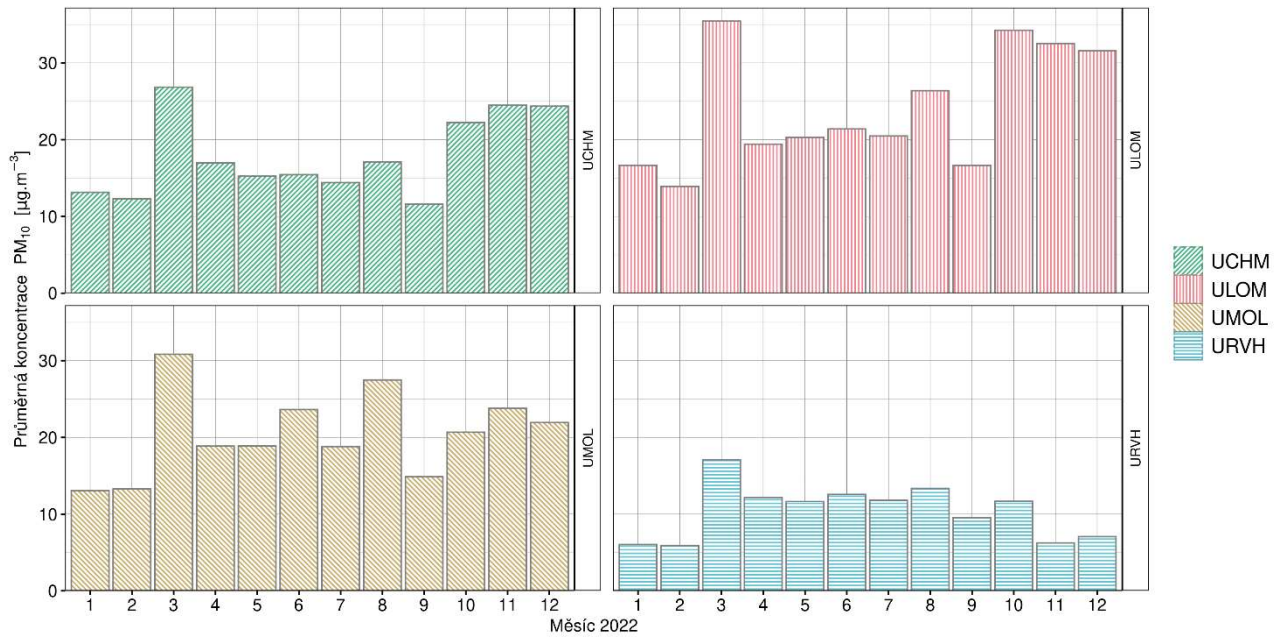
Tab. 8 Naměřené průměrné roční koncentrace PM₁₀

Lokalita	Aritmetický průměr [μg.m ⁻³]	Směrodatná odchylka [μg.m ⁻³]	Medián [μg.m ⁻³]
UCHM (Chomutov)	17.9	9.8	15.5
ULOM (Lom)	24.2	16.2	19.6
UMOL (Most-letišťe)	20.6	13.7	16.9
URVH (Rudolice v H.)	10.5	7.2	9.3

Obr. 24 ukazuje, že nejvyšší hodnoty v roce byly naměřeny ve všech lokalitách v březnu, kdy na údolních lokalitách převažovalo proudění ze severovýchodního kvadrantu (viz větrné růžice v příloze 3), podobně jako v období vysokých koncentrací v listopadu a prosinci. Tato situace kontrastuje s lednem a únorem, kdy zde převládaly západní směry proudění, a úroveň znečištění byla nízká, přestože se rovněž jednalo o topnou sezonu. To naznačuje, že rozptylové podmínky mají na koncentrace PM₁₀ v Podkrušnohorské pánvi vyšší vliv než množství emisí, které v daném období produkují zdroje znečišťování ovzduší.

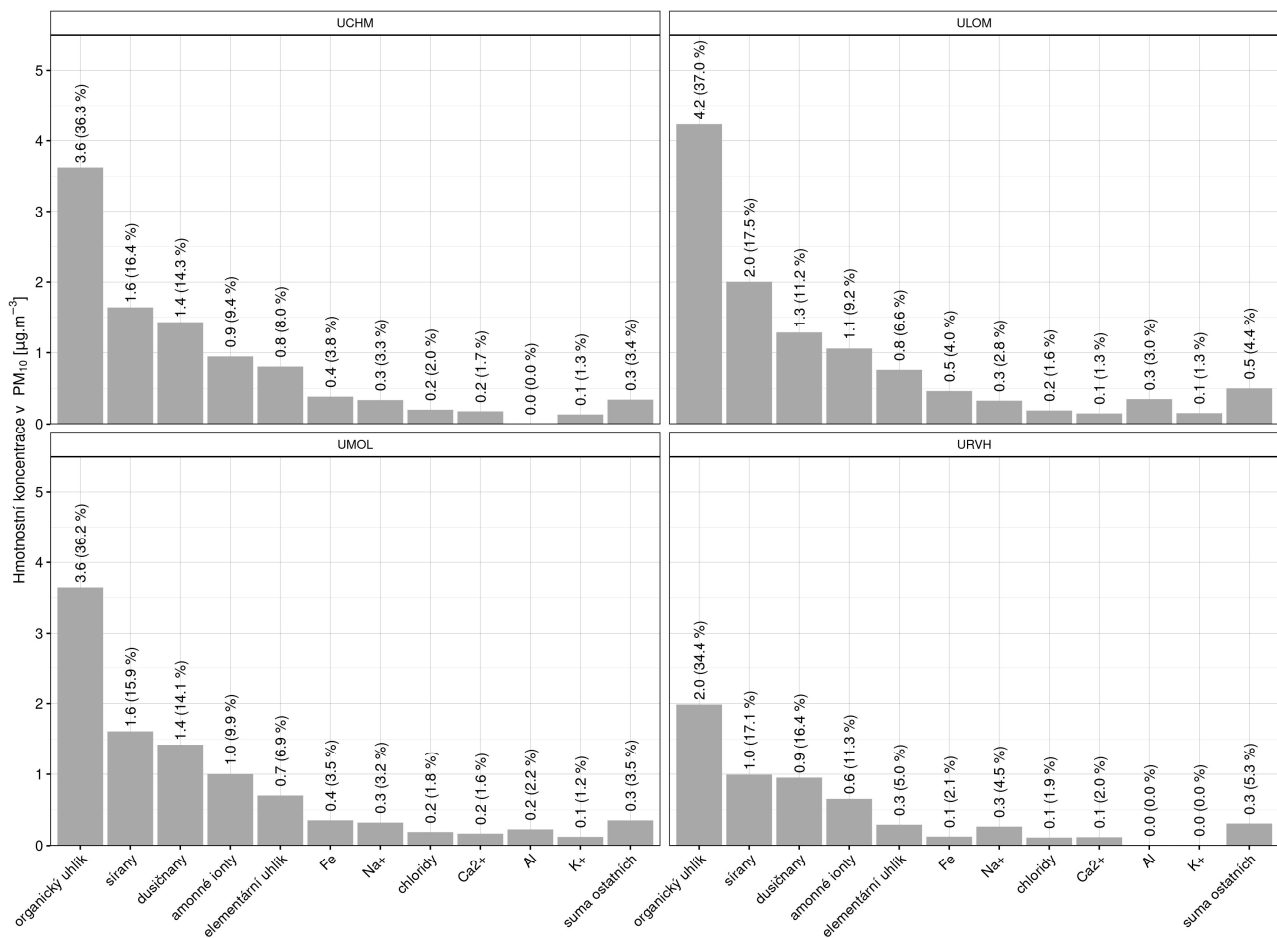
⁵ https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php

⁶ <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/>



Obr. 24 Naměřené průměrné měsíční koncentrace PM_{10}

Laboratorními analýzami odebraných vzorků aerosolu PM_{10} bylo zjištěno jeho roční průměrné složení, které dokládá Obr. 25.



Obr. 25 Hmotnostní chemické složení aerosolu PM_{10}

Z hlediska relativního zastoupení hlavních složek aerosolu jsou naměřené rozdíly mezi lokalitami málo významné s výjimkou mírně zvýšeného podílu síranů v Lomu. Všude převažoval organický uhlík s více než třetinovým podílem v PM₁₀, který byl následován sírany, dusičnany (každá skupina látek okolo 15 %), amonnými ionty (okolo 10 %) a elementárním uhlíkem (5 až 8 %). Rudolice se od všech ostatních monitorovaných míst výrazně lišily nižšími koncentracemi, poměrné zastoupení hmotnostně hlavních komponent bylo ale podobné. Odlišností z hlediska hmotnostně významných složek PM₁₀ byl obsah hliníku, který byl v Lomu a Mostu výrazně vyšší oproti ostatním dvěma lokalitám. Rudolice se od všech ostatních lokalit lišily také vyšším relativním podílem sodíku a naopak menším zastoupením draslíku a elementárního uhlíku.

5. Identifikované příčiny znečištění ovzduší

Modelem PMF bylo identifikováno 12 faktorů, které v hodnocených čtyřech lokalitách v průběhu roku 2022 ovlivňovaly úroveň imisních koncentrací PM₁₀. Obsahem této kapitoly je popis chemického složení částic, kterými jsou tyto faktory tvořeny, časového průběhu jejich imisního příspěvku a jejich interpretace (přirazení skutečným zdrojům znečišťování ovzduší).

Zvolené označení (zkratka názvu) jednotlivých faktorů dodržuje syntaxi X_Y_Z. Písmeno „X“ reprezentuje plošný rozsah působení faktorů:

- LOC = lokální,
- REG = regionální,
- LRT = nadregionální, dálkový transport znečištění.

Písmeno „Y“ udává převažující původ aerosolových částic:

- CRUST = minerální částice z půdy a hornin,
- HEAT = primární částice z vytápění domácností,
- IND = primární částice z průmyslových aktivit,
- TRA = primární částice z automobilové dopravy,
- SALT = mořské částice chloridu sodného,
- SIA = sekundární anorganický aerosol,
- SOA = sekundární organický aerosol.

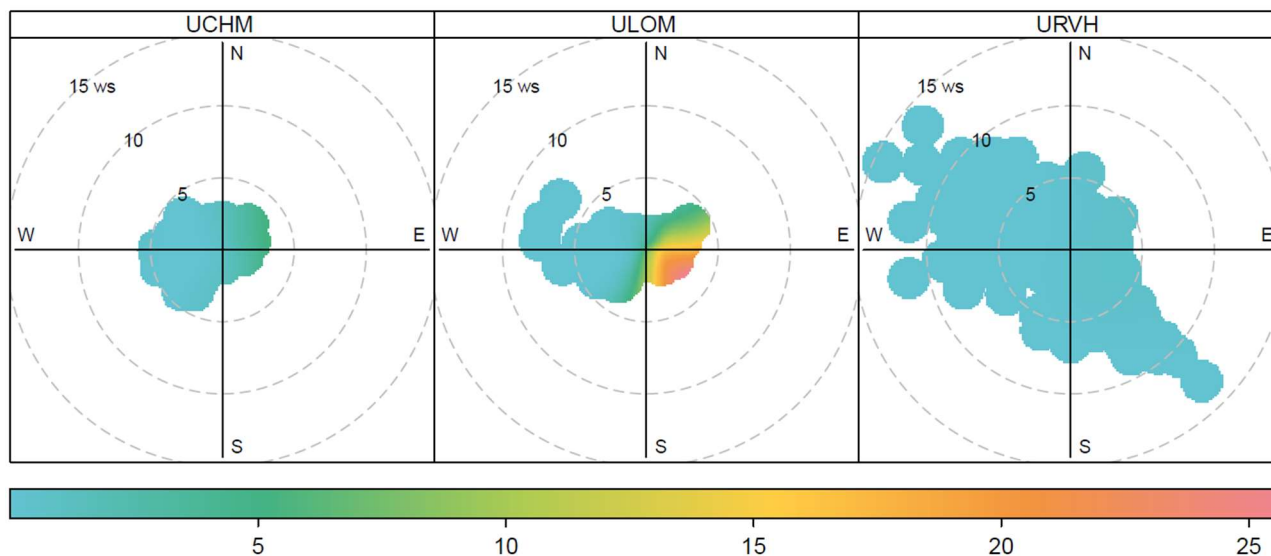
V případě faktorů reprezentujících sekundární aerosoly udává závěrečná část zkratky faktorů (písmeno „Z“ dle uvedené syntaxe) typ aerosolu podle charakteristické chemické složky:

- AS = dominantně síran amonný,
- AN = dominantně dusičnan amonný,
- N = vysoký obsah dusičnanů bez bližšího rozlišení,
- S = vysoký obsah síranů bez bližšího rozlišení,
- C = vysoké zastoupení uhlíkatých částic.

LOC_CRUST

V relativním vyjádření mají v chemickém profilu tohoto faktoru nejvyšší zastoupení Al a Si, Ti, Fe, Sr, Ba. V absolutních koncentracích se jedná o převahu Al, Si, Fe, Ti s nežádoucí interferencí síranů z důvodu sezónní shody kulminace příspěvků. Násobně vyšší imisní příspěvky oproti ostatním dvěma lokalitám (špičkové 12hodinové průměry až k 50 µg.m⁻³) byly zjištěny v Lomu a Mostu – letišti, což souvisí s blízkostí aktivního lomu Bílina. Vysoké imisní příspěvky na těchto dvou lokalitách se vyskytovaly celoročně. Faktor reprezentuje dominantně minerální částice emitované z povrchové těžby uhlí, a to jak z technologických zdrojů, tak prašnost vířenou větrem z nezrekultivovaných ploch po těžbě, dominantně v areálu lomu Bílina. Směr

nejvyšších příspěvků faktoru v lokalitě Lom z jihovýchodního kvadrantu, který odpovídá povrchové těžbě, dokládá nejlépe polární graf (Obr. 26). V lokalitě Most-letišť v průběhu odběrové kampaně neprobíhalo měření směru a rychlosti větru, proto zde není zobrazena.

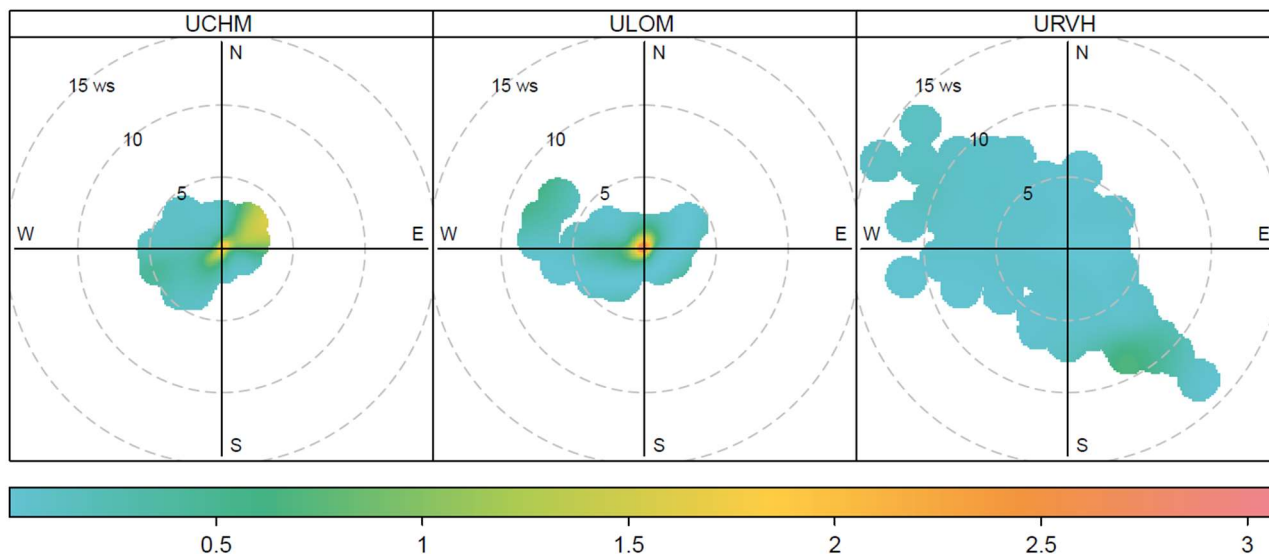


Obr. 26 Polární graf imisního příspěvku faktoru LOC_CRUST ke koncentraci PM_{10} [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]

Kromě zmíněného průmyslového původu zahrnuje také vliv resuspenze částic ze zemského povrchu vlivem větru. S ohledem na polohu měřicích lokalit, tamní modelované úrovně imisního příspěvku tohoto faktoru a polární grafy je ale zřejmé, že v lokalitách Lom a Most-letišť tento faktor reprezentuje především činnosti a plochy související s těžební činností.

LOC_HEAT

Ze všech faktorů zde byly relativně nejvíce zastoupeny anhydrosacharidy, doprovázené polycyklickými aromatickými uhlovodíky, organickým a elementárním uhlíkem a draselnými ionty. V absolutních koncentracích převažovaly kromě bezvodých cukrů dusičnany, ionty draslíku, organický a elementární uhlík a sírany, z prvků pak Fe, Zn, As, Si, Al a Na. Faktorové imisní příspěvky byly omezeny na chladné období na začátku a na konci roku, kdy dosahovaly ve 12hodinových vzorcích až okolo $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší imisní příspěvky byly podle modelu zaznamenány v Chomutově a Lomu, výrazně nejnižší v Rudolicích. Část chladné sezony v závěru roku se vyznačovala výrazně vyššími imisními příspěvky oproti topné sezoně na jeho začátku. Důvodem byly kromě dalších možných faktorů také výrazně horší rozptylové podmínky v Podkrušnohorské pánvi, zejména v říjnu a listopadu (viz měsíčně členěné větrné růžice, průměrné rychlosti větru a četnost bezvětří v příloze 3). Směr ke zdrojové oblasti je neprůkazný, protože maxima příspěvku nastávala při velmi nízkých rychlostech větru až bezvětří, kdy nelze směr proudění spolehlivě hodnotit (viz Obr. 27, podobně další metody v přílohové části).



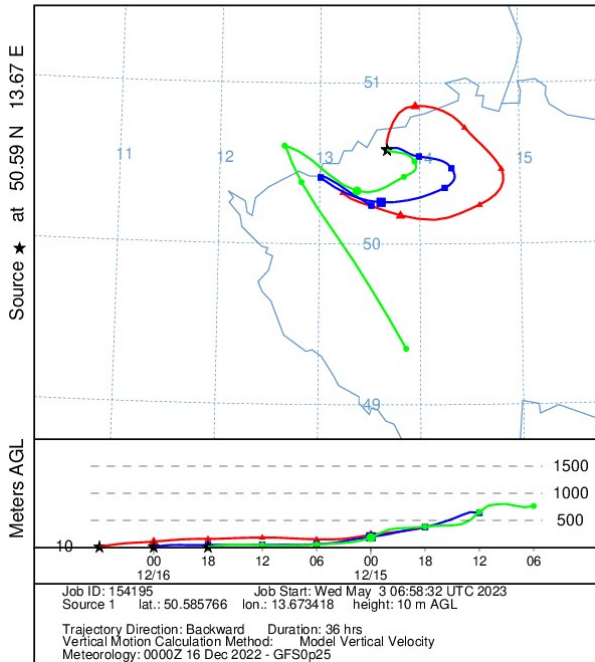
Obr. 27 Polární graf imisního příspěvku faktoru LOC_HEAT ke koncentraci PM_{10} [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]

Z chemického profilu a časového průběhu faktorového imisního příspěvku je zřejmý jednoznačný původ tohoto znečištění ve vytápění domácností pevnými palivy (biomasou i uhlím).

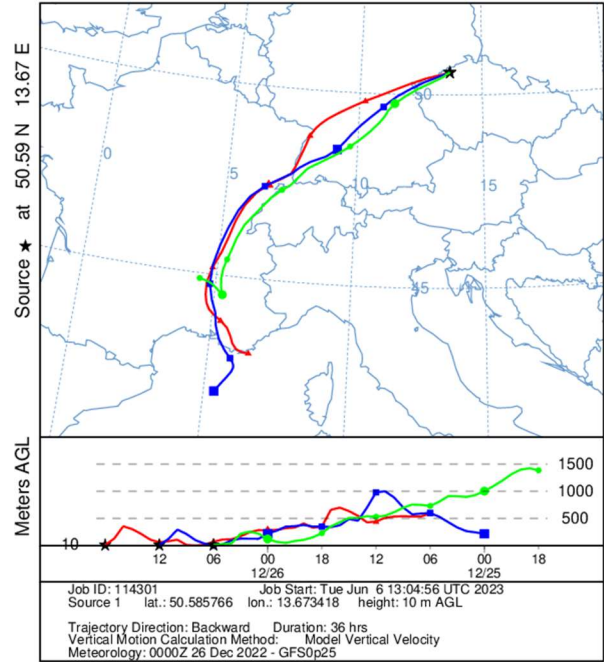
LOC_IND

V absolutních koncentracích v tomto faktoru převažuje směs síranu a dusičnanu amonného. Relativně je v něm zcela dominantní selen. Imisní příspěvky faktoru byly extrémně kolísavé a zásadně se lišily mezi lokalitami. Jednalo se o pouze občasné se vyskytující koncentrační špičky k téměř až $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v lokalitách Lom a Most – letiště, v jednom případě také v Chomutově, které jsou střídané převažujícími obdobími s téměř nulovými příspěvky. V Rudolicích byl faktorový příspěvek celoročně blízky nule. Jedná se o vliv emisí z významného bodového průmyslového zdroje selenu a oxidu siřičitého. Vzhledem ke vzdálenosti a směru transportu znečištění jde především o elektrárnu Ledvice při zhoršených rozptylových podmínkách, v jednom případě byly pravděpodobným zdrojem Elektrárna Komořany nebo Prunéřov. Dokládají to zpětné trajektorie modelu HYSPLIT pro vzorky se začátky odběru 15. 12. 2022 18:00, 26. 12. 2022 06:00, 20. 12. 2022 06:00 a 12. 10. 2022 06:00 (Obr. 28).

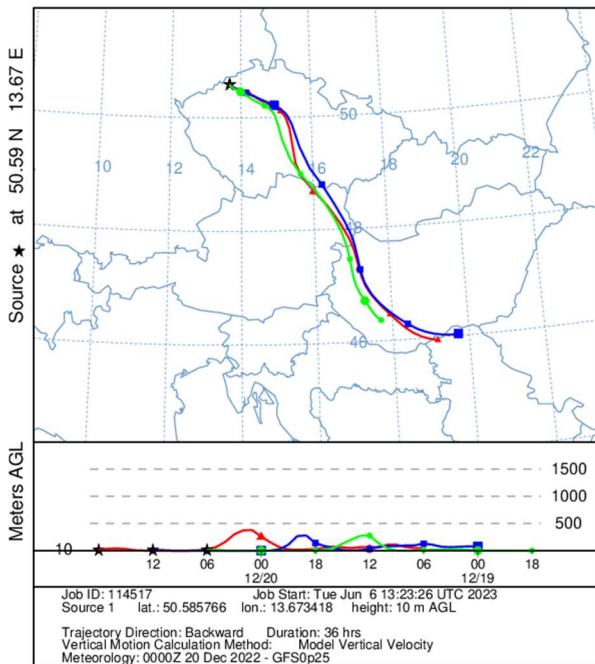
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0600 UTC 16 Dec 22
GFSQ Meteorological Data



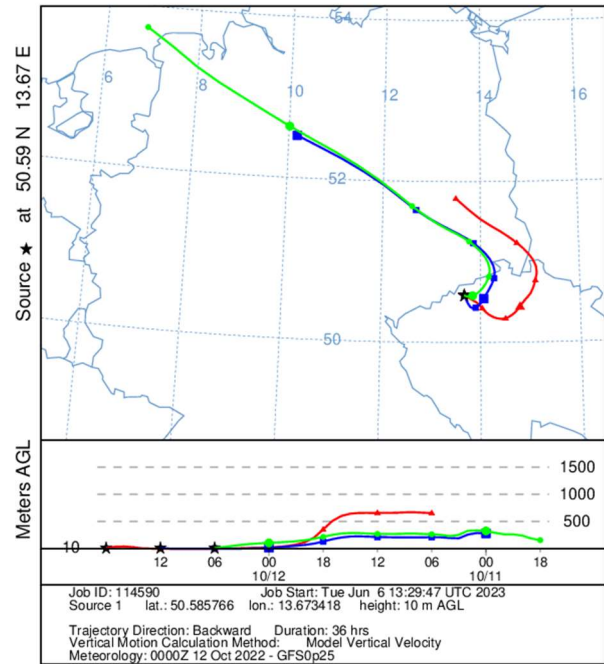
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 1800 UTC 26 Dec 22
GFSQ Meteorological Data



NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 1800 UTC 20 Dec 22
GFSQ Meteorological Data



NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 1800 UTC 12 Oct 22
GFSQ Meteorological Data

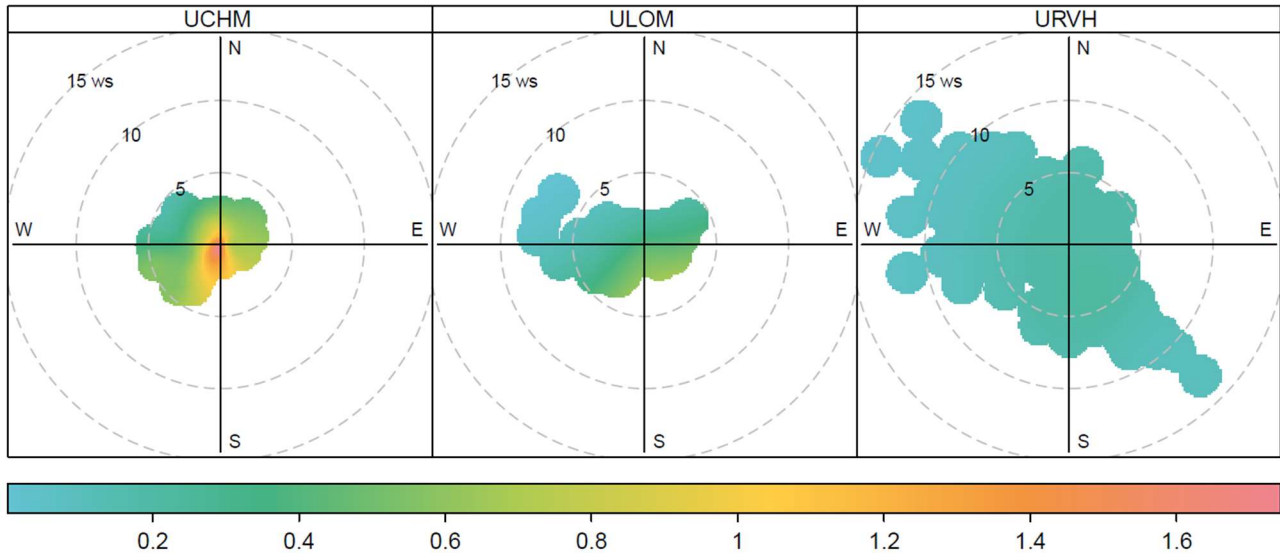


Obr. 28 Zpětné trajektorie pro dny s vysokými příspěvky průmyslové energetiky

LOC_TRA

V absolutních koncentracích v tomto faktoru převažuje organický a elementární uhlík, z prvků Fe, Cu, Zn, Sb, Ba, dále také Ca, K a Ti. Relativně je zde v rámci identifikovaných faktorů výrazně zastoupena zejména Cu, Fe, Zn. Chemický profil obsahuje také polycyklické aromatické uhlovodíky a ukazuje na vůbec nejvyšší souvislost s emisemi NO a NO₂ ze všech identifikovaných faktorů. Faktor se projevoval výraznými lokálními

rozdíly mezi lokalitami s maximy v městské lokalitě Chomutov, výrazně nižšími koncentracemi v Lomu a v lokalitě Most-letišť a nulovým příspěvkem v Rudolicích (v rámci statistického šumu modelu). Časový průběh faktorového imisního příspěvku byl výrazně kolísavý s maximy v lednu, březnu, říjnu a listopadu, která dosahovala hodnot okolo $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Podobně jako v případě vytápění domácností nelze ze stejných důvodů jednoznačně určit směr, ze kterého byl tento typ částic transportován. Lokální původ v Chomutově při velmi slabém proudění je patrný z polárního grafu na Obr. 29, podobně také z dalších metod v přílohové části.

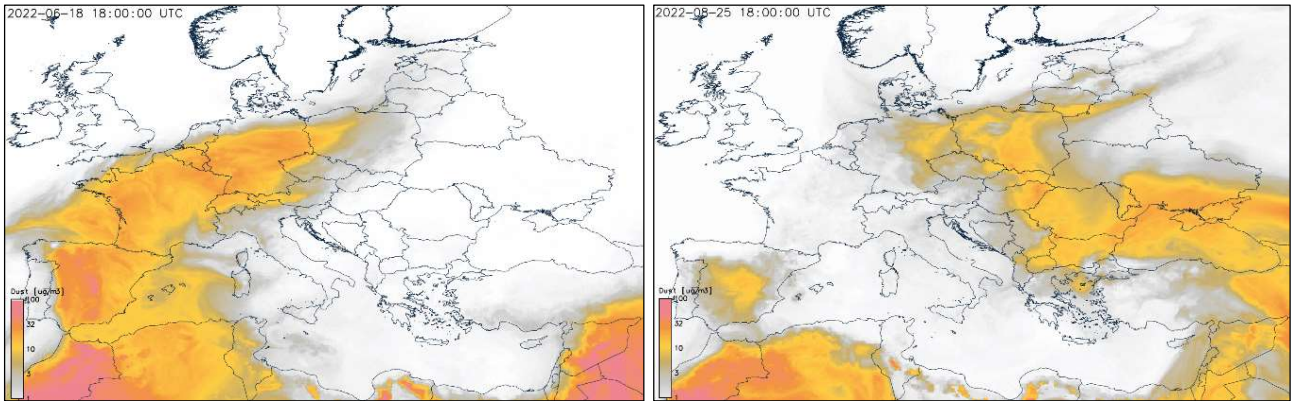


Obr. 29 Polární graf imisního příspěvku faktoru LOC_TRA ke koncentraci PM_{10} [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]

Faktor reprezentuje emise primárních částic z automobilové dopravy. Šlo o výfukové emise a otěry, ale vzhledem k časovému průběhu a zastoupení prvků zemské kůry v chemickém profilu se na celkovém příspěvku tohoto faktoru podílela pravděpodobně také resuspenze z povrchu vozovek.

LRT_CRUST

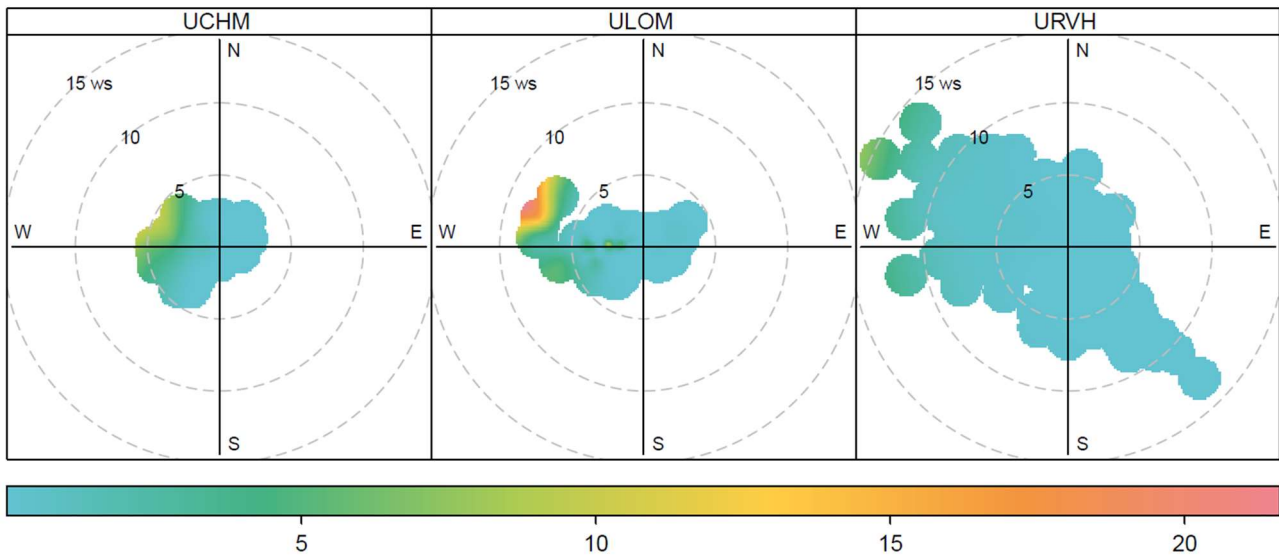
Hmotnostně nejvíce zastoupené prvky v tomto typu znečištění jsou Si, Ca a Fe, významné jsou ale také sírany, dusičnany a organický uhlík. Časový průběh příspěvků k PM_{10} byl extrémně proměnlivý v rámci roku a téměř shodný na všech lokalitách. Maxima (většinou do $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ojediněle přes $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla dosažena ve vzorcích se začátkem odběru 25. 8. 2022 06:00, 18. 6. 2022 18:00 a v delším období v průběhu března 2022. Chemické složení minerálních prvků bez antropogenních prvkových polutantů je doplněno o sírany, dusičnany a organický uhlík, což nasvědčuje přírodnímu původu a následnému dlouhému transportu, během kterého došlo k agregaci původních minerálních částic s uvedenými polutanty. Na základě těchto skutečností a analýzy modelu Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) byla potvrzena správnost interpretace jako dálkového přenosu minerálních (půdních) částic. Srpnová špičková koncentrace byla způsobena přenosem půdních částic ze stepních oblastí Ukrajiny a Ruska. V průběhu března se jednalo o delší epizodu přenosu saharského prachu přes Pyrenejský poloostrov do oblastí Britských ostrovů a Skandinávie, odkud byly následně zbytkové koncentrace tohoto znečištění transportovány do střední Evropy. Saharské částice se podobně projeví v červnu, kdy byly transportovány přes Španělsko do západní Evropy a následně od severozápadu na území České republiky. Dvě z uvedených epizod dokumentuje následující Obr. 30.



Obr. 30 Vybrané epizody přenosu aerosolu ze Sahary (vlevo) a z Ukrajiny (vpravo)

LRT_SALT

Hmotnostně i v relativním vyjádření faktoru dominuje chlorid sodný, který je doprovázen sírany a uhlikatými částicemi, relativně je významný také Mg. Faktorový imisní příspěvek byl po většinu ročního času velmi nízký s občasnými řádově zvýšenými hodnotami, zejména v lednu a únoru (jednotky, ojediněle přes $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), méně často a méně výrazně (do $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) v průběhu celého roku. Leden až únor byly výrazně největrnější měsíce v roce s výraznou převahou západních směrů proudění. Podle časového průběhu faktorového příspěvku shodného ve všech lokalitách zjevně jedná o dálkově přenášené znečištění. Nejen zpětné trajektorie, ale i metody založené na lokálním měření směru větru jasně ukazují ve všech lokalitách největší příspěvky při větrném počasí ze západu až severozápadu (viz např. Obr. 31). Z uvedeného vyplývá, že posypová sůl se na imisním příspěvku faktoru podílela pouze zanedbatelně nebo vůbec. Faktor reprezentuje dálkový transport mořského aerosolu, jehož vliv se mohl nejsilněji projevit při oceánském proudění na začátku roku.



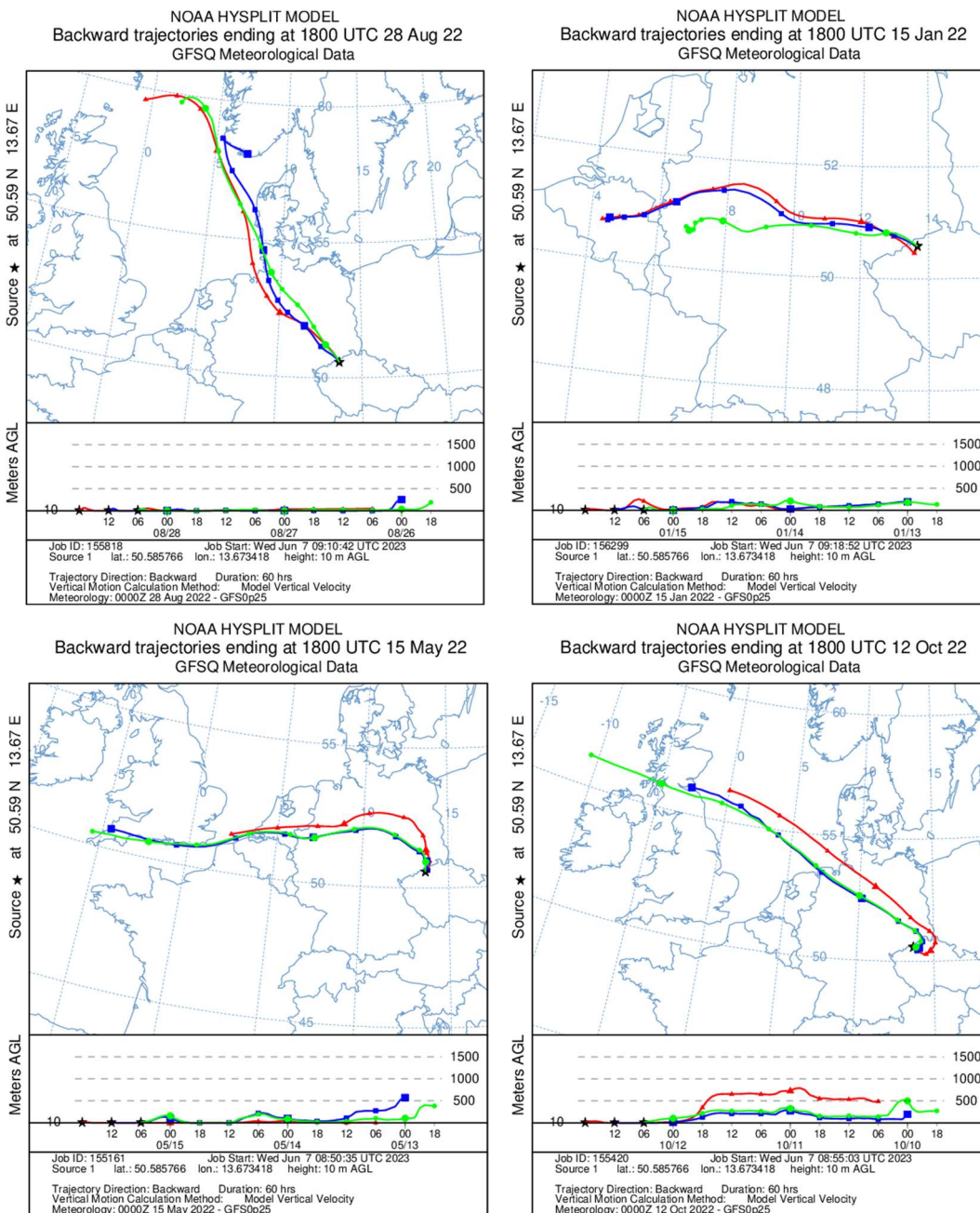
Obr. 31 Polární graf imisního příspěvku faktoru LRT_SALT ke koncentraci PM_{10} [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]

LRT_SIA_N

Specifickým rysem tohoto faktoru je jak hmotnostní, tak relativní převaha dusičnanů a sodných iontů, pravděpodobně ve formě dusičnanu sodného. Vedle těchto hlavních složek zde byly výrazně zastoupeny také sírany a organický uhlík a relativně dále hořčík. Při interpretaci by neměla být opomenuta relativně mírně zastoupená skupina analytů Ni, Cr, V a vysokoteplotní frakce EC4. Imisní příspěvek nabýval ve všech sezonách a lokalitách obdobných hodnot, s maximy v jednotkách $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, přičemž změny koncentrace byly

pozvolné, bez zřetelných rozdílů mezi denními a nočními hodnotami. Nejvyšší příspěvky faktoru byly modelem vypočteny ve vzorcích se začátkem odběru 15. 1. 2022 06:00, 15. 5. 2022 06:00, 28. 8. 2022 06:00 a 12. 10. 2022 06:00. Uvedené skutečnosti naznačují dálkový původ. Jedná se o znečištění související s marinním aerosolem, což naznačují jak koncentrace sodíkových iontů, tak i charakteristická skupina kovů s niklem a vanadem, která často ukazuje na vliv spalování nekvalitních paliv v námořní dopravě, popř. v rafineriích v přímořských oblastech. Původně mořská sůl byla v průběhu několikadenního transportu při kontaktu s oxidy dusíku a vzdušnou vlhkostí transformována do podoby dusičnanu sodného. Nižší uvedené zpětné trajektorie pro dny s nejvyššími příspěvky tohoto faktoru dokumentují, že pro jeho transport byly typické situace s velmi nízkou výškou mezní vrstvy atmosféry. V tomto období byly přenášeny marinní částice na území Beneluxu a Německa dlouhodobě vystaveny vysokým koncentracím oxidů dusíku a dalším polutantům v přízemní vrstvě atmosféry.

Faktor lze interpretovat jako sekundární anorganický aerosol vznikající převážně z přírodního marinního aerosolu a emisí z automobilové dopravy na trase následného transportu tohoto znečištění nad území ČR.



Obr. 32 Vybrané epizody přenosu sekundárního aerosolu z přímořských oblastí

LRT_SIA_S

Faktor je složen z uhlíkatých částic a síranu amonného, které jsou doprovázeny z hlediska relativního zastoupení vysokými obsahy Ni, Cr a fluoridů. Uhlíkaté částice přitom sestávají dominantně z vysokoteplotní frakce EC4. Nezanedbatelné je na rozdíl od faktoru LRT_SIA_N zastoupení polycyklických aromatických uhlovodíků s relativně vysokým poměrem BeP/BaP, svědčícím o dlouhé době transportu. Ze všech faktorů se tento vyznačuje daleko nejvyšším podílem alkálií v nerozpustné formě. Je nepravděpodobné, že by tato omezená rozpustnost byla způsobena mineralogickou formou, protože je výrazně snížena v případě Na, K, Ca i Mg. Může se jednat o důsledek obalení původních částic nerozpustnými organickými sloučeninami, které mohou snižovat přístup vody k těmto alkáliím při úpravě vzorku před iontovou analýzou. Časový průběh faktorového příspěvku byl ve všech lokalitách podobný, ale v Rudolicích celkově mírně vyšší a méně kolísavý. V absolutních hodnotách se jedná o typ znečištění s nejnižším imisním příspěvkem ze všech identifikovaných faktorů (maxima okolo $2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Ve významné části roku byl chod příspěvku částečně inverzní k faktoru LRT_SIA_N. Hypoteticky se může se jednat o důsledek kompetitivního průběhu reakcí Na, NH_3 , HNO_3 a H_2SO_4 za vzniku $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 nebo NaNO_3 , přičemž o reakční cestě rozhoduje teplota, vlhkost a dostupnost uvedených prekurzorů. Významnou roli z hlediska interpretace těchto dvou faktorů hraje také těkavost pravděpodobně vznikajícího dusičnanu amonného, která vede k významným ztrátám jeho hmotnosti během vzorkování a následného zpracování vzorků, takže jeho absolutní množství ve faktorových profilech je pravděpodobně významně podhodnoceno.

Faktor lze interpretovat jako směs sekundárních anorganických a organických aerosolů vznikajících z prekurzorů emitovaných v přímořských oblastech a na trase následného transportu znečištění. Zdroje prekurzorů tohoto typu sekundárního aerosolu jsou na rozdíl od faktoru LRT_SIA_N komplexnější s vyšším vlivem antropogenních emisí. Jedná se pravděpodobně zejména o vliv námořní dopravy a průmyslových činností na migrační trase do ČR.

REG_SIA_AN

Faktoru dominuje dusičnan amonný s několikanásobně nižším zastoupením uhlíkatých, zejména organických částic. V relativním vyjádření je dominance dusičnanů v chemickém profilu ještě výraznější než v absolutních koncentracích. Z prvků je absolutně i relativně významný doprovod K^+ , As, Zn a Pb, což spolu se zmíněnými uhlíkatými částicemi naznačuje souvislost tohoto faktoru se spalováním biomasy a uhlí. Z polycyklických aromatických uhlovodíků v chemickém profilu zřetelně převažuje BeP nad BaP. Časový průběh imisního příspěvku vykazuje zásadní sezonní rozdíly s vysokými hodnotami v chladné části roku a naopak blízkými nule v létě. V rámci chladného období jsou zřejmé nižší koncentrace při větrném počasí v lednu a únoru (viz příloha 2). Zatímco v březnu a dubnu byly faktorové příspěvky na všech stanicích podobně vysoké (maxima mezi 10 a $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), v ostatních chladných měsících byly v Rudolicích oproti ostatním lokalitám výrazně nižší (nejvýše okolo $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). To je způsobeno březnovým směrem větru v Rudolicích převážně od jihovýchodu, které bylo v rámci chladné části roku výjimečné kombinací četnosti a rychlosti větru z tohoto směru (viz příloha 3), a způsobilo zde přenos znečištění z Podkrušnohorské pánve. Jako dusičnan amonný by se v tomto faktoru teoreticky mohly projevat také emise z automobilové dopravy vznikající z oxidů dusíku, ale této hypotéze nenasvědčují ani rozdíly imisních příspěvků mezi lokalitami, ani chemický profil, který nenese stopy charakteristických markerů (zcela chybí Cu, Fe i vysokoteplotní frakce EC). Tento faktor proto s největší pravděpodobností není dopravou ovlivněn nebo pouze zanedbatelně.

Faktor reprezentuje sekundární aerosol vznikající v Podkrušnohorské pánvi dominantně vlivem emisí prekurzorů z vytápění domácností pevnými palivy.

REG_SIA_AS

Faktor s naprostou absolutní i relativní dominancí síranů a amonných iontů, tedy s vysokou pravděpodobností síranu amonného. Ostatní analyty jsou v tomto typu znečištění několikanásobně až řádově méně zastoupeny. Jedná se hlavně o organický uhlík, dusičnany, křemík, železo, ionty draslíku a vápníku. Faktor dosahoval imisních příspěvků k PM₁₀ lokálně až okolo 30 μg.m⁻³, přičemž s výjimkou Rudolic byla maxima na všech lokalitách podobná. V Rudolicích se jednalo špičkově o méně než třetinové koncentrace oproti ostatním lokalitám. Zatímco po většinu roku spolu faktorové příspěvky ve všech sledovaných lokalitách silně korelovaly, přibližně od poloviny října do poloviny prosince byly všude kromě Rudolic násobně vyšší. Důvodem byla pravděpodobně stagnace vzduchu v prostoru Podkrušnohorské pánve (v lokalitách Chomutov, Most-letišť a Lom) v tomto období, kterou lze doložit nízkými rychlostmi větru (přibližně polovičními oproti zbytku roku) a naopak vyšší četností bezvětří (cca 10 % v uvedených podzimních měsících oproti cca 2 % ve zbytku roku). Průměrná výška mezní vrstvy atmosféry v tomto období se pohybovala nejčastěji mezi 200 a 350 metry nad terénem, zatímco mimo toto období ve všech ostatních sezonách mezi 600 a 850 metry. V inkriminovaném období se proto s největší pravděpodobností na imisním příspěvku faktoru REG_SIA_AS nepodílely velké spalovací zdroje (při započtení výšky komínů a tepelné vydatnosti pronikly elektrárenské emise mezní vrstvou a nezhoršovaly regionální imisní situaci pod ní). Zmíněné zhoršené rozptylové podmínky na podzim vedly k dlouhé době zdržení primárních emisí v Podkrušnohoří, tím k intenzivní formaci síranu amonného a nárůstu faktorového imisního příspěvku k PM₁₀ v období mezi 15. 10. 2022 a 15. 12. 2022 na průměrných cca 8,1 μg.m⁻³ oproti cca 2,8 μg.m⁻³ ve zbývající části roku. Uvedená dvoutměsíční epizoda zvýšila sama o sobě v ročním průměru příspěvek faktoru REG_SIA_AS v Podkrušnohorské pánvi o cca 0,9 μg.m⁻³. Imisní příspěvek faktoru REG_SIA_AS ve třech pánevních lokalitách v chladné polovině roku (1. 1. 2022 – 31. 3. 2022 a 1. 10. 2022 – 31. 12. 2022) byl o cca 1,9 μg.m⁻³ vyšší oproti jeho teplé části, což indikuje průměrný roční podíl vytápění na faktorovém imisním příspěvku také okolo 0,9 μg.m⁻³. Tato hodnota představuje přibližně čtvrtinu průměrného ročního imisního příspěvku REG_SIA_AS.

Časový průběh imisního příspěvku mimo uvedenou podzimní epizodu, zejména v teplé části roku, byl velmi podobný průběhem i velikostí ve všech sledovaných lokalitách včetně Rudolic. Z toho je zjevné, že zdroje cca tří čtvrtin průměrného ročního příspěvku faktoru REG_SIA_AS se nacházely dominantně mimo Podkrušnohorskou pánev. Mimo zmíněné dvoutměsíční období na podzim se tedy na imisním příspěvku faktoru podílel především dálkový přenos znečištění, pravděpodobně zejména ze zahraniční průmyslové energetiky. Při dobrých rozptylových podmínkách (dostatečné výšce mezní vrstvy) teoreticky nelze vyloučit, že se na faktorovém příspěvku podílela i regionální průmyslová energetika. Z malého rozdílu průměrného faktorového příspěvku v pánevních lokalitách mimo topnou sezonu (1. 6. 2022 – 30. 9. 2022) oproti Rudolicím (2,9 μg.m⁻³ oproti 2,6 μg.m⁻³) je ale vidět, že tento potenciální vliv je relativně slabý (cca desetina faktorového příspěvku) a vzhledem nejistotě hodnocení neprůkazný.

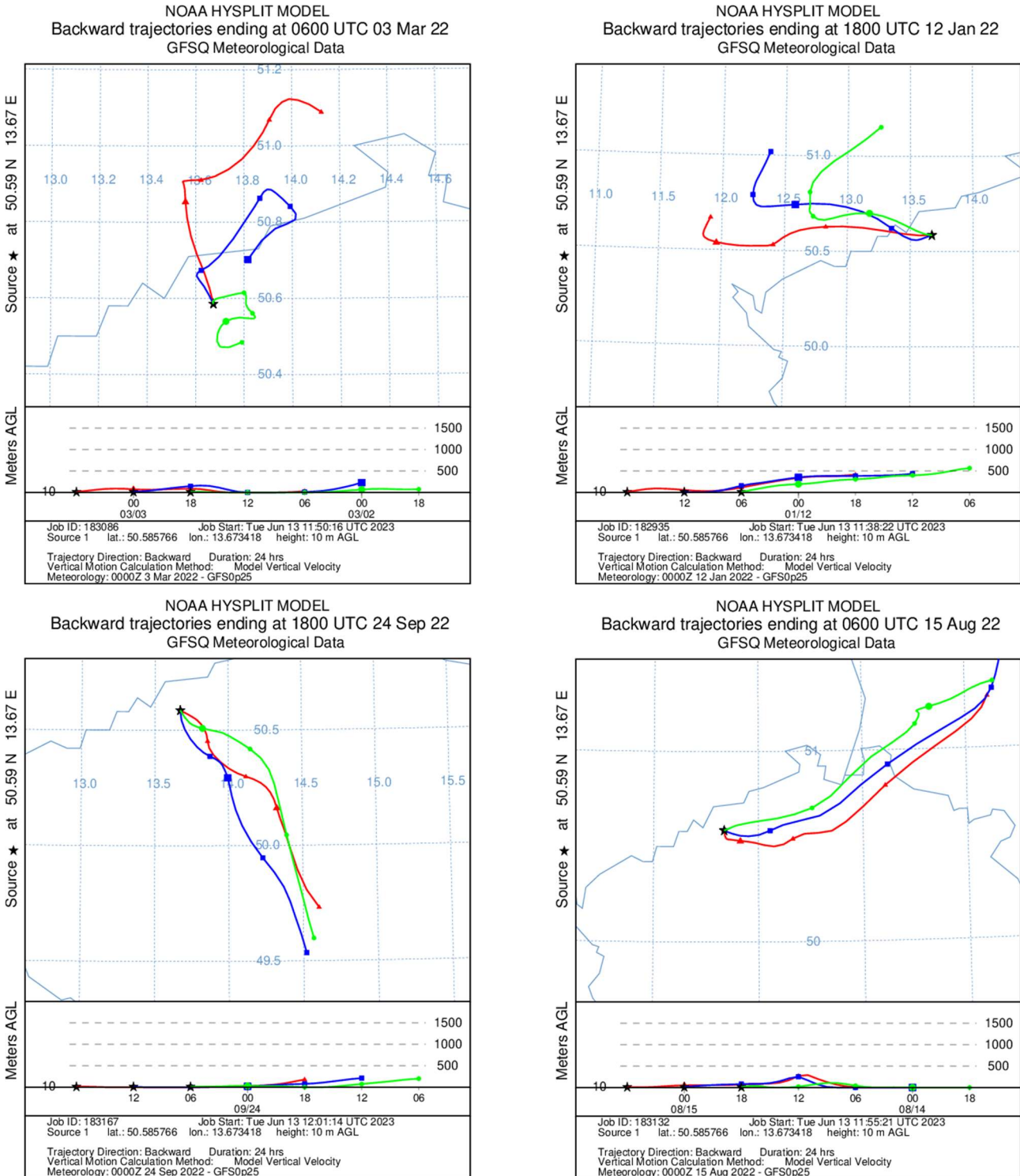
Ačkoliv tedy název faktoru obsahuje předponu „REG“, analýza navazující na modelový výsledek ukazuje, že faktor reprezentuje sekundární aerosol vznikající z průmyslových prekurzorů emitovaných mimo region (celoročně) a z vytápění domácností (v chladné části roku při malé rychlosti větru, která poskytuje dostatek času pro formaci a imisní projev tohoto znečištění ještě na území Podkrušnohorské pánve).

REG_SOA_C

Faktor se skládá z organických i elementárních uhlíkatých částic. Elementární uhlík je zde zastoupen nejvíce ze všech identifikovaných faktorů, přičemž v relativních podílech výrazně dominují teplotní frakce EC2 a EC3. Z hlediska relativních obsahů stojí za pozornost také obsah mědi, významného markeru silniční dopravy. Z dalších prvků se zde vyskytuje hojně také Fe, Si, Na, Ca a Mg. Časový průběh faktorových příspěvků byl výrazně sezonní, s maximy v teplé části roku, ale také v březnu, kdy dosáhly vůbec nejvyšších hodnot v rámci měřeného roku (okolo 5 μg.m⁻³, v lokalitě Most-letišť ojedinele cca 9 μg.m⁻³). Výrazně vyšší byly přitom v pánevních lokalitách oproti Rudolicím, kde byly výrazně méně kolísavé a ani špičkově nepřesáhly 2,5 μg.m⁻³. Zpětné trajektorie během situací s vysokými imisními příspěvky faktoru nastávaly při proudění z různých směrů. Společným rysem dnů s vysokými faktorovými příspěvky byla nízká rychlost větru (pro situace

s vypracovanými zpětnými trajektoriemi na Obr. 33 se jednalo v průměru o cca $0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) a podle modelu HYSPLIT také nízká mezní vrstva (většinou méně než 100 metrů nad terénem), tedy podmínky umožňující dlouhodobý zvýšený vzájemný kontakt prekursorů částic v přízemní vrstvě ovzduší.

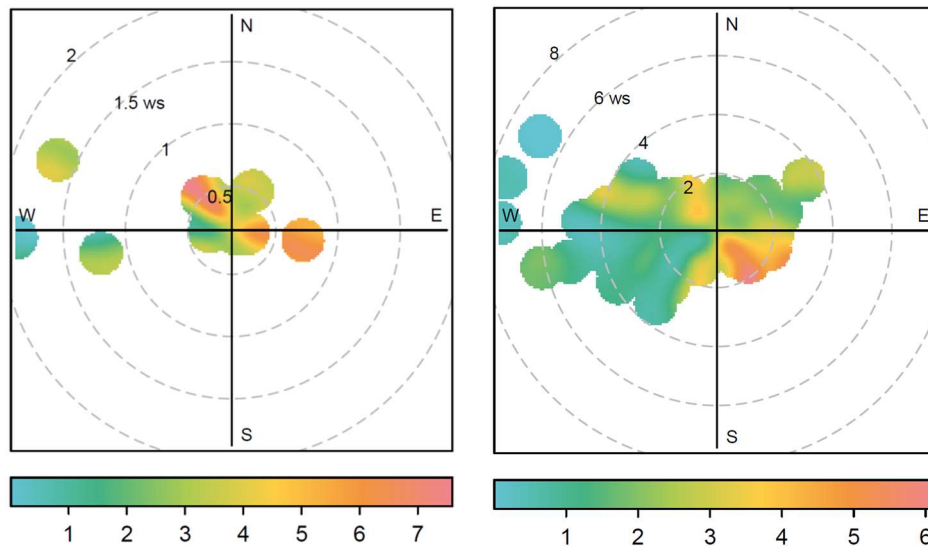
Faktor lze interpretovat jako sekundární, převážně organický fotochemicky indukovaný aerosol vznikající pravděpodobně především z prekursorů emitovaných automobilovou dopravou.



Obr. 33 Zpětné trajektorie pro nejvyšší imisní příspěvky sekundárního organického aerosolu indukovaného významně dopravou (lokalita Most-letišť)

REG_SOA_S

Faktor je složen dominantně z organického uhlíku s převahou teplotní frakce OC2 a OC3. Z hlediska absolutních koncentrací jsou v něm zastoupeny také sírany alkálií a železo. Za zmínku stojí také druhý nejvyšší podíl nerozpustného, resp. obtížně rozpustného vápníku, který může podobně hypoteticky jako v případě faktoru LRT_SIA_S souviset se zapouzdřením minerálních částic do obalu z organických sloučenin. Relativně méně významný, ale přesto zřetelný podíl arsenu a vanadu naznačuje, že do faktoru se promítají částečně také emise ze spalování uhlí, které by vzhledem k vysokému poměru BaP/BeP mohly naznačovat místní původ. Faktor se vyznačuje především výrazným vlivem slunečního záření (průměr za červen až srpen cca $3,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ oproti cca $2,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ za leden, únor a prosinec). Maxima byla většinou dosažena v létě, výjimkou je ale lokalita Lom, kde absolutního maxima dosáhly říjnové příspěvky. Ovlivnění jak místními, tak vzdálenými zdroji je indikováno odlišným časovým průběhem faktorového imisního příspěvku na jednotlivých lokalitách v některých obdobích. S výjimkou říjnových hodnot v lokalitě Lom byl časový průběh příspěvku ve všech lokalitách podobný, přičemž Rudolice se vyznačovaly celkově mírně nižšími hodnotami. Polární grafy faktorového imisního příspěvku vypracované pro lokalitu Lom za období 1. 10. 2022 – 31. 10. 2022 a pro celý rok 2022 bez říjnových hodnot (Obr. 34) indikují, že příčina vysokých říjnových imisních příspěvků faktoru REG_SOA_S v této lokalitě se nacházela ve dnech se slabým prouděním severozápadně od stanice. Naproti tomu po většinu roku byly faktorové imisní příspěvky svázány s prouděním z jihovýchodního kvadrantu.



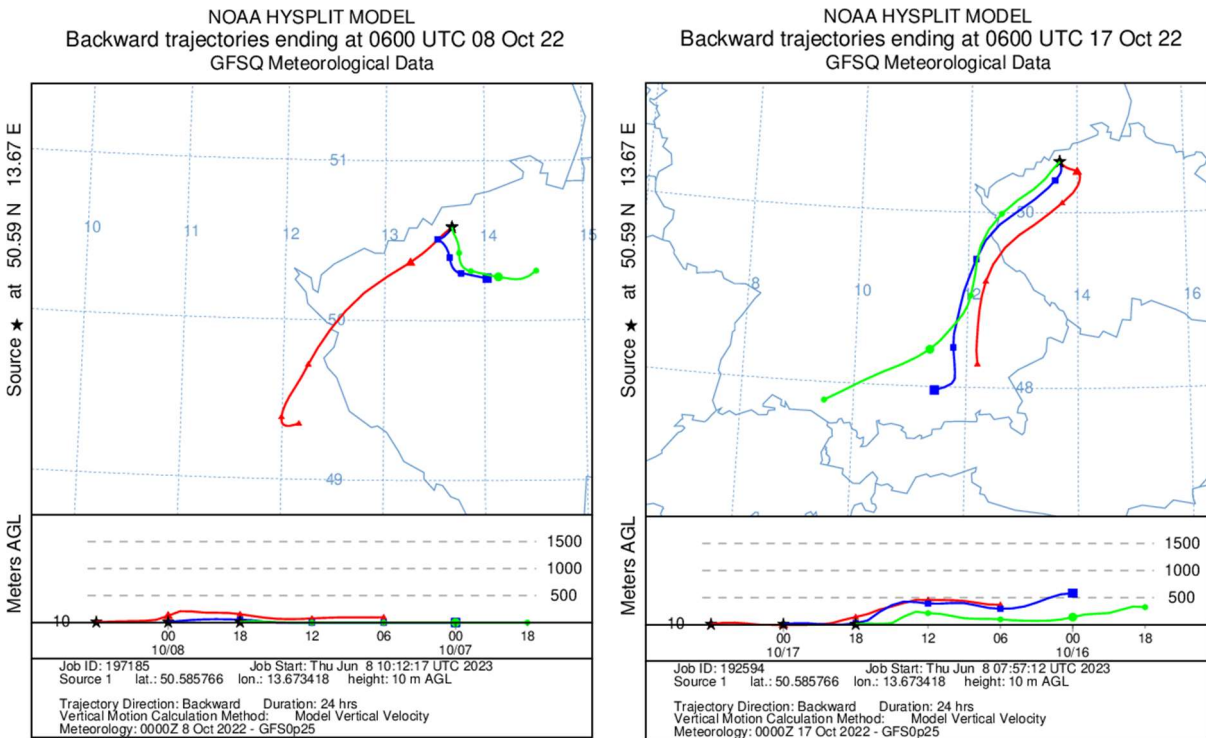
Obr. 34 Polární grafy imisních příspěvků sekundárního organického aerosolu indukovaného významně průmyslem; lokalita Lom, vlevo říjen, vpravo rok 2022 bez října [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]

Odlišný směr k potenciálnímu zdroji ale naznačují zpětné trajektorie proudění pro špičkové faktorové imisní příspěvky. Zatímco v lokalitě Lom mají podle této metody původ jihozápadně až jižně od stanice (Obr. 35), nejvyšší příspěvky v lokalitě Most-letišť nastávaly při proudění od severovýchodu až východu (Obr. 36). Rozdíl v interpretaci zpětných trajektorií a polárních grafů lze přičíst nízké rychlosti větru, při které byly nejvyšší příspěvky faktoru dosahovány (v případě říjnových hodnot v Lomu se jednalo pouze o desetiny $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Při těchto podmínkách je směr větru obvykle nestálý a trajektorie v lokálním měřítku silně zakřivené. Lokální měření směru větru tak nemusí dostatečně přesně vystihovat celkový trend přesunu vzduchové masy, a tedy ani směr k potenciálnímu zdroji. Výsledek polárního grafu proto může být zkreslený (nelze vyloučit odchylku směru proudění až o 90°). Další nejistotu vnáší do výsledku polárního grafu malý počet říjnových hodnot, ze kterých byl graf zkonstruován. Vyšší vypovídací hodnotu mají proto v tomto případě zpětné trajektorie, které lépe vystihují celkový trend pohybu aerosolu. Směru, kterým naznačují potenciální zdroj největších příspěvků tohoto faktoru, odpovídá poloha Rafinerie Litvínov.

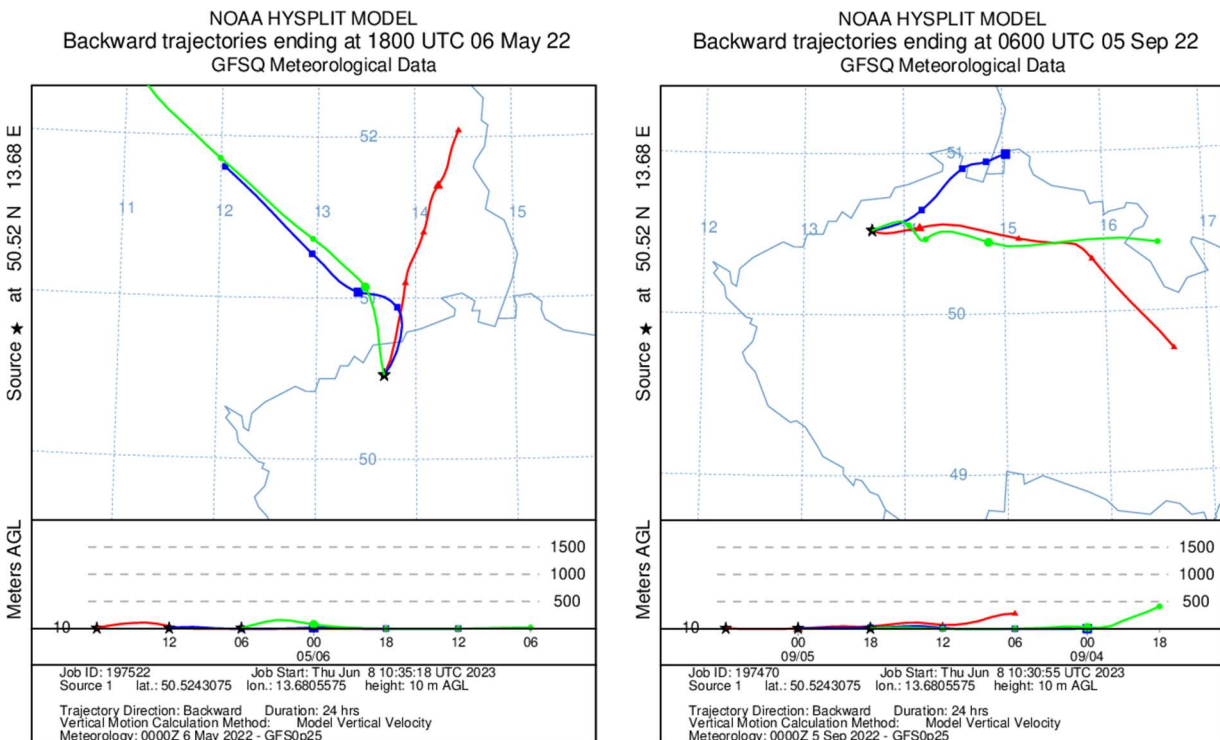
Uvedené skutečnosti naznačují komplexní příčiny vzniku těchto částic. VOC, které jsou hlavním prekurzorem tohoto typu znečištění, pocházejí průkazně významnou měrou z petrochemického průmyslu, působí zde ale

i další zdroje, včetně přírodních, což dokládá významný podíl i v pozadové lokalitě Rudolice (cca dvě třetiny příspěvku vyhodnoceného v Chomutově a polovina příspěvku v lokalitách Lom a Most-letišť).

Faktor je zde proto interpretován jako regionální sekundární organický aerosol vznikající převážně z přírodních a průmyslových zdrojů.



Obr. 35 Zpětné trajektorie pro nejvyšší imisní příspěvky sekundárního organického aerosolu indukovaného významně průmyslem (lokalita Lom)



Obr. 36 Zpětné trajektorie pro nejvyšší imisní příspěvky sekundárního organického aerosolu indukovaného významně průmyslem (lokalita Most-letišť)

6. Podíl identifikovaných faktorů

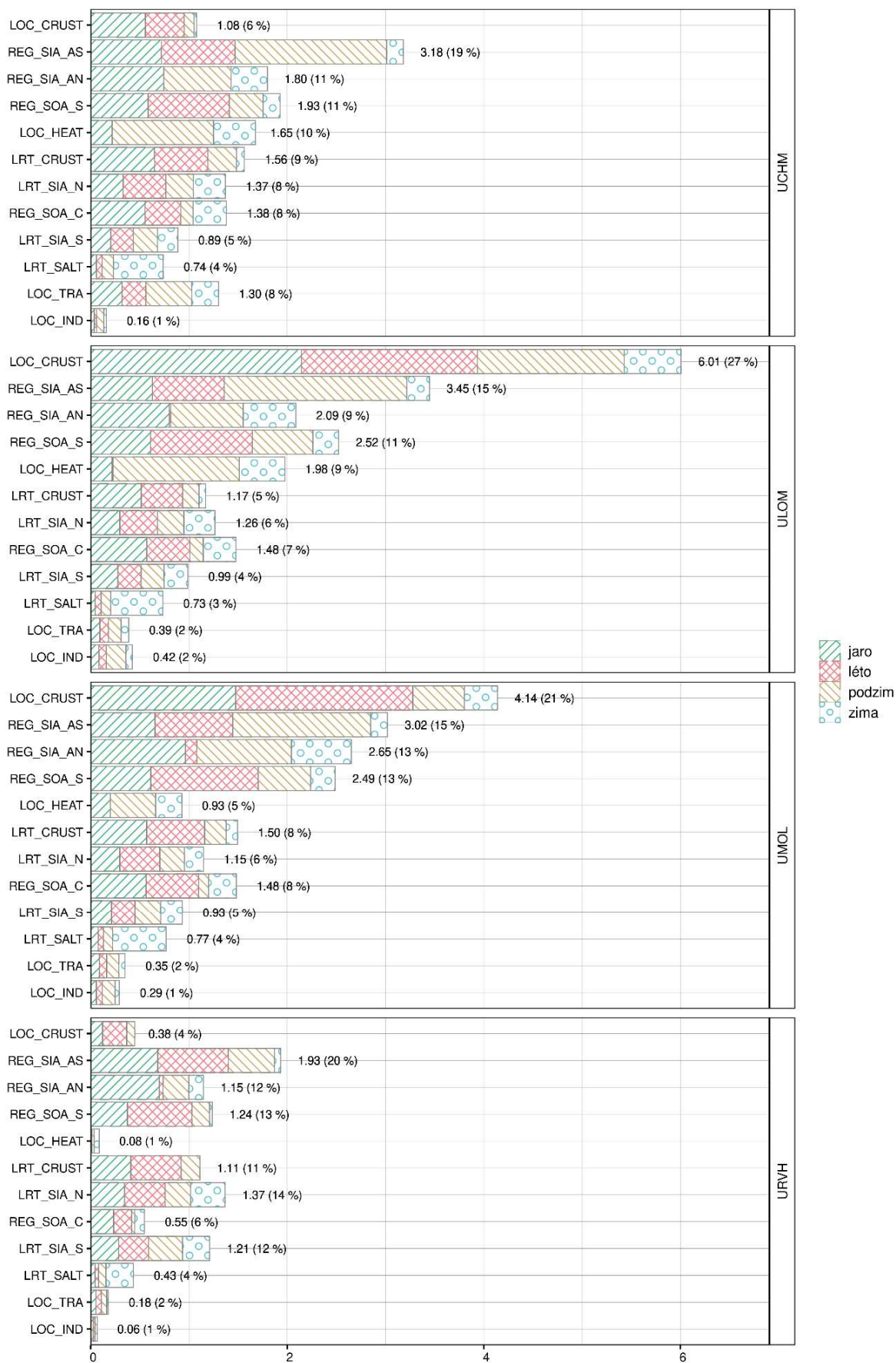
Imisní příspěvky jednotlivých identifikovaných zdrojů na průměrné koncentraci PM₁₀ na jednotlivých lokalitách za rok 2022 dokumentuje Obr. 37. Vyplývají z něj zásadní lokální odlišnosti. Společným rysem hodnocených lokalit je podobně jako jinde v České republice **významné zastoupení sekundárních anorganických aerosolů** (faktory REG_SIA_AS a REG_SIA_AN). Jejich celkový vliv se v součtu pohyboval v pánevních lokalitách okolo 5 až 6 μg.m⁻³, v Rudolicích pouze okolo 3 μg.m⁻³ PM₁₀. V relativním vyjádření se jednalo o více než čtvrtinu znečištění PM₁₀ s výjimkou lokality Lom, kde se vlivem vyššího vlivu jiných zdrojů jednalo o necelou čtvrtinu. Přibližně pouze poloviční koncentrace sekundárních anorganických aerosolů v Rudolicích je hlavním podkladem pro tvrzení o jejich převažujícím regionálním původu (dálkově přenášené aerosoly by měly podobný imisní příspěvek ve všech hodnocených lokalitách). Jak ukazuje analýza v kapitole 5, do Rudolic byl zimní dusičnanový typ tohoto znečištění (REG_SIA_AN) přenesen významnou měrou z Podkrušnohorské pánve. Naproti tomu síranový anorganický aerosol (REG_SIA_AS) pocházel z Ústeckého regionu pouze v části roku a celoročně se na tomto znečištění podílel významně dálkový transport.

Ačkoliv sekundární anorganické aerosoly byly významné plošně v rámci celého zájmového území, **v lokalitách Lom a Most-letišť jejich hmotnostní příspěvky převyšoval vliv minerální prašnosti související především s povrchovou těžbou uhlí** (faktor LOC_CRUST). Imisní příspěvky těchto převážně průmyslových minerálních částic dosahovaly v lokalitách Lom a Most-letišť přes 6 μg.m⁻³, resp. přes 4 μg.m⁻³. Podíl přírodní prašnosti na imisním příspěvku tohoto faktoru lze odhadnout na základě situace v Chomutově a v Rudolicích. V městské lokalitě Chomutov s významně zastoupenými zpevněnými plochami lze očekávat výrazně vyšší resuspenzi minerálních částic než v pozadové lokalitě Rudolice, kde se v okolí žádné zpevněné ani orné plochy nenacházejí. V těchto lokalitách byly vypočteny faktorové imisní příspěvky ve výši 1,1 μg.m⁻³, resp. 0,4 μg.m⁻³. Imisní příspěvky minerální prašnosti z místních přírodních zdrojů se v mimoměstských lokalitách v Podkrušnohorské pánvi mimo dosah vlivu areálů povrchové těžby pohybovaly pravděpodobně v tomto rozmezí.

Uvedený příspěvek v Chomutově odpovídá koncentraci zjištěné v rámci projektu ARAMIS při identifikaci příčin znečištění v Tušimicích na základě měření v roce 2021 [1]. V Tušimicích nebyl modelově oddělen místní a dálkově přenášený přírodní minerální aerosol. Jejich celkový příspěvek zde dosahoval 2,6 μg.m⁻³, tedy absolutně i relativně shodné hodnoty, jako součet místního (LOC_CRUST) a dálkově přenášeného podílu (LRT_CRUST) v Chomutově. I tato skutečnost naznačuje, že podíl průmyslových částic na celkovém faktorovém příspěvku v lokalitách Lom a Most-letišť byl dominantní (dolní odhad je tři čtvrtiny faktorového příspěvku v lokalitě Most-letišť a cca 85 % v Lomu). Ukazuje to na významný dopad aktivit souvisejících s těžbou do vzdáleností několika kilometrů od dobývacích prostorů. Lokalita Most-letišť se nachází cca 3 km od lomu Bílina, přesto zde byl vyhodnocen pouze o třetinu nižší příspěvek než v lokalitě Lom, která se nachází necelý kilometr od hrany předmětného lomu.

Na základě zjištění z lokalit Chomutov, Rudolice a Tušimice (po odečtení podílu souvisejícího s tamním nakládáním s vedlejšími energetickými produkty) lze odvodit, že mimo dosah vlivu povrchové těžby a jiných průmyslových zdrojů se relativní podíl místní minerální prašnosti v koncentraci PM₁₀ (regionálně vznikající i dálkově přenášené) v Ústeckém kraji pohybuje okolo 15 %. Ve vzdálenostech do cca 5 km od významných těžebních areálů může být tento podíl zvýšen až na přibližně dvojnásobek, tedy až 1/3 koncentrace PM₁₀ (zjištěno v lokalitách Lom a Most-letišť). Podstatné je také, že zvýšené příspěvky tohoto typu znečištění v důsledku průmyslových aktivit byly v průběhu hodnoceného roku rozloženy přibližně rovnoměrně (viz časový průběh v lokalitách Lom a Most-letišť v příloze 2). To znamená, že průmyslová složka minerální prašnosti se významně promítá do celkové úrovně PM₁₀ ve všech sezonách. Zhoršuje tím podmínky pro plnění imisních limitů PM₁₀ a zdravotní dopady jak v obdobích kulminace koncentrace fotochemických aerosolů, tak i v zimě, kdy koncentrace zvyšuje vytápění domácností.

Vedle sekundárních anorganických aerosolů a minerální prašnosti z těžební činnosti byly dalšími hmotnostně nejvýznamnějšími regionálními faktory **sekundární organické aerosoly**. Jednalo se jednak o **aerosol vznikající vlivem přírodních a petrochemických zdrojů** (faktor REG_SOA_S), jednak o **organický aerosol spojený převážně s automobilovou dopravou** (faktor REG_SOA_C).



Obr. 37 Imisní příspěvky identifikovaných zdrojů k průměrné roční koncentraci PM₁₀ [µg.m⁻³]

Aerosol faktoru REG_SOA_S dosahoval v pozad'ové lokalitě Rudolice příspěvku $1,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v Chomutově $1,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a v průmyslově ovlivněných lokalitách Most-letišť a Lom přispíval k průměrné roční koncentraci PM_{10} cca $2,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Relativně se jedná o mírně více než desetinový podíl ve všech čtyřech lokalitách. Fotochemicky podmíněný organický aerosol faktoru REG_SOA_C se ve všech třech pánevních lokalitách vyznačoval nižším příspěvkem. Dosahoval zde cca $1,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (mezi 5 a 10 % celkové koncentrace PM_{10}) a přibližně třetinové úrovně v Rudolicích (cca $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, tj. 5 %). V součtu dosahovaly oba typy sekundárního organického aerosolu příspěvku v rozmezí $3,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Chomutov) až $4,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Lom a Most-letišť) v pánevních lokalitách a necelé $2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v Rudolicích. Tyto hodnoty odpovídají relativnímu podílu v aerosolu PM_{10} mezi 15 a 20 %.

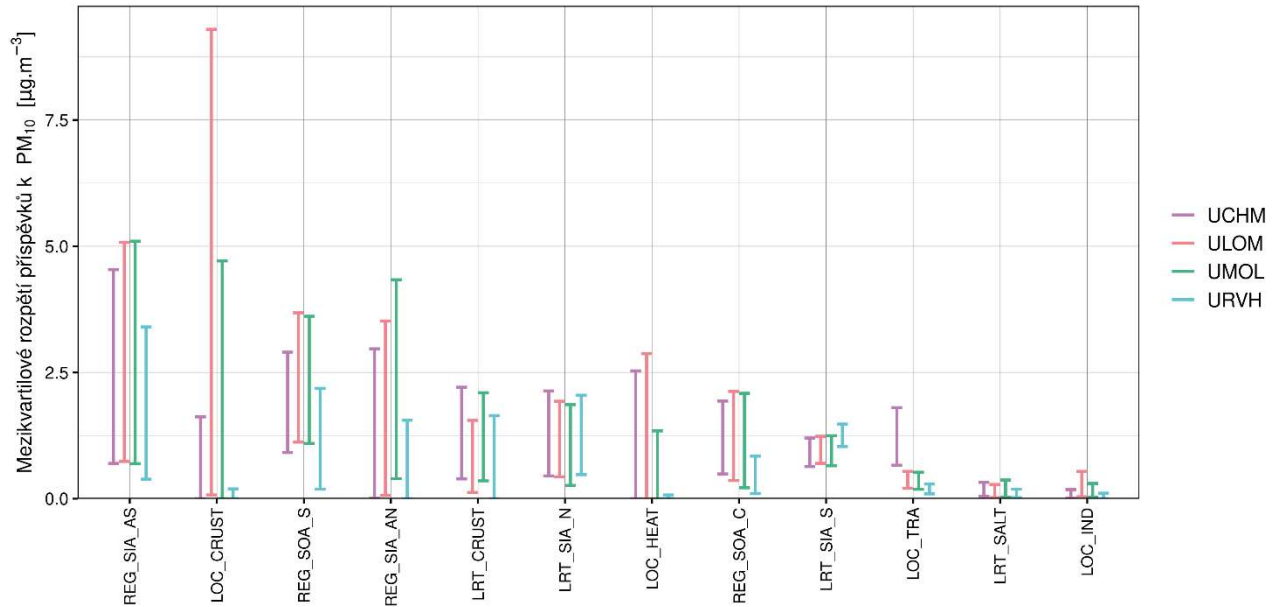
Po minerální prašnosti související s povrchovou těžbou a uvedených hmotnostně nejvýznamnějších typech sekundárních aerosolů byly **významným faktorem** ovlivňujícím celkovou průměrnou imisní koncentraci PM_{10} **primární částice z vytápění domácností**. V ročním průměru dosahoval imisní příspěvek ke koncentraci PM_{10} nejvyšších hodnot v sídlech nebo jejich blízkosti (Lom cca $2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, Chomutov cca $1,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). V lokalitě venkovského charakteru Most-letišť byl příspěvek přibližně poloviční (cca $0,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a v pozad'ových Rudolicích se blížil nule. Relativně se jednalo o podíl od nuly (v rámci nejistoty modelu) po přibližně desetinu průměrné roční koncentrace PM_{10} .

Dalším v pořadí z hlediska podílu na celkové koncentraci PM_{10} byl **dálkový přenos minerálních částic**, jednak z oblasti Sahary, jednak z východních stepí Ukrajiny a další zemí v okolí Černého, a také Kaspického moře. Řada epizod transportu těchto částic v průběhu roku způsobila imisní podíl mezi cca 1 a $1,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což je relativně cca 5 % až desetina PM_{10} .

Významné byly také další **dálkově přenášené aerosoly a regionální organický aerosol**. Dominantně se jednalo o sekundární aerosoly, z primárních částic pouze o mořskou sůl s podílem v nižších jednotkách %. V pánevních lokalitách dosahovaly tyto faktory jednotlivě relativního podílu pod 10 % s výjimkou síranu amonného pocházejícího ze zahraniční energetiky (část faktoru REG_SIA_AS), který v průměrné roční koncentraci PM_{10} zaujímal $1,9$ až $2,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (což je v pánevních lokalitách o něco více než desetinový podíl, v Rudolicích cca dvě pětiny). Zatímco v pánevních lokalitách dosahovaly dálkově přenášené typy znečištění v celkovém součtu pětiny až čtvrtiny PM_{10} , v Rudolicích se jednalo z důvodu slabého vlivu lokálních a regionálních faktorů o dominantní část znečištění s podílem více než dvou pětín. Kromě zmíněného síranu amonného byly sekundární aerosoly v rámci těchto typů znečištění zastoupeny nejvíce marinním aerosolem, alterovaným pravděpodobně zejména automobilovými emisemi během transportu západní Evropou (faktor LRT_SIA_N s absolutním modelovým příspěvkem $1,1$ až $1,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což v pánevních lokalitách odpovídá relativnímu podílu 6 až 8 %).

Další faktory byly lokální a z hlediska podílu na roční průměrné koncentraci PM_{10} méně významné oproti výše uvedeným. Patřily sem **primární částice z výfuků, otěrů a resuspenze** vlivem silniční dopravy (faktor LOC_TRA) s významným příspěvkem pouze v dopravně zatížené lokalitě Chomutov. Vypočtený průměrný roční příspěvek tohoto faktoru ke koncentraci PM_{10} v Chomutově ve výši cca $1,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (relativně 8 %) není zanedbatelný a naznačuje, že ve městech by měla být věnována pozornost nejen výše uvedeným regionálně významnějším faktorům, ale i lokálním primárním emisím částic ze silniční dopravy. Naproti tomu **primární částice z průmyslových spalovacích zdrojů** (LOC_IND) byly ve všech hodnocených lokalitách vyhodnoceny z hlediska vlivu na celkovou imisní úroveň PM_{10} jako nevýznamné. To spolu s dalšími výše uvedenými zjištěními indikuje, že v případě průmyslových spalovacích zdrojů by mělo být upřednostněno snižování emisí plyných prekurzorů před redukcí primárních částic.

Souhrnný pohled na výši a rozkolísanost příspěvků různých faktorů v hodnocených lokalitách umožňuje Obr. 38.



Obr. 38 Souhrnný přehled velikosti a kolísavosti příspěvků identifikovaných zdrojů k průměrné roční koncentraci PM_{10}

V souladu s výše uvedeným hodnocením jsou zřejmé vysoké a dramaticky kolísavé příspěvky z povrchové těžby (LOC_CRUST), pravděpodobně v návaznosti na meteorologické podmínky v různých obdobích roku. Výrazně proměnlivé v průběhu roku byly také sezonní faktory spojené s vytápěním domácností (LOC_HEAT a REG_SIA_AN) a ve frekventovaných lokalitách také se silniční dopravou (LOC_TRA). Naproti tomu faktory reprezentující dálkový přenos znečištění se vyznačovaly méně kolísavými imisními příspěvky v průběhu roku a mezi lokalitami.

7. Podíl hlavních skupin zdrojů

Jak je naznačeno v předchozích podkapitolách, skutečným zdrojům znečišťování ovzduší často nelze přiřadit pouze jediný modelový faktor. Důvodem je to, že skutečné zdroje produkují jak primární emise částic, tak i emise prekurzorů sekundárního aerosolu. V modelovém výstupu jsou primární a sekundární aerosoly vzniklé z těchto prekurzorů z důvodu jejich odlišného časoprostorového chování většinou oddělené. Aby bylo možno určit celkový vliv skutečného typu zdrojů, je potřeba sečíst imisní příspěvky faktorů primárních a sekundárních částic, které reprezentují stejný typ skutečných zdrojů. To může být problematické, pokud se na tvorbě konkrétního typu sekundárního aerosolu podílí více typů skutečných zdrojů. Níže prezentované výsledky proto nelze chápat jako exaktní hodnoty, byť vzešly z objektivních metod matematického modelování. Pokud bylo nutno imisní podíly u některých zdrojů odhadnout, je nejistota zahrnuta v uvedeném rozmezí hodnot.

Vytápění domácností

Jedná se o znečištění reprezentované faktory LOC_HEAT, REG_SIA_AN a částečným podílem faktoru REG_SIA_AS. Poslední jmenovaný faktor vykazuje významné hodnoty po celý rok, ale na podzim a v chladné části roku byly jeho příspěvky výrazně vyšší. Přibližně čtvrtina pocházela z vytápění domácností (viz odhad v kapitole 5). Souhrnně tedy příspěvek vytápění domácností k průměrné roční koncentraci PM_{10} prostřednictvím uvedených tří faktorů dosáhl hodnoty 4,2 až 4,9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v pánevní části Ústeckého kraje a cca 1,7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v Rudolicích. Tato úroveň představuje **cca pětinu až čtvrtinu průměrné roční koncentrace PM_{10} v pánevních lokalitách a cca 15 % v horské pozadové lokalitě Rudolice.**

Automobilová doprava

Silniční provoz v Podkrušnohorské pánvi se dle modelového řešení projevuje primárními částicemi reprezentovanými faktorem LOC_TRA a sekundárním organickým aerosolem REG_SOA_C. V součtu se jedná o rozmezí od 0,7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v Rudolicích po 2,7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v Chomutově. Lom a Most-letišťe se vyznačovaly vzájemně srovnatelným příspěvkem mírně pod 2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Uvedená hodnota v **Chomutově představuje cca 15 % průměrné roční koncentrace PM₁₀, na ostatních místech se jednalo o necelou desetinu znečištění.**

Průmysl

Vliv identifikovaných regionálních průmyslových zdrojů zahrnuje primární emise částic ve faktoru reprezentujícím povrchovou těžbu uhlí, včetně související resuspenze částic z těžebních prostorů (faktor LOC_CRUST), a ve faktoru, který reprezentuje primární částice z energetiky (LOC_IND). Kromě těchto faktorů se průmysl podílí také na tvorbě sekundárních aerosolů. Jedná se o faktor REG_SOA_S, ovlivněný petrochemickým průmyslem. Vliv jiných průmyslových zdrojů nebyl identifikován.

Povrchová těžba uhlí se projevuje minerální prašností a na tvorbě sekundárních částic se nepodílí. V lokalitách do vzdálenosti 5 kilometrů od aktivních areálů povrchové těžby lze na základě zjištění z lokalit Lom a Most-letišťe očekávat průměrné roční imisní příspěvky těchto průmyslových aktivit ke koncentraci PM₁₀ v rozmezí cca 3,5 až 5,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což je relativně **necelá pětina, resp. necelá čtvrtina znečištění**. V závislosti na rychlosti a převládajícím směru větru mohou být v některých lokalitách příspěvky nižší, ale na základě projektových zjištění je vhodné konzervativně počítat s uvedeným rozmezím.

Regionální průmyslová energetika ovlivňovala primárními emisemi imisní situaci v hodnocených lokalitách nevýznamně. Příspěvek primárních částic z těchto zdrojů dosáhl podle modelu 0,2 až 0,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (první jednotky % průměrné roční koncentrace PM₁₀) v pánevní části zájmového území a zanedbatelné hodnoty v Rudolicích. Vliv energetiky provozované v hodnoceném regionu se projevoval také sekundárními částicemi síranu amonného, ale tento vliv byl vyhodnocen podobně slabý jako zmíněné emise primárních částic. V součtu primárních a sekundárních částic se regionální průmyslová energetika podílela v hodnocených lokalitách příspěvkem **do 1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (nižší jednotky %) průměrné roční koncentrace PM₁₀**. Podle modelových výsledků a navazujících analýz směrů proudění a rozptylových podmínek (kapitola 5) je vliv tvorby sekundárních částic z tepláren a elektráren v Podkrušnohorské pánvi málo významný. Možným vysvětlením jsou velká výška emise a vnos vleček velkých spalovacích zdrojů. Ty spolu s dobou potřebnou pro formaci dostatečně velkých sekundárních částic (případně malé částice se v hmotnostní koncentraci PM₁₀ nemohou významně projevit) pravděpodobně vedou k tomu, že dopad průmyslové energetiky provozované v Podkrušnohorské pánvi se více projevuje až za hranicemi Ústeckého kraje a místní situace je těmito procesy ovlivněna málo. Na pravděpodobný vliv průmyslových sekundárních částic ze severočeské energetiky upozornila dřívější identifikace zdrojů ve Středočeském kraji (viz [4, 5]). V hodnocené části Ústeckého kraje je namísto místních velkých spalovacích zdrojů patrný významný vliv průmyslové energetiky provozované v jiných regionech (viz odstavec o dálkovém přenosu znečištění uvedený níže).

Petrochemický průmysl přispíval k tvorbě sekundárního organického aerosolu, zejména ve vzdálenostech řádově do 10 km od Litvínova. Vzhledem k tomu, že příslušný faktor REG_SOA_S zahrnuje i částice vznikající z prekurzorů emitovaných jinými zdroji, je kvantifikace podílu petrochemického průmyslu na tomto typu znečištění zatížena významnou nejistotou. Z analýzy velikosti imisních příspěvků a meteorologických dat vyplývá, že tento průmyslový areál zvyšoval koncentrace PM₁₀ v lokalitách Lom a Most-letišťe pouze v době nízkých rychlostí větru. Zvýšení imisního příspěvku v těchto obdobích a těchto lokalitách při proudění od rafinerie se pohybovalo okolo 20 až 25 %. Protože dnů s rychlostí větru pod 1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ zde byla přibližně polovina v roce, zvýšení průměrného ročního příspěvku faktoru REG_SOA_S vlivem petrochemického průmyslu lze odhadnout na mírně přes 10 %. V absolutní hodnotě se jedná o cca 0,25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což představuje nejvýše první jednotky % průměrné roční koncentrace PM₁₀, a tedy **nevýznamný vliv** i při zohlednění významných nejistot provedeného odhadu.

V součtu se podíl regionálních průmyslových zdrojů na průměrné roční koncentraci PM₁₀ v jednotlivých lokalitách pohyboval v rozmezí od cca 0,5 až po cca 6,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což v relativním vyjádření činilo **v blízkosti lomu Bílina (jednotky km) cca pětina až čtvrtinu, jinde nižší jednotky %**. Dominantním průmyslovým zdrojem byly ve všech třech pánevních lokalitách areály povrchové těžby uhlí.

Dálkový přenos znečištění

Identifikováno bylo několik faktorů, které reprezentují dálkový přenos znečištění. Jednalo se jak o primární částice, tak sekundární aerosoly. Z primárních částic se jednalo o minerální prašnost spojenou s přenosem z oblasti Sahary a východních stepí (faktor LRT_CRUST) a o mořskou sůl (LRT_SALT). Sekundární aerosoly byly zastoupeny hlavně mořskou solí alterovanou reakcemi s oxidy dusíku, resp. kyselinou dusičnou, na migrační trase do ČR (převážně dusičnan sodný, jakožto hlavní složka faktoru LRT_SIA_N). Kromě toho se zde na naměřené úrovni znečištění sekundárním aerosolem PM₁₀ podílel o něco nižším příspěvkem také vliv námořní dopravy, popř. petrochemického průmyslu v přímořských regionech (LRT_SIA_S).

Uvedené dálkově přenášené primární částice se na průměrné roční koncentraci PM₁₀ podle modelu podílely příspěvkem okolo 2 μg.m⁻³, relativně cca 10 až 15 %. Koncentrace dálkově transportovaných sekundárních aerosolů byla vyšší a dosahovala cca 4,3 až 4,8 μg.m⁻³. V relativním vyjádření šlo o pětinu až čtvrtinu PM₁₀ v Podkrušnohorské pánvi a přes dvě pětiny v Rudolicích. **Celkový podíl dálkového transportu znečištění na průměrné roční koncentraci PM₁₀ se pohyboval podle modelu mezi 6 a 7 μg.m⁻³, to znamená od třetiny v lokalitách silně zatížených místními zdroji PM₁₀ (Lom, Most-letišťe) po dvě třetiny v horských pozadových oblastech (Rudolice).**

8. Nejistota výsledků

V kapitole 3 je popsáno, že jako výsledné bylo zvoleno mírně rotované modelové řešení (Fpeak), které se od základního modelového běhu (Base Run) liší pouze zanedbatelně. Rozdíl těchto modelových řešení dosahoval obvykle desetin, nejvýše prvních jednotek procent vypočtených relativních podílů faktorů na koncentraci PM₁₀.

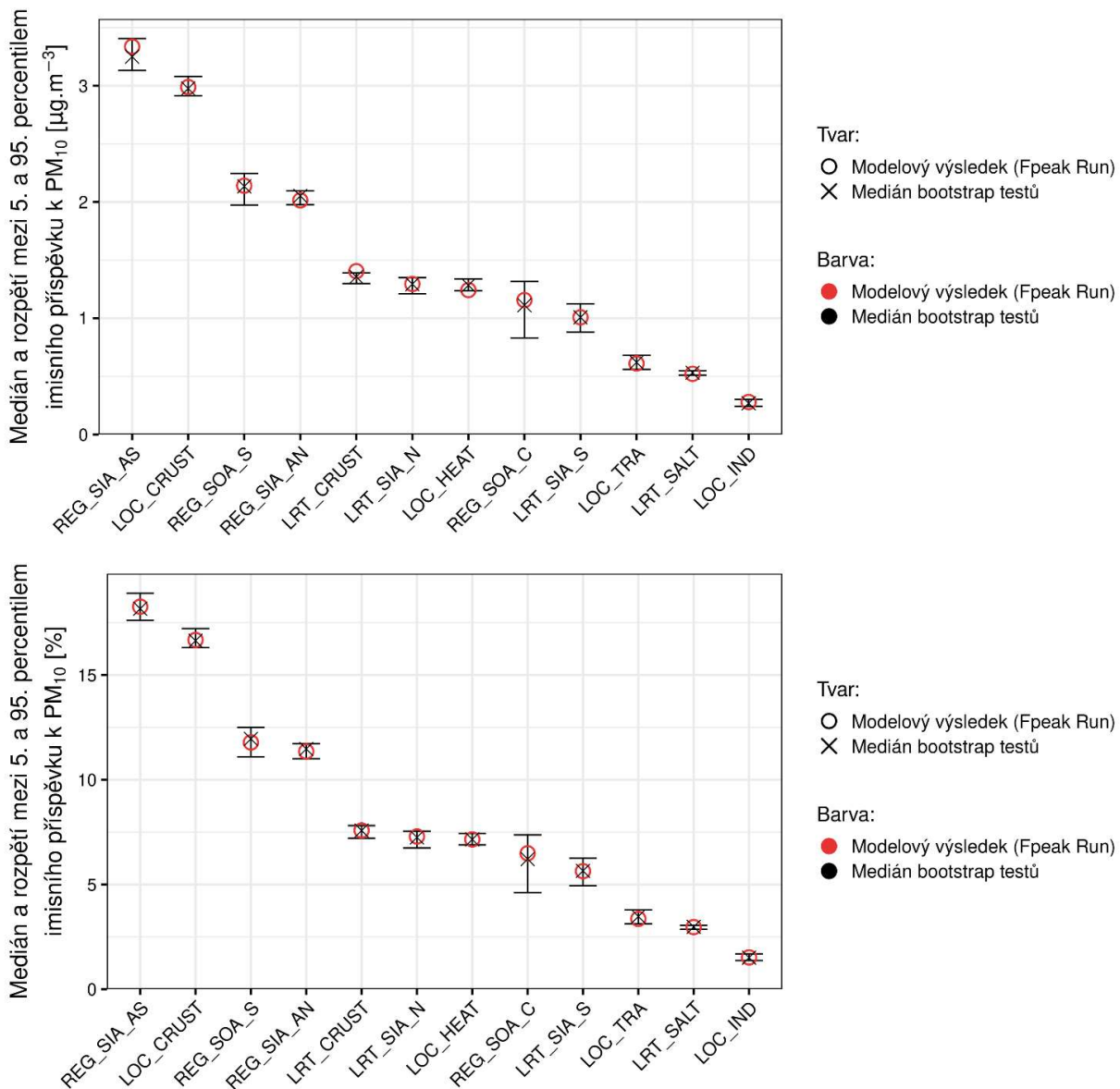
Základní řešení bylo testováno metodami Displacement a Bootstrap. Podle metody Displacement bylo řešení základního modelu (Base Run) dostatečně stabilní. Metoda bootstrap vykazovala u některých faktorů horších výsledků. Proto byl model doladěn jemnou rotací a tento rotovaný výsledek (Fpeak Run) byl znovu podroben Bootstrap testu, který prokázal podstatně vyšší stabilitu. Výsledky tohoto testu jsou vizualizovány v Obr. 39. Jak z hlediska absolutních hodnot příspěvků, tak i z hlediska jejich relativních podílů v celkové koncentraci PM₁₀ poskytovaly bootstrapové vzorky datasetu dobrou shodu s modelovým výsledkem.

Podíl faktorů na koncentraci PM₁₀ se u zvoleného řešení (Fpeak Run) lišil od 90 % bootstrap testů o nižší desetiny μg.m⁻³, tedy o nejvýše první jednotky procent celkové koncentrace PM₁₀. Zvýšená nejistota modelu byla tímto způsobem zjištěna pouze v případě regionálního sekundárního organického aerosolu REG_SOA_C, který je v předkládaném vyhodnocení spojován především s vlivem regionální automobilové dopravy. V tomto případě se jednalo o rozmezí okolo 0,6 μg.m⁻³, což odpovídá 3 % koncentrace PM₁₀.

Kromě vyhodnocených nejistot modelu, které byly ovlivněny i nejistotami odběrů a analýz, je vhodné zmínit také nejistoty interpretace. Počet, rozmístění a rozdílný charakter čtyř hodnocených lokalit umožnily posoudit, jestli se faktory přiřazené jednotlivých typům znečištění a zdrojům chovají na různých lokalitách odpovídajícím způsobem (dálkové přenosy s podobným časovým průběhem a příspěvkem ve všech lokalitách, sezonně provozované zdroje v odpovídajících sezonách, zvýšené příspěvky ze zdrojů situovaných v určité poloze vůči lokalitám při odpovídajícím směru větru). Tento rozsah a prostorový návrh odběrové kampaně spolu s dostatečnou délkou, při které se vystřídal dostatečný počet různých typů meteorologických podmínek, umožnily dosáhnout neobvykle vysokého detailu hodnocení (vysokého počtu faktorů) při zachování interpretační spolehlivosti. Ze stejného důvodu je spolehlivé i rozlišení místních až regionálních faktorů od dálkového přenosu znečištění. Relativně nejvyšší interpretační i modelové nepřesnosti mohly nastat v případě přiřazení imisních příspěvků dvou typů sekundárního organického aerosolu (REG_SOA_C a REG_SOA_S) jednotlivým regionálním zdrojům prekurzorů těchto částic. Především díky způsobu provedení odběrové kampaně, kterou umožnily sloučené finanční zdroje (viz kapitola 1), jsou interpretační nejistoty celkově na dobré úrovni s minimálním rizikem chybného přiřazení modelových faktorů skutečným zdrojům.

Do celkové nejistoty hodnocení se promítají nejen nepřesnosti imisního měření a modelování, ale také reprezentativnost meteorologických podmínek. Jak je diskutováno v předchozích podkapitolách, zejména směr a rychlost větru, ale i výška mezní vrstvy atmosféry, výrazně ovlivňují úroveň znečištění i podíly různých zdrojů na koncentraci PM₁₀. Je proto podstatné, nakolik tyto poměry v měřeném roce 2022 odpovídaly obvyklým podmínkám. Na základě porovnání větrných růžic a rozptylových podmínek v kapitole 2 je zřejmé, že rok 2022 se jako celek významně nelišil od předchozího pětiletí. Důvodem je to, že mimořádně dobré rozptylové podmínky v prvním kvartálu roku 2022 oproti pětiletí byly kompenzovány zhoršenými poměry v posledním kvartálu roku, takže se tyto protichůdné vlivy v ročním průměru vyrovnaly. Z hlediska průměrných ročních koncentrací a podílů zdrojů je proto reprezentativnost provedené měřicí kampaně dobrá a nejistota hodnocení nízká. Z uvedených důvodů ale výsledky nejsou vhodné pro jejich extrapolaci do jiných let, pokud jde o sezonní úrovně znečištění a sezonní podíly zdrojů.

Pokud jde o využití naměřených průměrných ročních koncentrací PM₁₀ a vyhodnocených podílů zdrojů na průměrných ročních koncentracích PM₁₀, dosažená přesnost a spolehlivost výsledků plně postačuje pro jejich případné využití pro navazující analýzy a formulaci strategických cílů ochrany ovzduší v posuzovaném území.



Obr. 39 Srovnání absolutních (nahore) a relativních (dole) výsledků modelu PMF (Fpeak Run) s výsledky testu Bootstrap

9. Závěr

Na základě celoročního měření v roce 2022 byla provedena identifikace zdrojů znečišťování ovzduší v Ústeckém kraji. Výzkum byl financován z projektu TAČR SS02030031 „Integrovaný systém výzkumu, hodnocení a kontroly kvality ovzduší“ (ARAMIS), a také v rámci veřejné zakázky na základě smlouvy „Identifikace zdrojů znečištění ovzduší v Severočeské hnědouhelné pánvi“ se společností Ascend s.r.o. Sloučení těchto zdrojů umožnilo využít počet a rozmístění měřících stanic, délku měření, počet vzorků, rozsah provedených laboratorních analýz a vyhodnocení receptorovým matematickým modelem PMF, kterými bylo dosaženo dosud nejvyššího rozlišení typů znečištění a jeho zdrojů v Ústeckém kraji. Identifikováno bylo 12 faktorů, které zde ovlivňují úroveň znečištění ovzduší aerosolem PM₁₀.

Z hlediska příčin znečištění ovzduší PM₁₀ uvádíme tyto souhrnné závěry:

- **Celkově nejvyšší podíl** na průměrné roční koncentraci PM₁₀ **zaujímal dálkový (mezistátní) přenos znečištění**, který tvořil jednu až dvě třetiny průměrné roční koncentrace aerosolu PM₁₀. Nejnižší hodnoty z uvedeného rozmezí platí pro lokality v blízkosti areálů povrchové těžby uhlí. Na většině území Podkrušnohorské pánve se podíl dálkového transportu pohyboval pravděpodobně **okolo dvou pětín** (města a lokality s významným vlivem místních zdrojů) **až poloviny** (venkovské oblasti se zanedbatelným vlivem lokálních zdrojů) **celkové koncentrace PM₁₀**. Výrazně nadpoloviční podíl lze očekávat pouze na horách mimo pánevní oblast Ústeckého kraje.
- Z příčin znečištění ovzduší PM₁₀, které se nacházejí na území Ústeckého kraje, byly nejvýznamnější **minerální částice z půdy a hornin**. Ty byly emitovány jednak regionálními zdroji, jednak k nim významně přispíval dálkový přenos znečištění. Mimo dosah vlivu povrchové těžby a jiných průmyslových zdrojů se jednalo převážně o částice přírodního původu s relativním podílem na koncentraci PM₁₀ okolo 15 %. Ve vzdálenostech nižších jednotek kilometrů od areálů povrchové těžby uhlí se jednalo **o pětinu až čtvrtinu průměrné roční koncentrace PM₁₀**. Jiné regionální průmyslové zdroje se na zdejší kvalitě ovzduší podílely v součtu prvními jednotkami procent. Zkoumaná oblast Ústeckého kraje je významně ovlivňována dálkovým přenosem sekundárních částic indukovaných velkými průmyslovými spalovacími zdroji z jiných regionů, ale místní zdroje tohoto typu zdejší imisní situaci PM₁₀ významně neovlivňují. To je způsobeno pravděpodobně velkou výškou emisí z velkých spalovacích zdrojů a tím, že sekundární částice vznikající z emisí prekurzorů potřebují ke svému vzniku a následnému růstu dostatečný reakční čas. Hmotnostní koncentraci PM₁₀ proto mohou významně ovlivňovat až ve velké vzdálenosti od zdrojů, tedy mimo hodnocenou oblast.
- Vytápění domácností a doprava ovlivňují celkovou koncentraci PM₁₀ jednak emisemi primárních částic, jednak tím, že emise z těchto zdrojů podílejí na vzniku sekundárního aerosolu. Celkový podíl vytápění domácností představoval **cca pětinu až čtvrtinu průměrné roční koncentrace PM₁₀ v pánevních lokalitách** a mezi desetinou a pětinou v horské pozadřové lokalitě Rudolice v Horách.
- Vyhodnocený podíl **automobilové dopravy** dosahoval **okolo 15 % průměrné roční koncentrace PM₁₀ ve městě Chomutov**, jinde se jednalo o méně než desetinu. Podíl dopravy mezi desetinou a pětinou bude pravděpodobně platný pro většinu městských lokalit v regionu. V dopravních hot-spotech může být její podíl vyšší.

Podrobněji jsou podíly faktorů kvality ovzduší a zdrojů znečišťování členěny a komentovány v kapitolách 5 až 7 předkládané zprávy.

Z hlediska imisně-meteorologických vztahů v Ústeckém kraji je vhodné zdůraznit následující zjištění:

- Rozbor meteorologických podmínek v roce 2022 ukazuje na významné měsíční a sezónní rozdíly převládajících směrů a rychlostí proudění v Podkrušnohorské pánvi. Pro případné budoucí hodnocení vlivu zdrojů na celkové průměrné roční koncentrace je proto nezbytné koncipovat měření jako celoroční. V opačném případě hrozí významné zkreslení závěrů o imisních podílech zdrojů oproti celkové situaci v roce. Celoroční měření nemusí být s ohledem na náklady nutně nepřetržité, je ale potřeba, aby ve všech sezonách, lépe však i ve všech měsících roku, byl odebrán přibližně stejný počet vzorků, resp., aby měření probíhalo po přibližně stejnou dobu.

- Na výsledcích části podzimní a zimní části odběrové kampaně ve čtvrtém kvartálu roku 2022 lze demonstrovat zásadní vliv meteorologických podmínek na vznik sekundárního aerosolu v prostoru Podkrušnohorské pánve. Zhoršené rozptylové podmínky v podobě časté nízké rychlosti větru až bezvětří spolu s nízkou výškou mezní vrstvy atmosféry zde vedly k dlouhé době zdržení primárních emisí, a tím k intenzivní formaci síranu amonného a nárůstu jeho koncentrace na několiknásobek hodnoty ve zbývající části roku. Kumulace emisí pod mezní vrstvou se v této době neúčastnily velké spalovací zdroje a příčinu zhoršení lze tedy připsat na vrub přízemním zdrojům, především vytápění domácností. Je tak doložen významný vliv domácností i na vzniku síranu amonného, hlavní složky sekundárního aerosolu. Tyto podzimní meteorologické podmínky vedly průkazně také ke zvýšenému vzniku sekundárního organického aerosolu z těkavých organických látek produkovaných petrochemickým průmyslem, a to přesto, že byl pravděpodobně oslaben nízkou intenzitou slunečního záření v podzimních měsících.
- Meteorologické podmínky zásadně ovlivnily také celkové průměrné roční koncentrace PM_{10} . Přibližně dva měsíce mimořádně dobrých rozptylových podmínek na začátku roku byly vykompenzovány naopak výrazně zhoršenými podmínkami od poloviny října do poloviny prosince. Lze očekávat, že i v jiných letech budou průměrná roční úroveň a příčiny znečištění v regionu silně závislé na tom, zda se podobná dlouhá výrazně příznivá nebo naopak výrazně nepříznivá epizoda v daném roce vyskytne. Působení těchto přírodních faktorů ukazuje, že případná budoucí rozhodnutí o opatřeních na zdrojích by měla být podložena analýzou víceletých dat, ať už z měření, či modelování.

Z hlediska zacílení budoucích mitigačních opatření na zdrojích považujeme za důležitá tato zjištění a doporučení:

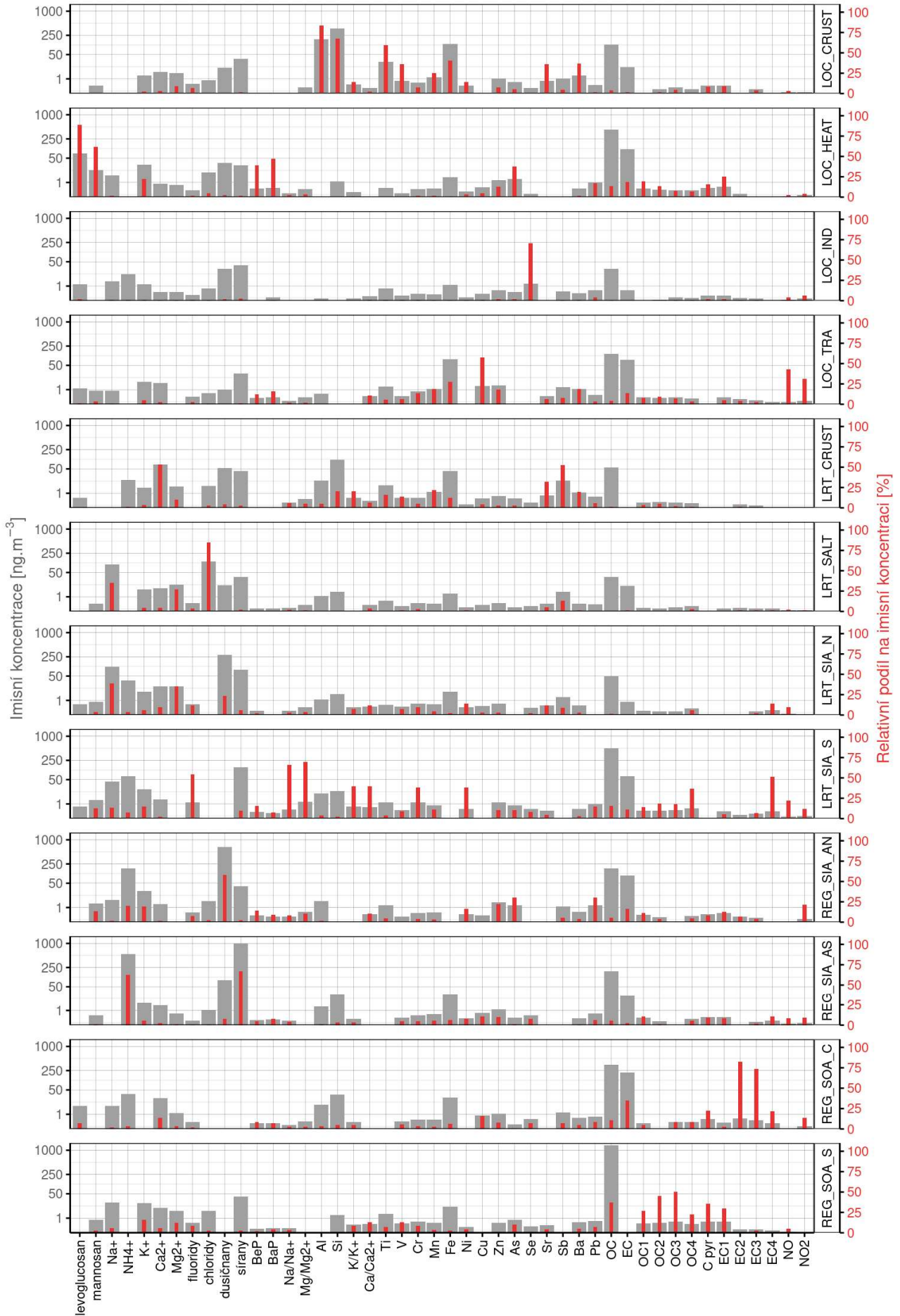
- Dálkový přenos znečištění je v hodnoceném regionu významný, ale s výjimkou horských oblastí nepřevyšuje vliv tuzemských zdrojů. Z toho plyne, že **opatřeními v regionu lze úroveň znečištění suspendovanými částicemi PM_{10} , ale pravděpodobně i $PM_{2,5}$ (nebyly předmětem hodnocení, ale obvykle s celkovou úrovní PM_{10} silně korelují), výrazně snížit.**
- **Nejvyšší potenciál** pro snížení tohoto znečištění představuje ve vzdálenostech přibližně do 5 km od ploch **povrchové těžby uhlí** omezení emisí z těchto areálů. S výjimkou zmíněné těžební činnosti neposkytují průmyslové zdroje významný prostor pro zlepšení regionální kvality ovzduší. Nelze ale vyloučit, že případné snížení emisí, zejména oxidu siřičitého z průmyslové energetiky provozované v Ústeckém kraji se může pozitivně projevit v okolních regionech. Z vyhodnocených imisně-meteorologických vztahů totiž vyplývá, že tyto průmyslové zdroje mají potenciál významně ovlivňovat sekundárním anorganickým aerosolem okolní regiony, v místě jejich provozu se ale významně neprojevují z důvodu času, tzn. transportní vzdálenosti, potřebné pro růst aerosolových částic.
- Plošně je v Ústeckém kraji vhodné dále se zaměřit na **vytápění domácností**, které představuje podobný podíl na celkovém znečištění PM_{10} v Podkrušnohorské pánvi jako povrchová těžba ve výše zmíněných oblastech. Je potřebné zohlednit také to, že z toxikologického hlediska má působení částic vyvolaných emisemi z domácností i při jejich případné stejné koncentraci podstatně závažnější zdravotní dopady než minerální prašnost z těžební činnosti. Je také pravděpodobné, že vliv vytápění zasahuje větší populaci, než imise související s povrchovou těžbou (posouzení nebylo součástí provedeného výzkumu). Z těchto důvodů **je vhodné vytápění domácností při návrhu opatření přisuzovat vyšší prioritu než imisně podobně silnému vlivu těžby uhlí.**
- Na základě údajů z Chomutova odhadujeme, že **opatření v automobilové dopravě mohou významně napomoci zlepšení pouze lokálně ve velkých městech.** Mimo ně a celkově v rámci hodnoceného území jsou prioritní jiné, výše zmíněné zdroje.

Literatura

- [1] Seibert, R.; Schreiberová, M.; Volná, V.: Identifikace příčin znečištění ovzduší v Tušimicích, Zpráva v rámci dílčího cíle 2.1 Zlepšení identifikace zdrojů znečištění, 22. 12. 2022
- [2] NORRIS, G., DUVALL, R., BROWN, S., BAI, S., 2014. Positive Matrix Factorization (PMF), Fundamentals and User Guide; U. S. EPA: Washington, DC, USA, 2014. Available online: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-02/documents/pmf_5.0_user_guide.pdf
- [3] Seibert, R.; Nikolova, I.; Volná, V.; Krejčí, B.; Hladký, D. Source Apportionment of PM2.5, PAH and Arsenic Air Pollution in Central Bohemia. *Environments* 2021, 8, 107. <https://doi.org/10.3390/environments8100107>.
- [4] SEIBERT. R.; KREJČÍ, B.; VOLNÁ, V.; HLADKÝ, D., 2022, TD 000148, Identifikace zdrojů znečištění ovzduší - souhrnná zpráva na oblasti 2 (Kladensko). https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/assets/td_148.pdf

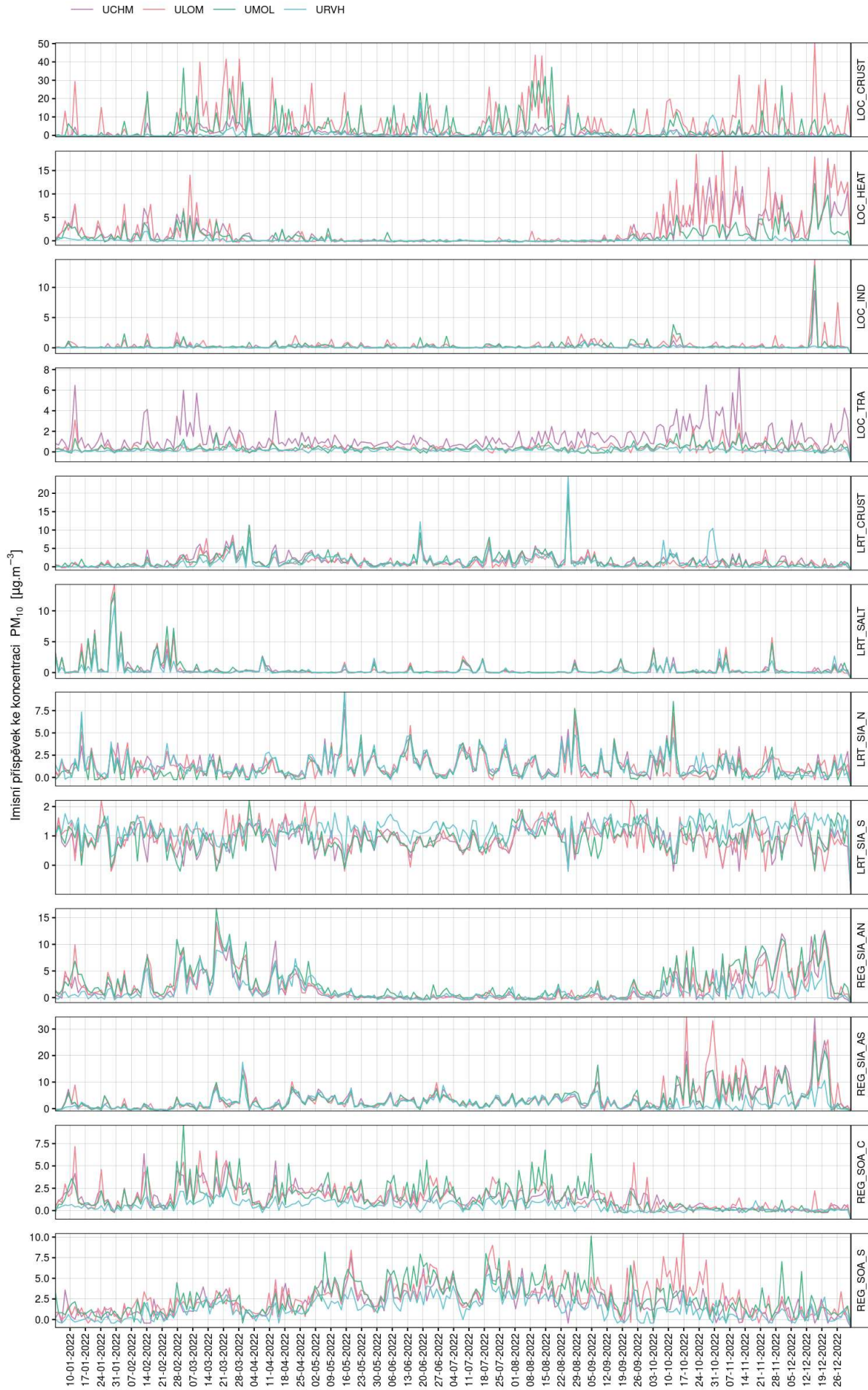
Příloha 1

Chemické profily identifikovaných faktorů



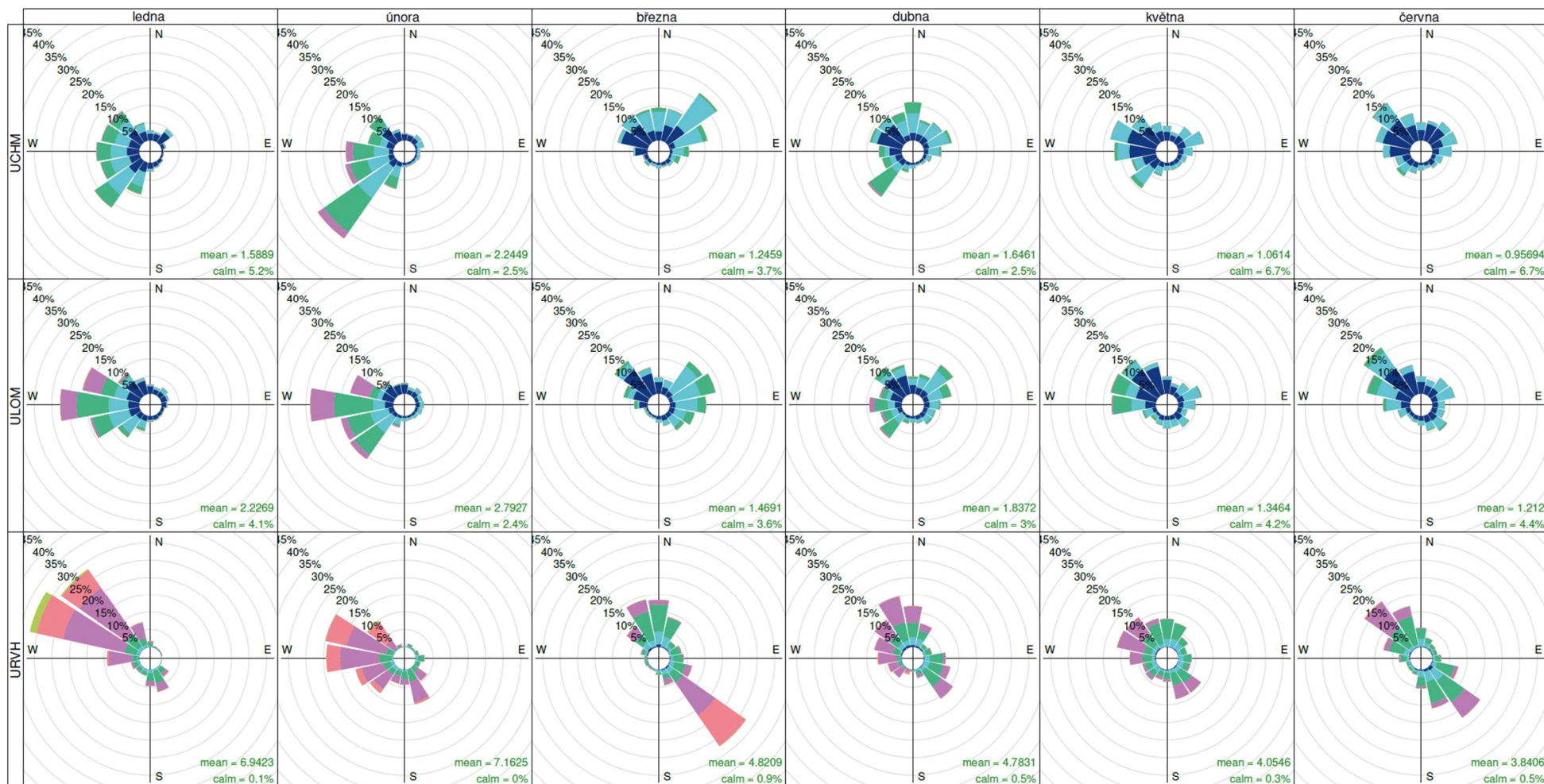
Příloha 2

Časové řady identifikovaných faktorů

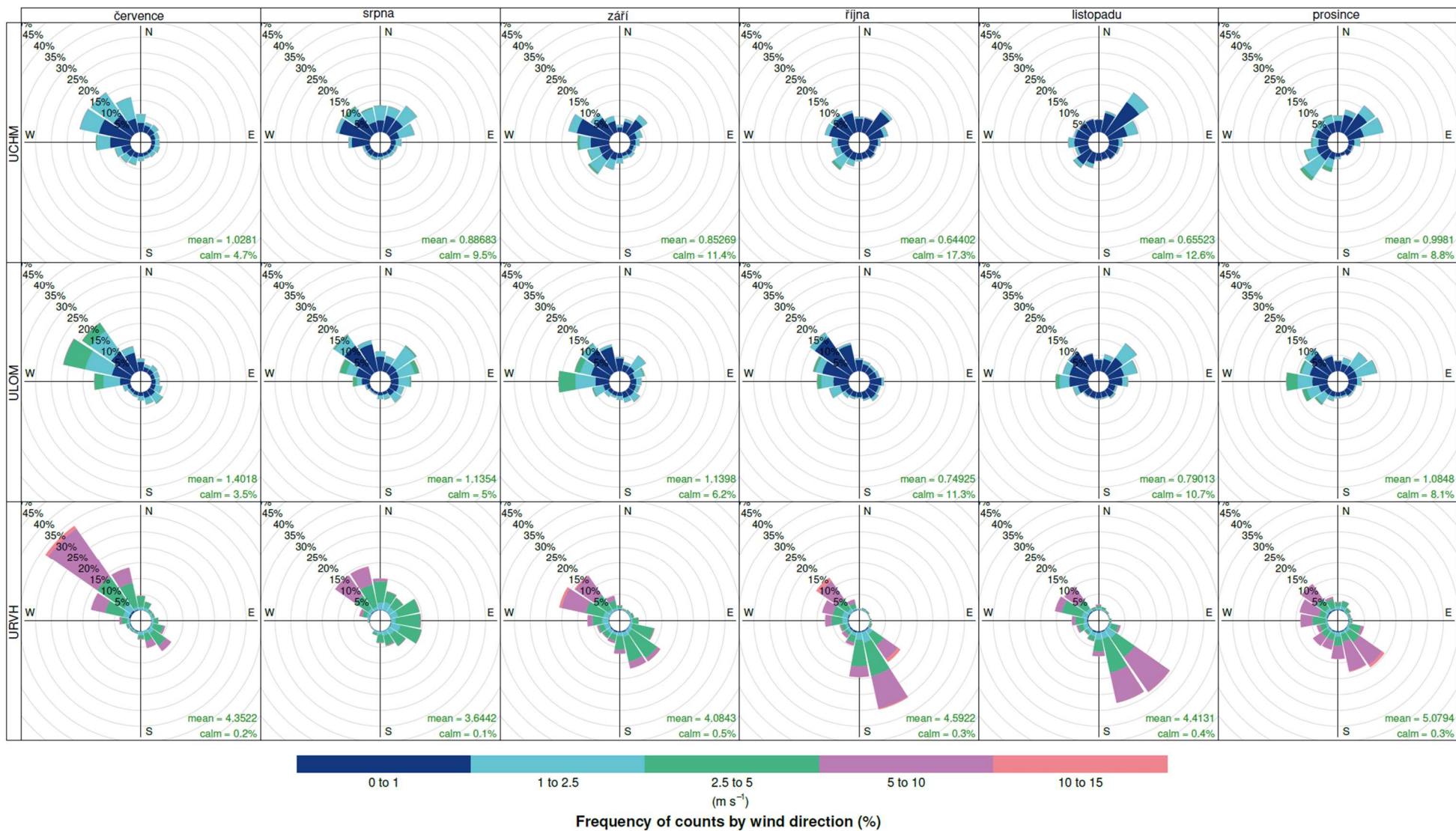


Příloha 3

Měsíčně členěné větrné růžice



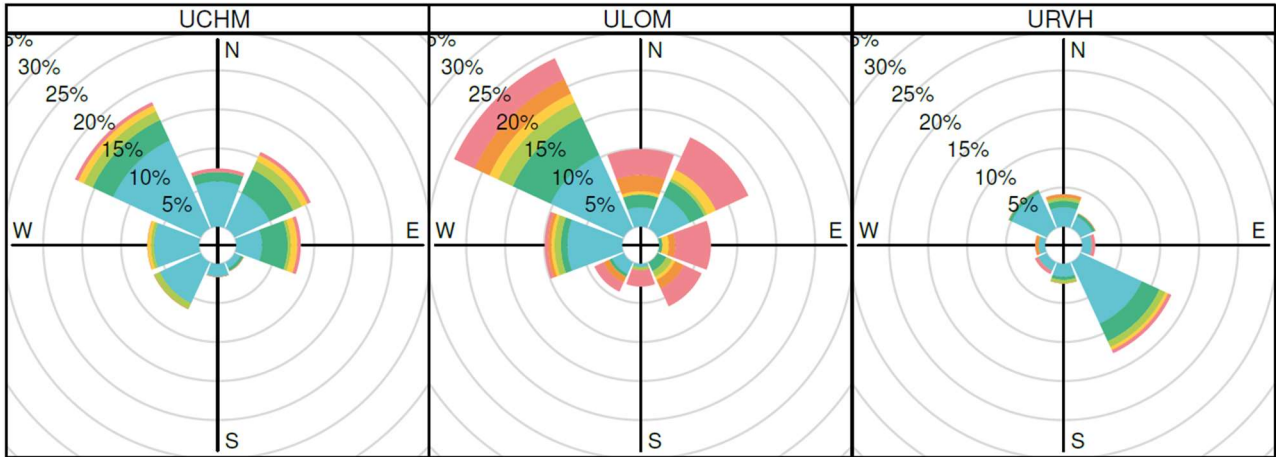
Frequency of counts by wind direction (%)



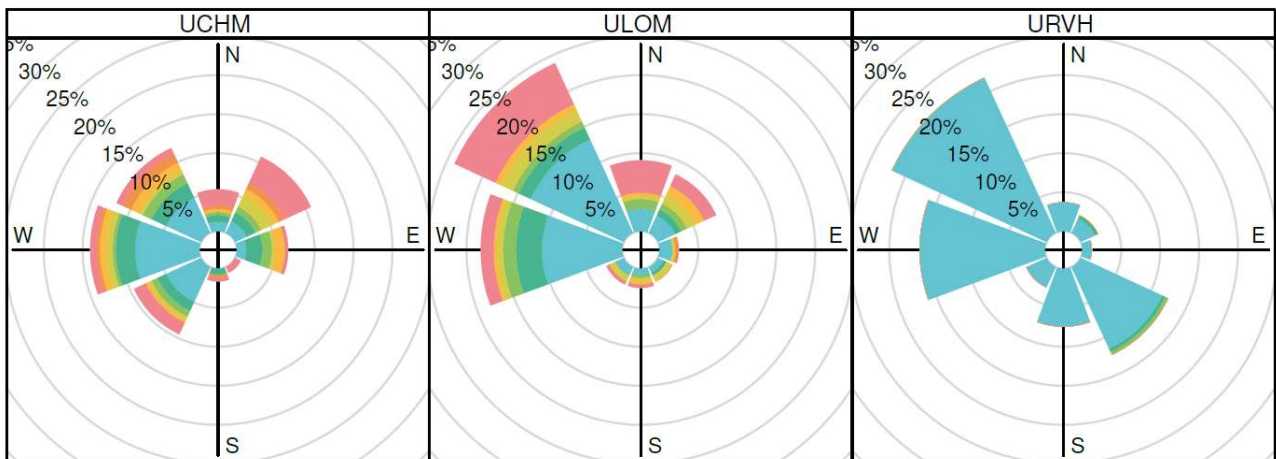
Příloha 4

Relativní četnost směru větru a imisní příspěvky faktorů ke koncentraci PM₁₀

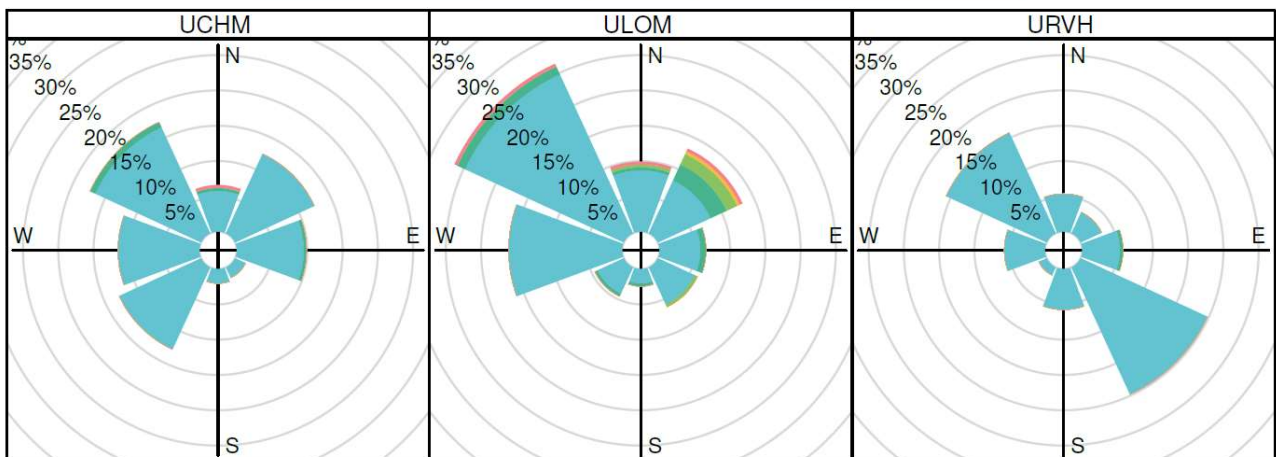
Relativní četnost směru větru [%] a imisní příspěvky faktoru LOC_CRUST ke koncentraci PM₁₀ [μg m⁻³]



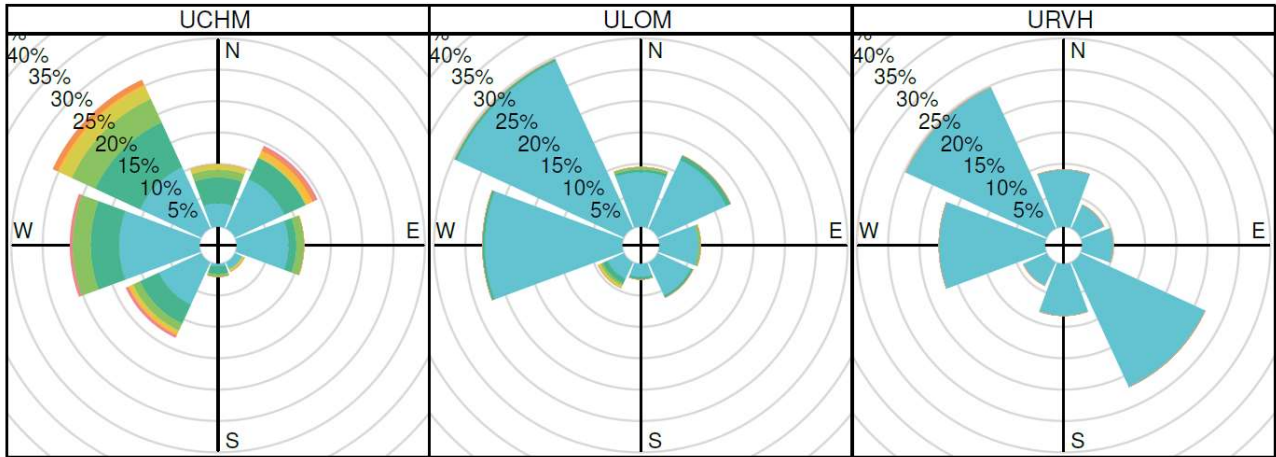
Relativní četnost směru větru [%] a imisní příspěvky faktoru LOC_HEAT ke koncentraci PM₁₀ [μg m⁻³]



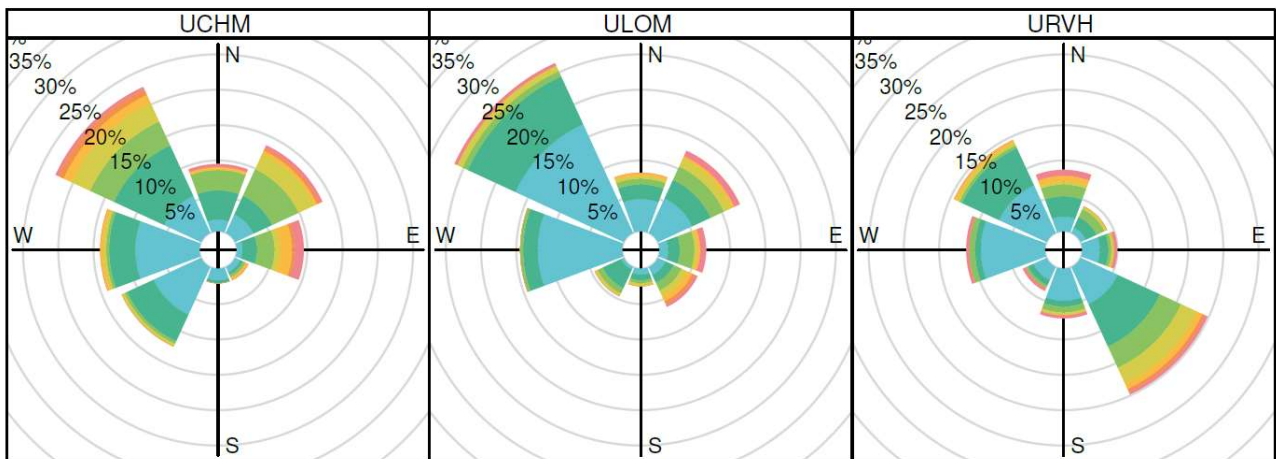
Relativní četnost směru větru [%] a imisní příspěvky faktoru LOC_IND ke koncentraci PM₁₀ [μg m⁻³]



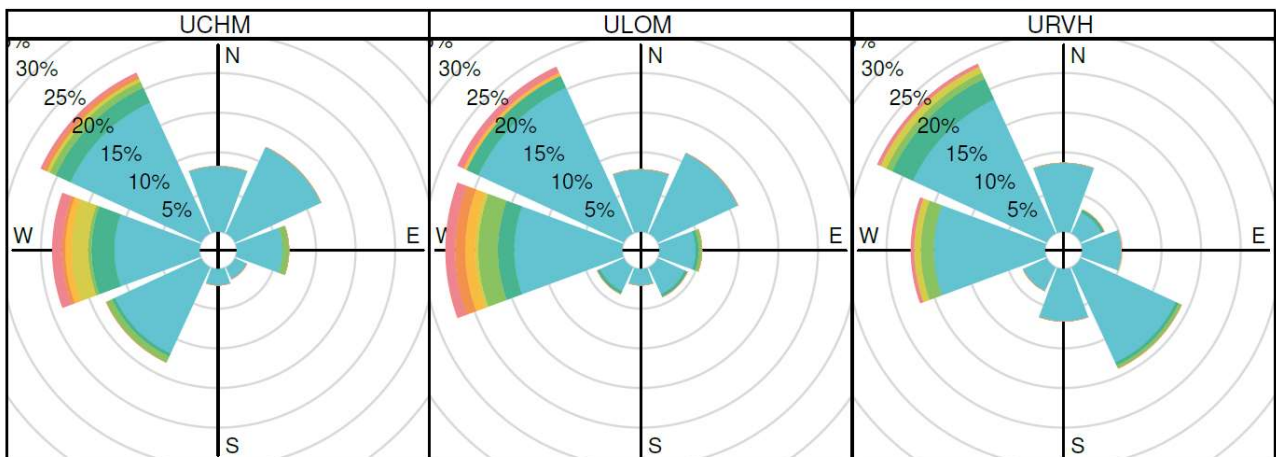
Relativní četnost směru větru [%] a imisní příspěvky faktoru LOC_TRA ke koncentraci PM₁₀ [μg m⁻³]



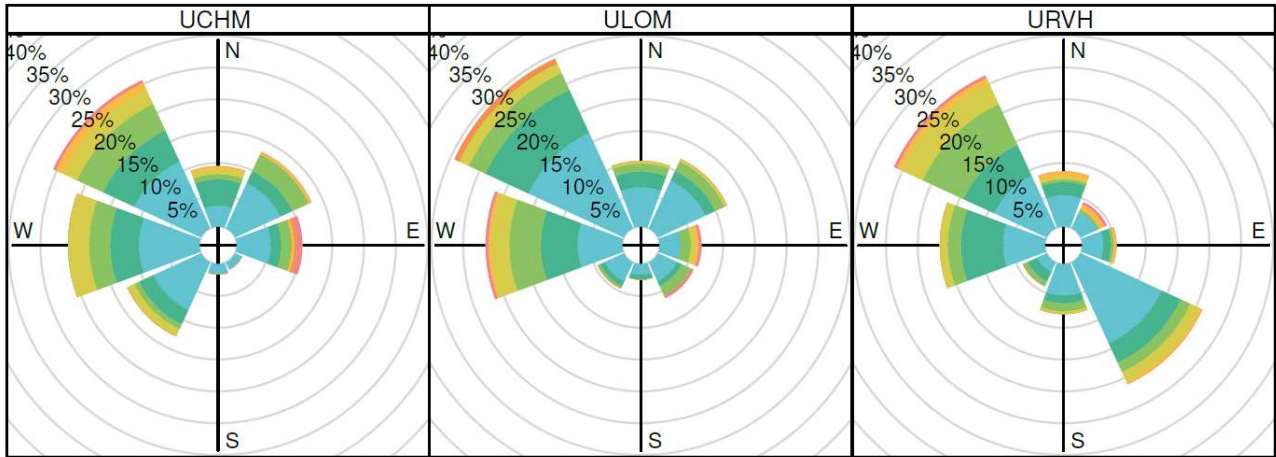
Relativní četnost směru větru [%] a imisní příspěvky faktoru LRT_CRUST ke koncentraci PM₁₀ [μg m⁻³]



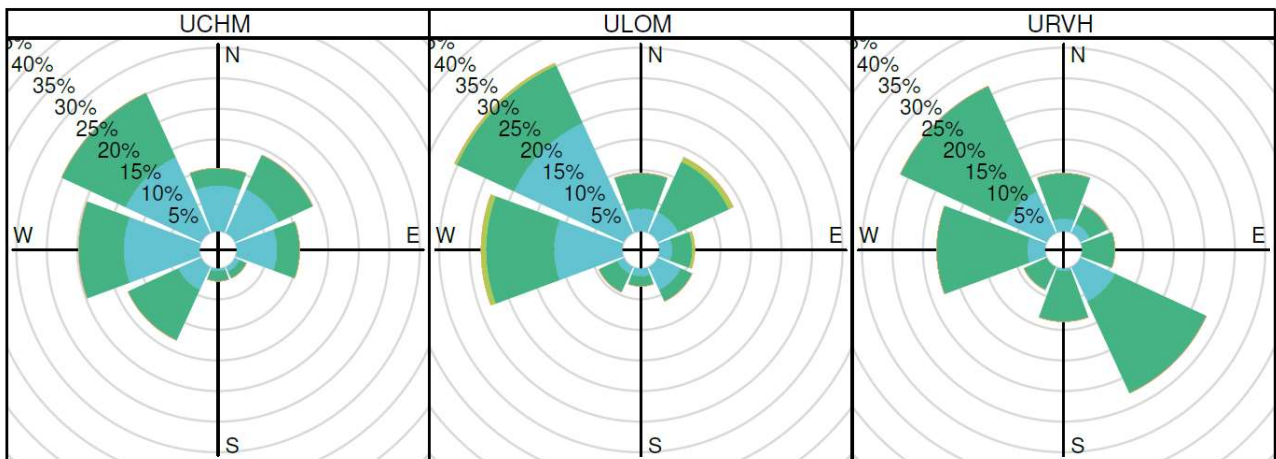
Relativní četnost směru větru [%] a imisní příspěvky faktoru LRT_SALT ke koncentraci PM₁₀ [μg m⁻³]



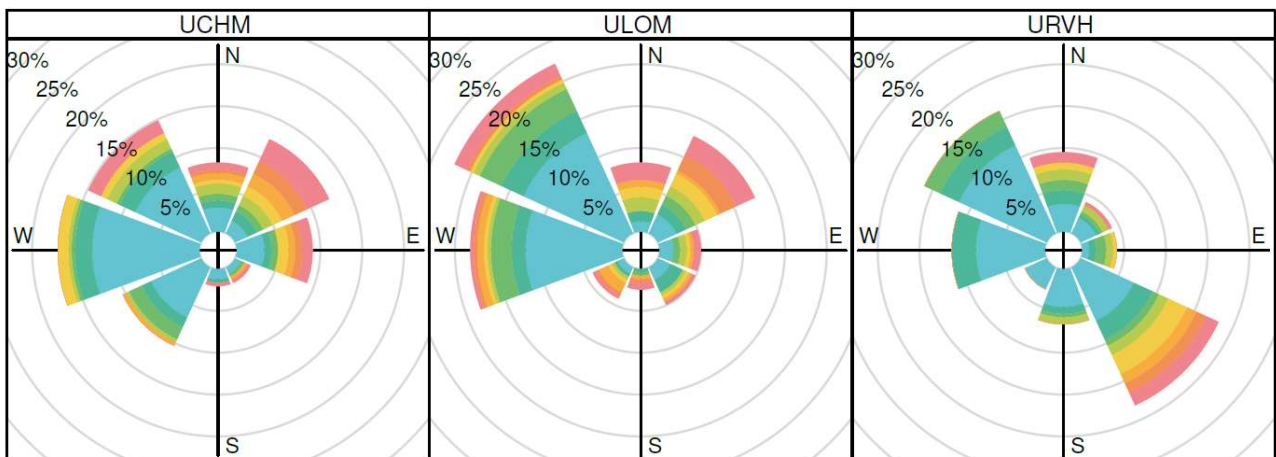
Relativní četnost směru větru [%] a imisní příspěvky faktoru LRT_SIA_N ke koncentraci PM₁₀ [μg m⁻³]
0 to 1 1 to 2 2 to 3 3 to 4 4 to 5 5 to 6 6 to 9.62



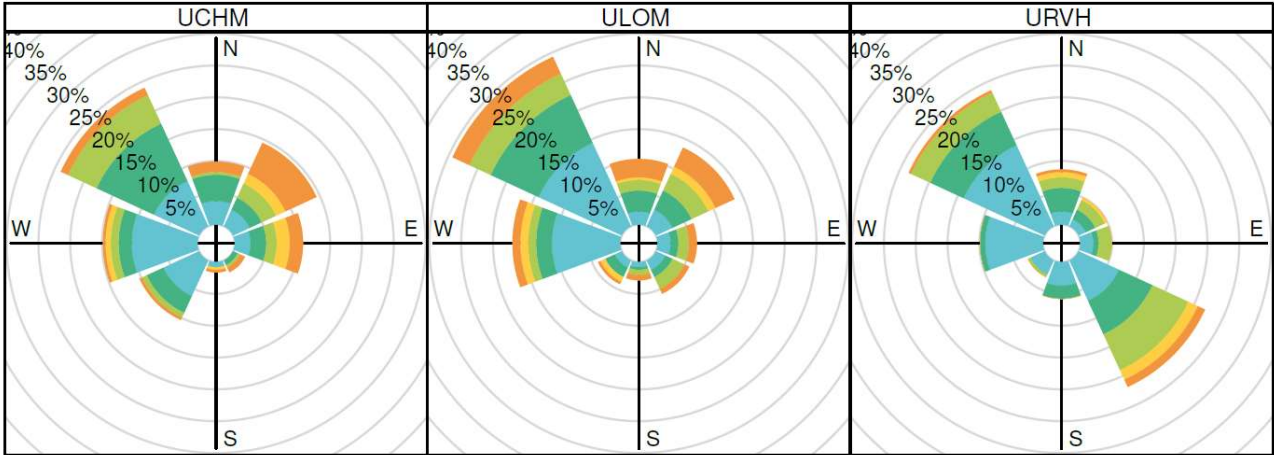
Relativní četnost směru větru [%] a imisní příspěvky faktoru LRT_SIA_S ke koncentraci PM₁₀ [μg m⁻³]
0 to 1 1 to 2 2 to 3 3 to 4 4 to 5 5 to 6



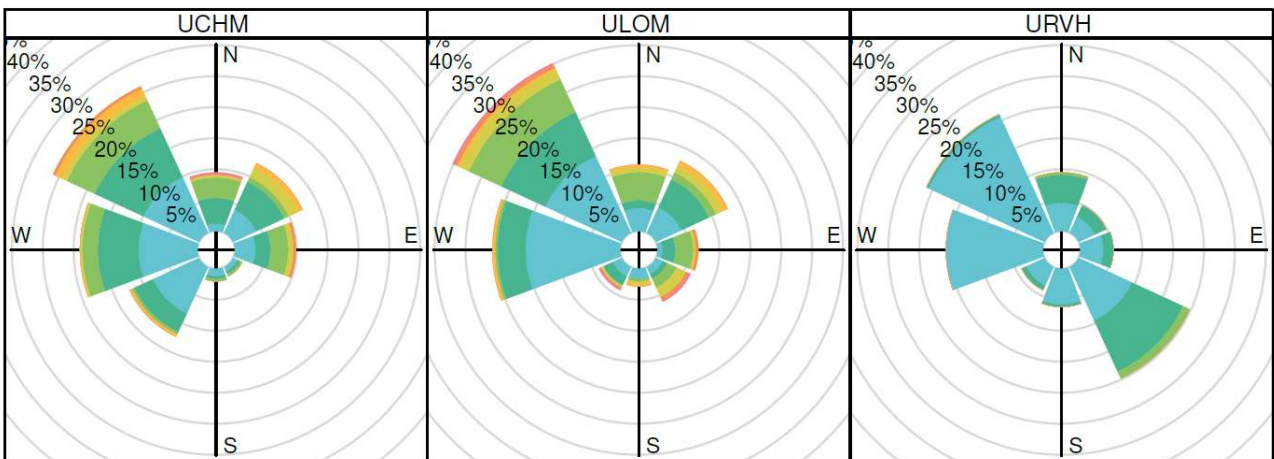
Relativní četnost směru větru [%] a imisní příspěvky faktoru REG_SIA_AN ke koncentraci PM₁₀ [μg m⁻³]
0 to 1 1 to 2 2 to 3 3 to 4 4 to 5 5 to 6 6 to 7 7 to 14.2



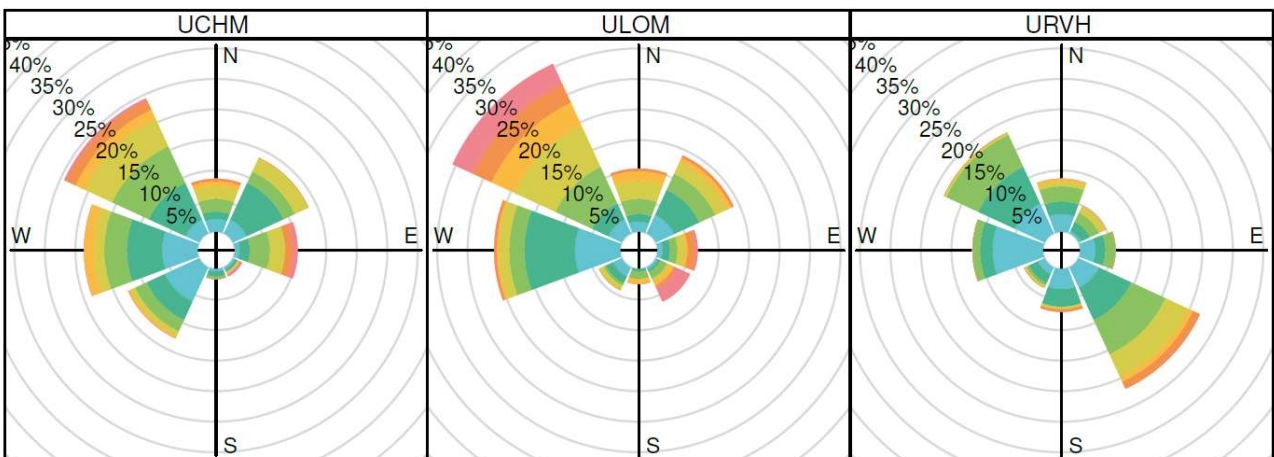
Relativní četnost směru větru [%] a imisní příspěvky faktoru REG_SIA_AS ke koncentraci PM₁₀ [μg m⁻³]



Relativní četnost směru větru [%] a imisní příspěvky faktoru REG_SOA_C ke koncentraci PM₁₀ [μg m⁻³]



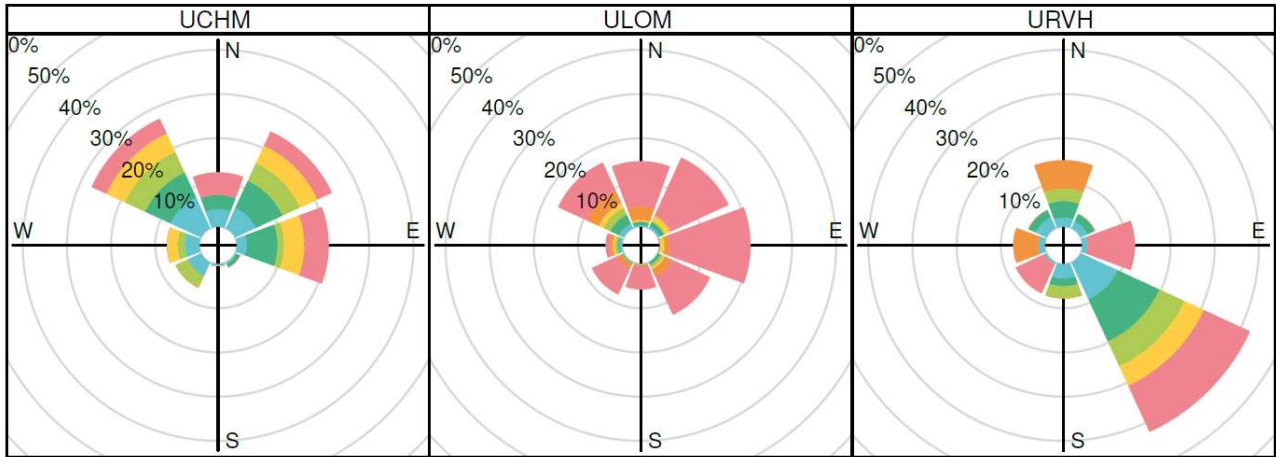
Relativní četnost směru větru [%] a imisní příspěvky faktoru REG_SOA_S ke koncentraci PM₁₀ [μg m⁻³]



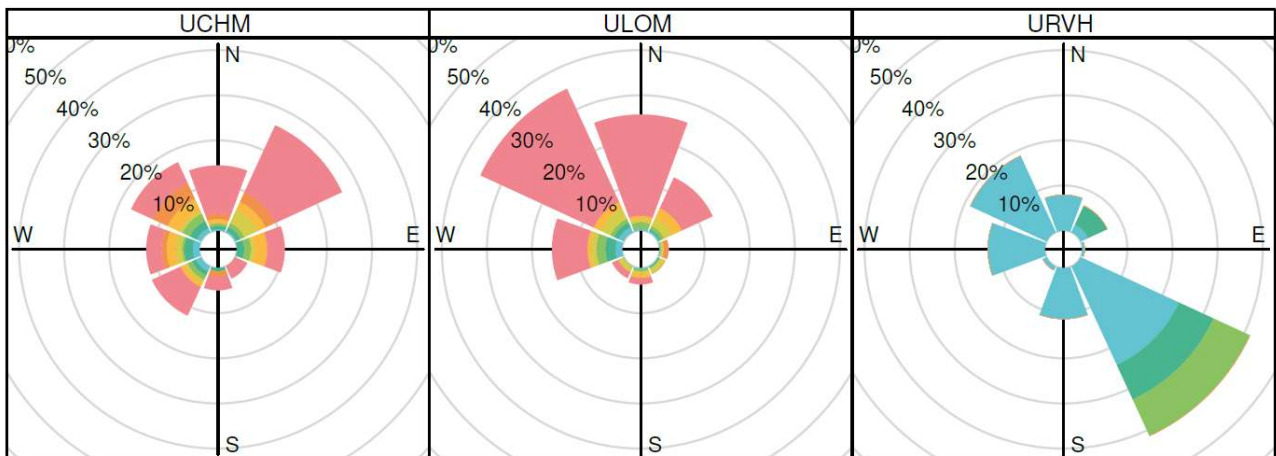
Příloha 5

Směrově členěný podíl faktorů na celkovém příspěvku ke koncentraci PM_{10}

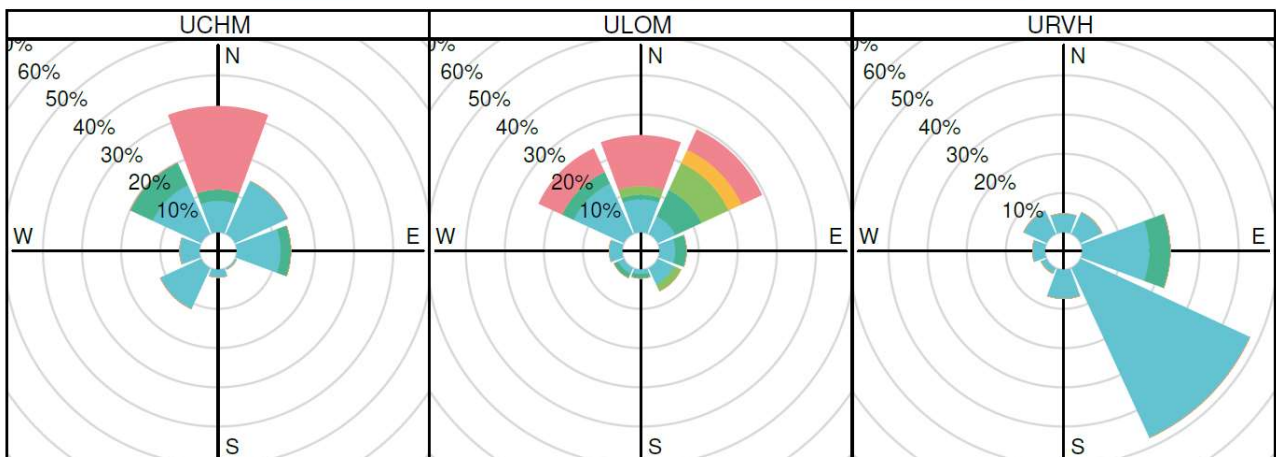
Směrově členěný podíl [%] faktoru LOC_CRUST na jeho celkovém příspěvku k PM₁₀ [μg m⁻³]



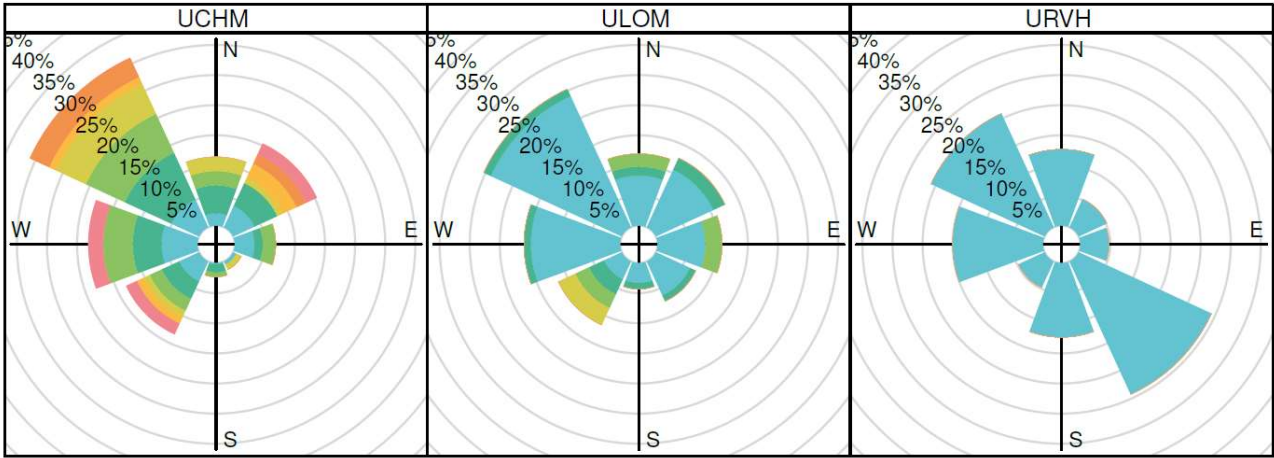
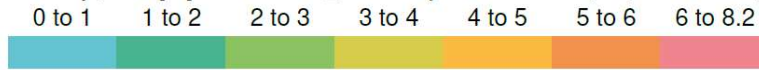
Směrově členěný podíl [%] faktoru LOC_HEAT na jeho celkovém příspěvku k PM₁₀ [μg m⁻³]



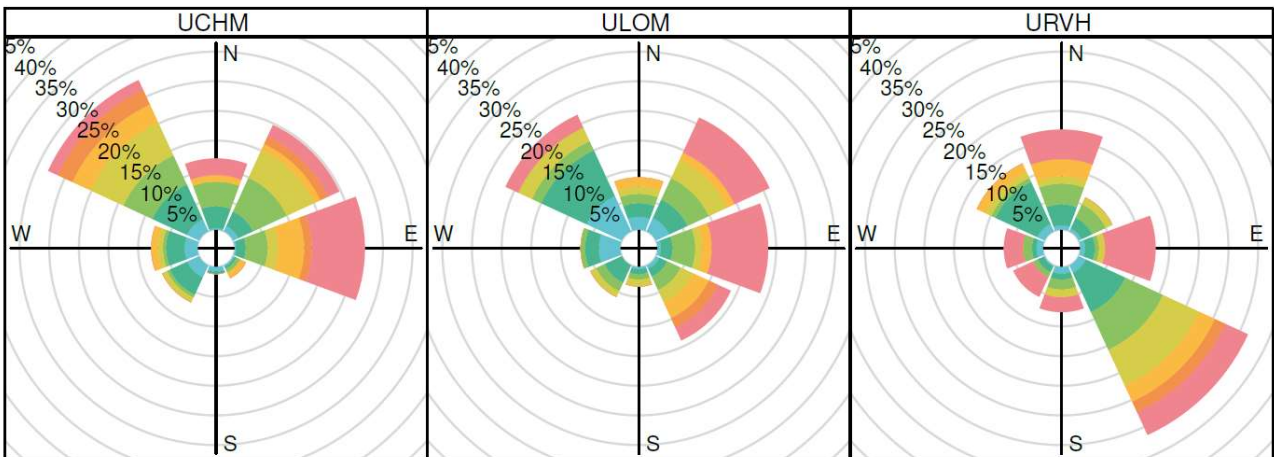
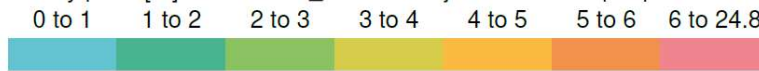
Směrově členěný podíl [%] faktoru LOC_IND na jeho celkovém příspěvku k PM₁₀ [μg m⁻³]



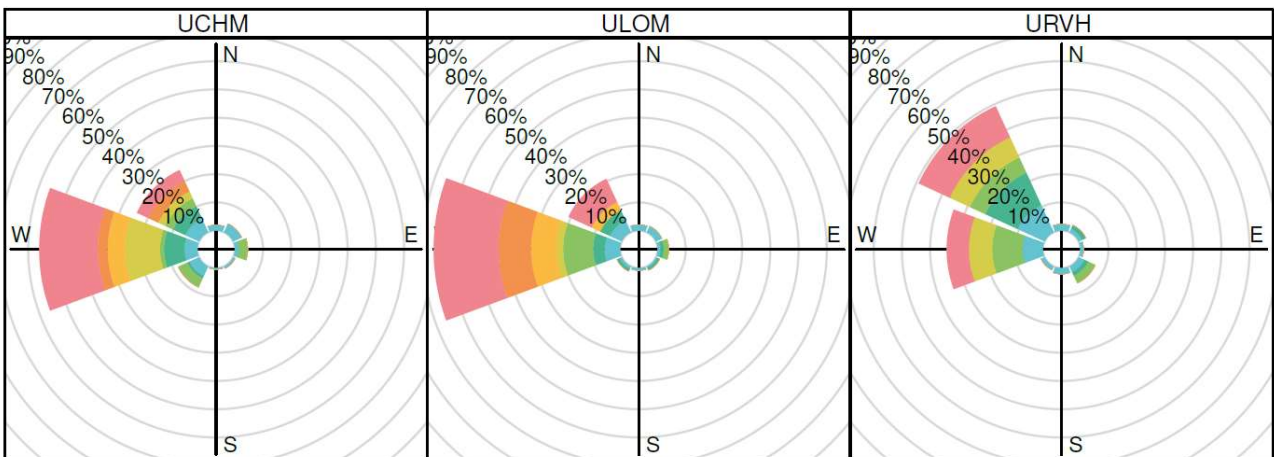
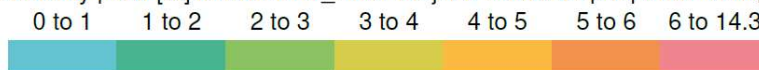
Směrově členěný podíl [%] faktoru LOC_TRA na jeho celkovém příspěvku k PM₁₀ [μg m⁻³]



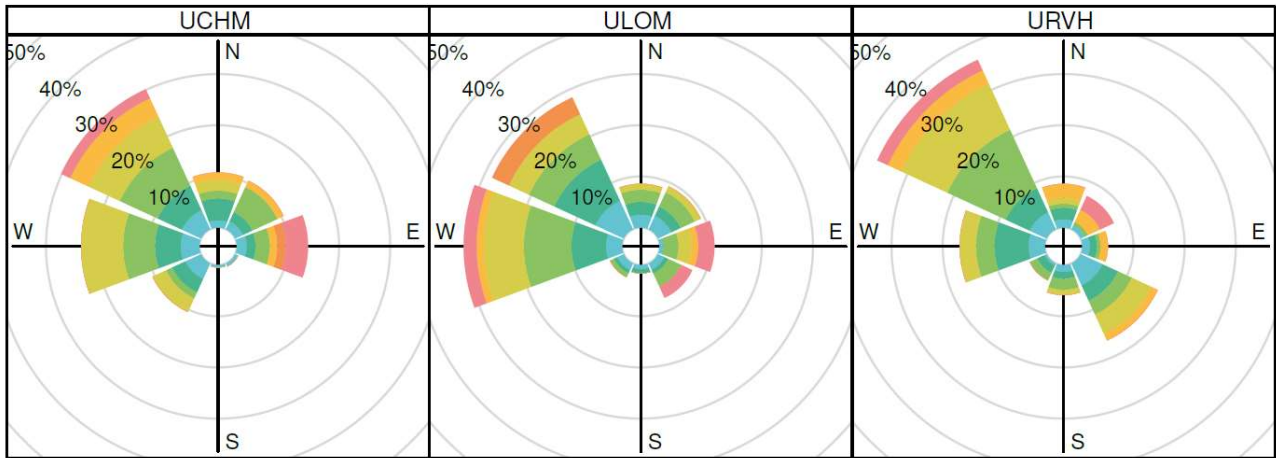
Směrově členěný podíl [%] faktoru LRT_CRUST na jeho celkovém příspěvku k PM₁₀ [μg m⁻³]



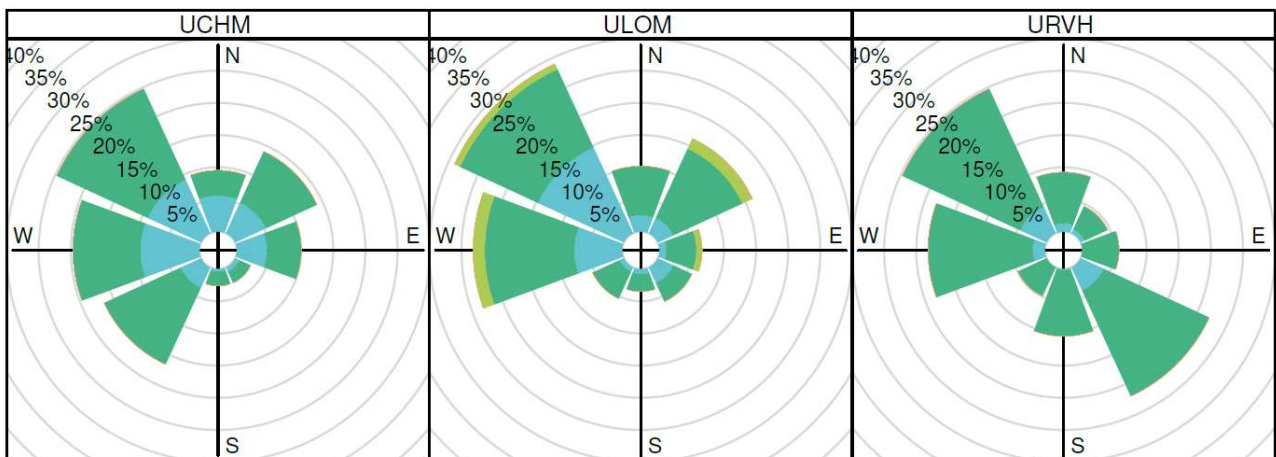
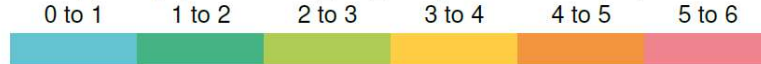
Směrově členěný podíl [%] faktoru LRT_SALT na jeho celkovém příspěvku k PM₁₀ [μg m⁻³]



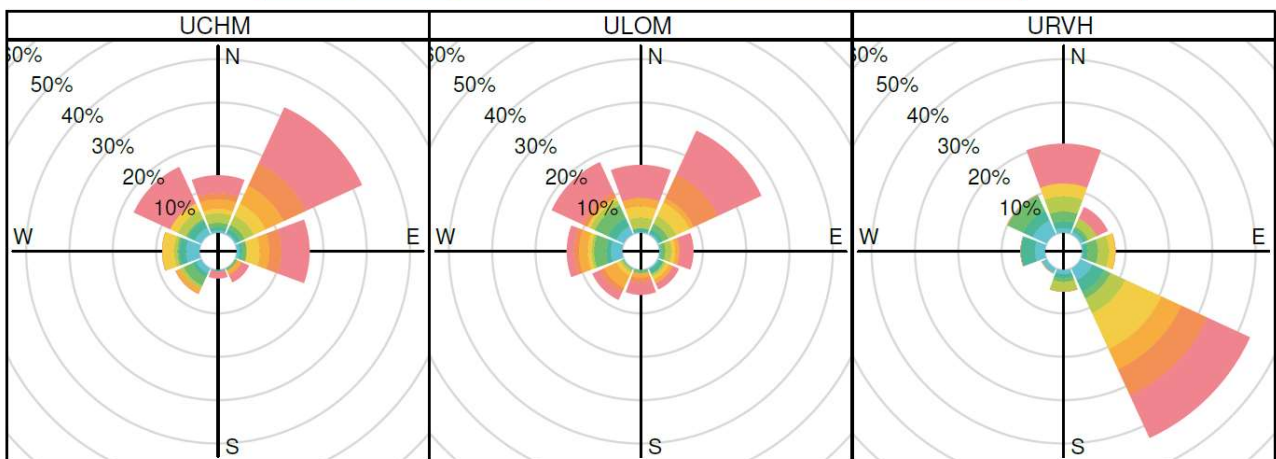
Směrově členěný podíl [%] faktoru LRT_SIA_N na jeho celkovém příspěvku k PM₁₀ [μg m⁻³]



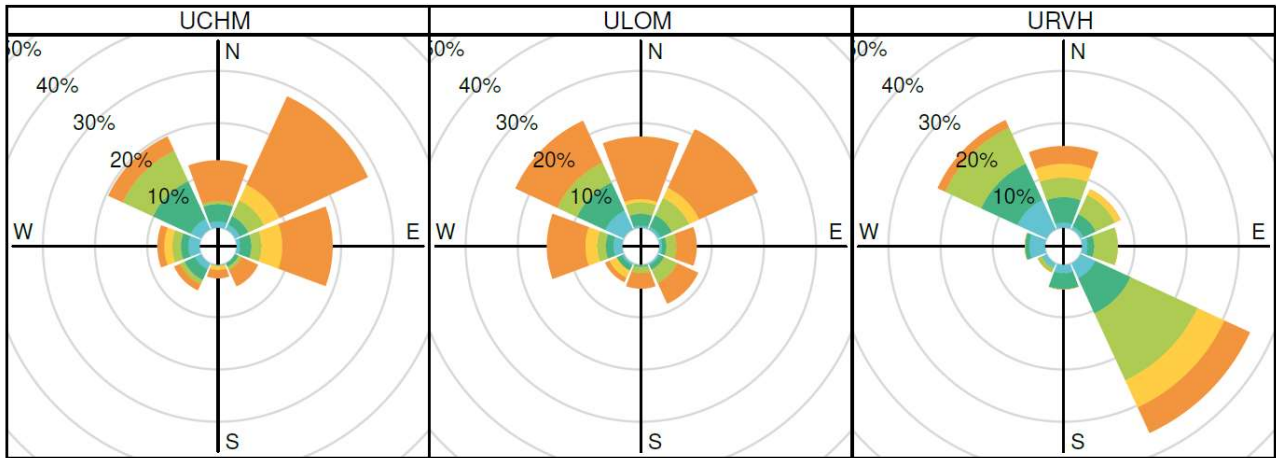
Směrově členěný podíl [%] faktoru LRT_SIA_S na jeho celkovém příspěvku k PM₁₀ [μg m⁻³]



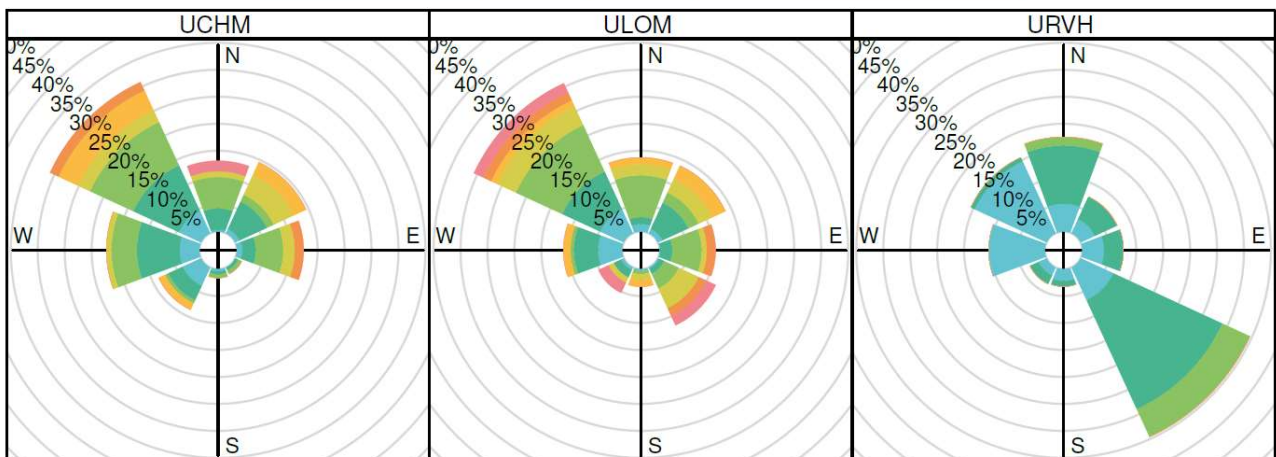
Směrově členěný podíl [%] faktoru REG_SIA_AN na jeho celkovém příspěvku k PM₁₀ [μg m⁻³]



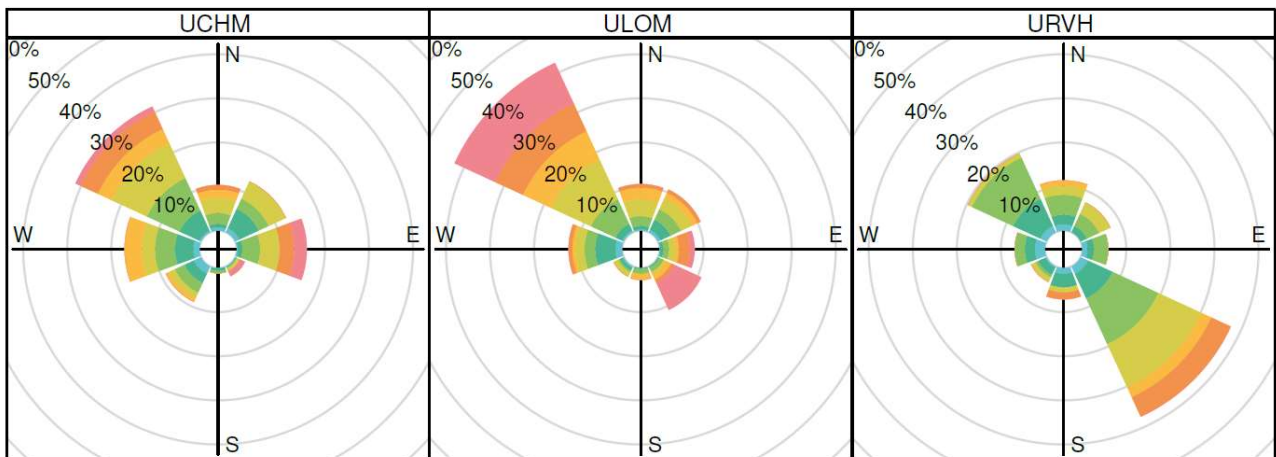
Směrově členěný podíl [%] faktoru REG_SIA_AS na jeho celkovém příspěvku k PM₁₀ [μg m⁻³]



Směrově členěný podíl [%] faktoru REG_SOA_C na jeho celkovém příspěvku k PM₁₀ [μg m⁻³]



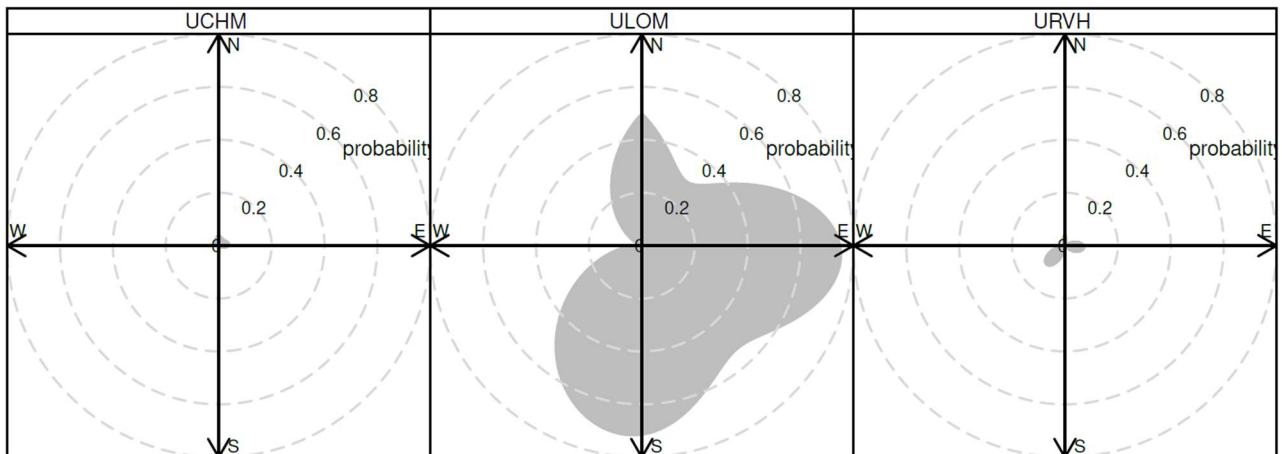
Směrově členěný podíl [%] faktoru REG_SOA_S na jeho celkovém příspěvku k PM₁₀ [μg m⁻³]



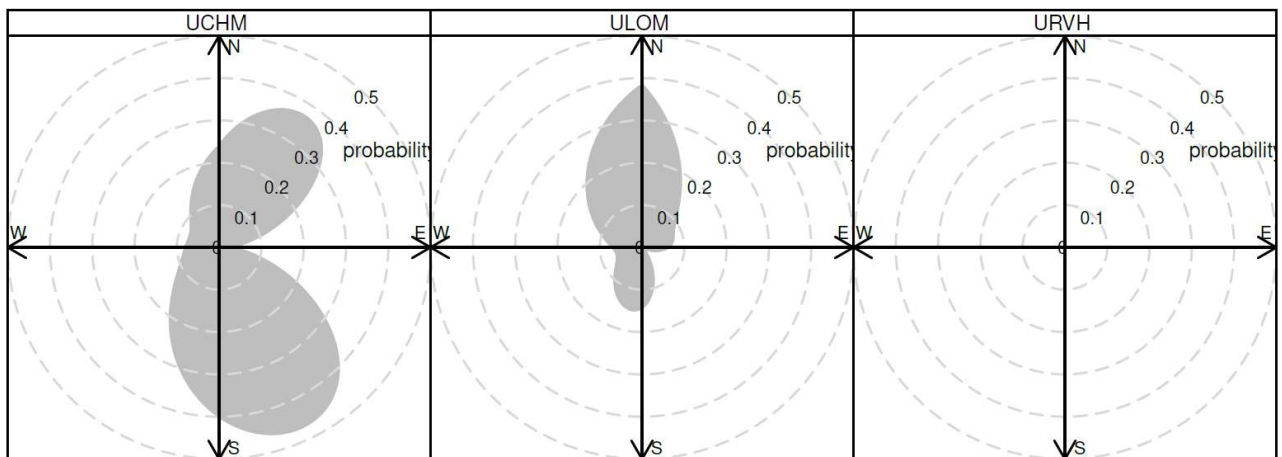
Příloha 6

Grafy funkce CPF identifikovaných faktorů

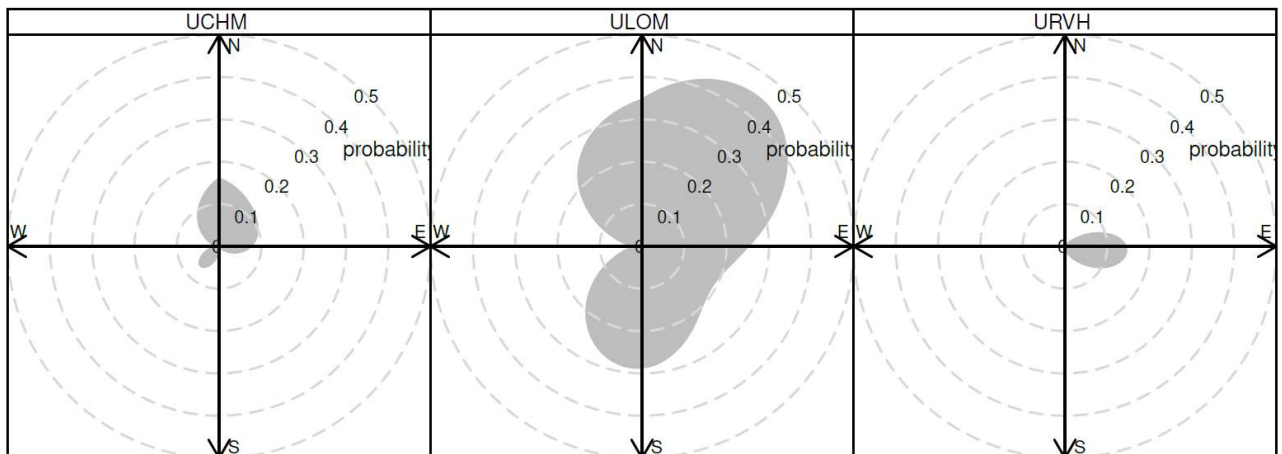
CPF pro 95. percentil příspěvku faktoru LOC_CRUST ke koncentraci PM₁₀



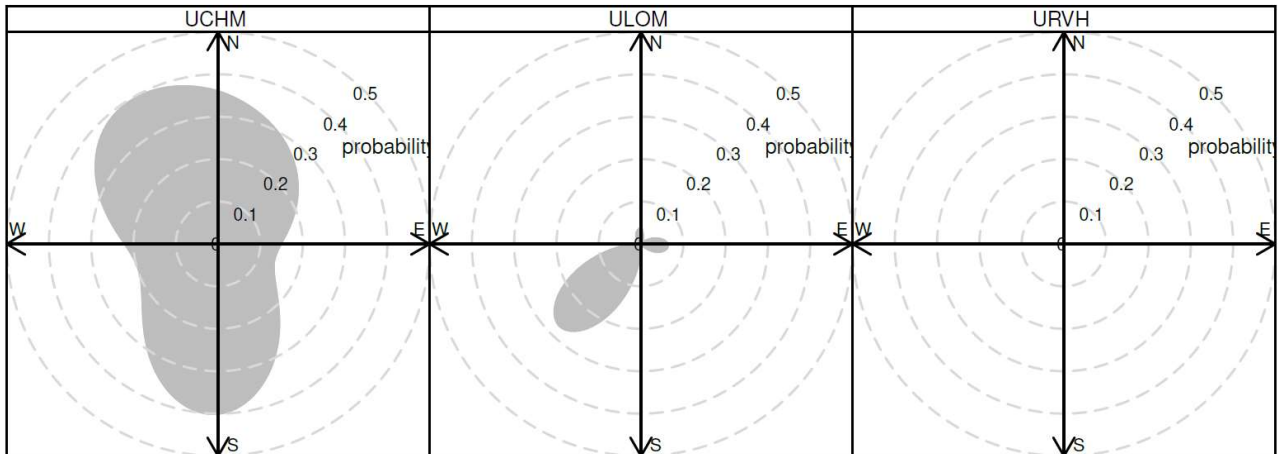
CPF pro 95. percentil příspěvku faktoru LOC_HEAT ke koncentraci PM₁₀



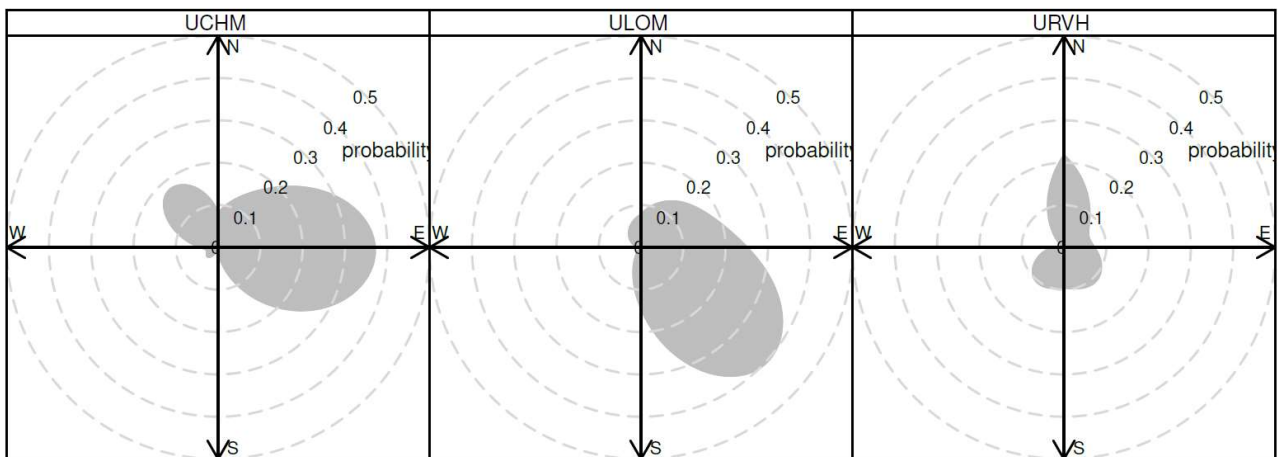
CPF pro 95. percentil příspěvku faktoru LOC_IND ke koncentraci PM₁₀



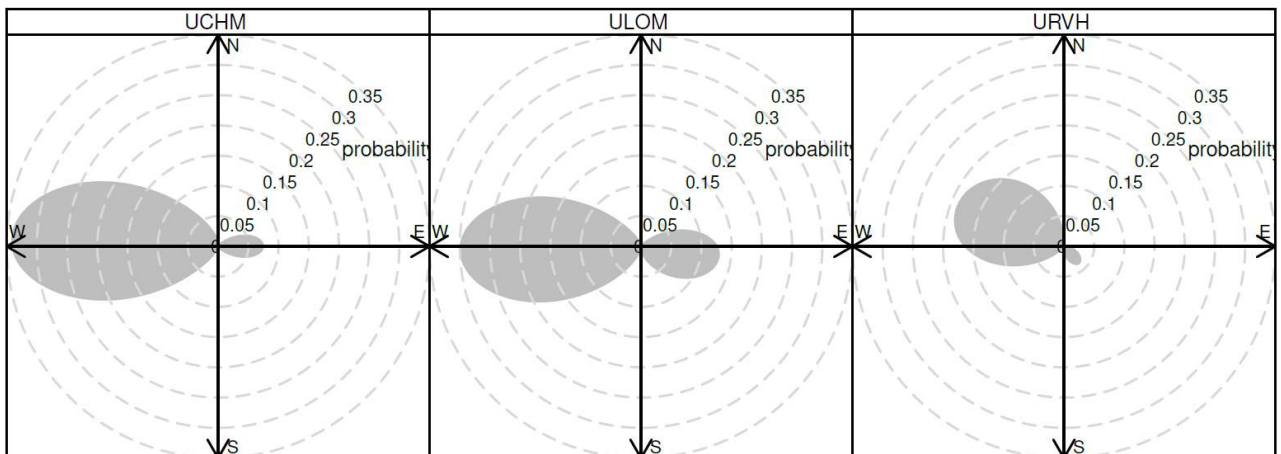
CPF pro 95. percentil příspěvku faktoru LOC_TRA ke koncentraci PM₁₀



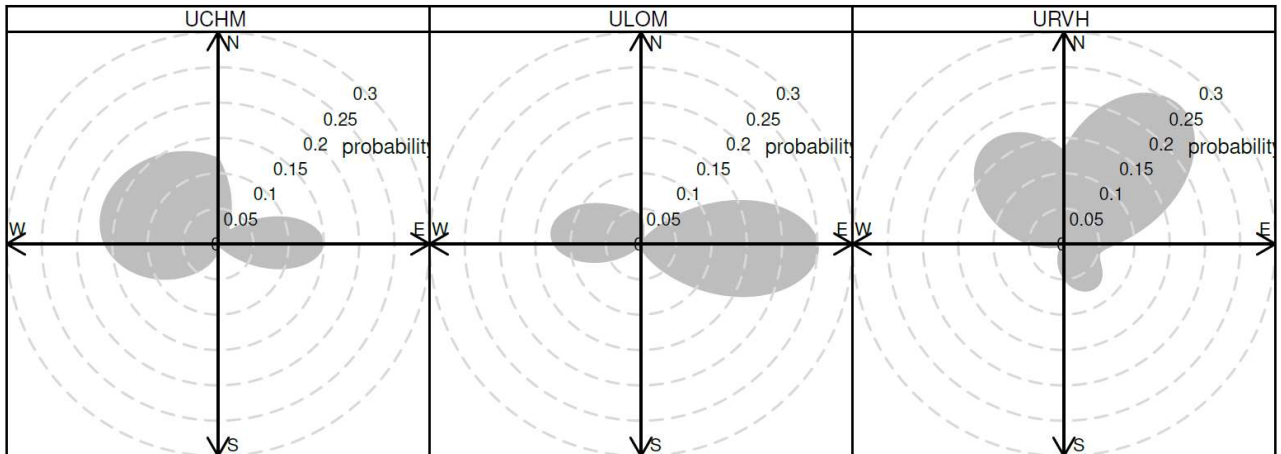
CPF pro 95. percentil příspěvku faktoru LRT_CRUST ke koncentraci PM₁₀



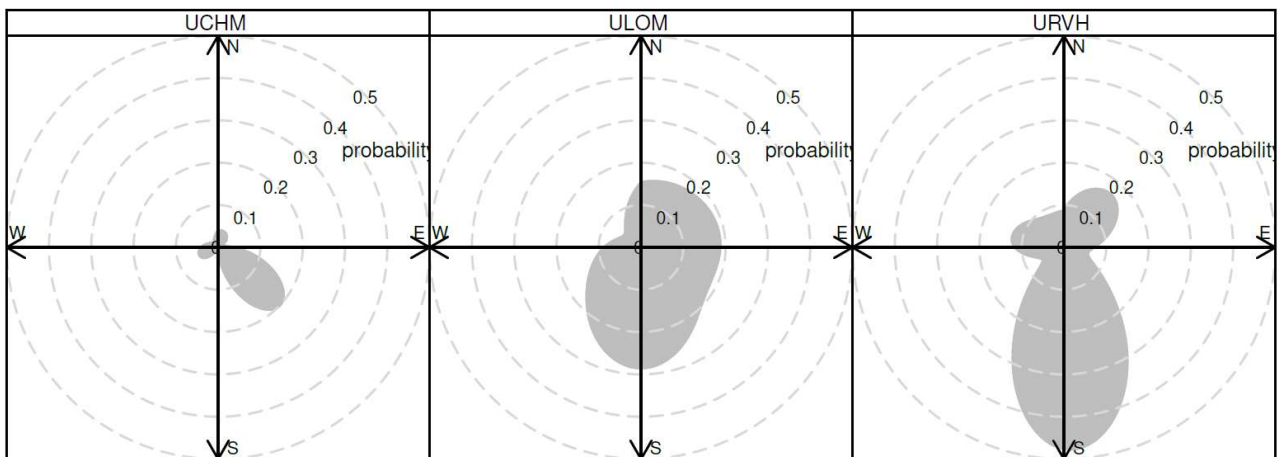
CPF pro 95. percentil příspěvku faktoru LRT_SALT ke koncentraci PM₁₀



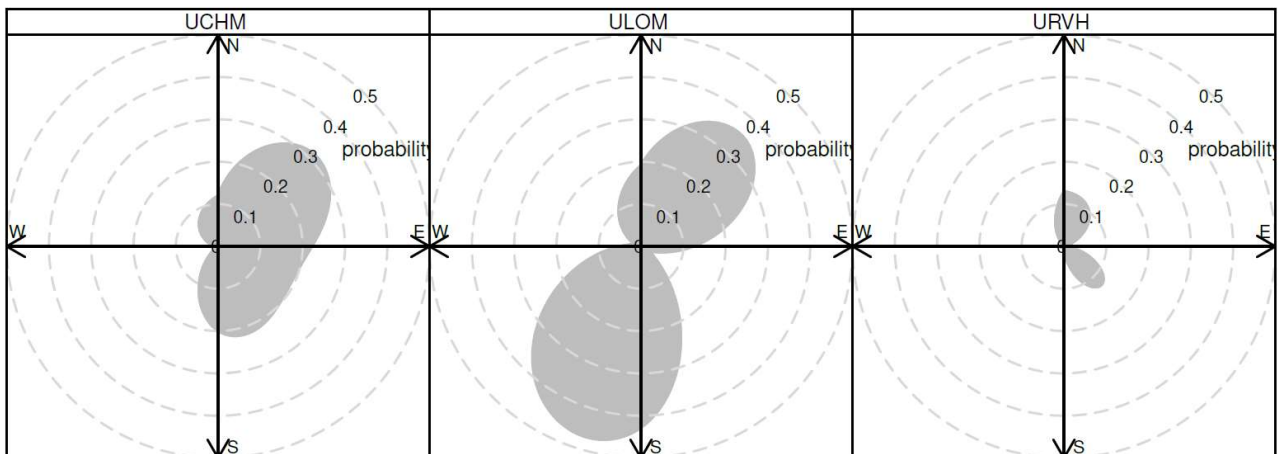
CPF pro 95. percentil příspěvku faktoru LRT_SIA_N ke koncentraci PM₁₀



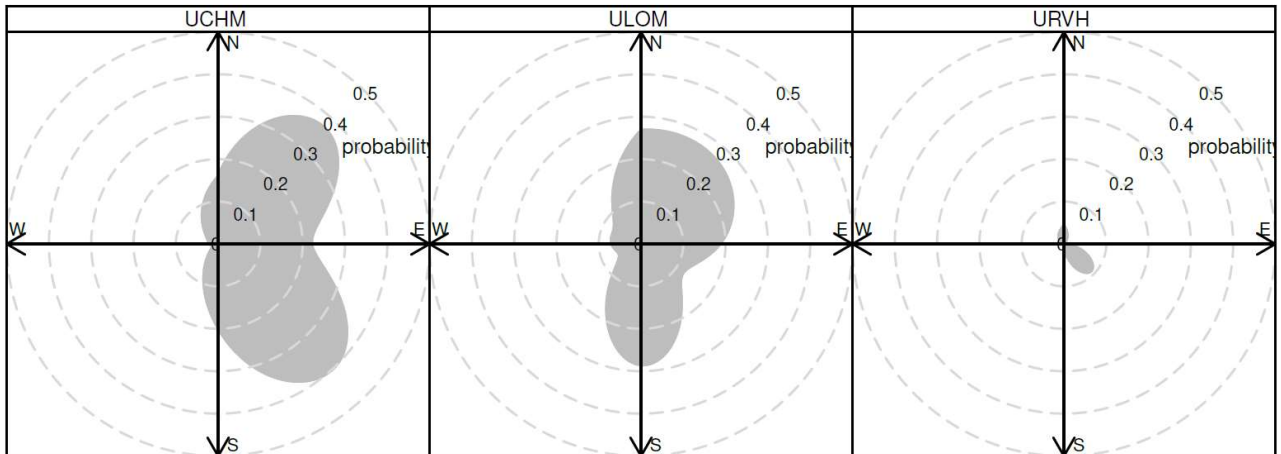
CPF pro 95. percentil příspěvku faktoru LRT_SIA_S ke koncentraci PM₁₀



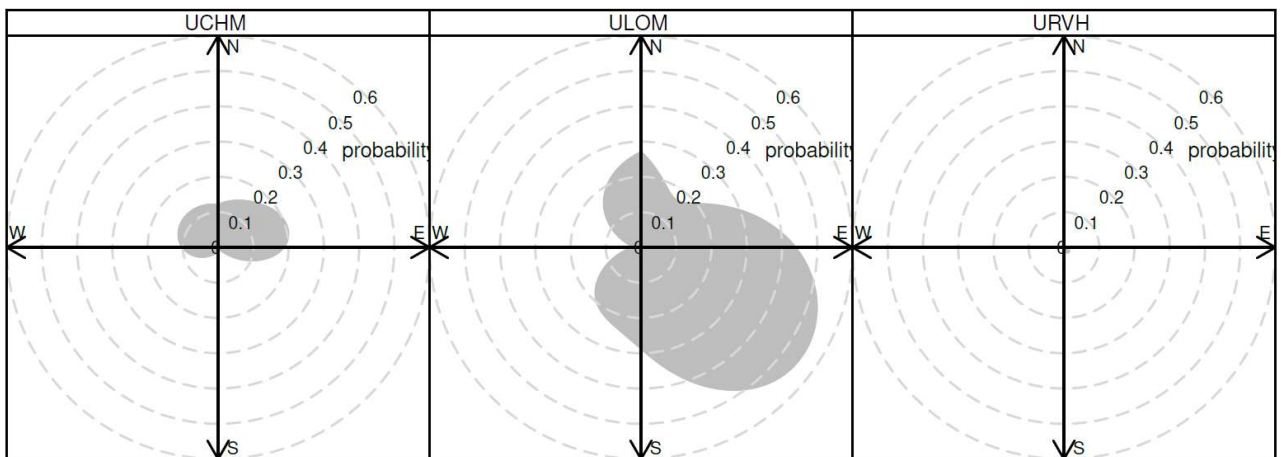
CPF pro 95. percentil příspěvku faktoru REG_SIA_AN ke koncentraci PM₁₀



CPF pro 95. percentil příspěvku faktoru REG_SIA_AS ke koncentraci PM₁₀



CPF pro 95. percentil příspěvku faktoru REG_SOA_C ke koncentraci PM₁₀



CPF pro 95. percentil příspěvku faktoru REG_SOA_S ke koncentraci PM₁₀

