

Vyhodnocení měření na monitorovacích stanicích Heřmanovice OÚ a Světlá Hora-centrum v roce 2024

Projekt Měření znečištění ovzduší vzorkovači
pro identifikaci zdrojů znečišťování na dvou lokalitách
v Moravskoslezském kraji 2024

Závěrečná zpráva projektu (1. 1. – 31. 12. 2024)

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

Obsah

1. Úvod	4
2. Popis monitorovaných lokalit.....	5
3. Metodika prací.....	7
3.1. Metody měření a vzorkování.....	7
3.2. Metody laboratorních analýz.....	7
3.3. Metody vyhodnocení.....	8
4. Úroveň znečištění	9
4.1. Suspendované částice (PM)	9
4.2. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)	15
4.3. Těžké kovy (TK)	18
5. Příčiny znečištění	19
5.1. Hlavní složky aerosolu PM _{2,5}	19
5.2. Imisně-meteorologické hodnocení	19
5.3. Výsledky modelu PMF a jejich následné zpracování	22
5.3.1 Faktory kvality ovzduší.....	23
3.1.1. Podíly zdrojů a typů znečištění na koncentraci PM _{2,5}	26
6. Shrnutí a závěr.....	27

Přílohy

Příloha 1: Chemické profily identifikovaných typů znečištění
Příloha 2: Časové řady identifikovaných faktorů
Příloha 3: Koncentrační růžice normalizované podle směru větru
Příloha 4: Polární grafy
Příloha 5: Zpětné trajektorie HYSPLIT pro 90. percentil imisních příspěvků identifikovaných faktorů v lokalitě Světlá Hora-centrum
Příloha 6: Zdrojové oblasti podle funkce CWT zpětných trajektorií HYSPLIT [ng·m ⁻³]
Příloha 7: Koncentrace PM _{2,5} (μg·m ⁻³) v závislosti na DTP
Příloha 8: Koncentrace BaP (ng·m ⁻³) v závislosti na DTP

Seznam obrázků

Obr. 1	Poloha stanic	5
Obr. 2	Průměrné roční koncentrace PM ₁₀ na stanicích v Moravskoslezském kraji, 2024	10
Obr. 3	Průměrné roční koncentrace PM _{2,5} na stanicích v Moravskoslezském kraji, 2024	11
Obr. 4	Roční chod průměrných měsíčních koncentrací PM ₁₀ , 2024.....	12
Obr. 5	Roční chod průměrných měsíčních koncentrací PM _{2,5} , 2024	13
Obr. 6	Průměrné denní koncentrace PM ₁₀ na stanici Malá Morávka, 2024.....	13
Obr. 7	Průměrné denní koncentrace PM ₁₀ na stanici Vrbno pod Pradědem, 2024	14
Obr. 8	Průměrné denní koncentrace PM ₁₀ na stanici Zátor, 2024.....	14
Obr. 9	Statistické rozložení denních koncentrací PM na stanicích v roce 2024	15
Obr. 10	Chod průměrných denních koncentrací BaP v průběhu roku 2024 v zájmových lokalitách	17
Obr. 11	Statistické rozložení denních koncentrací PAH na stanicích Heřmanovice OÚ (THEU) a Světlá Hora-centrum (TSHC), 2024	17
Obr. 12	Statistické rozložení denních koncentrací TK v zájmových lokalitách, 2024	18
Obr. 13	Hlavní složky PM _{2,5}	19
Obr. 14	Větrné růžice pro lokality Heřmanovice OÚ, Světlá Hora-centrum, Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor, rok 2024.....	20
Obr. 15	Polární grafy koncentračních příspěvků PM ₁₀ v roce 2024, Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor (hodnoty v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	20
Obr. 16	Grafy procentuálních příspěvků koncentrací PM ₁₀ v roce 2024, Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor (hodnoty v %)	20
Obr. 17	Průměrné koncentrace PM _{2,5} v roce 2024, Heřmanovice OÚ, Světlá Hora-centrum	21
Obr. 18	Průměrné koncentrace BaP v roce 2024, Heřmanovice OÚ, Světlá Hora-centrum)	22
Obr. 19	Podíl identifikovaných faktorů na koncentraci PM _{2,5}	26

Seznam tabulek

Tab. 1	Metody měření a režim vzorkování	7
Tab. 2	Průměrné roční koncentrace PM, 2024	9
Tab. 3	Maximální denní koncentrace PM ₁₀ , 2024	12
Tab. 4	Průměrná roční koncentrace BaP, 2024.....	16

Vysvětlivky (použité zkratky)

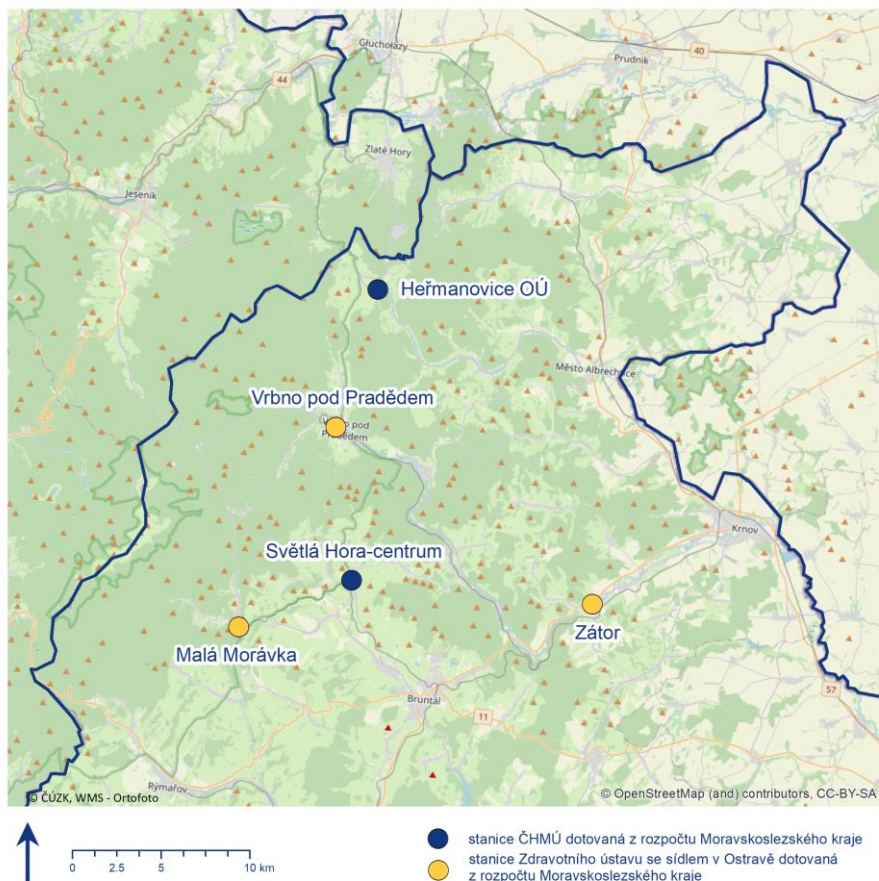
I–XII	měsíce v roce (leden–prosinec)
BaA	benzo[<i>a</i>]antracen
BaP	benzo[<i>a</i>]pyren
BeP	benzo[<i>e</i>]pyren
BbF	benzo[<i>b</i>]fluoranten
BghiPRL	benzo[<i>g,h,i</i>]perylene
BjF	benzo[<i>j</i>]fluoranten
BkF	benzo[<i>k</i>]fluoranten
COR	koronen
CRY	chrysen
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DBahA	dibenzo[<i>a,h</i>]antracen
DTP	denní typ proudění
GC-MS	plynová chromatografie s hmotnostní detekcí
GRV	gravimetrie
HPLC	vysokotlaká kapalinová chromatografie
ICP-MS	hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
I123cdP	indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyren
NO ₂	oxid dusičitý
O ₃	přízemní ozon
OPEL	optoelektronická metoda
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky
PIC	píčen
PM ₁₀ /PM _{2,5}	suspendované částice frakce PM ₁₀ /PM _{2,5}
PRL	perylene
RET	reten
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav
SO ₂	oxid siřičitý
SSIM	Státní síť imisního monitoringu
TK	těžké kovy
THEU	Heřmanovice OÚ
TMMO	Malá Morávka
TSHC	Světlá Hora-centrum
TVPP	Vrbno pod Pradědem
TZAT, TZAR	Zátor
U-SONIC	ultrasonický anemometr
UTC	světový čas (SEČ – 1hod)
WHO	Světová zdravotnická organizace
XRF	Rentgenová fluorescence
ZÚ	Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě

1. Úvod

V roce 2024 probíhalo měření kvality ovzduší dotované z rozpočtu Moravskoslezského kraje (MSK) na základě smlouvy ev. č. 01588/2024/RRC, uzavřené s Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ). Jednalo se o podporu projektu Měření znečištění ovzduší vzorkovači pro identifikaci zdrojů znečišťování na dvou lokalitách v Moravskoslezském kraji 2024. Počínaje rokem 2021 byla koncepce krajského monitoringu prováděného ČHMÚ zacílena na konkrétnější identifikace příčin znečištění ve vytipovaných oblastech a na kvantifikaci podílů zdrojů znečišťování ovzduší. Po dohodě se zástupci Moravskoslezského kraje byla od roku 2023 posílána spolupráce ČHMÚ se Zdravotním ústavem se sídlem v Ostravě ve smyslu soustředění personálních a technických zdrojů obou institucí. Užší spolupráce těchto institucí umožňuje komplexnější vyhodnocení imisní situace a příčin znečištění oproti předchozím rokům, kdy ČHMÚ a Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě (ZÚ) prováděli monitoring pro Krajský úřad Moravskoslezského kraje izolovaně.

Monitoring roku 2024 byl zacílen na severní část Jesenické oblasti spadající do Moravskoslezského kraje. Rozmístění stanic (Obr. 1) bylo naplánováno společně mezi ČHMÚ a ZÚ se sídlem v Ostravě po konzultacích se zástupci Moravskoslezského kraje. Vyhodnocení měření přináší informace o úrovni znečištění ovzduší v severozápadní části Moravskoslezského kraje. ZÚ se sídlem v Ostravě monitoroval kvalitu ovzduší v lokalitách Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor, ČHMÚ v lokalitách Heřmanovice OÚ a Světlá Hora-centrum. Ve dvou z pěti monitorovaných lokalit bylo provedeno detailní hodnocení příčin zdejšího znečištění ovzduší se zřetelem na odlišení podílu lokálního vytápění od přenosu znečištění z jiných území, včetně zahraničí. Výsledek tak poskytuje informaci o tom, kam v budoucnu cílit konkrétní opatření ke zlepšení kvality ovzduší.

2. Popis monitorovaných lokalit



Obr. 1 Poloha stanic

Heřmanovice OÚ (THEU)

Stanice Heřmanovice OÚ (50.1931878N, 17.3980217E) ležela v nadmořské výšce 649 m n. m. a byla klasifikována jako dopravní, venkovská s reprezentativností okrskového měřítka (0,5–4 km) a byla zřízena pro rok 2024. Stanice se nacházela v bezprostřední blízkosti obecního úřadu Heřmanovice, přibližně 20 m od místní silnice. Cca 8 km směrem na jih od stanice se nachází město Vrbno pod Pradědem a 14 km na západ město Jeseník.

Světlá Hora-centrum (TSHC)

Stanice Světlá Hora-centrum (50.0452156N, 17.3995608E) se nacházela v nadmořské výšce 608 m n. m. a byla klasifikována jako pozadřová venkovská s reprezentativností okrskového měřítka (0,5–4 km), byla zřízena pro rok 2024. Stanice ležela v centru obce v sousedství sběrného dvora. Přibližně 7 km směrem na jihovýchod od stanice se nachází město Bruntál a 8 km na sever Vrbno pod Pradědem.

Malá Morávka (TMMO)

Stanice Malá Morávka (50.0160561N, 17.3147219E) ležela v nadmořské výšce 646 m n. m. a byla klasifikována jako pozad'ová venkovská s reprezentativností okrskové měřítka (0,5–4 km) a byla zřízena jen pro rok 2024. Stanice byla umístěna na zahradě MŠ Malá Morávka, za malým domkem na zahradě, cca 30 metrů od silnice. Za MŠ se nachází tenisové kurty. Přibližně 10 km směrem na východ od stanice se nachází město Bruntál, 12 km na sever Vrbno pod Pradědem.

Vrbno pod Pradědem (TVPP)

Stanice Vrbno pod Pradědem (50.1215819N, 17.3754178E) ležela v nadmořské výšce 537 m n. m. a byla klasifikována jako pozad'ová městská s reprezentativností okrskové měřítka (0,5–4 km). Byla zřízena jen pro rok 2024. Stanice byla umístěna v areálu MŠ, v blízkosti travnatého hřiště. Ve vzdálenosti cca 80 m se nacházely dvě komunikace.

Zátor (TZAT, TZAR)

Měření v Zátoru probíhalo během roku 2024 na dvou místech. V lokalitě Zátor (TZAT, 50.0448075N, 17.5899717E) probíhalo od 8. 1. do 13. 9. 2024. V září 2024 bylo měření z důvodu predikce povodní včas přesunuto mimo záplavové území do lokality Zátor MŠ (TZAR, 50.0406381N, 17.5939714E) a probíhalo zde od 20. 9. 2024 do konce roku. Stanice se nacházely v nadmořských výškách 363 a poté 383 m n. m. a byly klasifikovány jako pozad'ové venkovské s reprezentativností okrskového měřítka (0,5–4 km). Lokality byly zřízeny účelově jen pro rok 2024. Pro účely tohoto zpracování jsou označovány společným názvem „Zátor“. Stanice Zátor TZAT byla umístěna v areálu ZŠ Zátor, v blízkosti tenisového hřiště, ve vzdálenosti asi 70 m od Farmy Loučky s.r.o. V září byla přesunuta asi 550 m vzdušnou čarou do areálu MŠ Zátor (TZAR), kde byla umístěna na dětském hřišti, přibližně 25 m od silnice. Zátor se nachází ve vzdálenosti cca 8 km jihozápadním směrem od města Krnov, 10 km severovýchodním směrem od města Bruntál.

Měření znečištění ovzduší na stanicích Heřmanovice OÚ a Světlá Hora-centrum probíhalo v souladu s pravidly Imisního monitoringu ČHMÚ, který je zkušební laboratoří č. L 1460 akreditovanou ČIA, o. p. s. pro zkoušky a odběry uvedené v Příloze Osvědčení o akreditaci. ČHMÚ je autorizován k měření imisí znečišťujících látek Ministerstvem životního prostředí ČR dle osvědčení o autorizaci k měření imisí osvědčení MŽP ČR o autorizaci k měření imisí č. j. 45629/ENV/14 ze dne 20. 8. 2014. Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě, který provozoval měření na stanicích Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor, disponuje akreditovaným systémem monitorování kvality ovzduší a autorizací k měření úrovně znečištění č. j. 33227/ENV/13 vydanou Ministerstvem životního prostředí ČR dne 4. 6. 2013.

3. Metodika prací

V období 1. 1. – 31. 12. 2024 bylo ve výše popsanych lokalitách provedeno měření imisních koncentrací škodlivin v atmosférickém aerosolu (Tab. 1). V lokalitách Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor byla hodnocena frakce PM₁₀. V lokalitách Heřmanovice OÚ a Světlá Hora-centrum se s ohledem na navazující identifikaci příčin znečištění včetně vlivu sekundárních a dálkově přenášených aerosolů jednalo o frakci PM_{2,5}.

3.1. Metody měření a vzorkování

Metody měření a režim vzorkování jsou prezentovány v Tab. 1.

Tab. 1 Metody měření a režim vzorkování

Stanice	Měřený parametr	Interval měření	Jednotka	Metoda měření
Heřmanovice OÚ	PM _{2,5}	1/3d	μg.m ⁻³	GRV
	PAH v PM _{2,5}	1/6d	ng.m ⁻³	GC-MS
	TK v PM _{2,5}	1/6d	ng.m ⁻³	XRF
	Směr a rychlost větru	1s	°, m.s ⁻¹	U-SONIC
Světlá Hora-centrum	PM _{2,5}	1/6d	μg.m ⁻³	GRV
	PAH v PM _{2,5}	1/6d	ng.m ⁻³	HPLC
	TK v PM _{2,5}	1/3d	ng.m ⁻³	XRF
	Směr a rychlost větru	1h	°, m.s ⁻¹	U-SONIC
Malá Morávka Vrbno pod Pradědem Zátor	PM ₁₀ , PM _{2,5}	1h	μg.m ⁻³	OPEL
	PAH v PM ₁₀	1/6d	ng.m ⁻³	HPLC
	TK v PM ₁₀	1/6d	ng.m ⁻³	ICP-MS
	Směr a rychlost větru	1h	°, m.s ⁻¹	U-SONIC

Automatickými sekvenčními vzorkovači byly 24hodinové vzorky odebírány v časech od 0:00 do 24:00 UTC.

Vzorky pro gravimetrické stanovení PM, stanovení iontů a anhydrosacharidů byly odebírány na teflonové filtry, pro stanovení elementárního a organického uhlíku a PAH byly použity křemenné filtry. Vzorky pro analýzu kovů v lokalitách Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor byly odebrány na nitrocelulózové filtry, aerosol pro prvkovou analýzu včetně kovů v lokalitách Světlá Hora-centrum a Heřmanovice OÚ byl odebírán na teflonových filtrech.

3.2. Metody laboratorních analýz

Ve vzorcích z lokalit Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem, Zátor byla provedena laboratorní stanovení imisních koncentrací v následujícím rozsahu látek:

- kovy: As, Cd, Ni, Pb,
- PAH: benzo[a]pyren

Rozsah laboratorně stanovených látek pro identifikaci příčin znečištění modelem PMF v lokalitách Světlá Hora-centrum a Heřmanovice OÚ byl následující:

- hmotnostní koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$,
- OC, EC včetně teplotně rozlišených frakcí OC1 až OC4, resp. EC1 až EC4,
- ionty: SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , F^- , Br^- , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ,
- PAH: benzo[a]antracen, chrysen, benzo[b]fluoranten, benzo[j]fluoranten, benzo[k]fluoranten, benzo[a]pyren, benzo[e]pyren, dibenzo[a,h]antracen, benzo[ghi]perylen, indeno[1,2,3-cd]pyren,
- prvkové složení: Na, Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sb, Ba, Pb,
- anhydrosacharidy (iontová chromatografie): levoglucosan, mannosan, galactosan.

Součástí odběrů a rozborů byly polní slepé vzorky (min. 5 % řádných vzorků pro každou z použitých metod). Chemické rozborů byly provedeny v laboratořích ČHMÚ, pobočce Ostrava (prvkové složení, elementární a organický uhlík, ionty a anhydrosacharidy z lokalit Heřmanovice OÚ a Světlá Hora-centrum), pobočce Ústí nad Labem (PAH z lokality Heřmanovice OÚ) a v laboratořích Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě (kovy z lokality Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem, Zátor MŠ a PAH ze všech lokalit kromě lokality Heřmanovice OÚ).

3.3. Metody vyhodnocení

Naměřené koncentrace znečišťujících látek byly primárně porovnávány s limity pro ochranu zdraví dle platné legislativy dané Zákonem č. 201/2012 Sb. [ČR, 2012] vycházející ze směrnic legislativy Evropské unie [EC, 2004; EC, 2008].

Identifikace zdrojů znečišťování ovzduší a kvantifikace jejich podílů na celkovém znečištění $PM_{2,5}$ byla provedena pomocí receptorového modelu PMF (Positive Matrix Factorization). Jedná se o mnohorozměrnou faktorovou analýzu, založenou 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 jsou ve skutečnosti konkrétními zdroji nebo typy znečištění ovzduší. V modelu PMF bylo použito 181 vzorků ovzduší (60 z lokality Heřmanovice OÚ a 121 z lokality Světlá Hora-šance). Modelování proběhlo v souladu s požadavky manuálu k programu PMF 5.0 [Norris a kol., 2014]. Po vyloučení hmotnostních duplicít a prvků s nevyhovujícím poměrem signál/šum bylo kromě $PM_{2,5}$ v modelu použito celkem 30 analytů. Stabilita řešení byla ověřena metodou bootstrap (BS) se 100 testovacími běhy se shodou $\geq 97\%$.

Pro odhad směru, odkud pocházely identifikované typy znečištění, byly vypočtené imisní příspěvky jednotlivých faktorů spárovány s denními typy proudění (DTP). Výpočet DTP probíhá pomocí interní metodiky ČHMÚ z hodinových hodnot směru a rychlosti větru. Pro výpočet se využívají údaje směru a rychlosti větru v daném místě. Na základě metodiky je možné určit DTP pro 8 základních směrů, případně sektorů pro dva směry nacházející se vedle sebe, dále pro bezvětrí ($\leq 0,4 \text{ m.s}^{-1}$) a proměnlivý vítr [Volná a Blažek, 2024]. Pro ověření možných příčin znečištění byly využity i zpětné trajektorie proudění vypočtené dle interní metodiky ČHMÚ s využitím meteorologických údajů z klimatologické databáze CLIDATA [Volná a Blažek, 2024] a model HYSPLIT [https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php].

Výsledky modelu PMF byly také zpracovány společně s meteorologickými údaji. Pro všechny modelem identifikované faktory byly vypracovány polární grafy a koncentrační růžice na základě měření směru a rychlosti větru v posuzovaných lokalitách. Pro faktory, které reprezentují alespoň částečně dálkový přenos znečištění, byla provedena klastrová analýza zpětných trajektorií vypočtených modelem HYSPLIT pro 10 % nejvyšších imisních příspěvků těchto faktorů, a také hromadné zpracování zpětných trajektorií v hodinovém kroku za celý měřený rok pro identifikaci zdrojových oblastí metodou CWT (Concentration Weighted Trajectories).

Ke statistickému zpracování a prezentaci naměřených dat byl využit software RStudio, MS Excel a Arc GIS.

4. Úroveň znečištění

4.1. Suspendované částice (PM)

Roční průměrné koncentrace PM₁₀ nedosáhly ani poloviny hodnoty stanoveného ročního limitu 40 µg.m⁻³ ani na jedné stanici (Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor) s měřením PM₁₀. Na žádné stanici nebyla překročena ani doporučená limitní hodnota 20 µg.m⁻³ pro roční průměrné koncentrace PM₁₀ dle WHO [WHO, 2021] (Obr. 2, Tab. 2).

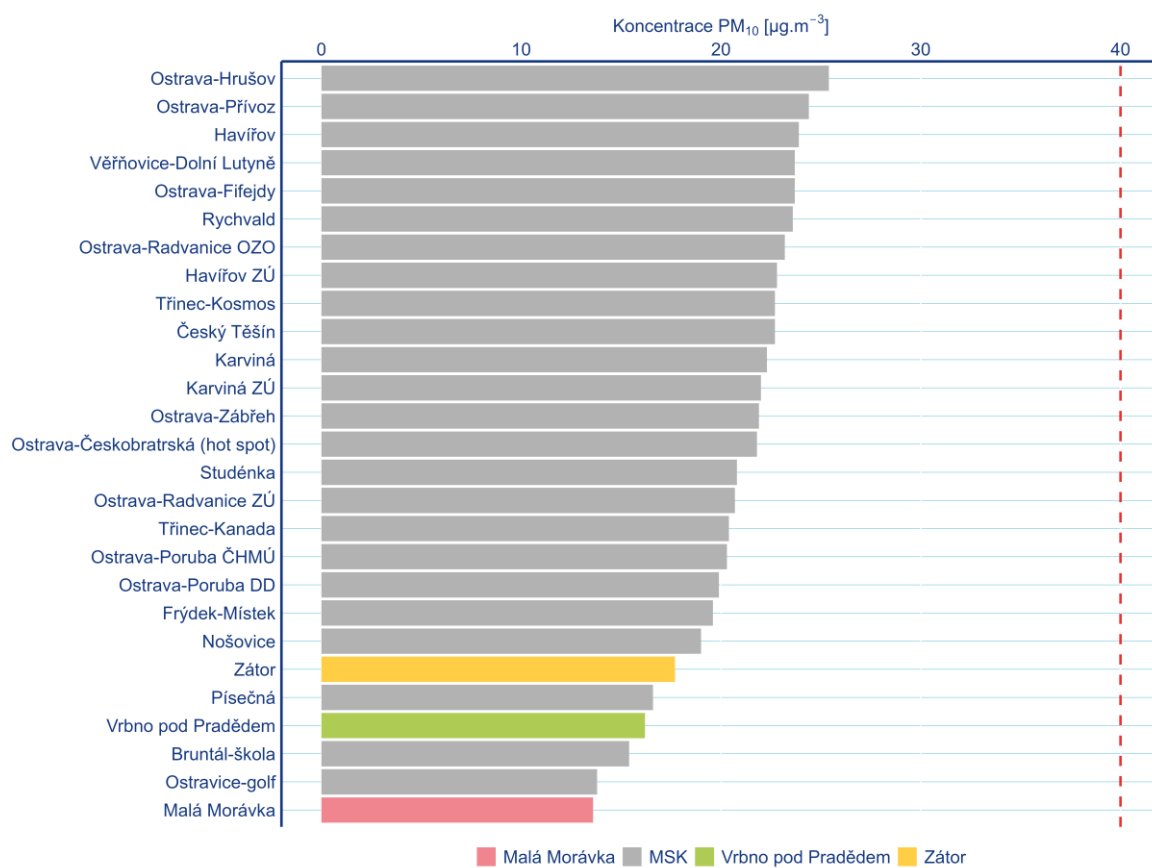
Limitní průměrná roční koncentrace 20 µg.m⁻³ pro PM_{2,5} nebyla překročena ani na jedné stanici s měřením PM_{2,5} (Heřmanovice OÚ, Světlá Hora-centrum, Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor). Doporučená limitní hodnota roční průměrné koncentrace 10 µg.m⁻³ pro suspendované částice PM_{2,5} dle WHO [WHO, 2021] byla překročena na všech stanicích s výjimkou Malé Morávky, kde byla o 0,5 µg.m⁻³ nižší než doporučená hodnota (Obr. 3, Tab. 2).

Tab. 2 Průměrné roční koncentrace PM, 2024

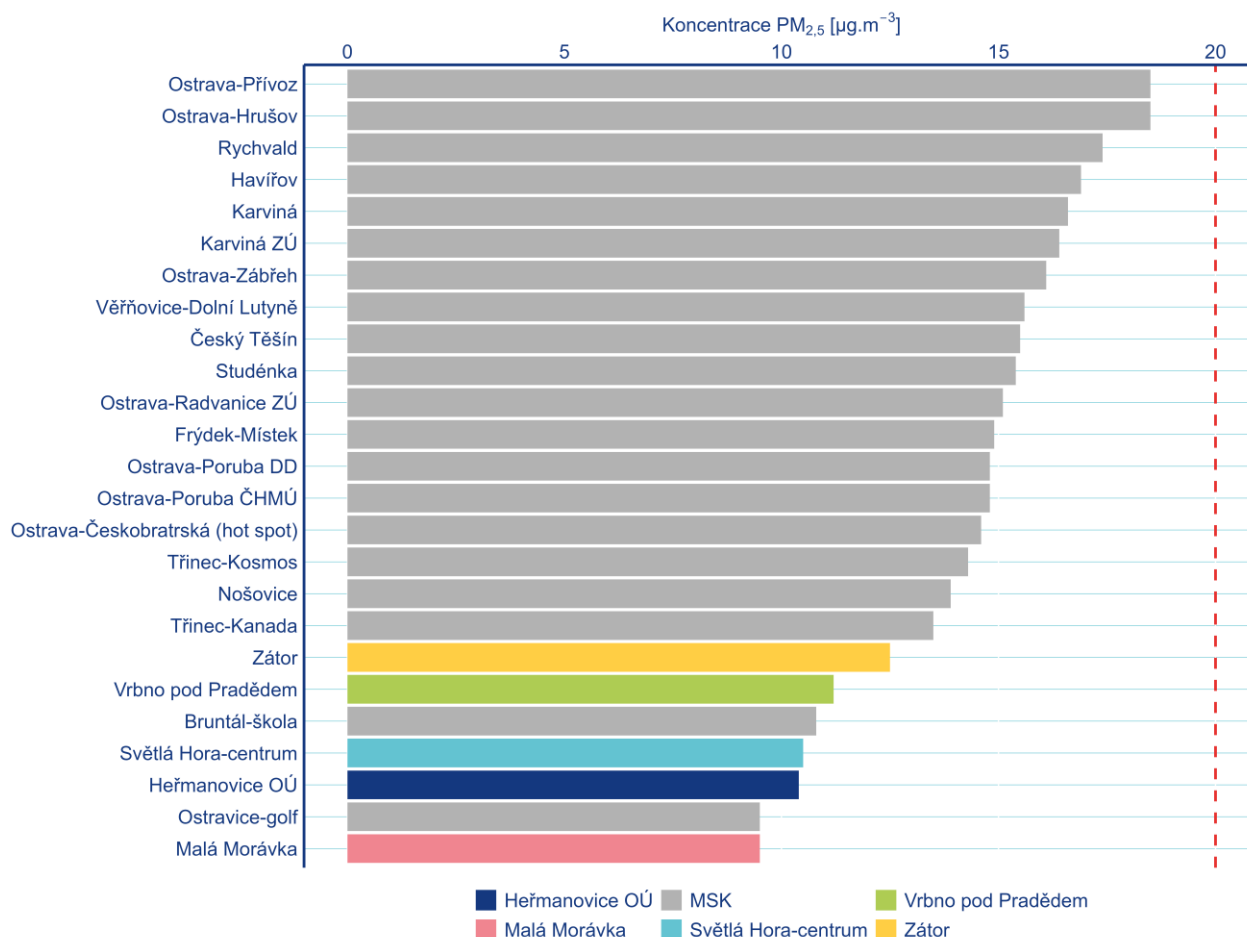
Veličina	Heřmanovice OÚ	Světlá Hora-centrum	Malá Morávka	Vrbno p. Pradědem	Zátor	Limit
PM _{2,5}	10,4	10,5	9,5	11,2	12,5	20
PM ₁₀	x	x	13,6	16,2	17,7	40

V porovnání průměrných ročních koncentrací PM₁₀ s lokalitami stacionárního imisního monitoringu v Moravskoslezském kraji patřily průměrné roční koncentrace na stanicích Malá Morávka, Vrbno p. P. a Zátor mezi nejnižší, na stanici Malá Morávka byly dokonce nejnižší z celého Moravskoslezského kraje. V kontextu porovnání s ostatními stanicemi v kraji byly nejvyšší průměrné roční koncentrace PM₁₀ dosaženy v Ostravě-Hrušově a Ostravě-Přívoze.

V porovnání průměrných ročních koncentrací PM_{2,5} s lokalitami stacionárního imisního monitoringu v Moravskoslezském kraji patřily průměrné roční koncentrace na hodnocených stanicích mezi nejnižší z celého kraje, na stanici Malá Morávka byly nejnižší ze všech lokalit. Nejvyšší roční koncentrace byly dosaženy, podobně jako u PM₁₀, na stanicích v Ostravě-Přívoze a Ostravě-Hrušově.



Obr. 2 Průměrné roční koncentrace PM_{10} na stanicích v Moravskoslezském kraji, 2024

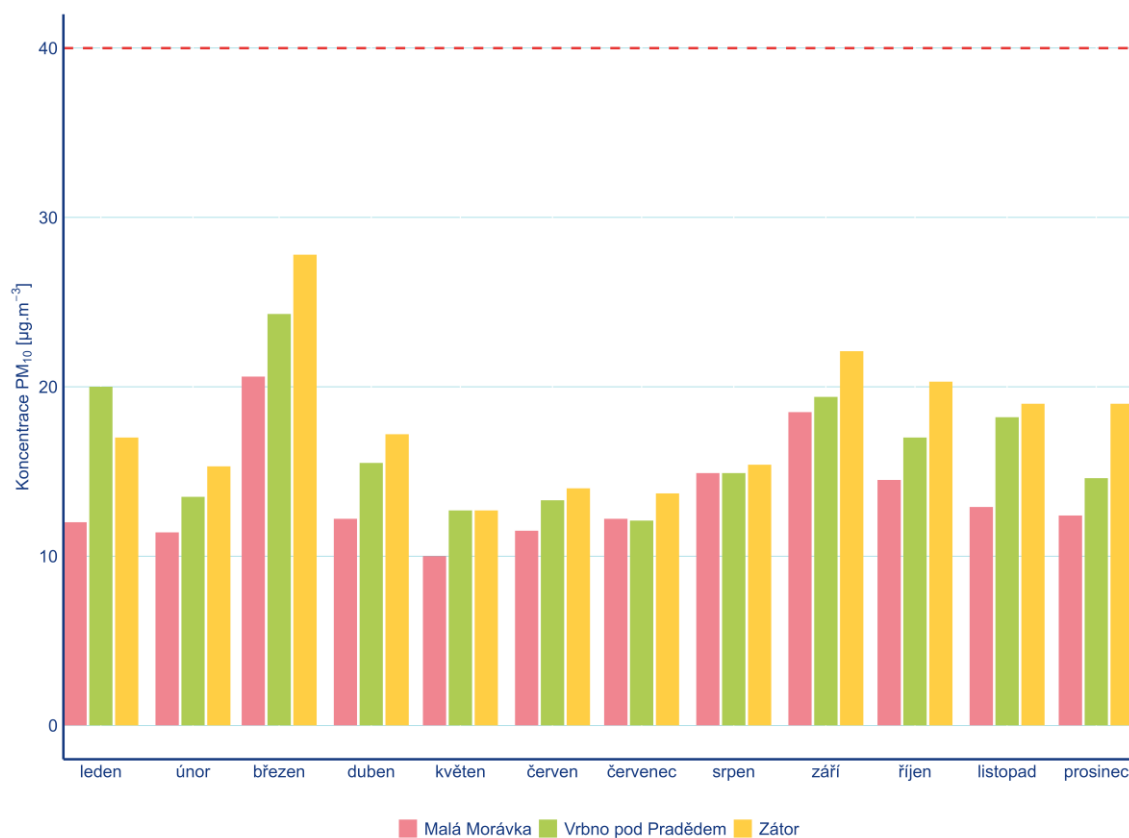


Obr. 3 Průměrné roční koncentrace PM_{2,5} na stanicích v Moravskoslezském kraji, 2024

Roční chod průměrných měsíčních koncentrací PM₁₀ a PM_{2,5} je znázorněn na Obr. 4 a Obr. 5. Obecně vyšší průměrné koncentrace suspendovaných částic byly dosahovány v chladných měsících roku, u PM_{2,5} byl roční chod měsíčních koncentrací (rozdíl mezi chladnou a teplou částí roku) výraznější než u PM₁₀. Nejvyšší měsíční koncentrace PM₁₀ byly dosaženy v březnu 2024. Maximální denní koncentrace PM₁₀ byly naměřeny 31. 3. a 1. 4. (Tab. 3), což odpovídá epizodě transportu saharského prachu na území České republiky v období velikonočních svátků.

Počet dnů s překročením hodnoty denního imisního limitu 50 µg.m⁻³ pro PM₁₀ (přičemž přípustný počet překročení je 35 v kalendářním roce) dle [ČR, 2012] se na všech zájmových stanicích pohyboval v jednotkách případů. K překročení denního imisního limitu tedy nedošlo (Obr. 6–8). Obrázky 6 až 8 byly vypracovány pouze pro stanice Malá Morávka, Vrbno p. Pradědem a Zátor, kde probíhalo měření PM₁₀ každý den roku 2024 (s výjimkou drobných technických výpadků).

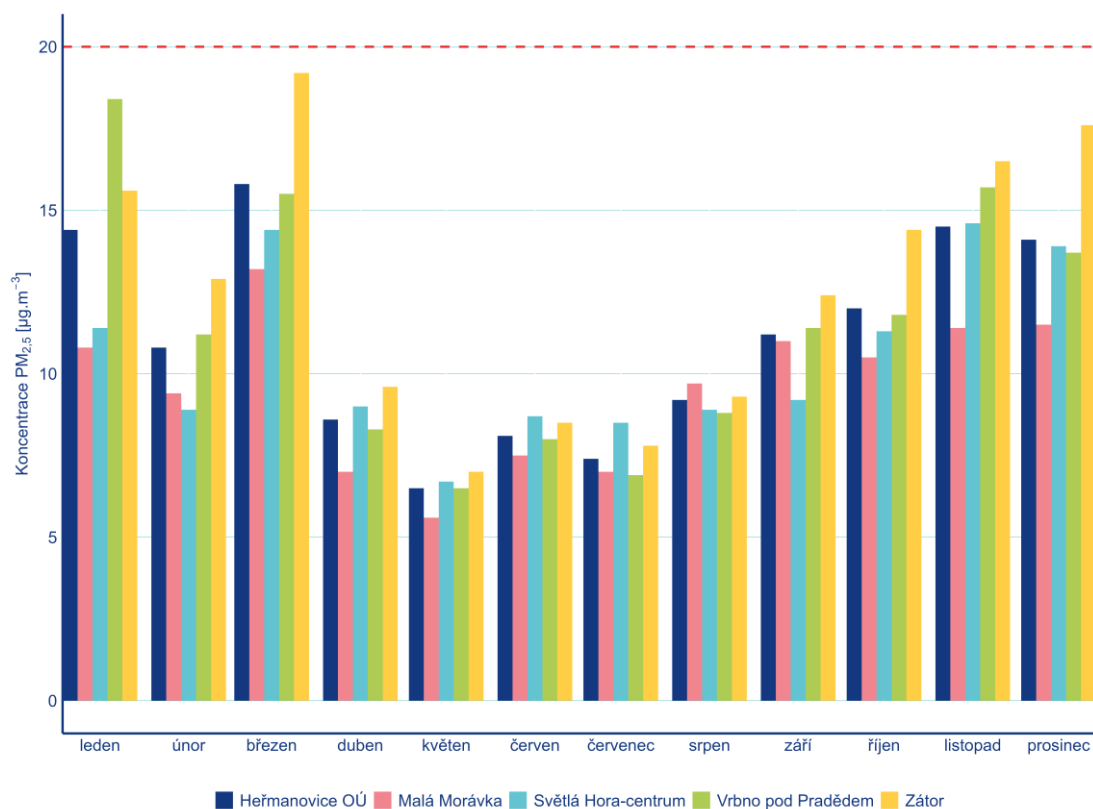
Statistické rozložení denních koncentrací PM₁₀ i PM_{2,5} na stanicích dokumentuje Obr. 9. Na Obr. 9 jsou znázorněny mediánové hodnoty ohraničené v horní části 3. kvantilem (vyjadřuje hodnotu, kterou překročila čtvrtina dnů v měřeném roce) a v dolní části 1. kvantilem (vyjadřuje hodnotu, kterou překročily tři čtvrtiny dnů v měřeném roce). Boxploty rovněž prezentují výskyt vysokých odlehlých hodnot z období přelomu března a dubna, tedy období masivního přenosu prachu ze Sahary na naše území.



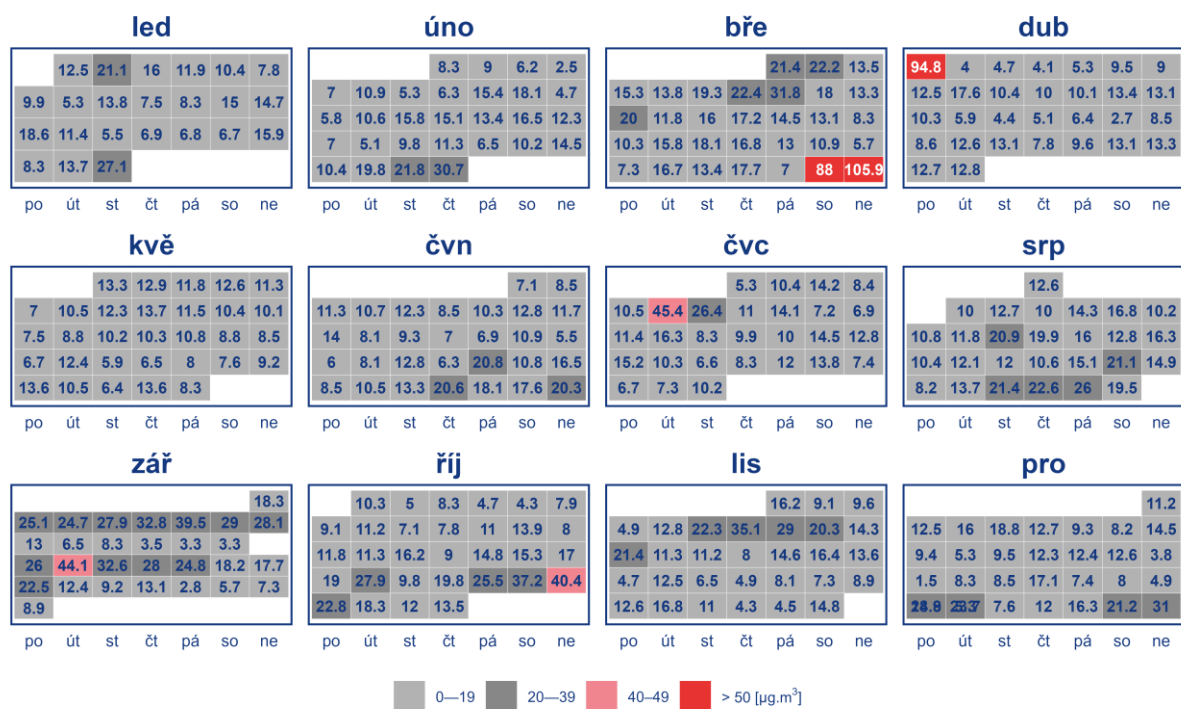
Obr. 4 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací PM_{10} , 2024

Tab. 3 Maximální denní koncentrace PM_{10} , 2024

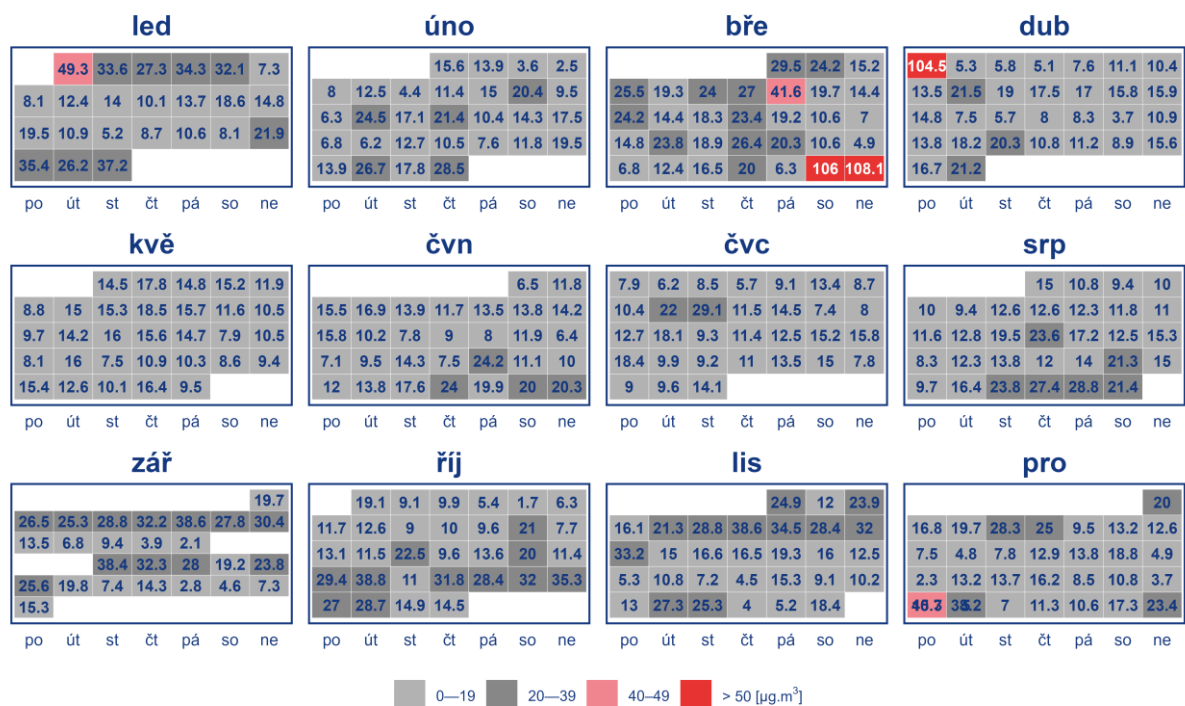
Stanice	Datum	Maximální koncentrace [$\mu\text{g.m}^{-3}$]
Malá Morávka	31. 3. 2024	105,9
Vrbno pod Pradědem	31. 3. 2024	108,1
Zátor	1. 4. 2024	114,0



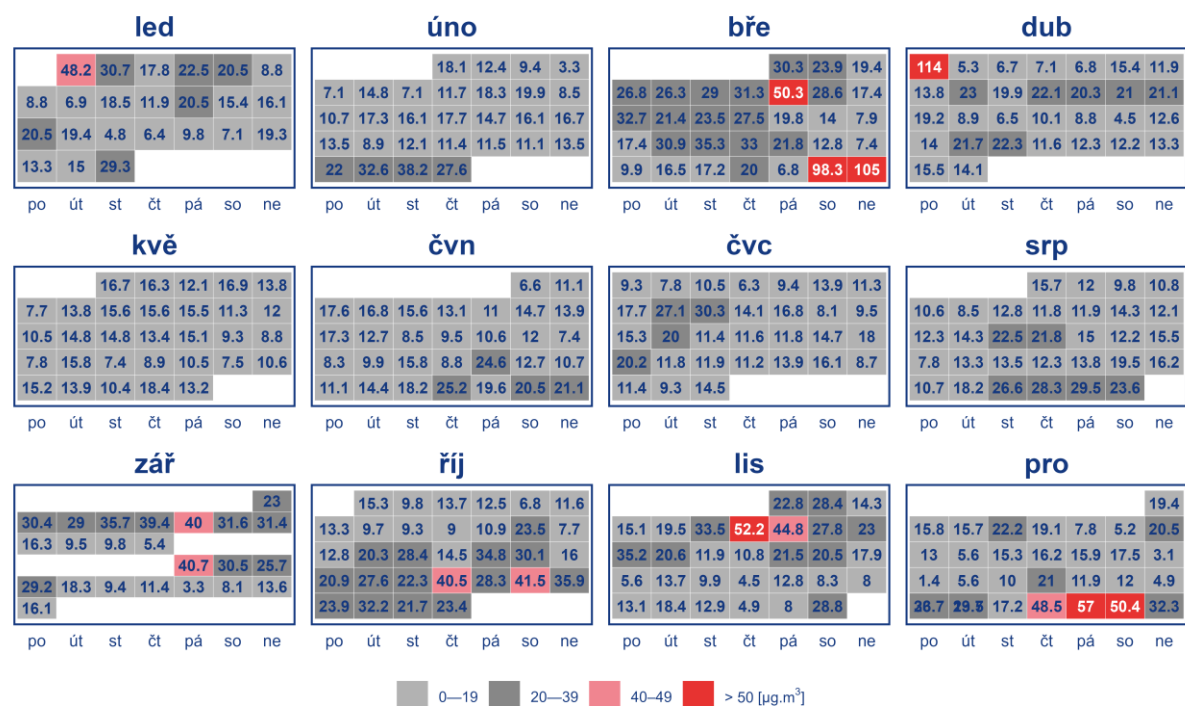
Obr. 5 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací $PM_{2,5}$, 2024



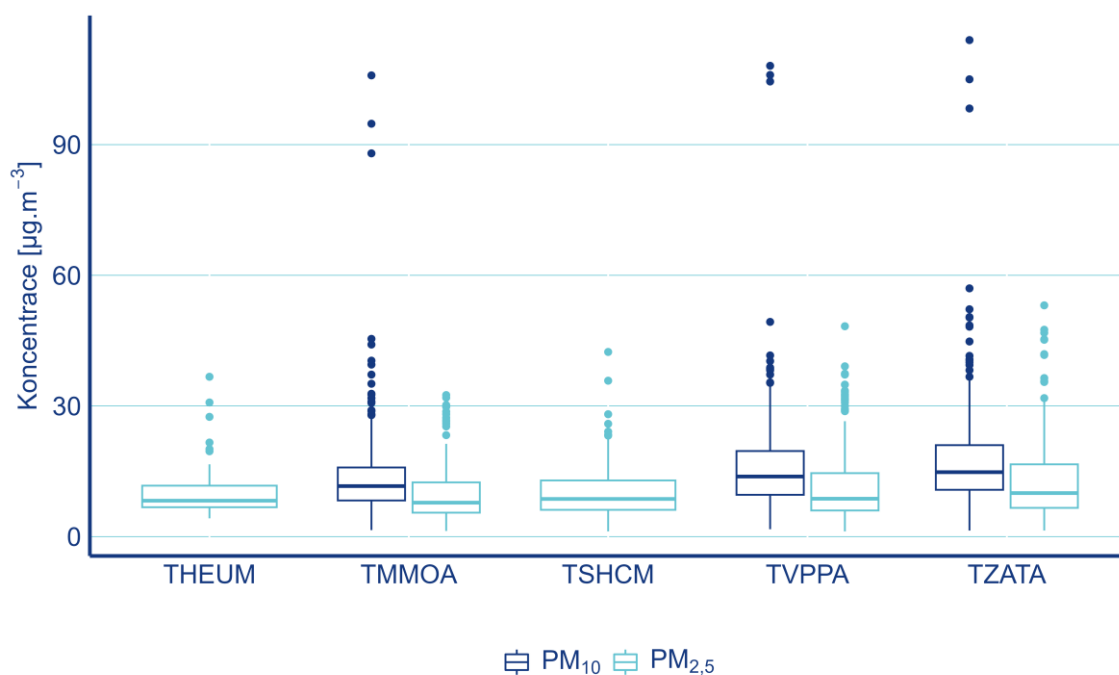
Obr. 6 Průměrné denní koncentrace PM_{10} na stanici Malá Morávka, 2024



Obr. 7 Průměrné denní koncentrace PM_{10} na stanici Vrbo pod Pradědem, 2024



Obr. 8 Průměrné denní koncentrace PM_{10} na stanici Zátor, 2024



Obr. 9 Statistické rozložení denních koncentrací PM na stanicích v roce 2024

4.2. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)

Hodnota ročního imisního limitu pro celkový obsah benzo[*a*]pyrenu (BaP) v částicích PM₁₀ pro ochranu lidského zdraví je 1 ng.m⁻³ [ČR, 2012]. V lokalitách Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor byl obsah BaP měřen v částicích PM₁₀, v lokalitě Heřmanovice OÚ a Světlá Hora-centrum v částicích PM_{2,5} (Tab. 1 v kap. 3.1). Dle zdrojů [Jakovljević a kol., 2018; Yingze a kol., 2022] se BaP ve větší míře váže na jemnější částice (PM_{2,5}). Z těchto důvodů nepředpokládáme vyšší obsah BaP v částicích PM₁₀ a zjištěné roční koncentrace BaP v částicích PM_{2,5} považujeme za vhodné porovnávat s platným ročním limitem. Na všech zájmových lokalitách (Heřmanovice OÚ, Světlá Hora-centrum, Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor) probíhalo měření PAH v intervalu každý 6. den (Tab. 1 v kap. 3.1). Všechny vypočtené průměrné koncentrace byly zařazeny do zpracování a porovnány s platným ročním limitem pro BaP.

Průměrné roční koncentrace BaP jsou prezentovány v Tab. 4. Roční imisní limit pro BaP byl v rámci Jesenické zájmové oblasti překročen na stanici Heřmanovice OÚ (1,2 ng.m⁻³) a v Zátoru (1,1 ng.m⁻³). Na stanicích Světlá Hora-centrum, Vrbno pod Pradědem a Horní Benešov byla roční průměrná koncentrace BaP 1,0 ng.m⁻³, v lokalitě Malá Morávka dosáhla polovinu hodnoty ročního limitu pro BaP (0,5 ng.m⁻³). V kontextu porovnání s jinými lokalitami v rámci Moravskoslezského kraje byla nejvyšší roční koncentrace BaP naměřena na stanici Věřňovice-Dolní Lutyně (3,1 ng.m⁻³), dále pak v Ostravě-Hrušově (2,1 ng.m⁻³) a Ostravě-Radvanicích ZÚ (2,0 ng.m⁻³); v lokalitě Horní Benešov na Bruntálsku dosáhla 1,0 ng.m⁻³. Nejnižší roční koncentrace BaP byla naměřena v lokalitě Bílý Kříž (0,2 ng.m⁻³).

Při porovnání s rokem 2011, kdy v Heřmanovicích probíhalo měření ČHMÚ dotované Moravskoslezským krajem poprvé, klesla průměrná roční koncentrace v roce 2024 o 43 % (z 2,1

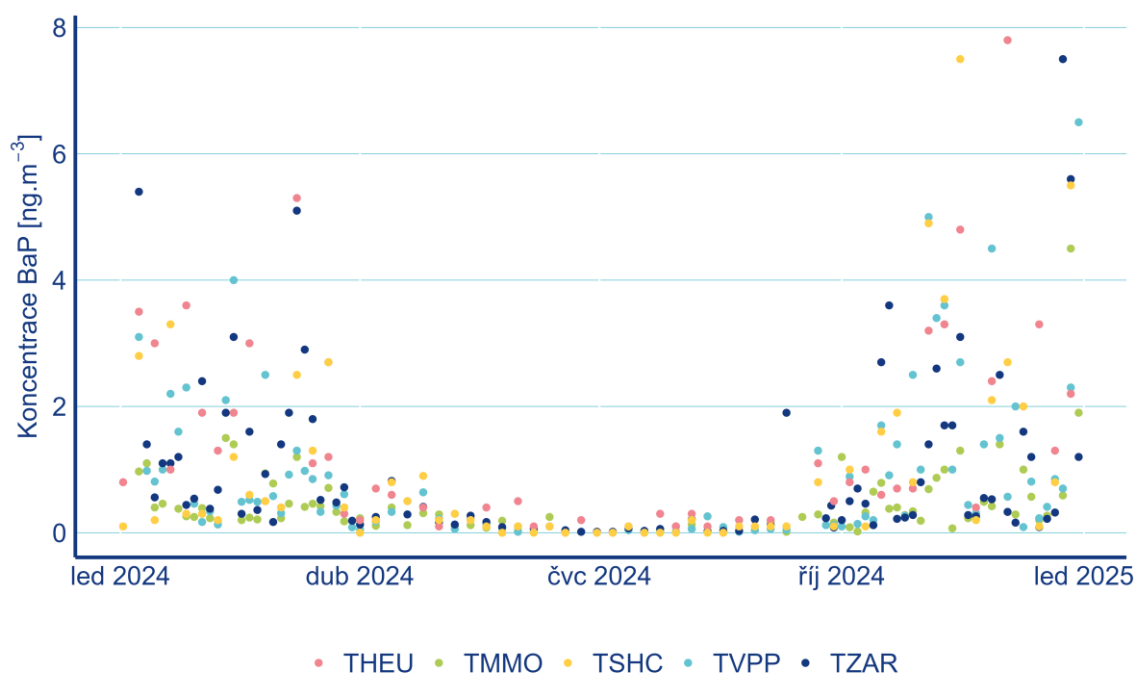
ng.m⁻³ v roce 2011 na 1,2 ng.m⁻³ v roce 2024). V kontextu porovnání se všemi stanicemi v kraji, kde probíhalo měření BaP ČHMÚ v roce 2011 i v roce 2024 (Ostrava-Poruba ČHMÚ, Český Těšín, Ostrava-Přívoz a Heřmanovice), došlo ke snížení ročního průměru v roce 2024 oproti roku 2011 o 67 %.

Rozložení denních koncentrací BaP v zájmových lokalitách je znázorněno na Obr. 10. Zde je patrný výskyt nejvyšších denních koncentrací BaP v chladném období roku, naopak v teplých měsících jsou koncentrace BaP nejnižší.

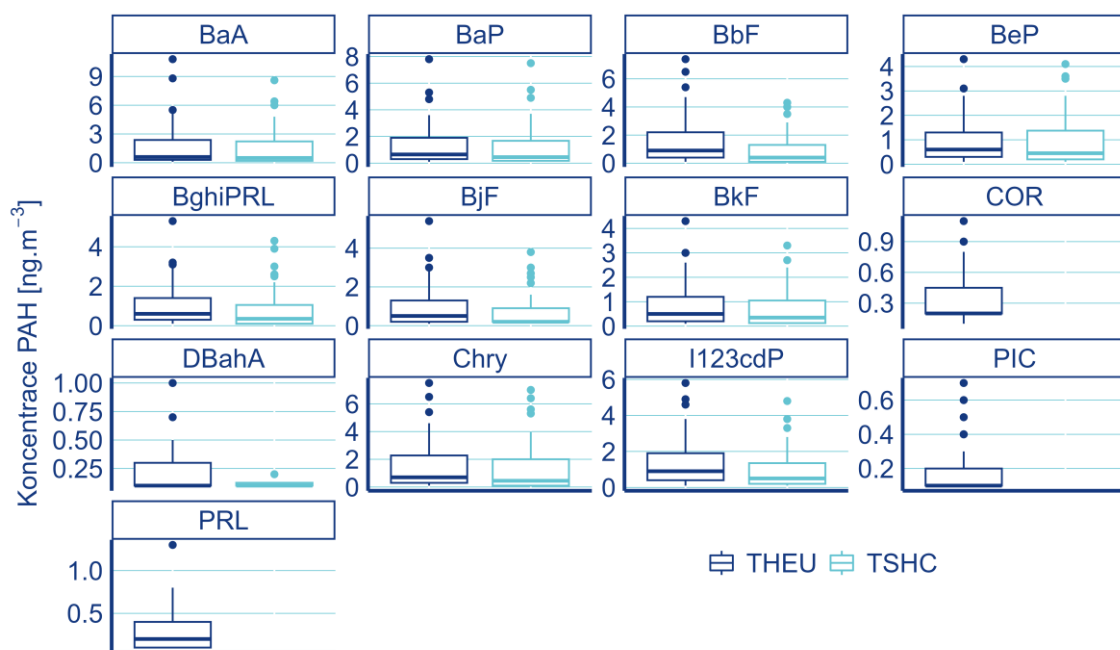
Statistické rozložení denních koncentrací (se znázorněním mediánových a odlehklých hodnot) jednotlivých sledovaných PAH na stanicích Heřmanovice OÚ a Světlá Hora-centrum je znázorněno na Obr. 11.

Tab. 4 Průměrná roční koncentrace BaP, 2024

2024	Průměrná roční koncentrace BaP [ng.m ⁻³]
Věřňovice-Dolní Lutyně	3.1
Ostrava-Hrušov	2.1
Ostrava-Radvanice ZÚ	2.0
Český Těšín	1.6
Ostrava-Přívoz	1.6
Karviná ZÚ	1.4
Studénka	1.3
Ostrava-Radvanice OZO	1.3
Heřmanovice OÚ	1.2
Opava-Kateřinky	1.1
Zátor	1.1
Horní Benešov-škola	1.0
Ostrava-Poruba ČHMÚ	1.0
Světlá Hora-centrum	1.0
Vrbno pod Pradědem	1.0
Ostrava-Mariánské Hory	0.9
Ostrava-Poruba DD	0.7
Malá Morávka	0.5
Bílý Kříž	0.2



Obr. 10 Chod průměrných denních koncentrací BaP v průběhu roku 2024 v zájmových lokalitách

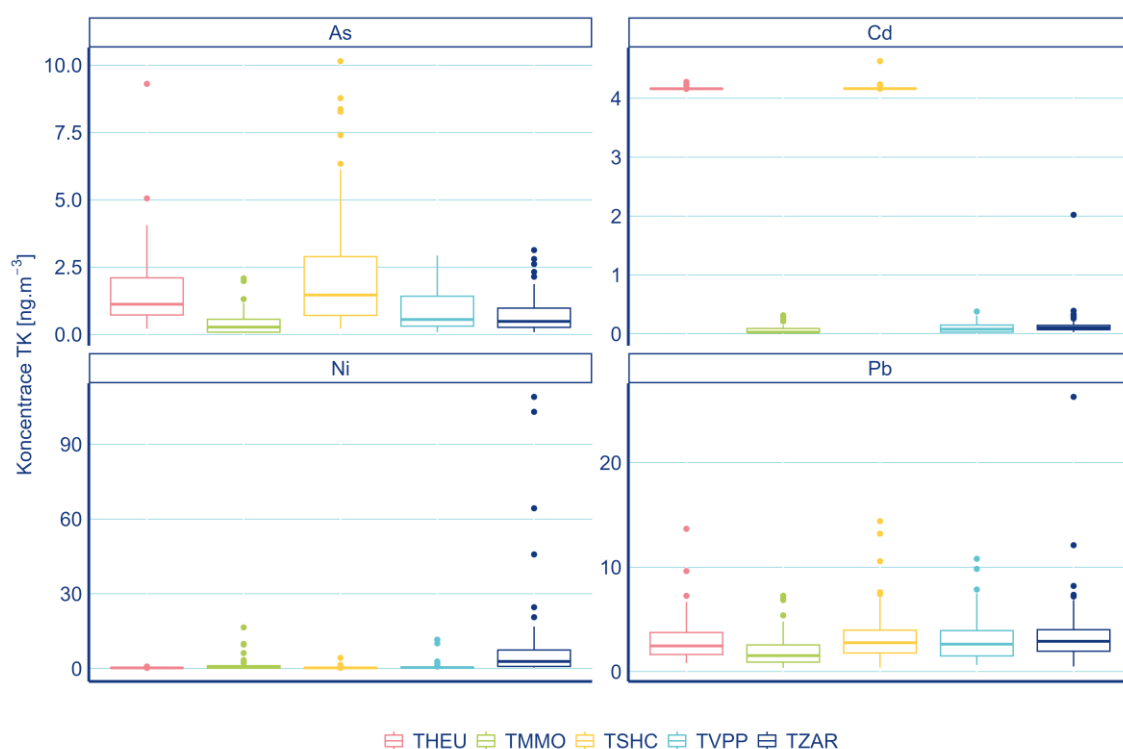


Obr. 11 Statistické rozložení denních koncentrací PAH na stanicích Heřmanovice OÚ (THEU) a Světlá Hora-centrum (TSHC), 2024

4.3. Těžké kovy (TK)

Měření těžkých kovů probíhalo na všech zájmových lokalitách. Stejně jako u BaP byl v lokalitách Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor obsah TK měřen v částicích PM₁₀, v lokalitě Heřmanovice OÚ a Světlá Hora-centrum v částicích PM_{2,5}. V lokalitě Světlá Hora-centrum probíhalo měření každý 3. den, na ostatních stanicích každý 6. den (Tab. 1 v kap. 3.1). Rozdílné byly rovněž analytické metody měření. Vzorky ze stanic Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor byly analyzovány referenční metodou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS), vzorky ze stanic Heřmanovice OÚ a Světlá Hora-centrum byly analyzovány pomocí rentgenové fluorescence (ED XRF). Metoda ED XRF je plně vyhovující pro identifikaci zdrojů znečišťování pomocí matematického receptorového modelu PMF, absolutní úroveň koncentrace je ale touto metodou stanovena s menší přesností. Slouží zejména pro zjištění vzájemných poměrů a časových průběhů koncentrací jednotlivých chemických prvků.

S ohledem na výše popsané nejistoty metody ED XRF nelze porovnávat naměřené absolutní hodnoty těžkých kovů mezi stanicemi ČHMÚ a ZÚ se sídlem v Ostravě (Obr. 12). Značný rozdíl je patrný u koncentrací kadmia, kde jsou výsledky ED XRF nepoužitelné z důvodu vysoké meze detekce (4,2 ng·m⁻³). V předkládané zprávě jsou tedy tyto hodnoty brány jako orientační a nejsou použity při formulaci závěrů. Přes výše uvedené nejistoty však nepředpokládáme vysoké roční průměry těžkých kovů ani překročení některého z platných limitů [ČR, 2012] na žádné ze zájmových lokalit.

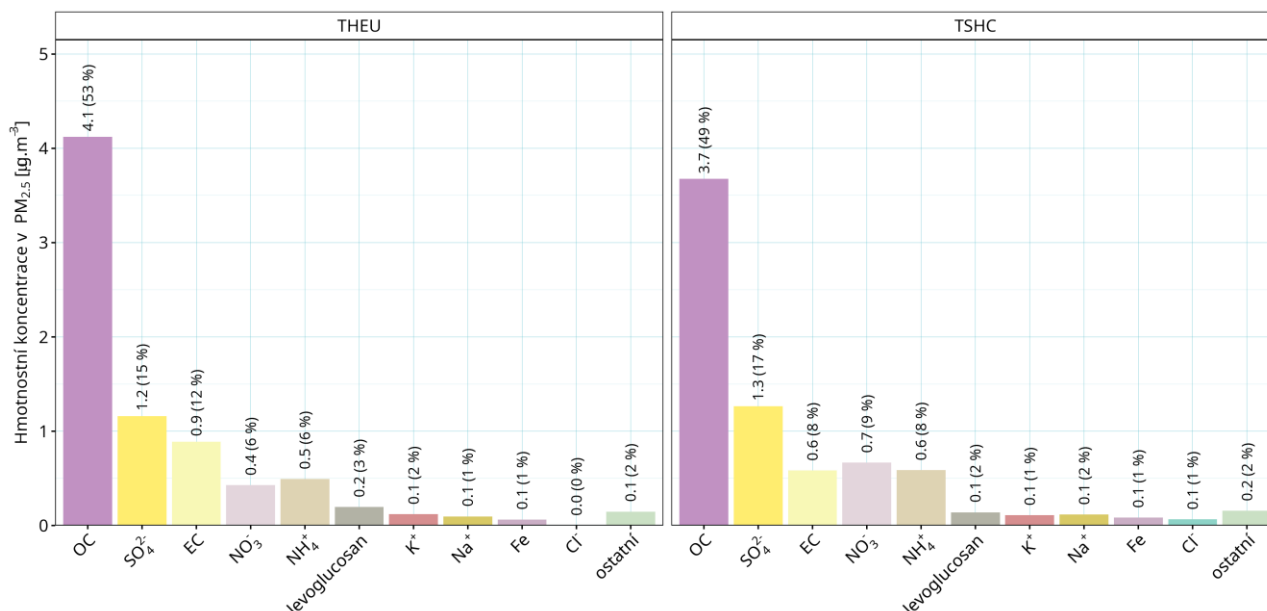


Obr. 12 Statistické rozložení denních koncentrací TK v zájmových lokalitách, 2024

5. Příčiny znečištění

5.1. Hlavní složky aerosolu PM_{2,5}

V lokalitách Světlá Hora – centrum (TSHC) a Heřmanovice – OÚ (THEU) byly pro identifikaci příčin znečištění provedeny širokospektrální analýzy, které umožnily určit chemické složení suspendovaných částic PM_{2,5} (viz Obr. 13).



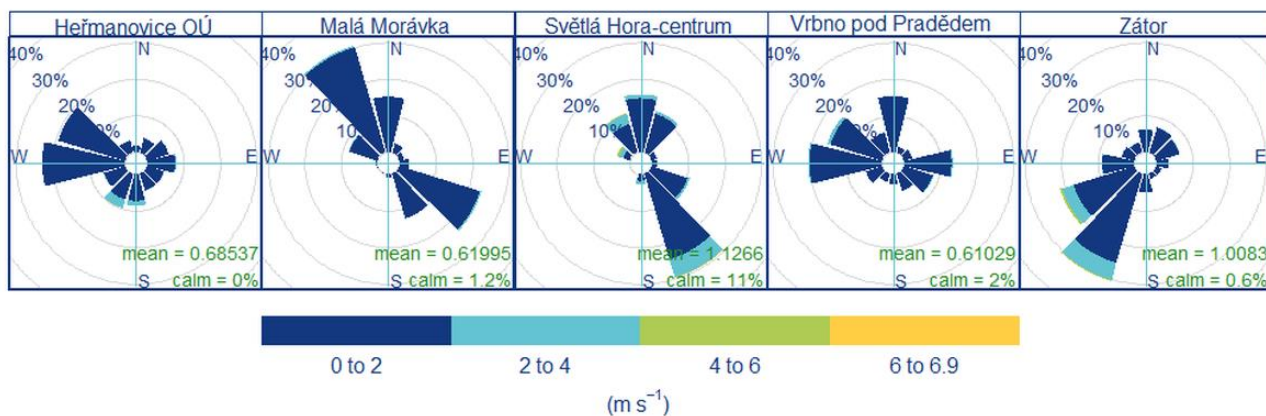
Obr. 13 Hlavní složky PM_{2,5}

Podobně jako je obvyklé v jiných lokalitách ČR, byl aerosol PM_{2,5} tvořen především organickým uhlíkem a sírany. V obou lokalitách měl v PM_{2,5} v kontextu České republiky velmi vysoký podíl organický uhlík, především v důsledku vytápění domácností pevnými palivy (viz dále). Tyto složky spolu tvořily přibližně dvě třetiny PM_{2,5}. Významné byly podobně jako jinde v ČR také elementární uhlík, dusičnany a amonné ionty. Z prvků přesáhly podíl 1 % hmoty aerosolu sodík, draslík, železo a chlor, z organických sloučenin pouze levoglukosan.

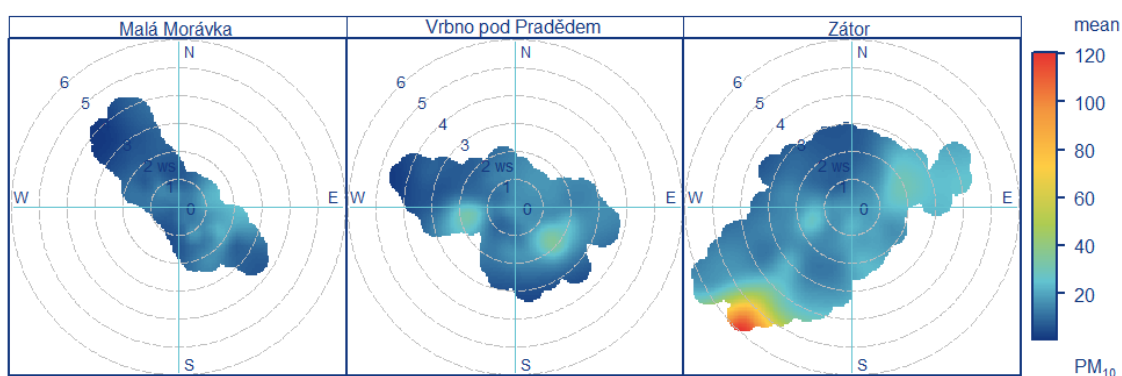
5.2. Imisně-meteorologické hodnocení

Na Obr. 14 jsou prezentovány větrné růžice pro všechny zájmové stanice. Větrné růžice dávají představu o četnosti směru a rychlosti proudění, které je reprezentativní pro danou lokalitu. Polární grafy na Obr. 15 znázorňují průměrné koncentrace PM₁₀ při určitém směru a rychlosti větru. Oproti tomu grafy na Obr. 16 prezentují procentuální podíl jednotlivých směrů větru na výsledné koncentraci. Kombinace hodnocení různých druhů koncentračních a větrných růžic pomáhá při posuzování možných příčin znečištění ovzduší v dané lokalitě. Koncentrační růžice mohly být zpracovány pouze pro lokality Malá Morávka, Vrbno p. Pradědem a Zátor, jelikož zde probíhalo měření koncentrací PM₁₀ v intervalu 1 hodina stejně jako měření směru a rychlosti větru.

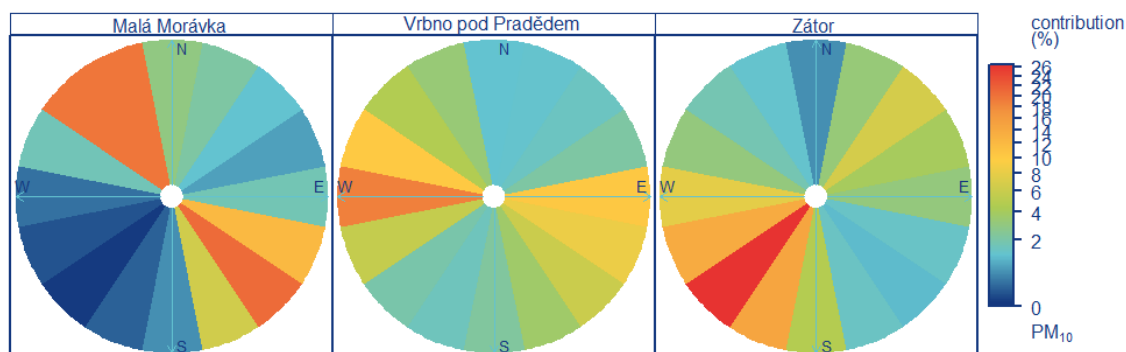
V lokalitě Malá Morávka pocházel nejvyšší podíl znečištění ze SZ a JV sektoru. Ve Vrbně p. Pradědem ze Z a V směrů při rychlostech větru 1,5–2,0 m.s⁻¹. V Zátoru přicházelo znečištění ke stanici nejčastěji z JZ sektoru při vysokých rychlostech větru 5–6 m.s⁻¹.



Obr. 14 Větrné růžice pro lokality Heřmanovice OÚ, Světlá Hora-centrum, Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor, rok 2024



Obr. 15 Polární grafy koncentračních příspěvků PM_{10} v roce 2024, Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor (hodnoty v $\mu g \cdot m^{-3}$)



Obr. 16 Grafy procentuálních příspěvků koncentrací PM_{10} v roce 2024, Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor (hodnoty v %)

Pro potřeby hodnocení 24hodinových koncentrací $PM_{2,5}$ a BaP v závislosti na směru větru byla použita metodika stanovení denního typu směru proudění (DTP) popsaná v kap. 3.3, včetně nejistot použití. Při formulaci závěrů v souvislostech hodnocení koncentrací $PM_{2,5}$ a BaP na DTP je nejvýraznější nejistotou interval měření každý 6. den (případně každý 3. den v případě Světlé Hory-centrum a škodliviny $PM_{2,5}$), viz Tab. 1 v Kap. 3.1.

Na Obr. 17 jsou znázorněny průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ pro jednotlivé vypočtené DTP. Z obrázků je patrné, že všechny DTP pro lokality nejsou dostupné, nemohly být spočítány. Důvodem jsou rozdílné podmínky v lokalitách zvláště s ohledem na rozdílnou orografii, zástavbu a samozřejmě meteorologické podmínky. Jednoznačně nejvyšší průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ v lokalitě Heřmanovice OÚ byly zaznamenány při denním typu proudění z V, dále pak ze SZ, J až JZ a při bezvětrí. Ve Světlé Hoře byla nejvyšší průměrná koncentrace $PM_{2,5}$ při DTP ze SV, dále ze SZ až S a bezvětrí.

Na Obr. 18 jsou zobrazeny průměrné koncentrace BaP při jednotlivých DTP ve všech lokalitách. Nejvyšší průměrná koncentrace BaP v lokalitě Heřmanovice OÚ při DTP z V, Z a SZ až S, v lokalitě Malá Morávka z V až JV, v lokalitě Světlá Hora-centrum při DTP ze SZ, ve Vrbnu pod Pradědem ze Z a v Zátoru ze S až SV a SZ až S.

Podrobnější informace o závislosti koncentrací jednotlivých škodlivin na DTP poskytují Tabulky v Příloze 7–8. V tabulkách je prezentováno, jaká byla četnost proudění z jednotlivých směrů (a četnost výskytu DTP: proměnlivý a bezvětrí) ve dnech s měřením dané znečišťující látky (% wd) a kolika procenty se koncentrace dané znečišťující látky při proudění z konkrétního směru podílely na celkové průměrné roční koncentraci (% $PM_{2,5}$ a % BaP).



Obr. 17 Průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ v roce 2024, Heřmanovice OÚ, Světlá Hora-centrum



Obr. 18 Průměrné koncentrace BaP v roce 2024, Heřmanovice OÚ, Světlá Hora-centrum

5.3. Výsledky modelu PMF a jejich následné zpracování

Naměřené koncentrace sledovaných prvků a sloučenin v lokalitách Světlá Hora – centrum (TSHC) a Heřmanovice – OÚ (THEU) byly použity jako vstup do matematického modelu PMF. Výsledkem modelu jsou faktory, které zde ovlivňovaly kvalitu ovzduší, a podíl těchto faktorů na celkové koncentraci $PM_{2.5}$.

Koncentrační růžice a polární grafy vypracované na základě měření směru větru v hodnocených dvou lokalitách jsou obsahem příloh 3 a 4. Pro lokalitu Světlá Hora – centrum byla provedena klastrová analýza zpětných trajektorií vypočtených modelem HYSPLIT. V lokalitě Světlá Hora – centrum bylo k dispozici více naměřených hodnot než v lokalitě Heřmanovicích OÚ a lze předpokládat, že zdrojové oblasti budou u těchto dálkově přenášených typů znečištění v obou lokalitách v zásadě stejné. Grafické zpracování klastrové analýzy zpětných trajektorií je obsahem přílohy 5. Mapy v příloze 6 znázorňují zdrojové oblasti dálkově přenášených aerosolů identifikované metodou CWT a ukazují, jak vysoké koncentrace daného faktoru se vyskytovaly v hodnocených dvou lokalitách, pokud transport znečištění směřoval z příslušného místa na mapě.

5.3.1 Faktory kvality ovzduší

Modelem PMF bylo identifikováno 7 faktorů, které ovlivňovaly koncentraci $PM_{2,5}$, a jsou popsány v následujícím textu. Grafické přílohy, ze kterých lze vyčíst níže popsané skutečnosti, jsou do zprávy zařazeny jako Přílohy 1 až 6.

DOPRAVA

Celoroční faktor složený z mědi, stroncia, železa, manganu, sodíku a stopami dalších kovů, který měl mnohonásobně vyšší vliv ve Světlé Hoře oproti Heřmanovicím, kde byl jeho imisní příspěvek zanedbatelně nízký. Maxima se vyskytovala v jarním a podzimním období. Podíl těchto částic na celkové průměrné roční koncentraci $PM_{2,5}$ byl nízký, dle modelu okolo 5 % ve Světlé Hoře a méně než 1 % v Heřmanovicích. Jedná se pravděpodobně o částice z otěrů brzdového obložení. Polární grafy a koncentrační růžice ukazují ve Světlé Hoře na původ jihojihozápadním směrem od měřicího místa, souhlasně se silnicí II/452. Může jít nejen o lokální zdroje, ale také o přenos dopravních emisí z Bruntálu. V Heřmanovicích lze původ tohoto znečištění s ohledem na jeho velmi nízké příspěvky hodnotit jen s vysokou nejistotou. Je zde indikován původ ze západních a jižních směrů, tedy souhlasně s orientací údolí a silnice II/453 v tomto místě.

NH₄NO₃

Faktor je složen dominantně z dusičnanu amonného, který je doprovázen arsenem, zinkem a olovem, což svědčí o souvislosti tohoto znečištění s vytápěním domácností. Jde o výhradně zimní typ znečištění s výrazně vyššími hodnotami ve Světlé Hoře oproti Heřmanovicím, a to zejména v závěru roku. Ve Světlé Hoře tvořil tento typ znečištění podle modelu cca 16 % $PM_{2,5}$, v Heřmanovicích přibližně desetinu. Jedná se o sekundární částice vznikající v ovzduší z plynných emisí, především z vytápění domácností pevnými palivy. Vzhledem k nízké intenzitě dopravy předpokládáme, že její vliv na formaci dusičnanu amonného byl v hodnocených lokalitách zanedbatelný.

Polární grafy a koncentrační růžice indikují ve Světlé Hoře původ tohoto znečištění jednak lokální od severovýchodu, ojediněle dálkový od severozápadu. Podle klastrové analýzy zpětných trajektorií vzduchových mas modelem HYSPLIT bylo zjištěno, že vysoké koncentrace tohoto typu znečištění (90. percentil, tedy 10 % nejvyšších hodnot) se přibližně ve dvou třetinách až třech čtvrtinách případů vyskytly při proudění z České republiky a přibližně ve čtvrtině až třetině případů při proudění z Polska. Ačkoliv hromadné zpracování zpětných trajektorií modelem HYSPLIT funkcí CWT (Příloha 6) naznačuje původ znečištění v oblasti pobaltských republik a na Balkáně, je potřeba zohlednit skutečnost, že rozlišení tohoto modelu neumožňuje identifikovat blízké zdroje. Regionální zdrojová oblast spojená s vytápěním domácností proto není v této příloze dobře patrná. Přesto mapa v Příloze 6 na rozdíl od zdrojových oblastí ostatních faktorů vyhodnocených metodou CWT ukazuje plošné pozadové koncentrace všemi směry od hodnocených lokalit. Původ nejvyšších koncentrací NH_4NO_3 v Pobaltí není zřejmý. Může se jednat o důsledek konkrétních meteorologických podmínek v roce 2024, které mohly podporovat přenos zimního aerosolu právě z této oblasti (intenzivní zemědělské emise $NH_3 + NO_x$ z řady zdrojů na migrační cestě do ČR). Pro detailnější závěry by bylo potřeba provádět monitoring více let.

NH₄SO₄

Chemicky se jedná dominantně o sekundárně vzniklý síran amonný s doprovodem selenu, arsenu, olova a vysokoteplotních frakcí elementárního uhlíku. Celoročně se vyskytující znečištění s mírně vyššími hodnotami v teplé polovině roku. Časový průběh koncentrací a podobná velikost imisního příspěvku tohoto faktoru v obou lokalitách svědčí o vzdáleném původu tohoto znečištění.

Průměrný roční podíl tohoto znečištění dosáhl v obou lokalitách přibližně čtvrtiny koncentrace $PM_{2,5}$. Na základě chemické skladby a časového chodu koncentrací lze tento faktor interpretovat jako znečištění převážně z průmyslové uhelné energetiky a dalších průmyslových zdrojů spalujících fosilní paliva. S ohledem na mírně zvýšené hodnoty v teplé části roku nelze vyloučit částečný biogenní mořský původ (konverze dimethylsulfidu produkovaného mořským planktonem).

Polární grafy a koncentrační růžice naznačují původ severně, východně a jižně od Světlé hory a východně od Heřmanovic. Klastrová analýza zpětných trajektorií modelu HYSPLIT ukázala na komplexní zdroje tohoto typu znečištění. Výhradně z Polska pocházelo pouze mírně více než 10 %. Asi třetina pocházela ze směru od východu až severovýchodu. Více než třetina připadala na přenos od jihu a jihovýchodu (Slovensko, Maďarsko, Balkánský poloostrov). Západní směry (Čechy a černý trojúhelník v blízkosti trojmezí ČR – Polsko – Německo) působil necelou pětinu vysokých koncentrací. Hromadné zpracování zpětných trajektorií modelu HYSPLIT funkcí CWT ukazuje na hlavní původ síranového aerosolu severovýchodně a jihovýchodně od České republiky. Jde pravděpodobně o důsledek vyšších emisí ze zastaralých uhelných energetických zdrojů v postsovětských zemích (Bělorusko, Ukrajina) a na Balkáně. Je pravděpodobné, že Ostravsko a polské Slezsko sice ke koncentracím síranů přispěly, ale hlavní severovýchodní zdroj leží dále na východ. Méně významné koncentrace se vyskytovaly při přenosu z jiných částí Polska a nejnižší při přenosu ze západní a jihozápadní Evropy.

PŮDA+SOA

Z prvků jsou v tomto typu znečištění silně zastoupeny křemík, železo, mangan, vápník, hořčík, sodík, draslík, titan a baryum. Kromě těchto prvků, typických pro částice z půdy a zpevněných ploch vířené větrem, jsou ale v tomto identifikovaném faktoru silně zastoupeny uhlíkaté částice, které tvoří většinu hmoty tohoto typu znečištění. Jedná se zejména o organický uhlík a vysokoteplotní frakce elementárního uhlíku (ze všech faktorů relativně nejvyšší podíl EC4). Částice vyskytující se nejvíce v létě a na podzim s minimem v zimě. Faktor se na průměrné roční koncentraci $PM_{2,5}$ podílel přibližně čtvrtinou. Výsledky identifikace zdrojů získaných v jiných lokalitách ČR ukazují, že tato skladba a časový chod uhlíkatých částic jsou typické pro letní sekundární organický aerosol (SOA). Ten v případě Světlé Hory a Heřmanovic nebyl jako samostatný faktor modelem identifikován, pravděpodobně v důsledku poměrně nízkého počtu odebraných vzorků a shodného časového chodu v průběhu roku s vířenou minerální prašností (maxima v létě, v suchém slunečném období a téměř žádný vliv v zimě, kdy je nedostatek slunečního svitu nebo sněhová pokrývka nebo vlhká a zmrzlá půda). Tento faktor tedy reprezentuje kombinovaný vliv prašnosti z okolních polí, místních zpevněných ploch v obcích a sekundárních organických sloučenin vznikajících při slunečném počasí z biogenních prekurzorů v ovzduší. To je důvodem, proč tento typ znečištění tvořil v obou lokalitách významný podíl. V jiných venkovských lokalitách ČR byl identifikován podíl minerální prašnosti obvykle okolo 10 až 15 % a podíl SOA okolo 10 %, což v součtu zhruba odpovídá příspěvku zde identifikovaného faktoru PŮDA+SOA.

SAHARA

Chemicky se jednalo výhradně o prvky, typické pro zemskou kůru. Šlo o křemík, hliník, železo, vápník, titan, baryum, přičemž je pozoruhodné, že absolutní koncentrace prvních čtyř jmenovaných prvků odpovídají pořadí podle jejich průměrného zastoupení v zemské kůře. Časový chod příspěvku tohoto typu znečištění byl silně specifický. Vyznačoval se v obou hodnocených lokalitách podobnou, extrémně vysokou hodnotou na přelomu března a dubna 2024, zatímco ve zbytku roku se koncentrace blížily nule. Koncentrační růžice a polární grafy ukazují shodně v obou lokalitách přenos z jižních směrů. Jak potvrzují reanalýzy evropského programu Copernicus, na přelomu března a dubna zasáhla

Českou republiku silná epizoda přenosu minerálního aerosolu z oblasti Sahary. Faktor reprezentuje dominantně saharský prach s podílem na průměrné roční koncentraci $PM_{2,5}$ okolo 5 %. Tomu odpovídá i zvolený název faktoru.

Podle klastrové analýzy zpětných trajektorií modelu HYSPLIT byla ale pouze jedna ze tří epizod dálkového přenosu půdních částic v měřeném roce způsobena přenosem ze Sahary. Dva další případy nastaly v měřeném roce v létě při proudění z východních směrů, ve srovnání s extrémně intenzivní jarní saharskou epizodou měly ale nevýznamný imisní dopad. To dokládá i výsledek funkce CWT, který ukazuje dominantní zdrojovou oblast na jižním a méně významně na jihozápadním okraji mapové oblasti. Pravděpodobným zdrojem tohoto aerosolu byla proto resuspenze v oblasti Sahary.

SŮL

Chemicky byly tyto částice složeny v relativním zastoupení dominantně z chloru, sodíku a hořčíku. V absolutních hodnotách příspěvku bylo významné také zastoupení síranů, amonných iontů a organického uhlíku. Významný vliv tohoto typu znečištění se projevoval v obou lokalitách pouze v chladné části roku. Část koncentračních špiček se vyskytla na obou lokalitách současně, zatímco část pouze ve Světlé Hoře, kde byly koncentrace faktoru celkově vyšší oproti Heřmanovicím. Z identifikovaných faktorů byl tento nejméně významný, s podílem ve Světlé Hoře a Heřmanovicích okolo 3 %, resp. 2 % průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$. Časový chod i chemické složení jsou typické pro částice mořské soli. Porovnání obou lokalit ale ukazuje, že ve Světlé Hoře se kromě dálkového přenosu marinního aerosolu významně projevovala také emise posypové soli z povrchu silnic a dalších zpevněných ploch v obci větrem a projíždějícími vozidly (v absolutní hodnotě dvojnásobný imisní příspěvek oproti Heřmanovicím).

Klastrová analýza zpětných trajektorií při vysokých koncentracích tohoto faktoru naznačuje polohu dominantní zdrojové oblasti západně od České republiky. Přenos z tohoto směru se na vysokých koncentracích podílel přibližně dvěma třetinami. Asi čtvrtina nejvyšších imisních příspěvků tohoto typu znečištění se vyskytla při přenosu od jihu. Tomu odpovídá také výsledek funkce CWT, který naznačuje zdrojovou oblast jednak v oblasti Francie (pobřeží Atlantského oceánu), jednak v jižním Řecku (Středozemní moře).

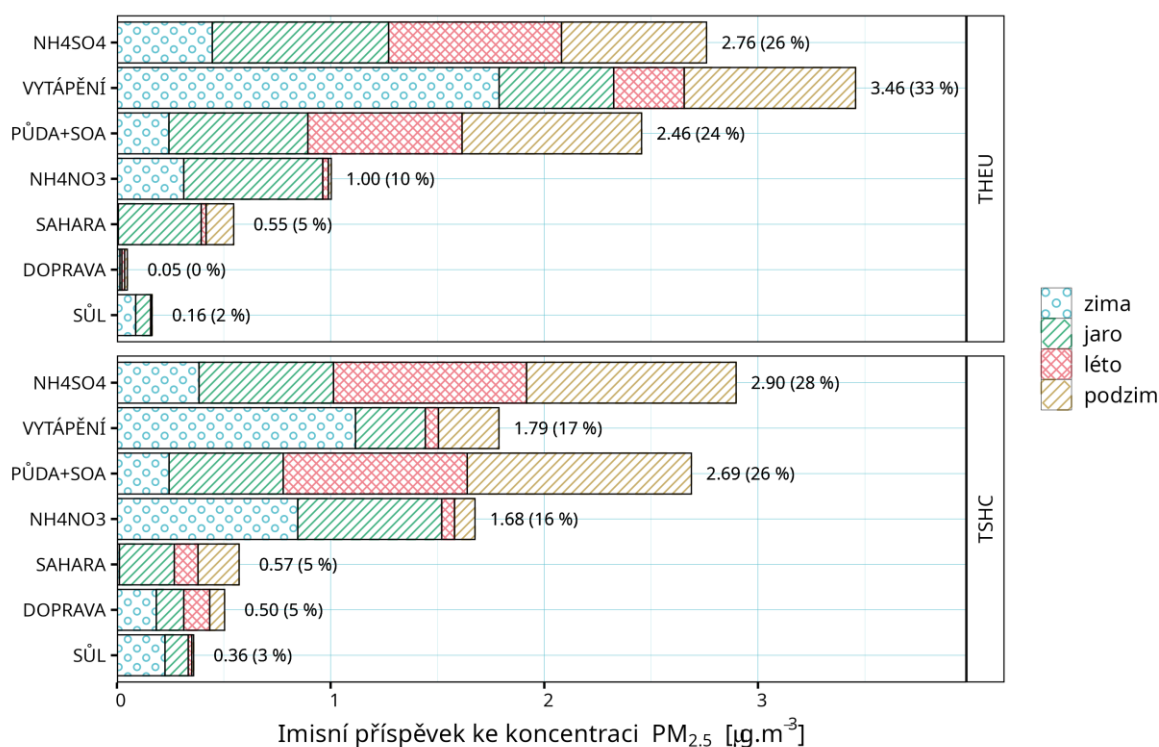
VYTÁPĚNÍ

Chemicky v tomto typu znečištění převažovaly organické sloučeniny. Typické byly vysoké koncentrace organického uhlíku, převaha nízkoteplotních frakcí elementárního uhlíku a nejvyšší podíl bezvodých sacharidů (levoglukosan, mannosan) ze všech identifikovaných faktorů. Faktor obsahoval také některé kovy (zinek, arsen, olovo, selen). Tento typ znečištění významně ovlivňoval celkovou koncentraci $PM_{2,5}$ pouze v chladné části roku. V létě byl jeho vliv ve Světlé Hoře zanedbatelný. V Heřmanovicích byly letní hodnoty sice několikanásobně nižší oproti zimě, ale občasné dosahovaly prvních jednotek $\mu g \cdot m^{-3}$. Faktor reprezentuje vytápění domácností. Přítomnost specifických kovů svědčí o využití jak biomasy, tak i uhlí. Z více než čtyřnásobného podílu mannosanu vůči galaktosanu v Heřmanovicích v létě oproti Světlé Hoře (v jiných sezonách se lokality z tohoto hlediska významně nelišily) vyplývá, že v Heřmanovicích se v tomto typu znečištění sezonně projevují emise ze spalování dřeva z jehličnatých stromů. Nezanedbatelné letní příspěvky faktoru v Heřmanovicích lze proto vysvětlit využíváním otevřených ohnišť ve spojení se zhoršenými rozptylovými podmínkami v této údolní lokalitě. Ty způsobují, že emise zde setrvávají déle než v lépe provětrávané Světlé Hoře. Odlišné rozptylové podmínky jsou patrné také na výrazné kolísavosti koncentrací mezi jednotlivými měřeními dny ve Světlé Hoře (pilovitý průběh s častými nulovými a naopak vysokými koncentracemi) oproti hladšímu průběhu koncentrací v Heřmanovicích

(koncentrace v topné sezoně zde nikdy nepoklesly k nulovým hodnotám). Podíl vytápění na celkové průměrné roční koncentraci $PM_{2,5}$ dosahoval přibližně třetiny v Heřmanovicích a necelé pětiny ve Světlé Hoře.

3.1.1. Podíly zdrojů a typů znečištění na koncentraci $PM_{2,5}$

V podkapitole 5.3.1 byly popsány typy znečištění, které byly identifikovány v lokalitách Světlá Hora – centrum (TSHC) a Heřmanovice OÚ (THEU). Následující Obr. 20 graficky ukazuje jejich podíl na průměrné roční koncentraci $PM_{2,5}$.



Obr. 19 Podíl identifikovaných faktorů na koncentraci $PM_{2,5}$

Většina typů znečištění se v obou lokalitách na celkovém znečištění $PM_{2,5}$ podílela obdobnou měrou. Významný rozdíl byl vypočten u vytápění domácností a dopravy. V Heřmanovicích byla zátěž obyvatel emisemi z vytápění domácností přibližně dvojnásobná oproti Světlé Hoře ($3,5 \mu g \cdot m^{-3}$ oproti $1,8 \mu g \cdot m^{-3}$, relativně třetina $PM_{2,5}$ oproti necelé pětina). V případě dopravy byla vyšší zátěž zjištěna naopak ve Světlé Hoře ($0,5 \mu g \cdot m^{-3}$ oproti desetinné hodnotě v Heřmanovicích, relativně 5 % vůči méně než 1 %). Zatímco řádový rozdíl u dopravy nemůže obyvatele v těchto obcích významně ovlivnit, protože její podíl je zde celkově nízký, vytápění domácností je v obou lokalitách z hlediska kvality ovzduší zásadním faktorem. Jak je naznačeno výše, vytápění domácností emituje nejen částice, jejichž podíl je vyčíslen ve faktoru VYTÁPĚNÍ, ale také oxidy dusíku, které v ovzduší reagují za vzniku dusičnanu amonného. Pro odhad celkového vlivu vytápění domácností na kvalitu ovzduší v hodnocených obcích je proto potřeba sečíst příspěvek faktoru VYTÁPĚNÍ s blíže neurčenou částí faktoru NH_4NO_3 . Ten sice, jak naznačuje chemické složení faktoru, většinou pochází z blízkých emisí z domácností, ale zahrnuje pravděpodobně i přenos z větších vzdáleností, kde se na jeho formaci může podílet automobilová doprava. V součtu tak vytápění domácností způsobovalo ve Světlé Hoře necelou třetinu a v Heřmanovicích přibližně dvě pětiny celkové koncentrace $PM_{2,5}$. V obou lokalitách se jednalo o nejvýznamnější zdroj znečištění ovzduší.

Druhým nejvýznamnějším typem znečištění byl dálkový přenos emisí z průmyslové energetiky využívající fosilní paliva, který představoval asi čtvrtinu $PM_{2,5}$.

Přibližně čtvrtinou se na celkové průměrné roční koncentraci $PM_{2,5}$ podílely také částice přírodní povahy: půda z polí, minerální prašnost ze zpevněných ploch v obcích a sekundární organický aerosol vznikající z těkavých organických sloučenin z lesů a jiné vegetace.

Doprava, dálkový přenos saharského prachu, mořská a posypová sůl měly na kvalitu ovzduší ve Světlé Hoře a Heřmanovicích méně významný podíl. Podle modelu podíl těchto tří typů znečištění v $PM_{2,5}$ dosáhl 7 % v Heřmanovicích, resp. 13 % ve Světlé Hoře.

6. Shrnutí a závěr

Předkládaná zpráva hodnotí úroveň znečištění ovzduší suspendovanými částicemi v pěti lokalitách v severní části Jesenické oblasti Moravskoslezského kraje (Heřmanovice OÚ, Světlá Hora-centrum, Malá Morávka, Vrbno pod Pradědem a Zátor). Výběr i rozmístění stanic proběhlo na základě jednání ve spolupráci mezi ČHMÚ, Zdravotním ústavem se sídlem v Ostravě a zástupci Moravskoslezského kraje. Ve dvou lokalitách (Heřmanovice OÚ, Světlá Hora-centrum) bylo provedeno detailní hodnocení příčin znečištění ovzduší.

Základem pro hodnocení bylo ve všech lokalitách celoroční měření provedené v roce 2024. Kromě úrovně znečištění byly orientačně posouzeny také příčiny znečištění. Pro všechny lokality se jednalo o základní imisně-meteorologické hodnocení, v lokalitách Heřmanovice OÚ a Světlá Hora-centrum byla provedena i podrobná identifikace zdrojových oblastí na základě matematického modelu.

Imisní koncentrace v průběhu roku 2024 v žádné z pěti hodnocených lokalit nepřekročily platné imisní limity pro suspendované částice a nepředpokládáme ani překročení limitů pro kovy. Roční imisní limit pro benzo[a]pyren byl překročen v Heřmanovicích a v Zátoru. Při porovnání měření v Heřmanovicích v letech 2011 a 2024 byla však průměrná roční koncentrace benzo[a]pyrenu v roce 2024 výrazně nižší než byla v roce 2011. Hodnotu ročního limitu pro benzo[a]pyren 1 ng.m^{-3} dosáhly roční koncentrace ve Světlé Hoře a Vrbně pod Pradědem. V Malé Morávce byla roční koncentrace benzo[a]pyrenu na polovině stanoveného limitu.

Z provedené identifikace zdrojů, podobnosti hodnocených lokalit z hlediska přírodních podmínek a využití území vyplývá, že ve všech lokalitách má vysoký podíl na znečištění ovzduší suspendovanými částicemi dálkový přenos znečištění z uhelných elektráren provozovaných severovýchodně až jihovýchodně od České republiky.

V posuzované oblasti v podhůří Jeseníků existují lokality, ve kterých místní emise z vytápění způsobují vyšší znečištění, než uvedený dálkový přenos. Tato situace byla zjištěna v Heřmanovicích, ale s ohledem na podobné koncentrace benzo[a]pyrenu ve všech lokalitách s výjimkou Malé Morávky lze očekávat, že znečištění z vytápění domácností bude velmi významné v celé hodnocené části Bruntálska. V obydlených údolích podobných Heřmanovicím a Zátoru lze vlivem nižší rychlosti větru očekávat ve srovnání s lépe provětrávanými obcemi výrazně horší rozptylové podmínky, které vedou k hromadění znečištění, a tím k výskytu vyšších koncentrací škodlivin v ovzduší, a tedy vyšším dopadům znečištění na zdraví lidí. Význam domácností, jakožto celkově nejvýznamnějšího zdroje znečištění v podhůří Jeseníků, podtrhuje také skutečnost, že k místním emisím je nutné přičíst

i koncentraci dusičnanu amonného, který ve velké míře také pochází z vytápění, ale nevzniká lokálně, ale až při přenosu ze vzdálenějších sídel.

Další významné typy znečištění ovzduší byly ve Světlé Hoře i v Heřmanovicích přírodní povahy. Jednalo se především o prašnost vznikající vířením půdních částic a chemickými reakcemi terpenů uvolňovaných jehličnatými lesy.

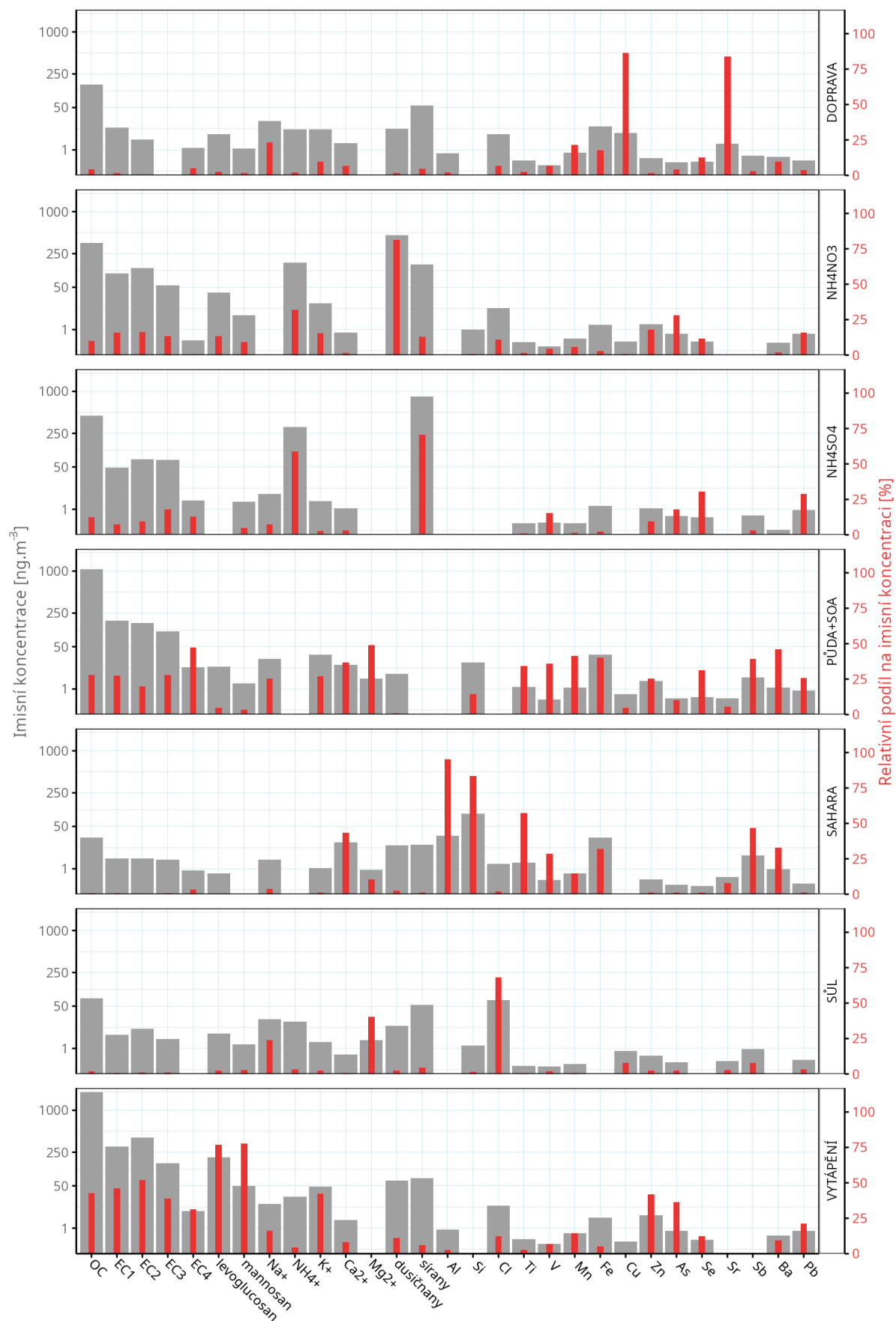
Vliv dopravy byl vyhodnocen jako velmi nízký, a tedy nevýznamný. Žádné průmyslové zdroje s výjimkou výše popsaného vlivu dálkového transportu síranů z východoevropské energetiky nebyly v posuzovaných lokalitách identifikovány.

Oproti průměrné úrovni znečištění v Moravskoslezském kraji je kvalita ovzduší v posuzované oblasti celkově lepší. V oblasti vytápění domácností přesto existuje významný prostor pro snížení koncentrací zdravotně závažných polutantů, který je nezbytné vhodnými opatřeními omezit, protože současná úroveň znečištění na většině měřených lokalit překračuje doporučené hodnoty Světové zdravotnické organizace a nevyhovuje imisním limitům, které vejdou v platnost v roce 2030.

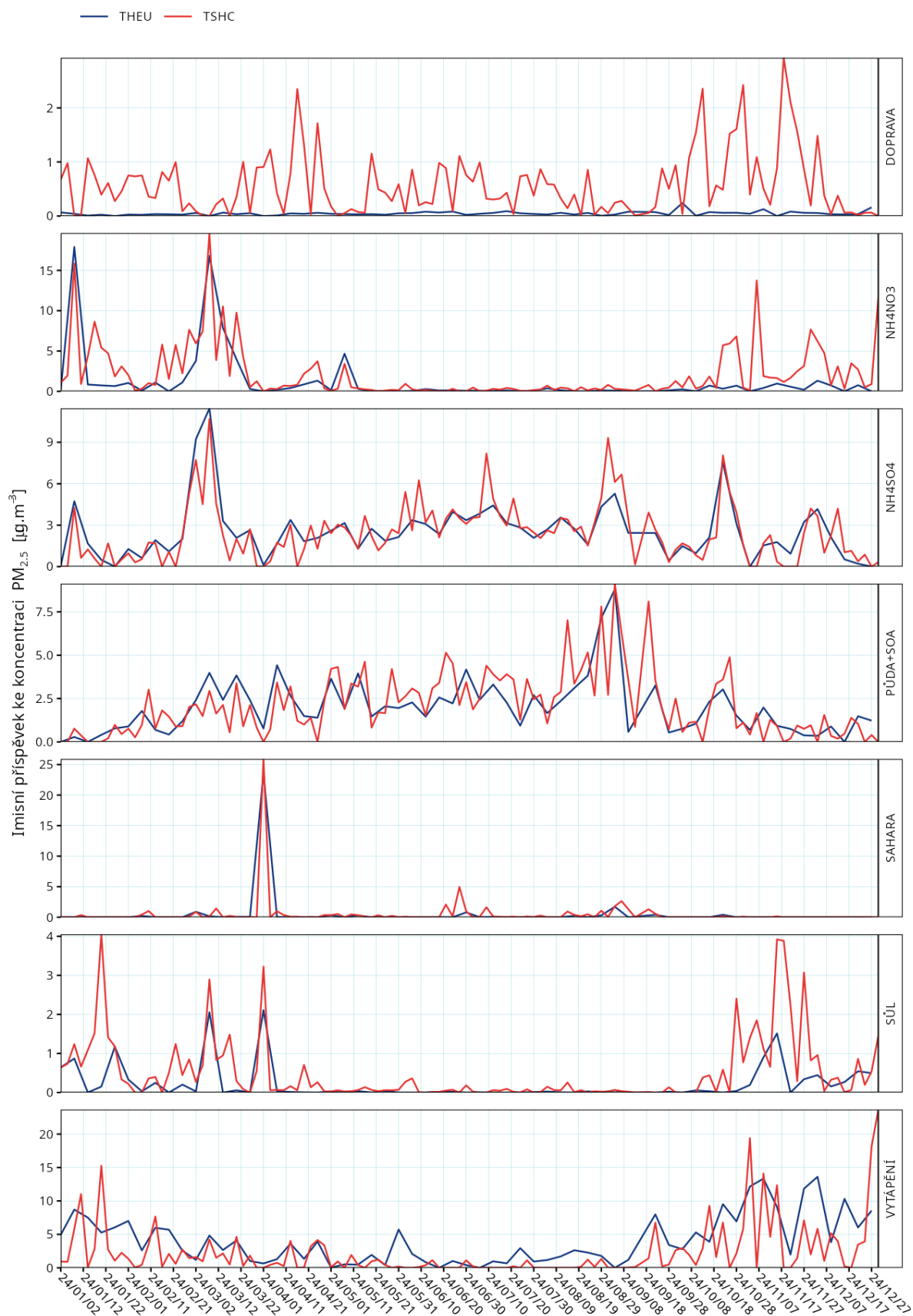
Literatura

- ČR, 2012. Zákon č. 201/2012 Sb. ze dne 2. května 2012 o ochraně ovzduší. Available on: www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/9F4906381B38F7F6C1257A94002EC4A0/%24file/Z201_2012_Sb.pdf (accessed on 10 March 2024).
- EC, 2004. Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. OJ L 23, 26. 1. 2005, page 3–16. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004L0107> (accessed on 10 March 2024).
- EC, 2008. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. OJ L 152, 11. 6. 2008, page 1–44. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050> (accessed on 10 March 2024).
- EXPONENT, 2021. CALPUFF Modeling System. Available online: <http://www.src.com> (accessed on 21 March 2024).
- JAKOVLJEVIĆ, I., PEHNEC, G., VADIĆ, V. et al., 2018. Polycyclic aromatic hydrocarbons in PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ particle fractions in an urban area. Air Qual Atmos Health 11, 843–854 (2018). Available online: <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0603-3> (accessed on 21 March 2024).
- NORRIS, G., DUVAL, 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 (accessed on 21 March 2024).
- SCIRE J. S., ROBE F. R., FERNAU M. E. and YAMARTINO R.J., 2000. A user's guide for the CALMET meteorological model (Version 5.0). Available online: <http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm> (accessed on 21 March 2024).
- VOLNÁ, V., BLAŽEK, Z., 2024. Contribution to the study of possible transport of PM₁₀ aerosols in the eastern part of the Czech Republic, Heliyon, Volume 10, Issue 17, 2024, e36850, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36850> (accessed on 11 March 2025).
- WHO, 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Available online: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> (accessed on 21 March 2024).
- YINGZE, T., BIN, J., PENG, Z., DABLIN, S., FENGXIA, H., YINCHANG, F., 2022. Size distribution, meteorological influence and uncertainty for source-specific risks: PM_{2.5} and PM₁₀-bound PAHs and heavy metals in a Chinese megacity during 2011–2021, Environmental Pollution, Volume 312, 2022, 120004, ISSN 0269-7491. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120004> (accessed on 10 March 2024).

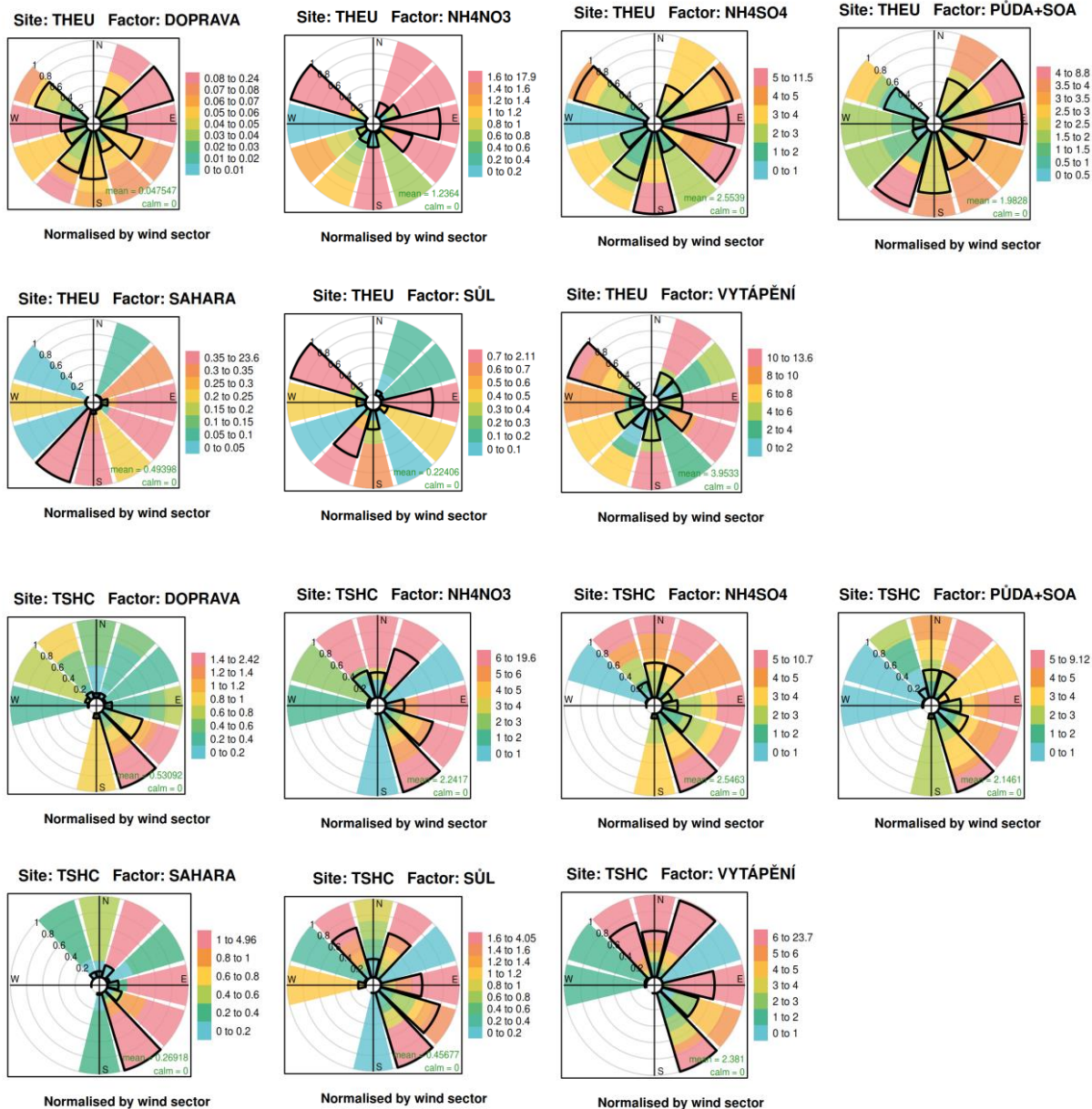
Příloha 1: Chemické profily identifikovaných typů znečištění



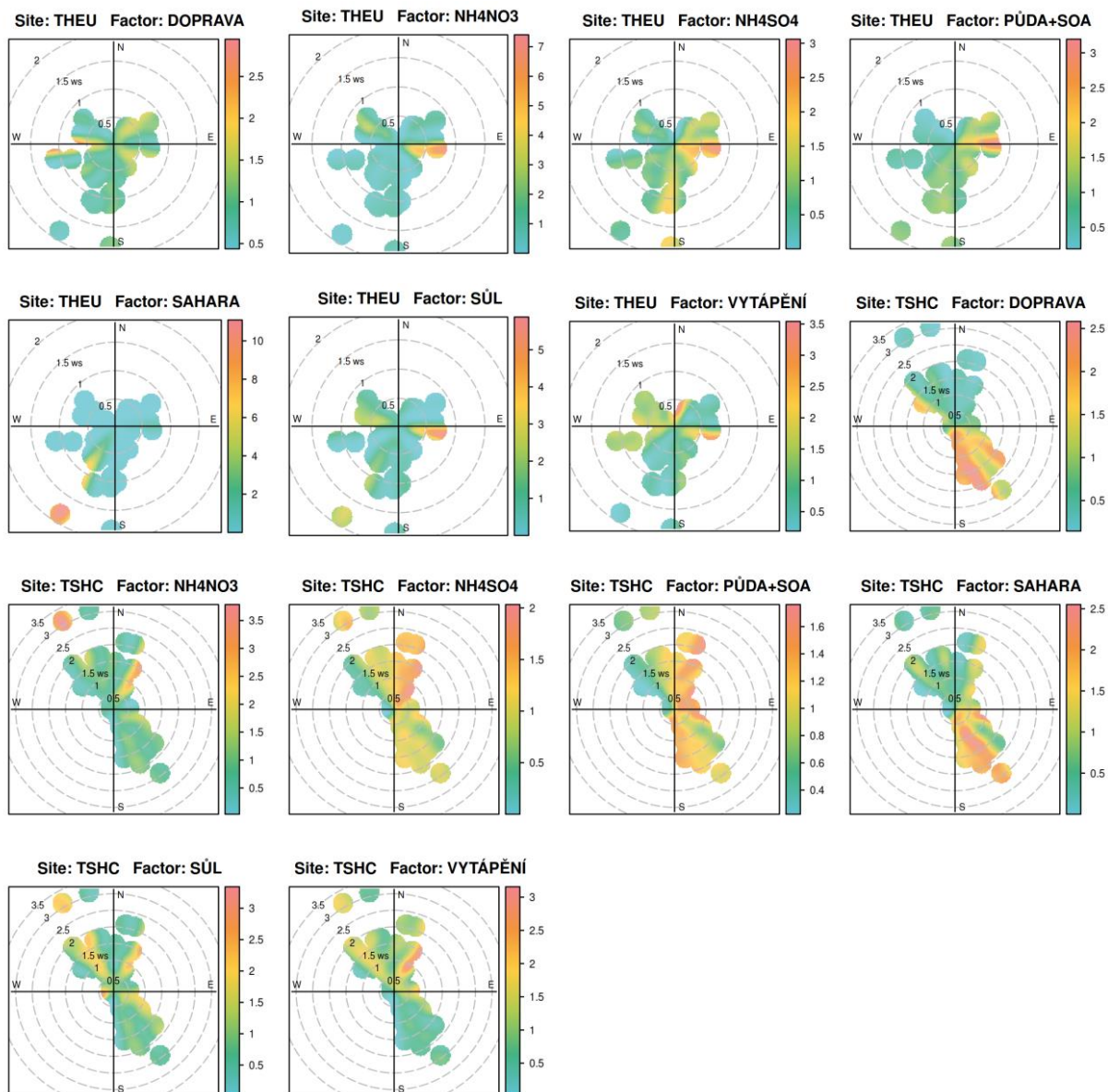
Příloha 2: Časové řady identifikovaných faktorů



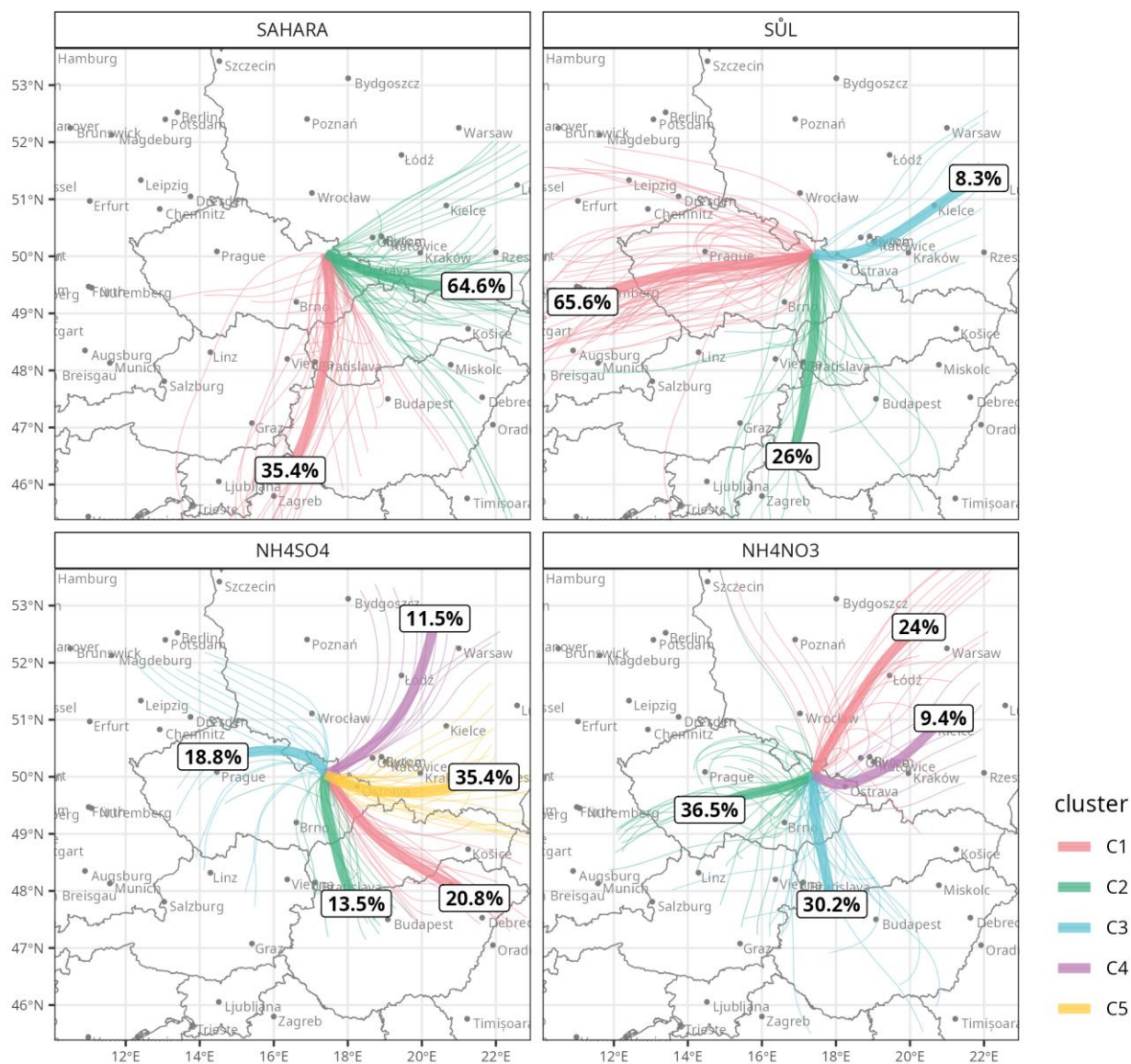
Příloha 3: Koncentrační růžice normalizované podle směru větru



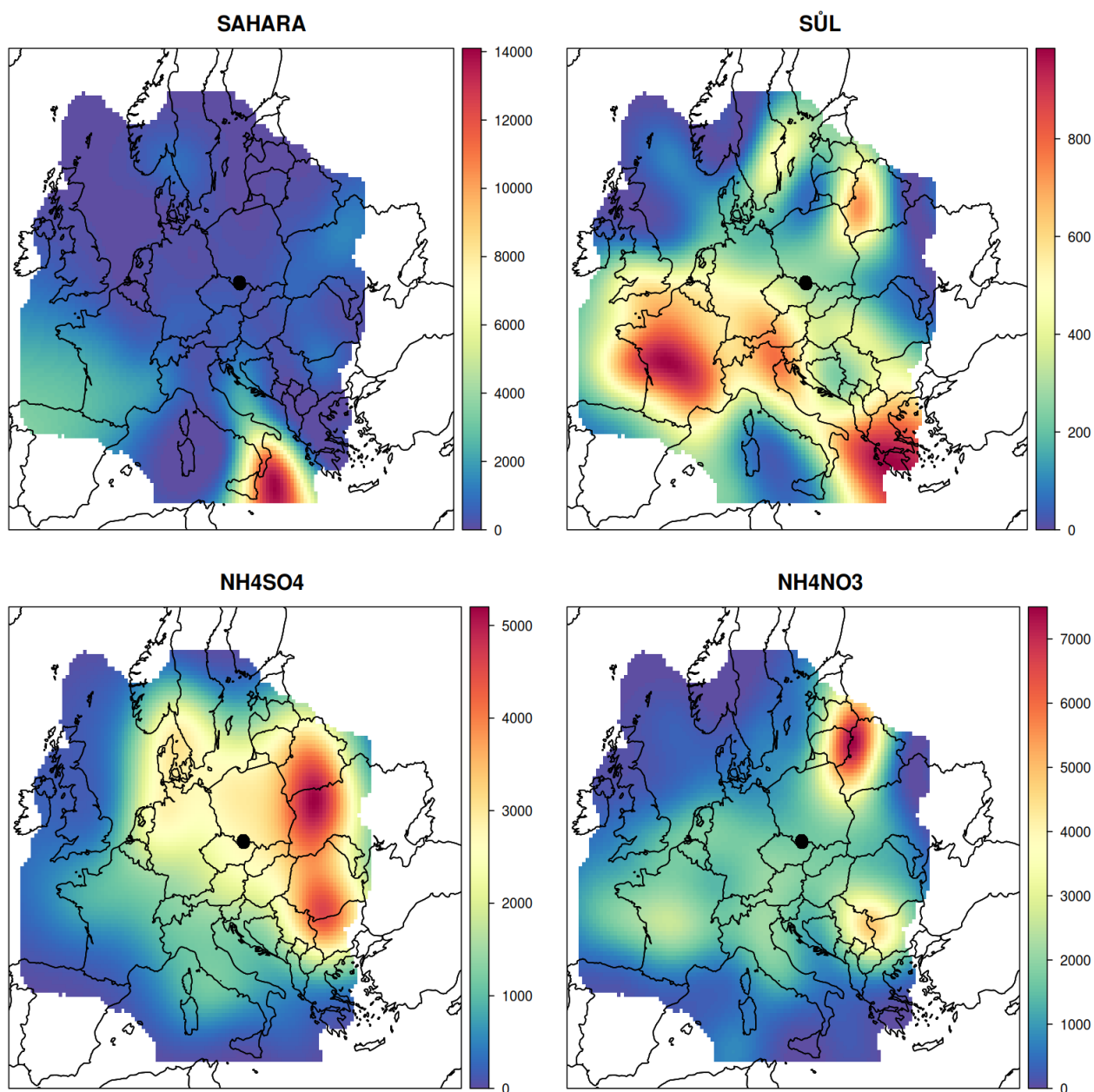
Příloha 4: Polární grafy



Příloha 5: Zpětné trajektorie HYSPLIT pro 90. percentil imisních příspěvků identifikovaných faktorů v lokalitě Světlá Hora-centrum



Příloha 6: Zdrojové oblasti podle funkce CWT zpětných trajektorií HYSPLIT [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$]



Příloha 7: Koncentrace PM_{2,5} (μg.m⁻³) v závislosti na DTP

Lokalita	DTP	% wd	prům. konc. PM _{2,5}	% PM _{2,5}
Heřmanovice OÚ	J	10.0	8.1	7.8
Heřmanovice OÚ	JZ	1.7	5.3	0.8
Heřmanovice OÚ	J–JZ	8.3	11.8	9.4
Heřmanovice OÚ	SV	8.3	6.8	5.4
Heřmanovice OÚ	SZ	11.7	12.3	13.7
Heřmanovice OÚ	V	3.3	21.5	6.9
Heřmanovice OÚ	Z	5.0	9.3	4.5
Heřmanovice OÚ	Z–SZ	3.3	5.7	1.8
Heřmanovice OÚ	bezvětrí	35.0	11.7	39.1
Heřmanovice OÚ	proměnlivý	6.7	6.0	3.8
Heřmanovice OÚ	nelze určit	6.7	10.6	6.7
Světlá Hora-centrum	J	14.0	10.8	14.5
Světlá Hora-centrum	JV	33.1	9.3	29.5
Světlá Hora-centrum	JV–J	8.3	9.8	7.7
Světlá Hora-centrum	S	9.9	10.4	9.9
Světlá Hora-centrum	SV	2.5	14.3	3.4
Světlá Hora-centrum	SZ	7.4	11.7	8.3
Světlá Hora-centrum	SZ–S	4.1	14.3	5.6
Světlá Hora-centrum	S–SV	4.1	9.5	3.7
Světlá Hora-centrum	V–JV	0.8	5.1	0.4
Světlá Hora-centrum	bezvětrí	3.3	12.6	4.0
Světlá Hora-centrum	proměnlivý	9.1	10.8	9.4
Světlá Hora-centrum	nelze určit	3.3	11.6	3.6

Příloha 8: Koncentrace BaP (ng.m⁻³) v závislosti na DTP

Lokalita	DTP	% wd	prům. konc. BaP	% BaP
Heřmanovice OÚ	J	10.0	0.2	2.0
Heřmanovice OÚ	JZ	1.7	0.5	0.7
Heřmanovice OÚ	J–JZ	8.3	0.7	5.2
Heřmanovice OÚ	SV	8.3	0.6	4.2
Heřmanovice OÚ	SZ	11.7	2.4	24.0
Heřmanovice OÚ	V	3.3	2.8	7.8
Heřmanovice OÚ	Z	5.0	2.5	10.7
Heřmanovice OÚ	Z–SZ	3.3	0.4	1.1
Heřmanovice OÚ	bezvětří	35.0	1.2	35.6
Heřmanovice OÚ	proměnlivý	6.7	1.1	5.9
Heřmanovice OÚ	nelze určit	6.7	0.5	2.5
Malá Morávka	JV	31.1	0.3	23.6
Malá Morávka	SZ	16.7	0.7	27.1
Malá Morávka	SZ–S	3.3	0.1	1.1
Malá Morávka	V–JV	2.2	1.6	7.9
Malá Morávka	bezvětří	31.1	0.3	20.7
Malá Morávka	proměnlivý	14.4	0.5	17.2
Malá Morávka	nelze určit	1.1	1.0	2.4
Světlá Hora-centrum	J	15.3	0.6	9.3
Světlá Hora-centrum	JV	37.3	0.6	22.9
Světlá Hora-centrum	JV–J	3.4	0.4	1.4
Světlá Hora-centrum	S	6.8	0.9	6.0
Světlá Hora-centrum	SV	1.7	0.1	0.2
Světlá Hora-centrum	SZ	5.1	3.8	20.3
Světlá Hora-centrum	SZ–S	5.1	0.9	4.8
Světlá Hora-centrum	S–SV	3.4	0.0	0.0
Světlá Hora-centrum	V–JV	1.7	0.2	0.4
Světlá Hora-centrum	bezvětří	5.1	1.9	9.9
Světlá Hora-centrum	proměnlivý	10.2	1.8	18.7
Světlá Hora-centrum	nelze určit	5.1	1.2	6.2
Vrbno p. Pradědem	J	1.1	0.6	0.7
Vrbno p. Pradědem	JV	6.7	0.8	5.8
Vrbno p. Pradědem	JV–J	1.1	0.1	0.1
Vrbno p. Pradědem	SZ	3.3	0.5	1.9
Vrbno p. Pradědem	V	4.4	1.1	5.4
Vrbno p. Pradědem	V–JV	4.4	0.4	2.0
Vrbno p. Pradědem	Z	13.3	1.6	23.3
Vrbno p. Pradědem	Z–SZ	3.3	0.3	1.1
Vrbno p. Pradědem	bezvětří	44.4	0.9	43.5
Vrbno p. Pradědem	proměnlivý	16.7	0.7	12.3
Vrbno p. Pradědem	nelze určit	1.1	3.1	3.7
Zátor	J	4.4	1.1	5.0
Zátor	JZ	47.8	0.5	25.4
Zátor	JZ–Z	5.6	2.5	14.1
Zátor	J–JZ	6.7	0.9	5.9
Zátor	SV	4.4	1.2	5.2
Zátor	SZ–S	1.1	3.1	3.4
Zátor	S–SV	2.2	4.6	10.2
Zátor	V	2.2	1.0	2.3
Zátor	Z	10.0	1.1	11.3
Zátor	Z–SZ	1.1	1.7	1.9
Zátor	bezvětří	5.6	0.6	3.4
Zátor	proměnlivý	7.8	0.8	5.9
Zátor	nelze určit	1.1	5.4	6.0