TD 000162

Vyhodnocení měření na monitorovacích stanicích Ostravice-golf a Mosty u Jablunkova-Šance v roce 2023

Projekt Měření znečištění ovzduší vzorkovači pro identifikaci zdrojů znečišťování na dvou lokalitách v Moravskoslezském kraji 2023

Závěrečná zpráva projektu (1. 1. – 31. 12. 2023)

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

Oddělení kvality ovzduší / ČHMÚ, pobočka Ostrava / 28. 3. 2024

Český hydrometeorologický ústav

Moravskoslezský kraj

Obsah

1. Úvod 3
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 ovzduší 9
   4.1. Suspendované částice (PM) 9
   4.2. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH) 16
   4.3. Těžké kovy (TK) 18
5. Příčiny znečištění 20
   5.1. Hlavní složky aerosolu 20
   5.2. Imisně-meteorologické hodnocení 21
   5.3. Receptorový model PMF 25
      3.1.1. Faktory kvality ovzduší 25
      3.1.2. Podíly zdrojů a typů znečištění na koncentraci $PM_{2,5}$ 28
      3.1.3. Zdrojové oblasti znečištění 29
4. Shrnutí 35

Přílohy

Příloha 1: Chemické profily identifikovaných faktorů

Příloha 2: Časové řady identifikovaných faktorů

Příloha 3: Faktorové imisní příspěvky vzhledem k DTP

Příloha 4: Grafy funkce CPF pro lokalitu Mosty u Jablunkova-Šance

Příloha 5: Polární grafy faktorových příspěvků pro lokalitu Mosty u Jablunkova-Šance

Příloha 6: Koncentrace PM_{10} ($\mu g.m^{-3}$) v závislosti na denním typu proudění

Příloha 7: Koncentrace $PM_{2,5}$ ($\mu g.m^{-3}$) v závislosti na denním typu proudění

Příloha 8: Koncentrace BaP ($ng.m^{-3}$) v závislosti na denním typu proudění

Seznam obrázků

Obr. 1 Poloha stanic 5
Obr. 2 Průměrné roční koncentrace PM_{10} na stanicích v Moravskoslezském kraji, 2023 11
Obr. 3 Průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$ na stanicích v Moravskoslezském kraji, 2023 11
Obr. 4 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací PM_{10}, 2023 12
Obr. 5 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací $PM_{2,5}$, 2023 13
Obr. 6 Průměrné denní koncentrace PM_{10} na stanici Metylovice, 2023 14
Obr. 7 Průměrné denní koncentrace PM_{10} na stanici Morávka, 2023 14
Obr. 8 Průměrné denní koncentrace PM_{10} na stanici Mořkov, 2023 15
Obr. 9 Statistické rozložení denních koncentrací PM na stanicích v roce 2023 15
Obr. 10 Chod průměrných denních koncentrací BaP v průběhu roku 2023 v zájmových lokalitách 17
Obr. 11 Statistické rozložení denních koncentrací PAH na stanicích Mosty u Jablunkova-Šance (TMJS) a Ostravice-golf (TOSG), 2023 18
Obr. 12 Statistické rozložení denních koncentrací TK v zájmových lokalitách, 2023 19
Obr. 13 Hlavní složky $PM_{2,5}$ 20
Obr. 14 Polární grafy koncentračních příspěvků PM_{10} v roce 2023, Mořkov (TMRK), Morávka (TMRV), Metylovice (TMTY) – hodnoty v $\mu g.m^{-3}$ 21
Obr. 15 Průměrné koncentrace PM_{10} v roce 2023, Mořkov (TMRK), Morávka (TMRV), Metylovice (TMTY), Ostravice-golf (TOSG) 23
Obr. 16 Průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ v roce 2023, Mosty u Jablunkova-Šance (TMJS) a Ostravice-golf (TOSG) 24
Obr. 17 Průměrné koncentrace BaP v roce 2023, Mosty u Jablunkova-Šance (TMJS), Mořkov (TMRK), Morávka (TMRV), Metylovice (TMTY), Ostravice-golf (TOSG) 25
Obr. 18 Imisní příspěvek faktoru RESUSPENZE ve vztahu ke koncentraci síranů a směru větru 27
Obr. 19 Sezonní chod a podíl identifikovaných faktorů na koncentraci $PM_{2,5}$ 28
Obr. 20 Podíl identifikovaných faktorů na koncentraci $PM_{2,5}$ 29
Obr. 21 Imisní příspěvky při různých směrech větru v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance 30
Obr. 22 Souvislost mezi vytápěním biomasou a dusičnany [$ng.m^{-3}$]; vlevo vztah mezi modelovaným příspěvkem vytápění biomasou a modelovaným příspěvkem dusičnanu amonného, vpravo vztah mezi modelovaným příspěvkem vytápění biomasou a skutečně naměřenou koncentrací dusičnanů. 31
Obr. 23 Korelace mezi koncentracemi plynů a PM zjištěnými imisním monitoringem SHMÚ v Oščadnici a modelem vypočtenými příspěvky faktorů v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance. 32
Obr. 24 Vliv zdrojových oblastí znečištění na koncentraci $PM_{2,5}$ v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance. 33

Moravskoslezský kraj

Seznam tabulek

Tab. 1 Metody měření a režim vzorkování 7
Tab. 2 Průměrné roční koncentrace PM, 2023 10
Tab. 3 Maximální denní koncentrace PM_{10}, 2023 13
Tab. 4 Průměrná roční koncentrace BaP, 2023 17

Vysvětlivky (použité zkratky)

I–XII	měsíce v roce (leden–prosinec)
BaA	benzo[*a*]antracen
BaP	benzo[*a*]pyren
BeP	benzo[*e*]pyren
BbF	benzo[*b*]fluoranten
BghiPRL	benzo[*g,h,i*]perylen
BjF	benzo[*j*]fluoranten
BkF	benzo[*k*]fluoranten
COR	koronen
CRY	chrysen
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DBahA	dibenzo[*a,h*]antracen
DTP	denní typ proudění
ICP-MS	hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
I123cdP	indeno[*1,2,3-cd*]pyren
NO_2	oxid dusičitý
O_3	přízemní ozon
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky
PIC	picen
$PM_{10}/PM_{2,5}$	suspendované částice $PM_{10}/PM_{2,5}$
PRL	perylen
RET	reten
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav
SO_2	oxid siřičitý
SSIM	Státní síť imisního monitoringu
TK	těžké kovy
TMJS	lokalita Mosty u Jablunkova-Šance
TMRK	lokalita Mořkov
TMRV	lokalita Morávka
TMTY	lokalita Metylovice
TOSG	lokalita Ostravice-golf
UTC	světový čas (SEČ – 1hod)
WHO	Světová zdravotnická organizace
XRF	Rentgenová fluorescence
ZÚ	Zdravotní ústav

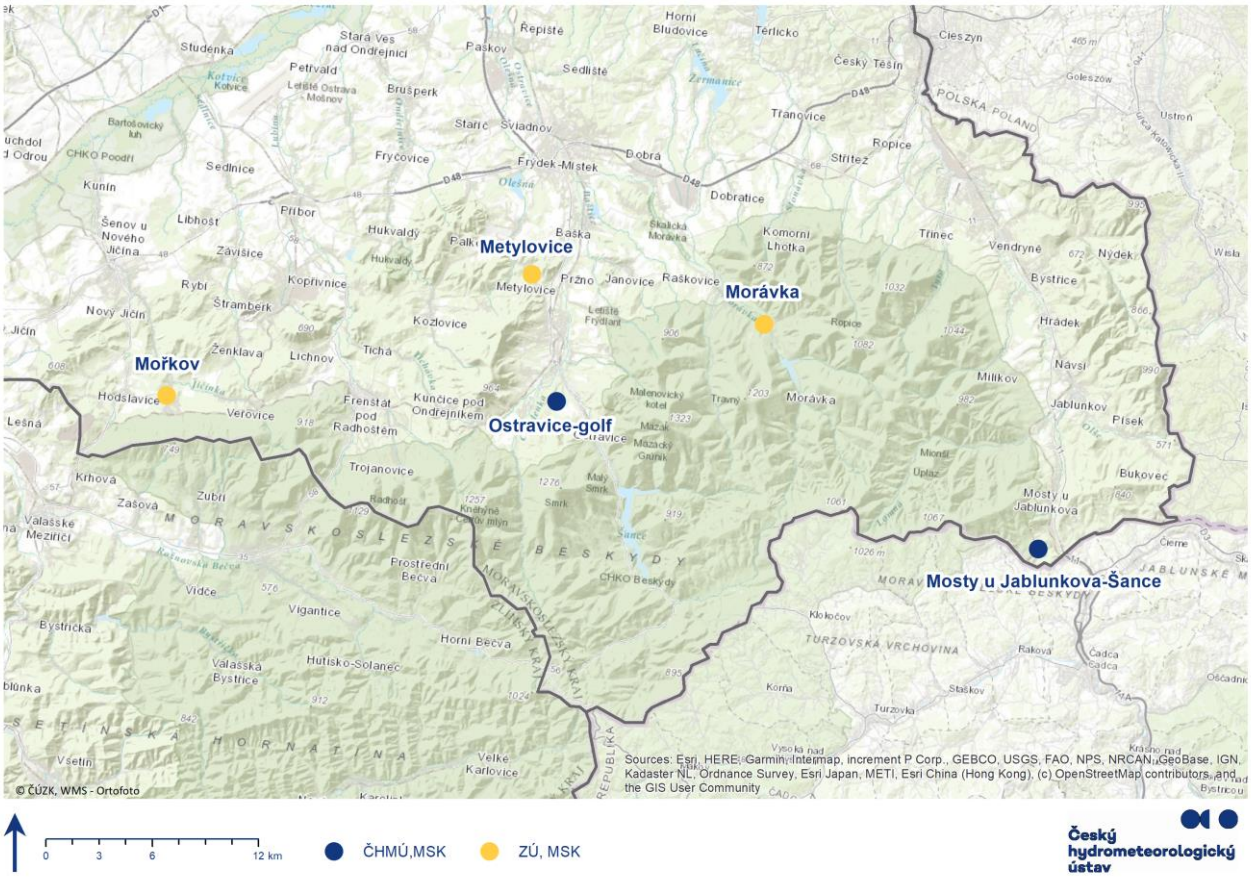
1. Úvod

V roce 2023 probíhalo měření kvality ovzduší dotované z rozpočtu Moravskoslezského kraje na základě smlouvy ev. č. 01699/2023/ŽPZ, 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 2023. Počínaje rokem 2021 byla koncepce krajského monitoringu prováděného ČHMÚ zacílena na konkrétnější identifikaci příčin znečištění ve vytipovaných oblastech a na kvantifikaci podílů zdrojů znečišťování ovzduší. Po dohodě se zástupci Moravskoslezského kraje byla v roce 2023 posílena spolupráce ČHMÚ se Zdravotním ústavem se sídlem v Ostravě ve smyslu soustředění personálních a technických zdrojů obou institucí. Spolupráce těchto institucí umožnila komplexnější vyhodnocení imisní situace a příčin znečištění oproti předchozím rokům, kdy ČHMÚ a Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě prováděli monitoring pro Krajský úřad Moravskoslezského kraje izolovaně.

Do předkládaného hodnocení tak mohlo být na základě rozboru suspendovaných částic zahrnuto 5 lokalit (Obr. 1), jejichž vzájemné porovnání přináší lepší přehled o odlišnostech úrovně znečištění ovzduší a jeho příčin v rámci kraje. Pro imisní monitoring podporovaný Moravskoslezským krajem v roce 2023 byly vybrány venkovské lokality, vyznačující se vyšším podílem s individuálním vytápěním domácností oproti častěji sledovaným městským a příměstským lokalitám. Cílem bylo vyhodnotit v Pobeskydí úroveň znečištění v lokalitách, které se nacházejí v územích s předpokládanou relativně dobrou kvalitou ovzduší, ale s ohledem na způsob vytápění mohou být v topné sezoně silně zatížené zejména benzo[a]pyrenem a suspendovanými částicemi.

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 případně cílit opatření ke zlepšení kvality ovzduší.

2. Popis monitorovaných lokalit



Obr. 1 Poloha stanic

Ostravice-golf (TOSG)

Stanice Ostravice-golf (49.5522956N, 18.3611106E) leží v nadmořské výšce 428 m n. m. a je klasifikována jako pozaďová, venkovská s reprezentativností oblastního měřítka – městská nebo venkov (4–50 km). Jedná se o stálou stanici Státní sítě imisního monitoringu (SSIM) ČHMÚ. Stanice se nachází na pozemku sportovního areálu GOLF & SKI RESORT – přibližně 2,5 km severozápadně od centra zastavěné obce. Cca 2 km na západ od stanice se nachází obec Čeladná a 2 km na sever město Frýdlant nad Ostravicí.

Mosty u Jablunkova-Šance (TMJS)

Stanice Mosty u Jablunkova-Šance (49.4976922N, 18.7445278E) se nacházela v nadmořské výšce 603 m n. m. a byla klasifikovaná jako pozaďová venkovská s reprezentativností oblastního měřítka (desítky až stovky km) a byla zřízena pro rok 2023. Stanice ležela v bezprostřední blízkosti historického opevnění Velká Šance, necelý 1 km na sever od česko-slovenských hranic. Nejbližší obce jsou Mosty u Jablunkova ležící cca 1,3 km severně od stanice a Milošová, která se nachází přibližně 2 km jižně od stanice.

Metylovice (TMTY)

Stanice Metylovice (49.6152878N, 18.3335456E) ležela v nadmořské výšce 371 m n. m. a byla klasifikována jako pozaďová předměstská s reprezentativností střední měřítko (100–500 m) a byla zřízena jen pro rok 2023. Stanice byla umístěna uprostřed obce v areálu ZŠ Mjr. Ambrože Bílka a MŠ Metylovice, na kopečku travnatého hřiště za budovou školy, od hlavní silnice vzdálená cca 50 m a byla obklopena převážně individuální zástavbou.

Morávka (TMRV)

Stanice Morávka (49.6000000N, 18.5176811E) ležela v nadmořské výšce 453 m n. m. a byla klasifikována jako pozaďová venkovská s reprezentativností střední měřítko (100–500 m) a byla zřízena jen pro rok 2023. Stanice byla umístěna v areálu ZŠ a MŠ Morávka, u hřiště za budovou školy, od hlavní silnice vzdálená cca 100m.

Mořkov (TMRK)

Stanice Mořkov (49.5381278N, 18.0579661E) ležela v nadmořské výšce 358 m n. m. a byla klasifikována jako pozaďová venkovská s reprezentativností střední měřítko (100–500 m) a byla zřízena jen pro rok 2023. Stanice byla umístěna v zahradě ZŠ a MŠ Mořkov, za budovou školy, od ulice Sportovní vzdálená cca 100 m. 150 m západně od stanice sídlí firma Konkys (potisky plachet aut).

Měření znečištění ovzduší na stanicích Ostravice-golf a Mosty u Jablunkova-Šance 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 Metylovice, Morávka a Mořkov, 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. 2023 bylo ve výše popsaných lokalitách provedeno měření imisních koncentrací níže uvedených škodlivin v atmosférickém aerosolu. V lokalitách Metylovice, Morávka a Mořkov byla hodnocena frakce PM_{10}. V lokalitách Mosty u Jablunkova-Šance a Ostravice-golf 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
		CH	TE		
Mosty u Jablunkova-Šance	$PM_{2,5}$	1/3d		$\mu g.m^{-3}$	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
Ostravice-golf	PM_{10} a $PM_{2,5}$	1d		$\mu g.m^{-3}$	GRV
	PAH v $PM_{2,5}$	1/6d	-	$ng.m^{-3}$	GC-MS
	TK v $PM_{2,5}$	1/6d		$ng.m^{-3}$	XRF
Metylovice Morávka Mořkov	PM_{10}	1h		$\mu g.m^{-3}$	RADIO
	PAH v PM_{10}	1/3d	1/6d	$ng.m^{-3}$	HPLC
	TK v PM_{10}	1/6d		$ng.m^{-3}$	ICP-MS

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

Vzorky pro gravimetrické stanovení PM byly odebírány na filtry ze skelného vlákna (Metylovice, Mořkov, Morávka), popř. teflonu (Mosty u Jablunkova-Šance a Ostravice-golf). Pro vzorky pro stanovení elementárního a organického uhlíku a PAH byly použity křemenné filtry, vzorky pro prvkovou analýzu včetně kovů byly odebírány na teflonové filtry.

V důsledku technických komplikací nejsou dostupné vzorky těžkých kovů z lokality Metylovice za měsíce červen, červenec, říjen, listopad a prosinec 2023.

3.2. Metody laboratorních analýz

Ve vzorcích z lokalit Metylovice, Morávka a Mořkov byla provedena laboratorní stanovení imisních koncentrací v následujícím rozsahu látek:

- kovy: As, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb,
- 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.

Rozsah laboratorně stanovených látek pro identifikaci příčin znečištění modelem PMF v lokalitách Mosty u Jablunkova-Šance a Ostravice-golf 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^-, Br^-, F^-, 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, dibenzo[a,h]antracen, benzo[*ghi*]perylen, indeno[*1,2,3-cd*]pyren,
- prvkové složení: Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, In, Sn, 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 rozbory byly provedeny v laboratořích ČHMÚ, pobočce Ostrava (prvkové složení, elementární a organický uhlík, ionty a anhydrosacharidy z lokalit Mosty u Jablunkova-Šance a Ostravice-golf) a v laboratořích Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě (kovy z lokalit Metylovice, Morávka a Mořkov a PAH ze všech lokalit).

3.3. Metody vyhodnocení

Identifikace zdrojů znečišťování ovzduší a kvantifikace jejich podílů na celkovém znečištění $PM_{2,5}$ byla provedena na základě 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 reprezentují konkrétní zdroje nebo skupiny zdrojů znečišťování ovzduší, které v posuzované lokalitě přispívají ke znečištění ovzduší zájmovou látkou.

V modelu PMF bylo použito 188 vzorků ovzduší (126 z lokality Mosty u Jablunkova-Šance a 62 z lokality Ostravice-golf). Modelování proběhlo v souladu s požadavky manuálu k programu PMF 5.0 [Norris a kol., 2014]. Po vyloučení hmotnostních duplicit bylo kromě $PM_{2,5}$ v modelu použito celkem 34 analytů, které dosahovaly potřebného poměru signál/šum: celkem 8 teplotně rozlišených frakcí organického a elementárního uhlíku, 2 anhydrosacharidy, 6 zástupců iontů, 4 PAH a 14 prvků. Stabilita řešení byla ověřena metodami bootstrap (BS) a displacement (DISP).

Po interpretaci faktorových profilů bylo provedeno ověření, zda směr, odkud byly do hodnocených lokalit transportovány modelem identifikované typy znečištění, odpovídá poloze skutečných zdrojů.

Pro odhad směru, odkud pocházely modelem identifikované typy znečištění, byly vypočtené imisní příspěvky jednotlivých faktorů spárovány s denními typy proudění (DTP) [Volná a kol., 2022] a s 24hodinovými vektorovými průměry směru a rychlosti větru. Lze předpokládat, že z důvodu 24hodinové doby odběru vzorků, během které mohlo docházet k významným změnám směru větru, je metoda DTP vhodnější. Hodnocení na základě vektorového průměru směru větru může mít z tohoto důvodu omezenou reprezentativnost.

Výsledky modelu PMF byly dále zpracovány několika metodami s využitím výsledků měření směru a rychlosti větru. Cílem byl odhad zdrojových oblastí jednotlivých identifikovaných typů znečištění. Výstupy byly vizualizovány krabicovými diagramy, sloupcovými grafy, grafy funkce CPF (Conditional Probability Function) a koncentračními růžicemi. Protože měřením směru větru byla ze dvou stanic pro identifikaci příčin znečištění vybavena pouze lokalita Mosty u Jablunkova-Šance, je reprezentativní odhad zdrojových oblastí znečištění proveditelný pouze pro tuto lokalitu. Na základě lokality Ostravice-golf bylo možné tyto oblasti identifikovat pouze orientačně.

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 (S, SV, SZ, V, Z, J, JZ, JV), případně sektorů pro dva směry nacházející se vedle sebe (S–SV, S–SZ, J–JZ, J–JV, JV–V, SV–V, JZ–Z, SZ–Z), dále pro bezvětří ($\leq 0{,}4$ m.s^{-1}) a proměnlivý vítr [Volná a kol., 2022].

V případě lokality Ostravice-golf, kde neprobíhalo měření směru a rychlosti větru byla nejdříve vypočtena větrná růžice vztažená k souřadnicím stanice pomocí meteorologického modelu CALMET, který je součástí systému pro disperzní modelování CALPUFF [Scire a kol. 2000; Exponent 2021]. Model CALMET obsahuje diagnostický modul pro pole proudění, který na zvolené doméně počítá hodinová, vertikálně členěná pole směru, rychlosti větru a teploty, a dále mikrometeorologické charakteristiky mezní vrstvy nad zemským a vodním povrchem. Do modelu vstupují tři základní typy dat: geografická data (matice orografie a land coveru), hodinová meteorologická data z pozemních stanic v blízkém okolí místa výpočtu větrné růžice a sondážní měření. Z vypočtených údajů modelem CALMET byly využity časové řady roku 2023 pro směr a rychlost větru a byly použity jako vstupní údaje pro výpočet DTP.

Hodnoty koncentrací 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].

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 PM_{10} nepřekročily stanovený roční limit 40 µg.m^{-3} ani na jedné stanici s měřením PM_{10}. Na žádné stanici nebyla překročena ani doporučená limitní hodnota 20 µg.m^{-3} pro roční průměrné koncentrace PM_{10} dle WHO [WHO, 2021] (Obr. 2, Tab. 2).

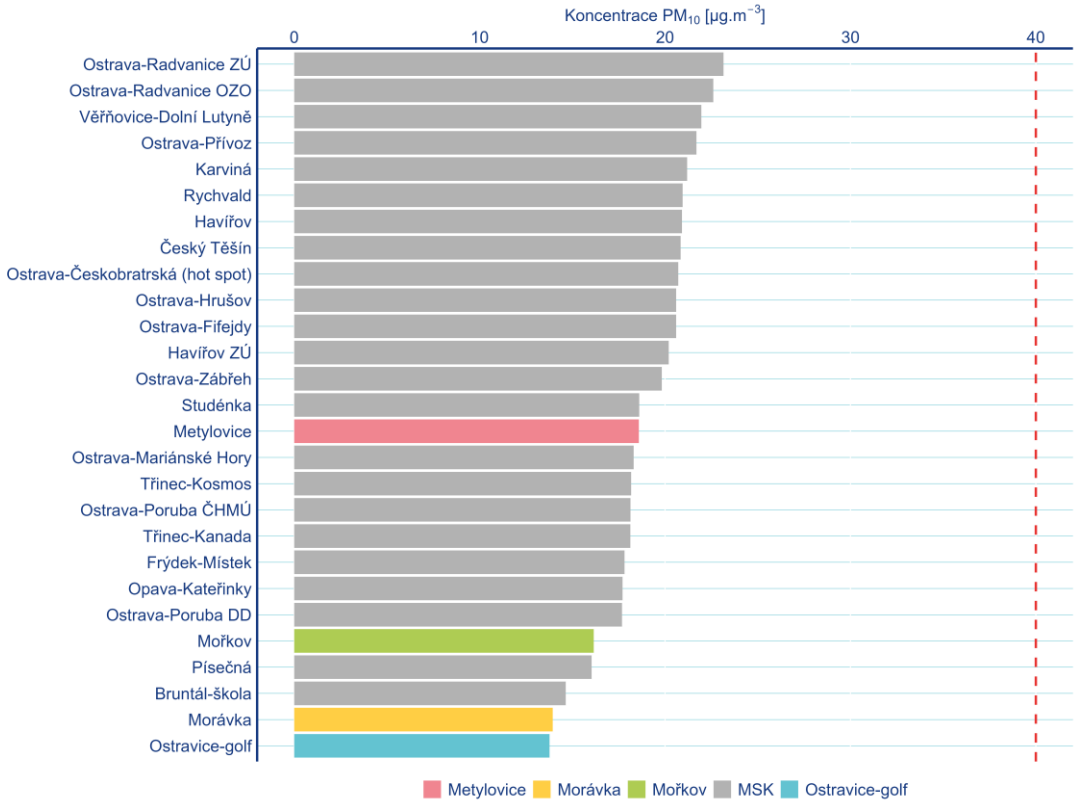
Limitní průměrná roční koncentrace 20 µg.m^{-3} pro $PM_{2,5}$ nebyla překročena ani na jedné stanici s měřením $PM_{2,5}$ (Ostravice-golf, Mosty u Jablunkova-Šance). Doporučená limitní hodnota roční průměrné koncentrace 10 µg.m^{-3} pro suspendované částice $PM_{2,5}$ dle WHO [WHO, 2021] byla na stanici Ostravice-golf překročena o 0,2 µg.m^{-3}, naopak na stanici Mosty u Jablunkova-Šance byla o 0,2 µg.m^{-3} nižší (Obr. 3, Tab. 2).

Tab. 2 Průměrné roční koncentrace PM, 2023

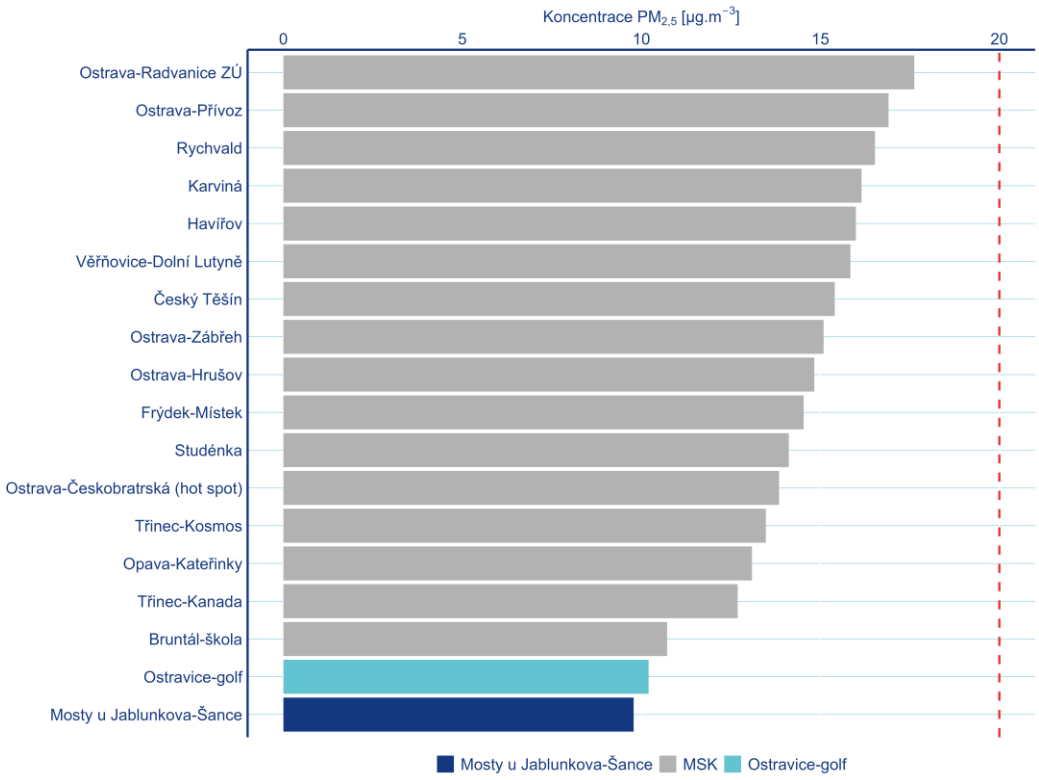
Veličina	TMJS	TMRK	TMRV	TMTY	TOSG	Limit
$PM_{2,5}$	9,8	-	-	-	10,2	20
PM_{10}	-	16,2	13,9	18,6	13,8	40

V porovnání průměrných ročních koncentrací PM_{10} s lokalitami stacionárního imisního monitoringu v Moravskoslezském kraji byly průměrné roční koncentrace na stanicích Ostravice-golf a Morávka nejnižší, na stanici Mořkov páté nejnižší. Z obvyklých koncentrací na venkovských lokalitách poněkud vybočila situace v Metylovicích, kde byla naměřena průměrná roční koncentrace PM_{10} vyšší než na některých ostravských stanicích, či v Třinci. Pro kontext, nejvyšší průměrné roční koncentrace PM_{10} byly naměřeny na obou stanicích v Ostravě-Radvanicích a na stanici Věřňovice-Dolní Lutyně.

V porovnání průměrných ročních koncentrací $PM_{2,5}$ s lokalitami stacionárního imisního monitoringu v MSK byly průměrné roční koncentrace na stanicích Ostravice-golf a Mosty u Jablunkova-Šance nejnižší. Pro kontext, nejvyšší průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$ v kraji byly naměřeny na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ.



Obr. 2 Průměrné roční koncentrace PM_{10} na stanicích v Moravskoslezském kraji, 2023

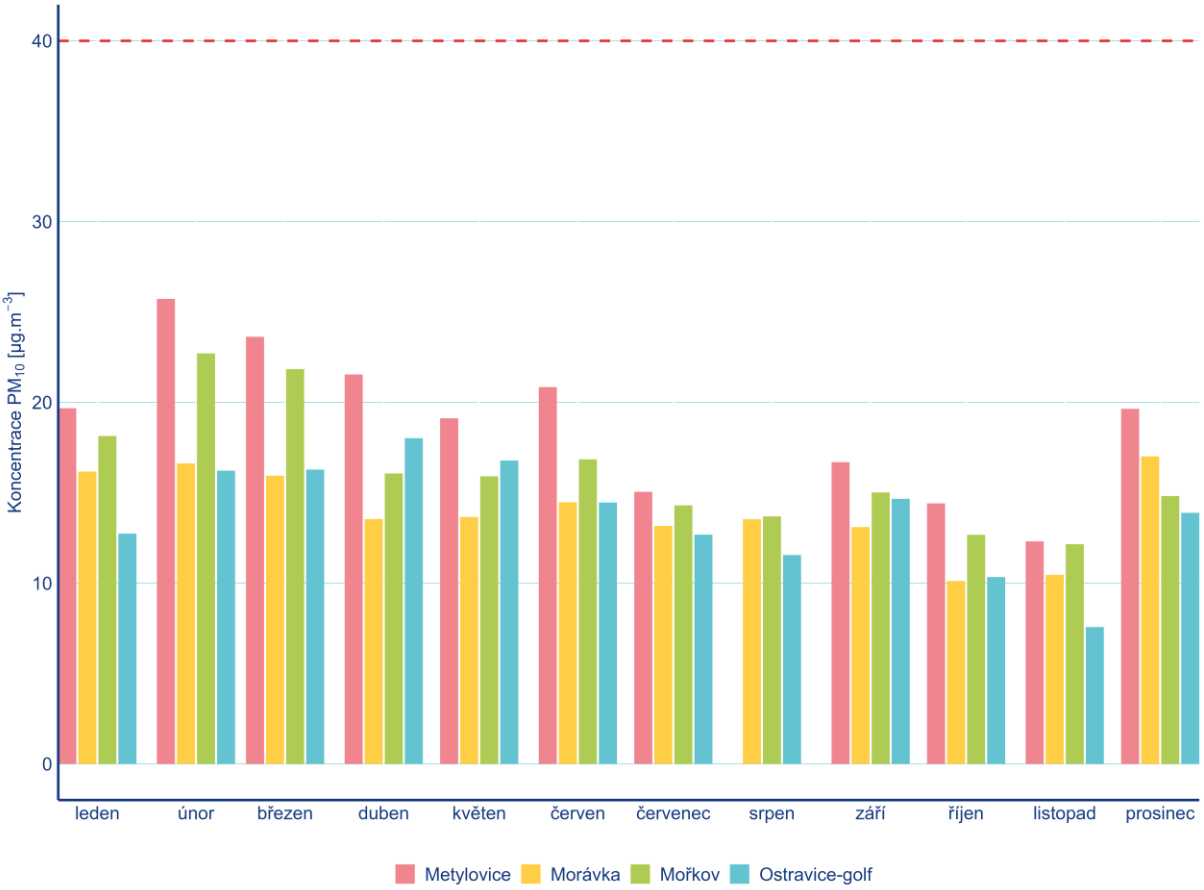


Obr. 3 Průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$ na stanicích v Moravskoslezském kraji, 2023

Roční chod průměrných měsíčních koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ je znázorněn na Obr. 4 a Obr. 5. Obecně vyšší průměrné koncentrace PM byly dosahovány v chladných měsících roku, nejvyšší koncentrace PM_{10} i $PM_{2,5}$ byly v únoru 2023. Naopak nejnižší průměrné měsíční koncentrace byly naměřeny v listopadu.

Počet dnů s překročením hodnoty denního imisního limitu 50 $\mu g.m^{-3}$ pro PM_{10} (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. Nadlimitní denní průměrné koncentrace PM_{10} se vyskytovaly v únoru, březnu a prosinci (Obr. 6–8). Maximální 24hodinové průměrné koncentrace PM_{10} jsou uvedeny v Tab. 3.

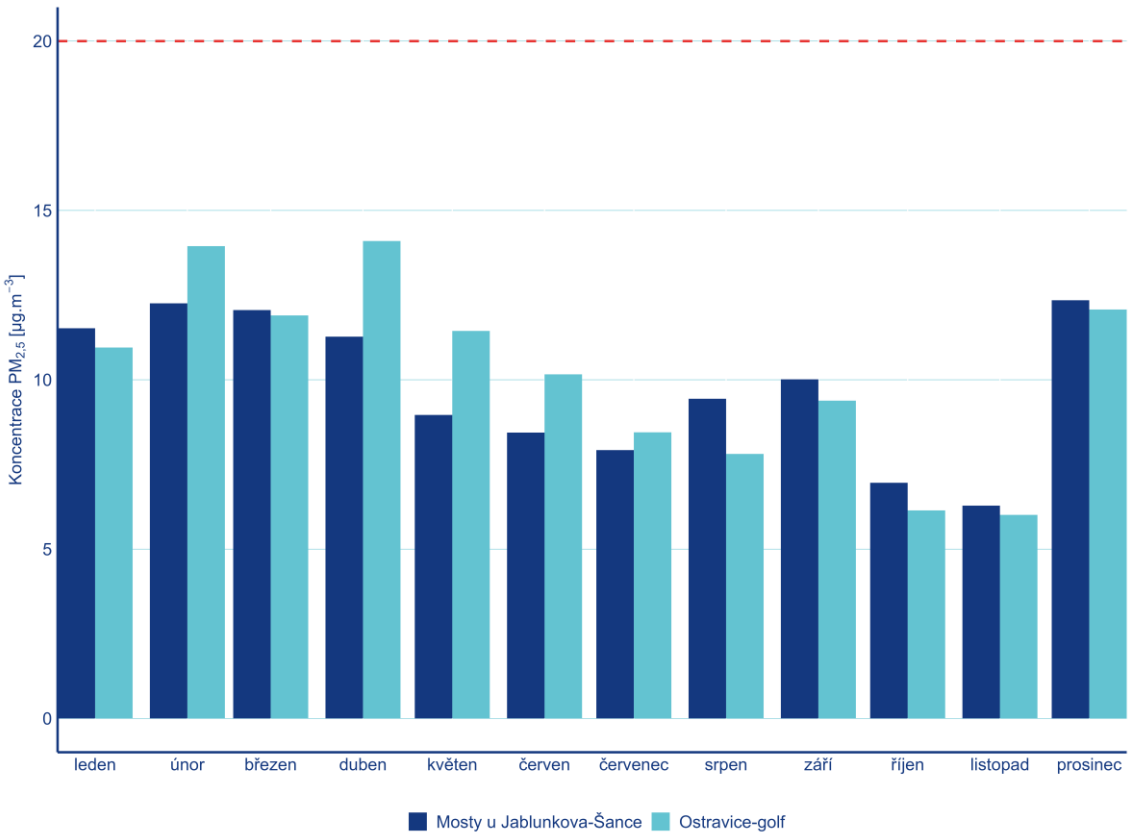
Statistické rozložení denních koncentrací PM_{10} i $PM_{2,5}$ na stanicích dokumentuje Obr. 9. Kromě znázorněných mediánových hodnot je zajímavý výskyt vysokých odlehlých hodnot denních koncentrací PM, které byly na stanicích dosaženy v chladné části roku 2023.



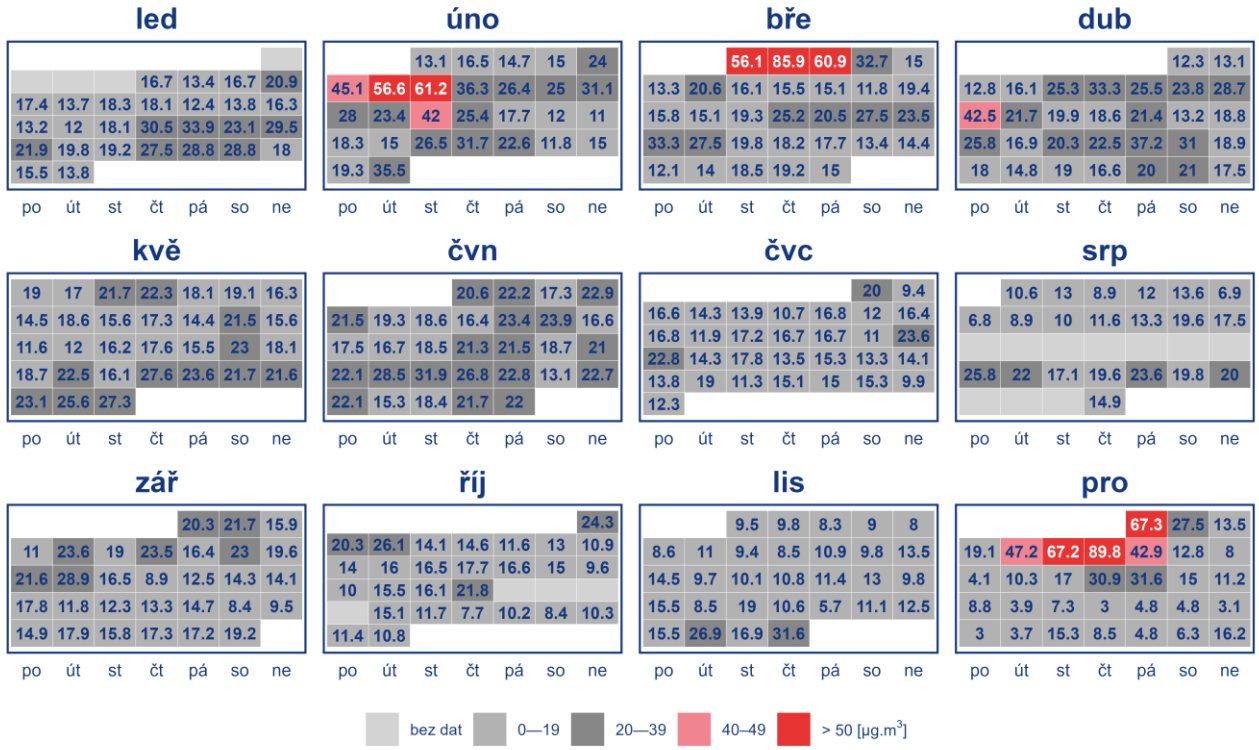
Obr. 4 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací PM_{10}, 2023

Tab. 3 Maximální denní koncentrace PM_{10}, 2023

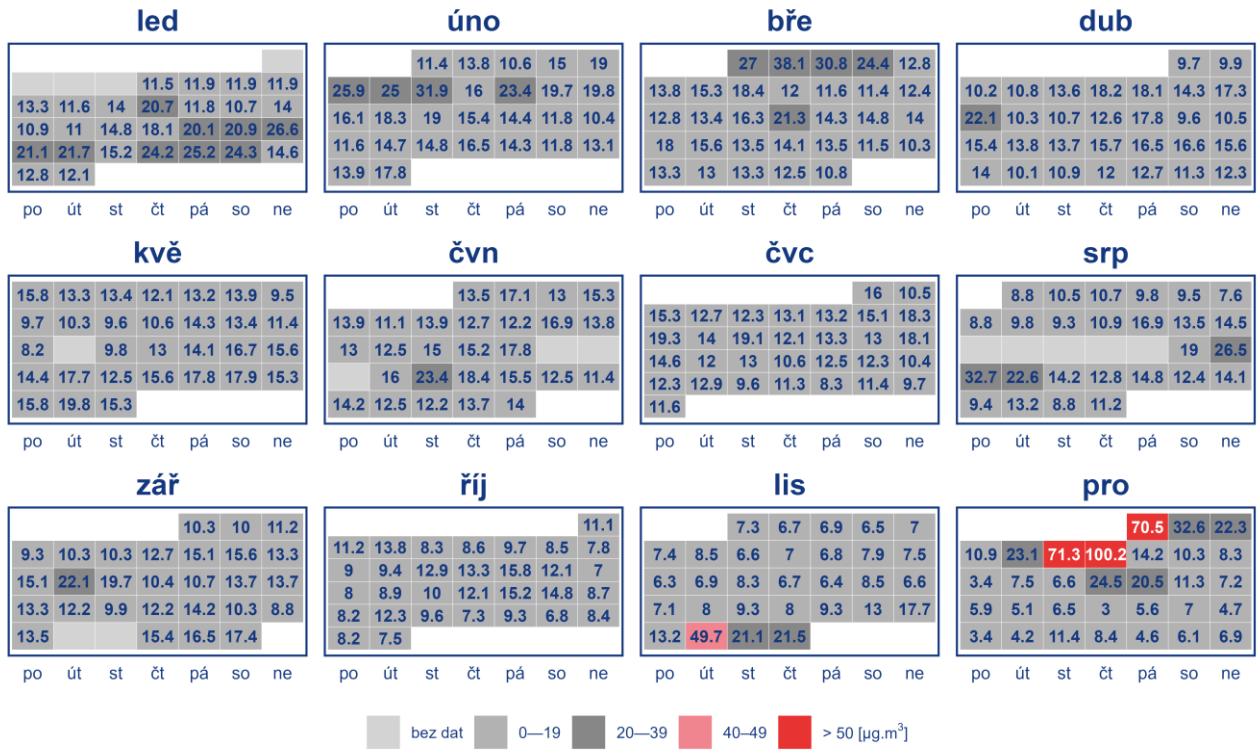
Stanice	Datum	Maximální koncentrace [µg.m^{-3}]
Ostravice-golf	7. 12. 2023	71.0
Metylovice	7. 12. 2023	89.8
Morávka	7. 12. 2023	100.2
Mořkov	2. 3. 2023	77.7



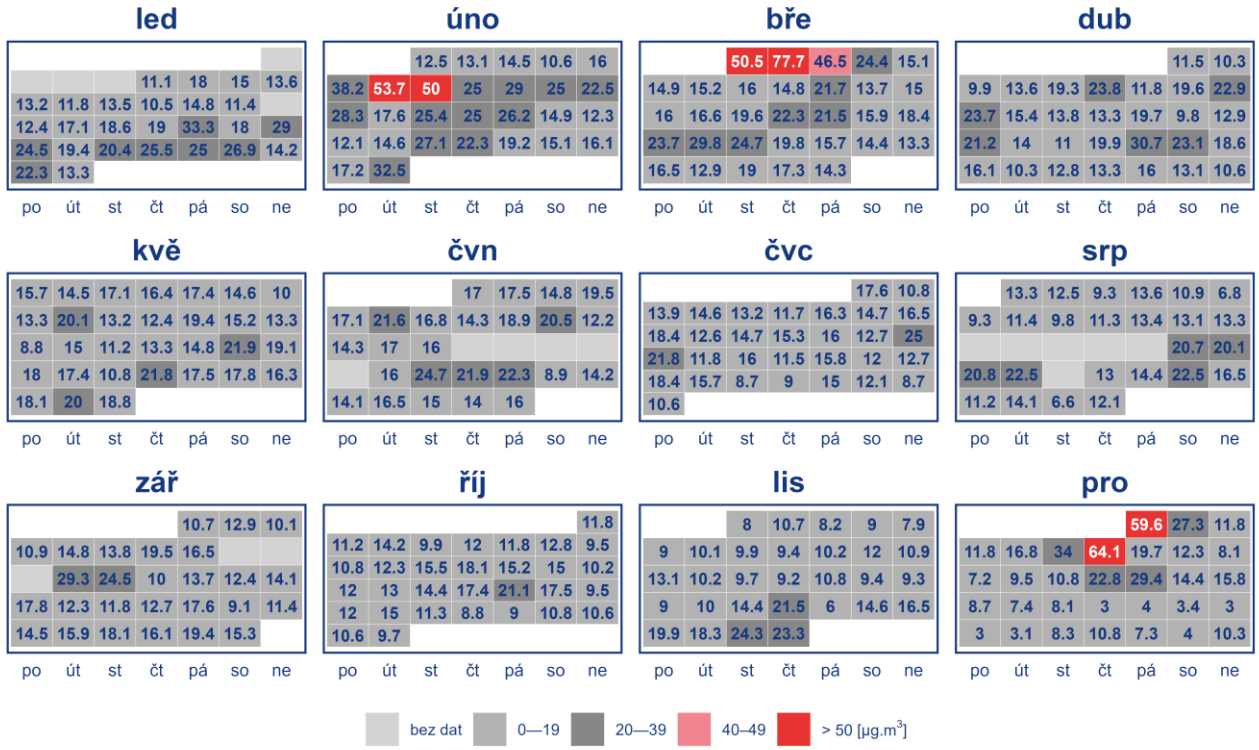
Obr. 5 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací $PM_{2,5}$, 2023



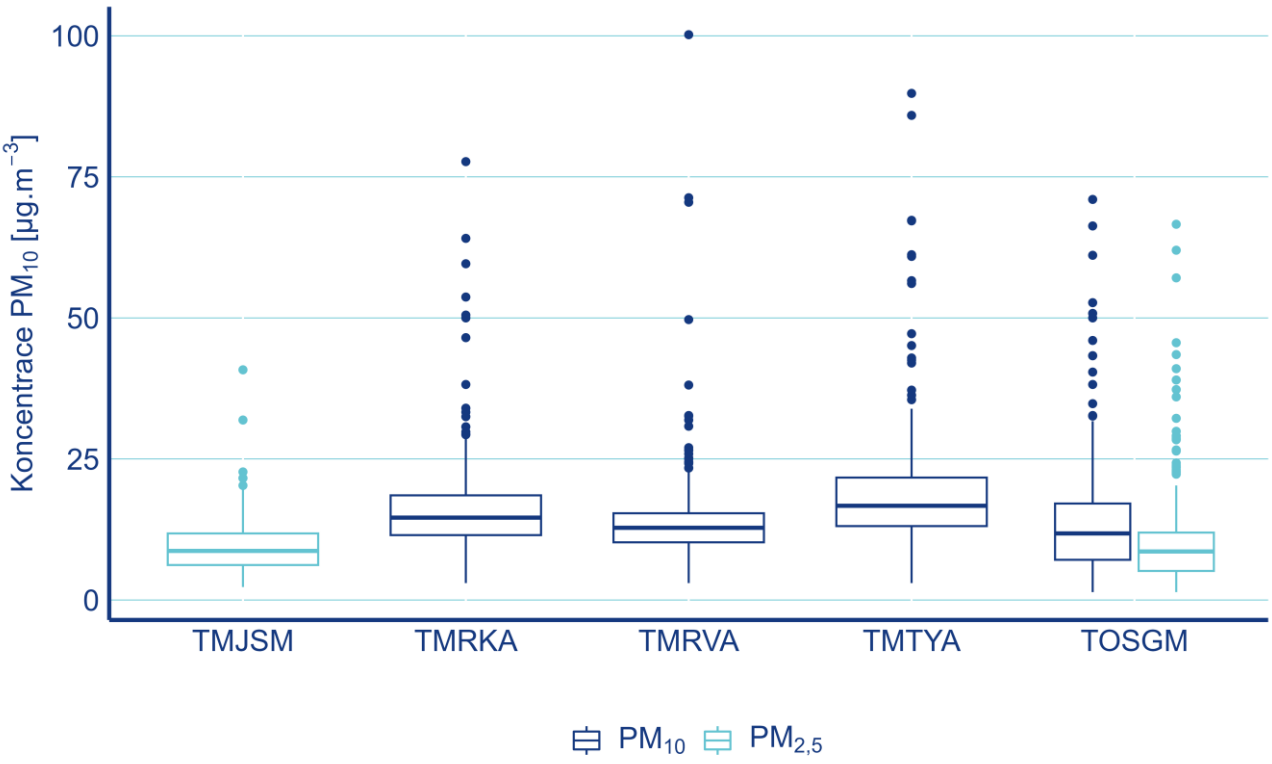
Obr. 6 Průměrné denní koncentrace PM_{10} na stanici Metylovice, 2023



Obr. 7 Průměrné denní koncentrace PM_{10} na stanici Morávka, 2023



Obr. 8 Průměrné denní koncentrace PM_{10} na stanici Mořkov, 2023



Obr. 9 Statistické rozložení denních koncentrací PM na stanicích v roce 2023

4.2. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)

Hodnota ročního imisního limitu pro celkový obsah benzo[a]pyrenu v částicích PM_{10} pro ochranu lidského zdraví je 1 ng.m^{-3} [ČR, 2012]. V lokalitách Metylovice, Morávka a Mořkov byl obsah BaP měřen v částicích PM_{10}, v lokalitě Ostravice-golf a Mosty u Jablunkova-Šance 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 PM_{10} a zjištěné roční koncentrace BaP v částicích $PM_{2,5}$ považujeme za vhodné porovnávat s platným ročním limitem. S ohledem na popsané intervaly měření v Tab. 1 v kap. 3.1 jsou vypočtené roční průměrné koncentrace BaP u stanic Metylovice, Morávka, Mořkov a Ostravice-golf pouze orientační. V lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance se standardním intervalem měření BaP každý 3. den v průběhu celého roku se jedná o plnohodnotný výsledek splňující kritéria pro porovnání s ročním limitem. Přes uvedené nejistoty byly všechny vypočtené průměrné koncentrace zařazeny do zpracování a orientačně porovnány s platným ročním limitem pro BaP.

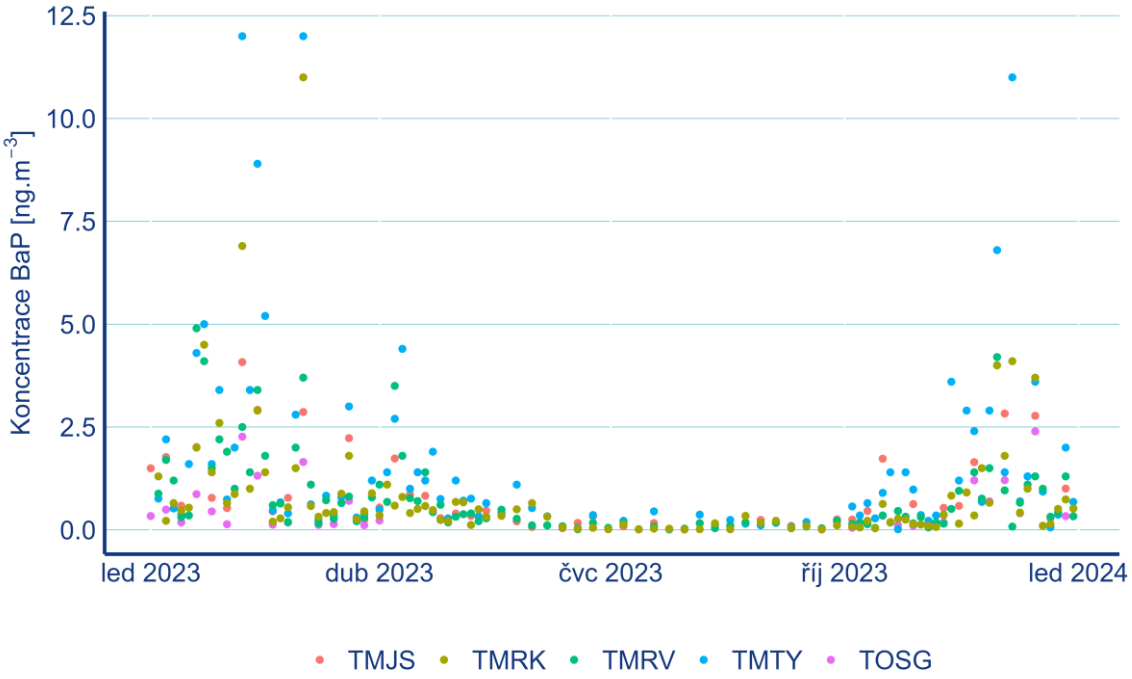
Hodnota ročního imisního limitu pro BaP byla překročena na stanici Metylovice (1,56 ng.m^{-3} v $PM_{2,5}$), na ostatních stanicích překročena nebyla (Mořkov - 0,84 ng.m^{-3} v PM_{10}, Morávka - 0,80 ng.m^{-3} v PM_{10}, Mosty u Jablunkova-Šance - 0,73 ng.m^{-3} v PM_{10}, Ostravice-golf - 0,55 ng.m^{-3} v $PM_{2,5}$). Nejvyšší roční koncentrace v roce 2023 na území Moravskoslezského kraje byla naměřena na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ (5,17 ng.m^{-3}). K překročení ročního limitu došlo přibližně na polovině lokalit sítě imisního monitoringu v Moravskoslezském kraji, kde je benzo[a]pyren rutinně stanovován v PM_{10} (Tab. 4). Jedná se tak o nejpříznivější výsledek za celou dobu měření.

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 letních měsících jsou koncentrace nejnižší.

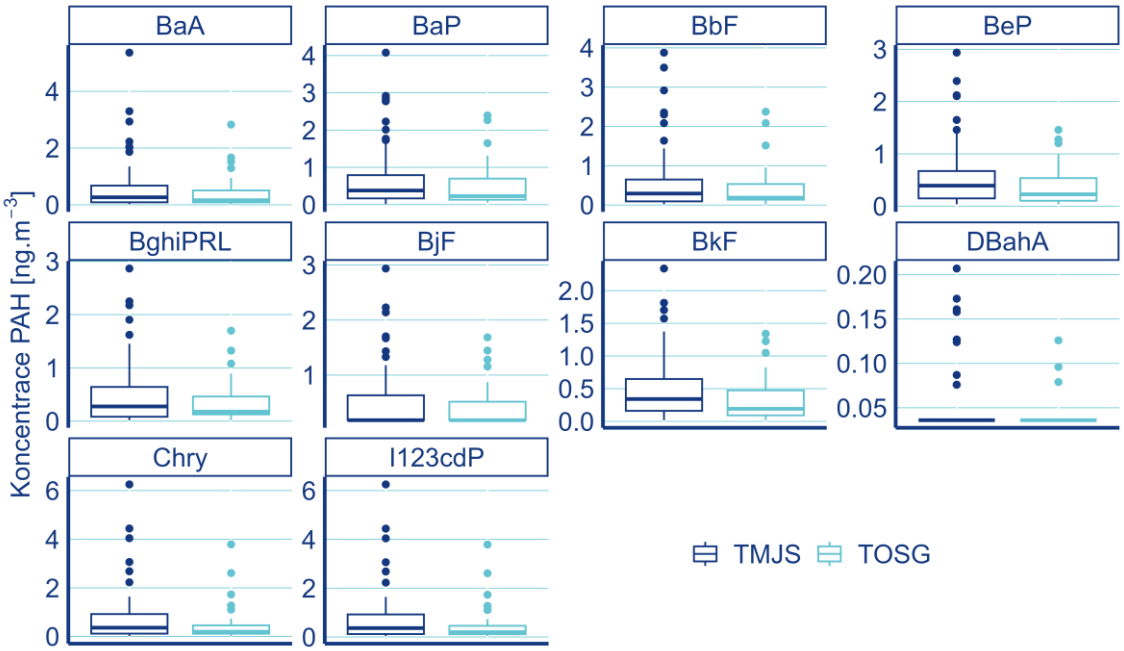
Statistické rozložení denních koncentrací (se znázorněním mediánových a odlehlých hodnot) jednotlivých PAH na stanicích Mosty u Jablunkova-Šance a Ostravice-golf je znázorněno na Obr. 11.

Tab. 4 Průměrná roční koncentrace BaP, 2023

2023	Průměrná roční koncentrace [ng.m^{-3}]
Ostrava-Radvanice ZÚ	5,17
Ostrava-Radvanice OZO	2,33
Ostrava-Hrušov	2,16
Metylovice	**1,56**
Karviná ZÚ	1,52
Český Těšín	1,49
Ostrava-Přívoz	1,47
Studénka	1,07
Opava-Kateřinky	0,94
Ostrava-Mariánské Hory	0,92
Ostrava-Poruba ČHMÚ	0,91
Mořkov	**0,84**
Morávka	**0,80**
Ostrava-Poruba DD	0,74
Mosty u Jablunkova-Šance	**0,73**
Ostravice-golf	**0,55**
Červená hora	0,16



Obr. 10 Chod průměrných denních koncentrací BaP v průběhu roku 2023 v zájmových lokalitách



Obr. 11 Statistické rozložení denních koncentrací PAH na stanicích Mosty u Jablunkova-Šance (TMJS) a Ostravice-golf (TOSG), 2023

4.3. Těžké kovy (TK)

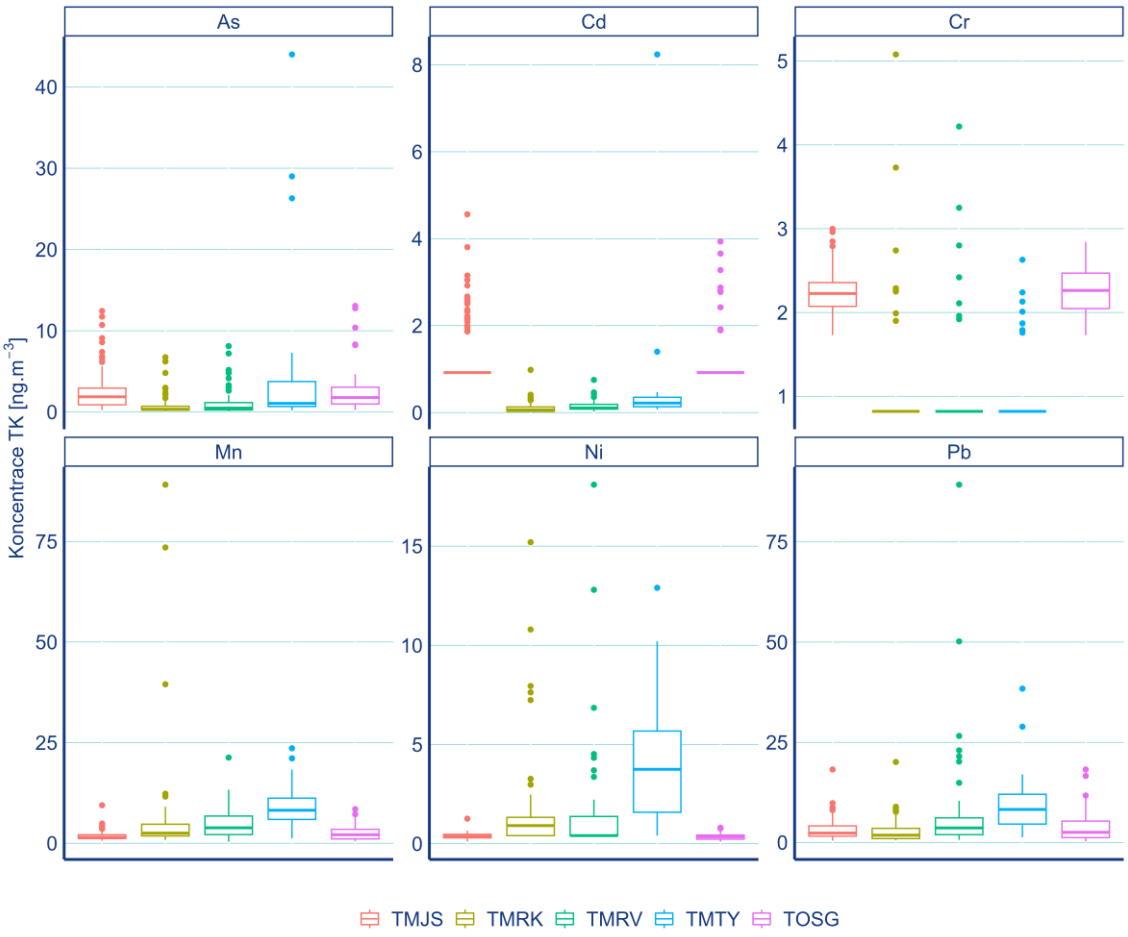
Měření těžkých kovů probíhalo na všech zájmových lokalitách. Stejně jako u BaP byl v lokalitách Metylovice, Morávka a Mořkov obsah TK měřen v částicích PM_{10}, v lokalitě Ostravice-golf a Mosty u Jablunkova-Šance v částicích $PM_{2,5}$ (Tab. 1 v kap. 3.1). Rozdílné byly rovněž analytické metody měření. Vzorky ze stanic Metylovice, Morávka a Mořkov byly analyzovány referenční metodou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS), vzorky ze stanic Mosty u Jablunkova-Šance a Ostravice-golf byly analyzovány pomocí rentgenové fluorescence (XRF). Metoda 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 nedostupnost vzorků těžkých kovů z lokality Metylovice za měsíce červen, červenec, říjen, listopad a prosinec (viz kap. 3.1) zde nelze vypočítat plnohodnotný roční průměr, jedná se pouze o orientační hodnotu. I při zohlednění této nejistoty lze konstatovat, že výrazně nejvyšší koncentrace sledovaných kovů s výjimkou kadmia a chromu byly naměřeny v obci Metylovice. Znečištění těžkými kovy v ostatních hodnocených lokalitách bylo v rámci nejistot měření vzájemně podobné.

Průměrné koncentrace chromu a kadmia v lokalitách Metylovice, Morávka a Mořkov (měření metodou ICP-MS) byly oproti hodnotám ze stanic Ostravice-golf a Mosty u Jablunkova-Šance

(měření metodou XRF) výrazně nižší. V obou případech, zejména ale v případě kadmia, se jedná o prvky, které jsou v návaznosti na omezení metody XRF v lokalitách Ostravice-golf a Mosty u Jablunkova-Šance pravděpodobně nesprávně změřeny, a nebyly proto v předkládané zprávě brány v potaz při vyhodnocení ani při formulaci závěrů.

S přihlédnutím k výše uvedeným nejistotám nepředpokládáme vysoké roční průměry těžkých kovů ani překročení některého z platných limitů [ČR, 2012] na žádné ze zájmových lokalit.

Na Obr. 12 je prezentováno statistické rozdělení dostupných denních koncentrací jednotlivých těžkých kovů v zájmových lokalitách.

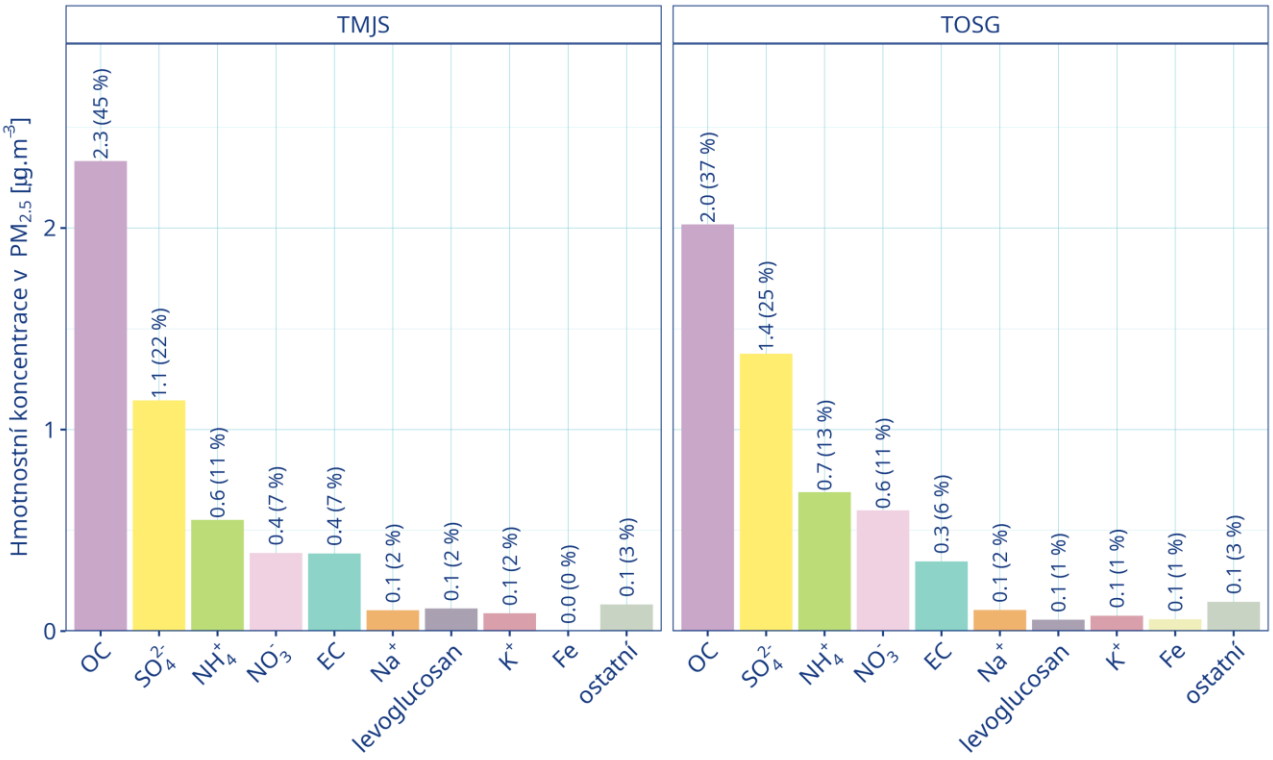


Obr. 12 Statistické rozložení denních koncentrací TK v zájmových lokalitách, 2023

5. Příčiny znečištění

5.1. Hlavní složky aerosolu

V lokalitách Mosty u Jablunkova-Šance a Ostravice-golf byly pro identifikaci příčin znečištění provedeny širokospektrální analýzy, které umožnily určit chemické složení suspendovaných částic $PM_{2,5}$ (viz Obr. 13).

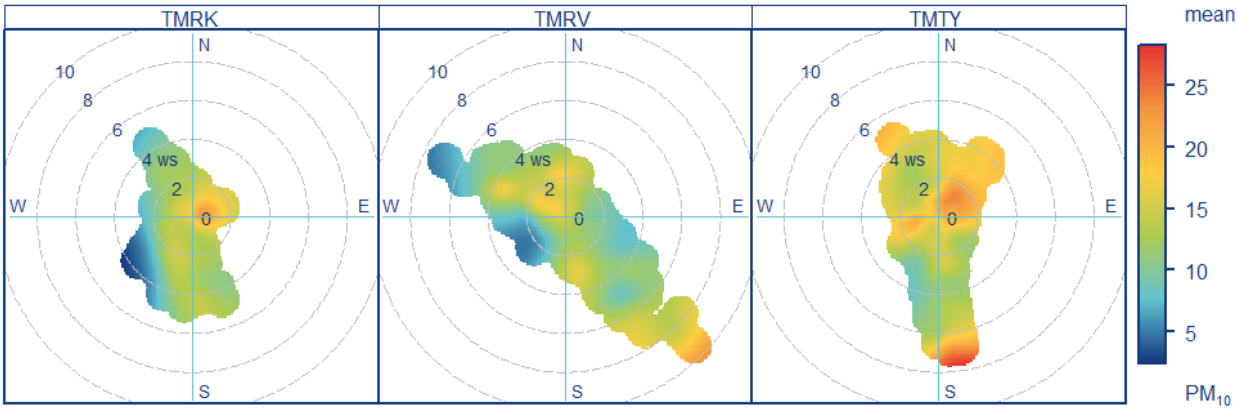


Obr. 13 Hlavní složky $PM_{2,5}$

Podobně jako je obvyklé v jiných lokalitách ČR byl aerosol $PM_{2,5}$ tvořen především organickým uhlíkem a sírany. Tyto složky spolu tvořily nadpoloviční hmotnostní podíl v $PM_{2,5}$, v Mostech u Jablunkova dokonce cca 2/3. Významné byly také amonné ionty, dusičnany a elementární uhlík. Z prvků přesáhly podíl 1 % hmoty aerosolu pouze sodík, draslík a železo, a z organických sloučenin levoglucosan. Na základě dřívějších identifikací příčin znečištění lze konstatovat, že Mosty u Jablunkova se vyznačovaly přibližně polovičním podílem dusičnanů, než bývá obvyklé v urbanizovanějších oblastech. Souvisí to s výrazným pozaďovým charakterem této relativně vysoko položené lokality (cca 600 m n. m.), díky kterému zde má menší vliv automobilová doprava, nejvýznamnější zdroj oxidů dusíku (prekurzorů dusičnanů).

5.2. Imisně-meteorologické hodnocení

Pro stanice Mořkov, Morávka a Metylovice byly zpracovány polární grafy (Obr. 14) se znázorněním průměrných koncentrací PM_{10} při určitém směru a rychlosti větru. Jednotlivé lokality se liší s ohledem na různé orografické podmínky, s tím související i jinou četnost směru a rychlosti větru v lokalitách a umístěním v rámci obcí, tedy i vlivu různých zdrojů znečišťování. Nejvyšší koncentrace PM_{10} v roce 2023 na stanici Mořkov přicházely na stanici ze severovýchodního až východního směru od stanice při rychlostech do 1 $m.s^{-1}$. Stanice Morávka byla nejvyššími koncentračními příspěvky PM_{10} ovlivněná z jihovýchodního směru při vyšších rychlostech větru (kolem 10 $m.s^{-1}$), při nízkých rychlostech větru do 2 $m.s^{-1}$ ze severozápadního sektoru od stanice. Na stanici v Metylovicích přicházely nejvyšší průměrné koncentrace PM_{10} z jižního směru od stanice při rychlostech větru kolem 7 $m.s^{-1}$, dále při rychlostech do 2 $m.s^{-1}$ z celého severovýchodního sektoru, případně ze západního směru od stanice.



Obr. 14 Polární grafy koncentračních příspěvků PM_{10} v roce 2023, Mořkov (TMRK), Morávka (TMRV), Metylovice (TMTY) – hodnoty v $\mu g.m^{-3}$

Pro potřeby hodnocení 24hodinových koncentrací PM_{10}, $PM_{2,5}$ a BaP v závislosti na směru větru byla použita metodika stanovení denního typu směru proudění (DTP) popsaná v kap. 3.3.

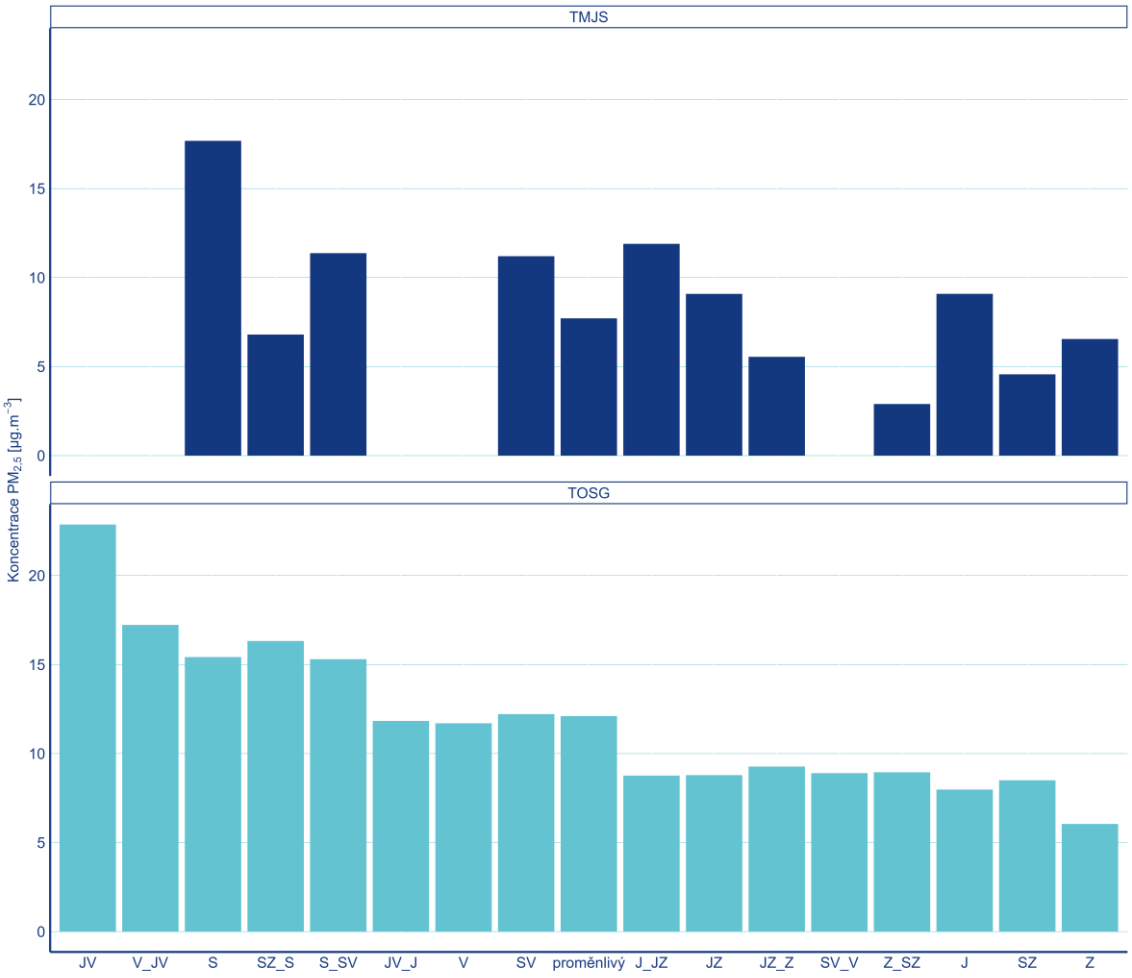
Na Obr. 15 jsou znázorněny průměrné koncentrace PM_{10} pro jednotlivé vypočtené DTP. Z obrázků je patrné, že všechny DTP pro lokality nejsou dostupné, nemohly být spočítány. Důvodem jsou rozdílné podmínky v lokalitách zvláště s ohledem na rozdílnou orografii, zástavbu a samozřejmě meteorologické podmínky. V lokalitě Mořkov byly zaznamenány nejvyšší průměrné koncentrace PM_{10} 24,7 $\mu g.m^{-3}$ při denním typu proudění z V, dále 23,2 $\mu g.m^{-3}$ ze SV–V směru a 22,8 $\mu g.m^{-3}$ ze Z směru od stanice. V Morávce byl jednoznačně nejvyšší průměr PM_{10} 34,5 $\mu g.m^{-3}$ při bezvětří, při ostatních vypočtených DTP se jednalo zhruba o podobnou průměrnou koncentraci PM_{10} mezi 10 až 15 $\mu g.m^{-3}$. V Metylovicích došlo k naměření nejvyšších koncentrací PM_{10} 23,6 $\mu g.m^{-3}$ při proměnlivém proudění, dále pak 22,8 $\mu g.m^{-3}$ při SV a 22,5 $\mu g.m^{-3}$ V až JV denním typu proudění. Na stanici Ostravice-golf nebyl zaznamenán žádný denní typ proudění s bezvětřím. Nejvyšší průměrné koncentrace na stanici přicházely při DTP z JV směru.

Obr. 16 prezentuje průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ při jednotlivých DTP na stanicích Mosty u Jablunkova-Šance (TMJS) a Ostravice-golf (TOSG). Nejvyšší průměrná koncentrace $PM_{2,5}$ 17,7 $\mu g.m^{-3}$ v TMJS byla dosažena při DTP ze severu, v TOSG 22,9 $\mu g.m^{-3}$ při DTP z JV směru.

Na Obr. 17 jsou zobrazeny průměrné koncentrace BaP při jednotlivých DTP ve všech lokalitách. V Mostech u Jablunkova-Šance byla nejvyšší průměrná koncentrace BaP 1,8 $ng.m^{-3}$ zjištěna při severním DTP, přestože se nejčastěji vyskytoval DTP proměnlivý a J–JZ. V Mořkově byla nejvyšší průměrná koncentrace BaP 3,0 $ng.m^{-3}$ identifikována při DTP z východu, přestože nejčetnějším DTP bylo bezvětří a dále směr z JZ. V Morávce byla nejvyšší průměrná koncentrace BaP 1,3 $ng.m^{-3}$ zjištěna při DTP ze západního směru (dále pak při DTP ze Z–SZ a při proměnlivém proudění), přičemž jednoznačně nejčetnějším DTP byl směr JV. V Metylovicích byla nejvyšší koncentrace BaP 2,8 $ng.m^{-3}$ zjištěna při DTP ze SV, 2,5 $ng.m^{-3}$ ze S a 2,1 $ng.m^{-3}$ při bezvětří, ale nejčetnějším prouděním byl DTP z J. V lokalitě Ostravice-golf byla nejvyšší průměrná koncentrace BaP 1,7 $ng.m^{-3}$ zjištěna při proměnlivém proudění a 1,6 $ng.m^{-3}$ při proudění z JV, přestože výrazně nejčetnější proudění pocházelo ze západu.

Podrobnější informace o závislosti koncentrací jednotlivých škodlivin na DTP poskytují Tabulky v Příloze 6–8. V tabulkách je prezentováno, jaká byla četnost proudění z jednotlivých směrů (a četnost výskytu DTP: proměnlivý a bezvětří) 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_{10}, % $PM_{2,5}$ a % BaP).

Obr. 15 Průměrné koncentrace PM_{10} v roce 2023, Mořkov (TMRK), Morávka (TMRV), Metylovice (TMTY), Ostravice-golf (TOSG)



Obr. 16 Průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ v roce 2023, Mosty u Jablunkova-Šance (TMJS) a Ostravice-golf (TOSG)

Obr. 17 Průměrné koncentrace BaP v roce 2023, Mosty u Jablunkova-Šance (TMJS), Mořkov (TMRK), Morávka (TMRV), Metylovice (TMTY), Ostravice-golf (TOSG)

5.3. Receptorový model PMF

Naměřené koncentrace sledovaných prvků a sloučenin v lokalitách Mosty u Jablunkova-Šance (TMJS) a Ostravice-golf (TOSG) byly použity jako vstup do matematického modelu PMF. Výsledkem modelu jsou faktory, které zde ovlivňovaly kvalitu ovzduší, a podíl těchto faktorů na celkové koncentraci $PM_{2,5}$. Stabilita modelu byla na základě testů bootstrap (BS) a displacement (DISP) vyhodnocena jako velmi dobrá. BS test s >97 % shodných běhů pro faktor reprezentující vytápění uhlím a 100 % shodu u ostatních faktorů prokázal nízkou míru nejistoty a dobrou reprodukovatelnost faktorů. Podle DISP testu je rotační nejistota modelového řešení nulová.

3.1.1. Faktory kvality ovzduší

Modelem PMF bylo identifikováno 8 faktorů, které ovlivňovaly koncentraci $PM_{2,5}$, a jsou popsány v následujícím textu.

NH4NO3

Zimní typ aerosolu, tvořený převážně dusičnanem amonným a pravděpodobně také chloridem amonným. Přibližně o čtvrtinu vyšší příspěvek tohoto faktoru byl zjištěn v lokalitě Ostravice-golf. Na vzniku tohoto sekundárního aerosolu se v hodnocených lokalitách podílely především emise z vytápění domácností.

NH4SO4

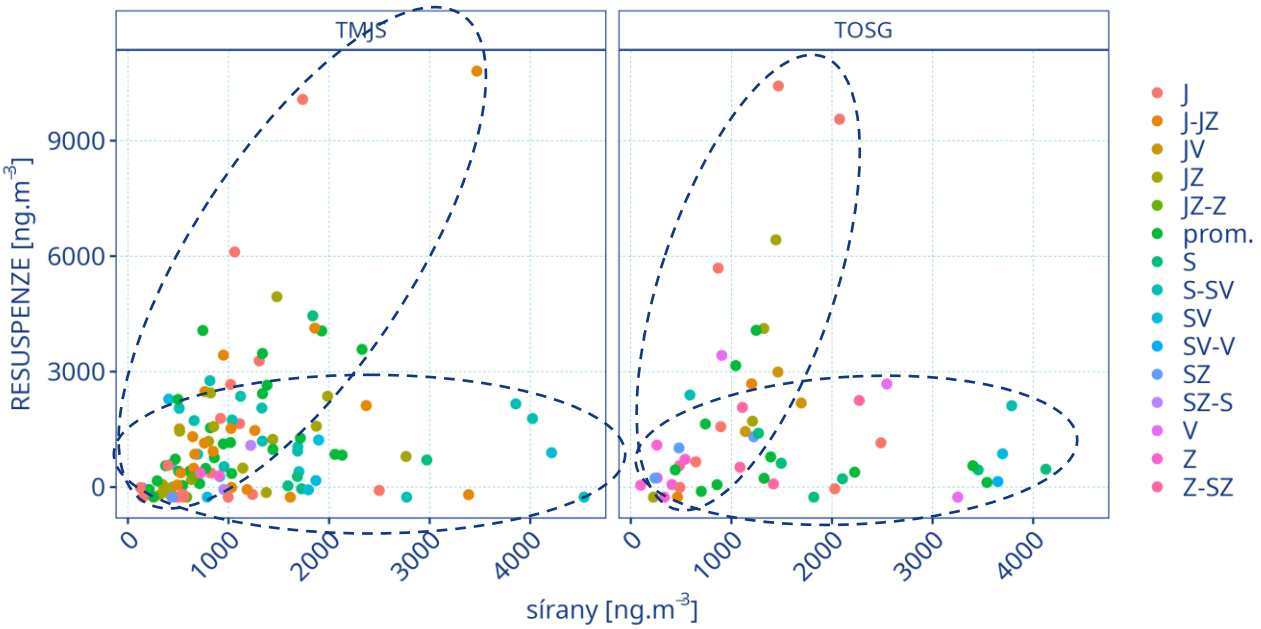
Celoročně stálý příspěvek síranu amonného, doprovázený selenem, vanadem a arsenem. V ročním průměru podobný příspěvek v obou lokalitách, v Ostravici mírně vyšší na jaře a v zimě. Reprezentuje sekundární částice vznikající především vlivem z průmyslového spalování uhlí, dominantně v energetice, menšinu tvoří spalování uhlí v domácnostech.

OCELÁŘSTVÍ

Celoročně stálý příspěvek znečištění, tvořený částicemi železa, manganu, zinku, olova a dalších kovů, které jsou doprovázeny několikanásobně nižším množstvím síranů, než v případě faktoru NH4SO4. Mírně vyšší podíl faktoru byl zjištěn v lokalitě Ostravice. Faktor reprezentuje převážně primární částice z hutní prvovýroby.

RESUSPENZE

Částice vyskytující se nejvíce v létě a na podzim s minimem v zimě. Z hlediska relativního zastoupení prvků jsou tvořeny nejvíce křemíkem, vápníkem, titanem, baryem a železem. Hmotnostně ve faktoru převažují sírany, vyskytující se v násobně nižších koncentracích oproti faktoru NH4SO4, a nízkoteplotní uhlíkaté částice. Asi o čtvrtinu vyšší faktorový příspěvek byl zjištěn v lokalitě Ostravice. Minerální složení faktoru zřetelně ukazuje na větrem vířené primární částice z půdy a zpevněných ploch, které ale nejsou transportovány samostatně. Z Obr. 18 vyplývá, že při vysokých příspěvcích faktoru RESUSPENZE a proudění z jižních směrů byly imisní příspěvky síranů nanejvýše středně vysoké. Naopak při proudění od S až SV, kde jsou provozovány regionálně významné hutní a energetické zdroje SO_2, dosahovaly sírany nejvyšších koncentrací, ale faktorový příspěvek byl spíše nízký. Faktor je tedy v obou lokalitách složen ze dvou různých typů znečištění. Čistě minerálních částic z jižních směrů a minerálních částic ve spojení se sírany a uhlíkem ze severu a severovýchodu. Vlivem agregace částic v ovzduší slouží část síranu amonného pravděpodobně jako nosič primárních resuspendovaných částic. Faktor reprezentuje směs primárních místních minerálních částic z půdy, a složením a původem stejných částic z větších vzdáleností, které se ale spolu s uhlíkatými částicemi přichytily na krystalech sekundárního síranu amonného během regionálního transportu.



Obr. 18 Imisní příspěvek faktoru RESUSPENZE ve vztahu ke koncentraci síranů a směru větru.

SŮL

Faktor s celoročně stálým imisním příspěvkem, z hlediska relativního zastoupení dominantně tvořený sodíkem a hořčíkem, s násobně nižším podílem vysokoteplotního uhlíku a chloru. Z důvodu stejných mechanizmů, jaké jsou popsány u faktoru RESUSPENZE je většina hmoty faktoru tvořena síranem a dusičnanem amonným, na které jsou nasedlé částice chloridu sodného a uhlíku. Jedná se o degradovanou mořskou sůl, která doprovází sírany, dusičnany a uhlíkaté částice, dálkově transportované z přímořských oblastí.

VYS_TEPL_C

Celoročně se vyskytující typ znečištění se zvýšenými hodnotami v teplé části roku, s velmi nízkou kolísavostí. V procentuálním i hmotnostním zastoupení ve faktoru převažují vysokoteplotní uhlíkaté částice a menší podíl síranu amonného. Ve srovnání s ostatními faktory jsou zde relativně zvýšeny obsahy vanadu, manganu, selenu, mědi, sodíku a hořčíku, což naznačuje spojitost s průmyslovým spalováním fosilních paliv, popř. lodní dopravou, slabě je indikován přímořský původ. Z časového chodu faktorového příspěvku je zřejmý nadregionální původ. Faktor se vyskytuje ve všech modelech PMF zpracovaných ČHMÚ v posledních letech v rámci ČR. Z ročního chodu je zřejmý významný vliv fotochemických procesů na vznik tohoto znečištění. Analýza velikosti faktorového příspěvku při různých směrech větru (viz níže) neukazuje průkazně na žádnou zdrojovou oblast. Interpretace proto není jednoznačná. Může se jednat o smíšený faktor silně degradovaného dálkově přenášeného aerosolu a sekundárního organického aerosolu, který vzniká lokálně i během dálkového transportu.

VYT_BIOMASA

Faktor se vyznačuje nulovými modelovými příspěvky mimo topnou sezonu a silně kolísavými v topné sezoně, s výrazně vyššími hodnotami v závěru roku oproti jeho začátku, a také s násobně vyššími příspěvky v Mostech u Jablunkova oproti Ostravici. Ve faktorovém profilu jednoznačně

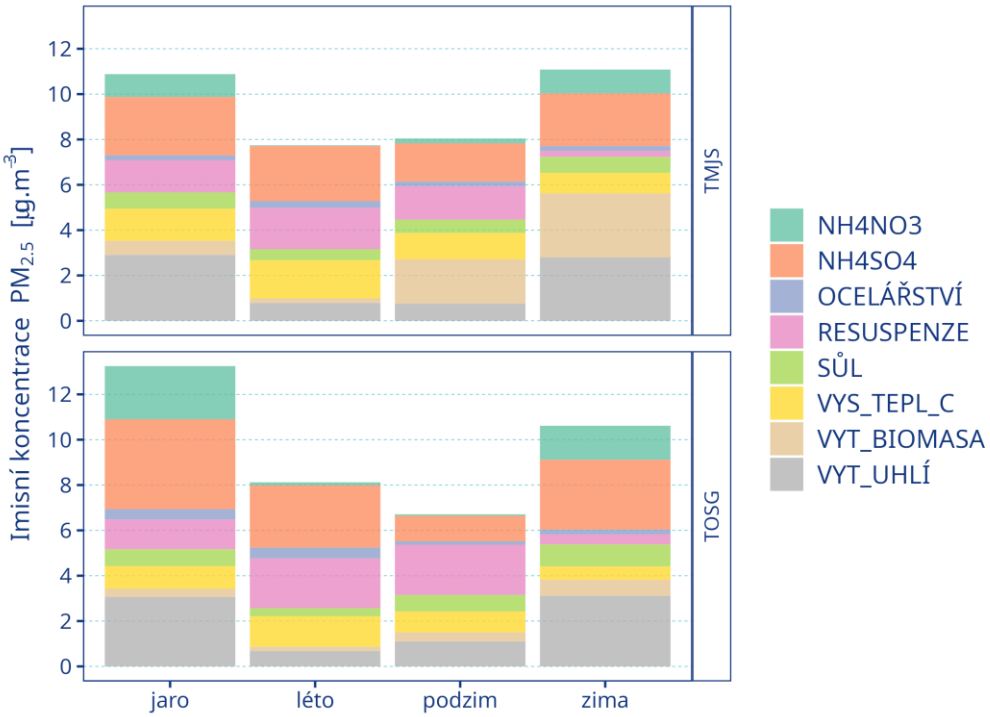
procentuálně dominují anhydrosacharidy, jejichž obsah hmotnostně předčí pouze nízkoteplotní uhlík. Druhé nejvyšší zastoupení ze všech faktorů zde mají PAH. Poměr BaP/BeP naznačuje nízký stupeň degradace, a tedy lokální původ. Faktor reprezentuje převážně primární částice pocházející převážně z vytápění domácností biomasou.

VYT_UHLÍ

Nejvyšší imisní příspěvky tohoto faktoru byly vypočteny v topné sezoně na začátku roku. Mimo topnou sezonu byl faktorový imisní příspěvek zanedbatelný. Relativně velmi nízký oproti lednu a únoru a jaru zůstal i v závěru roku. Hmotnostně ve faktoru dominuje nízkoteplotní uhlík s méně významnými sírany, relativně nejvyšší zastoupení ze všech faktorů zde mají PAH. Poměr BaP/BeP je výrazně nižší než u faktoru VYT_BIOMASA, což naznačuje delší dobu zdržení v atmosféře, a tedy větší vzdálenost od zdroje. Relativně i absolutně významné zastoupení mají As, Zn, Cu, Pb. Jedná se o lokální až regionální znečištění z vytápění domácností uhlím.

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

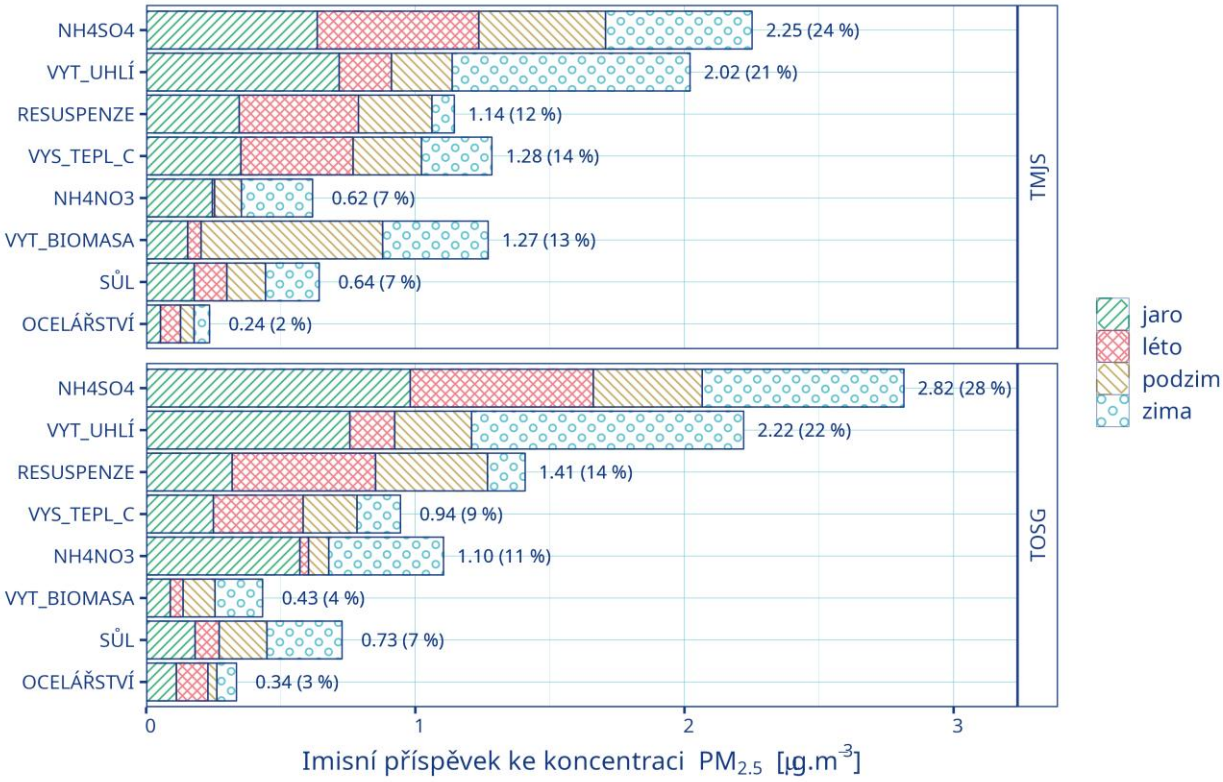
Skládaný graf podílu identifikovaných faktorů na koncentraci $PM_{2,5}$ je obsahem Obr. 19.



Obr. 19 Sezonní chod a podíl identifikovaných faktorů na koncentraci $PM_{2,5}$

Celková imisní koncentrace $PM_{2,5}$ se vyznačuje o cca třetinu vyššími (Mosty u Jablunkova) až dvojnásobnými (Ostravice) hodnotami v zimním období oproti letním a teplým podzimním měsícům. Za tímto rozdílem stojí zejména lokální faktory reprezentující primární částice z vytápění domácností, ale je zřejmé, že i sekundární anorganické aerosoly (nejen dusičnan, ale v Ostravici i síran amonný dosahovaly v zimě výrazně vyšších příspěvků). Příspěvky resuspenze a fotochemicky indukovaných uhlíkatých částic byly vyšší v teplých měsících, ale jejich celkový vliv nebyl zdaleka tak významný, jako nárůst zmíněných zimních faktorů.

Představu o vyhodnocených příčinách znečištění ovzduší $PM_{2,5}$ umožňuje také Obr. 20.



Obr. 20 Podíl identifikovaných faktorů na koncentraci $PM_{2,5}$

V obou lokalitách tvořil přibližně čtvrtinu znečištění sekundární síran amonný pocházející převážně z průmyslu, který tak byl nejvýznamnějším zdrojem znečištění $PM_{2,5}$. Druhý a třetí nejvýznamnější typ znečištění, kterými jsou vytápění domácností uhlím a resuspenze půdních částic, se na průměrné roční koncentraci $PM_{2,5}$ podílely v obou lokalitách cca 20 %, resp. mezi 10 a 15 %. V lokalitě Mosty u Jablunkova byl vypočten výrazně vyšší podíl vysokoteplotního uhlíkatého aerosolu (14 % oproti 9 % v Ostravici), což může být způsobeno vyšší intenzitou slunečního svitu (vyšším podílem fotochemicky indukovaného sekundárního organického aerosolu) a intenzivnějším dálkovým transportem znečištění ve vyšších nadmořských výškách. Podíl dusičnanu amonného (faktor NH4NO3) se mezi lokalitami také výrazně lišil, ale s vyšším absolutním relativním příspěvkem v Ostravici (11 % oproti 7 % v Mostech u Jablunkova), pravděpodobně ve vazbě na vyšší vliv dopravních oxidů dusíku v této lokalitě. Vytápění domácností biomasou přispívalo ke koncentraci $PM_{2,5}$ podle modelu třikrát více v Mostech u Jablunkova oproti Ostravici (cca 13 % oproti cca 4 %), což je způsobeno vyšším slovenským příspěvkem tohoto typu znečištění (viz níže). V obou lokalitách mělo ovšem vytápění biomasou výrazně slabší vliv, než vytápění uhlím. Vypočtený relativní příspěvek dálkového transportu mořského aerosolu dosáhl v obou lokalitách 7 %. Nejméně významný z hlediska relativního i absolutního podílu byl v obou lokalitách příspěvek hutní výroby (nižší jednotky %).

3.1.3. Zdrojové oblasti znečištění

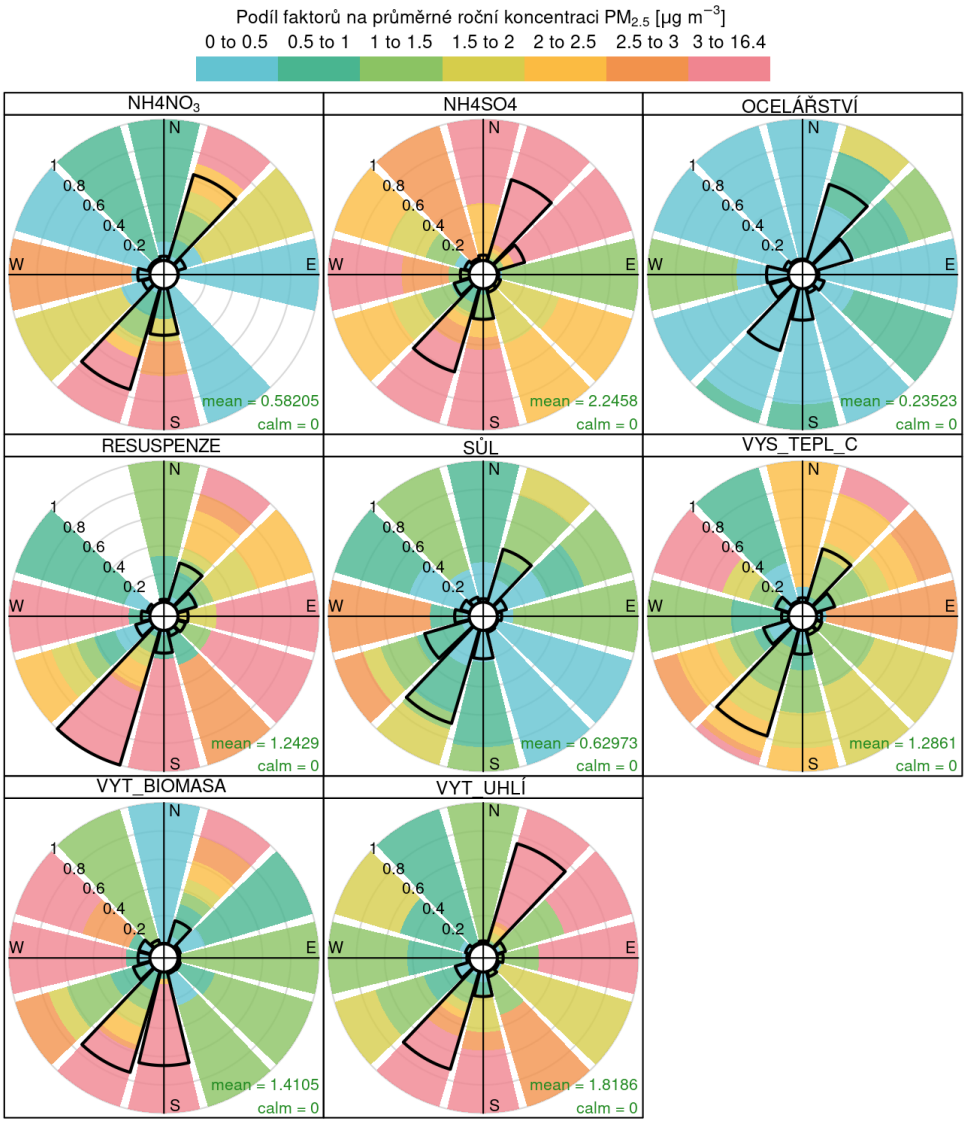
Na základě několika metod zpracování modelových výsledků, při kterém byla využita data o směru a rychlosti větru, bylo možné odhadnout pravděpodobné zdrojové oblasti jednotlivých typů znečištění. Podrobná vizualizace výsledků těchto metod je obsahem přílohové části zprávy. Protože

výsledky těchto různých metod se v podstatných rysech shodují, vztahuje se k nim stejné hodnocení a pro přehlednost jsou obsahem textové části pouze některé z vypracovaných grafů.

Měřením směru větru byla ze dvou stanic pro identifikaci příčin znečištění vybavena pouze lokalita Mosty u Jablunkova-Šance. Odhad zdrojových oblastí znečištění je proto dostatečně reprezentativní pouze pro tuto lokalitu. Zdrojové oblasti znečištění v lokalitě Ostravice-golf byly odhadnuty na základě pole směru a rychlosti větru, generovaného modelem CALMET. Níže uvedené hodnocení na základě denních typů proudění má proto vyšší nejistotu, než pro lokalitu Mosty u Jablunkova-Šance.

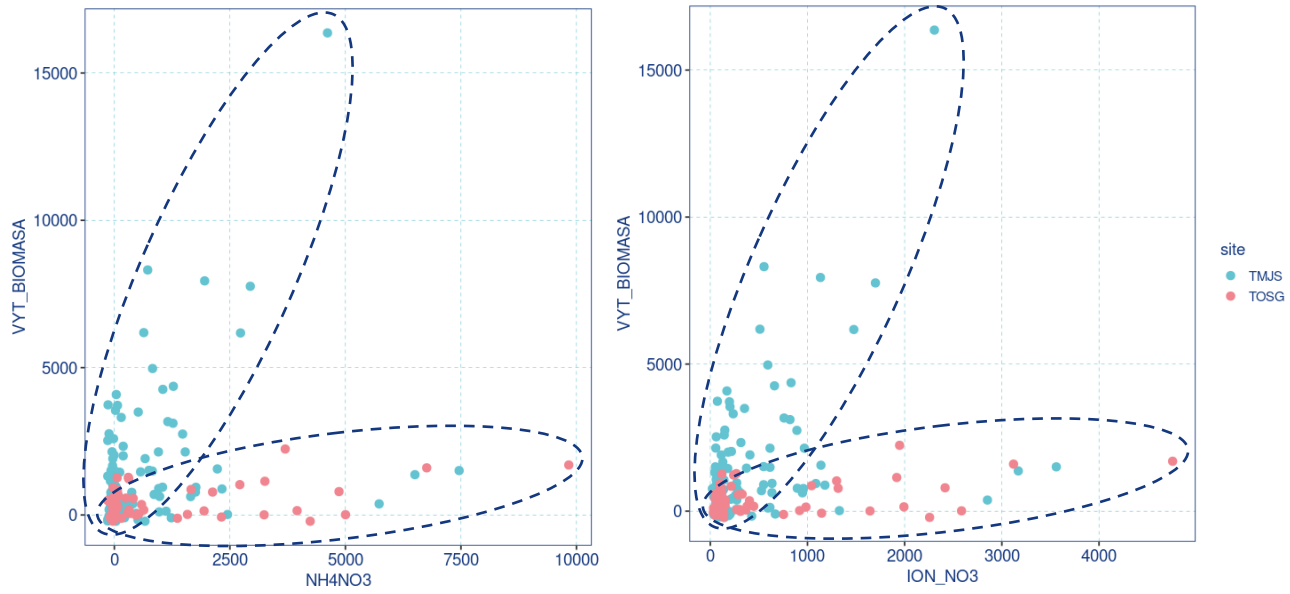
Mosty u Jablunkova-Šance

Obr. 21 znázorňuje, s jakou frekvencí se v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance vyskytovaly různě vysoké imisní příspěvky jednotlivých faktorů při různých směrech proudění. Velikost a relativní četnost příspěvku znázorňuje barevná škála. Vzájemný podíl jednotlivých směrů na celkovém faktorovém příspěvku znázorňují obrysové čáry.



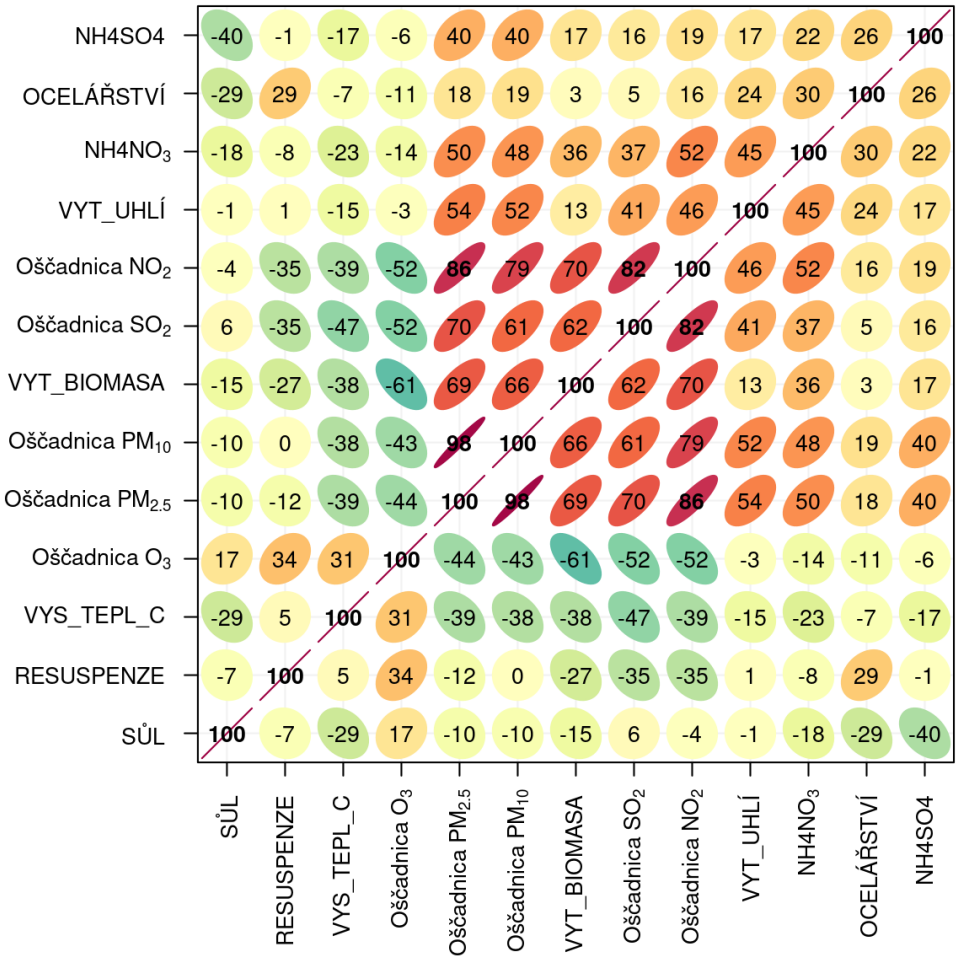
Obr. 21 Imisní příspěvky při různých směrech větru v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance.

S ohledem na umístění lokality v Jablunkovském průsmyku byly vysoké imisní příspěvky většiny faktorů v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance zaznamenány při proudění ze dvou hlavních směrů, daných orientací údolí (S až SSV a J až JZ). Těmito hlavními směry dochází k největšímu přenosu znečištění ze zdrojových oblastí, kterými jsou v daném případě ze severu Jablunkovská brázda, Třinecko a polské Slezsko a z jihu údolí Kysuce, popř. vzdálenější místa. V případě některých faktorů jsou ale zřejmé i další zdrojové oblasti. Například významným zdrojem dusičnanu a síranu amonného je také oblast západně od lokality, pravděpodobně boční horská údolí v katastrech obcí Klokočov, Olešná a Milošová. Koncentrační růžice faktoru NH4NO3 (viz Obr. 22) je nápadně podobná koncentrační růžici faktoru VYT_BIOMASA (kromě uvedených dvou preferenčních směrů šíření znečištění byly vypočteny výrazně zvýšené příspěvky od západu), což ukazuje na jejich vzájemnou spojitost. Grafy na Obr. 22 dokládají, že vytápění biomasou patřilo mezi významné zdroje sekundárního dusičnanu amonného, který se v zimě zásadně podílel na celkové koncentraci $PM_{2,5}$. Z grafu jsou zřejmé dvě populace dat, přičemž v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance, kde byl podle modelu vliv spalování biomasy výrazně vyšší než v lokalitě Ostravice-golf, byla koncentrace dusičnanů přímo úměrně zvýšená. Pouze v několika málo případech zde došlo ke zvýšení koncentrace dusičnanů z jiných příčin, kterými byl pravděpodobně přenos průmyslových nebo automobilových emisí NO_X z pánevních oblastí Moravskoslezského kraje nebo polského Slezska.



Obr. 22 Souvislost mezi vytápěním biomasou a dusičnany [ng.m^{-3}]; vlevo vztah mezi modelovaným příspěvkem vytápění biomasou a modelovaným příspěvkem dusičnanu amonného, vpravo vztah mezi modelovaným příspěvkem vytápění biomasou a skutečně naměřenou koncentrací dusičnanů.

Významný vliv vytápění biomasou na slovenské straně hranice dokládá výsledek korelační klastrové analýzy na Obr. 23. Je zřejmé, že modelovaný imisní příspěvek faktoru reprezentujícího vytápění domácností biomasou (VYT_BIOMASA) v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance významně koreluje s koncentracemi měřenými v Oščadnici a tvoří s nimi společný klastr, s nejsilnější vazbou na oxid dusičitý.



Obr. 23 Korelace mezi koncentracemi plynů a PM zjištěnými imisním monitoringem SHMÚ v Oščadnici a modelem vypočtenými příspěvky faktorů v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance.

Nejvyšší příspěvky marinního aerosolu, charakteristicky tvořeného z velké části mořskou solí, se vyskytovaly při proudění od západu až jihojihozápadu. Dle dřívějších identifikací zdrojů znečišťování ovzduší v Moravskoslezském kraji se jedná o obvyklé zjištění, které souvisí se silným oceánským prouděním z těchto směrů.

Kromě výše zmíněných hlavních dvou směrů přenosu znečištění byly v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance modelem vypočteny vysoké imisní příspěvky faktorů NH4SO4 a VYT_UHLÍ také při proudění od severovýchodu až východu, což lze připsat vysokým emisím ze spalování uhlí v domácnostech v polské části Slezska, v případě NH4SO4 ale také částečně polskému hutnímu průmyslu a energetice.

Vliv primárních emisí z hutního průmyslu byl v této pozaďové lokalitě oproti ostatním identifikovaným zdrojů podstatně slabší. Projevoval se nejvíce při proudění od SV, což naznačuje hlavní část těchto emisí v polské části Slezska.

Imisní příspěvky faktorů vysokoteplotního uhlíku a resuspendované minerální prašnosti se směrově nelišily. Zdrojovou oblast nebylo možno použitými koncentračními růžicemi ani přibližně lokalizovat.

Podobná zjištění vyplývají v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance i z vyhodnocení velikosti imisních příspěvků ve vztahu k naměřenému směru větru, který byl vektorově zprůměrován pro každý 24hodinový interval odběru vzorků ovzduší (viz Obr. 24).

Obr. 24 Vliv zdrojových oblastí znečištění na koncentraci $PM_{2,5}$ v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance.

Pravá polovina výše uvedeného grafu znázorňuje, jak vysoký byl imisní příspěvek při proudění z příslušného směru, bez ohledu na to, jak často k těmto podmínkám docházelo v měřeném roce. Naproti tomu levá polovina grafu zohledňuje i četnost výskytu proudění z daných směrů a reprezentuje tak příspěvek konkrétního faktoru k roční průměrné koncentraci $PM_{2,5}$. Regiony jsou v grafu pojmenovány zkratkami států, přičemž označení ČR+PL udává směr z česko-polského příhraničí (zemi původu znečištění nelze přesněji určit). Kategorie „neurčeno“ reprezentuje koncentrace při bezvětří nebo proměnlivém směru větru, kdy směr ke zdrojové oblasti nelze odhadnout.

Nejvyšší imisní příspěvky sekundárních síranů a dusičnanů a primárních částic z hutního průmyslu se vyskytovaly v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance při přenosu z Třinecka a polského Slezska. Dnů s prouděním od těchto oblastí bylo ale ve srovnání s jinými směry relativně méně, proto na roční průměr $PM_{2,5}$ měly větší vliv přenosy síranů a dusičnanů z jiných oblastí, přestože z nich byly transportovány v nižších koncentracích. K ročnímu průměru tak přispíval více přenos dusičnanu a síranu amonného ze slovenské strany. Příspěvek hutního průmyslu je vzhledem k jeho nízkým hodnotám zatížen statistickým šumem a odhad průměrného ročního příspěvku k $PM_{2,5}$ proto není reprezentativní. Slovenský příspěvek k průměrné roční koncentraci v této lokalitě převažoval i u všech ostatních identifikovaných faktorů. Zejména markantní byla tato převaha v případě emisí z vytápění domácností biomasou, kdy přenos ze Slovenska tvořil 2/3 tohoto typu znečištění.

Ostravice-golf

S ohledem na absenci měření směru a rychlosti větru jsou pro tuto lokalitu pouze orientačně shrnuty zdrojové oblasti znečištění na základě denních typů proudění (viz krabicové diagramy v příloze 3). Není zde hodnocen ani přeshraniční transport ze zdrojových oblastí, protože umístění lokality není pro tento typ analýzy vhodné (je obklopena řadou tuzemských zdrojů, které by svým příspěvkem interferovaly s dálkově přenášeným znečištěním).

Síran amonný, který byl nejvýznamnější složkou $PM_{2,5}$, pocházel v Ostravici převážně ze severních směrů, tj. z Ostravska, vlivem formace z emisí SO_2 z energetického a hutního průmyslu. Vysoké příspěvky ale nastávaly také při proudění od JV, tedy ze zástavby Ostravice, což souvisí s místním vytápěním uhlím.

Nejvyšší imisní příspěvky převážně primárních částic z vytápění domácností se vyskytovaly při JV proudění. Z toho vyplývá, že jejich hlavním zdrojem byla zástavba obce Ostravice. Emise z vytápění uhlím v obci Ostravice ovlivňují znečištění v lokalitě Ostravice-golf zcela dominantně. Naproti tomu znečištění produkované vytápěním biomasou zde pocházelo ve významné míře i z jiných směrů, zejména ze západu, ve směru od Čeladné.

Dusičnan amonný, který zásadně ovlivňoval celkovou koncentraci $PM_{2,5}$ v topné sezoně, pocházel v lokalitě Ostravice-golf dominantně z JV směru, tedy z údolí Ostravice. S ohledem na průkaznou souvislost mezi vytápěním biomasou a vznikem tohoto typu aerosolu v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance (viz výše) lze i v Ostravici za hlavní příčinu této sezonně významné části $PM_{2,5}$ považovat místní vytápění domácností dřevem.

Minerální částice z půdy (faktor RESUSPENZE) pocházely v lokalitě Ostravice-golf z různých směrů bez výrazné směrové orientace, což je dáno rozložením okolních zemědělských ploch.

Příspěvky vysokoteplotních uhlíkatých částic (faktor VYS_TEPL_C) se také vyskytovaly v podobných hodnotách při proudění z mnoha směrů, ale patrné jsou vyšší hodnoty při jižním směru větru, tedy z Beskyd. To spolu s maximy tohoto faktoru, zjištěnými v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance při proudění z lesních oblastí bez významných zdrojů znečišťování ovzduší, naznačuje vliv fotochemických procesů při vzniku sekundárního organického aerosolu z terpenů a dalších přírodních těkavých organických látek ve vegetačním období.

Zvýšené imisní příspěvky částic mořské soli byly zaznamenány při proudění ze západních směrů, což je na území ČR obvyklé.

Nejvyšší příspěvky faktoru reprezentujícího hutní průmysl nastávaly dle denních typů proudění při proudění od JV a S. Přenos od S je logický a souvisí s ostravským průmyslem, zatímco indikovaný vysoký příspěvek při proudění od JV je nutno vykládat jako chybu způsobenou nízkým počtem hodnot pro vyhodnocení (proudění od JV se vyskytlo pouze ve dvou měřených dnech za celý měřený rok), svou roli navíc mohla sehrát nejistota způsobená odhadem směru a rychlosti větru z modelu CALMET (přímé meteorologické měření v lokalitě neprobíhalo).

4. Shrnutí

Předkládaná zpráva hodnotí úroveň znečištění ovzduší suspendovanými částicemi v pěti lokalitách na území Moravskoslezského kraje v Pobeskydí (Morávka, Mořkov, Metylovice, Ostravice-golf a Mosty u Jablunkova-Šance). Základem pro hodnocení bylo ve všech lokalitách celoroční měření provedené v roce 2023. Kromě úrovní znečištění byly orientačně posouzeny také příčiny znečištění. V lokalitách Morávka, Mořkov a Metylovice se jednalo o imisně meteorologické hodnocení, v lokalitách Ostravice-golf a Mosty u Jablunkova-Šance byla provedena i podrobná identifikace zdrojových oblastí na základě matematického modelu.

Imisní koncentrace v průběhu roku 2023 v žádné z pěti hodnocených lokalit nepřekročily platné imisní limity pro suspendované částice ani kovy. Přibližně o polovinu byl překročen imisní limit stanovený pro benzo[*a*]pyren v Metylovicích, jinde dosáhla úroveň znečištění tímto polutantem 55 až 84 % ročního imisního limitu.

Výsledky matematického modelu příčin znečištění souhlasí s imisně-meteorologickým hodnocením, které bylo založeno na porovnání naměřených koncentrací při různých směrech a rychlostech větru. Nejvyšší koncentrace suspendovaných částic se vyskytovaly v zimě, při proudění od lokálně vytápěné obytné zástavby, která je hlavním zdrojem znečištění vznikajícího na lokální úrovni (v okruhu jednotek kilometrů od monitorovacích stanic).

V lokalitách Mosty u Jablunkova-Šance a Ostravice-golf, které se nacházejí na vyvýšených, dobře provětrávaných místech, bylo modelem PMF identifikováno 8 faktorů, ovlivňujících koncentrace $PM_{2,5}$. Lokálně produkované emise zde tvořily menší část celkového znečištění $PM_{2,5}$. Hlavní roli hrál přenos z jiných oblastí. Nejvíce se na znečištění $PM_{2,5}$ podílel síran amonný vznikající z energetických a hutních emisí. Ten kromě dálkového nadregionálního přenosu pocházel v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance převážně z Třinecka a z polské části Slezska, zatímco v lokalitě Ostravice-golf z Ostravska.

Při hodnocení koncentrací škodlivin v souvislosti se směrem a rychlostí větru byl přesto ve všech pěti lokalitách zjištěn významný přenos od obytných zón. Vliv lokálního individuálního vytápění domácností pevnými palivy byl tedy všude významný.

Mezi lokalitami Mosty u Jablunkova-Šance a Ostravice-golf byly zjištěny výrazné rozdíly, pokud jde o způsob vytápění. Zatímco podíl vytápění uhlím byl na obou místech podobný (pětina až čtvrtina celkové koncentrace $PM_{2,5}$), v Mostech u Jablunkova měly oproti Ostravici asi třikrát vyšší vliv primární emise z vytápění dřevem. Tento rozdíl byl způsoben především přenosem výrazně odlišných emisí ze slovenské strany. Při započtení sekundárního dusičnanu amonného, který vznikl z primárních emisí z vytápění biomasou, byl podíl spalování dřeva v Mostech u Jablunkova odhadem čtyřikrát vyšší oproti Ostravici.

Z místních faktorů byl významný také vliv resuspenze minerálních částic ze zemského povrchu s podílem mezi 10 a 15 % $PM_{2,5}$.

Přibližně 10 % (Ostravice) až 15 % (Mosty u Jablunkova) $PM_{2,5}$ připadá také na vysokoteplotní uhlíkaté částice, jejichž zdrojem je pravděpodobně jednak dálkový (transevropský) přenos průmyslových a automobilových emisí, jednak lokální tvorba sekundárního organického aerosolu z těkavých organických látek emitovaných horskými jehličnatými lesy. Podíl antropogenního a přírodního uhlíku v tomto faktoru nebylo možné rozlišit.

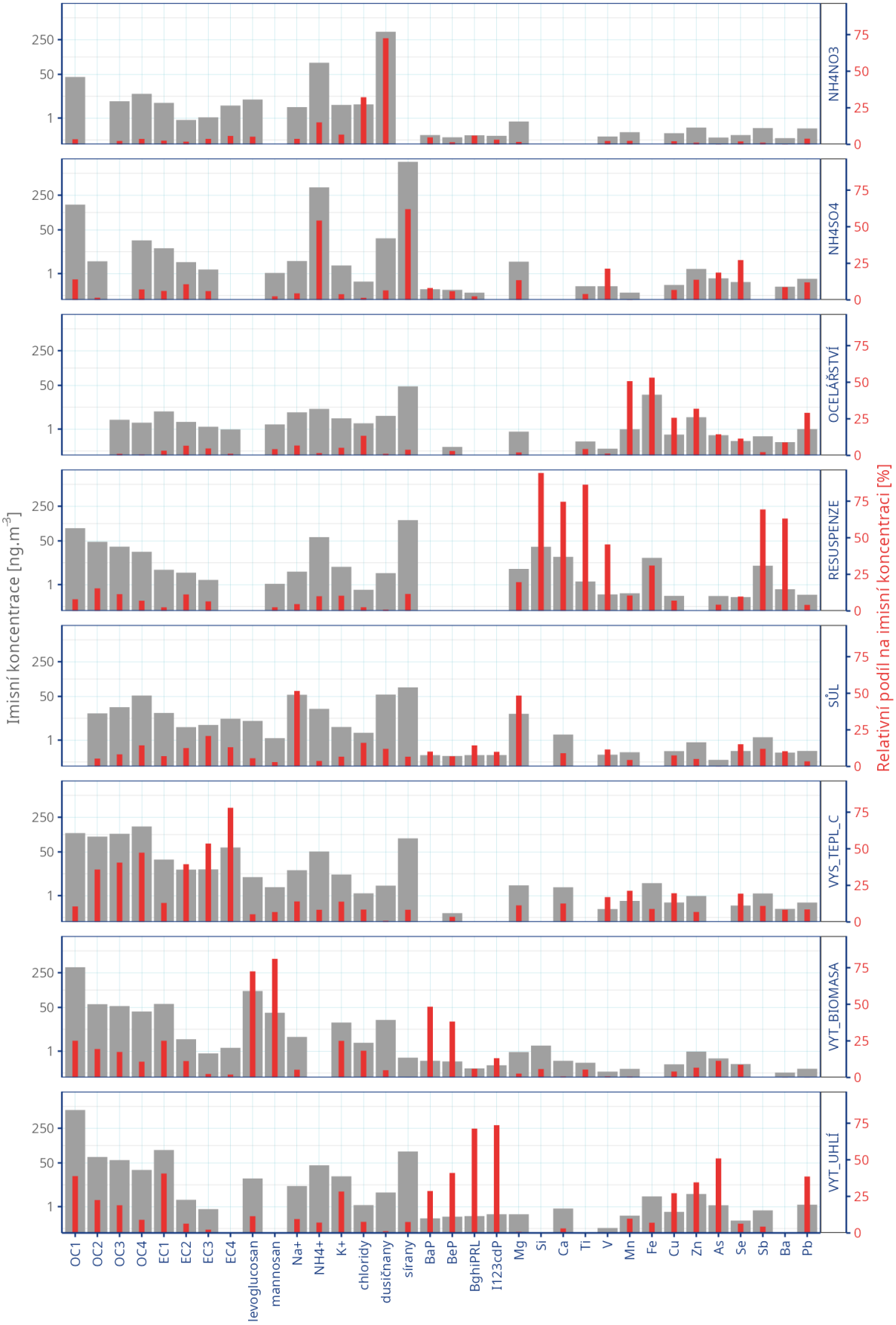
Další identifikované faktory (mořská sůl, hutní průmysl) byly méně významné (7 %, resp. max. 2 až 3 %).

Díky měření směru a rychlosti větru byly v lokalitě Mosty u Jablunkova-Šance podrobně vyhodnoceny zdrojové oblasti identifikovaných typů znečištění. Nejvyšší imisní příspěvky uvedených hlavních faktorů k $PM_{2,5}$ nastávaly při přenosu znečištění ze směru od Třinecka a polského Slezska. Směr větru z těchto oblastí byl ale relativně méně četný, takže v ročním průměru mělo na celkovou průměrnou roční koncentraci $PM_{2,5}$ větší vliv znečištění transportované ze slovenské strany, a to zejména vlivem dominantních emisí ze spalování dřeva v domácnostech.

Literatura

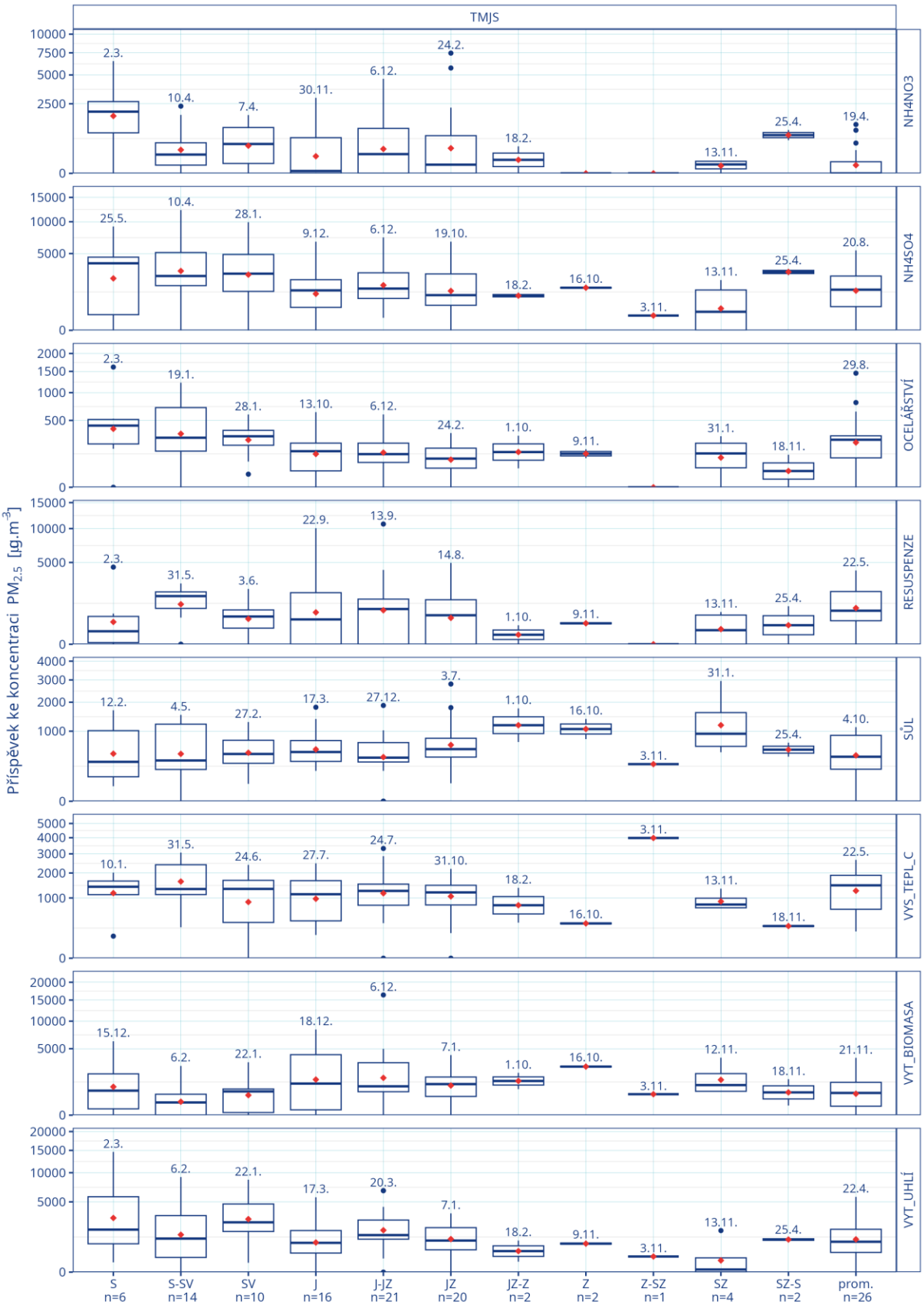
- ČR, 2012. Zákon č. 201/2012 Sb. ze dne 2. května 2012 o ochraně ovzduší. Available on: www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/9F4906381B38F7F6C1257A94002EC4A0/%24file/Z201_2012_Sb.pdf (accessed on 10 March 2024).
- EC, 2004. Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 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, PM2.5 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 (accesed on 21 March 2024).
- 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 (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., HLADKÝ, D., SEIBERT, R., KREJČÍ, B., 2022. Transboundary Air Pollution Transport of PM10 and Benzo[a]pyrene in the Czech–Polish Border Region. Atmosphere 2022, 13, 341. Available online: https://doi.org/10.3390/atmos13020341 (accessed on 21 March 2024).
- WHO, 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 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: PM2.5 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).

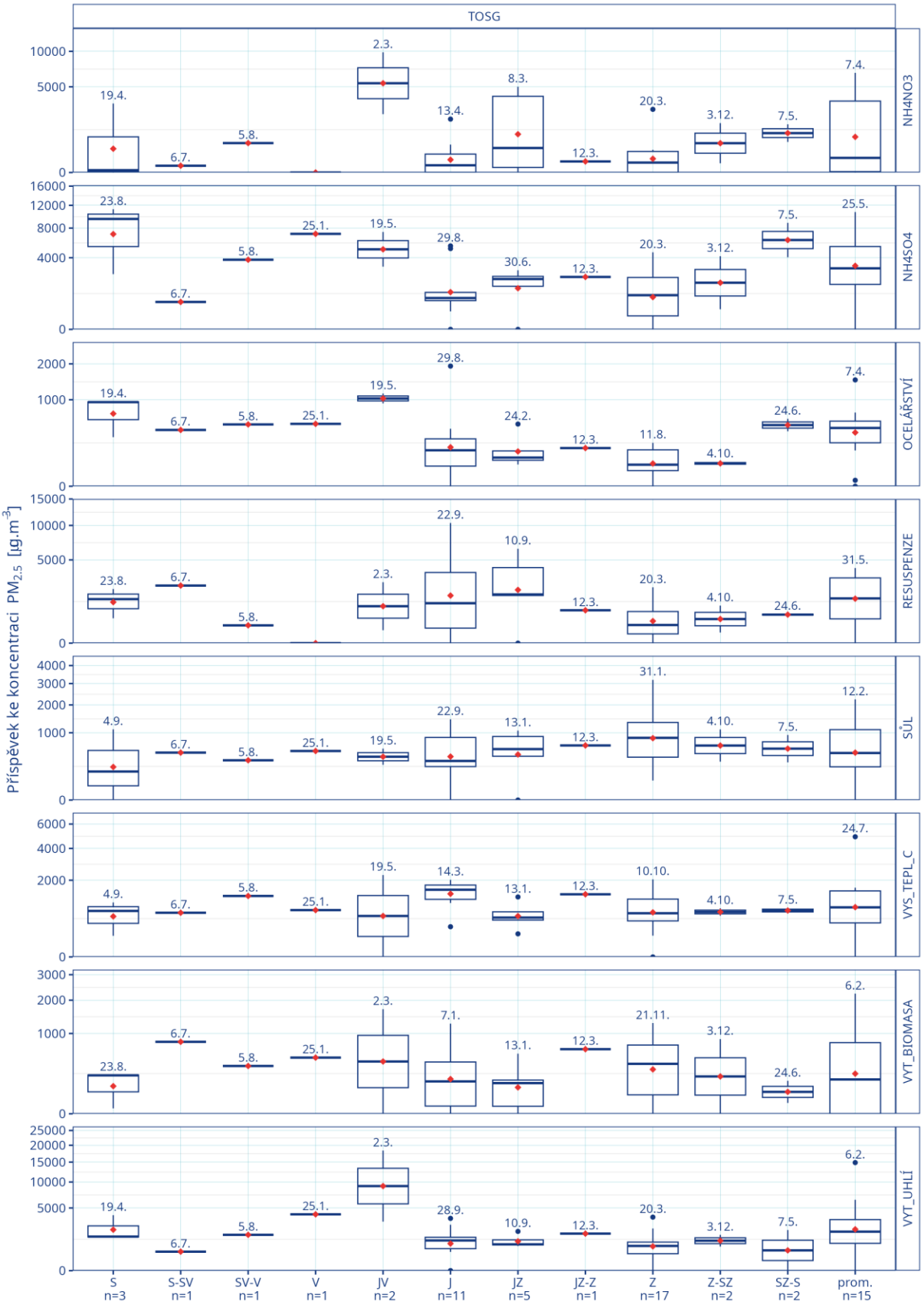
Příloha 1: Chemické profily identifikovaných faktorů



Příloha 2: Časové řady identifikovaných faktorů

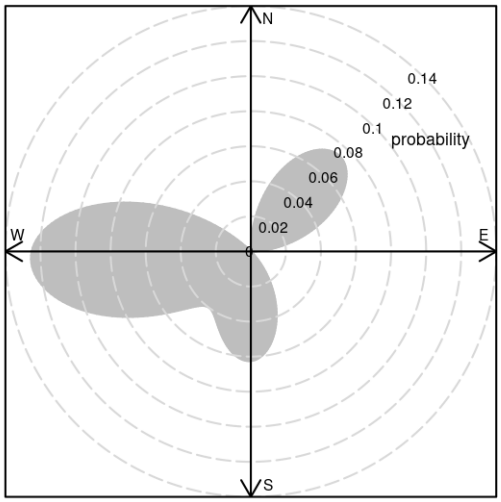
Příloha 3: Faktorové imisní příspěvky vzhledem k DTP




TOSG
NH4NO3
NH4SO4
OCELÁŘSTVÍ
RESUSPENZE
SÚL
VYS_TEPL_C
VYT_BIOMASA
VYT_UHLÍ
Příspěvek ke koncentraci PM2.5 [µg.m-3]
S n=3
S-SV n=1
SV-V n=1
V n=1
JV n=2
J n=11
JZ n=5
JZ-Z n=1
Z n=17
Z-SZ n=2
SZ-S n=2
prom. n=15

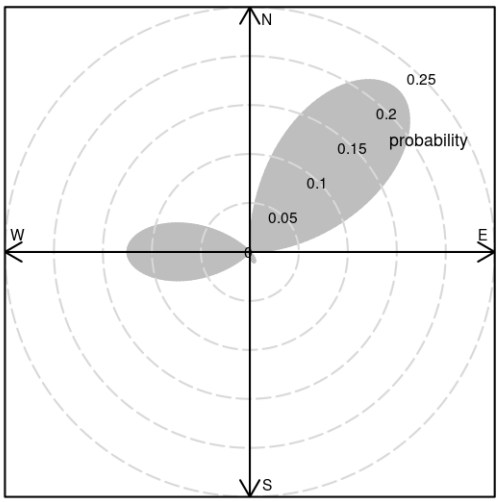
Příloha 4: Grafy funkce CPF pro lokalitu Mosty u Jablunkova-Šance

NH4NO$_3$



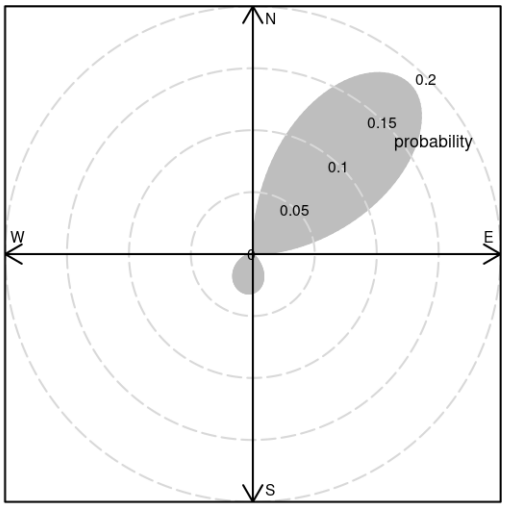
CPF at the 95th percentile (=2.4)

OCELÁŘSTVÍ



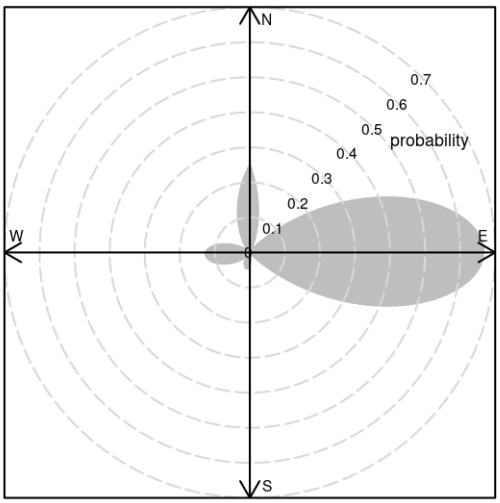
CPF at the 95th percentile (=0.7)

NH4SO4

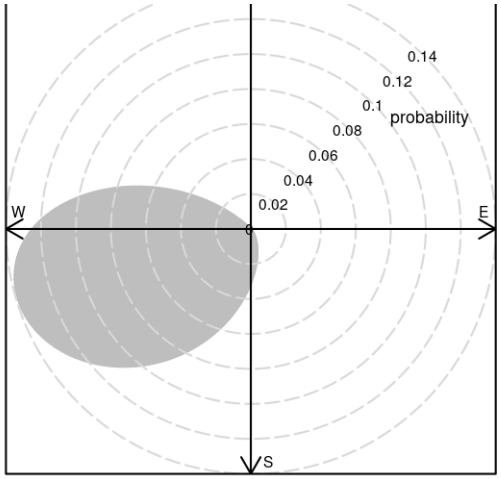


CPF at the 95th percentile (=6.7)

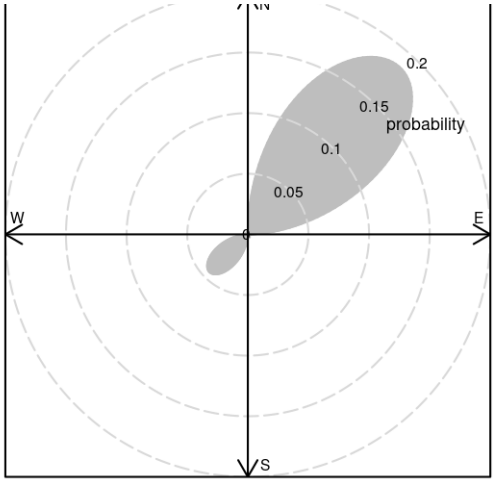
VYS_TEPL_C



CPF at the 95th percentile (=2.6)

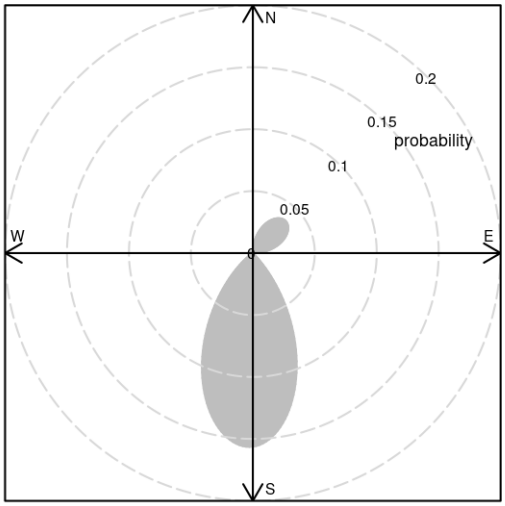


CPF at the 95th percentile (=1.7)



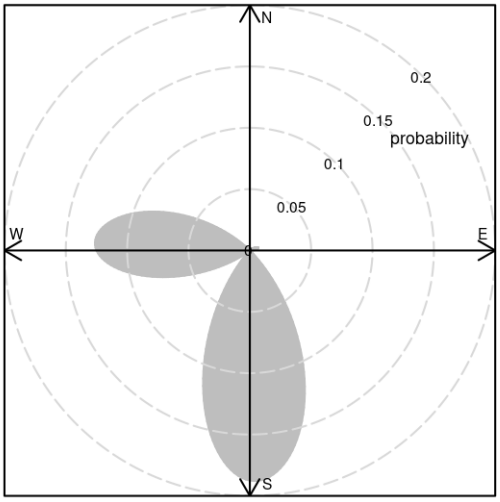
CPF at the 95th percentile (=6.4)

RESUSPENZE



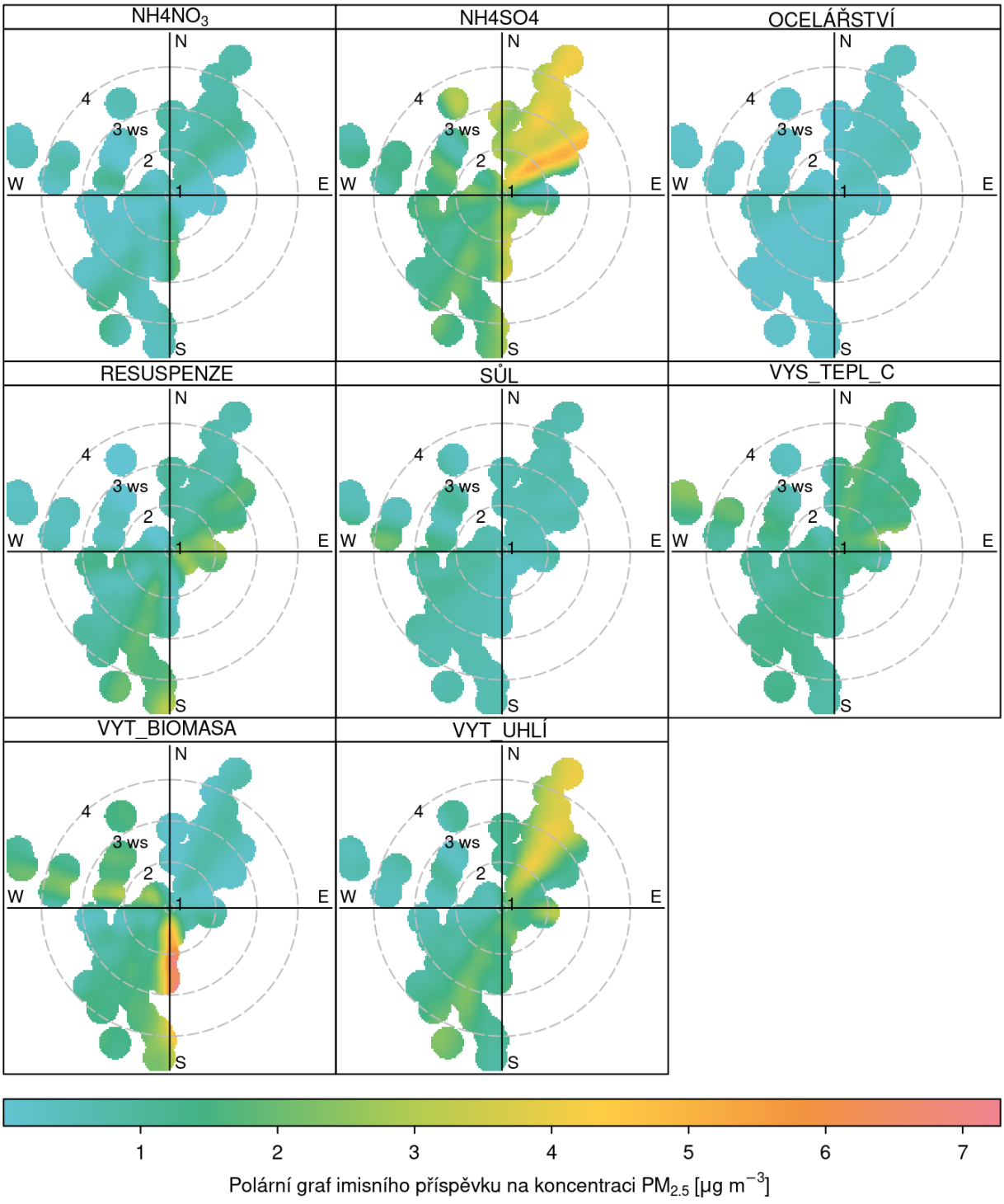
CPF at the 95th percentile (=4.1)

VYT_BIOMASA



CPF at the 95th percentile (=4.8)

Příloha 5: Polární grafy faktorových příspěvků pro lokalitu Mosty u Jablunkova-Šance



Příloha 6: Koncentrace PM_{10} ($\mu g.m^{-3}$) v závislosti na denním typu proudění

Lokalita	DTP	% wd	prům.konc. PM_{10}	% PM_{10}
Metylovice	J	22.5	15.3	18.4
Metylovice	J–JZ	2.9	15.5	2.4
Metylovice	JV–J	0.9	20.3	0.9
Metylovice	JZ	2.0	9.8	1.1
Metylovice	JZ–Z	0.3	14.4	0.2
Metylovice	S	8.6	18.6	8.6
Metylovice	S–SV	5.5	19.5	5.7
Metylovice	SV	13.8	22.8	16.8
Metylovice	SZ	4.9	12.2	3.2
Metylovice	SZ–S	2.9	20.3	3.1
Metylovice	V–JV	0.3	22.5	0.3
Metylovice	Z	0.6	18.9	0.6
Metylovice	Z–SZ	2.3	11.3	1.4
Metylovice	bezvětří	19.3	20.0	20.6
Metylovice	proměnlivý	13.0	23.6	16.4
Metylovice	nelze určit	0.3	23.1	0.4
Morávka	JV	34.0	12.1	29.4
Morávka	S	0.3	15.3	0.3
Morávka	S–SV	0.6	15.4	0.6
Morávka	SZ	16.3	15.1	17.6
Morávka	SZ–S	4.6	15.4	5.0
Morávka	V–JV	1.4	13.7	1.4
Morávka	Z	5.4	10.3	4.0
Morávka	Z–SZ	10.6	15.0	11.4
Morávka	bezvětří	0.9	34.5	2.1
Morávka	proměnlivý	25.7	15.1	27.8
Morávka	nelze určit	0.3	13.2	0.3
Mořkov	J	16.8	14.5	15.1
Mořkov	J–JZ	12.7	14.7	11.6
Mořkov	JZ	17.6	12.6	13.7
Mořkov	JZ–Z	0.3	12.0	0.2
Mořkov	S	2.0	16.4	2.0
Mořkov	S–SV	0.3	14.8	0.3
Mořkov	SV	1.7	16.3	1.8
Mořkov	SV–V	2.3	23.2	3.3
Mořkov	SZ	2.6	13.9	2.2
Mořkov	SZ–S	2.3	15.8	2.3
Mořkov	V	0.6	24.7	0.9
Mořkov	Z	0.3	22.8	0.4
Mořkov	bezvětří	36.1	18.9	42.2
Mořkov	proměnlivý	4.3	15.3	4.1
Ostravice-golf	J	17.3	11.4	14.3
Ostravice-golf	J–JZ	2.2	11.3	1.8
Ostravice-golf	JV	3.1	28.0	6.2
Ostravice-golf	JV–J	1.7	15.1	1.8
Ostravice-golf	JZ	5.6	14.0	5.7
Ostravice-golf	JZ–Z	5.6	12.5	5.1
Ostravice-golf	S	6.1	19.7	8.7
Ostravice-golf	S–SV	2.0	20.4	2.9
Ostravice-golf	SV	1.7	17.9	2.2
Ostravice-golf	SV–V	0.3	11.0	0.2
Ostravice-golf	SZ	1.1	12.7	1.0
Ostravice-golf	SZ–S	2.5	19.8	3.6
Ostravice-golf	V	0.3	15.8	0.3
Ostravice-golf	V–JV	1.1	21.1	1.7
Ostravice-golf	Z	20.9	8.0	12.1
Ostravice-golf	Z–SZ	3.6	11.3	3.0
Ostravice-golf	proměnlivý	24.9	16.3	29.3

Příloha 7: Koncentrace $PM_{2,5}$ ($\mu g.m^{-3}$) v závislosti na denním typu proudění

Lokalita	DTP	% wd	prům.konc. $PM_{2,5}$	% $PM_{2,5}$
Mosty u Jablunkova-Šance	J	12.4	9.1	11.5
Mosty u Jablunkova-Šance	J–JZ	17.4	11.9	21.1
Mosty u Jablunkova-Šance	JZ	16.5	9.1	15.3
Mosty u Jablunkova-Šance	JZ–Z	1.7	5.6	0.9
Mosty u Jablunkova-Šance	S	4.1	17.7	7.5
Mosty u Jablunkova-Šance	S–SV	11.6	11.4	13.4
Mosty u Jablunkova-Šance	SV	7.4	11.2	8.5
Mosty u Jablunkova-Šance	SZ	2.5	4.6	1.2
Mosty u Jablunkova-Šance	SZ–S	1.7	6.8	1.1
Mosty u Jablunkova-Šance	Z	1.7	6.6	1.1
Mosty u Jablunkova-Šance	Z–SZ	0.8	2.9	0.2
Mosty u Jablunkova-Šance	proměnlivý	21.5	7.7	16.9
Mosty u Jablunkova-Šance	nelze určit	0.8	12.7	1.1
Ostravice-golf	J	17.5	8.0	13.5
Ostravice-golf	J–JZ	2.3	8.8	1.9
Ostravice-golf	JV	3.1	22.9	6.9
Ostravice-golf	JV–J	1.7	11.8	1.9
Ostravice-golf	JZ	5.6	8.8	4.8
Ostravice-golf	JZ–Z	5.6	9.3	5.1
Ostravice-golf	S	5.9	15.4	8.8
Ostravice-golf	S–SV	2.3	15.3	3.3
Ostravice-golf	SV	1.7	12.2	2.0
Ostravice-golf	SV–V	0.3	8.9	0.2
Ostravice-golf	SZ	1.1	8.5	0.9
Ostravice-golf	SZ–S	2.5	16.3	4.0
Ostravice-golf	V	0.3	11.7	0.3
Ostravice-golf	V–JV	1.1	17.2	1.9
Ostravice-golf	Z	20.3	6.0	11.9
Ostravice-golf	Z–SZ	3.4	9.0	2.9
Ostravice-golf	proměnlivý	25.4	12.1	29.7

Příloha 8: Koncentrace BaP (ng.m^{-3}) v závislosti na denním typu proudění

Lokalita	DTP	% wd	prům.konc. BaP	% BaP
Mosty u Jablunkova-Šance	J	6.7	0.3	2.4
Mosty u Jablunkova-Šance	J–JZ	18.3	0.7	18.0
Mosty u Jablunkova-Šance	JZ	16.7	0.7	15.3
Mosty u Jablunkova-Šance	JZ–Z	1.7	0.5	1.0
Mosty u Jablunkova-Šance	S	8.3	1.8	20.3
Mosty u Jablunkova-Šance	S–SV	11.7	1.0	15.8
Mosty u Jablunkova-Šance	SV	8.3	0.6	7.3
Mosty u Jablunkova-Šance	SZ	1.7	0.5	1.2
Mosty u Jablunkova-Šance	SZ–S	1.7	0.3	0.6
Mosty u Jablunkova-Šance	Z	3.3	1.1	5.2
Mosty u Jablunkova-Šance	Z–SZ	1.7	0.2	0.4
Mosty u Jablunkova-Šance	proměnlivý	20.0	0.5	12.5
Mořkov	J	15.5	0.6	10.5
Mořkov	J–JZ	12.4	0.4	5.5
Mořkov	JZ	24.7	0.6	16.2
Mořkov	S	1.0	0.6	0.7
Mořkov	SV	1.0	0.1	0.1
Mořkov	SV–V	2.1	2.1	5.0
Mořkov	SZ	1.0	0.9	1.1
Mořkov	SZ–S	2.1	0.9	2.1
Mořkov	V	2.1	3.0	7.2
Mořkov	bezvětří	29.9	1.4	48.3
Mořkov	proměnlivý	5.2	0.3	1.7
Mořkov	nelze určit	3.1	0.5	1.7
Morávka	JV	30.9	0.5	19.0
Morávka	S	1.0	0.1	0.1
Morávka	SZ	13.4	0.7	12.5
Morávka	SZ–S	3.1	0.4	1.4
Morávka	V–JV	2.1	0.1	0.2
Morávka	Z	8.2	1.3	13.6
Morávka	Z–SZ	16.5	1.1	23.4
Morávka	bezvětří	1.0	0.1	0.1
Morávka	proměnlivý	20.6	1.1	28.4
Morávka	nelze určit	3.1	0.4	1.4
Metylovice	J	24.7	1.0	16.3
Metylovice	J–JZ	3.1	1.6	3.1
Metylovice	JZ	2.1	0.4	0.5
Metylovice	JZ–Z	1.0	0.4	0.3
Metylovice	S	10.3	2.5	16.8
Metylovice	S–SV	4.1	0.6	1.6
Metylovice	SV	15.5	2.8	27.5
Metylovice	SZ	7.2	0.9	4.2
Metylovice	SZ–S	2.1	0.6	0.8
Metylovice	Z	1.0	0.5	0.3
Metylovice	Z–SZ	2.1	0.5	0.7
Metylovice	bezvětří	16.5	2.1	22.4
Metylovice	proměnlivý	7.2	1.1	5.0
Metylovice	nelze určit	3.1	0.3	0.6
Ostravice-golf	J	16.1	0.3	7.7
Ostravice-golf	JV	3.2	1.6	9.8
Ostravice-golf	JZ	9.7	0.2	2.9
Ostravice-golf	JZ–Z	3.2	0.3	2.0
Ostravice-golf	V	3.2	0.4	2.7
Ostravice-golf	Z	45.2	0.3	27.0
Ostravice-golf	Z–SZ	6.5	0.6	7.5
Ostravice-golf	proměnlivý	12.9	1.7	40.6