TD 000153

Vyhodnocení měření na monitorovacích stanicích Studénka a Věřňovice v roce 2021

Projekt Měření znečištění ovzduší vzorkovači pro identifikaci zdrojů znečišťování na dvou lokalitách v Moravskoslezském kraji 2021

Závěrečná zpráva projektu (1. 1.–31. 12. 2021)

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

Oddělení kvality ovzduší / Ostrava / 31. 3. 2022

Český hydrometeorologický ústav

TD 000153

Vyhodnocení měření na monitorovacích stanicích Studénka a Věřňovice v roce 2021

Projekt Měření znečištění ovzduší vzorkovači pro identifikaci zdrojů znečišťování na dvou lokalitách v Moravskoslezském kraji 2021

Závěrečná zpráva projektu (1. 1.–31. 12. 2021)

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

Oddělení kvality ovzduší / Ostrava / 31. 3. 2022

Český hydrometeorologický ústav

1. Úvod

V roce 2021 probíhalo měření automatickými i manuálními vzorkovači suspendovaných částic v ovzduší dotované z rozpočtu Moravskoslezského kraje[1] na základě smlouvy ev. č. 00633/2021/ŽPZ, uzavřené s Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ), na dvou lokalitách Moravskoslezského kraje, v okresech Karviná a Nový Jičín. Počínaje rokem 2021 byla zvolena pozměněná koncepce krajského monitoringu prováděného ČHMÚ - směrem ke konkrétnější identifikaci příčin znečištění ve vytipovaných oblastech a ke kvantifikaci podílů zdrojů znečišťování ovzduší. Proto po dohodě se zástupci Moravskoslezského kraje došlo k ročnímu rozšíření monitoringu na dvou stávajících lokalitách s dlouhodobým automatickým měřením základních veličin ve Státní síti imisního monitoringu – ve Studénce a ve Věřňovicích.

Díky výjimečnému souběhu výzkumné podpory zaměřené v roce 2021 v ČHMÚ na situaci v nejznečištěnější oblasti ČR, bylo možné rozšířená a doplněná měření ve Studénce a ve Věřňovicích dotovaná Moravskoslezským krajem, zahrnout jako dílčí součást do širokého výzkumného konceptu BORA[2]. Koncept BORA má za úkol zjistit, jaký skutečný podíl mají na kvalitě ovzduší místní průmysl, vytápění domácností, doprava, přenos znečištění z Polska a další zdroje. Primárně je zaměřen na znečištění ovzduší benzo[*a*]pyrenem a jemnými prachovými částicemi. Stanice Studénka a Věřňovice slouží v tomto konceptu pro doplnění informací o regionálních přenosech znečištění ovzduší (reprezentují převládající proudění v oblasti ovlivněné Moravskou bránou v ose S–SV a JZ). Výzkumné činnosti zde byly zahájeny již 1. 1. 2021 (na dalších stanicích zahrnutých do konceptu BORA 14. 1. 2021). Český hydrometeorologický ústav v měřeních a vyhodnoceních BORA spolupracuje s Českou geologickou službou a Zdravotním ústavem se sídlem v Ostravě za podpory Krajského úřadu Moravskoslezského kraje, Magistrátu města Ostravy a samospráv městských částí Ostrava-Radvanice a Ostrava-Bartovice a Slezská Ostrava a společnosti Liberty Ostrava a.s. Koncept BORA je dále realizován se zapojením do projektů ARAMIS[3] a KAPOOO[4]. Propojení výsledků několika souběžných výzkumných projektů umožní provést dosud nejrozsáhlejší měření a použít nákladné inovativní metody vyhodnocení. Výsledky BORA budou postupně zveřejňovány na internetových stránkách BORA a jednotlivých projektů.

V návaznosti na souběh měření navázaných na režim imisního monitoringu s měřicí kampaní pro identifikací zdrojů znečišťování ovzduší v roce 2021 je vyhodnocení imisních poměrů a příčin znečištění v předkládané zprávě členěno na dvě hlavní samostatné kapitoly:

- kapitola 3 věnující se vyhodnocení měření rozšířeného monitoringu ve Studénce a Věřňovicích na základě statistické analýzy naměřených imisních koncentrací a meteorologických parametrů,
- kapitola 4 zabývající se identifikací zdrojů znečišťování ovzduší ve Věřňovicích na základě matematického modelu PMF.

---

[1] Moravskoslezský kraj

[2] www.ovzdusi.cz/bora/

[3] www.projekt-aramis.cz/

[4] www.msk.cz/cs/temata/zivotni_prostredi/krajsky-akcni-plan-pro-oblast-ochrany-ovzdusi---kapooo-10409/

Studénka je město nacházející se v okrese Nový Jičín, leží zhruba 10 km jihozápadně od Ostravy. Žije v něm přibližně 9,5 tisíce obyvatel. Dotované odběrové zařízení na lokalitě Studénka (Tab. 1, Obr. 1, Obr. 2) bylo umístěno na již existující stanici se stejným názvem, kterou provozuje ČHMÚ od roku 1994. Lokalita je klasifikována jako pozaďová, typ zóny venkovská, s charakteristikou zemědělská, podkategorií příměstská.

Věřňovice jsou částí obce Dolní Lutyně a nachází se v těsné blízkosti hranic s Polskem, v okrese Karviná, 9 km severovýchodně od Ostravy. Ve Věřňovicích žije přibližně 650 obyvatel. Dotované odběrové zařízení na lokalitě Věřňovice (Tab. 1, Obr. 3, Obr. 4) bylo umístěno na již existující stanici se stejným názvem, kterou provozuje ČHMÚ od roku 1994. Lokalita je klasifikována jako pozaďová, typ zóny venkovská, s charakteristikou zemědělská, průmyslová, podkategorií příměstská.

Tab. 1 Lokality s měřením

Charakteristika	Studénka	Věřňovice
Severní zem. šířka	49° 43´ 15.369"	49° 55´ 28.844"
Východní zem. délka	18° 5´ 21.501"	18° 25´ 22.341"
Nadmořská výška	231 m	203 m
EOI klasifikace	B/R/A-NCI	B/R/AI-NCI
Reprezentativnost	Oblastní měřítko (desítky až stovky km)	Oblastní měřítko (desítky až stovky km)

V lokalitách Studénka a Věřňovice byly v roce 2021 měřeny 1hodinové průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$, NO_2, SO_2 a O_3. Každý třetí den bylo na obou stanicích navíc prováděno měření těžkých kovů (TK) a každý třetí den měření polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH v suspendovaných částicích PM_{10}). Kromě uvedených znečišťujících látek bylo ve Studénce a Věřňovicích celoročně měřeno široké spektrum dalších analytů nezbytných k provedení identifikace zdrojů. Jejich přehled je součástí kapitoly 4.1.

Měření TK, PAH a dalších analytů na obou lokalitách probíhalo každý třetí den v období od 0 do 0 hodin UTC (světového času) následujícího dne vzorkovači Sven Leckel SEQ 47/50 s každodenní automatickou výměnou filtrů. Výstupem byly denní (24hodinové) průměrné koncentrace. Suspendované částice PM_{10} a $PM_{2,5}$, byly na obou lokalitách měřeny radiometrickou metodou přístroji MP101M a výstupem byly průměrné hodinové koncentrace. Měření NO_2, SO_2 a O_3 probíhá na obou stanicích v hodinovém kroku, informace k metodám měření jsou uvedeny v Tab. 2. Měření 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 (viz www.cai.cz v sekci Seznam akreditovaných subjektů). 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.

Tab. 2 Metody měření

Znečišťující látka	Jednotka	Metoda měření
Suspendované částice PM_{10}	$\mu g.m^{-3}$	Radiometrie
Suspendované částice $PM_{2,5}$	$\mu g.m^{-3}$	Radiometrie
Oxid dusičitý NO_2	$\mu g.m^{-3}$	Chemiluminiscence

Oxid siřičitý SO_2	$\mu g.m^{-3}$	Ultrafialová fluorescence
Přízemní ozon O_3	$\mu g.m^{-3}$	Ultrafialová absorpční fotometrie
Polyaromatické uhlovodíky v $PM_{2,5}$	$ng.m^{-3}$	Plynová chromatografie s hmotnostní detekcí (pro PAH)
Těžké kovy v $PM_{2,5}$	$ng.m^{-3}$	Rentgenová fluorescence

Při hodnocení výsledků měření byly získané hodnoty porovnávány s imisními limity dle [1] (Tab. 3), vycházejícími ze směrnic Evropské Unie [2, 3] a s hodnotami stanovenými ve směrnicích Světové zdravotnické organizace pro kvalitu vnějšího ovzduší [4]. Pro porovnání koncentrací byly využity výsledky měření kvality ovzduší ve Státní síti imisního monitoringu v Moravskoslezském kraji, ale také dalších lokalit sousedících krajů ČR. Dále byla použita dostupná operativní data ze stanic Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě a dalších organizací poskytujících údaje do Informačního systému kvality ovzduší.

Na obou hodnocených stanicích se nachází i další měření plynů a meteorologických veličin, které jsou v této zprávě nad rámec dotace, také vyhodnoceny.

Tab. 3 Imisní limity pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení v $\mu g.m^{-3}$ podle zákona 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší

Znečišťující látka	Doba průměrování			
	1 hodina	Max. denní 8hod. průměr	24 hodin	Rok
PM_{10}	–	–	50 max. 35x za rok	40
$PM_{2,5}$	–	–	–	20
Benzo[*a*]pyren [1)]	–	–	–	0.001
NO_2	200 max. 18x za rok	–	–	40
SO_2	350 max. 24x za rok	125 max. 3x za rok	–	–
O_3				
As [1)]	–	–	–	0.006
Cd [1)]	–	–	–	0.005
Ni [1)]	–	–	–	0.020
Pb [1)]	–	–	–	0.5

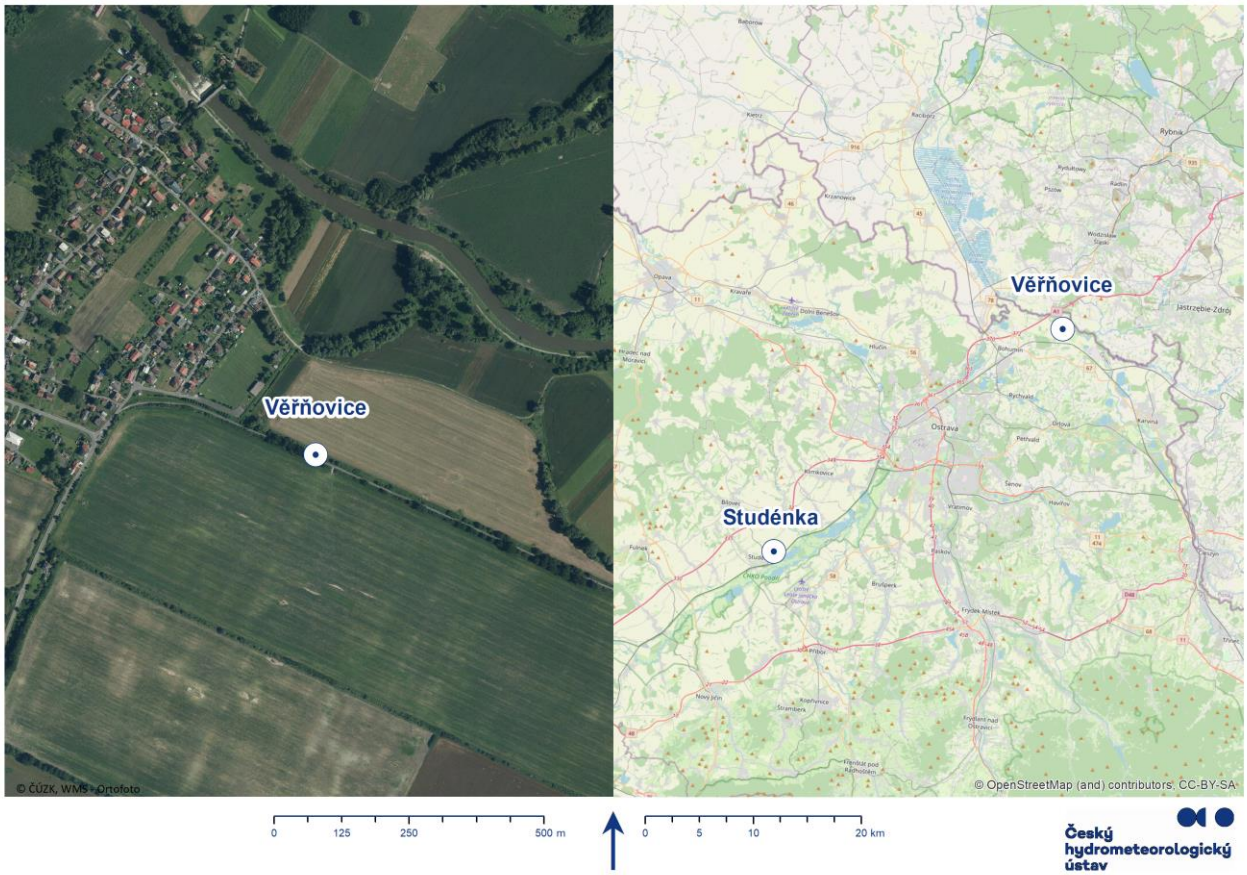
[1)] Celkový obsah v částicích frakce PM_{10}

Informace o měřeních uvedených škodlivin jsou zveřejněny na internetové stránce ČHMÚ[5]. Výsledky všech měření jsou uloženy v Informačním systému kvality ovzduší České republiky, budou využity pro hodnocení kvality ovzduší v České republice v roce 2021 i v dalších letech a budou zveřejněny v ročenkách znečištění ovzduší.[6]

[5] www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/OCO/prehledy/studenka_vernovice/prhl_kraj13.htm
[6] Roční vyhodnocení úrovně znečištění ovzduší v ČR, tabelární a grafické ročenky: www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/tab_roc_CZ.html

Obr. 1 Poloha stanice Studénka

Obr. 2 Stanice Studénka



Obr. 3 Poloha stanice Věřňovice

Obr. 4 Stanice Věřňovice

2. Hodnocení meteorologických podmínek a kvality ovzduší v ČR

Rok 2021 byl s průměrnou teplotou 8,0 °C a s odchylkou +0,1 °C od normálu 1981–2010 (+0,5 °C od normálu 1961–1990 a −0,4 °C od připravovaného normálu za období 1991–2020) normální, roky 2019, 2018, 2015 a 2014 byly mimořádně nadnormální, rok 2020 silně nadnormální a rok 2016 nadnormální. Od posledního teplotně normálního roku 2013 s průměrnou teplotou 7,9 °C bylo zaznamenáno sedm let charakterizovaných různými stupni odchylky nad průměrem. V průběhu roku byla většina měsíců (leden, únor, březen, červenec, říjen, listopad a prosinec) teplotně normální. Září bylo teplotně nadnormální, srpen podnormální, duben a květen silně podnormální. Roční srážkový úhrn 678 mm řadí rok mezi roky srážkově normální (normál za období 1981−2010 je v Česku 686 mm). Nejvíce srážek, v průměru 107 mm, což bylo 122 % normálu, napadlo v Česku v červenci a nejméně, v průměru jen 19 mm, to je 44 % normálu, v říjnu. Červenec je přesto klasifikován jako měsíc srážkově normální, stejně jako dalších šest měsíců (leden, únor, duben, červen, listopad a prosinec). Nadnormální úhrn srážek byl zaznamenán jen v květnu a srpnu, srážkově podnormální byl březen a říjen, září bylo srážkově silně podnormální [5].

Znečištění venkovního ovzduší suspendovanými částicemi frakce PM_{10} a $PM_{2,5}$, benzo[*a*]pyrenem a přízemním ozonem (O_3) představuje hlavní problémy kvality ovzduší Česka. Úroveň znečištění závisí nejen na množství emisí, ale i na převažujících meteorologických a rozptylových podmínkách v daném roce. V jednotlivých regionech převládala v roce 2021 velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší, nejčastěji v Jihomoravském kraji bez aglomerace Brno. Naopak přijatelná a zhoršená až špatná kvalita byla nejčastěji zaznamenána v aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek. V porovnání s desetiletým průměrem 2011–2020 panovaly v roce 2021 standardní rozptylové podmínky. Dobré rozptylové podmínky, vyjádřené pomocí ventilačního indexu [6] byly v roce 2021 zaznamenány ve 300 dnech (82 %), mírně nepříznivé rozptylové podmínky v 61 dnech (17 %) a nepříznivé rozptylové podmínky ve čtyřech dnech (1 %) [5].

3. Zpracování a výsledky

3.1 Suspendované částice PM_{10} a $PM_{2,5}$

Limitní průměrná roční koncentrace 40 $\mu g.m^{-3}$ nebyla překročena ani na jedné z hodnocených lokalit. Na stanici Studénka byla roční průměrná koncentrace PM_{10} 23,3 $\mu g.m^{-3}$, což je 58 % hodnoty ročního imisního limitu, ve Věřňovicích 32,4 $\mu.m^{-3}$, což činí 81 % hodnoty ročního imisního limitu. Při porovnání s průměrnou roční koncentrací PM_{10} v Moravskoslezském kraji se zahrnutím všech typů lokalit dosáhl roční průměr PM_{10} ve Věřňovicích nadprůměrné hodnoty (130 %), ve Studénce byl na 94 % průměru všech stanic v kraji. Doporučená limitní hodnota roční průměrné koncentrace 20 $\mu g.m^{-3}$ pro suspendované částice PM_{10} dle WHO [4] byla překročena na obou hodnocených lokalitách (Obr. 5). Při porovnání ročních koncentrací PM_{10} s rokem 2020 došlo k mírnému nárůstu koncentrací.

Průměrná roční koncentrace PM_{10} ve Věřňovicích je druhou nejvyšší roční koncentrací v Moravskoslezském kraji v roce 2021 (Obr. 5). Nejvyšší roční koncentrace PM_{10} v Moravskoslezském kraji byla dosažena na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ (34,3 $\mu g.m^{-3}$). Pro doplnění kontextu byly porovnány průměrné roční koncentrace PM_{10} z vybraných stanic na území Moravskoslezského kraje a Slezského vojvodství (Obr. 7). Nejvyšší koncentrace z celé oblasti byly dosaženy na polských stanicích Pszczyna a Wodzislaw Slaski. Hodnoty ročních koncentrací PM_{10} dosahovaly hodnot 1 $\mu g.m^{-3}$ pod hodnotou ročního imisního limitu.

Roční imisní limit pro $PM_{2,5}$ 20 µg.m^{-3} byl v roce 2021 překročen na stanici Věřňovice, na stanici Studénka překročen nebyl. Průměrná roční koncentrace na stanici Věřňovice (24,3 µg.m^{-3}) dosáhla úrovně 122 % platného imisního limitu, na stanici Studénka (18,2 µg.m^{-3}) 91 %. Doporučená limitní hodnota roční průměrné koncentrace 10 µg.m^{-3} pro suspendované částice $PM_{2,5}$ dle WHO [4] by byla překročena na obou lokalitách (Obr. 6).

V porovnání průměrných ročních koncentrací $PM_{2,5}$ s lokalitami stacionárního imisního monitoringu v Moravskoslezském kraji (Obr. 6, Obr. 8) byly průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$ na lokalitě Věřňovice druhé nejvyšší (nejvyšší průměrná roční koncentrace $PM_{2,5}$ byla na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ 26,6 µg.m^{-3}). V porovnání průměrných ročních koncentrací $PM_{2,5}$ v roce 2021 na vybraných stanicích Moravskoslezského kraje a Slezského vojvodství dosahuje nejvyšší hodnoty stanice Godów, téměř 34 µg.m^{-3} (Obr. 8).

V kontextu dlouhodobých měření se udržel trend snížených průměrných ročních koncentrací na stanicích v Moravskoslezském kraji posledních tří let, meziročně ovšem došlo k mírnému nárůstu v případě ročních charakteristik PM_{10} i $PM_{2,5}$. Roční průměrné koncentrace PM se na většině monitorovacích stanic v Moravskoslezském kraji v roce 2021 pohybovaly na obdobné úrovni jako v roce 2019. Zvýšil se počet stanic s nadlimitní roční průměrnou koncentrací $PM_{2,5}$ [9]. Roční průměrné koncentrace PM_{10} i $PM_{2,5}$ na stanici Studénka jsou blízké ročním hodnotám v roce 2019, na stanici Věřňovice jsou druhou nejnižší roční hodnotou za poslední dvacetileté období (Obr. 9–10).

Roční chod průměrných měsíčních koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ je znázorněn na Obr. 11 a Obr. 12. Vyšší průměrné koncentrace PM jsou dosaženy v chladných měsících roku, nejvyšší koncentrace PM_{10} i $PM_{2,5}$ byly v únoru 2021. Naopak nejnižší průměrné měsíční koncentrace na obou stanicích byly v měsíci květen a srpen 2021.

Počet dnů s překročením hodnoty denního imisního limitu pro PM_{10} 50 µg.m^{-3} (přičemž přípustný počet překročení je 35 v kalendářním roce dle [1]) byl na stanici Studénka 21 a ve Věřňovicích 56. K překročení denního imisního limitu došlo tedy jen na stanici Věřňovice. Nadlimitní denní průměrné koncentrace PM_{10} se vyskytovaly převážně v chladné polovině roku (Obr. 13–15). Maximální 24hodinová průměrná koncentrace PM_{10} na stanici Věřňovice byla 219,5 µg.m^{-3} dne 1. února 2021, na stanici Studénka 130, 4 µg.m-3 dne 27. prosince 2021 (Obr. 13–14).

Statistické charakteristiky s rozložením hodinových koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ pro celý rok 2021, jeho teplou a chladnou část, s vyznačením mediánové hodnoty a odlehlých hodnot jsou znázorněny na Obr. 16 a 17.

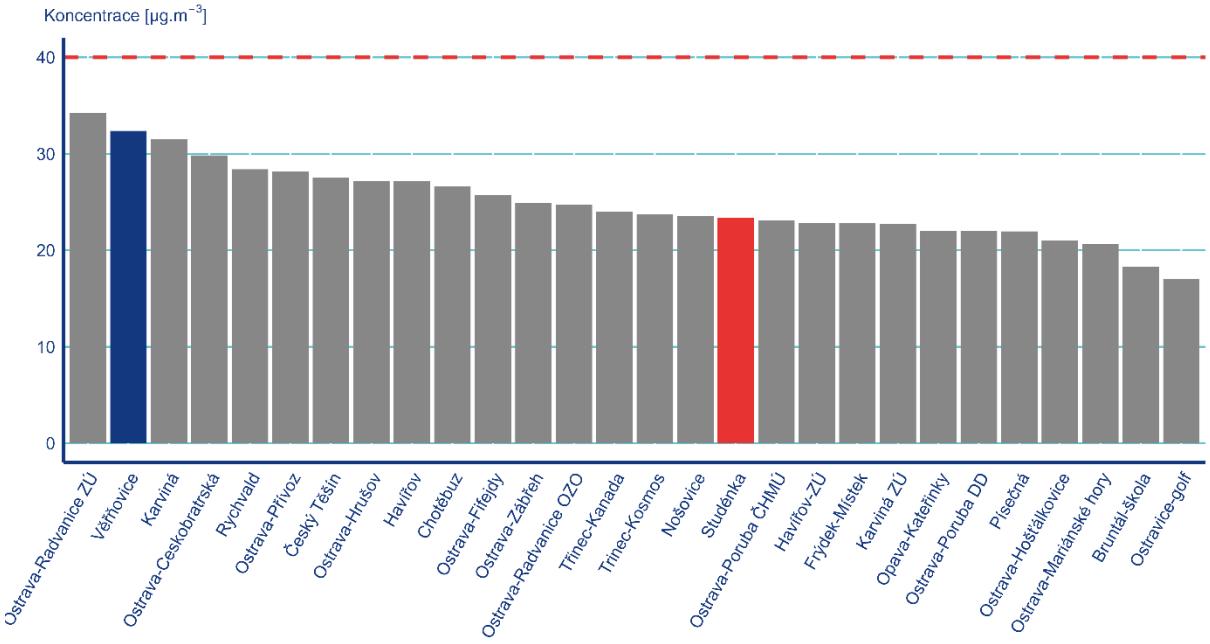
V prosinci došlo k naplnění podmínek pro vyhlášení smogové situace z důvodu vysokých koncentrací suspendovaných částic PM_{10} pro oblast aglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek bez Třinecka. Smogová situace byla vyhlášena 27. 12. 2021 a odhlášena 29. 12. 2021 v celkové délce trvání 58 hod (tj. 2,4 dní). Jedná se o jedinou smogovou situaci vyhlášenou v roce 2021 na území celé ČR [7, 8].

Denní chod průměrných hodinových koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ na stanici Studénka a Věřňovice měl typický průběh s minimálními hodnotami v poledních a popoledních hodinách a maximy v nočních hodinách (Obr. 18, Obr. 19).

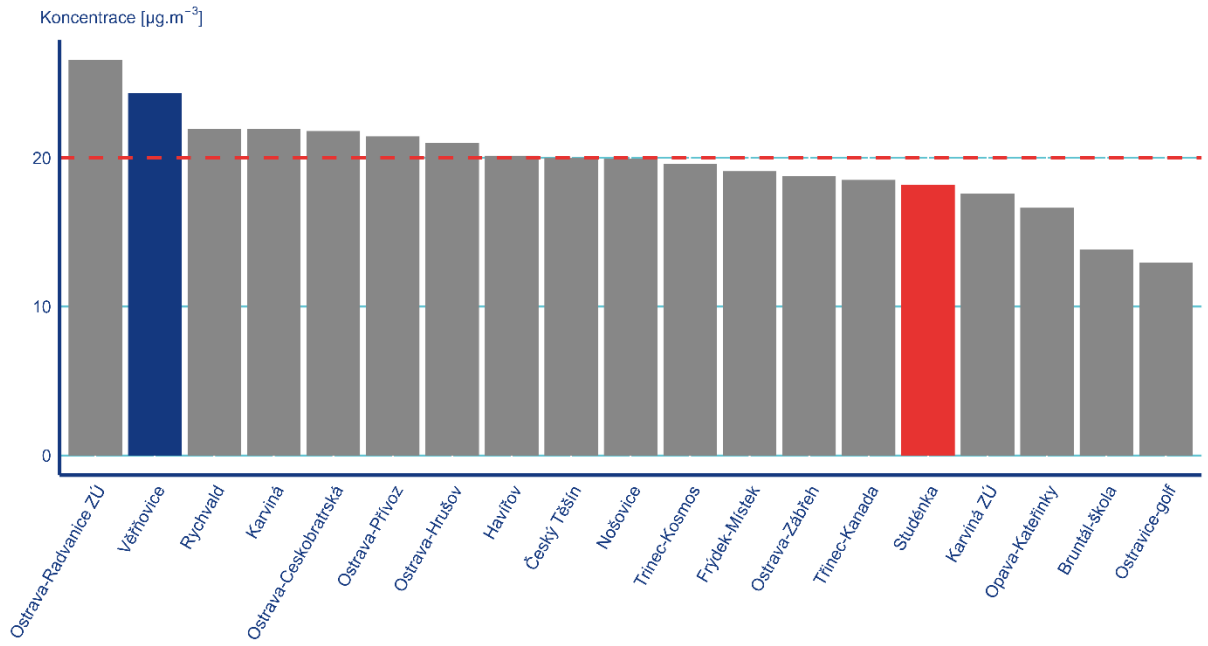
Pro znázornění vztahu koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ na směru a rychlosti větru byly vypočteny vážené koncentrační a koncentrační růžice pro obě lokality (Obr. 20–23). Vážená koncentrační růžice poskytuje informaci o tom, jak často se daná kombinace směru a rychlosti větru vyskytuje a jakou měrou se koncentrace naměřené pro danou rychlost a směr větru podílejí na celkové průměrné koncentraci za dané období. Koncentrační růžice naopak dávají informaci o maximálních příspěvcích

dané látky při daném směru a rychlosti větru. Pro hodnocení vztahu koncentrací škodliviny na směru a rychlosti větru je důležité hodnocení kombinace obou druhů větrných růžic, oba typy růžic se mohou pro stejnou lokalitu výrazně lišit. Např. srovnání růžic může ukázat na významný zdroj znečištění, který se však nachází v sektoru, ze kterého vane vítr pouze ojediněle a k celkové průměrné koncentraci tedy významně nepřispívá.

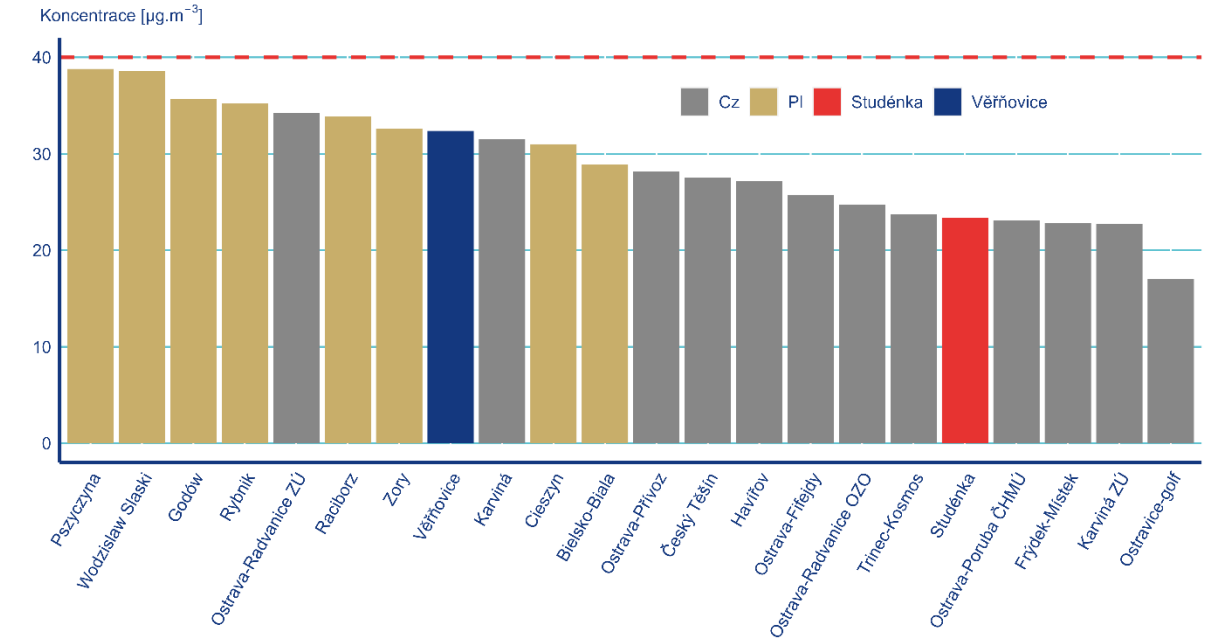
Vážené koncentrační a koncentrační růžice pro PM_{10} a $PM_{2,5}$ jsou velmi podobné na obou lokalitách. Na stanici Studénka přichází nejčastěji vyšší příspěvky koncentrací PM z JZ směru při rychlostech do 3 $m.s^{-1}$, v průměru se ovšem jedná o příspěvky PM zhruba do 5 $\mu g.m^{-3}$. Maximální příspěvky PM (v průměru asi 40 $\mu g.m^{-3}$) přichází na stanici Studénka ze SV směru při vysokých rychlostech větru, dále pak ze stejného směru i při nižších rychlostech větru (Obr. 20, Obr. 22). Na stanici Věřňovice přichází nejčastěji vyšší příspěvky PM z VSV směru, v průměru se jedná o koncentrace nad 8 $\mu g.m^{-3}$. Maximální příspěvky (pro PM_{10} nad 55 $\mu g.m^{-3}$, pro $PM_{2,5}$ nad 40 $\mu g.m^{-3}$) přichází na stanici Věřňovice ze stejného VSV směru při rychlostech větru pod 2 $m.s^{-1}$ a okolo 4 $m.s^{-1}$ (Obr. 21, Obr. 23).



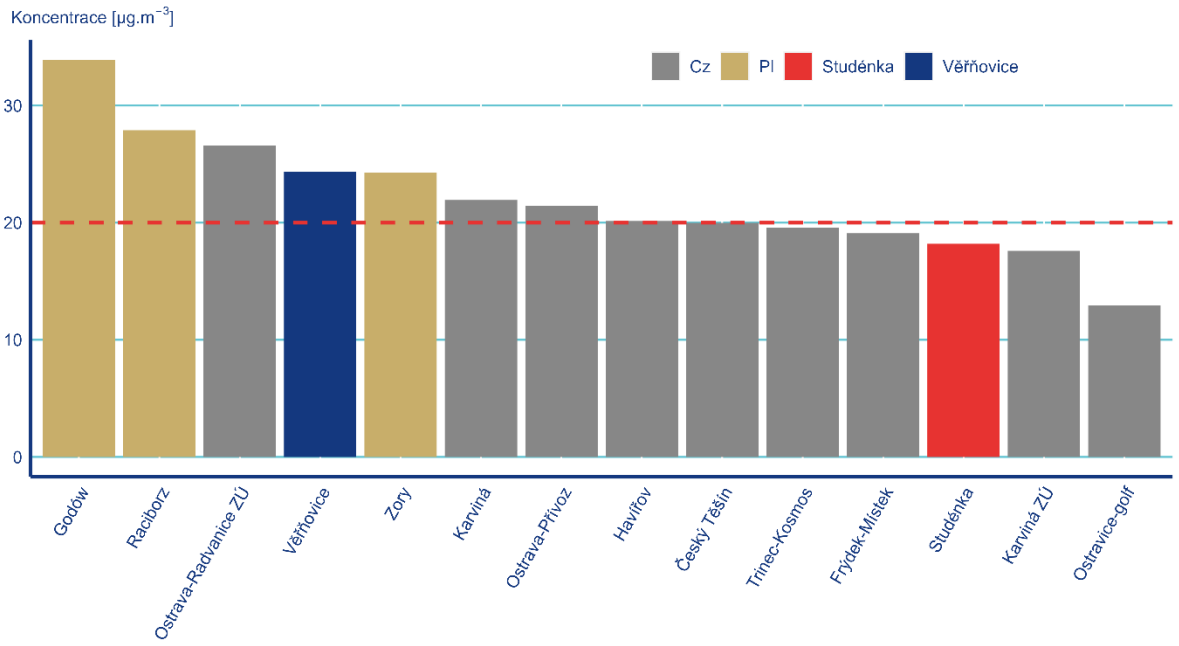
Obr. 5 Průměrná roční koncentrace PM_{10} v roce 2021 (přerušovanou čarou zobrazena hodnota ročního imisního limitu)



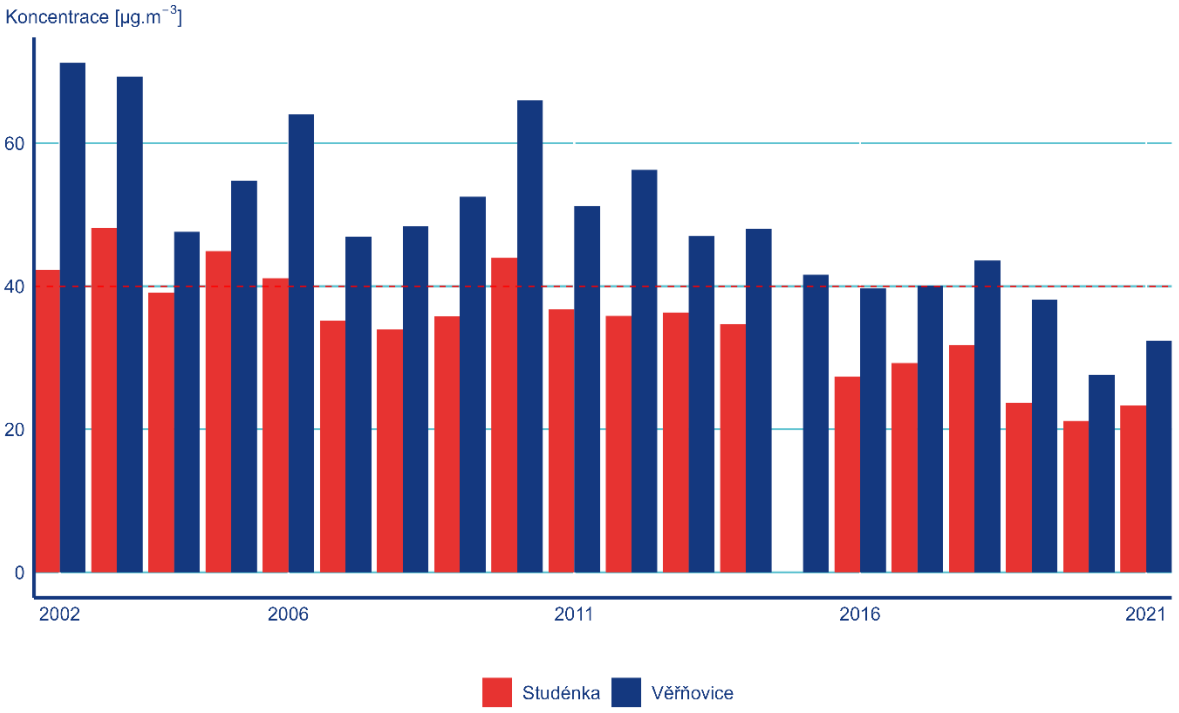
Obr. 6 Průměrná roční koncentrace $PM_{2,5}$ v roce 2021 (přerušovanou čarou zobrazena hodnota ročního imisního limitu)



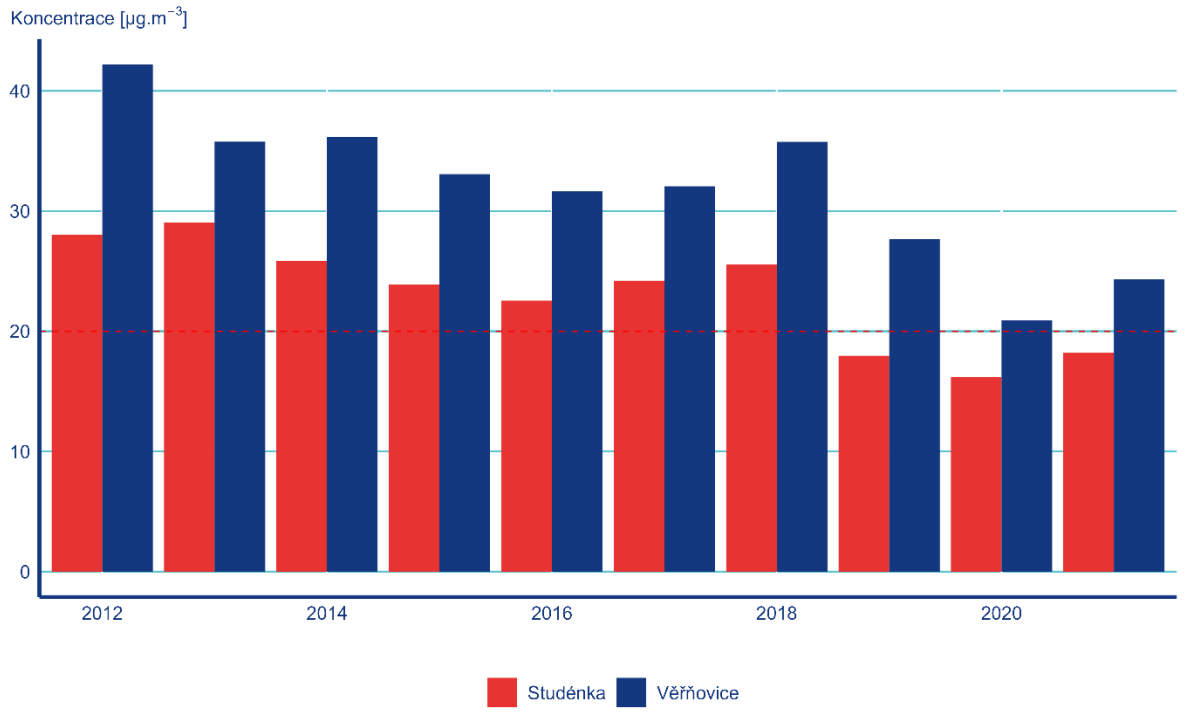
Obr. 7 Průměrná roční koncentrace PM_{10} na vybraných stanicích Moravskoslezského kraje a Slezského Vojvodství v roce 2021 (přerušovanou čarou zobrazena hodnota ročního imisního limitu)



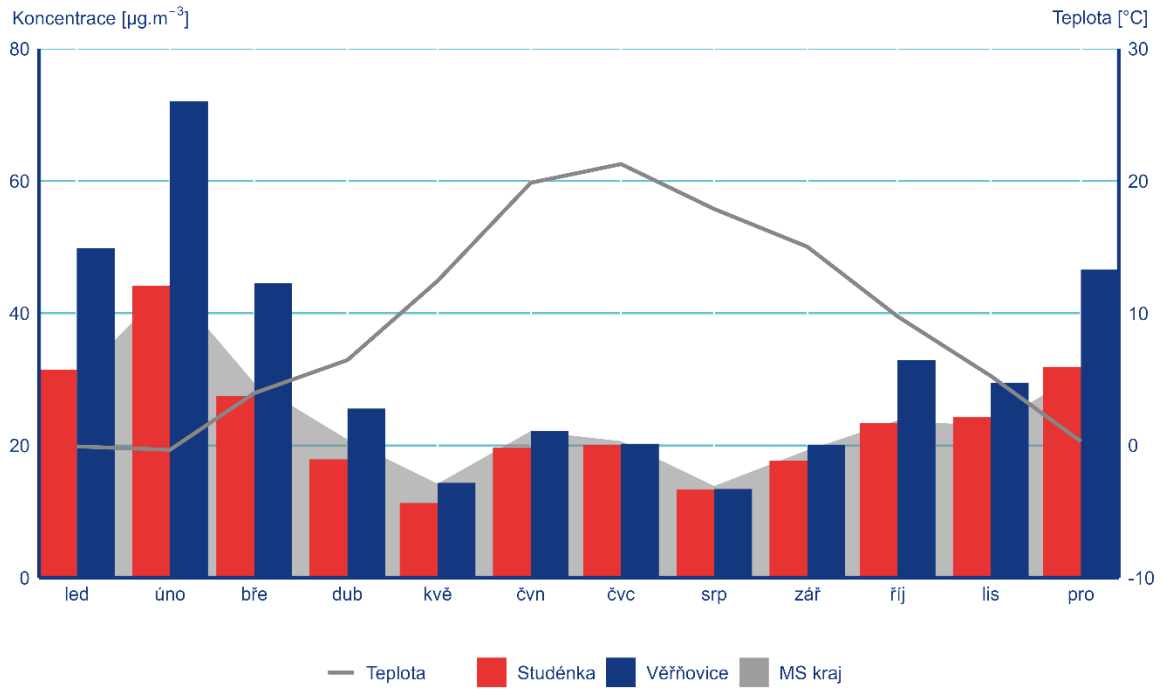
Obr. 8 Průměrná roční koncentrace $PM_{2,5}$ na vybraných stanicích Moravskoslezského kraje a Slezského Vojvodství v roce 2021 (přerušovanou čarou zobrazena hodnota ročního imisního limitu)



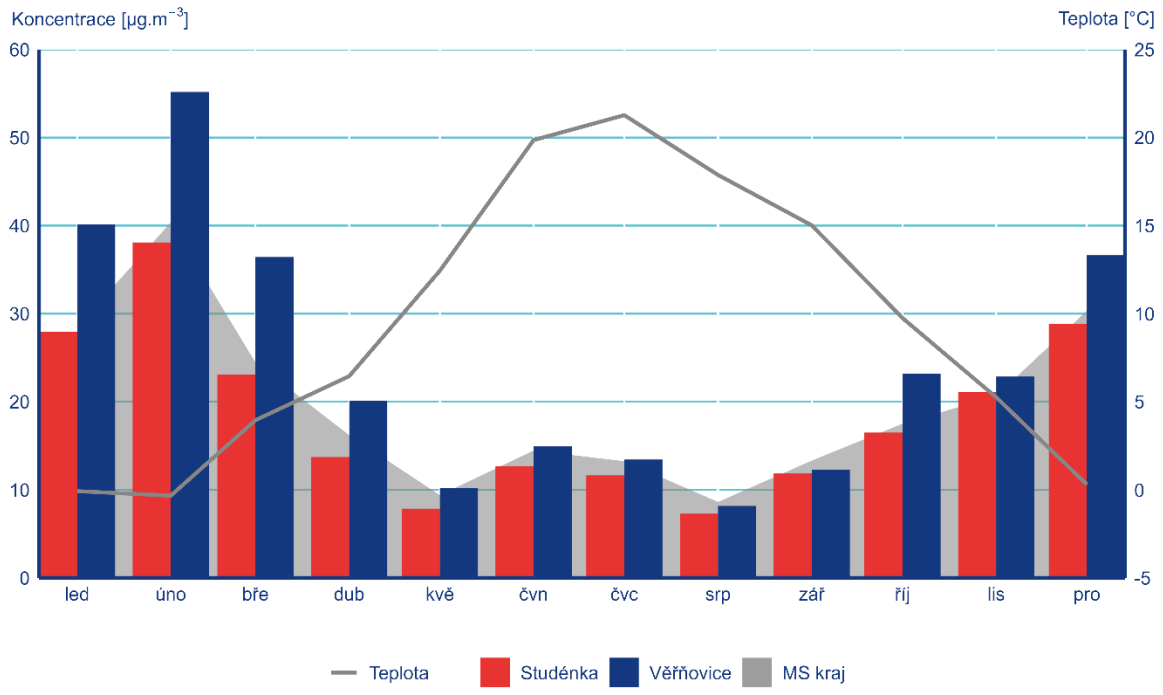
Obr. 9 Roční průměrné koncentrace PM_{10}, Studénka, Věřňovice, 2002–2021



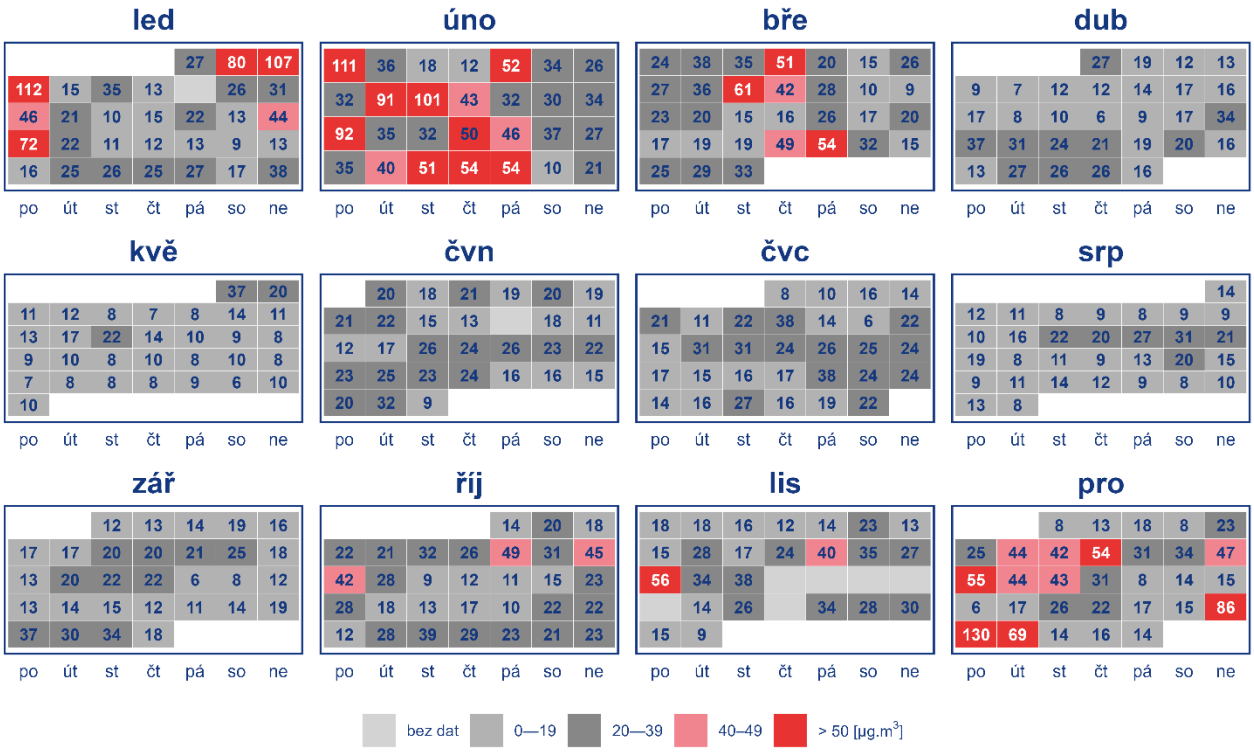
Obr. 10 Roční průměrné koncentrace $PM_{2,5}$, Studénka, Věřňovice, 2012–2021



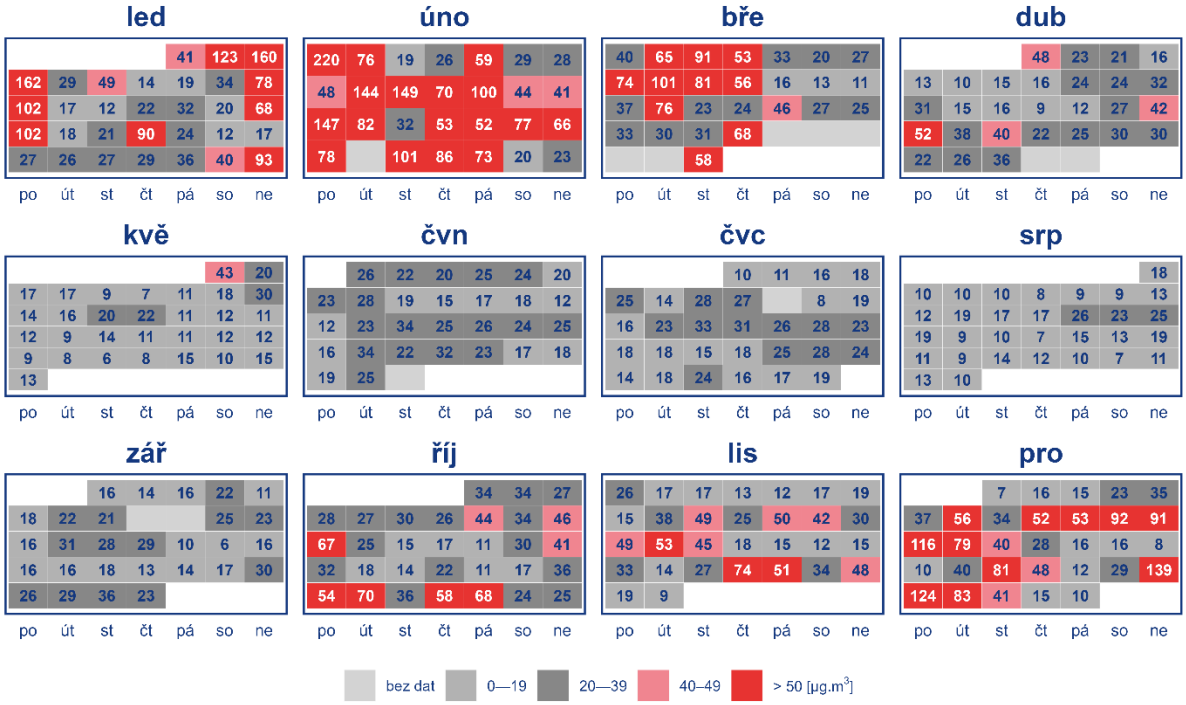
Obr. 11 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací PM_{10} ze SSIM v Moravskoslezském kraji, na stanicích Studénka, Věřňovice a průměrné teploty v Moravskoslezském kraji ze SSIM v roce 2021



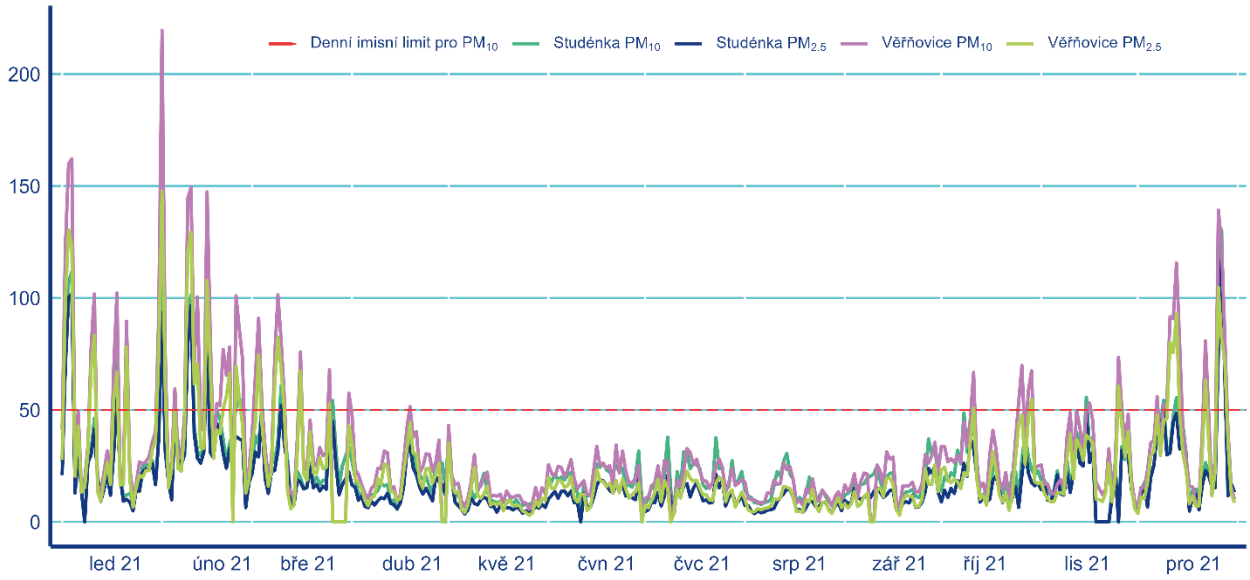
Obr. 12 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací $PM_{2,5}$ ze SSIM v Moravskoslezském kraji, na stanicích Studénka, Věřňovice a průměrné teploty v Moravskoslezském kraji ze SSIM v roce 2021



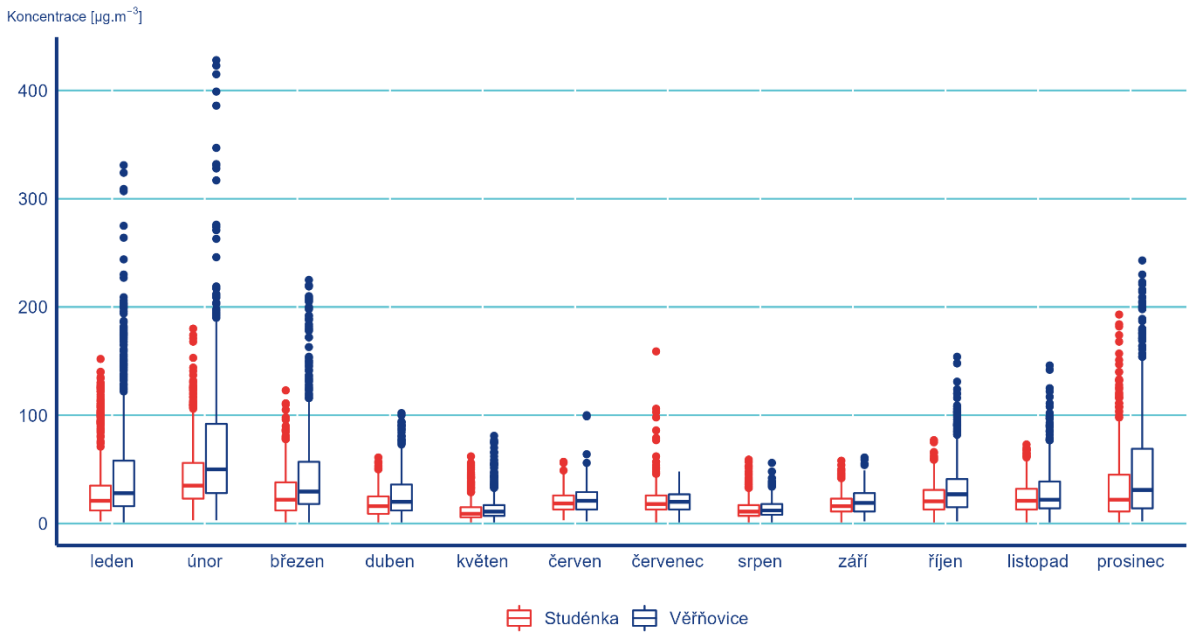
Obr. 13 Denní průměrné koncentrace PM_{10}, Studénka, 2021



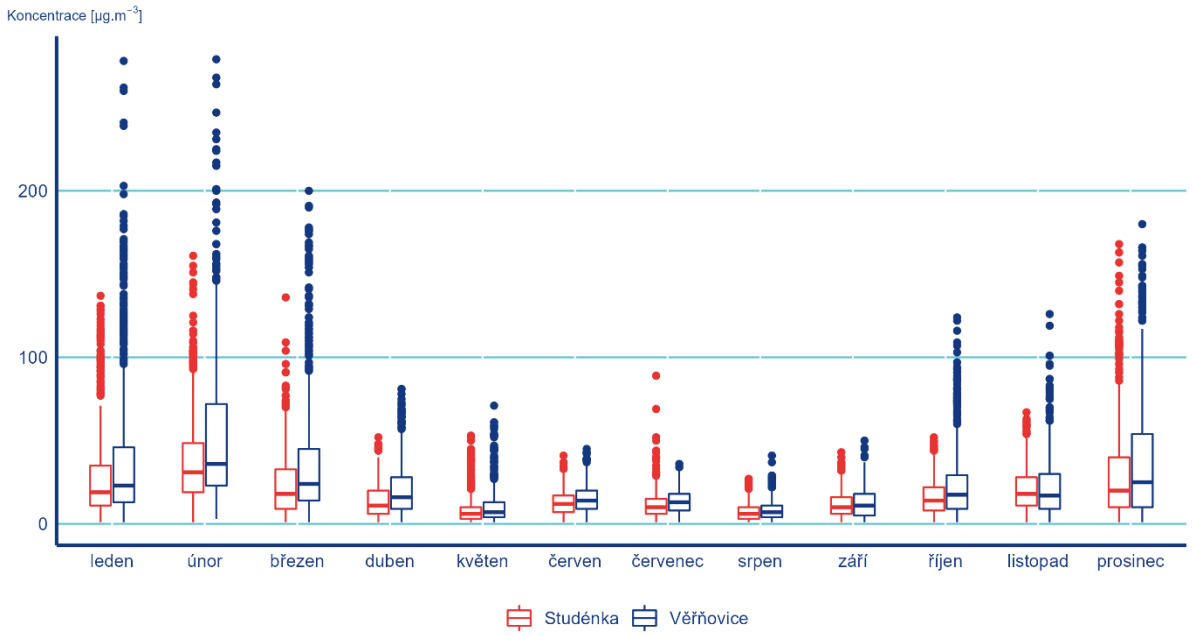
Obr. 14 Denní koncentrace PM_{10}, Věřňovice, 2021



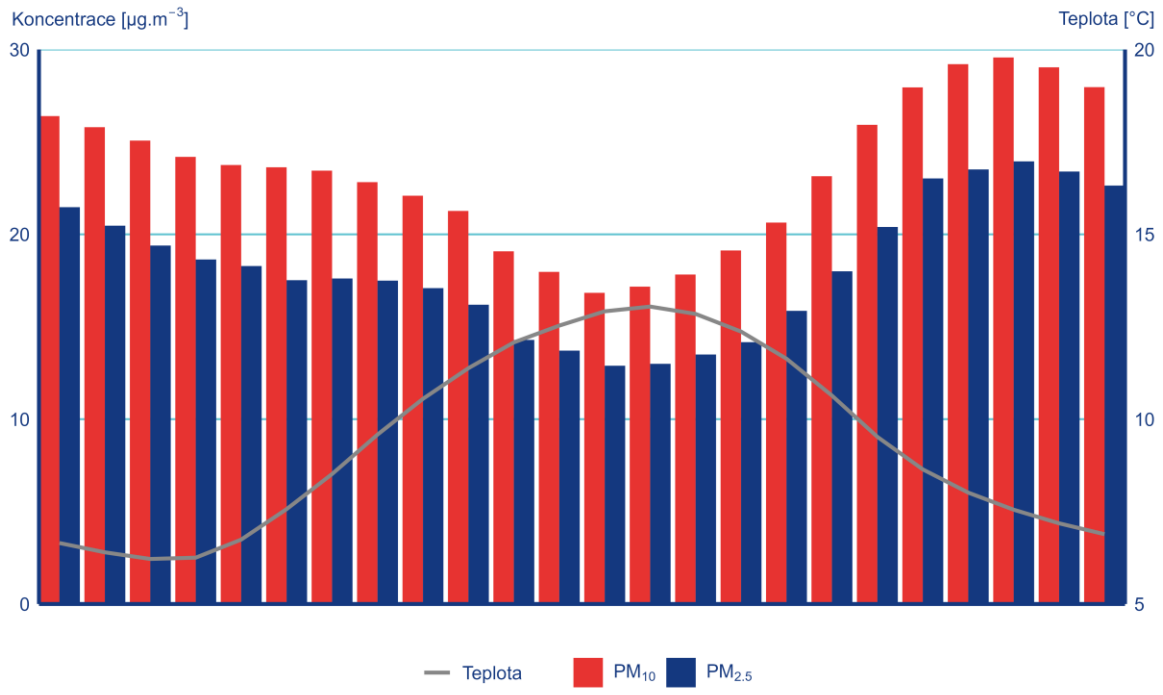
Obr. 15 Denní koncentrace PM_{10} a $PM_{2,5}$ v roce 2021, v $\mu g.m^{-3}$



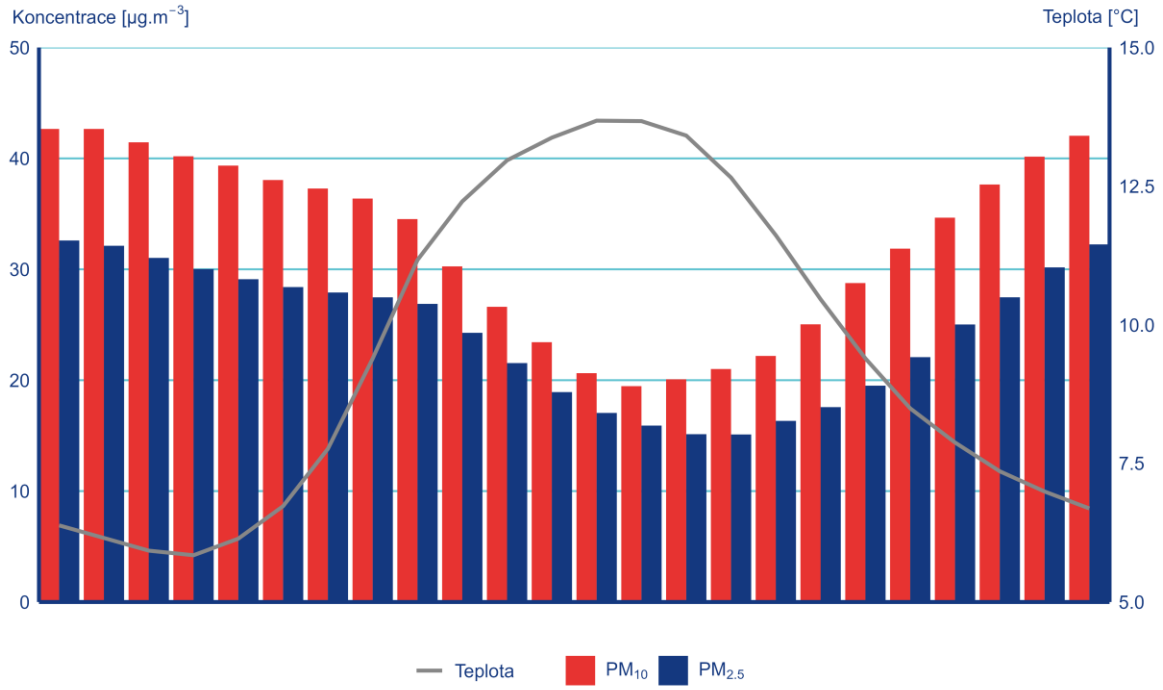
Obr. 16 Statistické charakteristiky a rozložení hodinových koncentrací PM_{10}, 2021



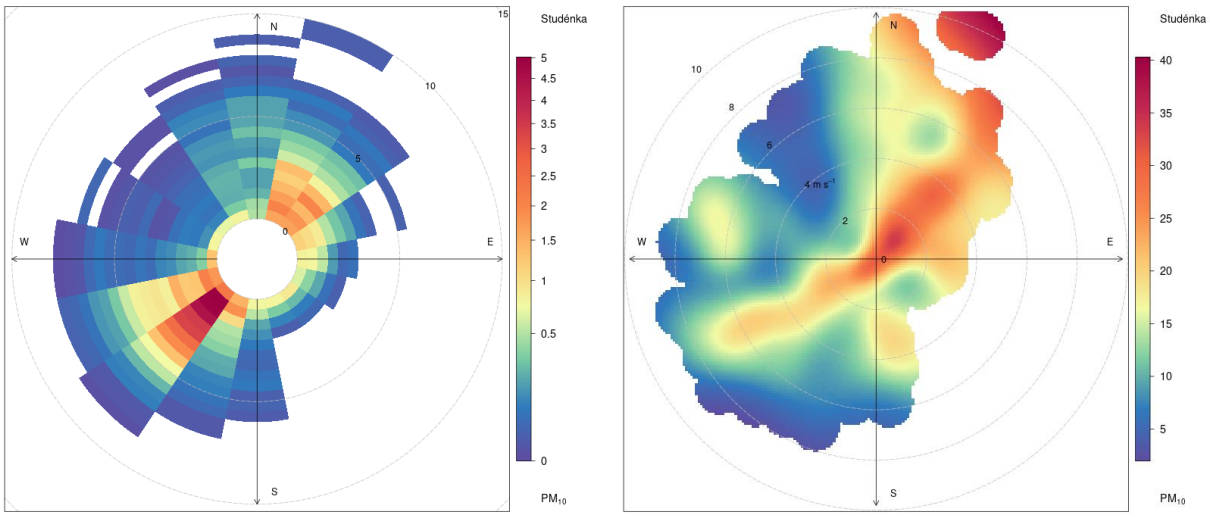
Obr. 17 Statistické charakteristiky a rozložení hodinových koncentrací $PM_{2,5}$, 2021



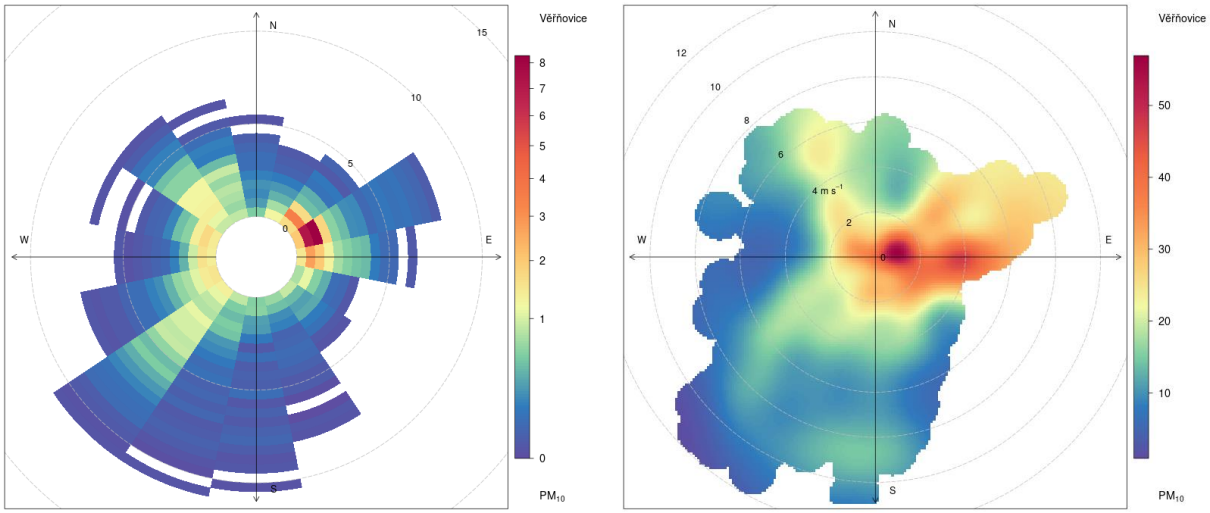
Obr. 18 Denní chod průměrných hodinových koncentrací PM_{10}, $PM_{2,5}$ a teploty na stanici Studénka v roce 2021 (pro 0–23 h UTC, hodinový průměr je vztažen k začátku intervalu)



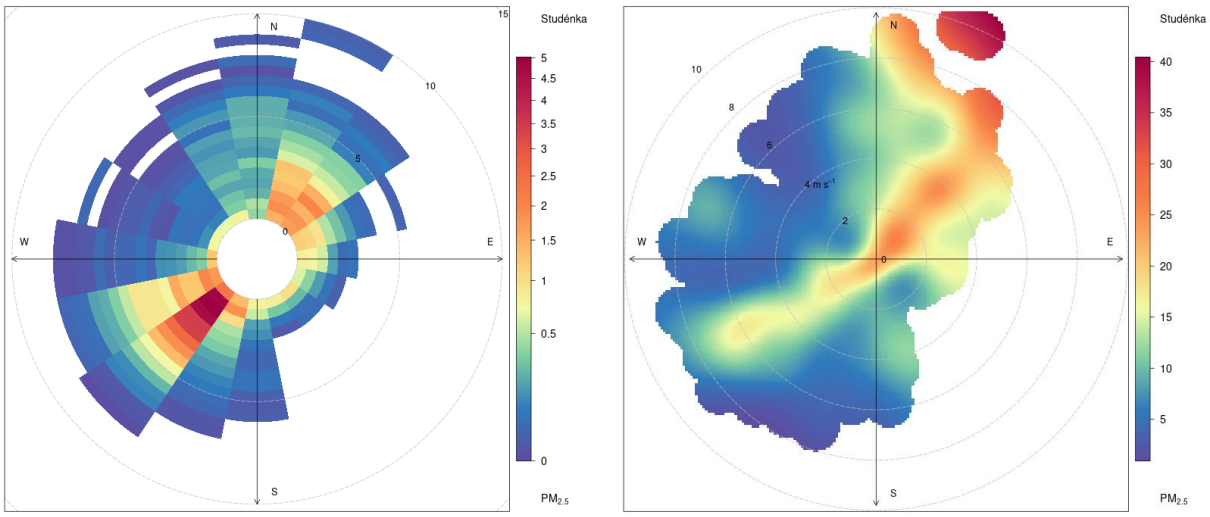
Obr. 19 Denní chod průměrných hodinových koncentrací PM_{10}, $PM_{2,5}$ a teploty na stanici Věřňovice v roce 2021 (pro 0–23 h UTC, hodinový průměr je vztažen k začátku intervalu)



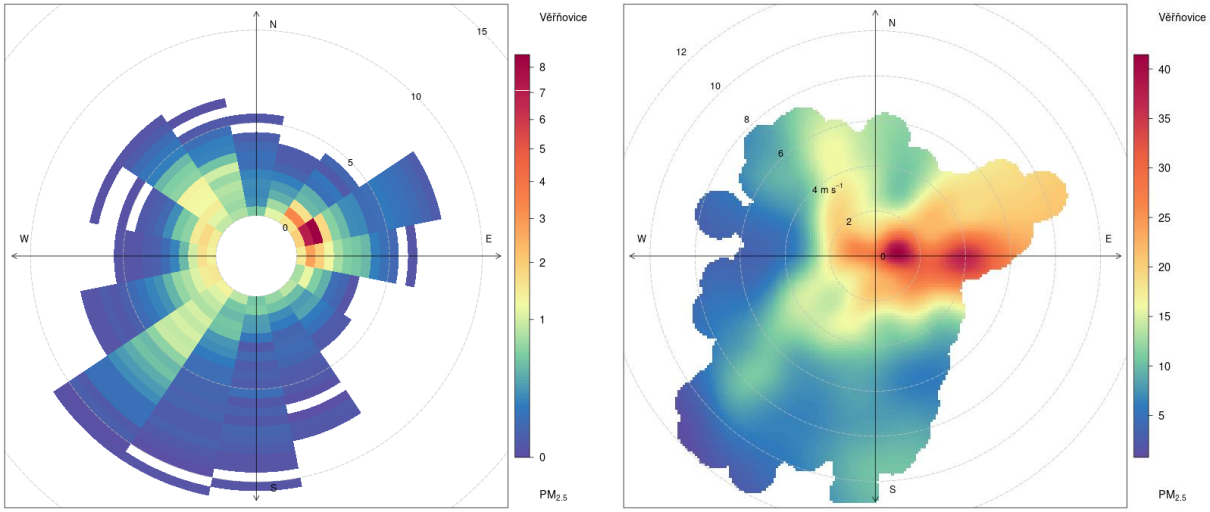
Obr. 20 Vážená koncentrační (vlevo) a koncentrační růžice (vpravo) pro PM_{10} na stanici Studénka, 2021



Obr. 21 Vážená koncentrační (vlevo) a koncentrační růžice (vpravo) pro PM_{10} na stanici Věřňovice, 2021



Obr. 22 Vážená koncentrační (vlevo) a koncentrační růžice (vpravo) pro $PM_{2,5}$ na stanici Studénka, 2021



Obr. 23 Vážená koncentrační (vlevo) a koncentrační růžice (vpravo) pro $PM_{2,5}$ na stanici Věřňovice, 2021

3.2 Polycyklické aromatické uhlovodíky

Na obou lokalitách bylo v roce 2021 prováděno měření polyaromatických uhlovodíků (PAH) v suspendovaných částicích PM_{10} v 3denním cyklu (každý 3. den).

Hodnota ročního imisního limitu pro celkový obsah benzo[*a*]pyrenu v částicích PM_{10} pro ochranu lidského zdraví je 1 ng.m^{-3}. Roční imisní limit pro BaP byl více než šestinásobně překročen na stanici Věřňovice (6,8 ng.m^{-3} v PM_{10}) a téměř dvojnásobně na stanici Studénka (1,9 ng.m^{-3} v PM_{10}). Průměrná roční koncentrace benzo[*a*]pyrenu na stanici Věřňovice byla stejně jako v roce 2020 druhou nejvyšší krajskou hodnotou. Nejvyšší roční koncentrace v roce 2021 na území Moravskoslezského kraje byla naměřena na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ (8,8 ng.m^{-3}). K překročení ročního limitu došlo i na všech ostatních lokalitách Státní sítě imisního monitoringu v Moravskoslezském kraji, kde je benzo[*a*]pyren rutinně stanovován v PM_{10} (Tab. 4). Pro doplnění

kontextu byly porovnány průměrné roční koncentrace z vybraných stanic na území Moravskoslezského kraje a Slezského vojvodství (Obr. 24).

Na lokalitě Studénka byla denní hodnota BaP ve 44 % dnů s měřením vyšší než hodnota 1 ng.m^{-3}, na stanici Věřňovice v 65 % dnů (Obr. 25). Ve Věřňovicích byly poprvé koncentrace PAH měřeny s dotační podporou Moravskoslezského kraje v roce 2020. Výsledky z roku 2021 zcela potvrdily už dříve publikované informace o souvislostech v této hraniční lokalitě. Zvláště v případě koncentrací benzo[*a*]pyrenu dominuje znečištění na přilehlé polské části území jižního Slezska. Vliv přeshraničního přenosu znečištění se nejmarkantněji projevuje v koncentračních úrovních měřených v údolních lokalitách pohraničních řek, kde je porovnatelné s průmyslovými lokalitami v Ostravě.

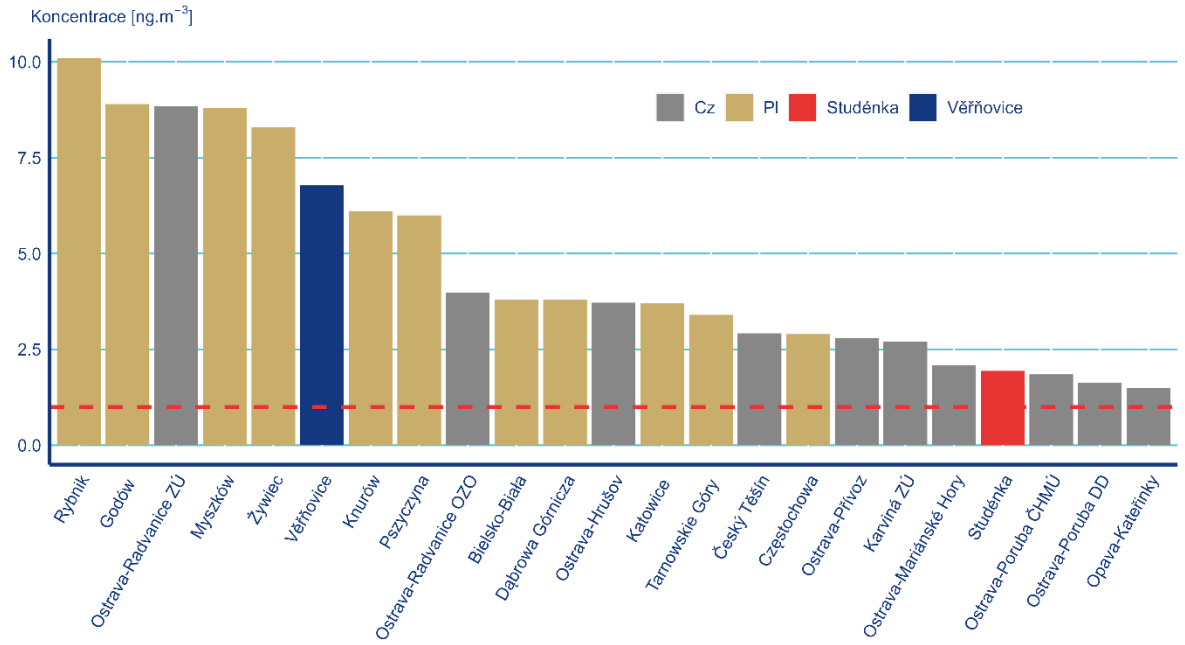
Průměrné koncentrace polyaromatických uhlovodíků za celý rok, chladné a teplé období roku 2021 jsou znázorněny v Tab. 5. U stanovovaných polyaromátů se projevuje výrazný roční chod velkým rozdílem mezi koncentracemi měřenými v teplé a chladné polovině roku (Obr. 26, Tab. 5), pro BaP rovněž na Obr. 25. Na stanici Věřňovice jsou hodnoty koncentrací všech sledovaných PAH vyšší než na stanici Studénka. Podíl průměrných koncentrací jednotlivých stanovovaných PAH naměřených v teplém období tvořil v průměrech za chladné období roku zhruba 6 až 16 % na stanici Studénka a zhruba 8 až 16 %, na stanici Věřňovice. Mezi stanicemi nebyly významnější rozdíly v poměrném zastoupení jednotlivých PAH (Obr. 26, Tab. 5).

Pro potřeby hodnocení 24hodinových koncentrací BaP v závislosti na směru větru byla použita interní metodika stanovení denního typu směru proudění (DTP) z hodinových dat směru a rychlosti větru [10]. 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 (≤ 0,4 m.s-1) a proměnlivý vítr. Hodnocení koncentrací BaP v závislosti na DTP nemusí být objektivní s ohledem na skutečnost, že měření neprobíhalo každý den. Jedná se o orientační charakteristiku s omezenou vypovídací hodnotou.

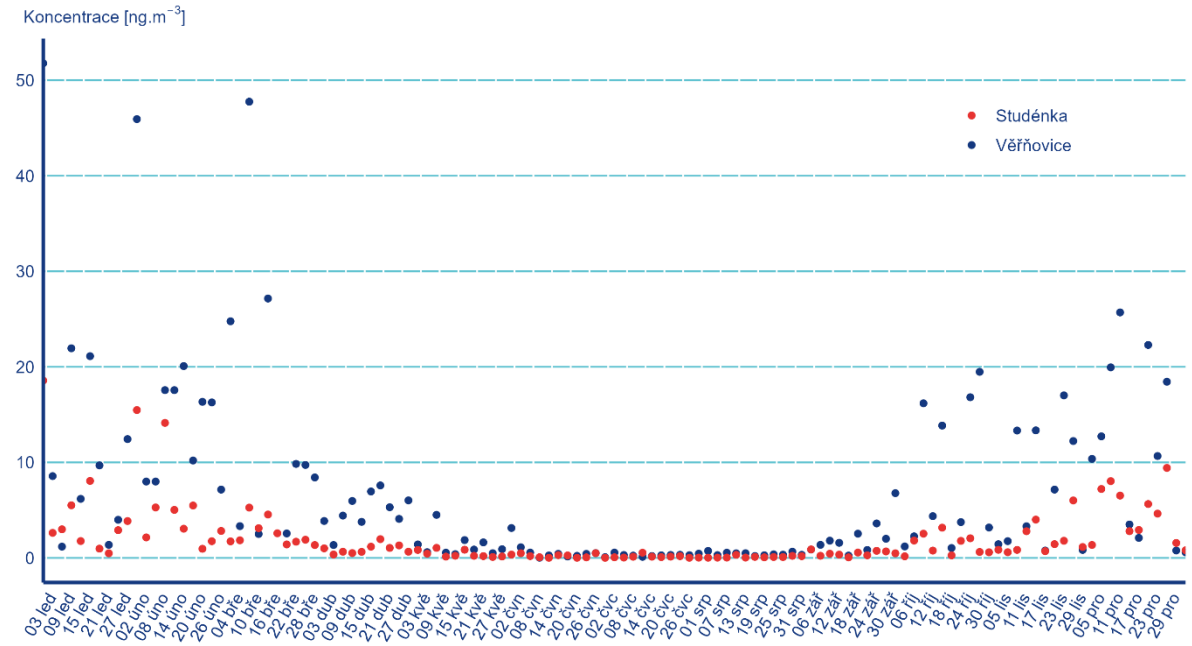
Tabulka 6 ukazuje, jaká byla četnost proudění z jednotlivých směrů (a četnost výskytu DTP: proměnlivý a bezvětří) ve dnech s měřením dané znečišťující látky (% wd) a kolika procenty se koncentrace dané znečišťující látky při proudění z konkrétního směru podílely na celkové průměrné roční koncentraci (% PM_{10} a % BaP). Průměrné koncentrace při proudění z jednotlivých sektorů jsou na Obr. 27 a Obr. 28. Na stanici Studénka jsou jednoznačně nejvyšší průměrné koncentrace BaP dosahovány při bezvětří, dále pak při S až SV proudění. Na stanici Věřňovice dominují nejvyšší průměrné koncentrace BaP při východním a dále pak při západním proudění.

Tab. 4 Porovnání koncentrací benzo[a]pyrenu s hodnotami na vybraných lokalitách stacionárního imisního monitoringu

2021	Průměrná roční koncentrace [ng.m^{-3}]
Ostrava-Radvanice ZÚ	8.84
Věřňovice	**6,78**
Ostrava-Radvanice OZO	3,98
Ostrava-Hrušov	3.72
Český Těšín	2.92
Ostrava-Přívoz	2.79
Karviná ZÚ	2.71
Ostrava-Mariánské Hory	2.09
Studénka	**1.94**
Ostrava-Poruba ČHMÚ	1.85
Ostrava-Poruba DD	1.63
Opava-Kateřinky	1.50



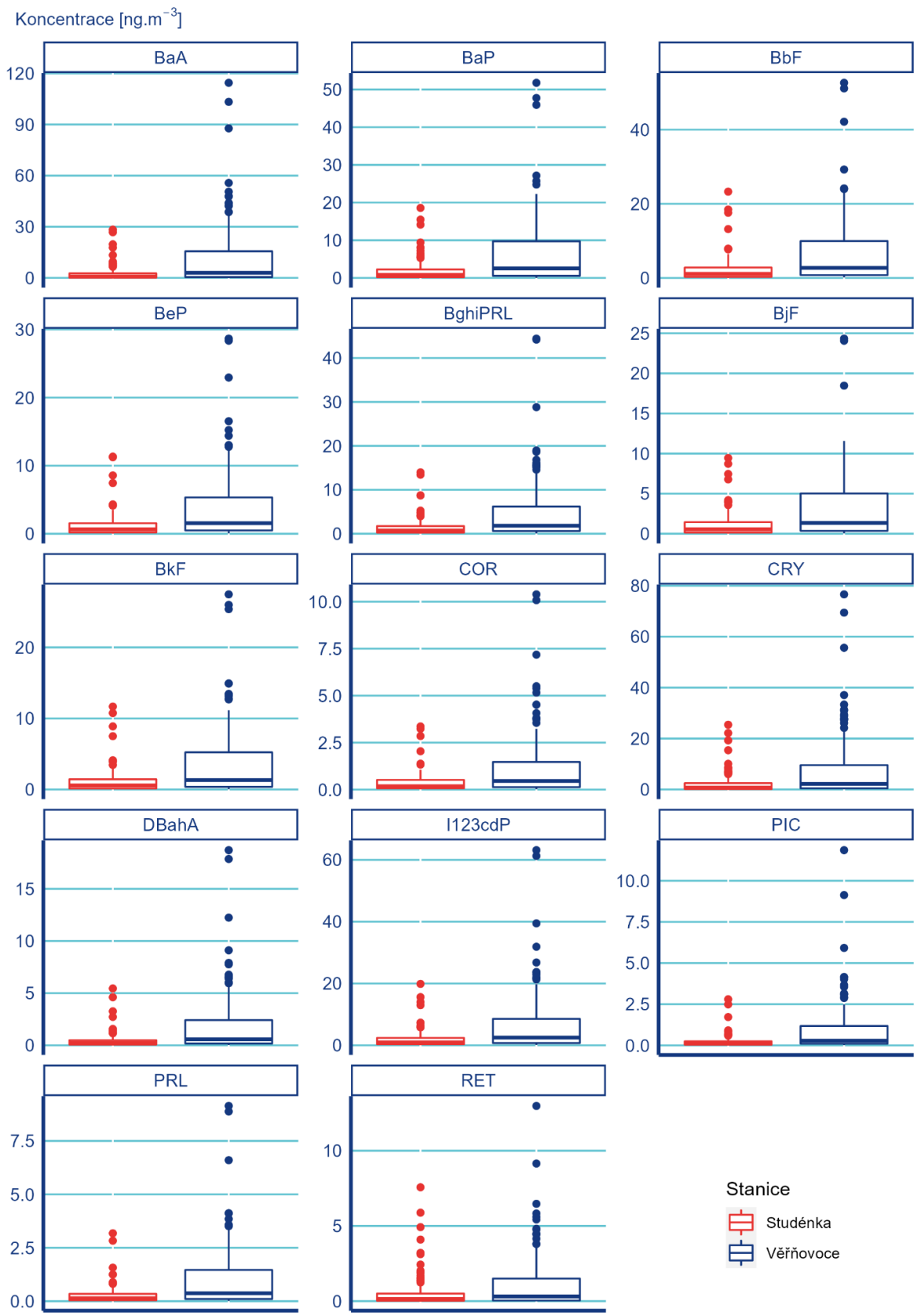
Obr. 24 Průměrná roční koncentrace BaP v roce 2021 v Moravskoslezském kraji a Slezském Vojvodství (přerušovanou čarou zobrazena hodnota ročního imisního limitu)



Obr. 25 Denní koncentrace benzo[a]pyrenu v roce 2021

Tab. 5 Průměrné koncentrace polyaromatických uhlovodíků za celý rok, v chladné (CH) a teplé (TE) sezoně v ng.m^{-3}, 2021

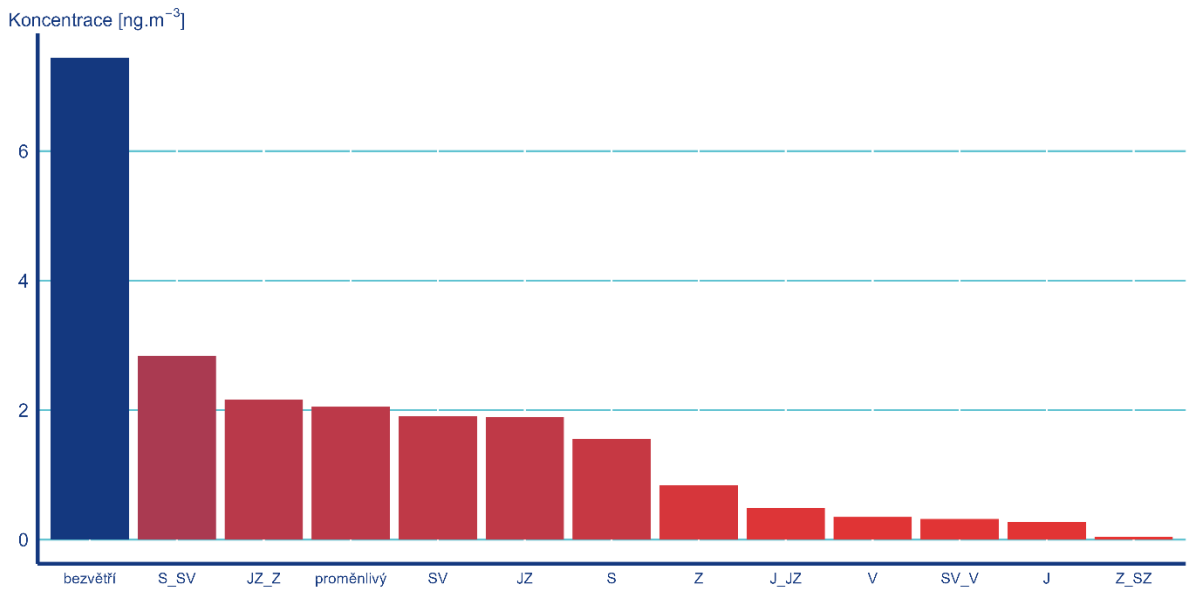
PAH	BaA	BaP	BbF	BeP	BghiPRL	BjF	BkF	COR	CRY	DBahA	I123cdP	PIC	PRL	RET
Studénka														
Rok	2.5	1.9	2.3	1.3	1.5	1.1	1.2	0.4	2.3	0.4	2.0	0.2	0.3	0.6
CH	4.7	3.5	4.1	2.3	2.6	2.0	2.2	0.7	4.3	0.8	3.6	0.4	0.5	1.1
TE	0.3	0.4	0.5	0.3	0.4	0.3	0.2	0.1	0.3	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1
Věřňovice														
Rok	12.0	6.8	7.0	4.1	5.1	3.3	3.8	1.2	8.1	2.0	7.0	1.0	1.0	1.2
CH	22.1	12.1	12.4	7.1	9.0	5.7	6.8	2.2	15.1	3.6	12.6	1.7	1.8	2.3
TE	2.0	1.5	1.7	1.0	1.2	0.9	0.9	0.3	1.3	0.4	1.5	0.2	0.3	0.2



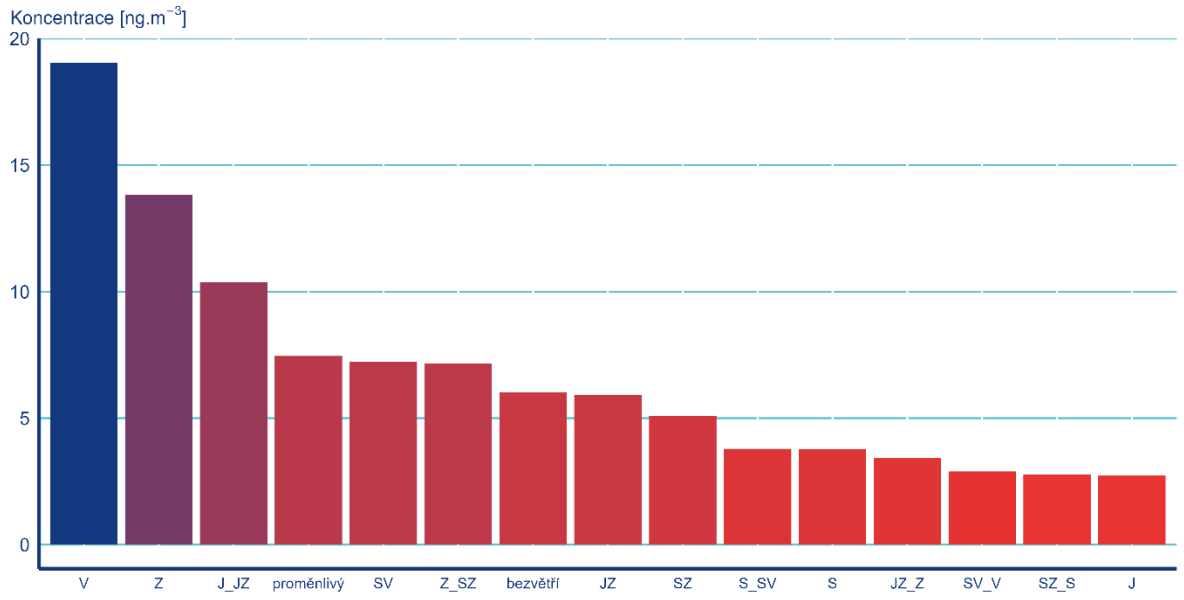
Obr. 26 Statistické charakteristiky a rozložení koncentrací PAH v ng.m^{-3}, 2021

Tab. 6 Koncentrace BaP v závislosti na denním typu proudění na stanicích Studénka a Věřňovice, 2021

DTP	Studénka			Věřňovice		
	% wd	prům.konc. BaP	% BaP	% wd	prům.konc. BaP	% BaP
bezvětří	1.6	7.4	6.3	0.8	6.0	0.7
S	13.1	1.6	10.5	0.8	3.8	0.5
SV	9.0	1.9	8.8	3.3	7.2	3.5
V	0.8	0.4	0.1	5.8	19.1	16.3
J	2.5	0.3	0.3	3.3	2.7	1.3
JZ	41.0	1.9	40.0	28.1	5.9	24.5
Z	0.8	0.8	0.4	2.5	13.8	5.1
SZ	-	-	-	14.9	5.1	11.2
S–SV	6.6	2.8	9.6	2.5	3.8	1.4
SV–V	0.8	0.3	0.1	3.3	2.9	1.4
J–JZ	0.8	0.5	0.2	0.8	10.4	1.3
JZ–Z	4.1	2.2	4.6	2.5	3.4	1.3
Z–SZ	0.8	0.0	0.0	0.8	7.2	0.9
SZ–S	-	-	-	4.1	2.8	1.7
proměnlivý	18.0	2.1	19.1	26.4	7.5	29.1



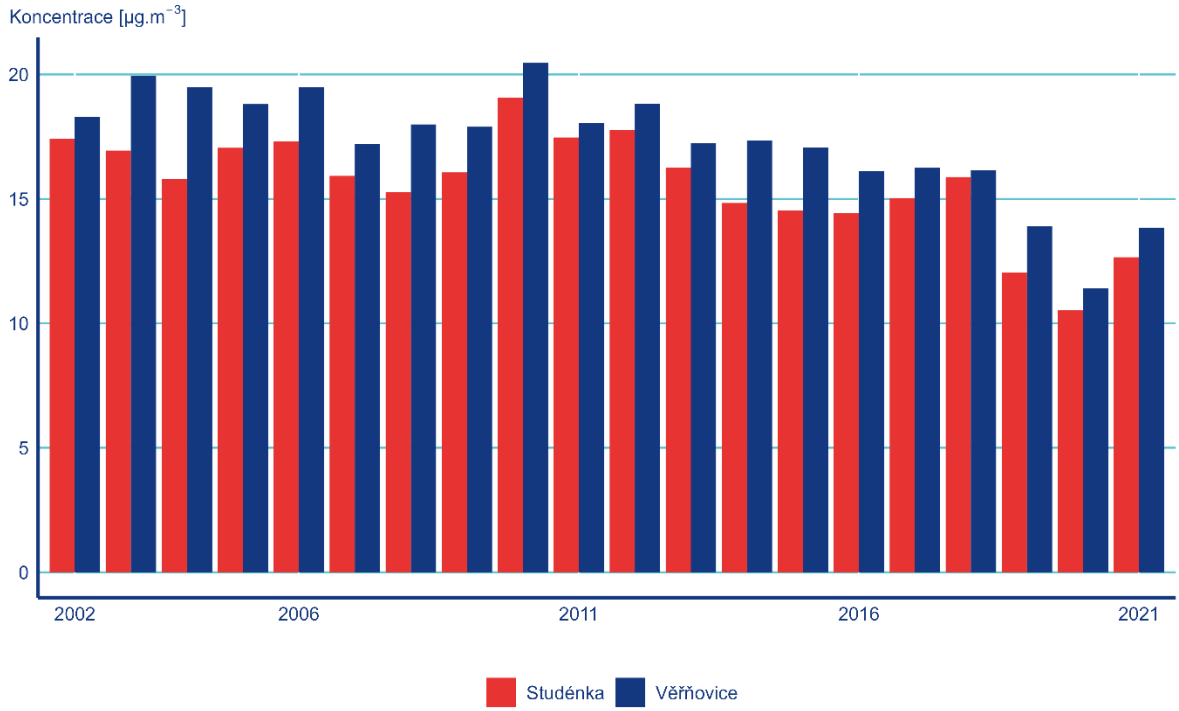
Obr. 27 Průměrné koncentrace BaP v závislosti na DTP, Studénka, 2021



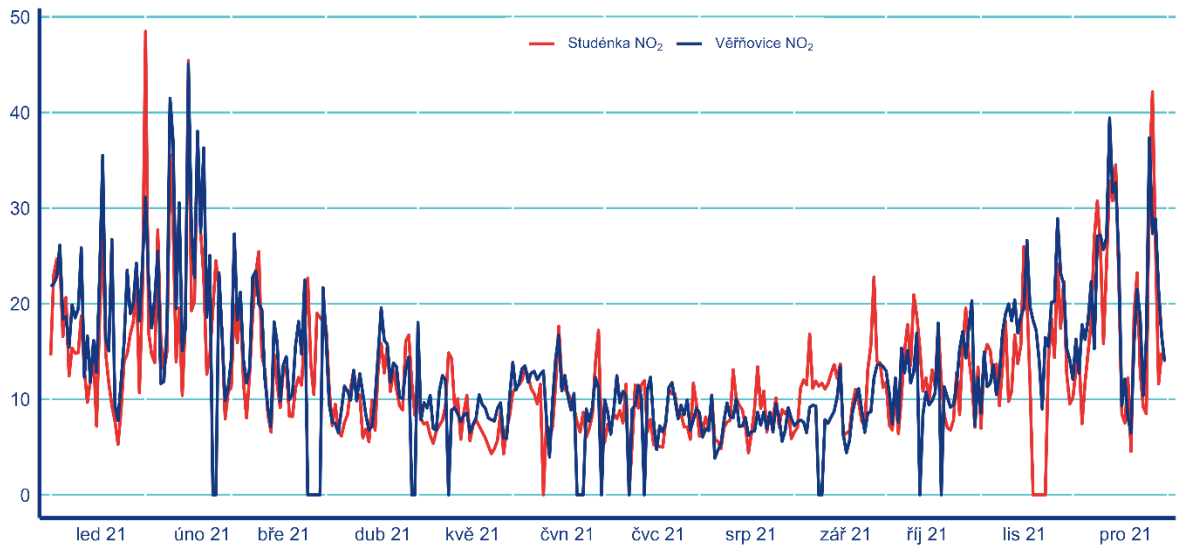
Obr. 28 Průměrné koncentrace BaP v závislosti na DTP, Věřňovice, 2021

3.3 Oxid dusičitý NO_2

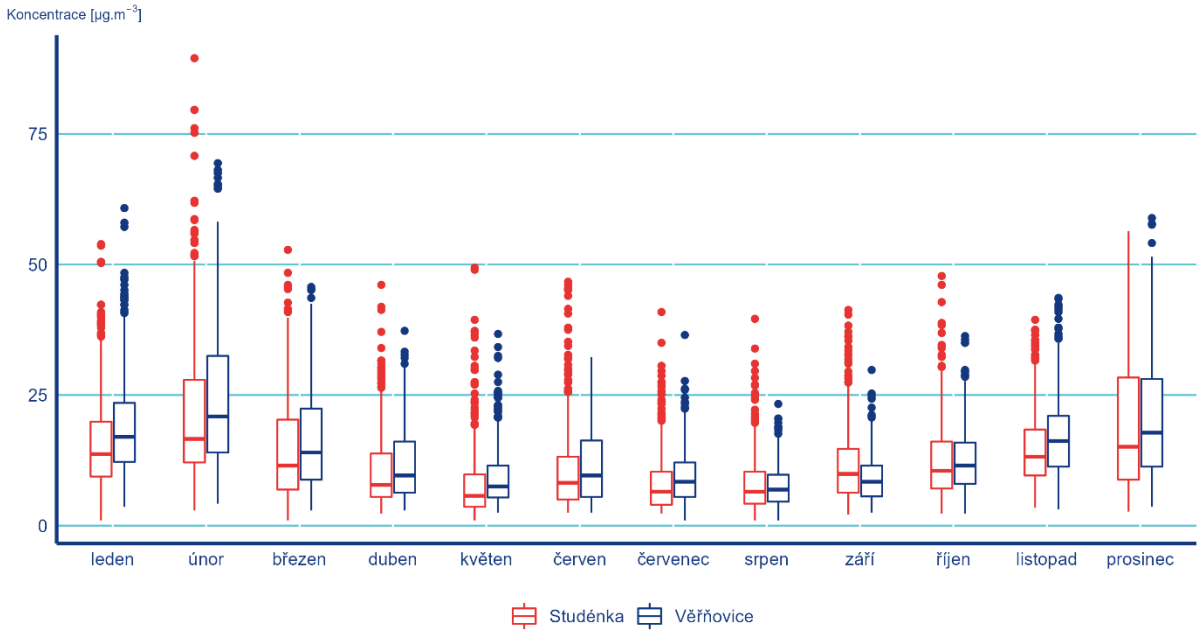
Průměrné roční koncentrace NO_2 jsou na obou stanicích nízké (Studénka – 12,7 µg.m^{-3}; Věřňovice – 13,8 µg.m^{-3}) a jsou více než pod polovinou ročního imisního limitu 40 µg.m^{-3}. Zároveň jsou třetími nejnižšími hodnotami za poslední dvacetileté období (Obr. 29). Průběh denních koncentrací NO_2 je znázorněn na Obr. 30 a statistické rozložení hodinových koncentrací NO_2 pro jednotlivé měsíce roku 2021 na Obr. 31. Maximální hodnoty hodinových a denních koncentrací NO_2 jsou dosahovány v chladných měsících roku, naopak nejnižší v létě. Maximální hodinové koncentrace NO_2 nedosahují ani 25 % hodnoty hodinového limitu 200 µg.m^{-3}.



Obr. 29 Průměrné roční koncentrace NO_2, 2002–2021



Obr. 30 Denní koncentrace NO_2 v roce 2021, v µg.m^{-3}

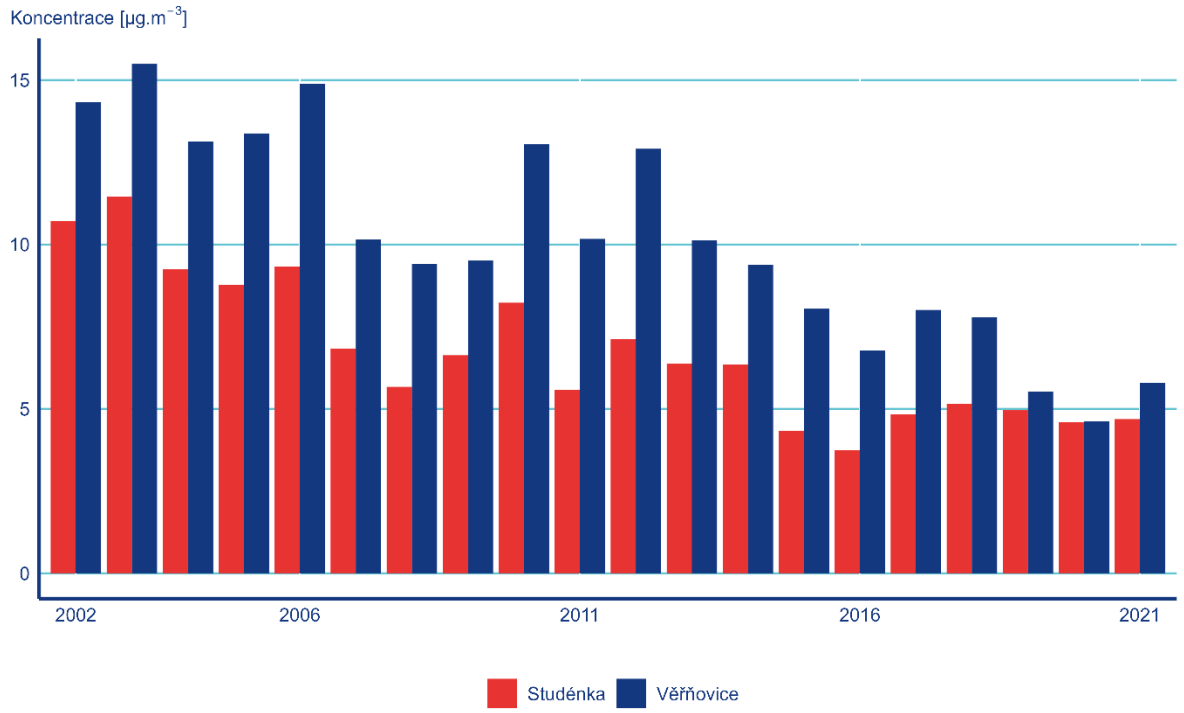


Obr. 31 Statistické charakteristiky a rozložení hodinových koncentrací NO_2, 2021

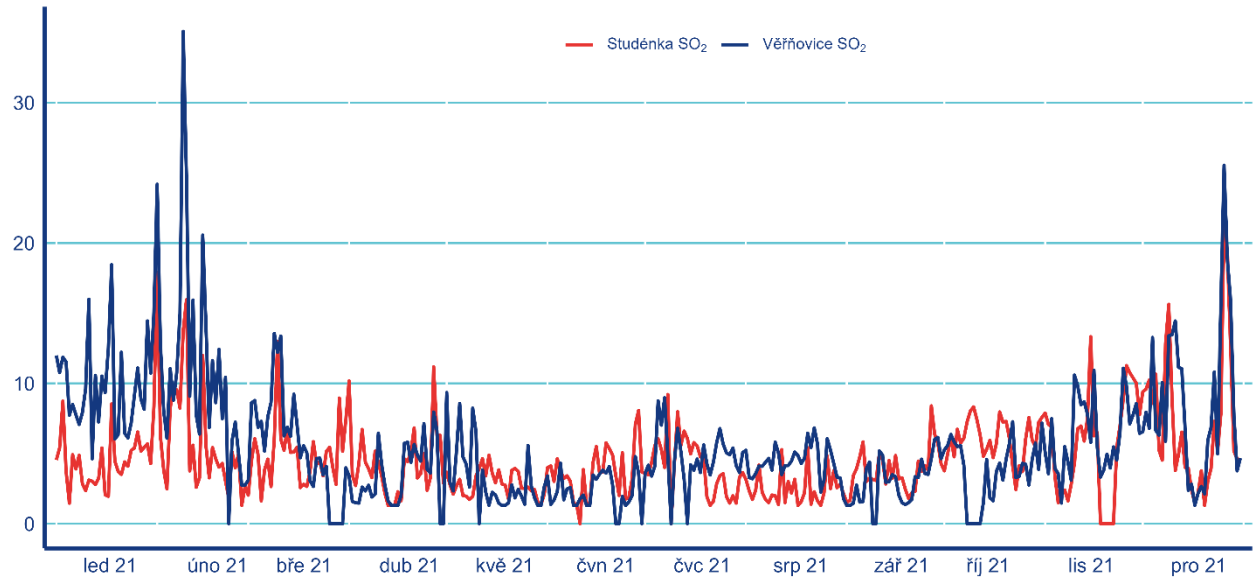
3.4 Oxid siřičitý SO_2

Průměrné roční koncentrace SO_2 jsou na obou stanicích nízké. Na stanici Studénka zůstávají od roku 2015 (s výjimkou roku 2018) roční koncentrace SO_2 pod nízkou hodnotou 5 µg.m^{-3}. Na stanici Věřňovice (5,8 µg.m^{-3} v roce 2021) nepřekročily roční průměrné koncentrace SO_2 od roku 2014 hodnotu 10 µg.m^{-3} (Obr. 32). Průběh denních koncentrací SO_2 je znázorněn na Obr. 33 a statistické rozložení hodinových koncentrací SO_2 pro jednotlivé měsíce roku 2021 na Obr. 34.

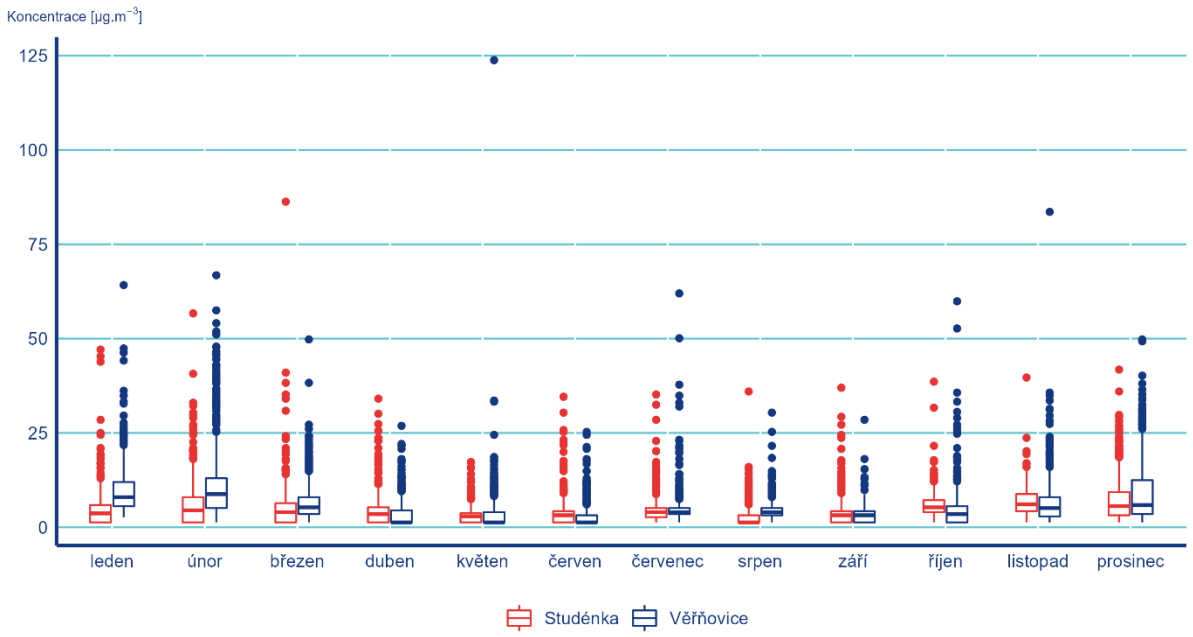
Maximální hodnoty hodinových a denních koncentrací SO_2 jsou hluboko pod hodnotami svých imisních limitů 350 a 125 µg.m^{-3}.



Obr. 32 Průměrné roční koncentrace SO_2, 2002–2021



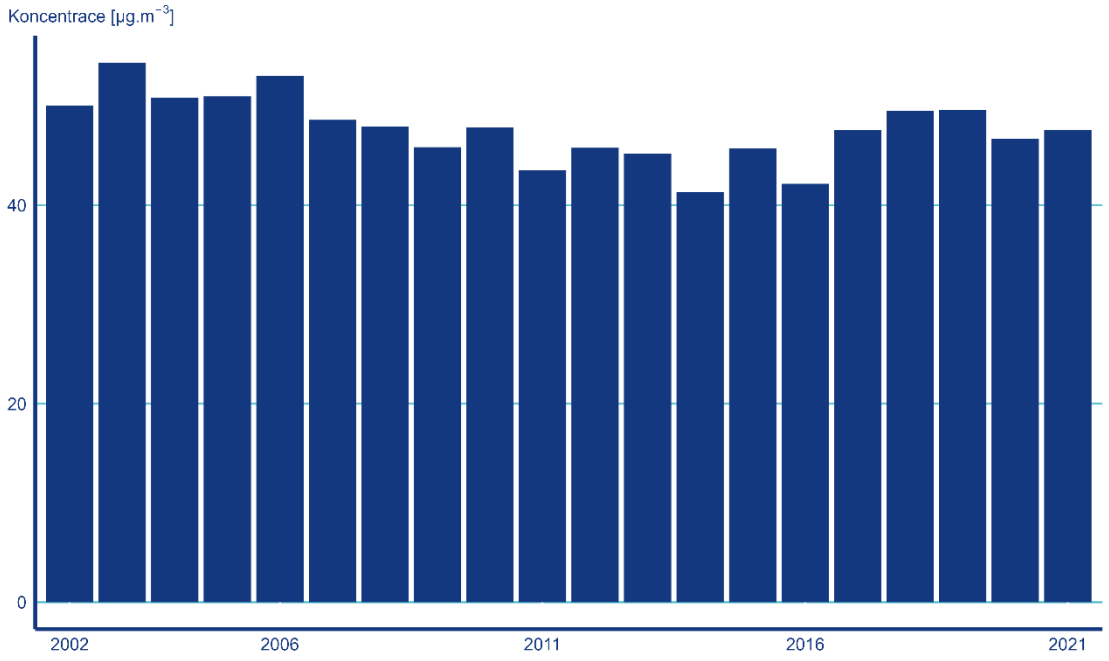
Obr. 33 Denní koncentrace SO_2 v roce 2021, v µg.m^{-3}



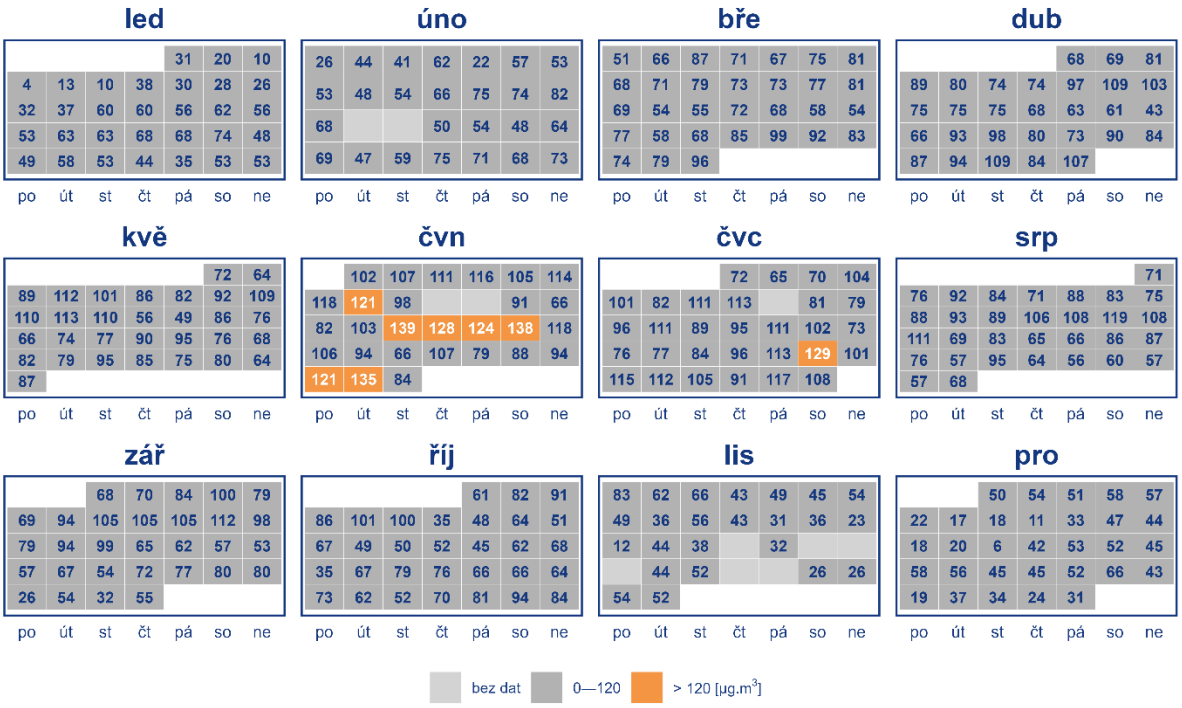
Obr. 34 Statistické charakteristiky a rozložení hodinových koncentrací SO_2, 2021

3.5 Přízemní ozon O_3

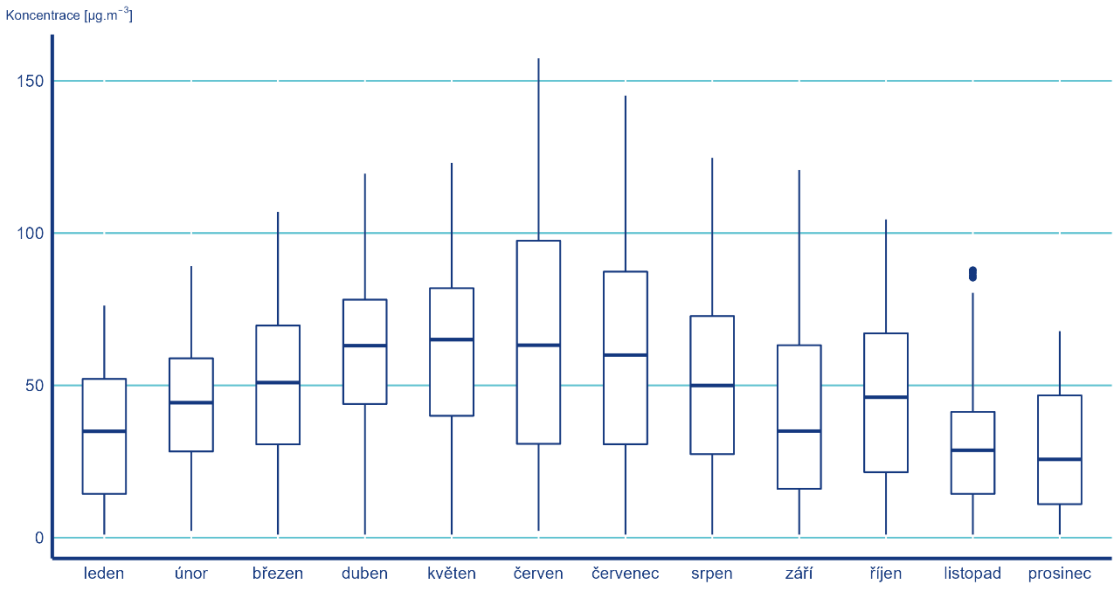
Přízemní ozon je měřen pouze na stanici Studénka. Průměrné roční koncentrace O_3 meziročně kolísají. V roce 2021 byla průměrná roční koncentrace (47,6 µg.m^{-3}) nepatrně vyšší než v roce 2020, avšak nižší než v předchozích letech 2018 a 2019. Nejnižší roční koncentrace O_3 byla z dvacetiletého období 2002–2021 na stanici Studénka v roce 2014 (Obr. 35). V roce 2021 byla maximální 8hodinová koncentrace O_3 138,7 µg.m^{-3} za den změřena 16. 6. 2021. Celkově došlo k překročení maximální 8hodinové limitní hodnoty 120 µg.m^{-3} 8 krát (Obr. 36). Nedošlo k překročení platného limitu, jelikož limitní hodnota by musela být překročená více než 25 krát v průměru za poslední 3 kalendářní roky. Statistické rozložení hodinových koncentrací v jednotlivých měsících roku 2021 na stanici Studénka je znázorněno na Obr. 37. V roce 2021 nebyla vyhlášená smogová situace z důvodů vysokých koncentrací přízemního ozonu v žádné oblasti České republiky.



Obr. 35 Průměrné roční koncentrace O_3, 2002–2021



Obr. 36 Maximální 8hodinová koncentrace O_3 za den, 2021



Obr. 37 Statistické charakteristiky a rozložení hodinových koncentrací O_3, 2021

3.6 Těžké kovy

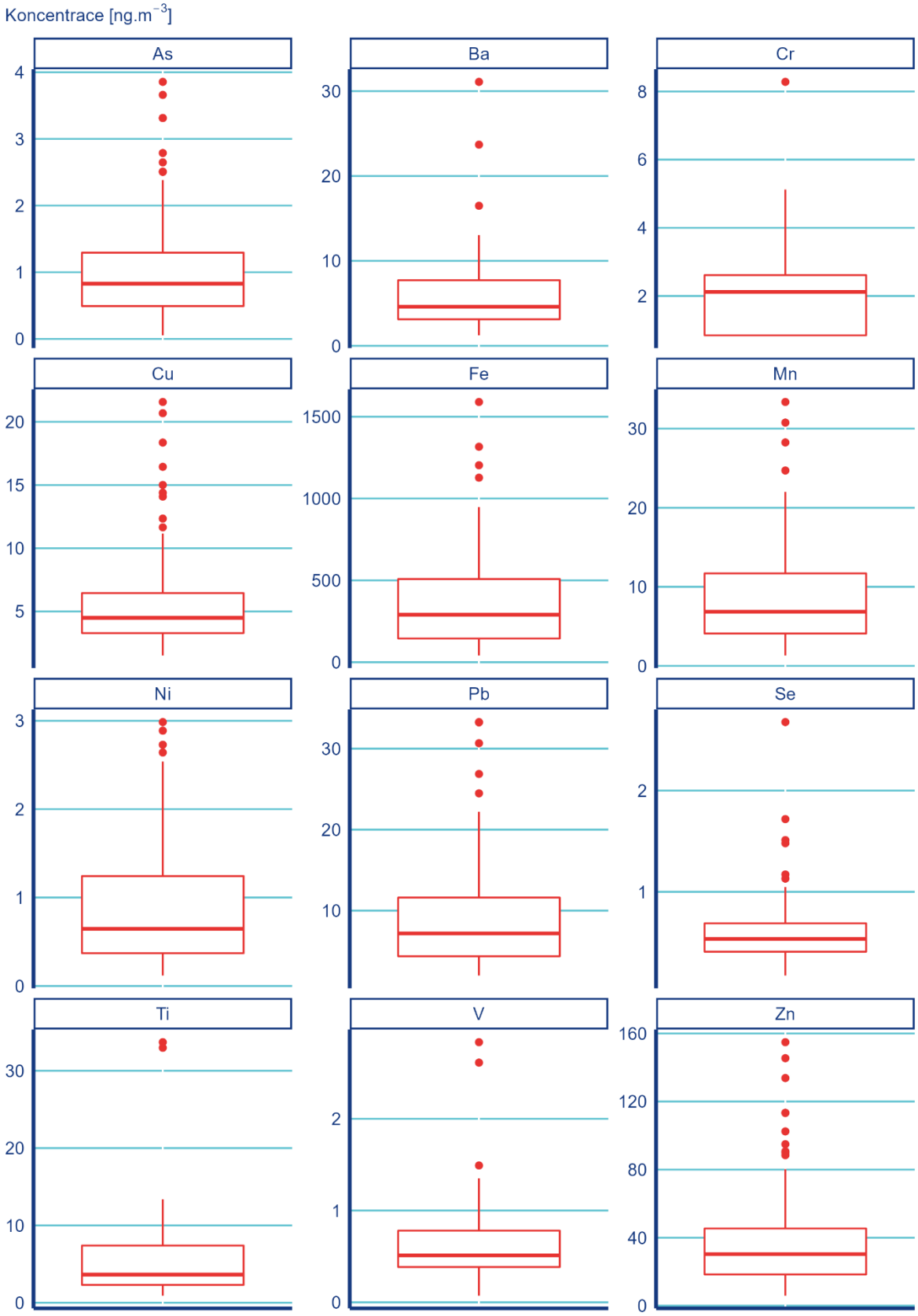
V roce 2021 probíhalo měření obsahu těžkých (toxických) kovů v suspendovaných částicích PM_{10} každý 3. den na lokalitách Studénka a Věřňovice. Roční průměrné koncentrace těžkých kovů z obou lokalit, které mají dle [1] roční imisní limit, budou k dispozici po uzávěrce této zprávy a budou zveřejněny v ročenkách znečištění ovzduší. Dostupné koncentrace kovů ve Věřňovicích byly výrazně podlimitní (Obr. 38, tab. 7).

Pro vyhodnocení obsahu kovů v suspendovaných částicích PM_{10} byla použita ekvivalentní metoda měření rentgenová fluorescence (nejedná se tedy o metodu referenční). Tato metoda je vhodná pro identifikaci zdrojů znečišťování pomocí matematického receptorového modelu PMF (blíže v kap. 4). Cílem je zejména zjistit vzájemné poměry (vztahy) a časové průběhy jednotlivých kovů. V řadě případů se výsledky této metody nedají použít pro stanovení absolutních hodnot koncentrací, případně je vztahovat k imisním limitům.

Tab. 7 Průměrné koncentrace těžkých kovů za celý rok, v chladné a teplé sezoně v $ng.m^{-3}$, Věřňovice, 2021

TK	As*	Ba	Cr*	Cu	Fe	Mn	Ni*	Pb	Se	Ti	V*	Zn
rok	1.05	5.84	2.08	5.60	367.79	8.73	0.89	9.09	0.60	5.44	0.60	37.97
CH	1.43	5.76	2.34	7.25	418.50	9.99	1.12	12.29	0.67	4.77	0.57	51.62
TE	0.67	5.93	1.83	3.94	317.08	7.47	0.66	5.88	0.53	6.10	0.64	24.31

*(poznámka: u kovů označených * má metoda měření zvýšenou nejistotu)*



Obr. 38 Statistické charakteristiky a rozložení koncentrací kovů v PM_{10}, Věřňovice, 2021

4. Identifikace zdrojů znečišťování ovzduší v lokalitě Věřňovice

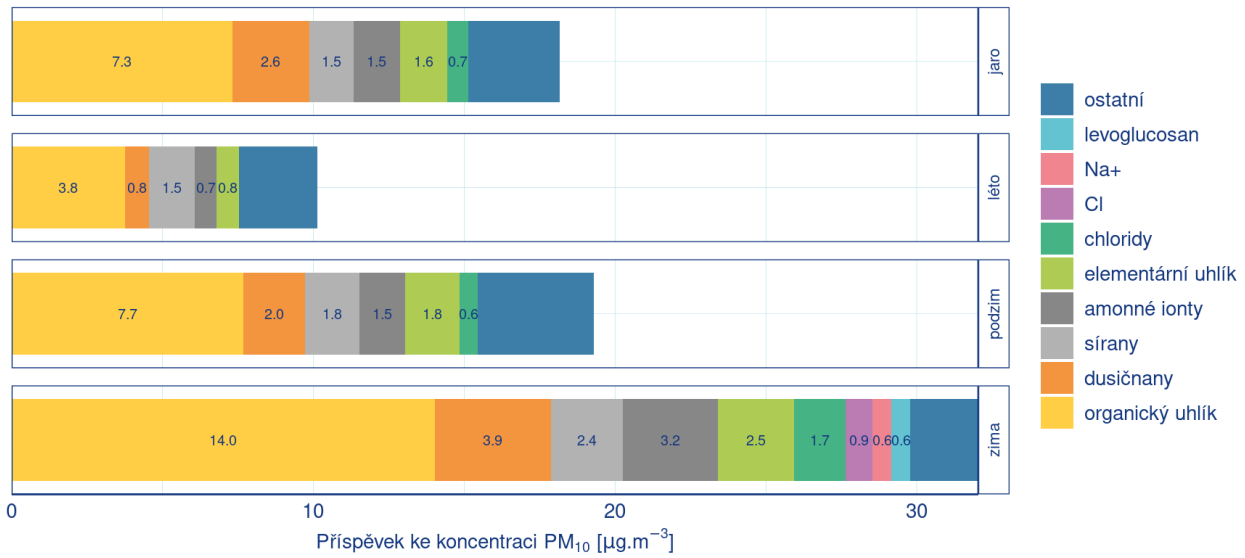
Identifikace zdrojů znečišťování byla založena na měření hmotnostních imisních koncentrací v lokalitě Věřňovice, v místě stejnojmenné stanice Státní sítě imisního monitoringu, a následném vypracování a interpretaci modelu podílu zdrojů na znečištění suspendovanými částicemi PM_{10} a benzo[*a*]pyrenem. Vzhledem k časové a organizační náročnosti fyzikálně-chemických stanovení analytů vstupujících do modelu PMF bylo v termínu předkládané zprávy možné vyhodnotit výsledky z lokality Věřňovice, tedy poměry v česko-polském příhraničí v nejznečištěnější části Karvinska. Toto zpracování bude součástí výsledného hodnocení všech lokalit v konceptu BORA, jehož výsledky komplexní identifikace zdrojů v širší oblasti Ostravska, s identifikací regionálního a přeshraničního přenosu znečištění, budou k dispozici v druhém pololetí roku 2022 a budou dostupné na internetových stránkách projektů a na informačním portálu ČHMÚ.

4.1 Vstupní data

Pro identifikaci zdrojů byla provedena celoroční měřicí kampaň (14. 1. 2021 – 13. 1. 2022), v rámci které byly odebrány vzorky prašného aerosolu frakce PM_{10} na filtry. Ty byly následně v laboratoři analyzovány pro stanovení hmotnostní koncentrace zájmových látek a sloučenin, nezbytných pro dostatečné rozlišení a přesnost matematického modelu. Odběr vzorků byl prováděn každý 3. den po dobu 24 hodin. Laboratorně naměřené imisní koncentrace ve vzorcích prašného aerosolu byly doplněny o imisní koncentrace plynů naměřené v hodnoceném období kontinuálními analyzátory na stanici imisního monitoringu Věřňovice. Rozsah měřených látek byl následující:

- Gravimetrické měření suspendovaných částic PM_{10}
- OC, EC + teplotně rozlišené frakce OC1 až OC4, resp. EC1 až EC4 (termooptická analýza)
- Ionty (iontová chromatografie): SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, Br^-, F^-, NH_4^+, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}
- PAH (kapalinová chromatografie): fluoranten, pyren, benzo[*a*]antracen, chrysen, benzo[*b*]fluoranten, benzo[*k*]fluoranten, benzo[*a*]pyren, dibenzo[*a,h*]antracen, benzo[*ghi*]perylen, indeno[*1,2,3-cd*]pyren
- Prvkové složení (ED XRF): Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, In, Sb, Ba, Pb
- Anhydrosacharidy (iontová chromatografie HPAE-PAD): levoglucosan, mannosan, galactosan

Datový soubor naměřených koncentrací pro navazující matematické modelování zahrnoval celkem 121 vzorků.



Obr. 39 Hmotnostní složení prašného aerosolu PM_{10}

Největší část hmoty částic zachycených na filtrech byla tvořena organickým uhlíkem a dusičnany, které byly oproti jejich průměrné koncentraci výrazně vyšší v chladném období. Sezonnost koncentrace dusičnanů je spojena hlavně s polotěkavostí dusičnanu amonného, který se proto v letním období v prašném aerosolu téměř nevyskytuje. Celoročně stálou a v ročním průměru hmotnostně třetí nejvýznamnější složkou byly sírany, v zimě ve vyšších koncentracích, především vlivem vyššího zastoupení síranu amonného. Přesto, že i sírany dosahovaly nejvyšší koncentrace v chladném období, jejich průměrná koncentrace v chladné části roku byla nižší než příspěvek amonných iontů a elementárního uhlíku, které byly v tomto ročním období v částicích PM_{10} třetím a čtvrtým nejzastoupenějším analytem. V ročním průměru byly amonné ionty a elementární uhlík čtvrtým, resp. pátým nejvíce zastoupeným analytem v PM_{10}.

Celkově byla součtová koncentrace měřených analytů v zimě přibližně trojnásobná oproti letnímu období. Průměrná součtová hmotnostní koncentrace všech měřených látek dosahuje pouze cca 60 % gravimetricky naměřené koncentrace PM_{10}, což je výrazně méně, než v jiných částech ČR, kde byla v posledních letech ČHMÚ použita stejná metoda měření a hodnocení. Ve všech sezonách je toto podhodnocení přibližně stejné. Jeho příčina není zřejmá a je proto nutná obezřetnost při formulování závěrů identifikace zdrojů.

4.2 Matematické modelování

Pro identifikaci zdrojů znečišťování ovzduší (posouzení, které zdroje se v hodnoceném místě podílejí na celkové imisní koncentraci hodnocených látek, a jaká je velikost jejich imisních příspěvků) byl použit receptorový matematický model PMF. Jedná se o standardní statistickou metodu, mnohorozměrnou faktorovou analýzu, která je k tomuto účelu celosvětově běžně používána. Je založena na vzájemných korelacích časových řad imisních koncentrací jednotlivých analytů a jejich skupin. Analyty s podobným časovým průběhem jsou modelem seskupeny do tzv. faktorů. Tyto identifikované faktory (jejich složení a časový průběh) reprezentují konkrétní zdroje nebo skupiny zdrojů znečišťování ovzduší, které v posuzované lokalitě přispívají ke znečištění ovzduší zájmovou látkou. Pro každý faktor byl modelem vypočten absolutní i relativní podíl na imisní koncentraci hodnocených látek, v daném případě PM_{10}. Z modelem vypočteného podílu

benzo[*a*]pyrenu v jednotlivých faktorech byl následně vypočten podíl zdrojů na imisní koncentraci této škodliviny.

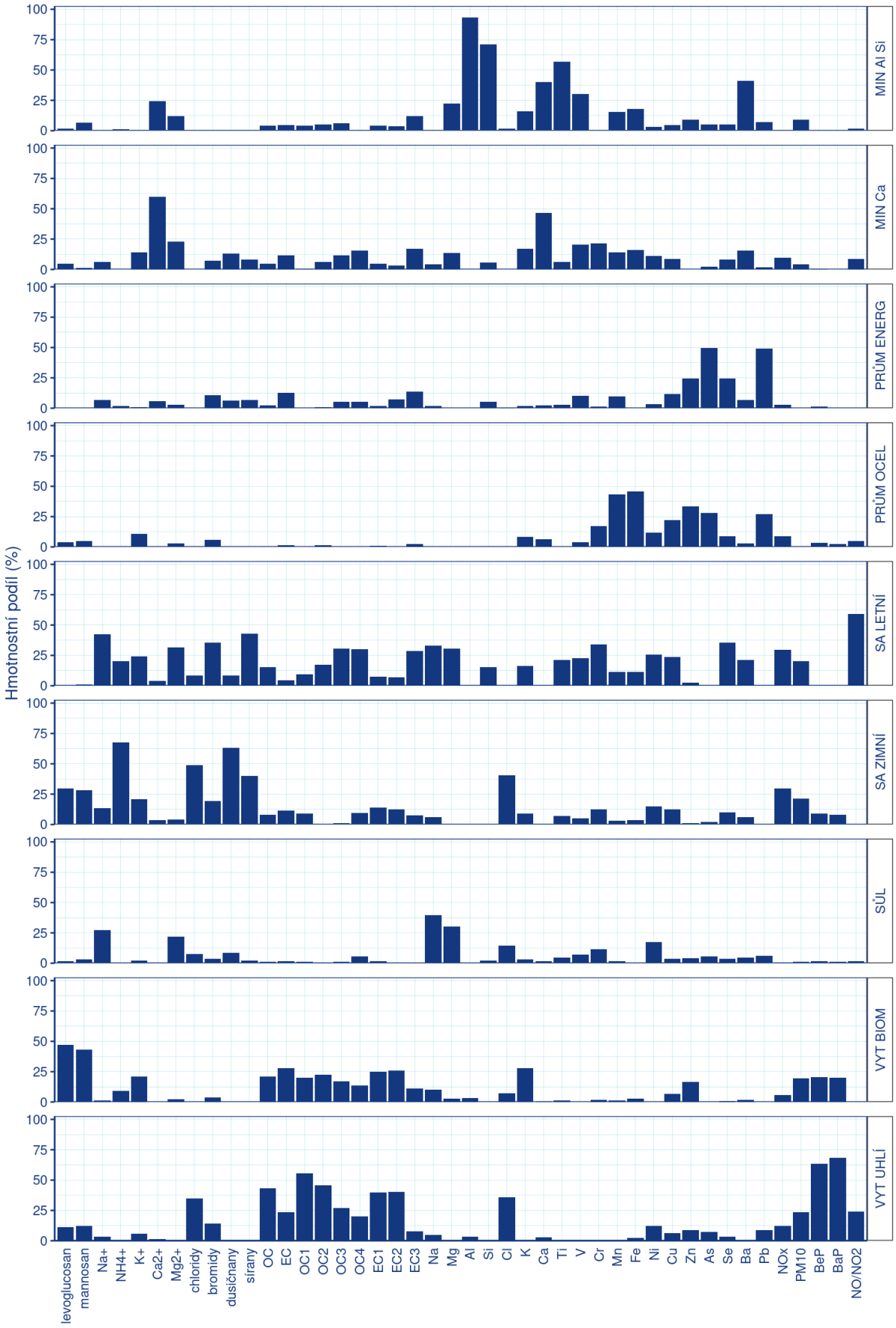
Modelování bylo provedeno v souladu s požadavky manuálu k programu PMF 5.0 [11]. Matematicky stabilní a smysluplně interpretovatelné řešení bylo nalezeno pro 9 faktorů. Stabilita řešení byla ověřována především metodou bootstrap (vždy použito 20 testovacích výběrů). Protože základní model (Base Run) nedosahoval v případě některých faktorů dostatečné shody, byla provedena jemná rotace modelového řešení s nejlepšími výsledky při hodnotě Fpeak=+0,5. Ačkoliv toto rotované řešení bylo po matematické stránce dostatečně stabilní (shoda bootrap řešení >90%), v některých identifikovaných faktorech, které reprezentují primární částice emitované z blízkých zdrojů (podrobně je popis faktorů uveden v následující podkapitole), se projevovala nedostatečná separace od faktorů reprezentující vzdálené zdroje podobného typu. Proto byly stanoveny okrajové podmínky pro běh modelu - obsahy dusičnanů a síranů obsažené ve faktorech lokálního individuálního vytápění byly nastaveny na 0 a byl proveden takto podmíněný modelový výpočet (Constrained Run). V modelovém řešení upraveném zmíněnými okrajovými podmínkami došlo k přesunu hmoty dusičnanů a síranů a dalších markerů do faktorů reprezentujících sekundární aerosol, který se jeví jako odborně správný a smysluplný. Takto vypracovaný model se vyznačoval také vyšší stabilitou ověřenou metodou bootstrap i bootstrap-displacement.

Finální modelové řešení (Base Run i Constrained Run) se vyznačovalo poměrem Q/Q_{exp} modelu v rozmezí 0,98 a 1,00 při přidané nejistotě 9 %. Použito bylo celkem 40 analytů označených jako STRONG a 4 jako WEAK. Z důvodu nevyhovujícího poměru signál/šum nebo z důvodu nadbytečnosti (duplicita hmoty s jiným analytem, nespecifičnost původu) byly z měřených analytů v prašném aerosolu na filtrech vyřazeny Cd, In, S, Sb, galactosan, fluoridy, vysokoteplotní frakce elementárního uhlíku EC4 a také $PM_{2,5}$, SO_2, NO, NO_2 a PAH s výjimkou benzo[*a*]pyrenu a benzo[*e*]pyrenu. Tyto vyřazené analyty byly v modelu označeny jako BAD. Naměřené koncentrace ostatních duplicitních a plynných analytů v datové sadě (např. síry stanovené metodou ED XRF, či oxidů dusíku) byly o 3 řády sníženy, aby významně neovlivňovaly kvantifikaci hmotnostních podílů v PM_{10}.

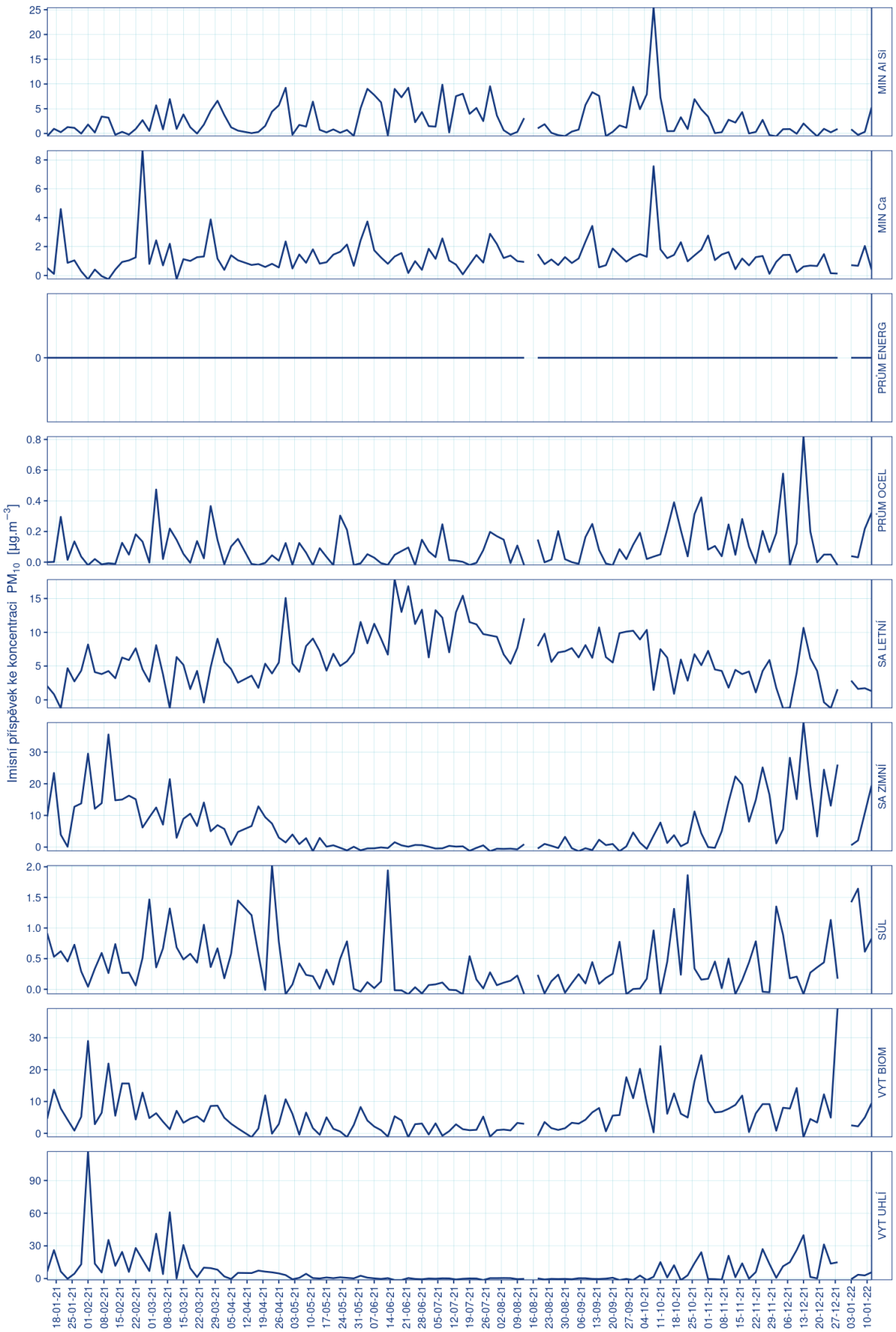
Přiléhavost modelem vypočtené koncentrace k naměřeným hodnotám je vyjádřena koeficientem determinace R^2=0,93 v případě PM_{10} a R^2=0,88 v případě benzo[*a*]pyrenu, což jsou v kontextu dřívějšího použití modelu PMF v jiných lokalitách ČR standardní a vyhovující hodnoty.

4.3 Identifikované faktory

Chemické složení faktorů identifikovaných modelem PMF a jejich časové průběhy jsou obsahem následujících Obr. 40 a Obr. 41.



Obr. 40 Chemické profily identifikovaných faktorů (Věřňovice)



Obr. 41 Časový průběh imisního příspěvku identifikovaných faktorů ke koncentraci PM_{10} (Věřňovice)

Popis identifikovaných faktorů, které se v lokalitě Věřňovice podílejí na znečištění ovzduší částicemi PM_{10}, je následující:

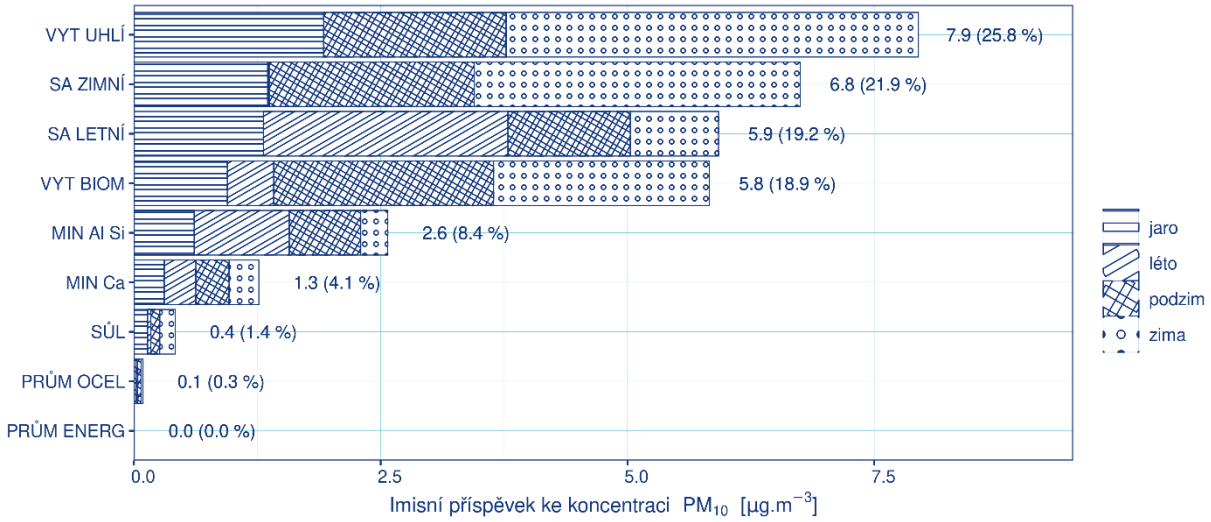
VYT UHLÍ	Primární částice z vytápění domácností uhlím. Vysoké zastoupení EC, OC, PAH a chloru v chloridové formě, s akcesorií bromidů. V EC a OC převažují nízkoteplotní frakce. Z kovů nejvýznamnější zastoupení Ni, Zn, As a Pb. Řádově vyšší a výrazně kolísavé imisní příspěvky v chladné sezoně, v létě se imisní příspěvky blížily nule.
VYT BIOM	Primární částice z vytápění domácností biomasou. Vysoké zastoupení EC, OC, anhydrosacharidů a PAH, které jsou v nižších koncentracích než ve faktoru reprezentujícím vytápění uhlím. V EC a OC převažují nízkoteplotní frakce. Významné zastoupení K v iontové formě, z kovů významné pouze Zn a Cu.
SA ZIMNÍ	Sekundární částice anorganické povahy, sestávající převážně ze síranu a dusičnanu amonného, s významným zastoupením chloru v chloridové formě a bromidů. Významný podíl NO_X s velmi nízkým podílem NO/NO_2. Z kovů především Ni, Cu, Se, Cr. Dominantní příspěvek v chladné sezoně, v létě blízký nule. Zvýšené hodnoty přetrvávají často souvisle po dobu několika dnů, v chladné sezoně má imisní příspěvek průběh s nízkým poměrem špička/průměr. Zimní typ sekundárního aerosolu s komplexním původem, na kterém se významně podílí vytápění domácností a automobilová doprava.
SA LETNÍ	Sekundární částice tvořené směsí organických a anorganických sloučenin. Anorganický podíl téměř bez dusičnanů, tvořený zejména sírany, NH_4^+, alkáliemi v iontové formě (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) a bromidy. Z kovů nejvýraznější Se, Ni, Cu a Cr. V uhlíkatých částicích dominují vysokoteplotní frakce. Faktorový profil obsahuje vysoké zastoupení oxidů dusíku s extrémně vysokým poměrem NO/NO_2. Výrazný roční chod s vysokými příspěvky v teplé části roku. V létě souvislé období vysokých příspěvků s velmi nízkým poměrem špička/průměr. Jedná se o typický fotochemický smog indukovaný slunečním zářením, na jehož komplexním původu se nejvíce podílejí automobilová doprava a dálkově přenášené emise z průmyslových energetických zdrojů spalujících fosilní paliva.
MIN Al Si	Primární částice minerální povahy, převážně pravděpodobně půdní vlivem resuspenze větrem. Dominantní je typická skladba prvků bohatých v zemské kůře (Al, Si, Ti, Ca, Ba). Výrazně vyšší a výrazně kolísavé příspěvky v teplé části roku, ojedinělé extrémní špičky spojené pravděpodobně se zemědělskými pracemi na přilehlých polích.
MIN Ca	Faktor nedokonale odlišený od předchozího MIN Al Si. Jedná se o převážně karbonátovou prašnost s nejvyššími špičkami v jarním období, časově shodným s epizodami dálkového přenosu saharského prachu do střední Evropy. S ohledem na velmi podobné chemické složení lišící se zejména obsahem Ca, interferuje tento faktor nežádoucím způsobem s faktorem MIN Al Si (chybějící Al a Si). Jeho samostatné vyčlenění bylo nezbytné pro dosažení stability modelového řešení, což

	svědčí o odlišném časovém režimu, a tedy původu. Vysoký podíl vápníku, draslíku a hořčíku v iontové formě svědčí o zvětrávání minerálních částic v průběhu dlouhého atmosférického transportu.
SŮL	Částice tvořené solí degradovanou v průběhu dálkového přenosu z přímořských oblastí, vyznačující se Na, Mg a Cl, dle stáří aerosolu s různým podílem iontů Na^{+} a Mg^{2+}. Zastoupení Ni je obvyklé v dálkově přenášeném aerosolu ze spalování ropných paliv v přímořských oblastech. Výrazné špičky příspěvku po celý rok s výjimkou léta. Pravděpodobná interference s posypovou solí ze silnic a chodníků (časový chod s vyššími koncentracemi v chladném období).
PRŮM OCEL	Faktor obsahující téměř výhradně primární částice tvořené skupinou kovů, zejména Fe a Mn, které jsou doplněny Zn, As, Cu, Cr a Pb. V poměru k ostatním iontům pozoruhodné zastoupení bromidů, NO_X převážně již oxidované na NO_2. Pouze stopy PAH. Časový průběh výrazně rozkolísaný s občasnými špičkovými příspěvky náhodně rozloženými v průběhu celého roku. Dominance Fe a Mn a celé skupiny kovů v poměru k ostatním analytům ukazuje nezaměnitelně na spojitost tohoto faktoru s hutnictvím železa. Jedná se o primární částice z výroby železa a oceli a souvisejícího termického využití uhlí v těchto provozech.
PRŮM ENERG	Částice tvořené charakteristickou skupinou kovů typických pro spalování uhlí (As, Se, Pb, Zn), z iontů nejvýraznější bromidy, v uhlíkatých částicích dominuje vysokoteplotní frakce, všechny ostatní analyty v relativně nízkých až zanedbatelných koncentracích. Faktor byl interpretován jako primární částice ze spalování uhlí v průmyslové energetice.

4.4 Vyčíslené podíly zdrojů

Suspendované částice PM_{10}

Podíly zdrojů znečišťování ovzduší na koncentraci suspendovaných částic PM_{10} vyčíslené modelem PMF znázorňuje následující Obr. 42.



Obr. 42 Podíly identifikovaných faktorů na imisní koncentraci PM_{10} (Věřňovice)

Hmotnostně nejvýznamnější část znečištění ovzduší suspendovanými částicemi PM_{10} v místě stanice Státní sítě imisního monitoringu Věřňovice pocházelo z vytápění domácností uhlím (přibližně čtvrtina průměrné roční koncentrace). Ze zdrojů primárních částic bylo druhým nejvýznamnějším vytápění domácností biomasou (pětina znečištění). Podíl dalších zdrojů primárních částic byl ve srovnání s těmito zdroji podstatně nižší (pod 10 %).

Tak jako na ostatních lokalitách tvořily velmi významnou část znečištění sekundární částice, které vznikají z plynných emisí v atmosféře v průběhu jejich transportu od původních zdrojů. Letní a zimní typ sekundárních částic měl v součtu ve Věřňovicích na průměrné roční imisní koncentraci PM_{10} podíl okolo 40 %. Tento podíl je ze všech lokalit v ČR, ve kterých byla dosud ČHMÚ provedena identifikace zdrojů pomocí PMF, výrazně nejnižší (obvykle dosahuje nadpoloviční podíl, často okolo 2/3 celkové koncentrace PM). Důvodem může být jednak hodnocení frakce PM_{10}, ve které lze očekávat vyšší podíl některých druhů primárních částic oproti frakci $PM_{2,5}$, která byla v minulosti pro identifikaci zdrojů většinou použita. Mohlo však dojít k podhodnocení naměřené koncentrace sekundárních částic. Tato hypotéza je podporována nižším součtem hmotnostní koncentrace všech stanovovaných analytů oproti gravimetricky stanovené koncentraci PM_{10}.

Uvedené nejistoty nemají vliv na závěr, že sekundární částice zaujímaly velmi významný podíl v koncentraci PM_{10} a spolu s vytápěním domácností se jednalo o nejvýznamnější faktory, které určovaly celkovou úroveň znečištění ovzduší částicemi PM_{10} v této lokalitě. Hmotnostní podíl zimního a letního sekundárního aerosolu v průměrné roční koncentraci PM_{10} byl přibližně shodný. Oba identifikované typy sekundárního aerosolu vznikají významnou měrou z automobilových emisí a emisí z průmyslové energetiky, v zimním typu hraje významnou a možná rozhodující úlohu také vytápění domácností.

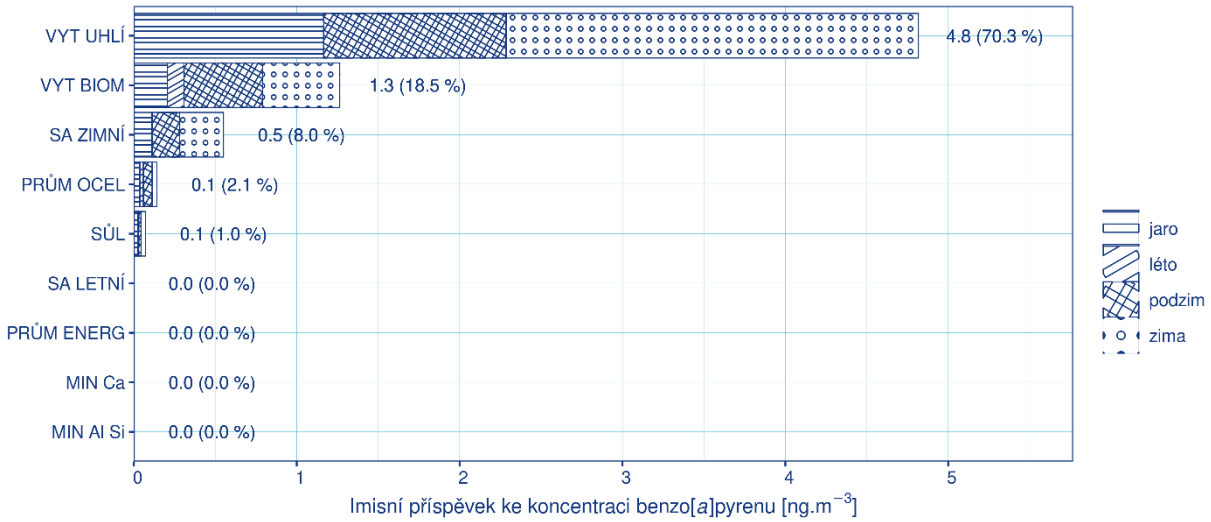
Jak ukazují dosavadní výsledky z jiných lokalit v ČR, silniční doprava se projevuje emisemi primárních částic v PM_{10} pouze nevýznamně (jednotkami %, pouze na dopravně silně frekventovaných městských lokalitách byl zjištěn relativní podíl mírně nad 10 %). Ve Věřňovicích

nebyl tento zdroj samostatně identifikován (frekventované silnice jsou od stanice ve velké vzdálenosti, imisní příspěvek primárních emisí z dopravy je proto nízký a nerozlišitelný od jiných zdrojů). **Většina imisního příspěvku, který zde doprava působí, zaujímala část letního a zimního sekundárního aerosolu**, a to především vlivem uhlíkatých částic a dusičnanů. Skupina kovů Cu, Ba, Cr, Ni spolu s vysokoteplotními frakcemi uhlíkatých částic, které jsou charakteristickými markery silniční dopravy, jsou v identifikovaném letním i zimním typu sekundárního aerosolu zřetelně patrné.

Minerální prašnost z polí lze považovat za **sezonně významný faktor s maximem působení v letním a časně podzimním období**, kdy běžně přispíval ke koncentraci PM_{10} mezi 5 až 10 $\mu g.m^{-3}$. Na přelomu léta a podzimu tento faktor působil srovnatelnými denními imisními příspěvky jako letní typ sekundárního aerosolu (SA LETNÍ), se kterým od června do září až října ovlivňoval celkovou imisní koncentraci PM_{10} nejvýznamněji ze všech zdrojů.

Benzo[*a*]pyren

Podíly zdrojů znečišťování ovzduší na imisní koncentraci benzo[*a*]pyrenu vyčíslené modelem PMF znázorňuje následující Obr. 43.



Obr. 43 Podíly identifikovaných faktorů na imisní koncentraci benzo[a]pyrenu (Věřňovice)

Zcela **dominantním zdrojem benzo[*a*]pyrenu v lokalitě Věřňovice bylo vytápění domácností, a to především uhlím** (dvě třetiny až tři čtvrtiny znečištění). Spalování biomasy působilo necelou pětinu imisní koncentrace. Obě tyto skupiny zahrnují pouze místní zdroje znečišťování ovzduší, čemuž nasvědčují chemické profily těchto faktorů, ve kterých výrazně převažuje benzo[*a*]pyren nad benzo[*e*]pyrenem, a také výrazně rozkolísaný časový chod. Na základě těchto skutečností lze očekávat původ emisí ve faktorech VYT UHLÍ a VYT BIOM ve vzdálenostech řádově jednotek km od stanice Věřňovice. Lze tedy konstatovat, **že téměř 90% znečištění ovzduší benzo[*a*]pyrenem pravděpodobně pochází z nejbližších obcí, a to z obou stran státní hranice**.

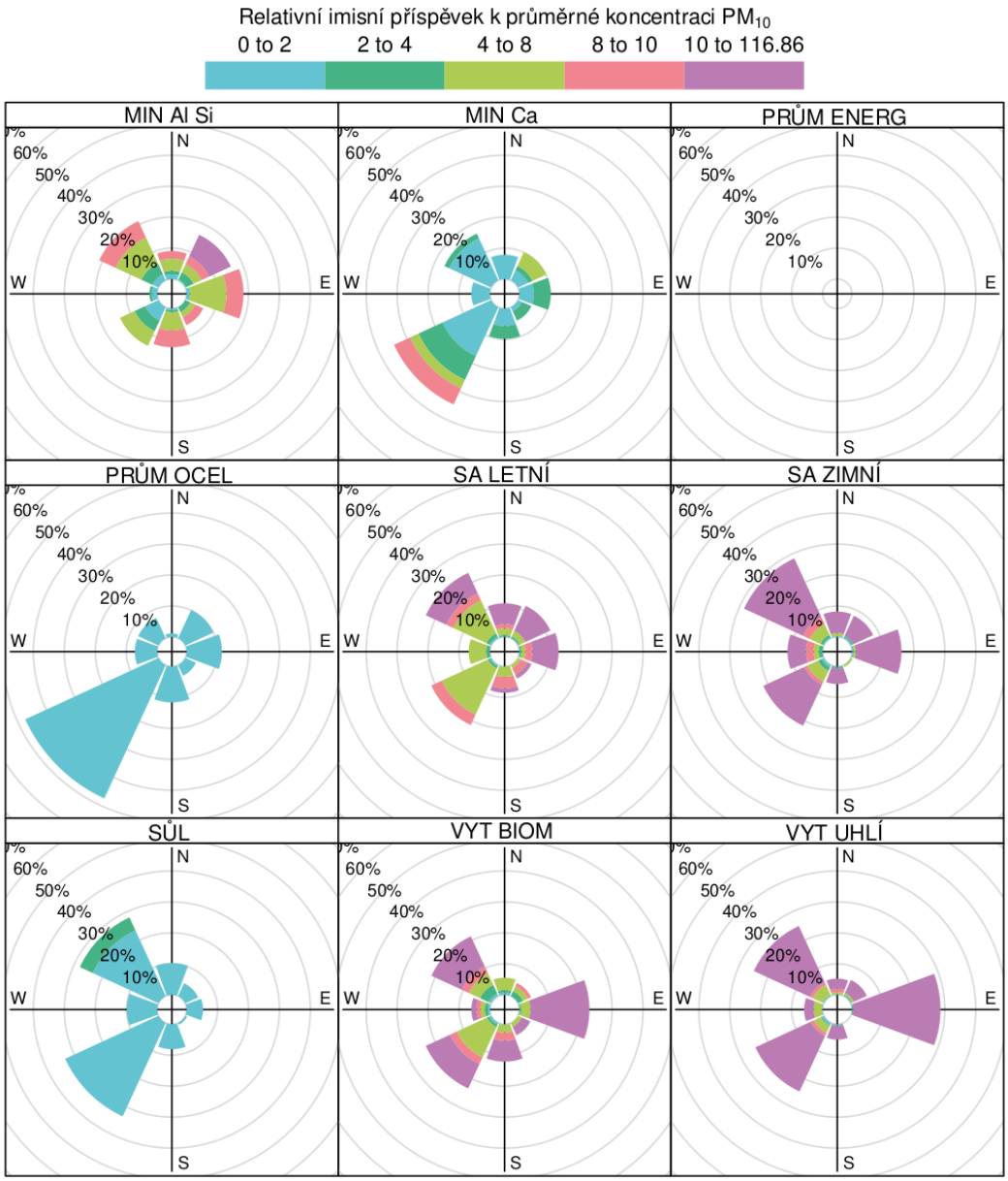
Zvýšená koncentrace benzo[*a*]pyrenu ve Věřňovicích nebyla většinově způsobena přenosem ze vzdálenějších oblastí v polském Slezsku ani na Ostravsku. Z těchto oblastí mohla pocházet pouze zbývající málo významná část znečištění touto znečišťující látkou, která byla spojena se vznikem zimního typu sekundárního aerosolu (faktor SA ZIMNÍ). Tento faktor působil asi desetinu naměřené průměrné roční koncentrace.

Ostatní faktory se podílely ve srovnání s vytápěním domácností na koncentraci benzo[*a*]pyrenu ve Věřňovicích nevýznamně (prvními jednotkami %).

4.5 Interpretace výsledků identifikace zdrojů

Hodnocení zdrojových oblastí PM_{10} na základě vážených koncentračních růžic

Imisním příspěvkům jednotlivých faktorů vypočteným modelem PMF byly přiřazeny odpovídající průměrné směry a rychlosti větru. Výsledný datový soubor byl použit pro konstrukci koncentračních růžic vážených dobou trvání příslušných meteorologických podmínek. Vypracované grafy (Obr. 44) znázorňují, jak velký imisní příspěvek příslušného faktoru k průměrné roční koncentraci PM_{10} pocházel z jednotlivých směrů, a také, jak vysoké hodnoty imisních příspěvků jednotlivých faktorů z daného směru působily.



Obr. 44 Vážené koncentrační růžice identifikovaných faktorů PM_{10} (Věřňovice)

Částice pocházející z vytápění domácností uhlím a biomasou (faktory „VYT UHLÍ“ a „VYT BIOM“), které měly na celkové koncentraci PM_{10} ve Věřňovicích nejvyšší podíl, pocházely ze tří hlavních směrů: východ (od obcí Godów, popř. dalších sídel v okolí Jastrzębie-Zdrój), severozápad (Věřňovice, Gorzycki, Gorzyce, popř. vzdálenější obce) a jihozápad (předměstí Bohumína, Rychvald). V případě vytápění biomasou byl na rozdíl od vytápění uhlím patrný také imisní příspěvek od jihu, pravděpodobně z Dolní Lutyně.

Letní a zimní typ sekundárního aerosolu („SA LETNÍ“ a „SA ZIMNÍ“) přispívaly k celkové koncentraci PM_{10} především ze severozápadního (Kędzierzyn-Koźle, Racibórz, Pszów, Rydułtowy) a jihozápadního (ostravská aglomerace) směru, v případě zimního typu také z východu (Jastrzębie-Zdrój). Letní typ přispíval z obou hlavních směrů k celkové koncentraci přibližně stejnou měrou, ze severozápadu ale ve vyšších koncentracích a méně často, z jihozápadu byly imisní příspěvky nižší, ale častější. Zimní sekundární částice byly transportovány do Věřňovic výrazně nejvíce ze severozápadu.

Minerální prašnost (faktor „MIN Al Si“) působila nejvyšší průměrný imisní příspěvek ke koncentraci PM_{10} převážně ze severozápadního, severovýchodního a východního směru. Z těchto směrů působily také nejvyšší imisní příspěvky tohoto faktoru. Tento faktor reprezentující hlavně půdní částice se ale vyznačoval významnými imisními příspěvky téměř ze všech směrů, což souvisí pravděpodobně s tím, že měřicí místo je obklopeno obhospodařovanými zemědělskými plochami.

Karbonátové minerální částice („MIN Ca“) přispívaly k naměřené koncentraci PM_{10} téměř výhradně z jihozápadu. To odpovídá předpokládanému částečnému původu faktoru „MIN Ca“ v dálkovém transportu ze Sahary.

Částice chloridu sodného (faktor „SŮL“) byly transportovány k měřicímu místu v průměru nejvíce z jihozápadu, ale významně také ze severozápadu, přičemž při proudění z tohoto směru byly imisní příspěvky tohoto faktoru výrazně vyšší. Zatímco přenos z jihozápadu může souviset s použitím posypové soli na vozovkách v Bohumíně a na Ostravsku, od severovýchodu byla s ohledem na řídké osídlení v tomto směru transportována pravděpodobně především sůl z oblasti Baltu a Severního moře.

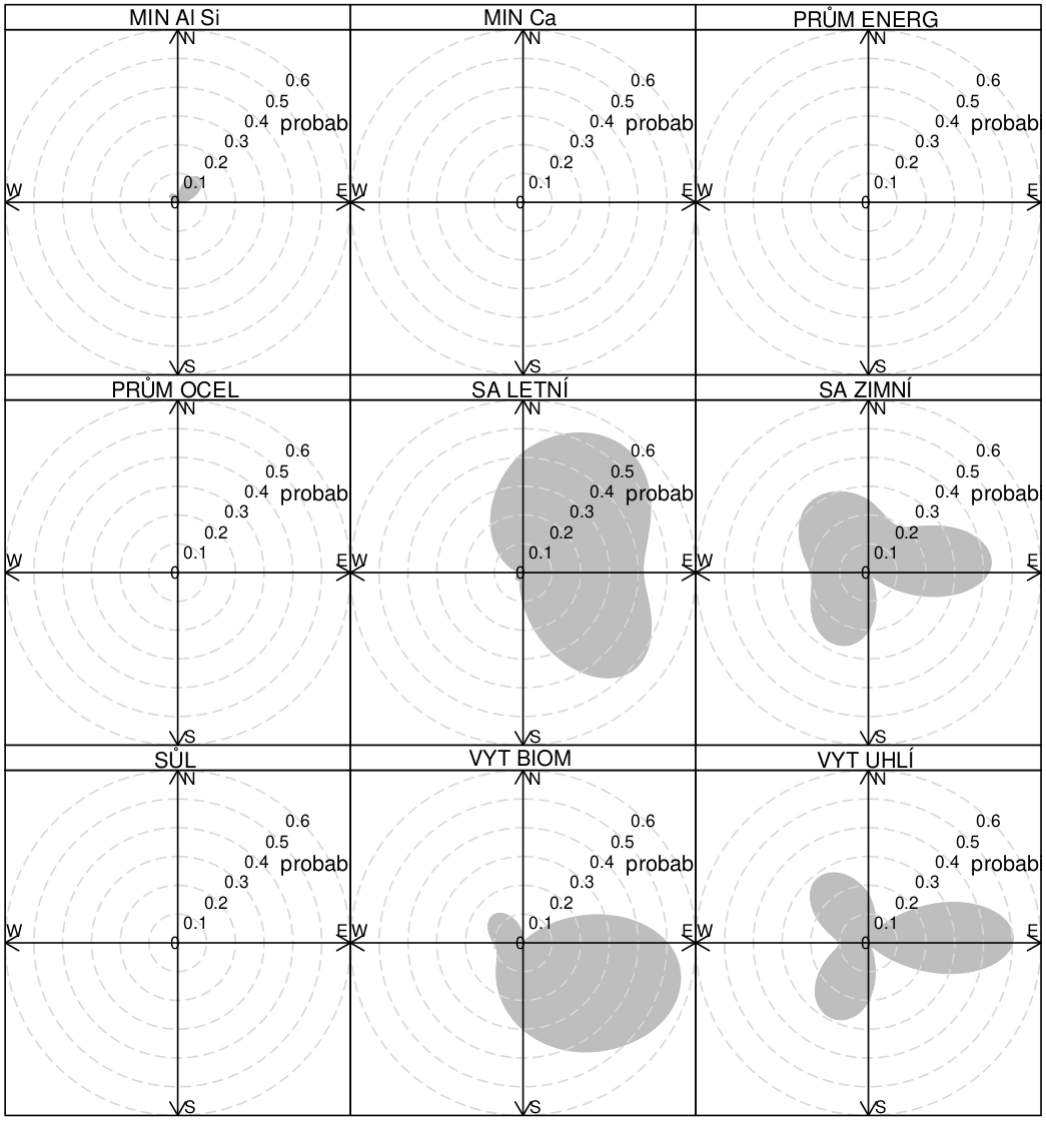
Částice pocházející z průmyslové výroby oceli pocházely převážně z jihozápadního směru, tedy z oblasti Ostravska. Vliv polských hutních provozů (severovýchodní a východní směr transportu) byl málo významný, pravděpodobně vlivem velké vzdálenosti od hodnocené lokality. Směr působení primárních částic z průmyslové energetiky byl z důvodu zanedbatelně nízkých příspěvků nehodnotitelný.

Hodnocení zdrojových oblastí na základě CPF

Funkce CPF (Conditional Probability Function) je často využívána pro zpracování výsledků receptorových modelů v odborné literatuře. Znázorňuje, jaká je pravděpodobnost, že znečištění reprezentované příslušným faktorem pochází z určitého směru. Výsledek CPF zpracovaný pro faktory identifikované pomocí PMF ve Věřňovicích je obsahem následujícího Obr. 45.

Na základě této funkce bylo možno určit pravděpodobný směr transportu znečištění k měřicímu místu pouze v případě faktorů, které se zde vyznačují nejvyššími imisními příspěvky. Jedná se o faktory vytápění domácností uhlím a biomasou (VYT UHLÍ a VYT BIOM) a faktory letního a zimního typu sekundárního aerosolu (SA LETNÍ a SA ZIMNÍ). Uvedené grafy CPF byly vypracovány pro 90. percentil vypočtených imisních příspěvků. Testovány byly i jiné hodnoty, ale nevedly k lepším výsledkům.

CPF pro 90. percentil imisního příspěvku ke koncentraci PM_{10}



Obr. 45 Grafy CPF identifikovaných faktorů PM_{10} (Věřňovice)

Podle výsledků CPF je nejvyšší pravděpodobnost původu znečištění z vytápění domácností biomasou východním až jihovýchodním směrem od měřicí lokality (Godów, Gołkowice). Zdrojová oblast znečištění z vytápění domácností uhlím se nachází podle analýzy CPF východně (Godów), ale pravděpodobnost přenosu 10 % nejvyšších imisních příspěvků je relativně významná i v případě směru proudění ze severozápadu (Věřňovice, popř. Gorzycki a Gorzyce) a z jihozápadu (periferie Bohumína, např. Skřečoň).

Zdrojové oblasti původu znečištění zimního typu sekundárních částic (SA ZIMNÍ) jsou podle CPF v zásadě shodné se zdrojovými oblastmi znečištění z vytápění domácností uhlím. Svědčí to o rozhodujícím vlivu vytápění domácností uhlím na formaci sekundárních částic v chladné části roku. Nejvyšší imisní příspěvky letního typu sekundárního aerosolu (SA LETNÍ) pocházejí podle CPF z oblasti ležící na severovýchod od Věřňovic, tedy z hustě osídleného území se silnou dopravou v okolí měst Rybnik, Żory a ze vzdálenější pánevní části Slezska (aglomerace v okolí Katowic).

Výsledek analýzy podle vážených koncentračních růžic a CPF se z hlediska letního typu sekundárního aerosolu liší (CPF přisuzuje nejvyšší pravděpodobnost původu znečištění severovýchodním směrem od Věřňovic). Důvodem je skutečnost, že CPF zohledňuje pouze 10 % nejvyšších hodnot imisních příspěvků, takže znečištění transportované v nižších koncentracích, ale

častěji, se v grafech CPF neprojeví, ačkoliv může působit významný příspěvek k průměrné roční koncentraci. I z tohoto důvodu mají vyšší vypovídací hodnotu výše uvedené vážené koncentrační růžice.

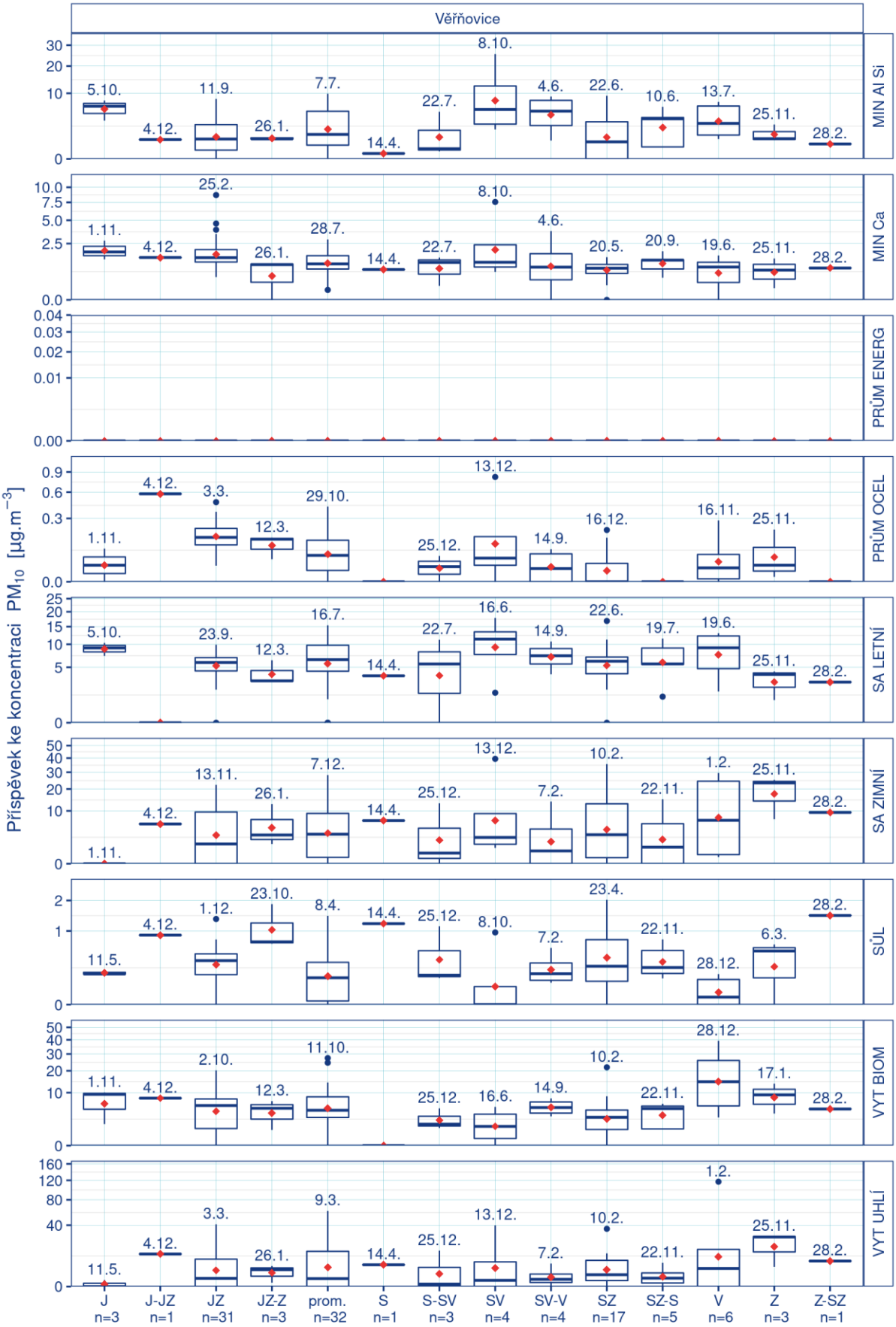
Hodnocení zdrojových oblastí PM_{10} na základě DTP

Pro identifikaci zdrojů modelem PMF byly odebírány 24hodinové vzorky ovzduší. Toto časové rozlišení působí nepřesnosti při hodnocení ve vztahu ke směru a rychlosti větru, které se většinou v průběhu dne významně mění a nebývá proto jednoznačné, jaký směr od zdroje znečišťování reprezentuje odebraný vzorek. Z těchto důvodů byly modelem vypočtené imisní příspěvky v jednotlivých dnech vzorkování přiřazeny příslušným denním typům proudění. Výsledek je graficky znázorněn v následujícím krabicovém grafu (Obr. 46). Krabicové grafy v tomto obrázku obsahují pro snazší interpretaci také datum, ve kterém došlo podle modelu v roce 2021 k nejvyššímu imisnímu příspěvku příslušného faktoru ke koncentraci PM_{10}, a také graficky znázorněnou hodnotu aritmetického průměru pro příslušný faktor a DTP (červená značka).

V průměru nejvyšší imisní příspěvky částic PM_{10} pocházejících z vytápění domácností uhlím („VYT UHLÍ“) byly zaznamenány při DTP reprezentujícím proudění ze západu, tedy od obce Věřňovice, popř. dalších obcí tímto směrem. Při východním denním typu proudění (od obcí Godów, Gołkowice) byly imisní příspěvky tohoto faktoru v průměru druhé nejvyšší a byl odtud zaznamenán také nejvyšší denní příspěvek. Ojediněle vysoký příspěvek vytápění domácností uhlím byl zaznamenán ze severovýchodního směru, který nastal v termínu, ve kterém kulminovaly také příspěvky faktorů „SA ZIMNÍ“ a „PRŮM OCEL“ (13. 12. 2021). Jednalo se o epizodu s transportem silně koncentrovaného a také silně degradovaného znečištění z rozsáhlé pánevní oblasti polského Slezska (směs primárních a sekundárních částic při mimořádně nepříznivých rozptylových podmínkách). Při jihozápadním DTP (periferie Bohumína, např. Skřečoň) byly imisní příspěvky vytápění domácností uhlím také významné, v průměru pouze mírně nižší než při severovýchodním DTP.

Vytápění biomasou se projevovalo nejvyššími imisními příspěvky jednoznačně z východního směru. Druhá nejvýznamnější pravděpodobná zdrojová oblast se nacházela západně od měřicího místa (obec Věřňovice, popř. další sídla tímto směrem - Šunychl, Starý Bohumín, Zabełków, Chałupki). Třetí nejvýznamnější zdrojová oblast emisí z vytápění domácností biomasou byla podle DTP situována jižně od Věřňovic (Dolní Lutyně).

Zimní sekundární aerosol („SA ZIMNÍ“) se podle hodnocení na základě DTP tvoří zejména z emisí produkovaných v územích ležících západně a východně (širší okolí Jastrzębie-Zdrój) od Věřňovic. Zdrojovou oblast ležící západně je obtížné určit, protože kromě blízkých Věřňovic se tímto směrem nenachází žádné území s vysokou hustotou domácností a dopravy. S ohledem na výsledky dřívějších projektových měření ČHMÚ na Opavsku (v Bolaticích byl v roce 2020 prokázán abnormálně vysoký vliv vytápění domácností dokumentovaný jedněmi z nejvyšších imisních koncentrací benzo[*a*]pyrenu v ČR), je možné, že Opavsko je významnou zdrojovou oblastí prekurzorů zimního typu sekundárního aerosolu, i přes zdejší relativně nízkou hustotu osídlení. Prozatím se jedná pouze o hypotézu, kterou nelze se současnými poznatky potvrdit. Méně často, ale přitom vysokými imisními příspěvky tohoto faktoru, se vyznačovaly také dny se severozápadním denním typem proudění (pravděpodobná zdrojová oblast prekurzorů v okolí sídel Kędzierzyn-Koźle, Racibórz, Pszów, Rydułtowy).



Obr. 46 Imisní příspěvky identifikovaných faktorů ke koncentraci PM_{10} v závislosti na DTP (Věřňovice)

Letní sekundární aerosol („SA LETNÍ“) identifikovaný ve Věřňovicích vznikal převážně z emisí ze zdrojů situovaných severovýchodně až východně od Věřňovic (polské zdroje), ale byly zaznamenány i případy vysokých imisních příspěvků z jihu (z území ČR). Zatímco ze severovýchodu byl tento fotochemický smog přenášen v situacích se silně podprůměrnou rychlostí větru, z jihu se jednalo naopak o podmínky s vysokými rychlostmi větru. Vzhledem ke kinetice vzniku sekundárních částic, které mají potenciál ovlivňovat celkovou hmotnostní koncentraci PM_{10} (větší částice, které vyžadují ke své koagulaci řádově nejméně hodiny) lze předpokládat, že při severovýchodním proudění se jedná o částice ze zdrojů prekurzorů v pánevní oblasti polského Slezska, zatímco při jižním proudění se jedná i o vzdálenější zdroje (pravděpodobně transport tohoto typu znečištění Moravskou bránou s příspěvkem zdrojů umístěných v aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek).

Podle hodnocení na základě DTP leží zdrojové oblasti půdní minerální prašnosti (¨“MIN Al Si“) jižním a severovýchodním až východním směrem (blízká pole, která obklopují monitorovací stanici). Karbonátové částice („MIN Ca“), jejichž nejvyšší imisní příspěvky lze spojovat zejména s přenosem saharského prachu, byly podle DTP transportovány v nejvyšších koncentracích z jihozápadního směru.

Zdroj solných částic se v největším počtu případů nacházel jihozápadním až západním směrem od Věřňovic, potenciálně významné mohou být z tohoto hlediska také západní až severní směry, ale ty byly v době měření málo četné (pouze ojedinělé dny v roce s těmito DTP), takže je nelze statisticky věrohodně hodnotit.

Částice PM_{10} z hutnictví železa („PRŮM OCEL“) byly do Věřňovic transportovány převážně z jihozápadního směru (pravděpodobně z areálu Liberty Ostrava, a.s.). Vůbec nejvyšší průměrný denní imisní příspěvek tohoto faktoru byl ale zaznamenán ze severovýchodního směru (13. 12. 2021). Naznačuje to existenci emisně vydatného hutního zdroje severovýchodně od Věřňovic, který se projevuje pouze výjimečně při specifických meteorologických podmínkách (pravděpodobně ArcelorMittal Poland Dąbrowa Górnicza), a který proto nemá na imisní situaci ve Věřňovicích významný vliv. Zdrojové oblasti primárních emisí z průmyslové energetiky byly vzhledem k zanedbatelně nízkému imisnímu příspěvku nehodnotitelné.

Pravděpodobné zdrojové oblasti benzo[*a*]pyrenu

Vzhledem k tomu, že matematickým modelováním bylo jako hlavní zdroj benzo[*a*]pyrenu identifikováno lokální vytápění domácností uhlím a biomasou (faktory „VYT UHLÍ“ a „VYT BIOM“), jsou zdrojové oblasti znečištění benzo[*a*]pyrenem shodné se zdrojovými oblastmi imisních příspěvků těchto faktorů ke koncentraci PM_{10}. Především jsou z tohoto hlediska podstatné zdrojové oblasti emisí z vytápění uhlím, které dle modelu tvoří dvě třetiny až tři čtvrtiny celkové průměrné roční koncentrace benzo[*a*]pyrenu.

Hlavní zdroje benzo[*a*]pyrenu jsou situovány třemi hlavními směry od měřicího místa: východně (Godów, popř. další sídla v okolí Jastrzębie-Zdrój), západně až severozápadně (Věřňovice, Šunychl, Gorzycki, popř. vzdálenější obce v řádu jednotek km) a jihozápadně (předměstí Bohumína, Rychvald).

Shrnutí

Měření na stanicích Studénka a Věřňovice bylo od roku 2009 již v pořadí 13. ročním měřením dotovaným Moravskoslezským krajem a provozovaným ČHMÚ. Dotovaná měření v roce 2021 byla součástí výzkumného konceptu BORA, který je dále realizován v rámci projektů ARAMIS a KAPOOO. Souběžné zapojení několika projektů umožňuje provést rozsáhlá a nákladná měření, a dále použít inovativní metody vyhodnocení kvality ovzduší v problematickém regionu severovýchodní části Moravskoslezského kraje. Úkolem celého konceptu je zjistit skutečné podíly jednotlivých zdrojů znečišťování v oblasti. Měření ve Studénce a Věřňovicích významně doplňují informace o regionálních přenosech znečištění ovzduší.

Stanice Věřňovice byla v roce 2021 s 56 dny s překročením denního imisního limitu pro PM_{10} na druhém místě po stanici Ostrava-Radvanice ZÚ (57 dní s překročením) v celé ČR. Třetí nejvyšší počet překročení 24hodinového limitu pro PM_{10} byl dosažen na stanici Karviná (53). Maximální denní koncentrace suspendovaných částic PM_{10} byla ve Věřňovicích 219,5 $\mu g.m^{-3}$ naměřena dne 1. 2. 2021. Roční imisní limit pro PM_{10} nebyl překročen ve Studénce ani Věřňovicích. Roční imisní limit pro $PM_{2,5}$ byl překročen na stanici Věřňovice (24,3 $\mu g.m^{-3}$), ve Studénce (18,2 $\mu g.m^{-3}$) překročen nebyl. Provedená identifikace zdrojů dále koresponduje s hodnocením koncentrací PM v závislosti na směru a rychlosti větru. Roční koncentrace benzo[*a*]pyrenu překračovaly limit téměř dvojnásobně ve Studénce (1,9 $ng.m^{-3}$) a téměř sedminásobně ve Věřňovicích (6,8 $ng.m^{-3}$). Výsledky měření v roce 2021 tak podporují dřívější zjištění a předpoklady, že největším znečišťovatelem částicemi v regionu je individuální vytápění tuhými palivy, a to na obou stranách česko-polské hranice.

Koncentrace ostatních škodlivin jsou na obou lokalitách nízké, nepřekračují imisní limity, přestože v lokalitě Věřňovice jsou vyšší než na stanici Studénka.

Závěry identifikace zdrojů znečišťování ovzduší vypracované pro lokalitu Věřňovice na základě měřící kampaně a receptorového modelu PMF za období 14. 1. 2021 – 13. 1. 2022, lze shrnout následovně:

1) Bylo identifikováno celkem 9 faktorů, které se podílejí na průměrných ročních koncentracích suspendovaných částic PM_{10} a benzo[a]pyrenu (BaP) v posuzované lokalitě:

- Individuální vytápění domácností uhlím (VYT UHLÍ) – cca 25 % PM_{10}, 2/3 až 3/4 BaP,
- Individuální vytápění domácností biomasou (VYT BIOM) – cca 20 % PM_{10} i BaP,
- Letní typ sekundárního aerosol (SA LETNÍ) – necelých 20 % PM_{10}, zanedbatelný podíl BaP,
- Zimní typ sekundárního aerosol (SA ZIMNÍ) – necelých 20 % PM_{10}, necelých 10 % BaP,
- Minerální prašnost (MIN Al Si) – necelých 10 % PM_{10}, nulový podíl BaP,
- Karbonátovou minerální prašnost (MIN Ca) – jednotky % PM_{10}, nulový podíl BaP,
- Směs mořské a resuspendované posypové soli (SŮL) – cca 1 % PM_{10} i BaP,
- Výroba železa a oceli (PRŮM OCEL) – desetiny % PM_{10}, jednotky % BaP,
- Průmyslová energetika (PRŮM ENERG) – nekvantifikovatelně nízký podíl PM_{10} i BaP.

2) Na znečištění ovzduší suspendovanými částicemi PM_{10} se podílely nejvíce primární částice z místního vytápění domácností a sekundární částice vznikající v regionu, přičemž obě skupiny faktorů přibližně stejným relativním příspěvkem (každá z těchto skupin mírně nad 40 %).

3) Příspěvek primárních částic z vytápění domácností pocházel dominantně ze zdrojů ve vzdálenosti řádově jednotek km od měřicího místa. Na základě tří nezávislých interpretačních technik lze konstatovat, že se jedná zejména o Godów, Gołkowice, Věřňovice, Šunychl, Zabełków,

Chałupki, Gorzycki a Skřečoň. Nejvyšší imisní příspěvek vytápění domácností k průměrné roční koncentraci PM_{10} pocházel od uvedených polských obcí situovaných východně od Věřňovic.

4) Zimní typ sekundárního aerosolu přispíval k celkové průměrné roční koncentraci PM_{10} nejvíce ze severozápadního (Kędzierzyn-Koźle, Racibórz, Pszów, Rydułtowy), jihozápadního (ostravská aglomerace) a východního směru (Jastrzębie-Zdrój). Letní typ sekundárního aerosolu pocházel nejvíce ze severozápadu (Kędzierzyn-Koźle, Racibórz, Pszów, Rydułtowy) a jihozápadu (Ostravsko).

5) Z hlediska původu sekundárních částic na průměrné roční koncentraci PM_{10} nebyl prokázán převládající vliv katowické ani ostravské aglomerace, jakožto silně urbanizovaného území s vysokou hustotou dopravních emisí. Transport z Ostravska ke koncentraci sekundárních částic ve Věřňovicích v létě významně přispívá (směr s druhým nejvyšším příspěvkem), ale tato skutečnost je dána místními klimatickými poměry (jihozápadní proudění je ve Věřňovicích nejčastější, takže i když přináší méně koncentrované znečištění, působí významný příspěvek k ročnímu průměru). Výsledky identifikace zdrojů tím naznačují, že tvorbu sekundárních částic v regionu v chladné části roku v současnosti indukují především emise z vytápění domácností. Automobilová doprava je z tohoto hlediska druhořadá. Vytápění domácností působí nežádoucí kumulativní efekt: jednak zaujímají primární emise z této skupiny zdrojů nejvyšší podíl na průměrné roční koncentraci PM_{10}, jednak emise plynných látek z vytápění zásadně zvyšují zimní koncentrace tvorbou sekundárního aerosolu, jehož koncentrace by byla jinak v chladné části roku pravděpodobně podstatně nižší z důvodu nedostatku slunečního záření pro vznik fotochemického smogu.

6) Koncentrace benzo[*a*]pyrenu byly dominantně působeny lokálním vytápěním domácností uhlím (dvě třetiny až tři čtvrtiny průměrné roční koncentrace) a biomasou (necelých 20 % průměrné roční koncentrace).

7) Hlavní zdroje benzo[*a*]pyrenu se nacházejí třemi hlavními směry od měřicího místa: východně (Godów, popř. další sídla v okolí Jastrzębie-Zdrój), západně až severozápadně (Věřňovice, Šunychl, Gorzycki, popř. další obce) a jihozápadně (předměstí Bohumína, Rychvald). Výsledky ukazují na původ znečištění nedaleko měřicího místa (řádově jednotky km) a naopak vylučují dálkový přenos znečištění ze silně znečištěného okolí města Rybnik, popř. katowické, či ostravské aglomerace (z těchto vzdálenějších oblastí pocházelo pravděpodobně nejvýše cca 10 % této znečišťující látky).

Literatura

[1] ČR, 2012. Zákon č. 201/2012 Sb. ze dne 2. května 2012 o ochraně ovzduší.

[2] 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.

[3] 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

[4] WHO, 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

[5] TOLASZ, R., ČEKAL, R., LAMAČOVÁ, A., ŠKÁCHOVÁ, H., 2022. Rok 2021 v Česku. Meteorologické zprávy, roč. 75, č. 1, s. 2–16. ISSN 0026-1173.

[6] ČHMÚ, 2021. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020 [online]. [cit. 22. 3. 2022]. Dostupné z WWW: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/Obsah_CZ.html.

[7] ČHMÚ, 2022. Smogový varovný a regulační systém [online]. [cit. 22. 3. 2022]. Dostupné z WWW: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/smog/index.html.

[8] ŠKÁCHOVÁ, H., STAŠOVÁ, L., VLASÁKOVÁ, L., SCHREIBEROVÁ, M., 2022. Kvalita ovzduší na území České republiky, prosinec 2021 [online]. [cit. 22. 3. 2022]. Dostupné z WWW: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/mes_zpravy/PROSINEC_2021.pdf.

[9] ČHMÚ, 2022. Zpravodak Českého hydrometeorologického ústavu pobočky v Ostravě, prosinec 2021 [online]. [cit. 22. 3. 2022]. Dostupné z WWW: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/zpravodaj/2021/zpravodaj-2112.pdf.

[10] 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. https://doi.org/10.3390/atmos13020341.

[11] 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

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
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
SO_2	oxid siřičitý
SSIM	Státní síť imisního monitoringu
TK	těžké kovy
WHO	Světová zdravotnická organizace