TD 000159

Vyhodnocení měření na monitorovacích stanicích Bruntál-škola a Břidličná v roce 2022

Projekt Měření znečištění ovzduší vzorkovači pro identifikaci zdrojů znečišťování na dvou lokalitách v Moravskoslezském kraji 2022

Závěrečná zpráva projektu (1. 1. – 31. 12. 2022)

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

Oddělení kvality ovzduší / Ostrava / 31. 3. 2023

Český hydrometeorologický ústav

1. Úvod

V roce 2022 probíhalo měření manuálními vzorkovači suspendovaných částic v ovzduší dotované z rozpočtu Moravskoslezského kraje[1] na základě smlouvy ev. č. 0159/2022/ŽPZ, uzavřené s Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ), na dvou lokalitách Moravskoslezského kraje v okrese Bruntál. 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 byly pro rok 2022 na Bruntálsku vybrány dvě lokality - stávající stanice Státní sítě imisního monitoringu Bruntál-škola a nově vytvořená stanice v Břidličné, s ročním měřicím programem.

Oblast Bruntálska byla vybrána pro posouzení, které zdroje se v hodnoceném místě podílejí na celkové imisní koncentraci hodnocených látek a jaká je velikost jejich imisních příspěvků z několika důvodů. Měřením dotovaným v roce 2019 v Bruntálu Moravskoslezským krajem byla identifikována zvýšená koncentrace arsenu v suspendovaných částicích v lokalitě stálé stanice Státní sítě imisního monitoringu Bruntál-škola. Dílčím cílem měření v roce 2022 tak bylo ověřit, zda je výskyt této anomálie trvalý. ČHMÚ v lokalitě Bruntál-škola na základě Konceptu měřicí sítě plánuje v dalších letech automatizaci a rozšíření stálého monitoringu. Doplňková měření, dotovaná v roce 2022 z rozpočtu Moravskoslezského kraje, mohou tedy poskytnout podrobnější podklady pro konkrétnější zacílení budoucího rozšířeného měřicího programu na lokalitě. Výsledky modelování rozložení plošných koncentrací $PM_{2,5}$ a benzo[*a*]pyrenu prováděného pro ročenky Znečištění ovzduší na území České republiky [6] v posledních letech indikovaly možný lokální výskyt zvýšených koncentrací těchto dvou polutantů na území obce Břidličná, které bylo vhodné ověřit i terénním měřením. Realizace tohoto měření se stala dalším z dílčích cílů dotovaného monitoringu v roce 2022.

1 Moravskoslezský kraj

Bruntál-škola je město nacházející se v okrese Bruntál, leží zhruba 45 km severně od Olomouce. Žije v něm přibližně 15,5 tisíce obyvatel. Dotované odběrové zařízení na lokalitě Bruntál-škola (Tab. 1, Obr. 1, Obr. 2) bylo umístěno na již existující stanici Státní sítě imisního monitoringu se stejným názvem, kterou provozuje ČHMÚ od roku 2016. Lokalita je klasifikována jako dopravní, typ zóny městská, s charakteristikou obytná.

Břidličná je město nacházející se v okrese Bruntál, leží zhruba 35 km severně od Olomouce. V Břidličné žije přibližně 3 tisíce obyvatel. Dotované odběrové zařízení na lokalitě Břidličná (Tab. 1, Obr. 3, Obr. 4) bylo umístěno v areálu ZŠ Břidličná. Lokalita s ročním provozem je klasifikována jako průmyslová, typ zóny městská, s charakteristikou obytná.

Tab. 1 Lokality s měřením

Charakteristika	Bruntál-škola	Břidličná
Severní zem. šířka	49° 59´ 14.915"	49° 54´ 55.459"
Východní zem. délka	17° 28´ 10.130"	17° 22´ 28.647"
Nadmořská výška	534 m	652 m
EOI klasifikace	T/U/R	I/U/R
Reprezentativnost	Oblastní měřítko – městské nebo venkov (4–50 km)	Okrskové měřítko (0,5-4 km)

V lokalitě Bruntál škola byly v roce 2022 měřeny denní průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$. Každý třetí den bylo na stanici navíc prováděno měření těžkých kovů (TK v suspendovaných částicích $PM_{2,5}$) a každý třetí den měření polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH v suspendovaných částicích $PM_{2,5}$). V lokalitě Břidličná byly v roce 2022 měřeny denní průměrné koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$. Každý šestý den bylo na stanici navíc prováděno měření těžkých kovů (TK v suspendovaných částicích $PM_{2,5}$) a každý šestý den také měření polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH v suspendovaných částicích $PM_{2,5}$). Kromě uvedených znečišťujících látek bylo v Bruntálu-škola a v Břidličné celoročně měřeno široké spektrum dalších analytů nezbytných k provedení identifikace zdrojů znečišťování. Jejich přehled je součástí kapitoly 3. V lokalitě Bruntál-škola bylo po celý rok realizováno doplňkové měření směru a rychlosti větru.

Měření TK, PAH a dalších analytů na obou lokalitách probíhalo jako 24hodinové v období od 0 do 24:00 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 stanovovány gravimetirckou metodou a výstupem byly průměrné 24hodinové koncentrace. 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}	$\mu g.m^{-3}$	Gravimetrie
Suspendované částice $PM_{2,5}$	$\mu g.m^{-3}$	Gravimetrie
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
Rychlost větru	$m.s^{-1}$	Ultrazvukový anemometr

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.

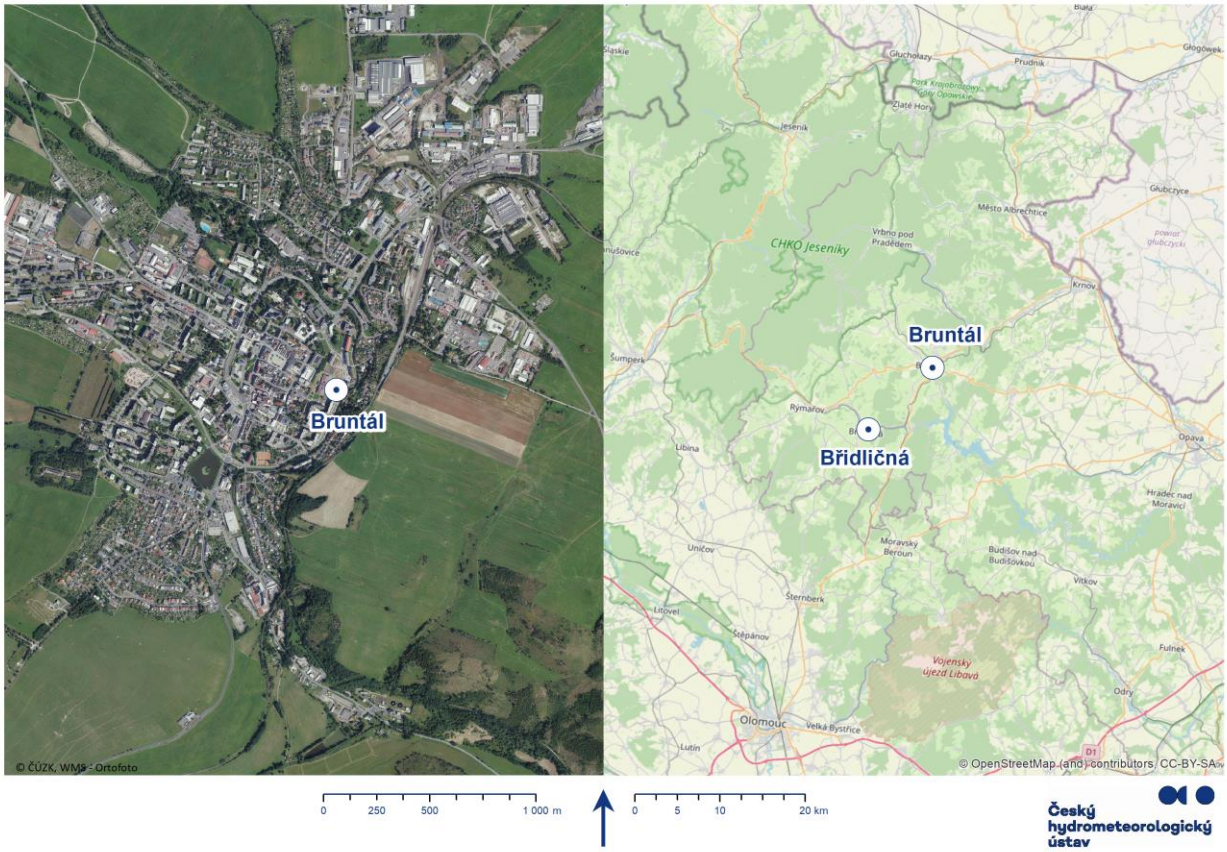
Tab. 3 Imisní limity pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení v $\mu g.m^{-3}$ podle zákona 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší

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

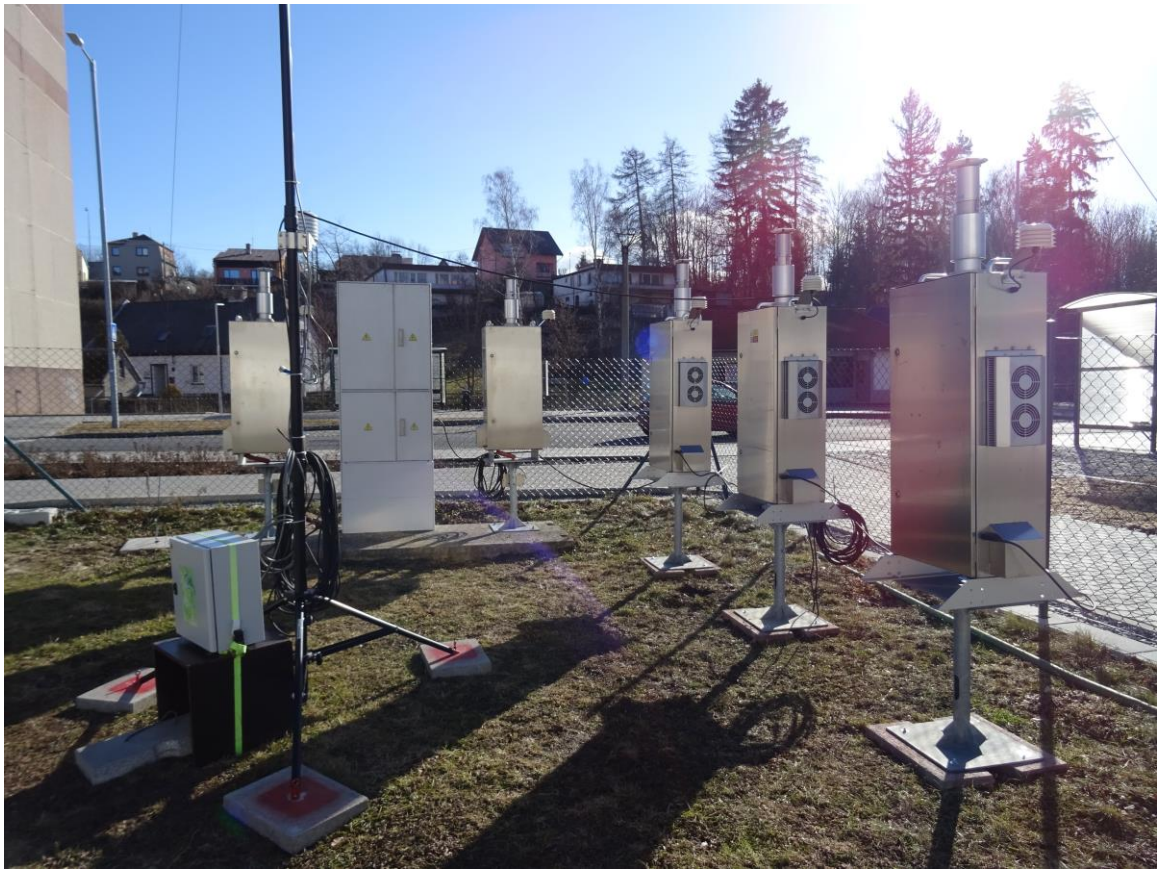
[1)] Celkový obsah v částicích frakce PM_{10}

Informace o měřeních uvedených škodlivin jsou zveřejněny na internetové stránce ČHMÚ[2]. Výsledky všech měření jsou uloženy v Informačním systému kvality ovzduší České republiky, budou využity pro hodnocení kvality ovzduší v České republice v roce 2022 i v dalších letech a budou zveřejněny v ročenkách znečištění ovzduší.[3]

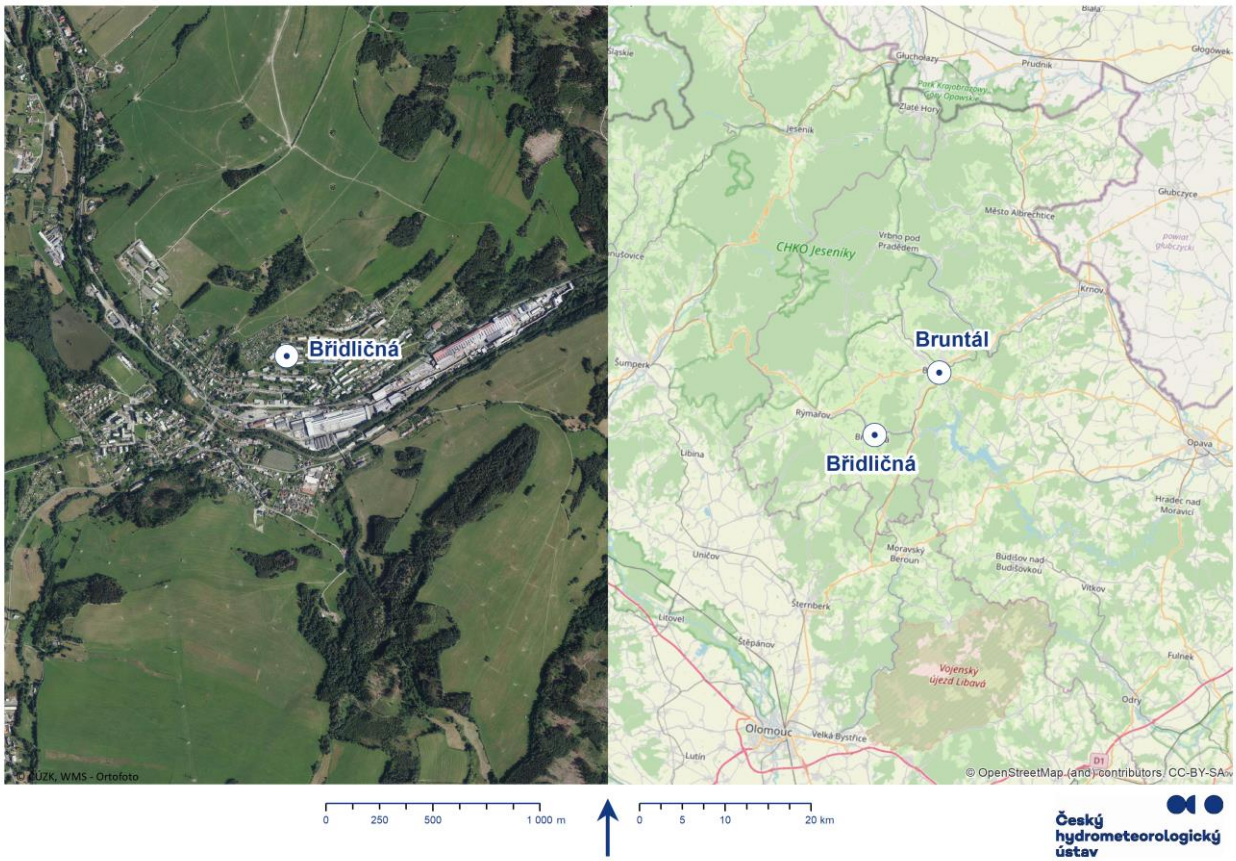
[2] https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/OCO/prehledy/bruntal_bridlicna/prhl_kraj14.htm
[3] Roční vyhodnocení úrovně znečištění ovzduší v ČR, tabelární a grafické ročenky: www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/tab_roc_CZ.html, https://info.chmi.cz/rocenka/



Obr. 1 Poloha stanice Bruntál-škola



Obr. 2 Stanice Bruntál-škola



Obr. 3 Poloha stanice Břidličná

Obr. 4 Stanice Břidličná

2. Popis a metodika hodnocení meteorologických podmínek

Úroveň znečištění ovzduší závisí nejen na množství emisí, ale i na převažujících meteorologických a rozptylových podmínkách v lokalitě v daném roce.

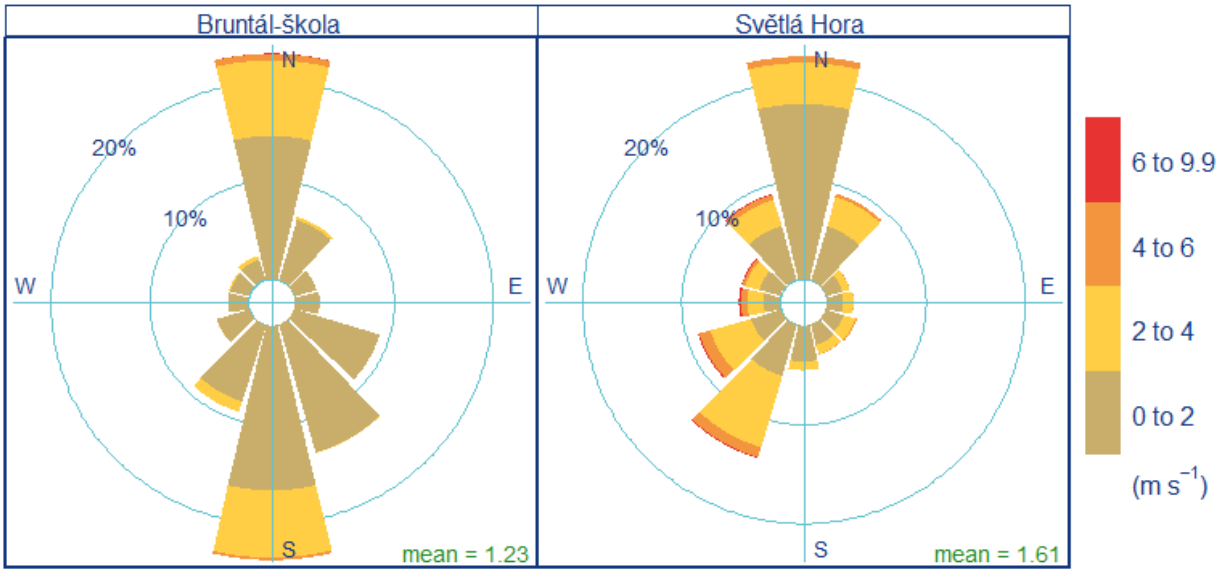
Rok 2022 byl s průměrnou teplotou 9,2 °C nadnormální, teplota byla o +0,9 °C vyšší než normál 1991–2000. Jedná se tak o 5. nejteplejší rok v období od roku 1961. Tepleji bylo v letech 2014 a 2015 (9,4°C), 2019 (9,5 °C) a 2018 (9,6 °C). V tomto roce se vyskytly dva teplotně silně nadnormální měsíce, a to červen s průměrnou teplotou vzduchu na území ČR 18,7 °C (odchylka +2,2 °C) a říjen s průměrnou teplotou 10,7 °C (odchylka +2,5 °C). Jako teplotně nadnormální byly hodnoceny zimní měsíce leden a únor a dále květen a srpen. Velmi chladný byl duben, s průměrnou teplotou 6,4 °C (odchylka -2,1°C), byl hodnocen jako teplotně silně podnormální. Ostatní měsíce byly hodnoceny jako teplotně normální. Roční srážkový úhrn 629 mm řadí rok mezi roky srážkově normální (normál za období 1991−2020 je v Česku 684 mm). Nejvíce srážek, v průměru 101 mm, což bylo 123 % normálu, napadlo v Česku v červnu a nejméně, v průměru jen 16 mm, to je 35 % normálu, v březnu. Jako srážkově normální bylo klasifikováno osm měsíců (leden, únor, duben, květen, červenec, srpen, listopad a prosinec). Nadnormální úhrn srážek byl zaznamenán jen v červnu a září, srážkově podnormální byl říjen, březen byl srážkově silně podnormální [5].

V roce 2022 probíhalo v lokalitě Bruntál-škola měření směru a rychlosti větru. Nejbližší klimatologickou stanicí s dlouhou časovou řadou je Světlá Hora. Meteorologické údaje ze stanice Světlá Hora jsou celkově pro oblast reprezentativnější než měření v lokalitě Bruntál-škola. Lokalita Bruntál-škola je v případě měření větru ovlivněná městskou zástavbou. Reprezentativnost tohoto měření je tedy omezena pouze na tuto lokalitu a její nejbližší okolí. Zatímco naměřené rychlosti větru v těchto dvou lokalitách se zásadně neliší, četnosti proudění z různých směrů jsou výrazně odlišné. V lokalitě Bruntál-škola byly naměřeny relativně nižší rychlosti větru, což je přisuzováno zmíněnému lokálnímu ovlivnění zástavbou. Nejvyšší průměrné měsíční rychlosti větru byly v roce 2022 dosahovány v měsících leden, únor a duben. Při porovnání větrných růžic z obou lokalit pro rok 2022 je zřejmé, že v oblasti převažuje severní proudění, v lokalitě Bruntál-škola je významné také jižní proudění. Druhým nejčetnějším je na stanici Světlá Hora proudění z jihozápadního sektoru (Obr. 5). Údaje o teplotě vzduchu jsou k dispozici z klimatologické stanice Světlá Hora. Nejnižší průměrné měsíční teploty byly v roce 2022 naměřeny v měsících leden a prosinec, naopak nejvyšší v červenci a srpnu (Obr. 6).

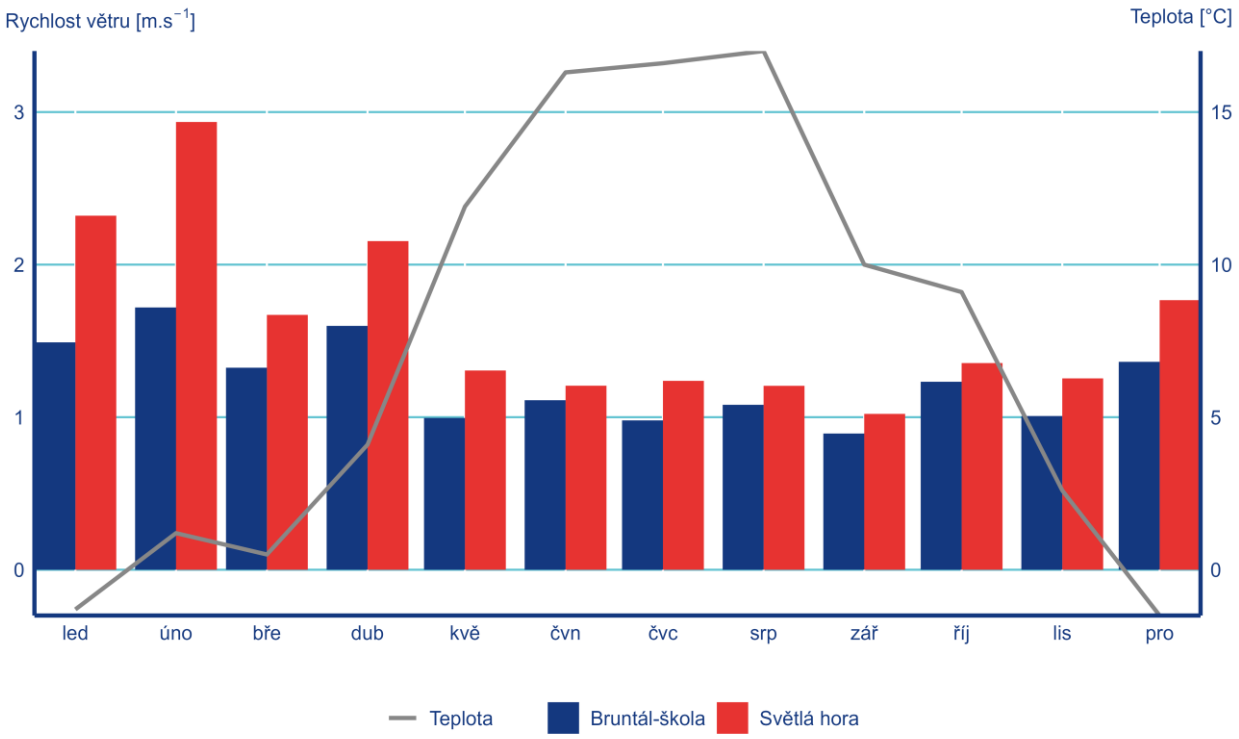
Pro potřeby hodnocení 24hodinových koncentrací škodlivin v závislosti na směru větru byla použita interní metodika ČHMÚ stanovení denního typu směru proudění (DTP). DTP je počítán z hodinových hodnot směru a rychlosti větru měřených ve stejné lokalitě s měřením posuzované škodliviny [7]. DTP bylo pro účely zpracování využito pouze z lokality Bruntál-škola. 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. Hodnocení koncentrací škodlivin v závislosti na DTP nemusí být objektivní s ohledem na skutečnost, že měření neprobíhalo každý den. Nelze tedy zahrnout všechny typy situací, které se na dané lokalitě mohou vyskytnout. Jedná se o orientační charakteristiku s omezenou vypovídací hodnotou.

V hodnocení byla použita interní aplikace ČHMÚ pro výpočet zpětných trajektorií proudění [9]. Metoda umožňuje vyhodnotit zpětnou cestu proudění k zadanému místu. Aplikace je navázána na klimatologickou databázi CLIDATA a připravuje vstupní meteorologická data pro výpočet zpětných trajektorií v hodinovém nebo 10minutovém kroku. Do těchto výpočtů byly rovněž zahrnuty údaje z klimatologické stanice Světlá Hora. Meteorologická data jsou dále interpolována do plochy České

republiky a pro zvolenou lokalitu se počítají zpětné (případně dopředu postupující) trajektorie větru. Ve výpočtu není zohledněna orografie, což může v případě členitého terénu přinést jisté nepřesnosti.



Obr. 5 Větrné růžice v lokalitách Bruntál-škola a Světlá Hora, 2022



Obr. 6 Průměrné měsíční rychlosti větru (Bruntál-škola, Světlá Hora) a teploty vzduchu (Světlá Hora), 2022

3. Popis a metodika hodnocení znečištění ovzduší

V období 1. 1. 2022–31. 12. 2022 byla provedena speciální odběrová kampaň vzorků ovzduší ve výše popsaných lokalitách Bruntál-škola (TBRS) a Břidličná (TBRI). Automatickými sekvenčními vzorkovači Leckel SEQ 47/50 zde byly nad rámec měření ve Státní síti imisního monitoringu odebírány 24hodinové vzorky prašného aerosolu frakce $PM_{2,5}$ na filtry v časech od 0:00 do 24:00 UTC (v lokalitě Bruntál každý 3. den, v Břidličné každý 6. den). V lokalitě Bruntál-škola bylo po celý rok realizováno doplňkové měření směru a rychlosti větru. Veškeré terénní práce byly provedeny pracovníky ČHMÚ.

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

- gravimetrické stanovení koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$,
- OC, EC včetně teplotně rozlišených frakcí 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 (plynová chromatografie): 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 (ED XRF): 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.

Pro navazující modelové řešení byla uvedenými metodami připravena datová sada čítající údaje ze 181 vzorků (121 z Bruntálu a 60 z Břidličné). Kromě řádných vzorků byly ke kontrole a zajištění kvality výsledků využity také datové sady z paralelního měření v rámci projektu ARAMIS metodou ED XRF a Xact v lokalitě Lom (srovnáno 243 vzorků), v lokalitě Bruntál-škola bylo odebráno také 9 paralelních vzorků pro porovnání metody ED XRF a ICP-MS. Součástí odběrů a rozborů byly polní slepé vzorky (min. 5 % řádných vzorků pro každou z použitých metod). Analytické práce byly provedeny v laboratoři ČHMÚ, pobočce Ostrava, s výjimkou rozborů PAH, které stanovila laboratoř pobočky v Ústí nad Labem, a prvkové analýzy metodou rozborů ICP-MS, provedené v Centrální laboratoři imisí ČHMÚ v Praze-Libuši.

Pro identifikaci zdrojů znečišťování ovzduší (posouzení, které zdroje se v hodnoceném místě podílejí na celkové imisní koncentraci hodnocených látek, a jaká je velikost jejich imisních příspěvků) byl použit receptorový matematický model PMF. Jedná se o mnohorozměrnou faktorovou analýzu, která je k tomuto účelu celosvětově běžně používána. Je založena na vzájemných korelacích časových řad imisních koncentrací jednotlivých analytů a jejich skupin. Analyty s podobným časovým průběhem jsou modelem seskupeny do tzv. faktorů. Tyto identifikované faktory (jejich složení a časový průběh) reprezentují konkrétní zdroje nebo skupiny zdrojů znečišťování ovzduší, které v posuzované lokalitě přispívají ke znečištění ovzduší zájmovou látkou. Pro každý faktor byl modelem vypočten absolutní i relativní podíl na imisní koncentraci $PM_{2,5}$. Při modelování bylo postupováno v souladu s požadavky manuálu k programu PMF 5.0 [8]. Přiléhavost modelem vypočtené koncentrace k naměřeným koncentracím $PM_{2,5}$, arsenu a benzo[*a*]pyrenu je vyjádřena koeficienty determinace R2=0,94, 0,72 a 0,90 při přidané nejistotě modelu 11 %. Z důvodu nevyhovujícího poměru signál/šum nebo nadbytečnosti (duplicita hmoty s jiným analytem, nespecifičnost původu) byly z měřených analytů v průběhu modelování vyřazeny bromidy, fluoridy,

Cd, In, Sn a většina PAH. Naměřené koncentrace ostatních duplicitních a plynných analytů v datové sadě (např. iontů prvků stanovených iontovou chromatografií, které byly současně analyzovány pomocí XRF), které byly v datasetu ponechány pro zvýšení rozlišovací schopnosti a lepší možnosti interpretace modelu, byly o 3 řády sníženy, aby významně neovlivňovaly kvantifikaci hmotnostních podílů. Stabilita řešení byla ověřena metodou bootstrap s 20 testovacími výběry, přičemž výsledný model vykazoval 100 % shodu výběrových a základních modelových faktorů.

Po interpretaci faktorových profilů bylo provedeno ověření, zda směr, odkud byly do hodnocených lokalit transportovány modelem identifikované typy znečištění, odpovídá poloze skutečných zdrojů. Za tímto účelem byly výsledky modelu v podobě vypočtených imisních příspěvků spárovány s naměřenými hodnotami směru a rychlosti větru s využitím denních typů proudění (DTP). Metoda DTP byla použita z důvodu 24hodinové doby odběru vzorků, která je často příliš dlouhá pro určení reprezentativního směru větru na základě vektorového průměru. Kromě ověření správnosti interpretace posloužila tato analýza také k vytěžení dalších užitečných informací z modelových výstupů. Vzhledem k lokálním odchylkám směru větru v uvedené měřené lokalitě bylo využití DTP relevantní pouze v případě místních zdrojů emisí (v řádu stovek metrů od lokality). V širším okolí se směr větru od hodnot naměřených v lokalitě Bruntál-škola výrazně liší a nebylo proto vhodné metodu DTP využít pro lokalizaci vzdálenějších zdrojů. Pro jejich interpretaci byla využita metoda zpětných trajektorií aerosolových částic. V obrázcích v příloze 4 jsou znázorněny pouze body trajektorií, které pro daný faktor překročily 95. percentil imisního příspěvku (trajektorie reprezentující 5 % nejvyšších imisních příspěvků daného faktoru v roce 2022). Jedná se o výběr z celoroční sady trajektorií vypočtených pro každou hodinu v roce. Body trajektorií jsou vyznačeny v časovém intervalu 1 hodina.

4. Zpracování a výsledky

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

Limitní průměrná roční koncentrace 40 µg.m^{-3} nebyla na stanici Bruntál-škola překročena. Průměrná roční koncentrace PM_{10} dosáhla hodnoty 17,9 µg.m^{-3}, což je 45 % 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} v Bruntále podprůměrné koncentrace v rámci kraje (77 %). Doporučená limitní hodnota roční průměrné koncentrace 20 µg.m^{-3} pro suspendované částice PM_{10} dle WHO [4] také nebyla překročena (Obr. 7).

Průměrná roční koncentrace PM_{10} na stanici Bruntál-škola je druhou nejnižší průměrnou roční koncentrací naměřenou na lokalitách v Moravskoslezském kraji v roce 2022 (Obr. 7). Nejvyšší roční koncentrace PM_{10} v Moravskoslezském kraji byla dosažena na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ (31,2 µg.m^{-3}). Pro doplnění kontextu byly porovnány průměrné roční koncentrace PM_{10} z vybraných stanic na území Moravskoslezského kraje a Slezského vojvodství (Obr. 9, Obr. 11). Nejvyšší koncentrace z celé oblasti byly dosaženy na polských stanicích Pszczyna a Wodzislaw Slaski.

Roční imisní limit pro $PM_{2,5}$ 20 µg.m^{-3} nebyl v roce 2022 překročen ani na stanici Bruntál-škola ani v Břidličné. Průměrná roční koncentrace na stanici Bruntál-škola (13,1 µg.m^{-3}) dosáhla úrovně 65 % platného imisního limitu, na stanici Břidličná (12,9 µg.m^{-3}) také 65 %. Doporučená limitní hodnota roční průměrné koncentrace 10 µg.m^{-3} pro suspendované částice $PM_{2,5}$ dle WHO [4] by však byla překročena na obou lokalitách (Obr. 8).

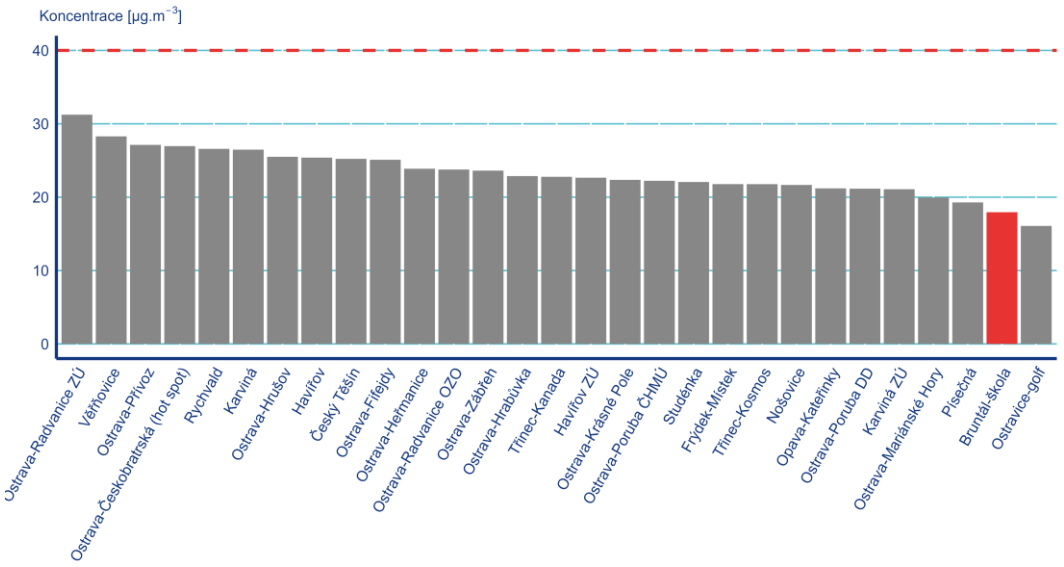
V porovnání průměrných ročních koncentrací $PM_{2,5}$ s lokalitami stacionárního imisního monitoringu v Moravskoslezském kraji (Obr. 8, Obr. 10, Obr. 12) byly průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$ na lokalitách Bruntál-škola a Břidličná třetí, resp. druhé nejnižší (nejvyšší průměrná roční

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 2022 na vybraných stanicích Moravskoslezského kraje a Slezského vojvodství dosahuje nejvyšší hodnoty stanice Godów, téměř 23 µg.m^{-3} (Obr. 10, Obr. 12).

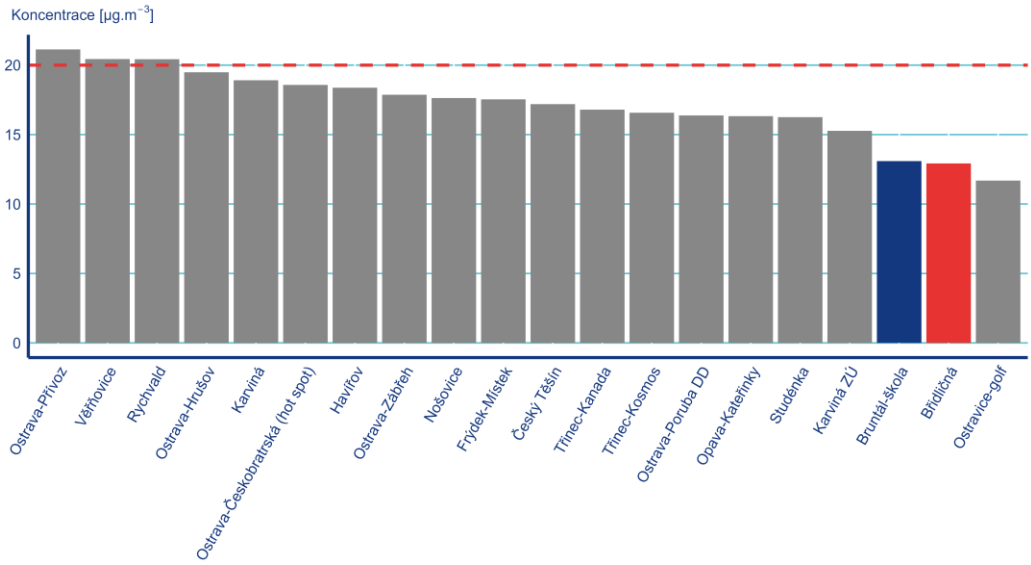
Roční chod průměrných měsíčních koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ je znázorněn na Obr. 13 a Obr. 14. Vyšší průměrné koncentrace PM byly častěji dosahovány v chladných měsících roku, nejvyšší koncentrace PM_{10} i $PM_{2,5}$ byly naměřeny v březnu 2022. Naopak nejnižší průměrná měsíční koncentrace PM_{10} byla dosažena netypicky v únoru na stanici Bruntál-škola, $PM_{2,5}$ na obou stanicích v červenci.

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 Bruntál-škola tři. K překročení denního imisního limitu tedy nedošlo. Nadlimitní denní průměrné koncentrace PM_{10} se vyskytly ve dvou případech v březnu a jednou v srpnu. Maximální 24hodinová průměrná koncentrace PM_{10} na stanici Bruntál-škola byla 56 µg.m^{-3}, naměřená dne 17. března 2022 (Obr. 15–16). Statistické rozložení denních koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ je znázorněno na Obr. 16 a 17.

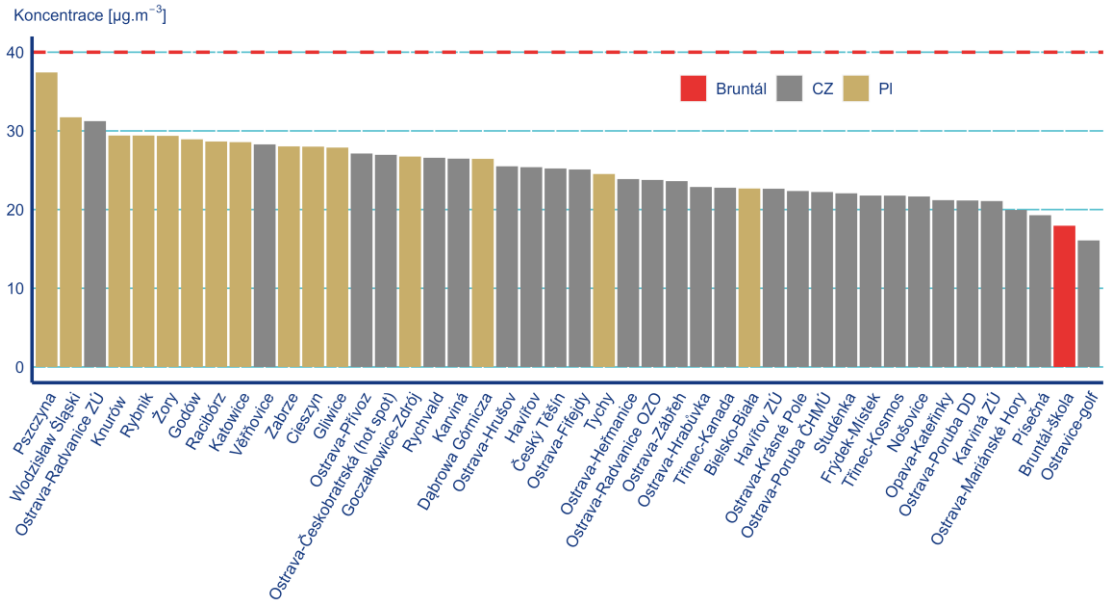
Tabulka 4 prezentuje četnost proudění z jednotlivých směrů (a četnost výskytu DTP: proměnlivý a bezvětří) ve dnech s měřením dané znečišťující látky (% wd) a kolika procenty se koncentrace dané znečišťující látky při proudění z konkrétního směru podílely na celkové průměrné roční koncentraci (% PM_{10}). Průměrné koncentrace při proudění z jednotlivých sektorů, při bezvětří a proměnlivém proudění jsou znázorněny na Obr. 18. Na stanici Bruntál-škola jsou jednoznačně nejvyšší průměrné koncentrace PM_{10} dosahovány při S–SV proudění, dále pak při proudění ze sektoru V–JV a SV–V. Nejistoty hodnocení jsou popsány v kapitole 2.



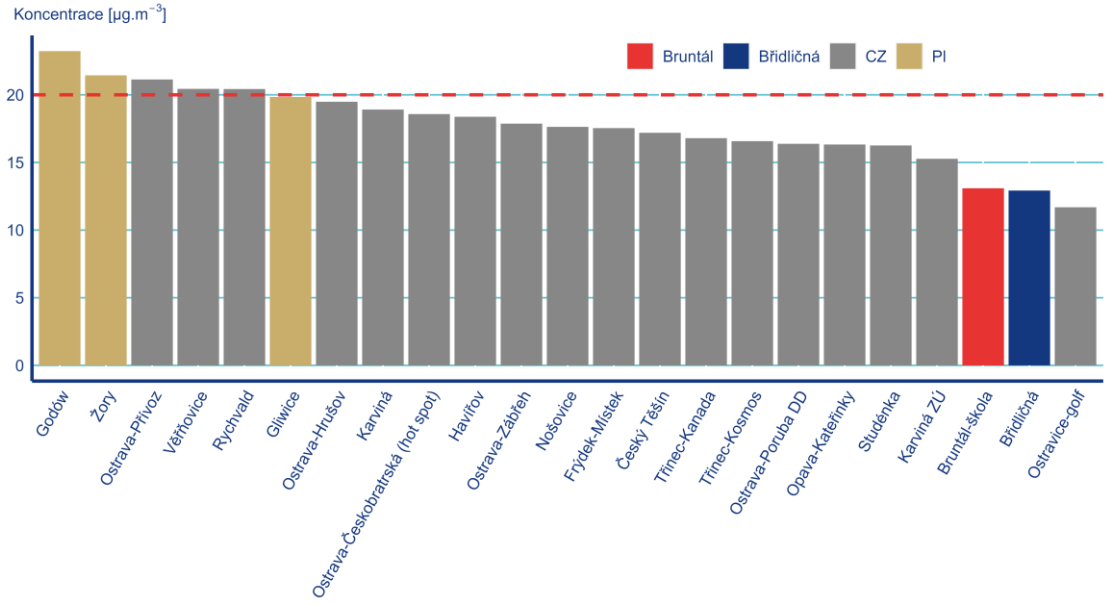
Obr. 7 Průměrná roční koncentrace PM_{10} v roce 2022 (přerušovanou čarou zobrazena hodnota ročního imisního limitu)



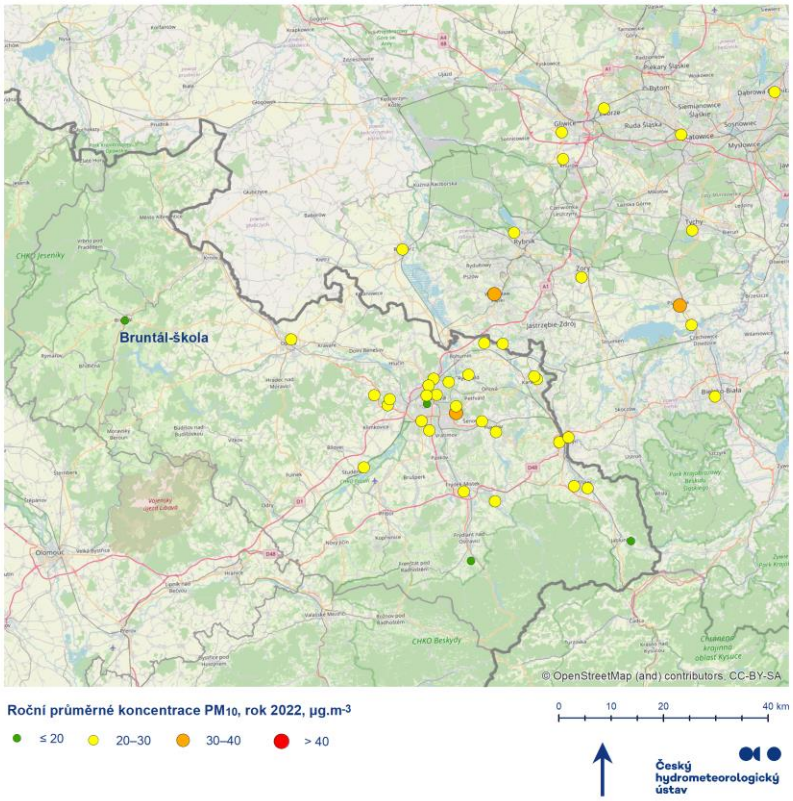
Obr. 8 Průměrná roční koncentrace $PM_{2,5}$ v roce 2022 (přerušovanou čarou zobrazena hodnota ročního imisního limitu)



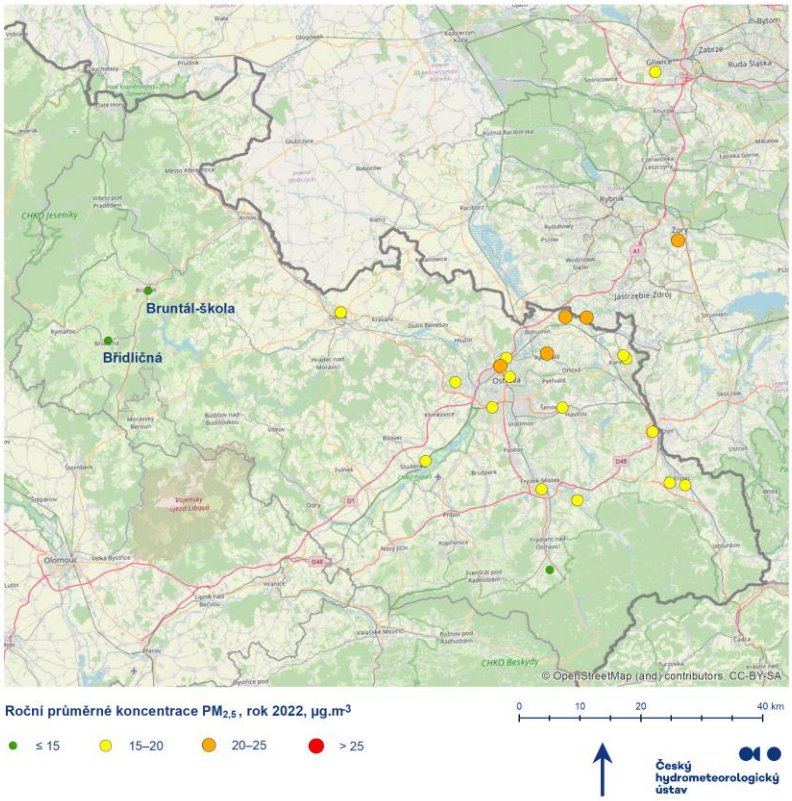
Obr. 9 Průměrná roční koncentrace PM_{10} na vybraných stanicích Moravskoslezského kraje a Slezského Vojvodství v roce 2022 (přerušovanou čarou zobrazena hodnota ročního imisního limitu)



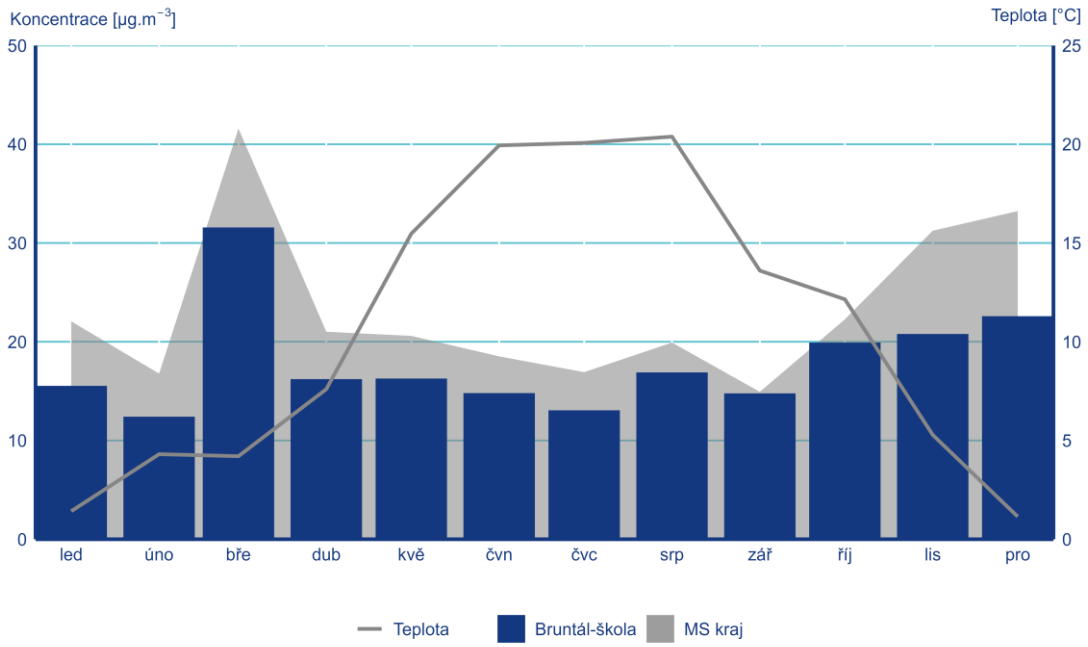
Obr. 10 Průměrná roční koncentrace $PM_{2,5}$ na vybraných stanicích Moravskoslezského kraje a Slezského Vojvodství v roce 2022 (přerušovanou čarou zobrazena hodnota ročního imisního limitu)



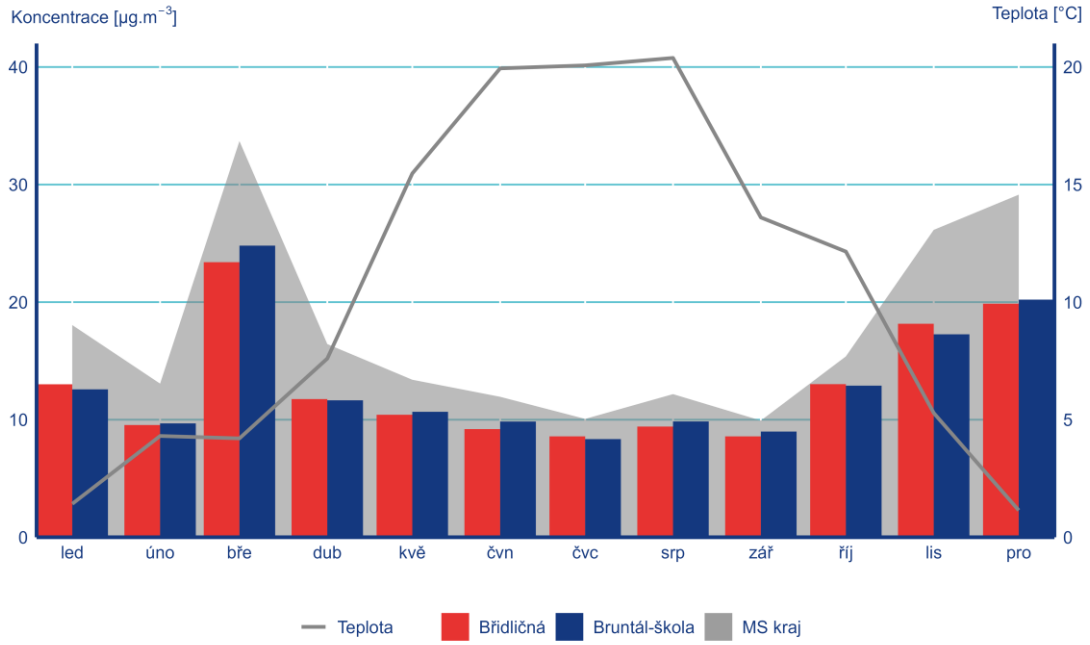
Obr. 11 Rozložení průměrných ročních koncentrací PM_{10} na vybraných stanicích Moravskoslezského kraje a Slezského Vojvodství v roce 2022



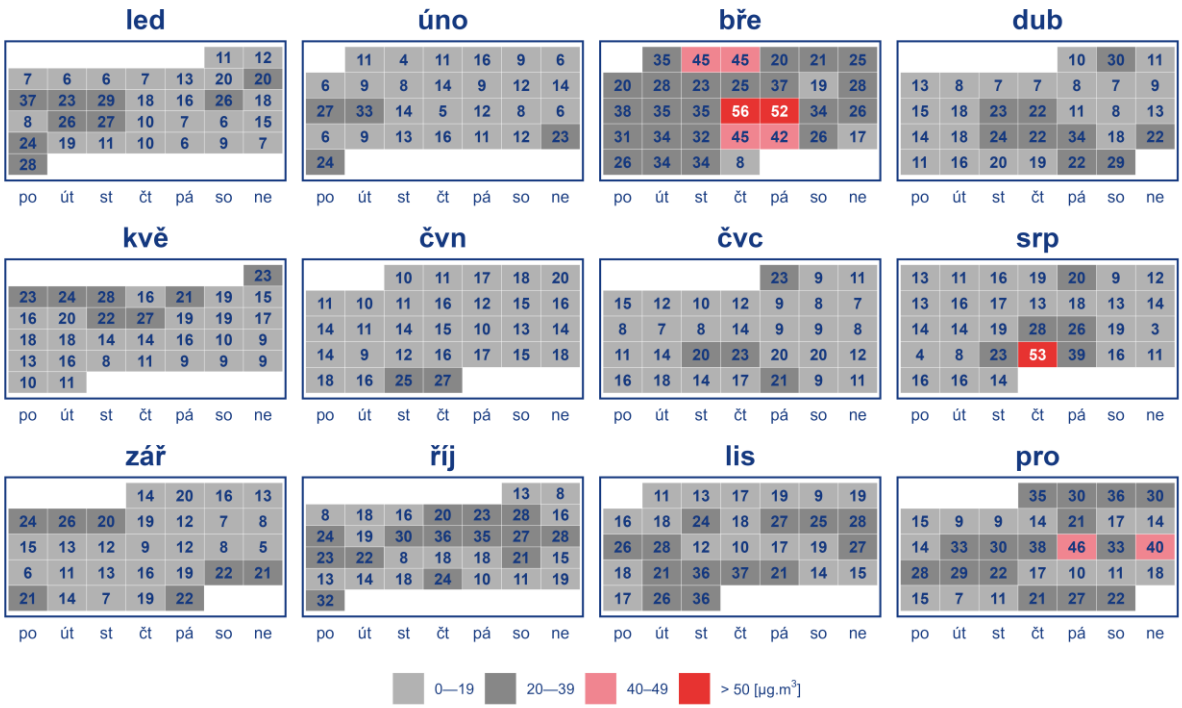
Obr. 12 Rozložení průměrných ročních koncentrací $PM_{2,5}$ na vybraných stanicích Moravskoslezského kraje a Slezského Vojvodství v roce 2022



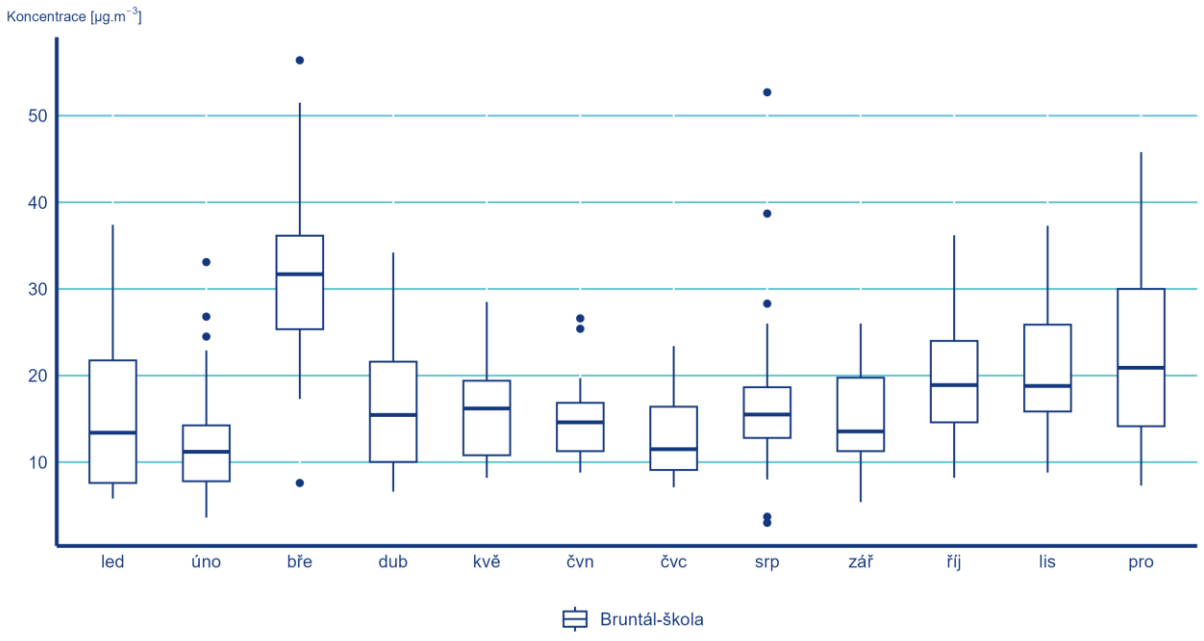
Obr. 13 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací PM_{10} ze SSIM v Moravskoslezském kraji, na stanici Bruntál-škola a průměrné teploty v Moravskoslezském kraji ze SSIM v roce 2022



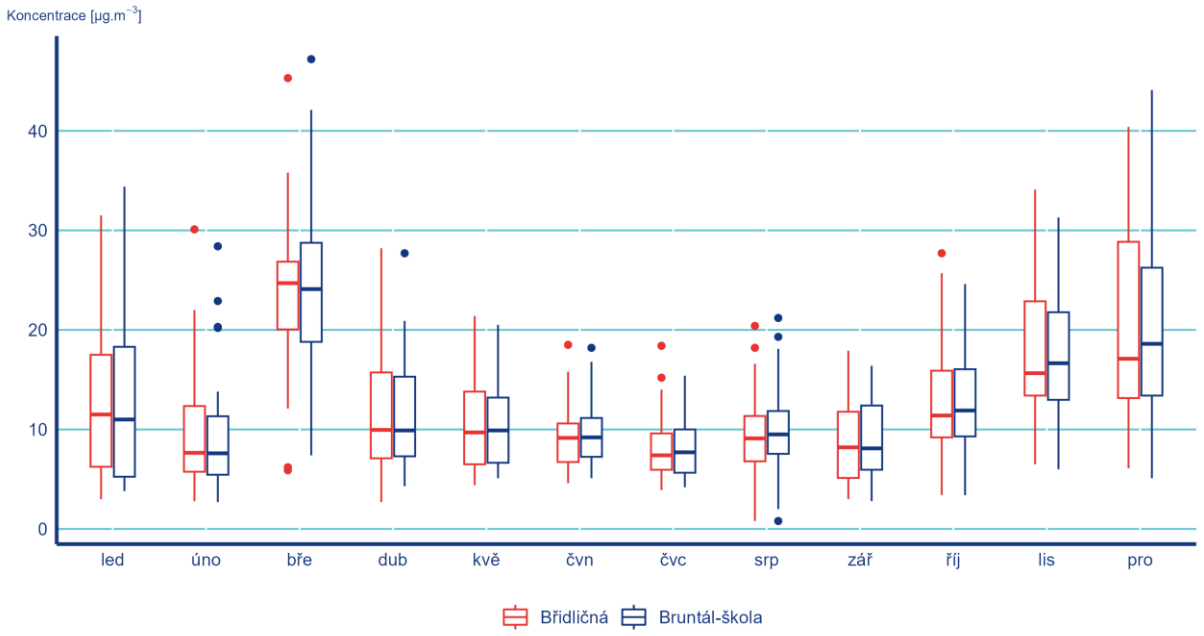
Obr. 14 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací $PM_{2,5}$ ze SSIM v Moravskoslezském kraji, na stanicích Bruntál-škola, Břidličná a průměrné teploty v Moravskoslezském kraji ze SSIM v roce 2022



Obr. 15 Denní průměrné koncentrace PM_{10}, Bruntál-škola, 2022



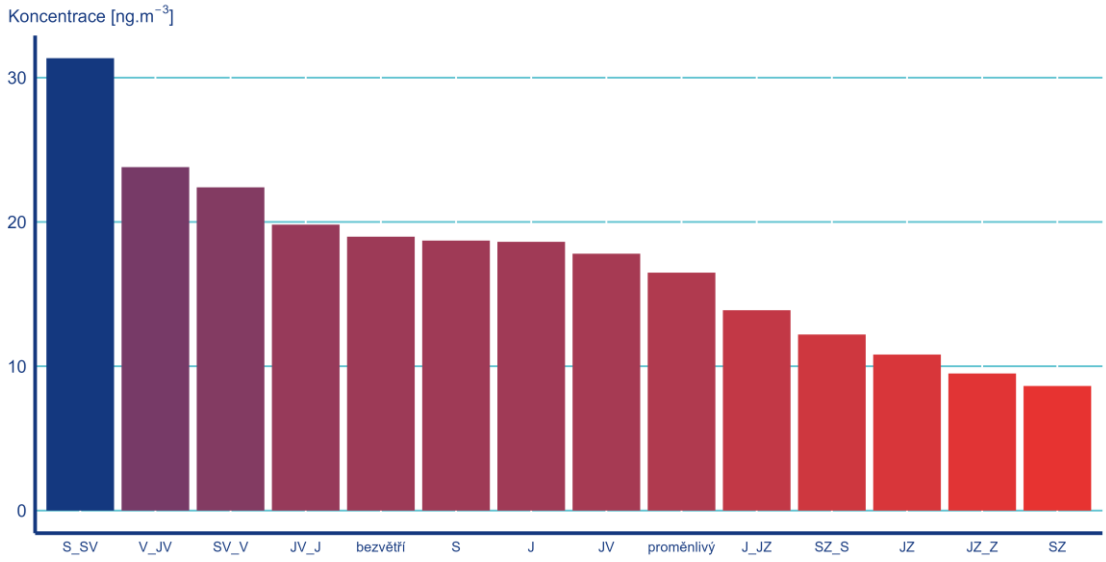
Obr. 16 Statistické charakteristiky a rozložení denních koncentrací PM_{10}, 2022



Obr. 17 Statistické charakteristiky a rozložení denních koncentrací $PM_{2,5}$, 2022

Tab. 4 Koncentrace PM_{10} v závislosti na denním typu proudění na stanicích, Bruntál-škola, 2022

DTP	% wd	prům.konc. PM_{10}	% PM_{10}
bezvětří	1.4	19.0	1.5
S	33.2	18.7	34.6
S_SV	1.7	31.4	3.0
SV_V	0.3	22.4	0.4
V_JV	0.6	23.8	0.8
JV	1.4	17.8	1.4
JV_J	4.0	19.8	4.4
J	33.0	18.6	34.2
J_JZ	4.9	13.9	3.8
JZ	2.6	10.8	1.6
JZ_Z	0.3	9.5	0.2
SZ	1.7	8.6	0.8
SZ_S	1.1	12.2	0.8
proměnlivý	13.8	16.5	12.6



Obr. 18 Průměrné koncentrace PM_{10} v závislosti na DTP, Bruntál-škola, 2022

4.2 Polycyklické aromatické uhlovodíky

Na obou lokalitách bylo v roce 2022 prováděno měření polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH) v suspendovaných částicích $PM_{2,5}$. Na stanici Bruntál-škola v 3denním cyklu (každý 3. den), na stanici Břidličná v 6denním cyklu (každý 6. den).

Roční průměrná koncentrace BaP na stanici Bruntál-škola byla 0,87 $ng.m^{-3}$, na stanici Břidličná 0,89 $ng.m^{-3}$ (Tab. 5). Obě uvedené koncentrace představují obsah BaP v částicích $PM_{2,5}$. Hodnota ročního imisního limitu pro ochranu lidského zdraví 1 $ng.m^{-3}$ je však určena pro celkový obsah benzo[*a*]pyrenu v částicích PM_{10}. Dle zdrojů [11, 12] se BaP ve větší míře váže na jemnější

částice ($PM_{2,5}$). Z tohoto důvodu nepředpokládáme, že by v případě měření koncentrací BaP v částicích PM_{10} (na stejných lokalitách za stejné období) byly hodnoty koncentrací vyšší nebo dokonce přesáhly hodnotu imisního limitu.

Průměrná roční koncentrace benzo[*a*]pyrenu na stanici Bruntál-škola byla třetí nejnižší krajskou hodnotou, v Břidličné dokonce tou nejnižší ze stanic měřicích BaP v Moravskoslezském kraji. Nejvyšší roční koncentrace v roce 2022 na území Moravskoslezského kraje byla naměřena na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ (6,03 $ng.m^{-3}$). 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. 5), s výjimkou stanice Ostravice-golf. Pro doplnění kontextu byly porovnány průměrné roční koncentrace z vybraných stanic na území Moravskoslezského kraje a Slezského a Opolského vojvodství (Obr. 19 a 20).

Na lokalitě Bruntál-škola byla denní hodnota BaP ve 25 % dnů s měřením vyšší než hodnota 1 $ng.m^{-3}$, na stanici Břidličná v 31 % dnů (Obr. 21 a 22). Na stanici Bruntál-škola byly poprvé koncentrace PAH měřeny s dotační podporou Moravskoslezského kraje v roce 2019[4]. Výsledky z roku 2022 potvrdily už dříve publikované informace o souvislostech v této lokalitě, tedy že patří v kontextu kraje k nejméně znečištěným.

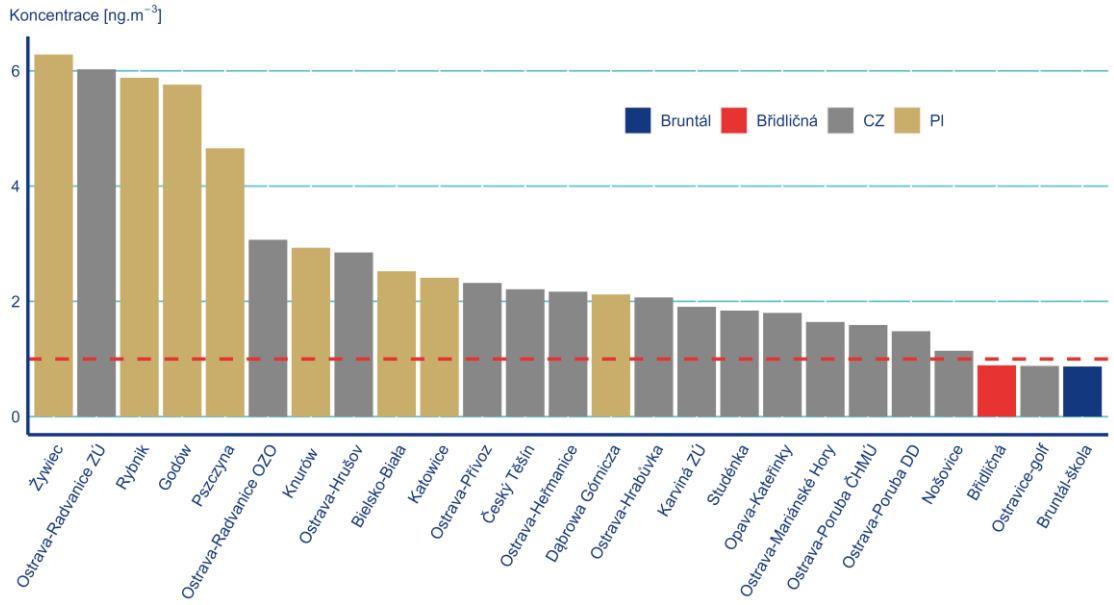
Průměrné koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků za celý rok, chladné a teplé období roku 2022 jsou znázorněny v Tab. 6. U stanovovaných polyaromátů se projevuje výrazný roční chod velkým rozdílem mezi koncentracemi měřenými v teplé a chladné polovině roku (Obr. 22, Tab. 6), pro BaP rovněž na Obr. 21. Na obou stanicích jsou hodnoty koncentrací všech sledovaných PAH velmi podobné. Podíl průměrných koncentrací jednotlivých stanovovaných PAH naměřených v teplém období tvořil v průměrech za chladné období roku zhruba 14 až 29 % na stanici Bruntál-škola a zhruba 18 až 39 %, na stanici Břidličná. Mezi stanicemi nebyly významnější rozdíly v poměrném zastoupení jednotlivých PAH (Obr. 22, Tab. 6).

Tabulka 7 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 (% BaP). Průměrné koncentrace při proudění z jednotlivých sektorů jsou na Obr. 23. Na stanici Bruntál-škola jsou jednoznačně nejvyšší průměrné koncentrace BaP dosahovány při SZ–S proudění, dále pak při bezvětří a při proudění z V–JV směru.

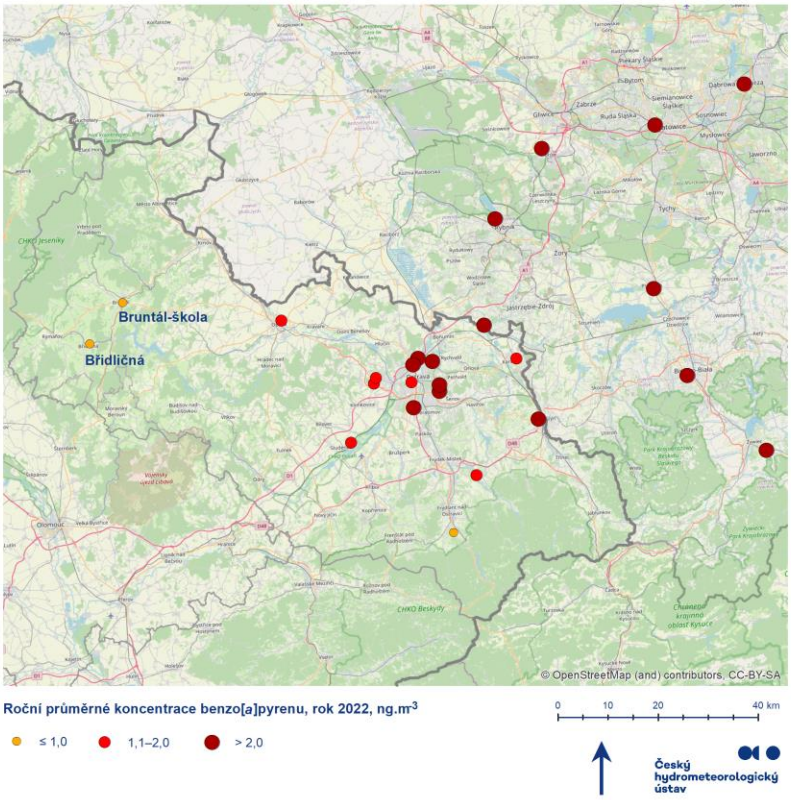
[4] https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/OCO/prehledy/bruntal_krnov/prhl_kraj11.htm

Tab. 5 Porovnání koncentrací benzo[a]pyrenu s hodnotami na vybraných lokalitách stacionárního imisního monitoringu

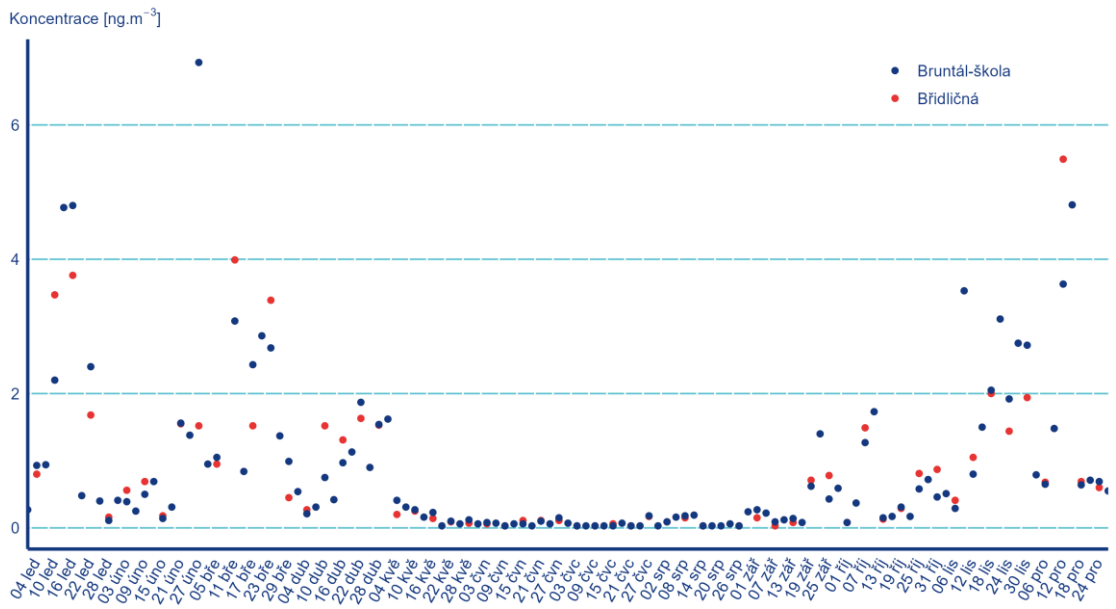
2022	Průměrná roční koncentrace [ng.m^{-3}]
Ostrava-Radvanice ZÚ	6.03
Ostrava-Radvanice OZO	3.07
Ostrava-Hrušov	2.85
Ostrava-Přívoz	2.32
Český Těšín	2.21
Ostrava-Heřmanice	2.17
Ostrava-Hrabůvka	2.07
Karviná ZÚ	1.91
Studénka	1.84
Opava-Kateřinky	1.80
Ostrava-Mariánské Hory	1.64
Ostrava-Poruby ČHMÚ	1.59
Ostrava-Poruba DD	1.48
Nošovice	1.15
Břidličná	**0.89**
Ostravice-golf	0.88
Bruntál-škola	**0.87**



Obr. 19 Průměrná roční koncentrace BaP v roce 2022 v Moravskoslezském kraji a Slezském Vojvodství (přerušovanou čarou zobrazena hodnota ročního imisního limitu)



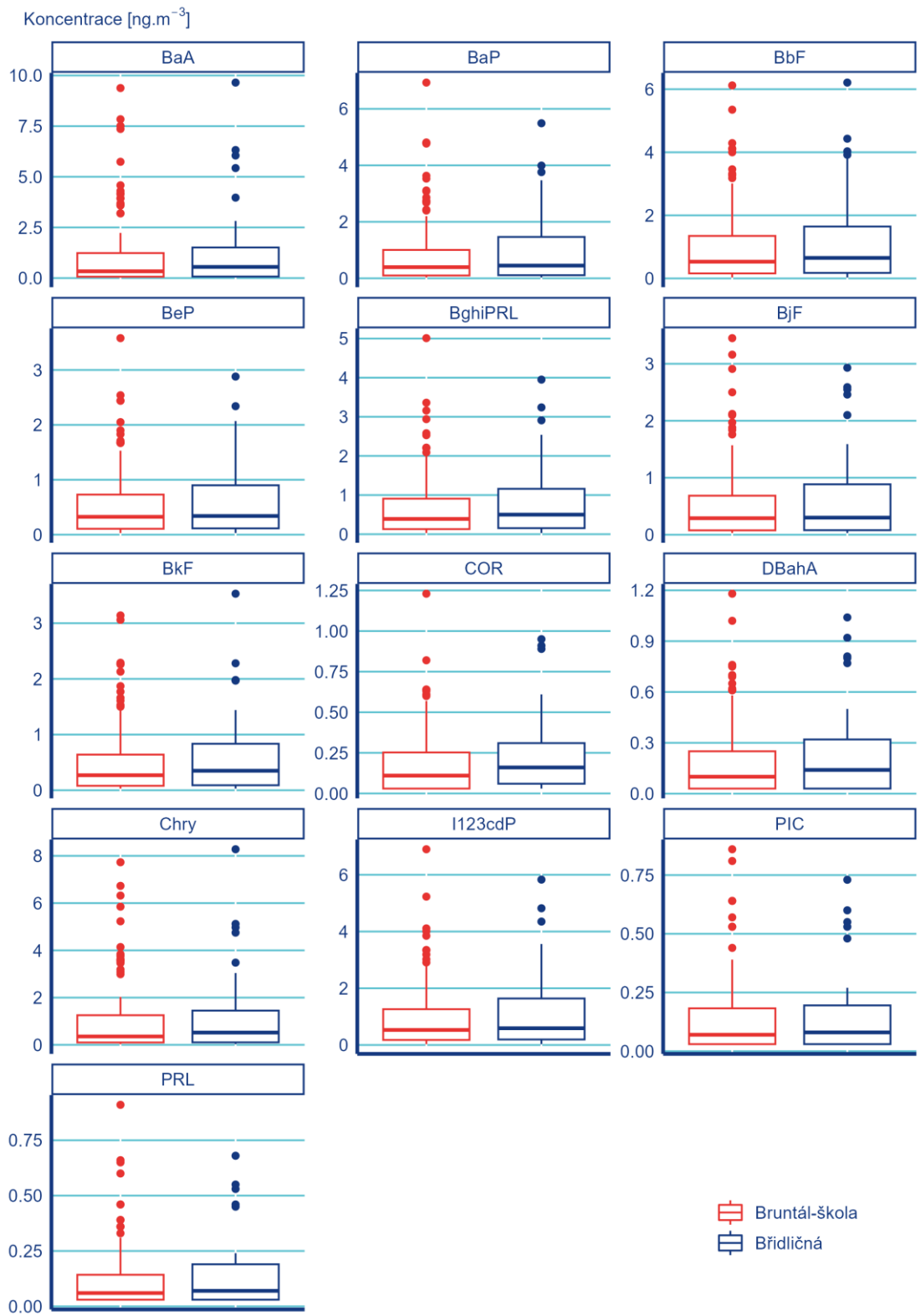
Obr. 20 Rozložení průměrných ročních koncentrací BaP v roce 2022 v Moravskoslezském kraji a Slezském Vojvodství



Obr. 21 Denní koncentrace benzo[a]pyrenu v roce 2022

Tab. 6 Průměrné koncentrace polyaromatických uhlovodíků za celý rok, v chladné (CH) a teplé (TE) sezoně v ng.m^{-3}, 2022

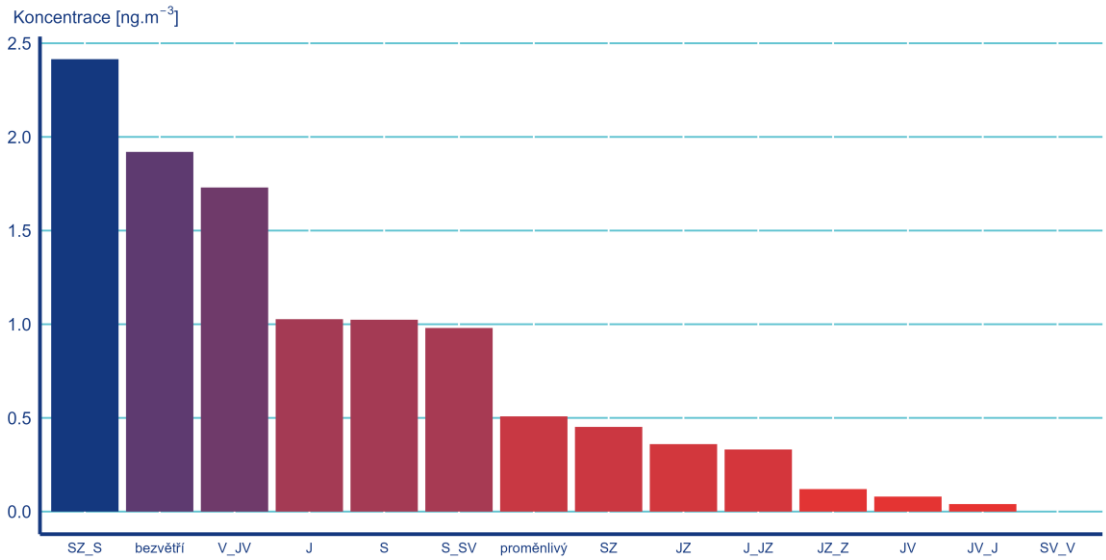
PAH	BaA	Chry	BbF	BjF	BkF	BaP	I123cdP	DBahA	BghiPRL	COR	PIC	BeP	PRL
Bruntál-škola													
Rok	1.1	1.0	1.0	0.6	0.5	0.9	1.0	0.2	0.7	0.2	0.1	0.6	0.1
CH	1.9	1.8	1.6	0.9	0.9	1.4	1.6	0.3	1.1	0.3	0.2	0.9	0.2
TE	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.3	0.4	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1
Břidličná													
Rok	1.2	1.1	1.1	0.6	0.6	0.9	1.1	0.2	0.8	0.2	0.1	0.9	0.1
CH	2.0	1.8	1.8	1.0	0.9	1.4	1.6	0.3	1.2	0.3	0.2	0.9	0.2
TE	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.5	0.1	0.4	0.1	0.1	0.3	0.1



Obr. 22 Statistické charakteristiky a rozložení koncentrací PAH v ng.m^{-3}, 2022

Tab. 7 Koncentrace BaP v závislosti na denním typu proudění na stanici Bruntál-škola, 2022

DTP	% wd	prům.konc. BaP	% BaP
bezvětří	0.9	1.9	1.9
S	38.3	1.0	45.7
S_SV	2.6	1.0	3.0
V_JV	0.9	1.7	1.8
JV	1.7	0.1	0.2
JV_J	2.6	0.0	0.1
J	23.5	1.0	28.1
J_JZ	6.1	0.3	2.4
JZ	1.7	0.4	0.7
JZ_Z	0.9	0.1	0.1
SZ	4.3	0.5	2.3
SZ_S	1.7	2.4	4.9
proměnlivý	14.8	0.5	8.8



Obr. 23 Průměrné koncentrace BaP v závislosti na DTP, Bruntál-škola, 2022

4.3 Těžké kovy

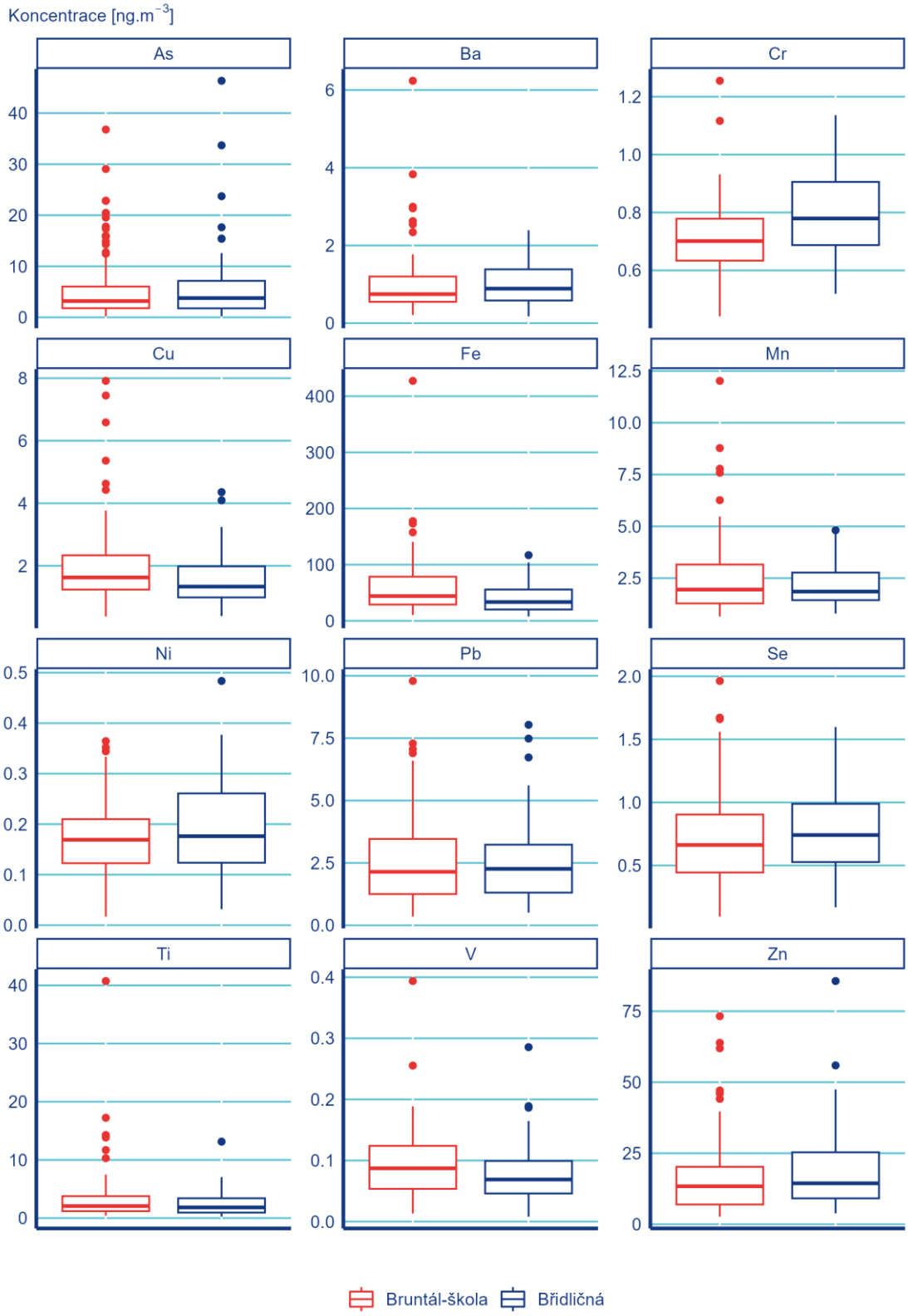
V roce 2022 probíhalo měření obsahu těžkých (toxických) kovů v suspendovaných částicích $PM_{2,5}$ na lokalitě Bruntál-škola každý 3. den a v Břidličné každý 6. den. Roční průměrné koncentrace těžkých kovů ze všech krajských lokalit Státní sítě imisního monitoringu budou k dispozici po uzávěrce této zprávy a budou zveřejněny v ročenkách znečištění ovzduší. Dostupné koncentrace kovů ze stanic Bruntál-škola a Břidličná byly podlimitní (Obr. 24, tab. 8). Diskutabilní je naměřená úroveň znečištění arsenem. Pro stanovení obsahu kovů v suspendovaných částicích $PM_{2,5}$ byla použita experimentální metoda - rentgenová fluorescence (nejedná se tedy o metodu referenční). Její použití

plně vyhovuje pro identifikaci zdrojů znečišťování pomocí matematického receptorového modelu PMF (blíže v kap. 5). Sloužila zejména pro zjištění vzájemných poměrů (vztahů) a časových průběhů koncentrací jednotlivých chemických prvků. Ač může mít tato metoda při stanovení koncentrací některých prvků sníženou přesnost, a není proto vhodná pro porovnávání naměřených hodnot s imisním limitem, naměřené koncentrace arsenu v Bruntálu i Břidličné zřetelně potvrzují relativně zvýšenou úroveň znečištění tímto polutantem oproti obvyklým hodnotám v kraji i ČR (podobně jako ukázalo dotované měření Moravskoslezským krajem v roce 2019 v lokalitě Bruntál-škola). Obdobně lokálně zvýšené koncentrace arsenu byly naměřeny v rámci projektu TAČR TITSMZP704 v roce 2019 také ve venkovské lokalitě Zbečno na Kladensku [10]. Roční průměrná koncentrace arsenu stanovená referenční metodou ICP-MS tam dosáhla 5,6 $ng \cdot m^{-3}$ při průměrné koncentraci $PM_{2,5}$ ve výši 17,3 $\mu g \cdot m^{-3}$, která byla velmi podobná koncentraci naměřené v lokalitě Bruntál-škola v roce 2022. Lokálně zvýšené koncentrace arsenu byly v rámci zmíněného projektu zjištěny také v dalších českých obcích (Příšov, Hřivice). Za dominantní příčinu znečištění arsenem na Kladensku bylo receptorovým modelem označeno vytápění domácností specifickým druhem uhlí. Příčiny znečištění tímto polutantem na Bruntálsku jsou diskutovány v kapitole 5.

Tab. 8 Průměrné koncentrace těžkých kovů za celý rok, v chladné a teplé sezoně v $ng.m^{-3}$, 2022

TK	As*	Ba	Cr*	Cu	Fe	Mn	Ni*	Pb	Se	Ti	V*	Zn
Bruntál-škola												
Rok	5.61	0.99	0.71	1.99	57.55	2.51	0.17	2.55	0.72	3.31	0.09	16.43
CH	8.40	0.83	0.71	2.11	51.07	2.34	0.20	3.20	0.71	2.40	0.10	19.92
TE	2.96	1.15	0.71	1.89	63.72	2.68	0.15	1.92	0.72	4.17	0.09	13.12
Břidličná												
Rok	6.33	0.99	0.80	1.58	39.77	2.16	0.20	2.55	0.77	2.48	0.08	18.65
CH	8.68	0.80	0.86	1.75	34.05	2.06	0.23	3.04	0.78	2.13	0.08	20.68
TE	4.15	1.16	0.74	1.42	45.09	2.24	0.16	2.10	0.75	2.80	0.08	16.77

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

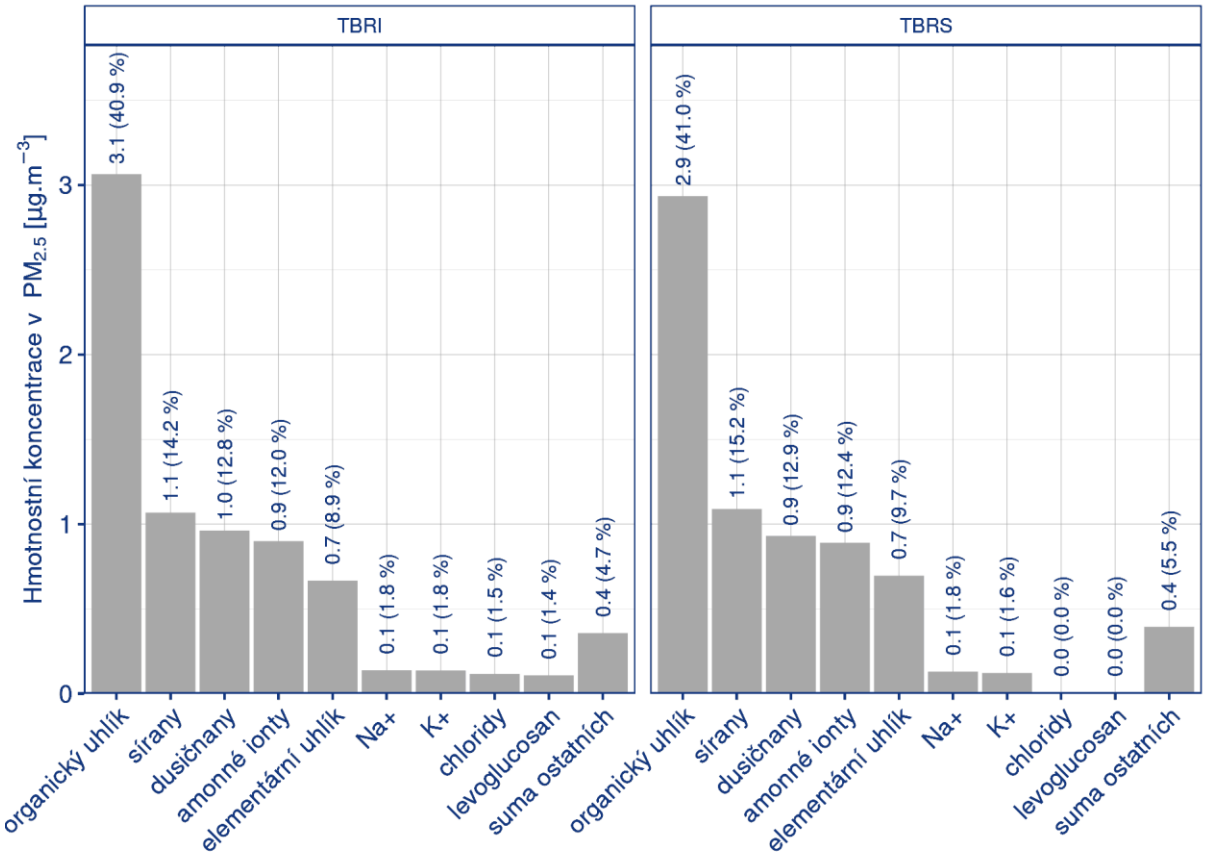


Obr. 24 Statistické charakteristiky a rozložení koncentrací kovů v PM_{10}, 2022

5. Identifikace zdrojů znečišťování ovzduší

Složení aerosolu $PM_{2,5}$

Laboratorními analýzami odebraných vzorků aerosolu $PM_{2,5}$ bylo zjištěno jeho roční průměrné složení, které dokládá Obr. 39.



Obr. 39 Hmotnostní chemické složení aerosolu $PM_{2,5}$

Z hlediska obsahu hlavních složek aerosolu jsou si obě hodnocené lokality velmi podobné. Největší část hmoty částic zachycených na filtrech byla tvořena organickým uhlíkem (cca 40 %). Hlavními složkami byly také sírany a dusičnany, které tvořily v součtu více než čtvrtinu $PM_{2,5}$. Amonné ionty tvořily mírně více než 10 % a na elementární uhlík připadala necelá desetina hmoty $PM_{2,5}$.

Zdroje aerosolu $PM_{2,5}$

Matematickým modelem PMF bylo identifikováno 10 faktorů, které přispívají v uvedených lokalitách ke znečištění suspendovanými částicemi $PM_{2,5}$. Chemické profily těchto faktorů a časový průběh jejich imisního příspěvku jsou obsahem příloh 1 a 2. Interpretace těchto faktorů je obsahem následujícího textu. V případě lokálních typů znečištění byly při interpretaci modelu využity údaje z měření směru a rychlosti větru na lokalitě Bruntál-škola (analýza na základě DTP), v případě zdrojů s regionálním nebo nadregionálním původem byla za tímto účelem provedena hromadná analýza zpětných trajektorií aerosolových částic. Tyto podklady jsou obsahem příloh 3 a 4.

Celková úroveň znečištění $PM_{2,5}$ je na obou lokalitách v kontextu ČR poměrně nízká a jeho příčiny jsou podobné. Celkově menší znečištění vedlo k identifikaci i faktorů s poměrně malým vlivem na celkovou koncentraci $PM_{2,5}$, které by ve znečištěnějším prostředí zanikly ve statistickém šumu, protože by byly překryty významnějšími původci znečištění.

Určujícím faktorem kvality ovzduší z hlediska koncentrace $PM_{2,5}$ byl sekundární aerosol. Podle modelových výsledků tvořilo množství zimního (převážně dusičnan a síran amonný vznikající vlivem vytápění domácností) a celoročního typu (síran amonný a sekundární organický aerosol vlivem průmyslu a dopravy) sekundárního aerosolu na obou lokalitách přibližně polovinu znečištění. Zimní a celoroční typ sekundárního aerosolu byly označeny jako „SA zimní“ a „SA celoroční“. Zatímco převážně průmyslem vyvolaná síranová složka faktoru „SA celoroční“ tvoří celoročně stálý příspěvek, fotochemicky podmíněné částice vázané více na silniční dopravu způsobují celkově vyšší koncentrace tohoto faktoru v letním období. Podíl zimní a celoroční složky v $PM_{2,5}$ byl v ročním průměru v podstatě stejný (okolo čtvrtiny $PM_{2,5}$). Jak ukazují zpětné trajektorie částic (příloha 4), zimní sekundární částice vznikají pravděpodobně převážně z lokálních až regionálních zdrojů v ČR (Bruntálsko, Hornomoravský úval a Moravská brána). Naproti tomu celoročně působící síranový aerosol a fotochemický organický aerosol jsou pravděpodobně významněji transportovány z Ostravska a polského Slezska.

Významnou součástí $PM_{2,5}$ byly také částice emitované při individuálním vytápění domácností pevnými palivy (faktor označený jako „vytápění“). Co se týče primárních částic, vytápění domácností bylo na Bruntálsku nejvýznamnějším zdrojem, podobně jako je to obvyklé jinde v ČR. Na obou lokalitách se podíl tohoto typu znečištění pohyboval okolo 15 %. Jedná se o vliv emisí vznikajících lokálně v okolí jednotek kilometrů od měřicích míst, tedy v Bruntálu, resp. Břidličné. Analýza vztahu mezi imisními příspěvky a směrem větru v lokalitě Bruntál-škola provedená metodou denních typů proudění (příloha 3) ukazuje, že nejvíce zde přispívalo vytápění ke znečištění $PM_{2,5}$ při proudění ze severu až severovýchodu a z jihu, tedy ze dvou nejčetnějších směrů proudění větru v lokalitě. Východní až jihovýchodní směry proudění byly v měřeném roce málo četné (celkem 6 dnů v roce), v průměru byl ale imisní příspěvek vytápění v těchto dnech velmi nízký. Vyhodnocené směry, ze kterých byla do měřicího místa transportována většina znečištění z vytápění, jsou souhlasné s průběhem údolí Černého potoka. Dokládá to vliv zdrojů vytápění umístěných severně i jižně od této měřicí lokality, tedy jak z centrálních a severních částí města, tak i z jeho jižních okrajových částí. Ačkoliv je významná část zástavby Bruntálu je umístěná i západními směry od místa měření, vysoké příspěvky byly zaznamenány pouze z uvedených severních a jižních preferenčních směrů proudění. Ukazuje to na významné hromadění znečištění z vytápění domácností v níže položené údolní části města, a to nejen ve dnech s výrazně nízkou rychlostí větru. Průměrná rychlost větru ve dnech s 10 % nejvyšších imisních příspěvků tohoto faktoru dosahovala 1,25 $m.s^{-1}$, zatímco ve dnech s 10 % nejnižších příspěvků dosahovala 1,37 $m.s^{-1}$, což je poměrně malý rozdíl.

Přibližně stejný průměrný roční podíl (okolo 15 %) s relativně vyššími letními a nižšími zimními hodnotami byl modelem vypočten v případě minerálních částic resuspendovaných (vířených) větrem převážně z polí a zpevněných povrchů (faktor „resuspenze“). Největší vliv měl tento typ znečištění při jihovýchodním až jižním denním typu proudění se zvýšenými rychlostmi větru (průměrná rychlost větru ve dnech s 10 % nejvyšších imisních příspěvků tohoto faktoru dosahovala 1,34 $m.s^{-1}$, zatímco ve dnech s 10 % nejnižších příspěvků dosahovala 1,04 $m.s^{-1}$). Všech 10 % nejvyšších imisních příspěvků bylo zaznamenáno v měsících květen až září. Zdrojem těchto částic mohl být odnos půdních částic z blízkého pole, tomu ale nenasvědčuje absence vysokých příspěvků z východu. S ohledem na zvýšené zastoupení uhlíkatých částic ve faktorovém chemickém profilu, a to zejména teplotní frakce EC3, ve spojení se zvýšeným zastoupením mědi lze za převažující zdroj této části prašnosti označit víření částic ze zpevněných ploch větrem a projíždějícími vozidly, a to především na ulici Květná. Výsledky tak odpovídají dopravní klasifikaci měřicí lokality ve Státní síti imisního monitoringu.

Na rozdíl od jiných oblastí ČR, ve kterých byl Českým hydrometeorologickým ústavem použit model PMF, se Bruntál i Břidličná vyznačovaly významným podílem znečištění, které pravděpodobně pocházelo z průmyslových zdrojů spalujících biomasu (faktor „průmysl B“). Průměrný roční příspěvek těchto zdrojů se zde pohyboval podle modelu okolo 10 %, resp. 15 % $PM_{2,5}$. Může jít o důsledek několika menších zdrojů vázaných především na dřevozpracující průmysl, ale významný příspěvek tohoto znečištění mohl pocházet i z velkých energetických zdrojů

spoluspalujících biomasu. Analýza zpětných trajektorií (viz příloha 4, kde jsou vyznačeny také nejvýznamnější zdroje podle ročního množství spálené biomasy) naznačuje hlavní přenos od Hornomoravského úvalu a Olomouce (potenciálně např. teplárny Veolia Energie ČR, a.s. - Teplárna Olomouc), ale nelze vyloučit také příspěvek relativně bližších zdrojů De-Wood a.s., Pila Dětřichov, HRANEX s.r.o. – Bílčice. Naopak významný vliv vzdálených regionálně významných zdrojů využívajících biomasu (Cement Hranice, akciová společnost a Lenzing Biocel Paskov a.s.) lze na Bruntálsku vyloučit s ohledem na výrazně vyšší imisní příspěvek v Břidličné oproti Bruntálu (při dálkovém transportu od těchto zdrojů by byly příspěvky v obou lokalitách podobné). S ohledem na spotřebu paliva a emisní vydatnost nelze vyloučit přenos částic ze spalování biomasy z Krnova (Veolia Energie ČR, a.s. - Teplárna Krnov), ale podle analýzy zpětných trajektorií pocházely nejvyšší příspěvky z jiných zdrojů. Tomu nasvědčuje i vyšší vliv průmyslového spalování biomasy v Břidličné než v Bruntálu, ze kterého lze usuzovat na přítomnost zdroje jižním až jihozápadním směrem, tzn., směrem k Hornomoravskému úvalu, popř. na vliv blíže neidentifikovaného lokálního zdroje nedaleko Břidličné.

Další identifikované typy zdrojů nabývaly výrazně nižších imisních příspěvků ke koncentraci $PM_{2,5}$, než výše popsané faktory. Šlo o sekundárně vznikající zimní typ aerosolu tvořený hlavně chloridem amonným a uhlíkatými částicemi (faktor „NH_4Cl“). Podíl této části znečištění dosahoval podle modelu okolo 5 % $PM_{2,5}$. Jde pravděpodobně o důsledek reakcí mezi NaCl, HNO_3, HCl a organickými látkami, podmíněných hlavně oxidy dusíku z automobilové dopravy a solnými částicemi. Zmíněné prekurzory mohly pocházet z chemického posypu v urbanizovaném a dopravně zatíženém Hornomoravském úvalu a Moravské bráně a při určitých meteorologických podmínkách také z přímořských oblastí. Ačkoliv v Bruntálu teoreticky nelze vyloučit i lokální původ, s ohledem na to, že se imisní příspěvek tohoto faktoru v Bruntálu a Břidličné zásadně nelišil, je za pravděpodobnější možné považovat regionální nebo dálkový původ tohoto typu aerosolu. Zpětné trajektorie jsou z tohoto hlediska nejednoznačné. Nejistě indikovaly nejvyšší příspěvky při proudění z jihu až východu, což podporuje hypotézu o původu prekurzorů v okolí Olomouce a Moravské bráně, vysoké imisní příspěvky byly ale občas zjištěny i při proudění z jiných směrů.

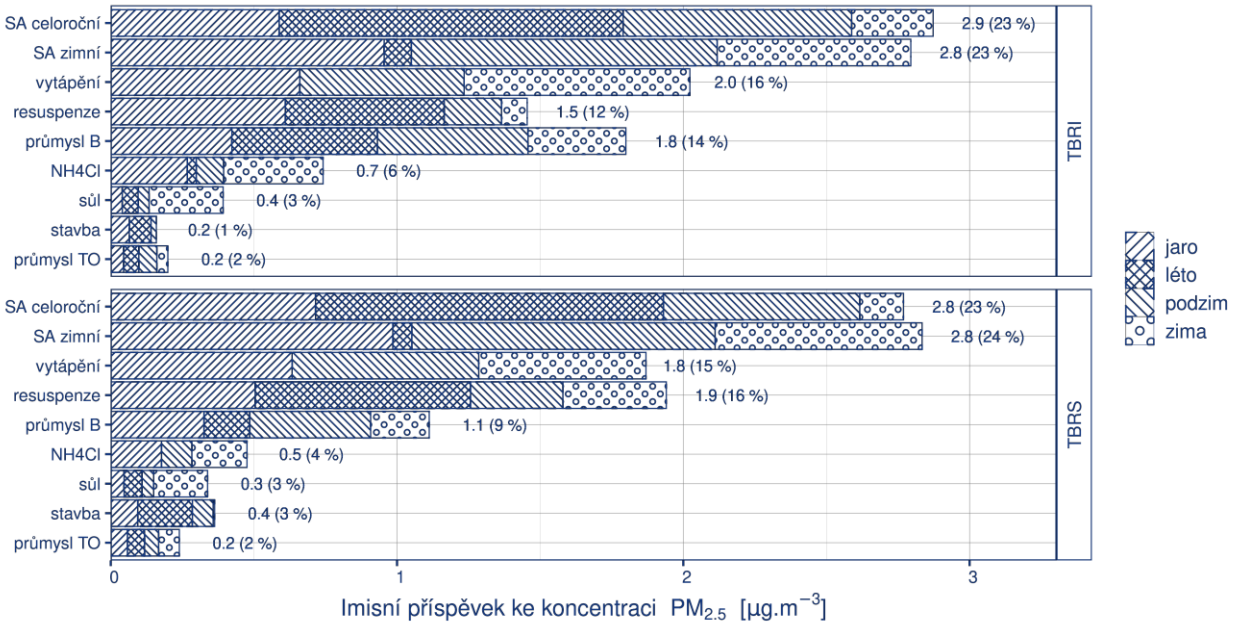
V řádu nižších jednotek procent se na imisní koncentraci $PM_{2,5}$ podílely primární solné částice (faktor „sůl“), které dle analýzy zpětných trajektorií pocházely z přímořských oblastí (jednoznačně převažoval dálkový přenos od severozápadu).

V letních měsících byl modelem identifikován lokální vliv stavebních prací v Bruntálu (faktor „stavba“), které se projevovaly zvýšeným imisním příspěvkem minerálních částic (hlavně Si, Ca, Sr, Ba bez těžkých kovů a uhlíkatých částic). V létě dosahoval podobných koncentrací jako resuspendovaná prašnost a špičkově přispíval v daném období ke koncentraci $PM_{2,5}$ nejvíce ze všech faktorů, ale z hlediska průměrné roční zátěže se jednalo pouze o nižší jednotky procent celkové koncentrace. S ohledem na dominanci křemíku v chemickém profilu tohoto faktoru a jeho mimořádně vysoký poměr k ostatním prvkům zemské kůry, byl pravděpodobným hlavním zdrojem této prašnosti křemičitý písek používaný při rekonstrukci chodníků na ulici Květná. Nevýznamný podíl tohoto znečištění v Břidličné (1 %) vyplývá z modelových interferencí mezi faktory a nemá pravděpodobně reálný základ (jedná se o důsledek statistického šumu u takto nízkých hodnot). Ve skutečnosti byl podíl tohoto faktoru v Břidličné pravděpodobně blízký nule.

Nevýznamným podílem v $PM_{2,5}$ (podle modelu okolo 2 %) se na obou lokalitách projevovaly částice, které byly interpretovány jako dálkový přenos znečištění ze spalování těžkého topného oleje nebo podobných nekvalitních kapalných paliv (faktor „průmysl TO“). Chemická skladba těchto částic se vyznačuje vysokým relativním zastoupením kombinace vanadu a niklu, téměř výhradně vysokoteplotní frakcí elementárního uhlíku (EC4) a v absolutních hodnotách příspěvku také zastoupením sodných a síranových iontů. Jedná se o chemické složení typické pro emise z námořní lodní dopravy. Zvažován byl také možný původ ve spalování těžkého topného oleje v olomoucké teplárně společnosti Veolia Energie ČR, a.s., ale ten byl vyloučen na základě analýzy zpětných trajektorií, která naznačuje původ západními směry od hodnocených lokalit (viz příloha 4).

Vliv přímých emisí částic z automobilové dopravy (emise z výfuků a otěry brzdového obložení, pneumatik a vozovky ve faktoru „doprava primární“) byl v obou lokalitách zanedbatelný a nebylo jej proto možné samostatně kvantifikovat. Je zahrnut ve výše zmíněném faktoru „resuspenze“. Sekundární dopravní emise pak ve faktoru „SA celoroční“, ve kterém však místní doprava zaujímala ve srovnání s jinými zdroji nevýznamný podíl. S ohledem na velmi nízké vypočtené imisní příspěvky přímých emisí částic z lokální dopravy nebylo možné modelově zkonstruovat časový průběh imisního příspěvku tohoto faktoru (viz příloha 2).

Souhrnně jsou vyhodnocené podíly zdrojů graficky znázorněny na Obr. 40.

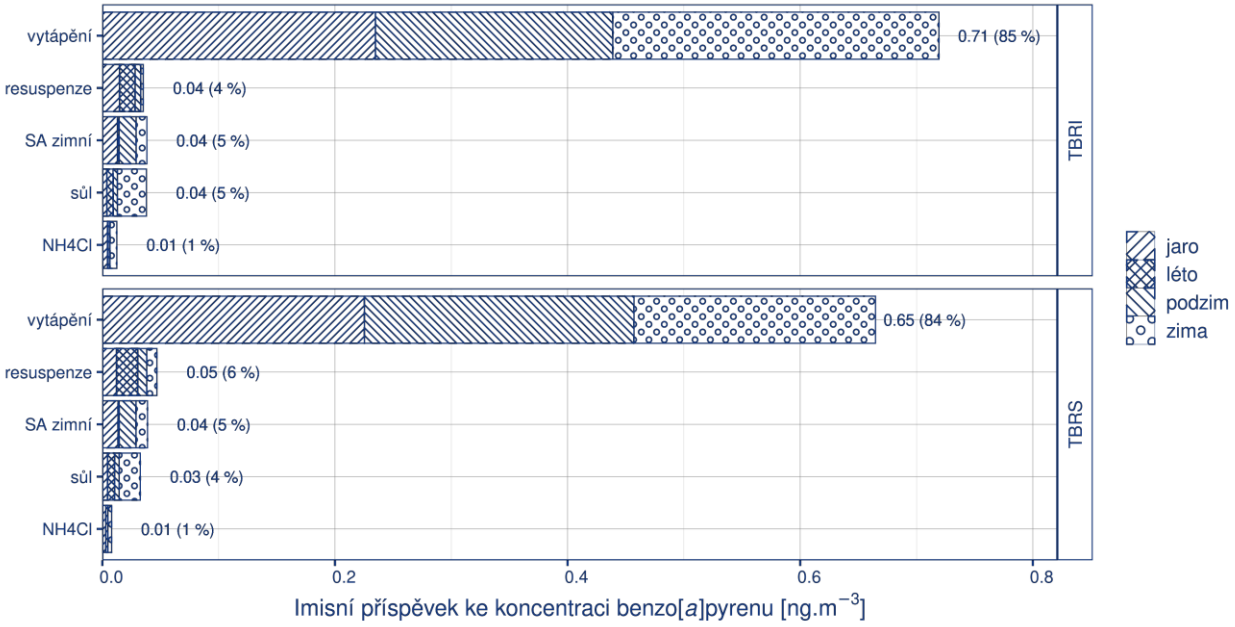


Obr. 40 Podíl zdrojů na průměrné roční koncentraci $PM_{2,5}$

Zdroje benzo[*a*]pyrenu

Příčiny znečištění ovzduší tímto polutantem, který je v ČR nejzávažnějším problémem z hlediska plnění imisních limitů a dopadů na zdraví obyvatelstva, se na Bruntálsku nelišily od jiných částí ČR. Dominantní část znečištění (podle modelu okolo 85 %) zde byla produkována individuálním vytápěním rodinných domů (Obr. 41). Zbývající část znečištění připadala na kombinaci částic resuspendovaných ze zemského povrchu, solné částice a zimní typ sekundárního aerosolu. Vazba na resuspendované částice souvisí pravděpodobně s vířením částic, které byly na povrch zpevněných ploch deponovány atmosférickým spadem (suchou depozicí) ze znečištěného ovzduší, nepřímo se tedy pravděpodobně jedná rovněž o důsledek vytápění domácností. Obsah v solných částicích a zimním sekundárním aerosolu (oběma typům částic model přiřadil shodně řádově jednotky procent celkové koncentrace benzo[*a*]pyrenu) může být projevem kondenzace nebo aglomerace částic při dlouhodobém přenosu znečištění, částečně se může jednat o interference

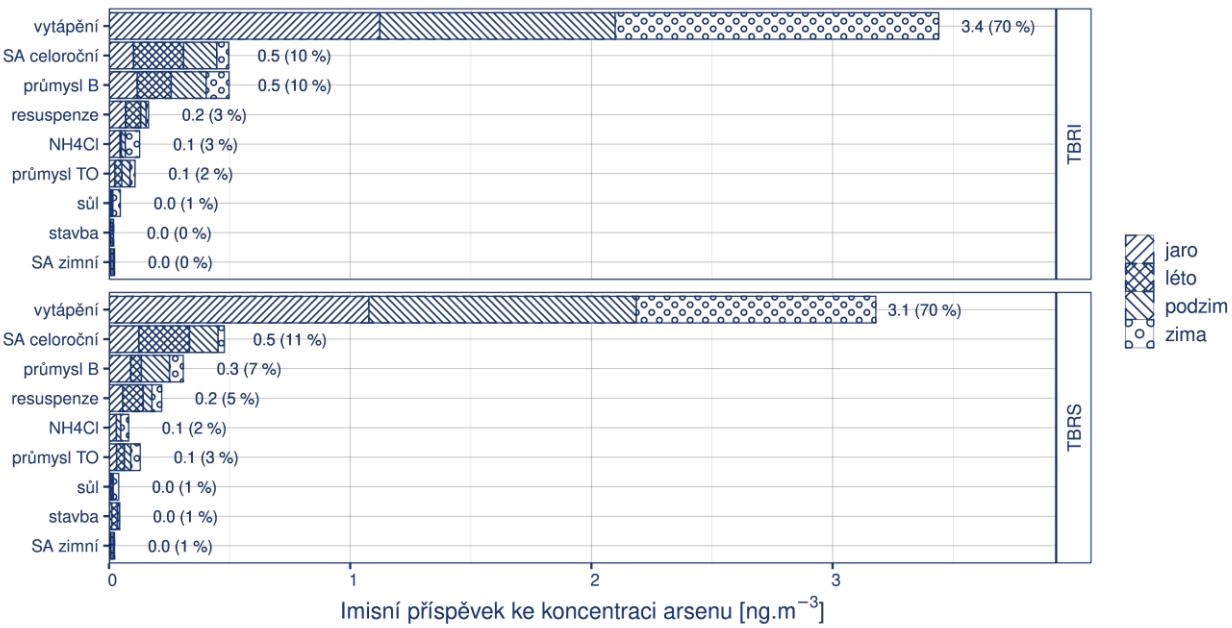
modelových faktorů s ohledem na některé společné rysy jejich chemického složení a časového průběhu.



Obr. 11 Podíl zdrojů na průměrné roční koncentraci benzo[a]pyrenu

Zdroje arsenu

Většina arsenu na Bruntálsku (podle modelu shodně cca 70 % v Bruntálu i Břidličné) pocházela z vytápění domácností (Obr. 42). Přibližně desetinu znečištění ovzduší arsenem v obou lokalitách působil dálkový přenos znečištění z průmyslové energetiky (faktor „SA celoroční“). Maximálně přibližně desetina celkové koncentrace arsenu v ovzduší byla způsobena emisemi z regionálních průmyslových zdrojů spalujících biomasu (faktor „průmysl B“ výše podrobně komentovaný v souvislosti s příčinami znečištění $PM_{2,5}$). Podobně jako v případě benzo[*a*]pyrenu a ze stejných důvodů patřila mezi méně významné příčiny znečištění arsenem resuspenze částic ze zemského povrchu (viz výše) s vypočteným relativním příspěvkem okolo 5 %. Další zdroje arsenu byly na Bruntálsku nevýznamné, s modelovými imisními příspěvky v nižších jednotkách procent celkové průměrné roční imisní koncentrace tohoto polutantu (na úrovni statistického šumu modelu).



Obr. 42 Podíl zdrojů na průměrné roční koncentraci arsenu

S ohledem na použití nereferenční metody ED XRF pro stanovení koncentrace kovů zůstává nevyřešenou otázkou, nakolik se imisní koncentrace arsenu v Bruntálu a Břidličné blíží imisnímu limitu. Je však průkazné, že tyto dvě lokality jsou arsenem silněji kontaminovány než většina Moravskoslezského kraje a ČR. Příčiny lokálně zvýšené zátěže ovzduší arsenem v různých částech ČR jsou podobné. Bruntálsko je dalším případem, který potvrzuje, že k těmto imisním excesům v důsledku spalování uhlí v domácnostech v ČR občasně dochází, a že rozsah tohoto problému je pravděpodobně větší, než vyplývá z měření prostřednictvím sítě stálého imisního monitoringu.

Shrnutí

Výsledky ukazují, že se obě hodnocené lokality vyznačovaly v rámci Moravskoslezského kraje a v kontextu dřívějších let nadprůměrně dobrou kvalitou ovzduší z hlediska suspendovaných částic $PM_{2,5}$ i benzo[*a*]pyrenu, dvou prioritních látek z hlediska plnění imisních limitů. K těmto výsledkům přispěly i nadprůměrně příznivé rozptylové podmínky roku 2022.

Průměrná roční koncentrace PM_{10} na stanici Bruntál-škola byla druhou nejnižší roční hodnotou naměřenou na lokalitách v Moravskoslezském kraji v roce 2022. V Bruntálu nedošlo k překročení tolerovaného počtu 35 dnů v kalendářním roce s nadlimitní denní průměrnou hodnotou PM_{10} 50 $\mu g.m^{-3}$. K překročení limitní průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$ nedošlo ani na jedné z hodnocených lokalit. Průměrné roční koncentrace se na obou stanicích pohybovaly na úrovni 65 % platného imisního limitu. Hodnota ročního imisního limitu pro celkový obsah benzo[a]pyrenu v částicích PM_{10} pro ochranu lidského zdraví 1 $ng.m^{-3}$ nebyla překročena ani na jedné z posuzovaných lokalit (pro účely tohoto hodnocení byly v souladu s publikovanými pracemi koncentrace PAH stanovené v $PM_{2,5}$ porovnávány s limitní koncentrační úrovní definovanou v částicích PM_{10}). Jednalo se tak o jedny z historicky nejlepších výsledků v kraji. Nepotvrdila se modelová hypotéza výskytu lokálního hot-spotu koncentrací PM a PAH v obci Břidličná. Výsledné koncentrace těžkých kovů, stanovené v roce 2022 ve frakci $PM_{2,5}$ experimentální metodou, byly na obou posuzovaných lokalitách s výjimkou arsenu podlimitní vzhledem k limitním koncentračním úrovním stanoveným pro obsah kovů v PM_{10}.

Co se týče hlavních příčin znečištění ovzduší $PM_{2,5}$, převažoval vliv dálkově přenášeného znečištění, pocházejícího z vytápění domácností, průmyslu i silniční dopravy. Celkový podíl těchto převážně sekundárních aerosolů dosahoval přibližně poloviny koncentrace $PM_{2,5}$. Z místních zdrojů v okolí hodnocených lokalit byl v zimě i v ročním průměru nejvýznamnější vliv vytápění domácností pevnými palivy. Podobně jako v jiných částech ČR byla dalším významným zdrojem $PM_{2,5}$ vířená prašnost (resuspenze částic), především ze zpevněných povrchů. Specifickým zdrojem, který v jiných částech ČR zatím nebyl identifikován, bylo na Bruntálsku spalování biomasy v průmyslových zdrojích. Oba posledně jmenované typy zdrojů tvořily samostatně asi desetinu až cca 15 % celkové průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$. Další identifikované zdroje $PM_{2,5}$ byly z hlediska celkové úrovně znečištění a potřeb ochrany ovzduší málo významné.

Příčiny (v roce 2022 těsně podlimitního) znečištění benzo[*a*]pyrenem jsou jednoznačné a zřetelně ukazují na individuální vytápění domácností pevnými palivy (cca 85 % celkové koncentrace), a to jak uhlím, tak i biomasou. V případě arsenu byla v Bruntálu i Břidličné potvrzena v kontextu kraje a ČR zhoršená imisní situace. Arsen i benzo[*a*]pyren působí na zdraví obyvatel bezprahově, tzn., že každé zvýšení jejich koncentrace zvyšuje populační zdravotní riziko. Imisní situace arsenu v hodnocených lokalitách proto vyžaduje urychlenou modernizaci vytápění domácností uhlím, které je dle provedeného hodnocení hlavním zdrojem znečištění ovzduší tímto polutantem (přispívá k celkové průměrné roční imisní koncentraci cca 70 %). Další přibližně pětinu znečištění arsenem způsobují průmyslové zdroje, jiný původ je nevýznamný.

Z provedeného hodnocení vyplývá, že v údolní části Bruntálu dochází k hromadění znečištění z vytápění domácností, zatímco výše položené části jsou dobře provětrávané a tento typ znečištění se zde projevuje výrazně méně. K tomu je vhodné přihlédnout při případné modernizaci vytápění domácností (přednostní zaměření podpory do vybraných částí města). S ohledem na indikované zvýšené koncentrace arsenu je vhodné v Bruntálu rozšířit imisní monitoring tohoto polutantu, aby alespoň v několikaletých intervalech mohla být vyhodnocena jeho průměrná roční koncentrace pro posouzení dlouhodobého trendu.

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/grafroc_CZ.html

[7] 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.

[8] 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

[9] VOLNÁ, V., HLADKÝ, D., 2021. Zpráva o průběhu sanačních prací ropných lagun v Ostravě a identifikaci špiček koncentrací SO_2 v jejich okolí. In: Meteorologické zprávy, roč. 74, č. 3, s. 76–83. ISSN 0026-1173.

[10] SEIBERT, R.; KREJČÍ, B.; VOLNÁ, V.; HLADKÝ, D., 2022, TD 000148, Identifikace zdrojů znečišťování ovzduší - souhrnná zpráva na oblasti 2 (Kladensko).

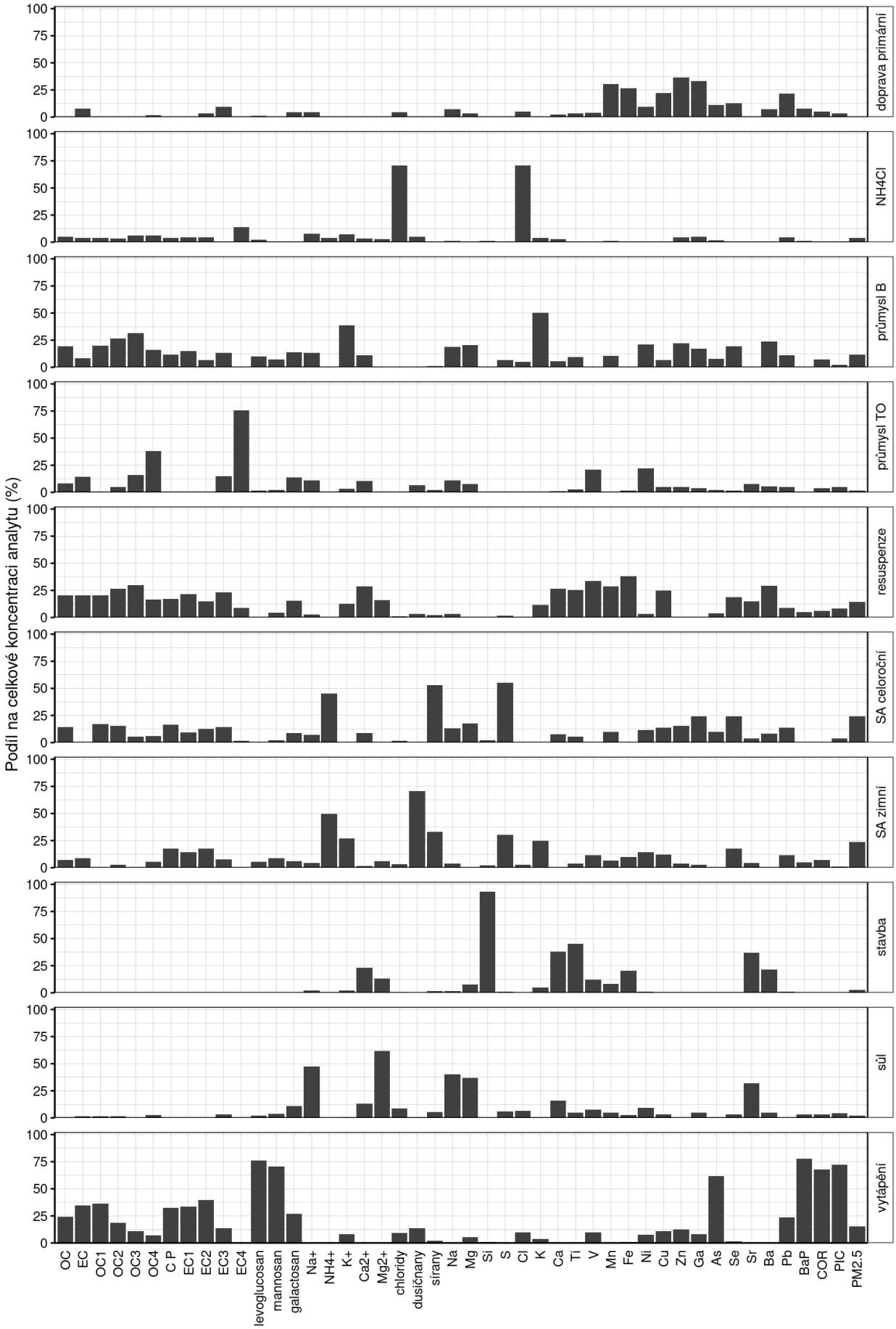
[11] YINGZE, T., BIN, J., PENG, Z., DABLIN, S., FENGXIA, H., YINCHANG, F., 2022. Size distribution, meteorological influence and uncertainty for source-specific risks: PM2.5 and PM10-bound PAHs and heavy metals in a Chinese megacity during 2011–2021, Environmental Pollution, Volume 312, 2022, 120004, ISSN 0269-7491, https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120004.

[12] 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 24 March 2023).

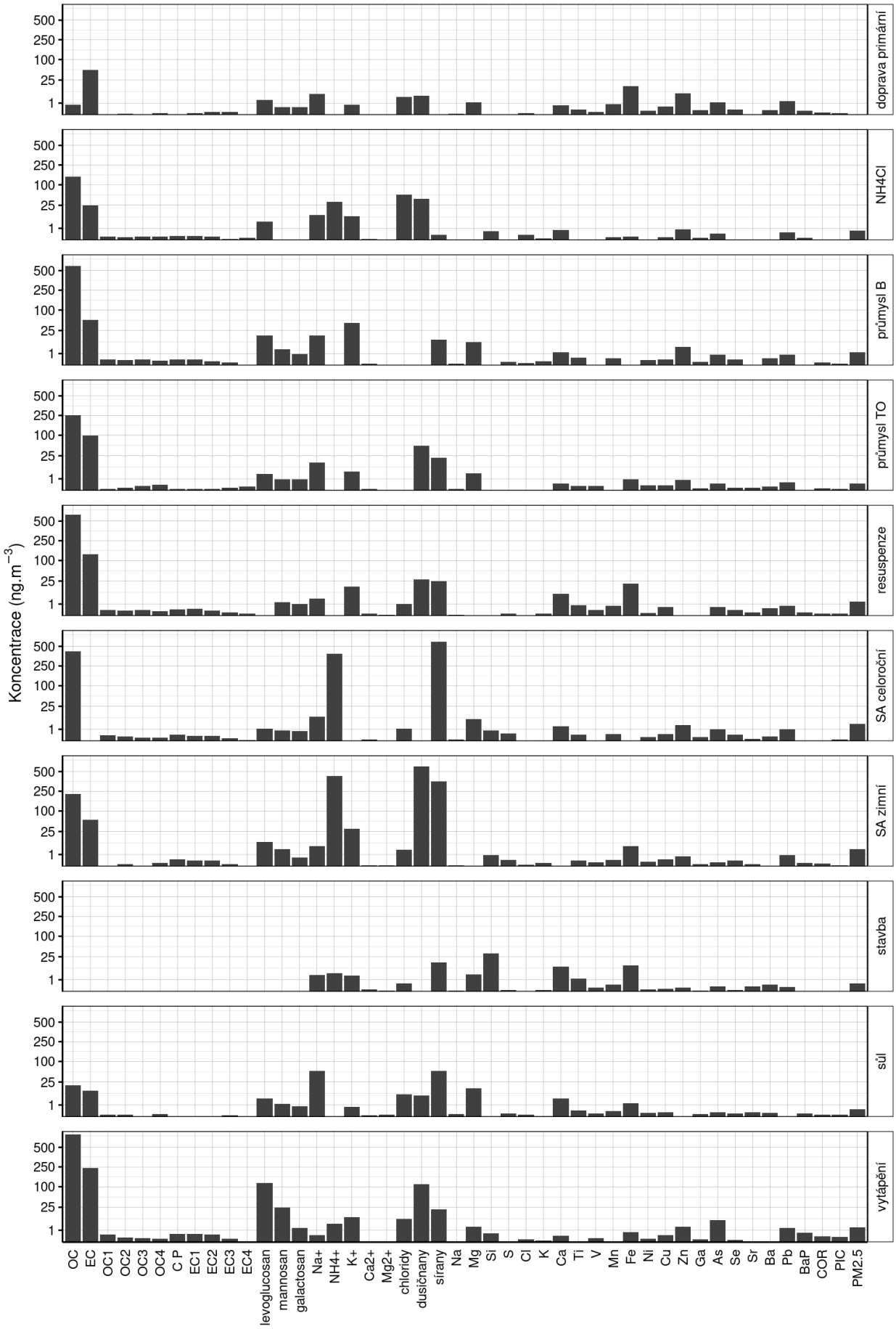
Vysvětlivky (použité zkratky)

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
UTC	světový čas (SEČ – 1hod)
WHO	Světová zdravotnická organizace
ZÚ	Zdravotní ústav

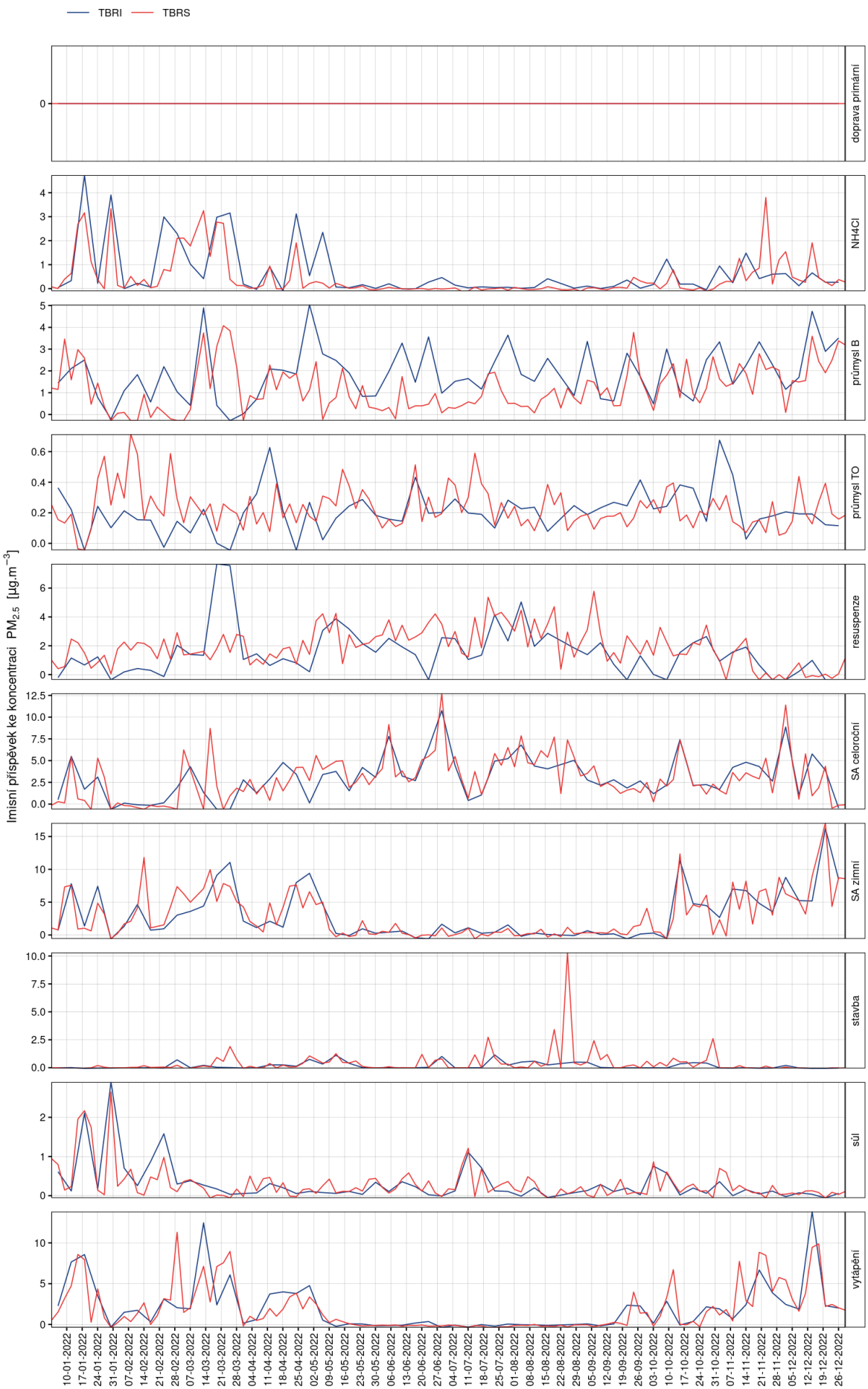
Příloha 1A: Chemické profily identifikovaných faktorů (relativní koncentrace)



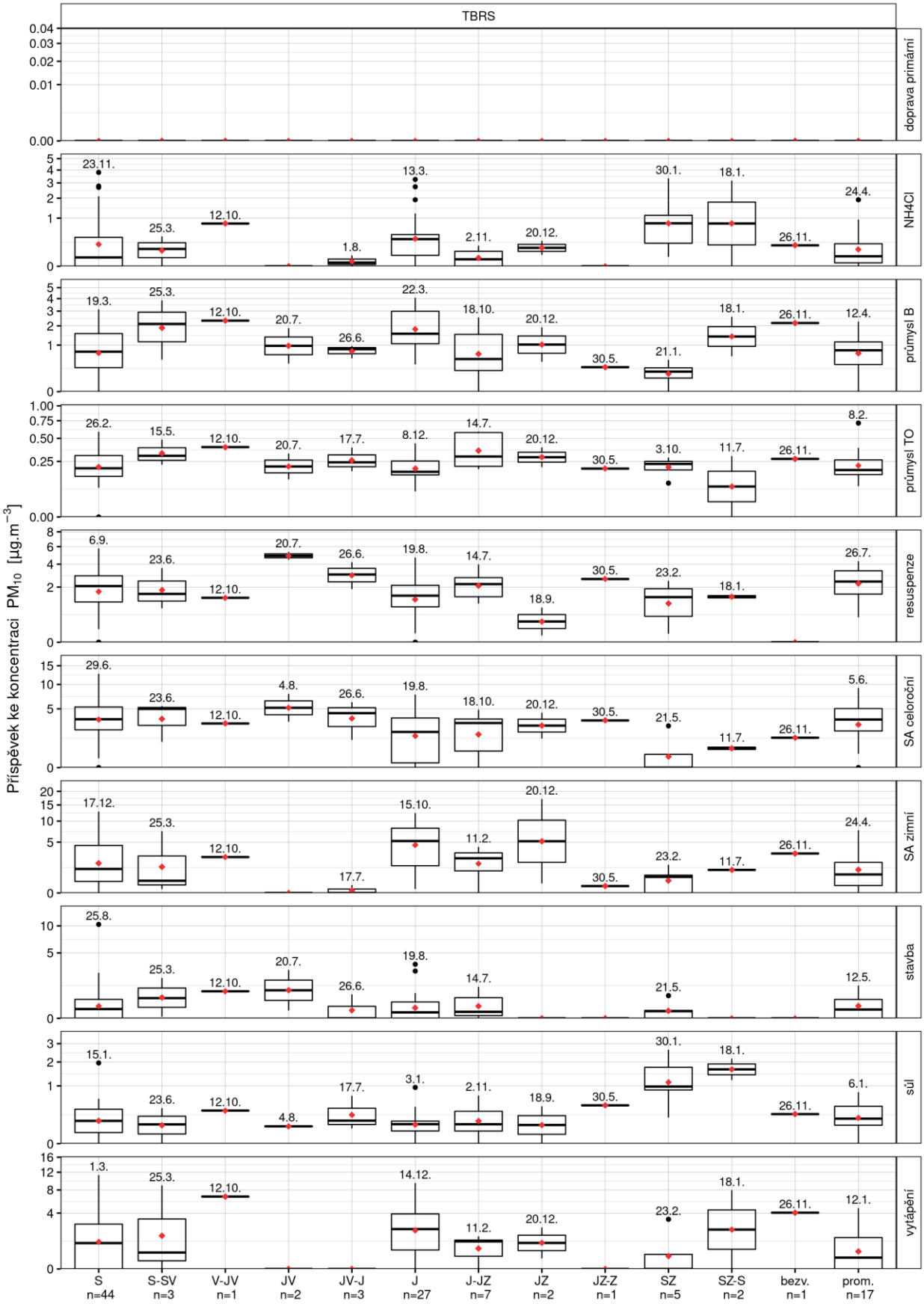
Příloha 1B: Chemické profily identifikovaných faktorů (absolutní koncentrace)



Příloha 2: Časové řady identifikovaných faktorů

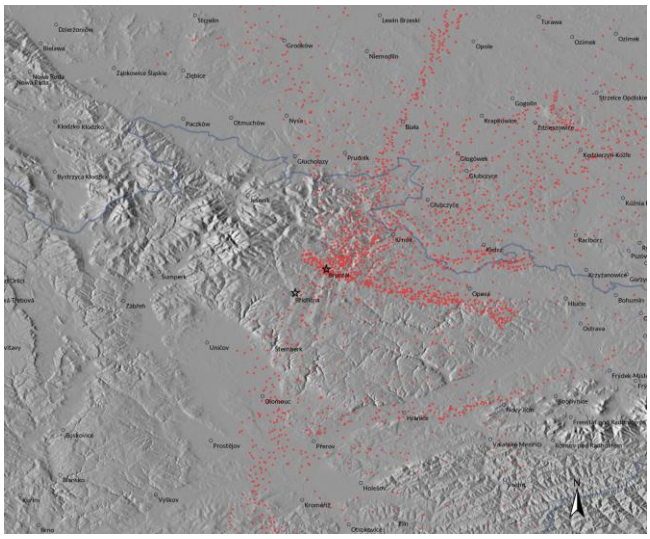


Příloha 3: Faktorové imisní příspěvky vzhledem k DTP

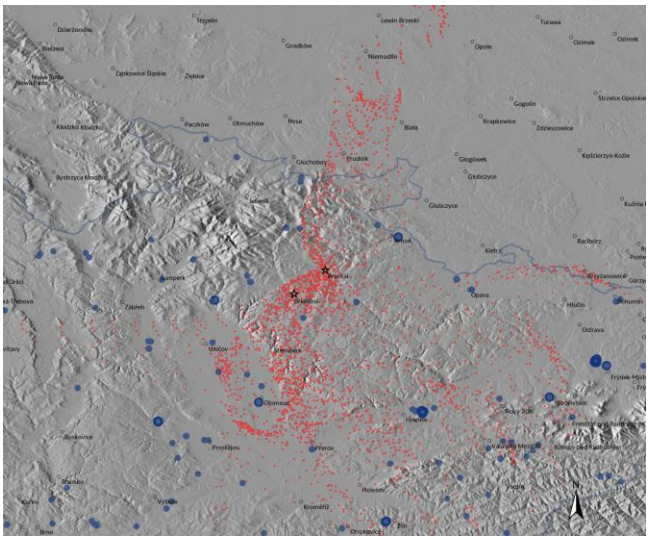


Příloha 4: Vybrané zpětné trajektorie pro 95. percentil faktorových imisních příspěvků

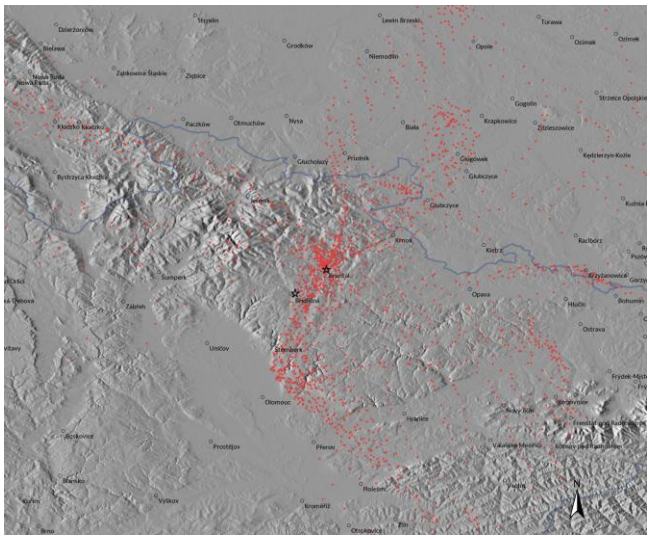
SA celoroční



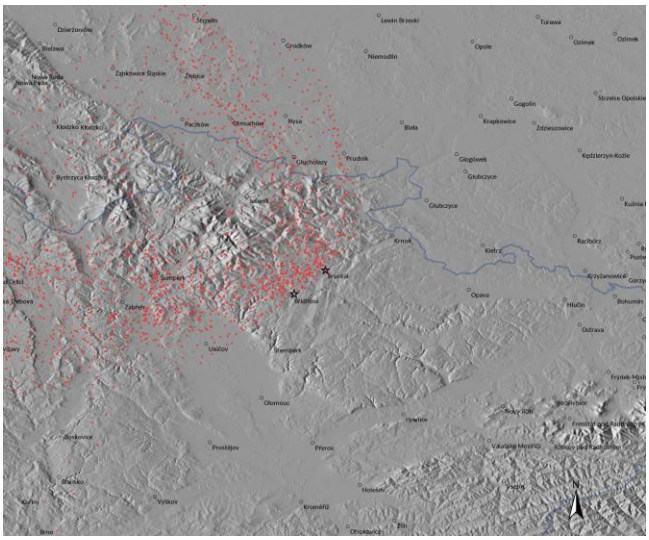
Průmysl B



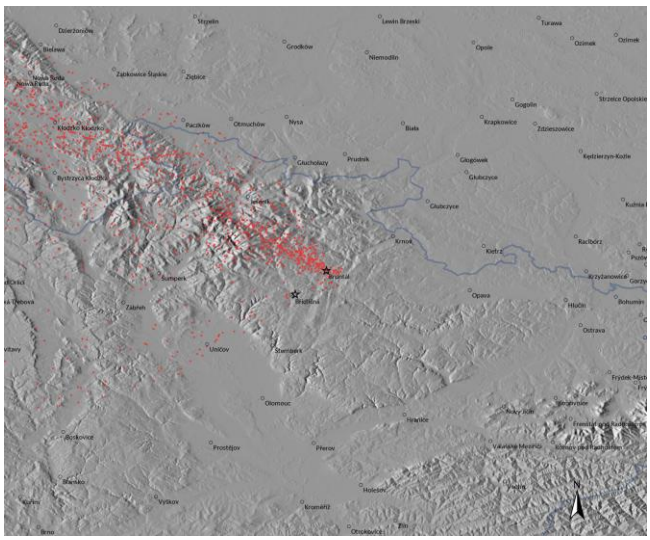
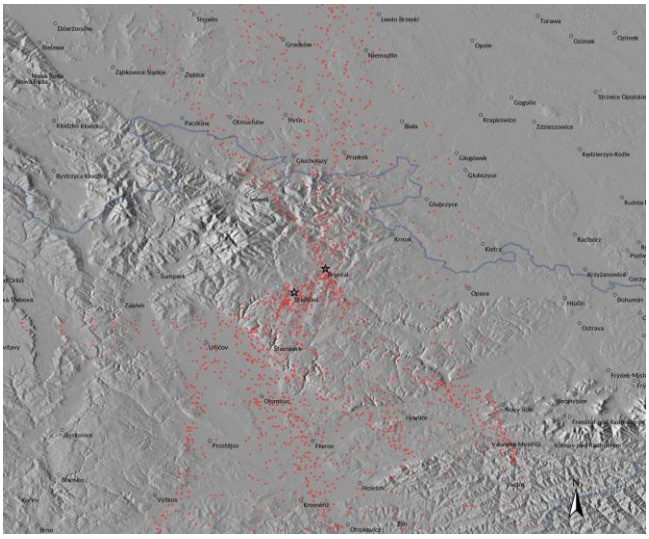
SA zimní



Průmysl TO



Sůl



NH_4Cl