



STÁTNÍ FOND
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
ČESKÉ REPUBLIKY

Společně pro zelenou Evropu
Podpořeno Norskem prostřednictvím
Norských fondů.

MĚŘENÍ KVALITY OVZDUŠÍ VE VYBRANÝCH LOKALITÁCH KRAJE VYSOČINA ZAMĚŘENÉ NA VLIV LOKÁLNÍCH TOPENIŠŤ VII/2023 – IV/2024



Program:

Imisní monitoring lokálních topenišť

Výzva:

Svalbard - Monitoring a identifikace místního znečištění ovzduší zapříčiněného lokálními topeništi, SGS-2 - 3.2.4.2.

Projekt:

Měření kvality ovzduší ve vybraných lokalitách Kraje Vysočina zaměřené na vliv lokálních topenišť

Číslo projektu: 3212400005

Nositel a realizátor projektu:



Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě
Partyzánské náměstí 2633/7
Moravská Ostrava, 702 00 Ostrava
IČ: 71009396

Partner a realizátor projektu:



ENVitech Bohemia s.r.o.

Ovocná 1021/34, 161 00 Praha 6

IČ: 47119209

OBSAH

1	ÚVOD	4
1.1	ANOTACE PROJEKTU	4
1.2	ČASOVÝ HARMONOGRAM	4
1.3	METODIKA MĚŘENÍ, POPIS MĚŘICÍ TECHNIKY	4
1.4	LOKALITY MĚŘENÍ	9
1.4.1	LEDEČ NAD SÁZAVOU	10
1.4.2	OTÍN	11
1.4.3	ŽIROVNICE	12
1.4.4	JAROMĚŘICE NAD ROKYTNOU	13
1.4.5	FRYŠAVA POD ŽÁKOVOU HOROU	14
1.5	IMISNÍ LIMITY	15
1.6	DATA A JEJICH ZPRACOVÁNÍ	15
1.7	ROK 2023 V ČR Z HLEDISKA METEOROLOGIE A KVALITY OVZDUŠÍ	16
2	METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY BĚHEM MĚŘENÍ	17
2.1	TEPLOTA VZDUCHU	17
2.2	RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU	20
2.3	ATMOSFÉRICKÝ TLAK	22
3	VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ	24
3.1	SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₁₀ A PM_{2,5}	24
3.1.1	PRŮMĚRNÉ KONCENTRACE ZA CELÉ OBDOBÍ	26
3.1.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE	30
3.1.3	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE PM	32
3.1.4	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – DENNÍ CHOD	40
3.1.5	SROVNÁNÍ S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍTĚ IMISNÍHO MONITORINGU	42
3.2	POLYCYKlické AROMATICKÉ UHLOVODÍKY, BENZO[A]PYREN	48
4	ZÁVĚRY	56
5	CITOVANÁ LITERATURA	57

1 ÚVOD

1.1 ANOTACE PROJEKTU

Hlavním cílem předkládaného projektu bylo proměření vlivu lokálních topenišť na znečištění ovzduší v obcích, které byly z dlouhodobých měření vybrány jako nejproblematictější a jejich srovnání s pozadovými oblastmi v rámci Kraje Vysočina. Měření proběhlo na vybraných 5 lokalitách v Kraji Vysočina, kde byly měřeny koncentrace aerosolových částic frakcí PM₁₀ a PM_{2,5} a probíhaly pravidelné odběry aerosolových částic pro následné laboratorní stanovení koncentrací PAU definovaných evropskou legislativou v čele s benzo(a)pyrenem, a to do 31.3. 2024.

1.2 ČASOVÝ HARMONOGRAM

	Q2/2023	Q3/2023	Q4/2023	Q1/2024	Q2/2024
veřejná zakázka – analýza PAU					
výběr lokalit a přístrojové techniky					
Odběrové a měřicí kampaně, včetně laboratorních analýz					
vyhodnocení naměřených dat					
příprava závěrečné zprávy					
komunikační aktivity					

1.3 METODIKA MĚŘENÍ, POPIS MĚŘICÍ TECHNIKY

Stanovení koncentrací benzo[a]pyrenu bylo realizováno v souladu s postupy pro odběr vzorků a provádění analýz stanovenými v části A přílohy č. 6 k vyhlášce MŽP č. 330/2012 Sb. o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích, tzn. v souladu s normou ČSN EN 15549, která uvádí postup stanovení benzo[a]pyrenu neseného aerosolovými částicemi ve venkovním ovzduší a je referenční metodou pro stanovení koncentrací benzo[a]pyrenu.

Metodika pro odběr a stanovení PAU v lokalitě Fryšava pod Žakovou horou

Odběrové zařízení

Pro odběr PAU je použitý vzorkovač středně objemový sampler Baghirra SAM 50 (LIMS č.: 101190).

Princip měření

Prosávání vzdušiny řízeným průtokem přes filtr ze skleněných vláken, který je následně podroben analýze v laboratoři.

Podstata

Volné ovzduší je odběrovým zařízením nuceno procházet přes filtr. Provozní průtok je zařízením automaticky udržován na hodnotě 38,3 l/ min. Na filtru se kvantitativně zachytí veškerý prach a

výše–molekulové plynné složky. Koncentrace celkové prašnosti se určuje gravimetricky z rozdílu hmotnosti filtru před a po expozici vzhledem k prosátému množství vzduchu. Délky odběru jsou 24hodinové (intervaly odběru jsou stanovené dle odběrového kalendáře. V topné sezóně odběr co 6 den a v netopné sezóně každý 12 den). Odběr je prováděn dle SOP VZ OV 109 a metoda analýzy je HPLC/FLU.

Metodika měření

Kvalita ovzduší na zvoleném měřicím místě je sledovaná kontinuálně.

Podle § 5, odst. (6) zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší Ministerstvo životního prostředí stanoví Vyhláškou č. 330/2012 Sb., podmínky a způsob posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, cíle v oblasti kvality údajů, postup hodnocení zón a aglomerací, umístění bodů vzorkování pro stacionární měření, minimální počty bodů vzorkování pro stacionární měření a referenční metody pro posuzování úrovně znečištění.

Použité metody jsou akreditované národním akreditačním orgánem ČIA o.p.s. Praha (č. osvědčení 556/2023) v systému jakosti dle ČSN EN ISO/IEC 17 025:2018, metody a postupy jsou popsány standardními operačními postupy (SOP), které vycházejí z platných normativů, předpisů a EPA metod. Metody jsou exaktně validovány a průběžně ověřovány mezilaboratorními porovnávacími zkouškami. Oddělení ovzduší je pro provádění měření úrovně znečištění autorizováno MŽP již od roku 2003, největší platné autorizační osvědčení je ze dne 4.6.2013.

Odběr PAU - ostatní lokality:

Odběry vzorků aerosolových částic thorakální frakce PM₁₀ byl realizovány dle ČSN EN 12341 s využitím středně objemových vzorkovačů Leckel MVS6 a SEQ 47/50 (výrobce obou zařízení Sven Leckel Ingenierbüro, Německo, viz obr. 1). Částice byly zachytávány na filtr o průměru 47 mm z křemenných vláken (Merck Milipore, Německo) po dobu 24 hodin, které byly předem vyžehány při 400 °C z důvodu odstranění organických látek, které by mohly zkreslovat výsledky analýz. Před vlastní expozicí na lokalitě a po ukončení expozice byly filtry zváženy na mikrováhách MX5 (Mettler – Toledo GmbH, Švýcarsko) za účelem stanovení koncentrací aerosolových částic. Po gravimetrické analýze byly filtry se vzorky přeloženy exponovanou stranou k sobě, zabaleny do Al-fólie, poté vloženy do polyethylenového sáčku se zipovým uzávěrem a uchovávány v mrazničce při teplotě -18°C.



Obr. 1 - Odběrová zařízení Sven Leckel MVS6 a SEQ47/50

PAU zachycené na filtru vč. benzo[a]pyrenu byly naspikovány 10 μ l roztokem D-PAH MIX 9 obsahujícím deuterované PAU - naftalen-d8, acenaftalen-d8, acenaften-d10, fluoren-d10, fenanthren-d10, anthracen-d10, fluoranthren-d10, pyren-d10, benz[a]anthracen-d12, chrysen-d12, benzo[b]fluoranthren-d12, benzo[k]fluoranthren-d12, benzo[a]pyren-d12, dibenz[a,h]anthracen-d14, indeno[1,2,3-cd]pyren-d12, benzo(ghi)perylene-d12 (vnitřní standard) a extrahovány dichlormethanem (DCM) o čistotě pro reziduální analýzu (Chromservis, Česká republika) v kapalinovém extraktoru SER 158/3 (VELP Scientifica Srl, Itálie, viz obr. 2). Extrakce probíhala organickým extrakčním činidlem metodou podle Randalla, která používá horké rozpouštědlo v uzavřeném systému, čímž výrazně redukuje dobu extrakce, která je až 5krát rychlejší než tradiční Soxhletova extrakce. Pracuje v souladu s mezinárodními standardy jako AOAC, ISO, EPA, APHA, UNI. Získaný extrakt byl zahuštěn stripováním dusíkem kvality N5 (SIAD S.p.A., Itálie) při teplotě 40 °C a tlaku proudu dusíku 10-20 psi na objem 1 ml v zařízení TurboVap II (Zymark, USA, viz obr. 2). Zahuštěný extrakt byl převeden na zhruba 2 g suchého předčištěného silikagelu 60/80 (Merck, Německo), který byl žihán tři dny při 400 °C a před použitím sušen 3 hodiny při 160°C.



Obr. 2 - 2 Kapalinový extraktor SER 158/3 (vlevo), automatický systém pro odpařování rozpouštědel TurboVap II

Do skleněné chromatografické kolony s vnitřním průměrem 1 cm byl vsypán čistý silikagel upravený výše popsaným postupem do výšky 10 cm, zalit 10 ml n-hexanu pro organickou stopovou analýzu (Chromservis, Česká republika) a hladina n-hexanu upravena odpuštěním na výšku 0.5 cm nad úroveň silikagelu. Následně byl silikagel se vzorkem obsahujícím PAU převeden do připravené kolony. Kolona byla poté eluována 10 ml n-hexanu s cílem odstranění nepolárních interferujících alkanů. Posléze byla kolona čtyřikrát eluována 5 ml dichlormethanu do nádoby TurboVapu, přičemž prvních 15 kapek bude odstraněno. Následoval přídavek 0.5 ml toluenu a za stejných podmínek jako po extrakci filtru bude roztok zahuštěn stripováním dusíkem na objem 0.5 ml. V závěrečné fázi byl roztok doplněn toluenem na 1 ml, převeden do hnědé vialky o objemu 2 ml a naspikován 10 μ l p-terfenylu jako surogate pro kontrolu podmínek stanovení PAU. Takto připravené vzorky byly uloženy do chladničky, udržovány při teplotě pod 10°C za nepřístupu světla do doby stanovení PAU.

Koncentrace PAU byly stanoveny plynovou chromatografií (GC) v kombinaci s hmotnostní spektrometrií (MS) s využitím zařízení GC MS Triple Quadrupole GC/QQQ 7000C (Agilent technologies, USA, viz obr. 3). K rozdělení PAU v závislosti na jejich afinitě k zakotvené fázi slouží GC křemenná kapilární kolona DB-EUPAH s vnitřním průměrem 0,25 mm, u níž je deklarováno podrobnější rozdělení PAU, než u stávajících běžně užívaných kolon. Zakotvená fáze o tloušťce vrstvy 0,25 μ m je patentována firmou J&W. Jako nosného plynu bylo použito helium kvality He 6.0 (SIAD S.p.A., Itálie). Ke stanovení PAU byla využita metoda „multiple reaction monitoring“ (MRM), jež je citlivější než metody „full scan“ a SIM. Kalibrační křivky byly sestaveny pomocí standardních roztoků směsí PAU, od výrobců Dr. Ehrenstorfer, Restek, Fluka a Supelco se stejnými koncentracemi každého PAU přítomného v příslušném standardu. Ze standardů byly připraveny základní kalibrační roztoky. Ke každé kalibrační úrovni byl samostatně přidáván roztok D-PAH MIX 9 a p-terfenyl. K dávkování kalibračních roztoků a rozpouštědel bude aplikována elektronická pipeta eVol® XR (SGE, Austrálie) s dávkovacími stříkačkami objemů 1 ml, 100 μ l a 5 μ l.

Monitoring aerosolových částic

Pro kontinuální monitoring aerosolových částic byl použit analyzátor na optickém principu, s certifikací dle příslušné evropské normy ČSN EN 16450 a v souladu s požadavky na přístrojovou techniku pro zasílání dat do ISKO.



Obr. 3 - Příklad certifikovaných prachoměrů dle EN 16450 (Palas Fidas 200, Fidas 200S, Fidas 100)

1.4 LOKALITY MĚŘENÍ

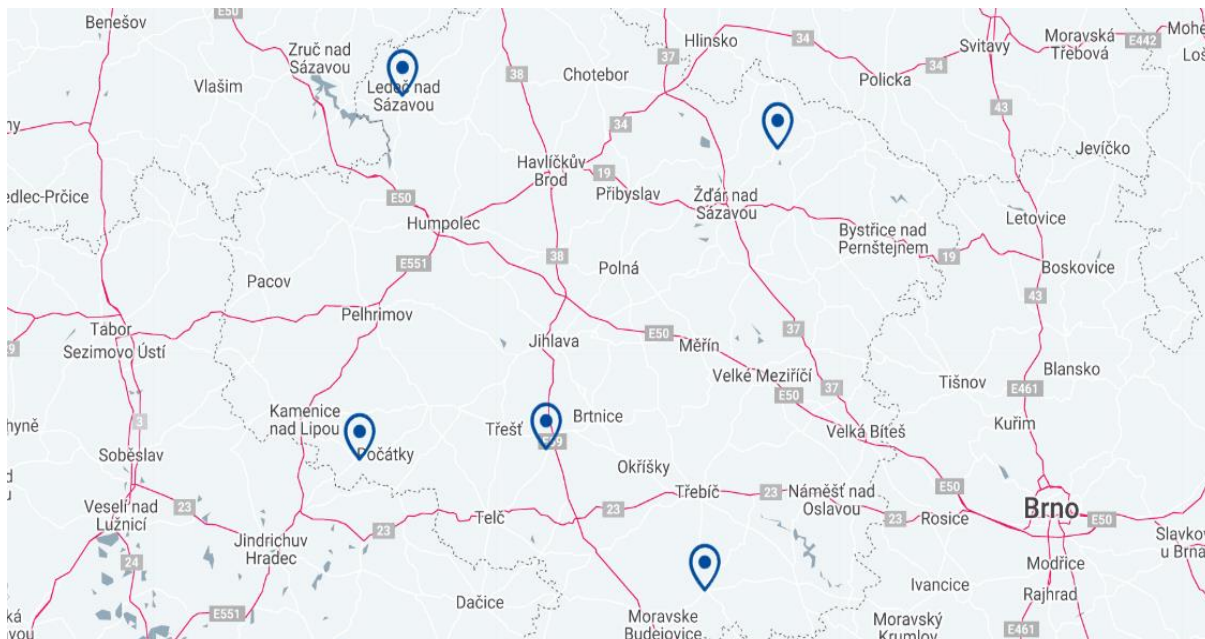
Projekt navazuje na následující projekty řešené v minulosti v Kraji Vysočina:

- Projekty „Informační systém kvality ovzduší v Kraji Vysočina“ a „Informační systém kvality ovzduší v Kraji Vysočina pro roky 2018-2023“ financované Krajem Vysočina a realizované v letech 2012-2023
- Projekt TAČR: TA02021267 „Kvantifikace znečištění ovzduší a z něj vyplývajících zdravotních rizik v malých sídlech České republiky a systém řešení“
- Projekt financovaný z Fondů EHP a Norska 2014–2021 – program „CZENVIROMENT“, realizovaný v rámci výzvy Tromso – Monitoring kvality ovzduší, identifikace zdrojů a zpracování akčních plánů, NF Call 2A - 3.2.1.1.; Název projektu: „Detailní monitoring polycyklických aromatických uhlovodíků v návaznosti na zpřesnění PZKO zóny Jihovýchod CZ06Z 2020+“

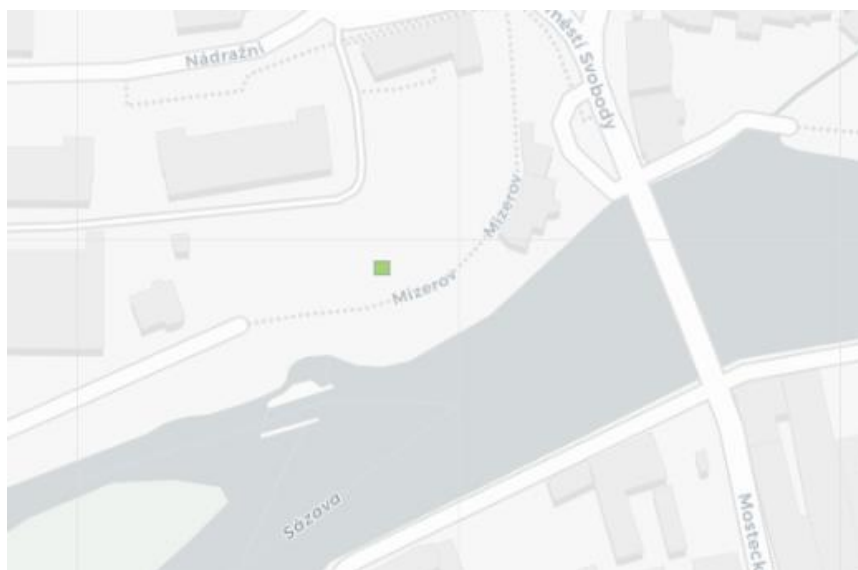
Při výběru lokalit se vycházelo z výsledků výše uvedených projektů, přičemž byly vytipovány obce s nejvyššími naměřenými hodnotami (4 lokality) a 1 obec pozadová. Vycházelo se také z certifikované metodiky „Hodnocení kvality ovzduší v malých sídlech podle kategorií“, která vznikla během realizace výše zmíněného projektu TAČR č. TA02021267.

Vybrané lokality:

1. Obec Ledec nad Sázavou – údolní poloha, plynofikace, střední dopravní zátěž, počet stálých obyvatel cca 5100, počet vyměněných kotlů 145
2. Obec Otín – dobře provětrávaná lokalita, bez plynofikace, malá dopravní zátěž, počet stálých obyvatel cca 90, počet vyměněných kotlů 2
3. Obec Žirovnice – dobře provětrávaná lokalita, plynofikace, střední dopravní zátěž, počet stálých obyvatel cca 2900, počet vyměněných kotlů 51
4. Obec Jaroměřice nad Rokytnou – dobře provětrávaná lokalita, plynofikace, významný vliv dopravy, počet stálých obyvatel cca 4100, počet vyměněných kotlů 66
5. Obec Fryšava pod Žákovou horou – spíše údolní poloha, plynofikace, minimální vliv dopravy, počet stálých obyvatel cca 320, počet vyměněných kotlů 17



Obr. 4 - Obrázek s lokalitami (celkový)



1.4.1 Ledec nad Sázavou

Adresa: Víceúčelové sportoviště Ledec nad Sázavou, Nádražní

GPS: 49.696000, 15.276203

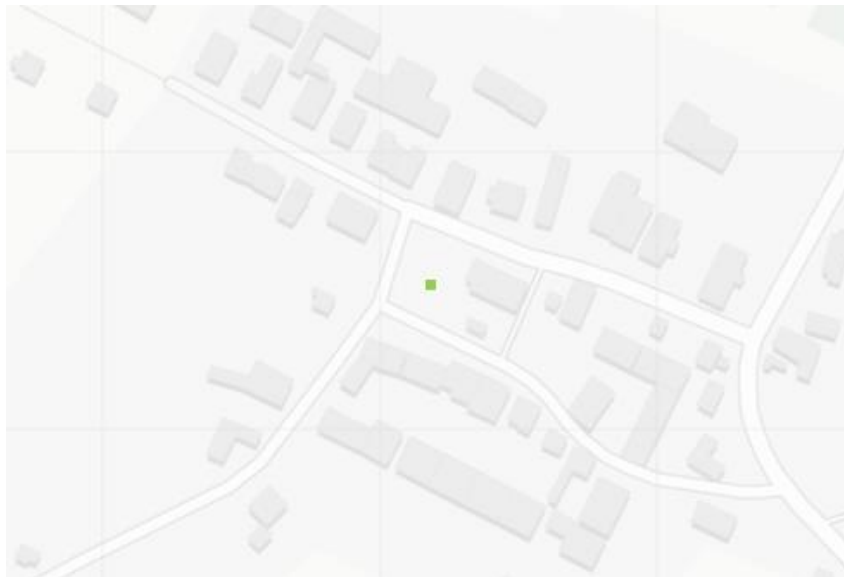
Nadmořská výška: 359 m. n. m

Popis lokality: Areál základní školy, sídlištní zástavba, na S svahu údolí Sázavy.

Typ zařízení: Fidas Smart 100, MVS6

Měřené veličiny: PM_{2,5}, PM₁₀, teplota, tlak, vlhkost, PAU

1.4.2 Otín



Adresa: Otín 24, u dětského hřiště

GPS: 49.266419, 15.569356

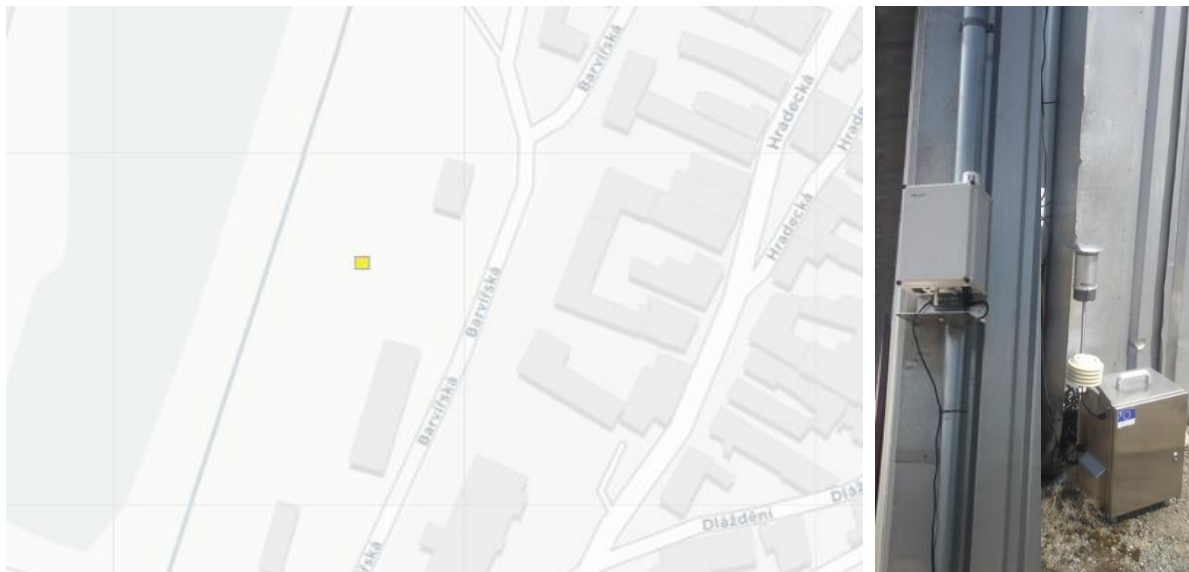
Nadmořská výška: 625 m. n. m

Popis lokality: Střed obce, klidová zóna za Obecním úřadem, bez vlivu dopravy, vesnický charakter, převažující vytápění tuhými palivy.

Typ zařízení: Fidas Smart 100, GRIMM 365, MVS6

Měřené veličiny: PM_{2,5}, PM₁₀, teplota, tlak, vlhkost, PAU

1.4.3 Žirovnice



Adresa: areál Pivovarská 198, naproti pivovaru

GPS: 49.253258, 15.182689

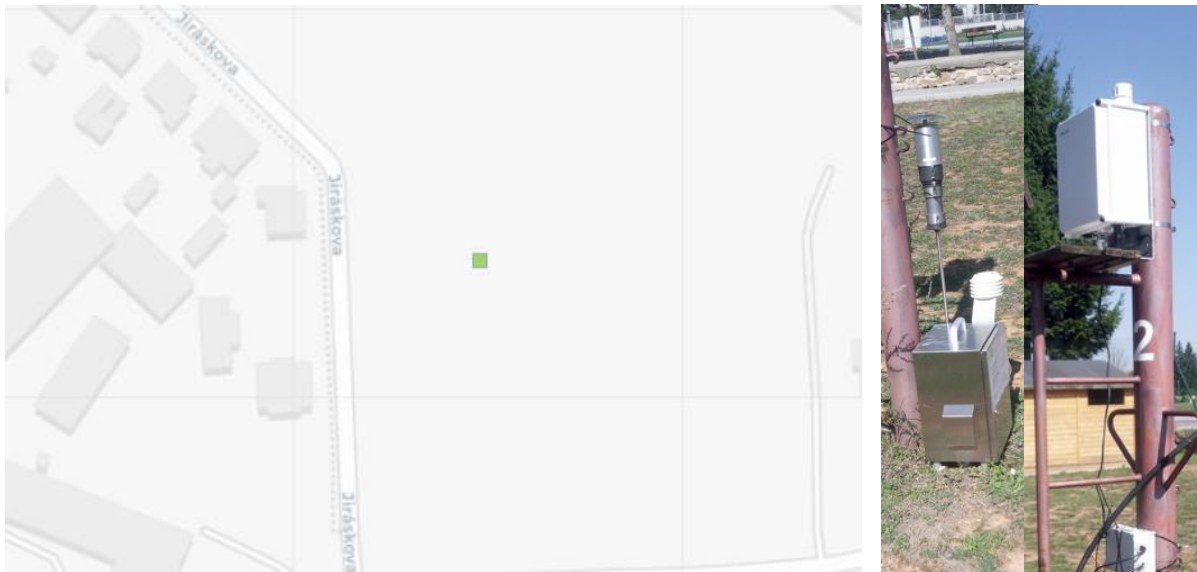
Nadmořská výška: 547 m. n. m

Popis lokality: V areálu technických služeb, spíše průmyslová zástavba, bez vlivu dopravy.

Typ zařízení: Fidas Smart 100, Sven Leckel MVS6

Měřené veličiny: PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀, teplota, tlak, vlhkost, PAU

1.4.4 Jaroměřice nad Rokytnou



Adresa: Jiráskova, tenisové kurty - hřiště

GPS: 49.093908, 15.885517

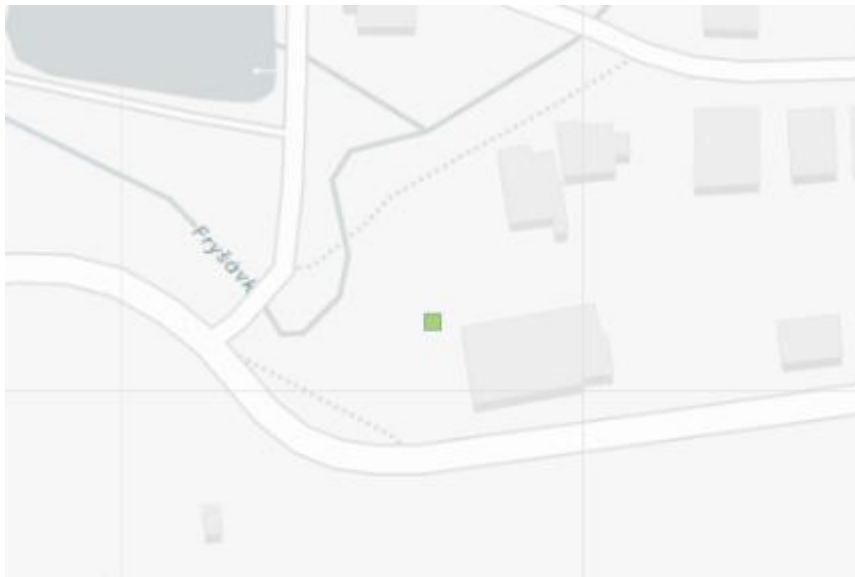
Nadmořská výška: 431 m. n. m

Popis lokality: V areálu sportoviště, klidová zóna obce, v okolí spíše starší zástavba.

Typ zařízení: Fidas Smart 100, Sven Leckel MVS6

Měřené veličiny: PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀, teplota, tlak, vlhkost, PAU

1.4.5 Fryšava pod Žákovou horou



Adresa: Fryšava pod Žákovou horou 9

GPS: 49.630417, 16.045083

Nadmořská výška: 707 m. n. m

Popis lokality: Pozadřová lokalita

Typ zařízení: Palas Fidas 200, Baghirra SAM 50 (LIMS č.: 101190)

Měřené veličiny: PM_{2,5}, PM₁₀, teplota, tlak, vlhkost, PAU

1.5 IMISNÍ LIMITY

Pro škodliviny, měřené v lokalitách kraje Vysočina, platí následující imisní limity dle Přílohy č. 1 zákona o ochraně ovzduší [1].

Tab. 1 - Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit LV	pLV
Suspendované částice PM ₁₀	24 hodin	50 µg·m ⁻³	35
Suspendované částice PM ₁₀	1 kalendářní rok	40 µg·m ⁻³	
Suspendované částice PM _{2,5}	1 kalendářní rok	20 µg·m ⁻³	
Benzo[a]pyren	1 kalendářní rok	1 ng·m ⁻³	

Kromě samotných imisních limitů tabulky uvádí také přípustnou četnost překročení za kalendářní rok (pLV, je-li stanovena). To znamená, že například v případě denního limitu pro PM₁₀ může být za kalendářní rok hodnota 50 µg·m⁻³ maximálně 35krát překročena, aniž by došlo k překročení imisního limitu. Proto se často hodnotí 36. nejvyšší denní koncentrace, která pokud je vyšší než 50 µg·m⁻³, došlo k překročení imisního limitu.

1.6 DATA A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

Ve studii byla mimo samotné lokality Kraj Vysočina rovněž použita data státní sítě imisního monitoringu za účelem srovnání lokality s okolními stanicemi. Data byla poskytnuta Českým hydrometeorologickým ústavem. Veškerá uvedená data byla poskytnuta na základě žádosti a nemohou být použita jinak než pro tuto studii. Veškerá data ČHMÚ pocházejí z databáze ISKO (Informační systém kvality ovzduší).

K analýze a zobrazení závislosti znečištění ovzduší na meteorologických podmínkách sloužil OpenSource balík R (R Core Team, Rakousko) [2]. Především bylo využito souboru balíčků „Tidyverse“, obsahují nástroje pro zpracování a analýzu dat a jejich vizualizaci [3]. Dále bylo využito balíčku „openair“, jehož součástí jsou algoritmy pro použité polární grafy [4].

1.7 ROK 2023 v ČR Z HLEDISKA METEOROLOGIE A KVALITY OVZDUŠÍ

Rok 2023 byl na území ČR teplotně silně nadnormální, průměrná roční teplota vzduchu 9,7 °C byla o 1,4 °C vyšší než normál 1991–2020. Jde tak o vůbec nejteplejší rok zaznamenaný v řadě od roku 1961. Doposud nejteplejším rokem na našem území byl rok 2018 s průměrnou roční teplotou 9,6 °C, následovaly roky 2019 (9,5 °C), 2014 a 2015 (9,4 °C). V uplynulém roce 2023 byla u všech měsíců kromě dubna a května odchylka průměrné měsíční teploty vzduchu na území ČR od normálu 1991–2020 kladná. Výrazně teplé byly měsíce leden (odchylka +3,4 °C), září (odchylka +3,5 °C), říjen (odchylka +2,9 °C) a prosinec (odchylka +2,5 °C).

Srážkově byl Rok 2023 na území ČR normální. Předběžný průměrný roční úhrn srážek 728 mm představuje 106 % normálu 1991–2020. V průběhu roku se střídaly na srážky bohaté a chudé měsíce. Srážkově silně nadnormální byly měsíce duben s úhrnem 68 mm (174 % normálu), srpen s úhrnem 135 mm (173 % normálu), listopad s úhrnem 90 mm (200 % normálu) a prosinec a úhrnem 90 mm (196 % normálu). Naopak velmi suché bylo září, kdy na území ČR spadlo v průměru pouze 18 mm srážek (30 % normálu). [5].

Rok 2023 byl z hlediska kvality ovzduší mimořádně příznivý. Koncentrace většiny látek znečišťujících ovzduší v roce 2023 opět poklesly a za hodnocené období 2013–2023 dosáhly nejnižších hodnot. Poprvé za celou historii měření nebyl překročen žádný z imisních limitů pro suspendované částice PM₁₀ a PM_{2,5}. Navíc v roce 2023, podobně jako v minulých letech, nebyly překročeny ani imisní limity pro NO₂, SO₂ a CO.

K relativně dobré kvalitě ovzduší v ČR, vyjma přízemního ozonu (O₃), v roce 2023 přispěly zejména výrazně nižší koncentrace látek znečišťujících ovzduší během zimního období (leden–březen, říjen–prosinec), kdy z hlediska kvality ovzduší převažovaly příznivé meteorologické a rozptylové podmínky. Výrazně nižší koncentrace v porovnání s desetiletým průměrem 2013–2022 byly zaznamenány v lednu (teplotně silně nadnormální měsíc s výrazně lepšími rozptylovými podmínkami), v březnu a nejvýraznější v listopadu, kdy byly – pro listopad atypicky – pouze dobré rozptylové podmínky.

K překročení 24hodinového imisního limitu PM₁₀ v roce 2023 nedošlo na žádné stanici s automatizovaným měřicím programem. Jedná se tak o první rok za celou historii měření PM₁₀ od 90. let minulého století, kdy 24hodinový imisní limit nebyl překročen. Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM₁₀ nebyl v roce 2023 překročen na žádné stanici s automatizovaným měřicím programem. Rok 2023 prodloužil souvislou řadu let bez překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci PM₁₀ počínající rokem 2019. Imisní limit pro roční průměrnou koncentraci PM_{2,5} nebyl v roce 2023 překročen na žádné stanici s automatizovaným měřicím programem. Stalo se tak poprvé od zavedení tohoto limitu v roce 2005, který byl navíc v roce 2020 zpřísněn.

V roce 2023 byly vyhlášeny tři smogové situace z důvodu vysokých koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ v celkové délce trvání 105 h (4,4 dny) a jedna smogová situace z důvodu vysokých koncentrací přízemního ozonu v délce trvání 16 h (0,7 dny).

Je však třeba zdůraznit, že zatím nebyla vyhodnocena data všech znečišťujících látek. Jedná se především o benzo[a]pyren, u kterého lze, stejně jako v minulých letech, předpokládat překročení ročního imisního limitu na řadě lokalit [6].

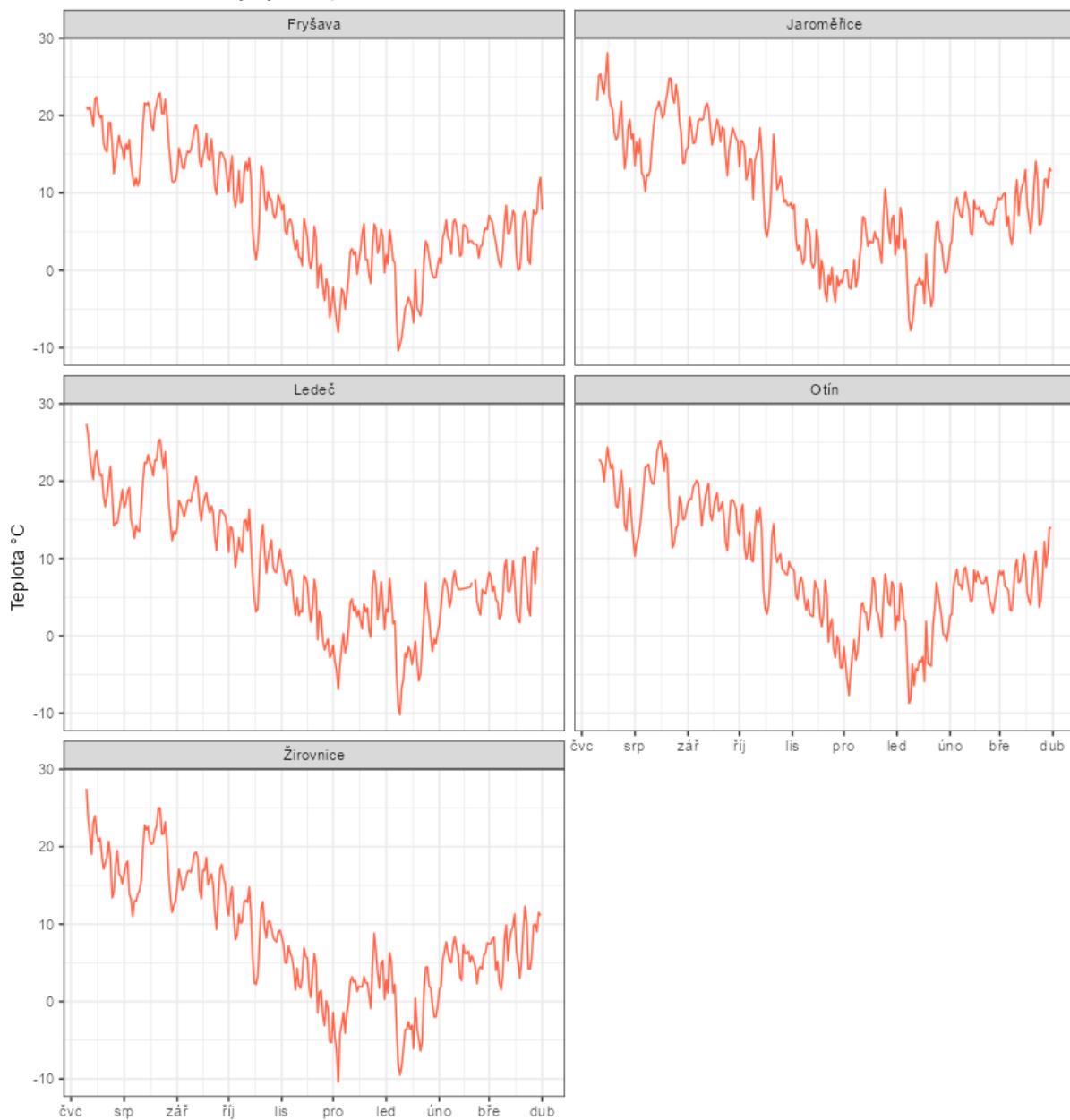
2 METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY BĚHEM MĚŘENÍ

2.1 TEPLOTA VZDUCHU

Významným faktorem, ovlivňujícím koncentrace a distribuci velikostních frakcí je teplota vzduchu. V dlouhodobém trendu platí, že s klesající teplotou rostou koncentrace částic v ovzduší, přičemž je více zastoupená jemnější frakce, a naopak s rostoucí teplotou koncentrace klesají a je výrazněji zastoupená hrubší frakce částic. Teplota však spolu se slunečním zářením má vliv i na tvorbu částic z plynných prekurzorů tzv. nukleací. Působení teploty na tvorbu částic může být přímé (nukleace, růst a agregace) a nepřímé, kdy nízké teploty nutí k intenzivnějšímu vytápění, a tudíž k vyšším emisím tuhých látek z lokálních topenišť. Pokud jsou během teplotních inverzí velmi nízké teploty a bezvětří, vedou tyto situace k nárůstu koncentrací všech škodlivin v ovzduší a pokud situace trvá déle i k vyhlášení smogových situací.

Následující Obr. 5 zobrazuje průměrné denní teploty vzduchu v lokalitách kraje Vysočina. Z grafu vyplývá, že maximální hodnoty byly v jednotlivých lokalitách měřeny v červenci a srpnu, poté docházelo k postupnému poklesu teplot. Minimální teploty pak byly měřeny v lednu (Obr. 6).

Vývoj průměrných denních teplot vzduchu
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 5 – Průměrné denní teploty vzduchu, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

Vývoj průměrných měsíčních teplot vzduchu
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024

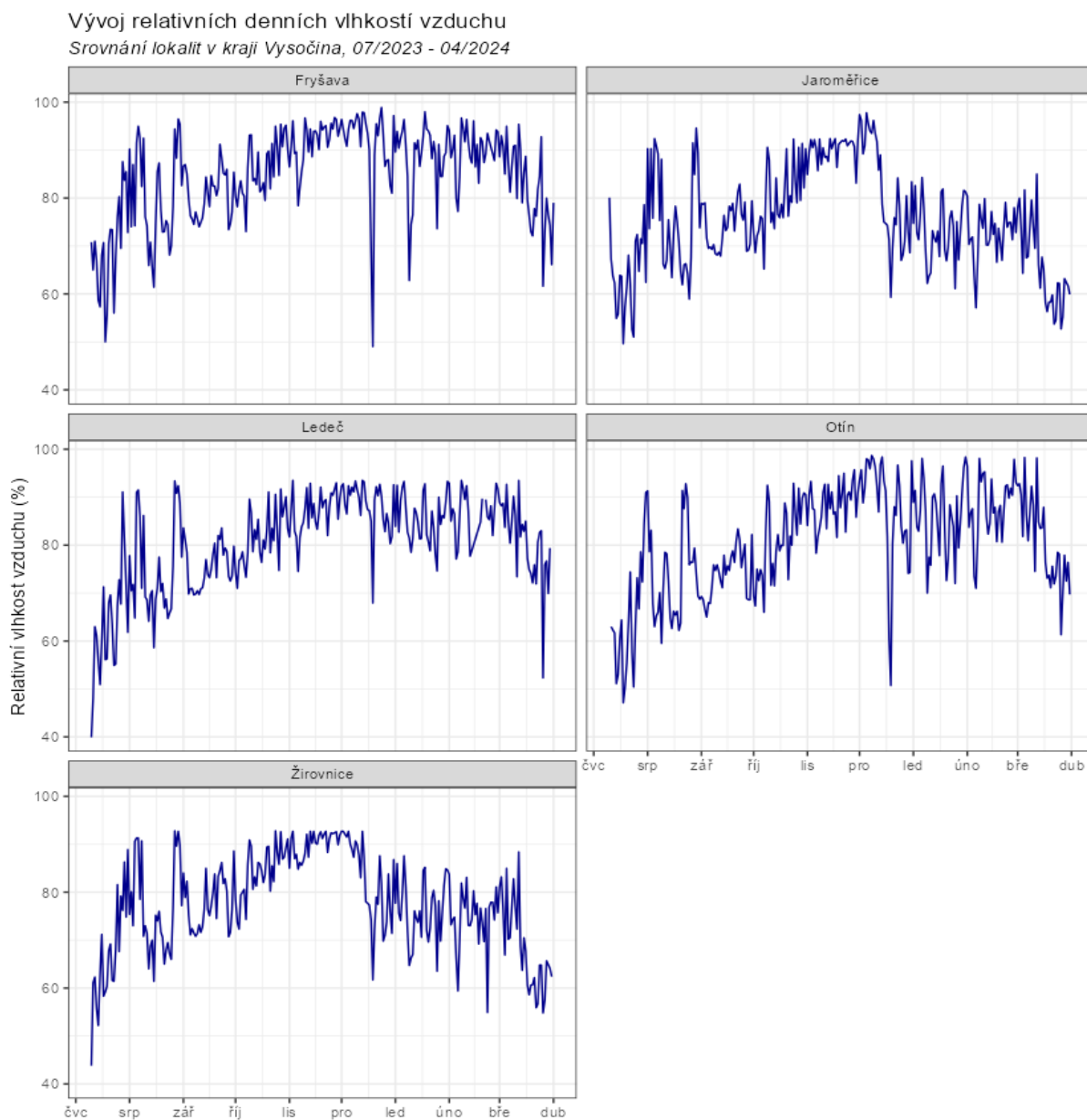


Obr. 6 – Průměrné měsíční teploty, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

2.2 RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU

Důležitým faktorem, ovlivňujícím koncentrace a distribuci velikostních frakcí je i relativní vlhkost vzduchu. V dlouhodobém trendu platí, že s rostoucí relativní vlhkostí rostou koncentrace částic v ovzduší, přičemž je více zastoupená jemnější frakce, a naopak s klesající relativní vlhkostí koncentrace klesají a je výrazněji zastoupená hrubší frakce částic.

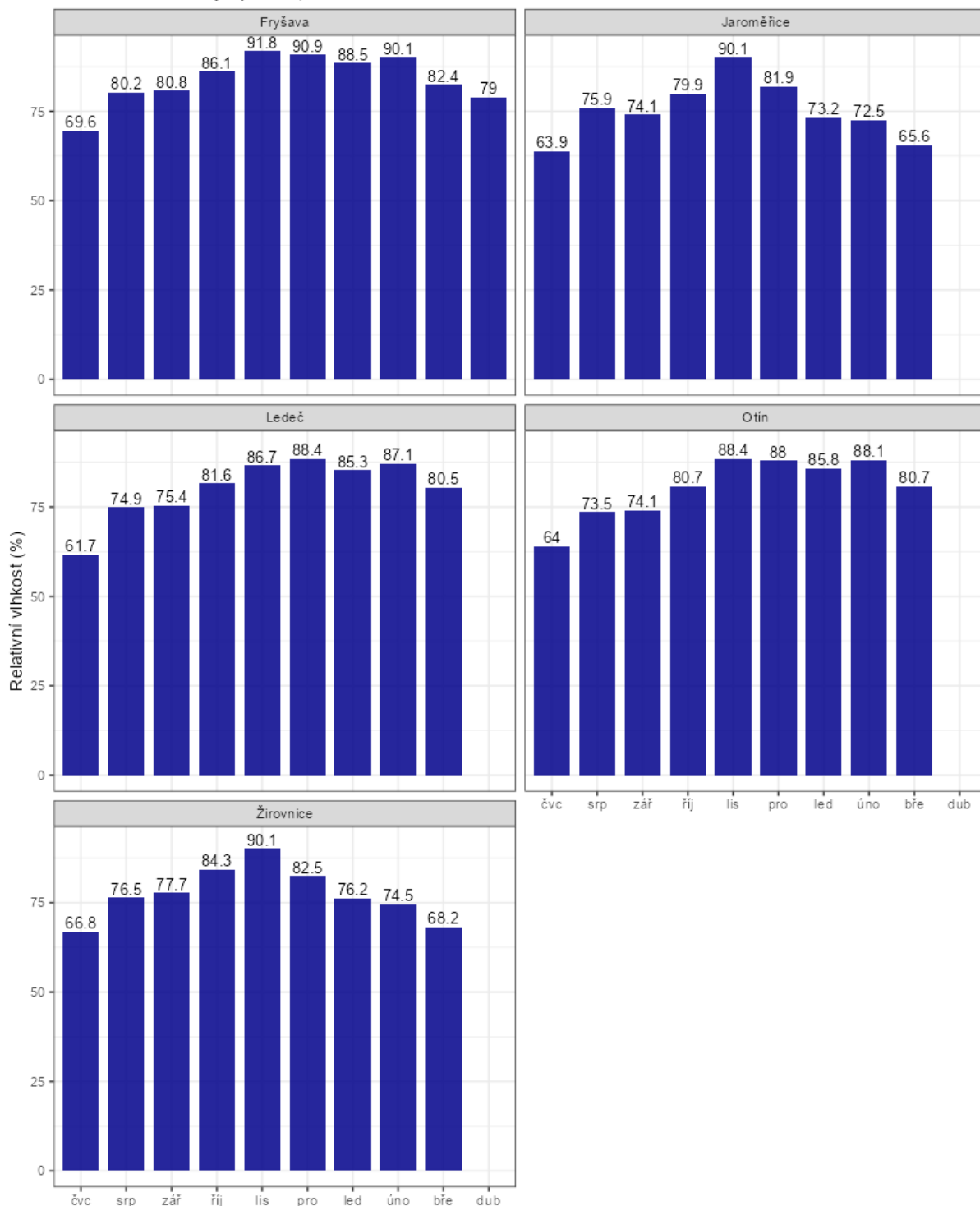
Následující Obr. 7 zobrazuje průměrné denní relativní vlhkosti vzduchu v lokalitách kraje Vysočina. Z grafu vyplývá, že maximální hodnoty byly v jednotlivých lokalitách měřeny v chladné části roku, naopak nejnižší hodnoty byly měřeny v červenci. Průměrné měsíční hodnoty jsou uvedeny v grafu na Obr. 8.



Obr. 7 - Průměrné denní relativní vlhkosti vzduchu, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

Vývoj průměrných měsíčních relativních vlhkostí vzduchu

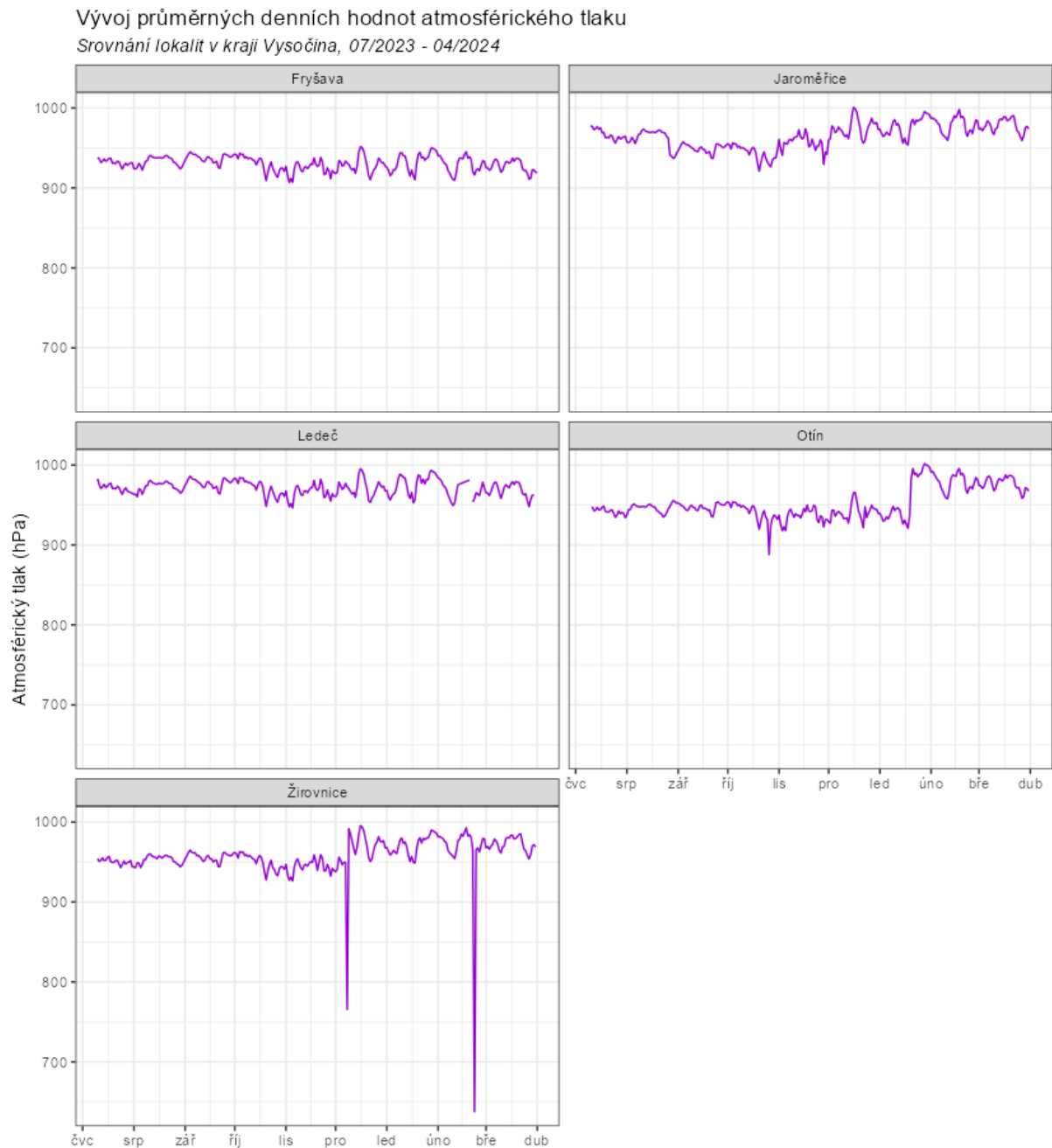
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 8 – Průměrné měsíční relativní vlhkosti vzduchu, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

2.3 ATMOSFÉRICKÝ TLAK

Následující Obr. 9 a Obr. 10 zobrazují průměrné denní a měsíční hodnoty atmosférického tlaku v lokalitách kraje Vysočina. Vyšší hodnoty jsou měřeny spíše v chladné části roku, v letních měsících je tlak mírně nižší.



Obr. 9 - Průměrné denní hodnoty atmosférického tlaku, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

Vývoj průměrných měsíčních tlaků vzduchu

Srovnání lokalit ve Zlínském kraji, 07/2023 - 04/2024



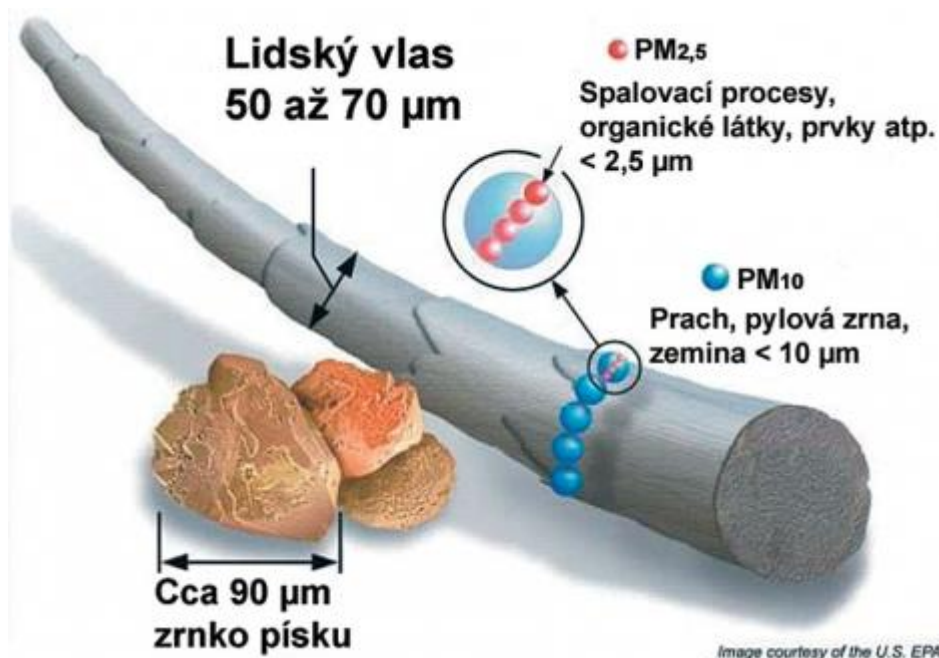
Obr. 10 – Průměrné měsíční hodnoty atmosférického tlaku, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

3 VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ

3.1 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₁₀ A PM_{2,5}

Suspendované částice jsou emitovány jak přírodními (např. sopky či prašné bouře), tak i antropogenními (např. elektrárny a průmyslové technologické procesy, doprava, spalování uhlí v domácnostech, spalování odpadu) zdroji. Většina těchto antropogenních emisních zdrojů je soustředěna v urbanizovaných oblastech, tj. v oblastech, ve kterých žije velká část populace.

Z hlediska platné legislativy [1] jsou v ovzduší sledovány dvě velikostní frakce suspendovaných částic. Jedná se o hrubší frakci PM₁₀ (suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 10 μm) a jemnější frakci PM_{2,5} (suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 2,5 μm). Názorně jsou tyto částice velikostně srovnány s lidským vlasem na Obr. 11.

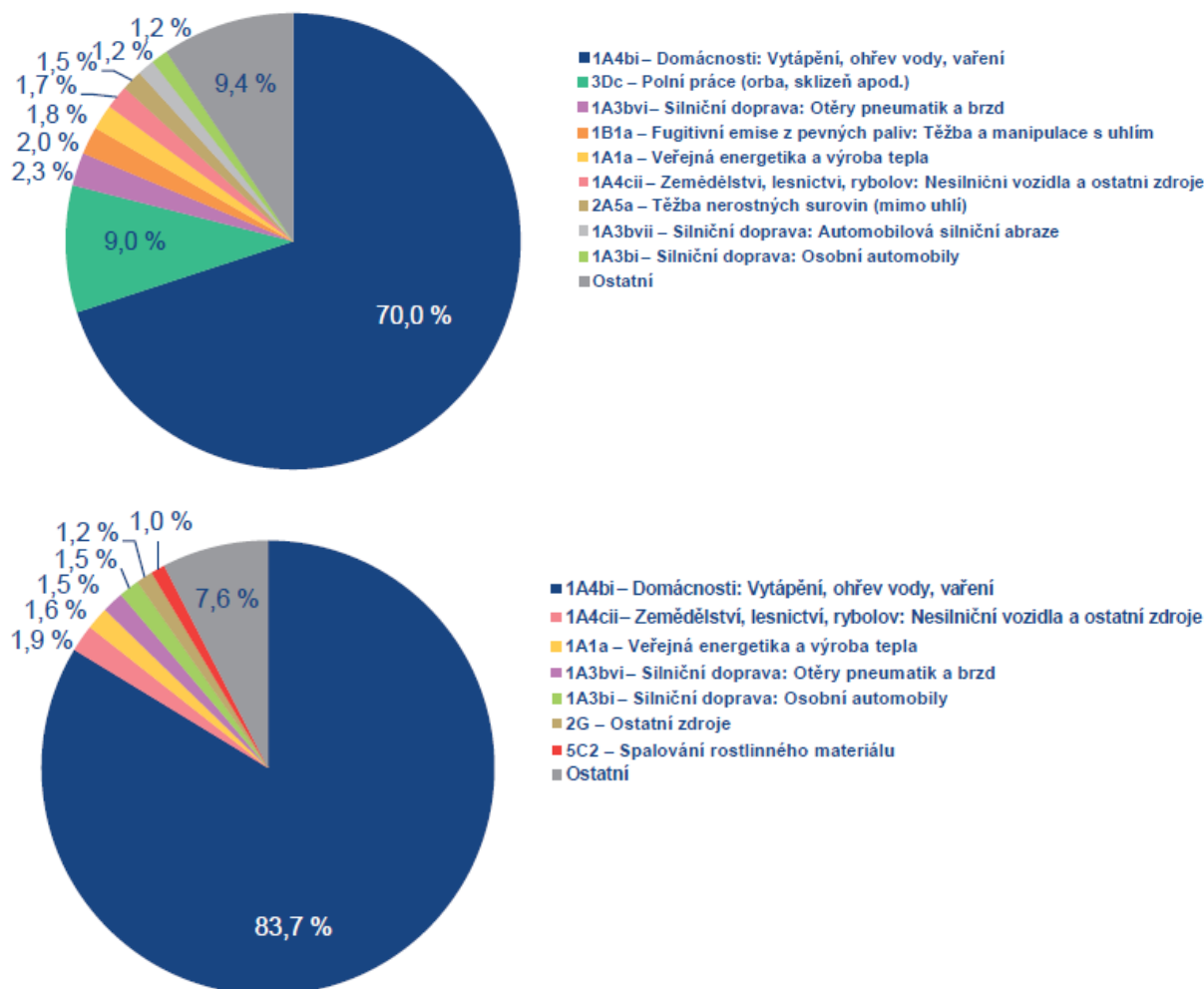


Obr. 11 – Srovnání velikostí částic PM₁₀ a PM_{2,5} s lidským vlasem a zrnkem písku. Zdroj: US EPA

Emisní inventury částic PM₁₀ a PM_{2,5} prováděné podle současných metodik zahrnují pouze emise produkované primárními zdroji. Ve srovnání s emisemi jiných znečišťujících látek jsou emise PM_x vnášeny do ovzduší z velkého počtu významnějších skupin zdrojů. Kromě zdrojů, ze kterých jsou tyto látky vypouštěny řízeně komínem nebo výduchy (průmyslové zdroje, lokální topeniště, doprava), pochází významné množství emisí PM ze zdrojů fugitivních (kamenolomy, skládky prašných materiálů, operace s prašnými materiály apod.). Zahrnuty jsou rovněž emise z otěrů pneumatik, brzdového obložení a abraze vozovek vypočítávané z dopravních výkonů. Kvalitu ovzduší ovlivňuje rovněž resuspenze částic (znovuzvíření), která do standardně prováděných emisních inventur není zahrnuta.

Mezi hlavní zdroje emisí částic v roce 2021 patřil sektor 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření, který se podílel na znečišťování ovzduší v celorepublikovém měřítku látkami PM₁₀ 70 % a PM_{2,5} 83,7 %. Mezi další významné zdroje emisí PM₁₀ patřil sektor 3Dc – Polní práce, kde tyto emise vznikají

při zpracování půdy, sklizni a čištění zemědělských plodin. Tento sektor představoval 9 % emisí PM₁₀. Z hlediska účinku na lidské zdraví jsou velkým rizikem emise částic pocházející z dopravy, především ze spalování paliv ve vznětových motorech, které produkují částice o velikosti jednotek až stovek nanometrů [7]. Mobilní zdroje se na emisích PM₁₀ v roce 2021 podílely 5,4 % a na emisích PM_{2,5} 4,6 % [8].



Obr. 12 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích PM₁₀ (nahore) a PM_{2,5} (dole) v ČR, rok 2021 [8]

Suspendované částice mají významné zdravotní důsledky, které se projevují již při velmi nízkých koncentracích bez zřejmé spodní hranice bezpečné koncentrace. Zdravotní rizika částic ovlivňuje jejich koncentrace, velikost, tvar a chemické složení. Při akutním působení částic může dojít k podráždění sliznic dýchací soustavy, zvýšené produkci hlenu apod. Tyto změny mohou způsobit snížení imunity a zvýšení náchylnosti k onemocnění dýchací soustavy. Opakující se onemocnění mohou vést ke vzniku chronické bronchitidy a kardiovaskulárním potížím. Při akutním působení částic může dojít k zvýraznění symptomů u astmatiků a navýšení celkové nemocnosti a úmrtnosti populace. Dlouhodobé vystavení působení částic může vést ke vzniku onemocnění respiračního a kardiovaskulárního systému. Míra zdravotních důsledků je ovlivněna řadou faktorů, jako je například aktuální zdravotní stav jedince, alergická dispozice nebo kouření. Citlivou skupinou jsou děti, starší lidé a lidé trpící onemocněním

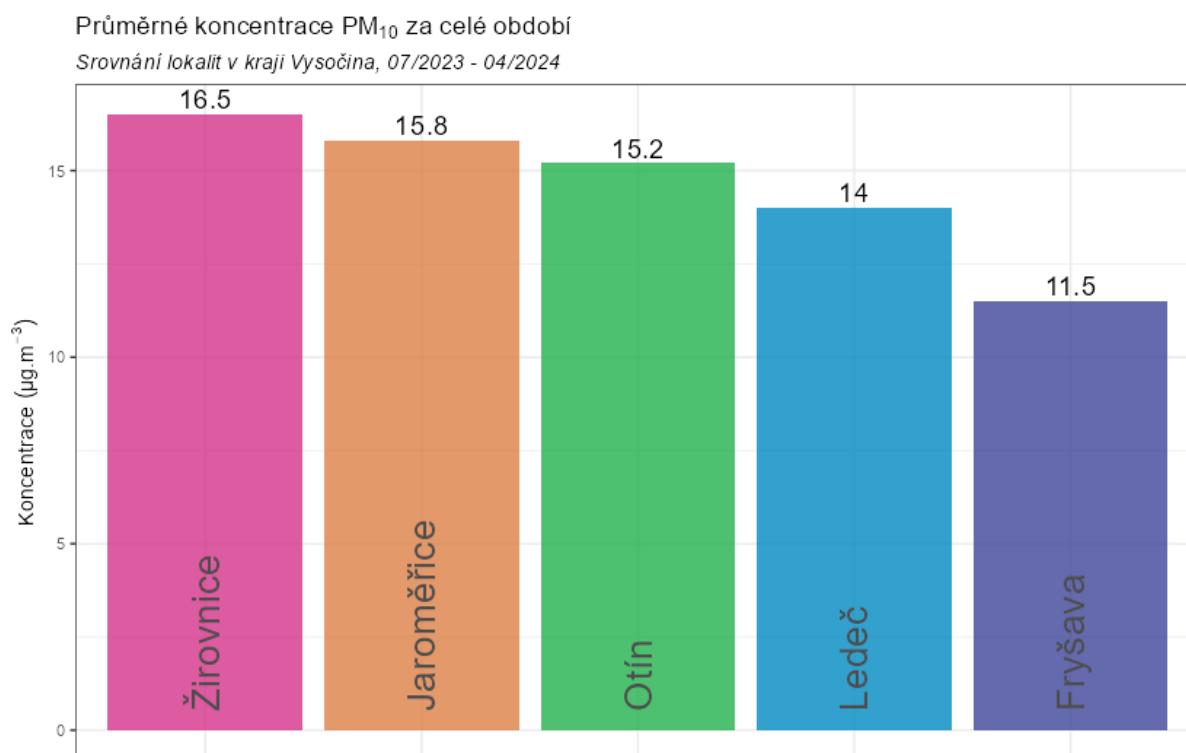
dýchací a oběhové soustavy. Nejzávažnější zdravotní dopady, tj. kardiovaskulární a respirační účinky a navýšení úmrtnosti, mají jemné a ultra jemné částice s velikostí aerodynamického průměru pod $1\ \mu\text{m}$ [9], [10].

3.1.1 Průměrné koncentrace za celé období

Průměrné roční koncentrace PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$ mají imisní limit vztažený ke kalendářnímu roku. Srovnání s 10měsíčním měřením v lokalitách Kraj Vysočina je tedy orientační.

Průměrné koncentrace PM_{10} za období VII/2023 – IV/2024 se v lokalitách Kraj Vysočina pohybovaly v intervalu $11,5 - 16,5\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Imisní limit tedy překročen nebyl na žádné z lokalit. Hodnoty v jednotlivých lokalitách zobrazuje následující Obr. 13.

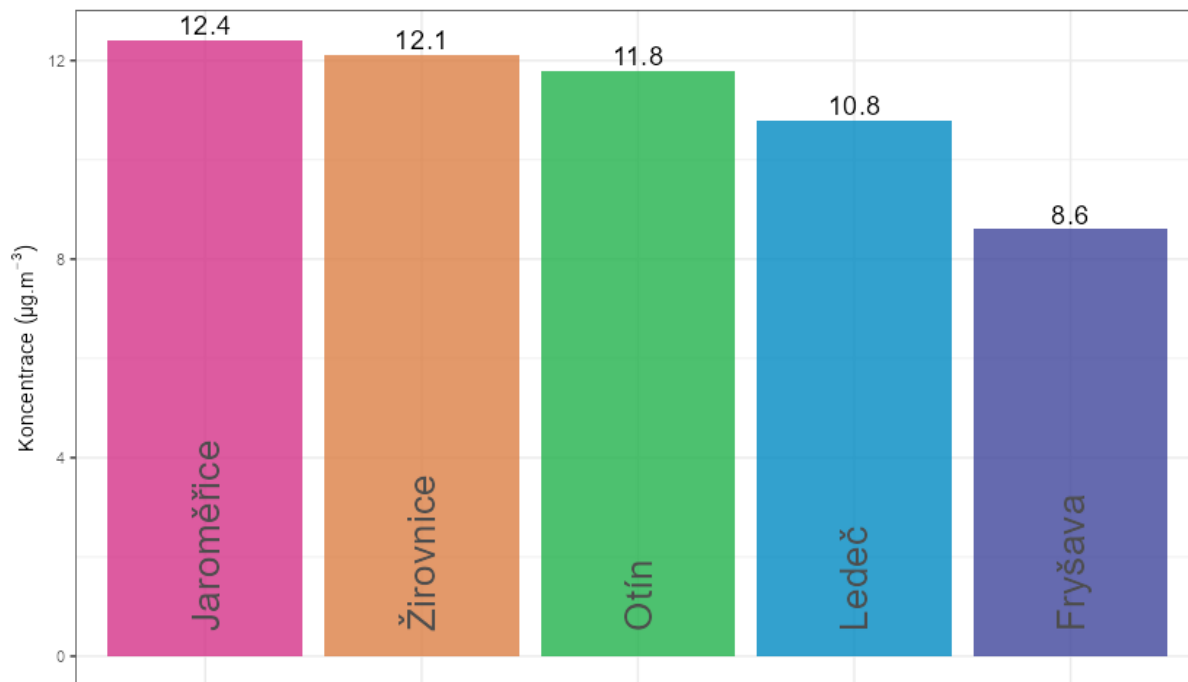
Průměrné koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ za období VII/2023 – IV/2024 se v lokalitách Kraj Vysočina pohybovaly v intervalu $8,6 - 12,4\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Imisní limit tedy překročen nebyl na žádné z lokalit. Hodnoty v jednotlivých lokalitách zobrazuje následující Obr. 13.



Obr. 13 – Průměrné koncentrace PM_{10} za celé období, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

Průměrné koncentrace $PM_{2.5}$ za celé období

Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 14 – Průměrné koncentrace $PM_{2.5}$ za celé období, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

Nejvyšší koncentrace PM_{10} byly naměřeny v lokalitě Žirovnice, nejvyšší koncentrace $PM_{2.5}$ v lokalitě Jaroměřice. Nejnižší koncentrace byly v obou případech naměřeny v lokalitě Fryšava.

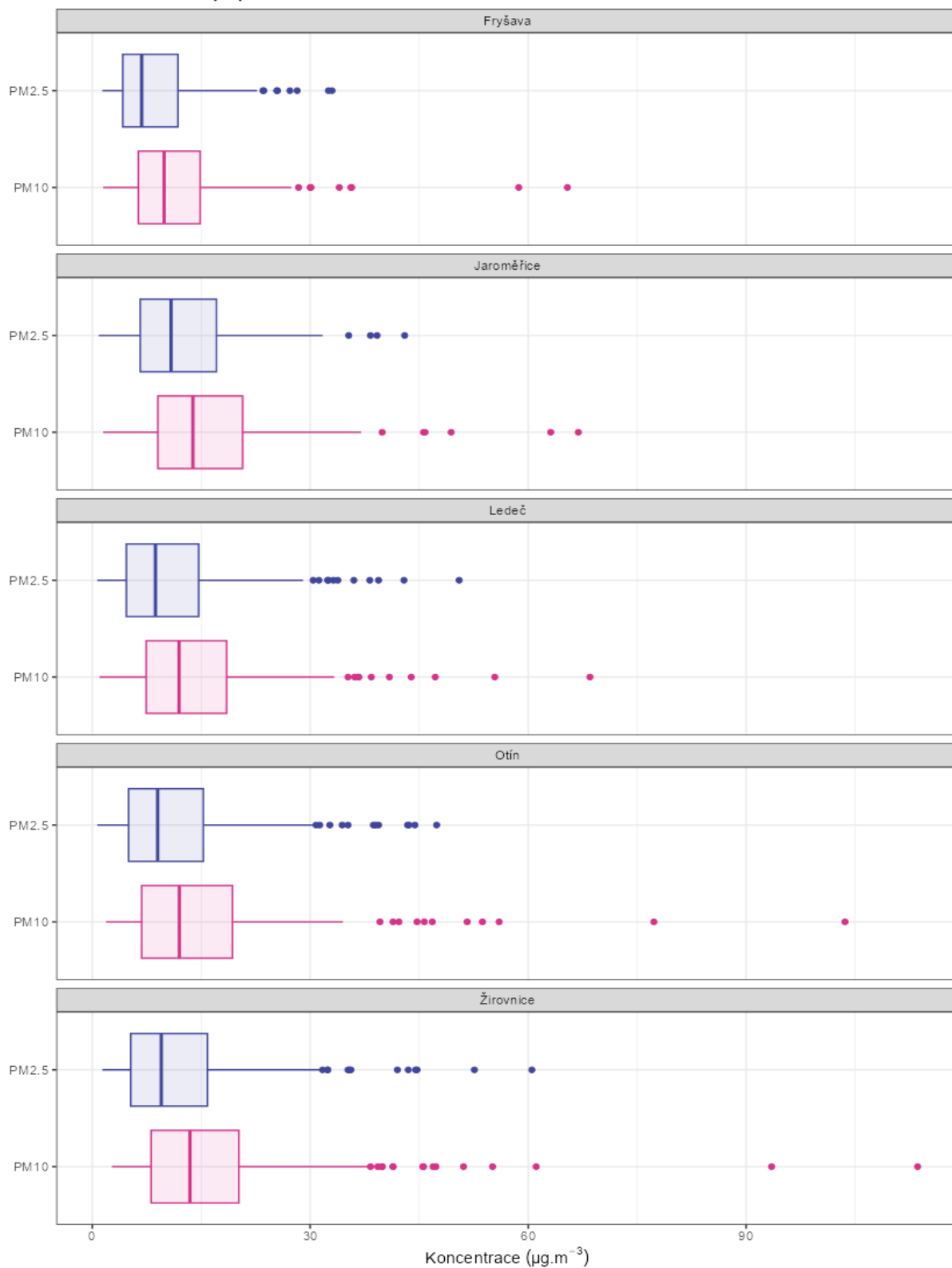
Následující Tab. 2 pak zobrazuje statistické zpracování naměřených hodinových dat pro jednotlivé lokality a frakce PM. Grafické znázornění hodinových koncentrací pomocí krabicových grafů za VII/2023 - IV/2024 pak zobrazuje Obr. 15.

Tab. 2 – Statistické charakteristiky hodinových koncentrací PM v lokalitách kraje Vysočina, VII/2023 - IV/2024

LOKALITA	STATISTIKA	PM ₁₀	PM _{2,5}
FRYŠAVA P Ž.H.	Průměr	11,5	8,6
	Maximum	111	90
	Medián	9	6
	Minimum	1	1
JAROMĚŘICE N R.	Průměr	15,8	12,4
	Maximum	153,3	93,1
	Medián	12,6	9,5
	Minimum	0	0
LEDEČ NAD SÁZAVOU	Průměr	13,9	10,8
	Maximum	145,8	138
	Medián	10,5	7,1
	Minimum	0,5	0,3
OTÍN	Průměr	15,2	11,8
	Maximum	156,6	102,4
	Medián	11	8
	Minimum	0	0
ŽIROVNICE	Průměr	16,4	12
	Maximum	147,3	106,4
	Medián	12,1	8,2
	Minimum	0	0

Statistické zpracování hodinových koncentrací PM₁₀, PM_{2.5}

Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



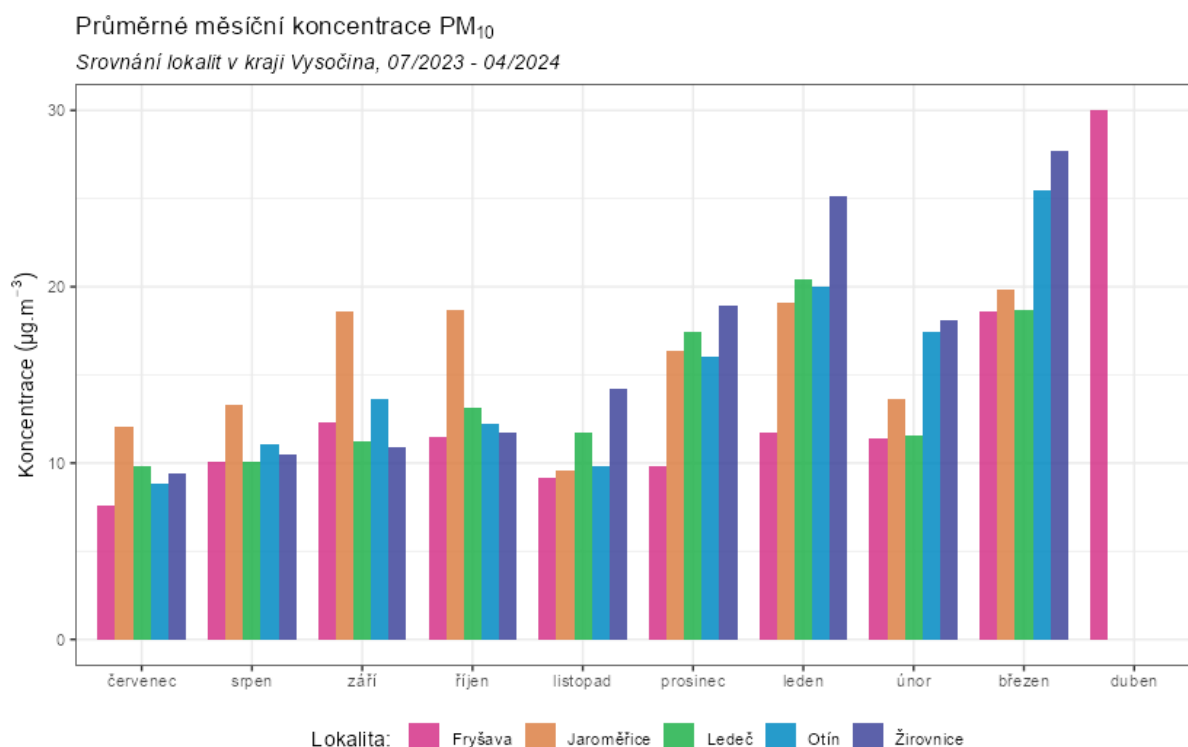
Obr. 15 – Statistické zpracování hodinových koncentrací jednotlivých frakcí PM v lokalitách kraje Vysočina, VII/2023 - IV/2024

3.1.2 Průměrné měsíční koncentrace

Na Obr. 16 jsou průměrné měsíční koncentrace PM_{10} v jednotlivých lokalitách. Z obrázku je patrné, že v letních měsících jsou koncentrace nejnižší, naopak v chladné části roku jsou měřeny vyšší koncentrace. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace PM_{10} , (pomineme-li dubnovou hodnotu v lokalitě Fryšava), byla naměřena v březnu v lokalitě Žirovnice, vysokou průměrnou koncentrací naměřila tato lokalita také v lednu. Naopak nejnižší koncentrace byly měřeny v letních měsících. Vysoká koncentrace v dubnu byla způsobena dálkovým transportem saharského písku, který zvedl koncentrace v celé republice a byl také důvodem vyhlášení několika smogových situací napříč celou ČR. Jednalo se především o hrubší frakci což dobře dokumentuje také velmi nízký poměr $PM_{2,5} / PM_{10}$ na Obr. 18.

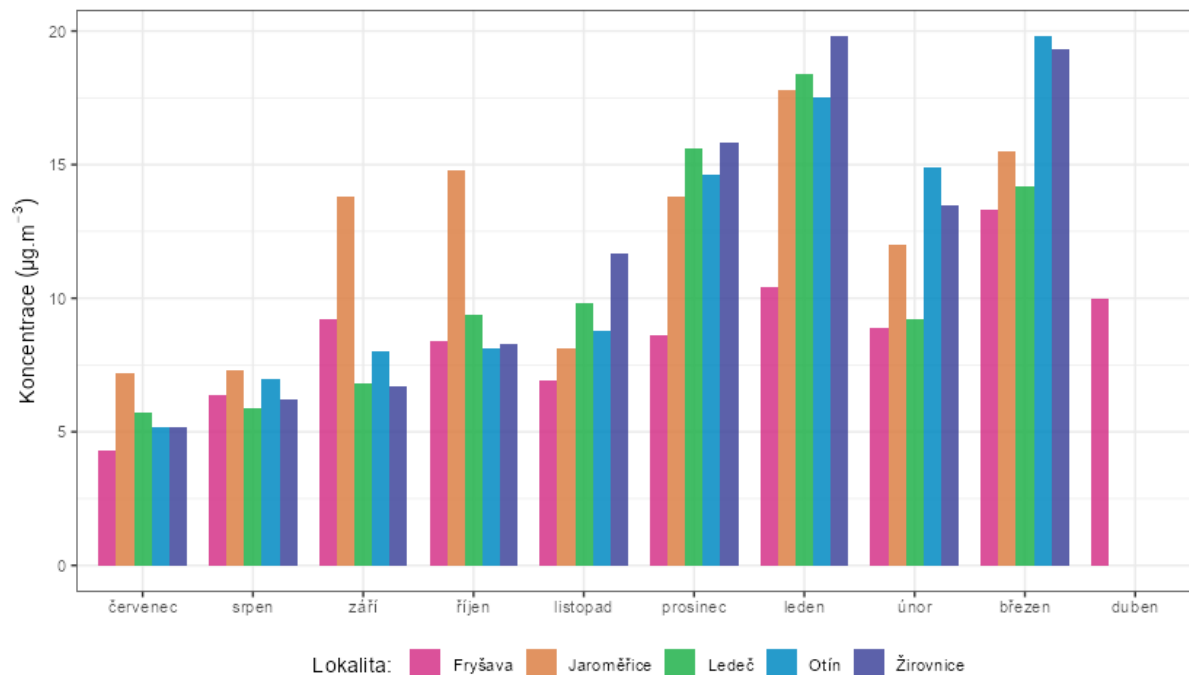
Podobně zobrazuje průměrné měsíční koncentrace $PM_{2,5}$ graf na Obr. 17. Maximální hodnota byla naměřena v lednu v lokalitě Žirovnice.

Průměrné měsíční zastoupení jemnější frakce $PM_{2,5}$ v PM_{10} zobrazuje Obr. 18. Z něj je patrné, že v chladné části roku je jemnější a nebezpečnější frakce zastoupena podstatně více (až 90 % v nejméně chladném měsíci prosinci), než v létě, kdy se jemnější frakce podílí zhruba 60–70 % v případě legislativou sledované $PM_{2,5}$.



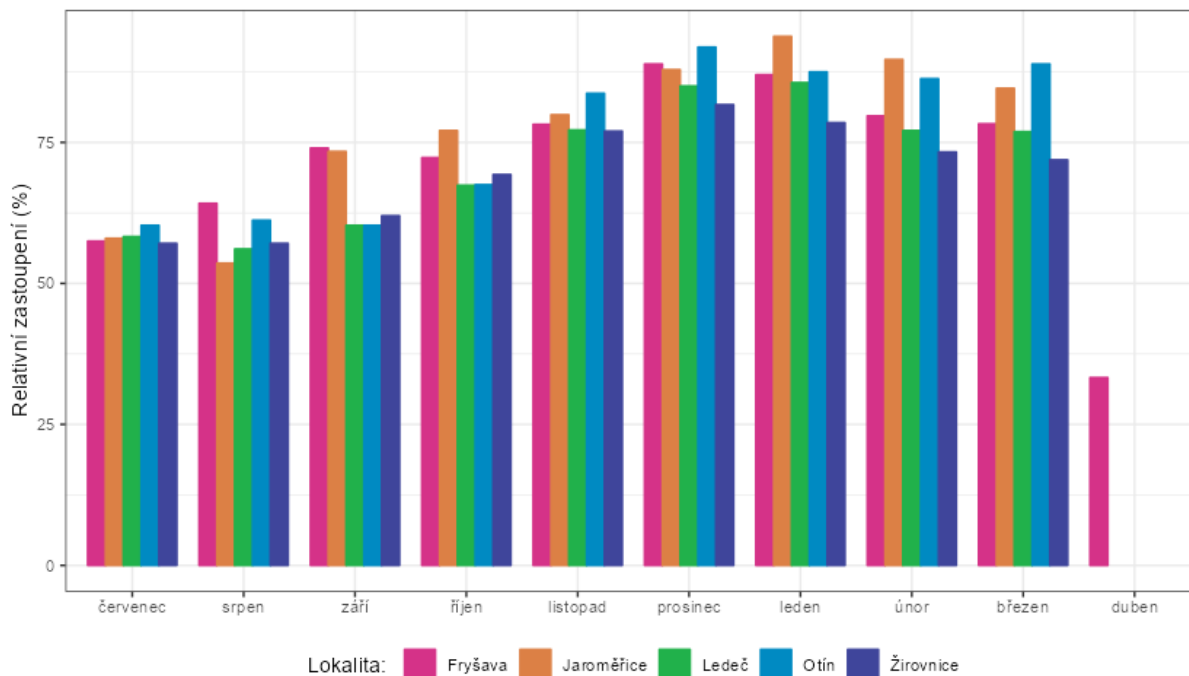
Obr. 16 – Průměrné měsíční koncentrace PM_{10} , Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

Průměrné měsíční koncentrace PM_{2.5}
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 17 – Průměrné měsíční koncentrace PM_{2.5}, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

Průměrné měsíční relativní zastoupení jemnější frakce PM_{2.5} v PM₁₀
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 18 – Průměrné měsíční zastoupení jemnější frakce PM_{2.5} v PM₁₀, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

3.1.3 Průměrné denní koncentrace PM

Vývoj průměrných denních koncentrací jednotlivých frakcí PM v lokalitách Kraj Vysočina zobrazuje následující Obr. 19. Z grafu je patrné, že koncentrace jemnější frakce PM_{2,5} do značné míry kopírují hrubší frakci PM₁₀ a z velmi velké části tak PM₁₀ tvoří.

Průměrné denní koncentrace vyšší, než je hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ (50 µg·m⁻³) se vyskytují především v chladné části roku, a pak na přelomu března a dubna, kdy dorazil saharský písek. Vysoké koncentrace byly měřeny zejména v lednu a únoru. Výskyt dní s koncentracemi vyššími, než je hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ zobrazuje Obr. 20.

Počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu v jednotlivých měsících zobrazuje následující Obr. 21. Nejvíce překročení bylo naměřeno v lednu v lokalitě Žirovnice, rovněž v březnu bylo naměřeno více překročení. Za VII/2023 - IV/2024 došlo souhrnně k 2–5 překročením hodnoty imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ (Obr. 22), imisní limit tedy překročen nebyl na žádné z lokalit (zákon umožňuje za kalendářní rok 35 překročení této hodnoty).

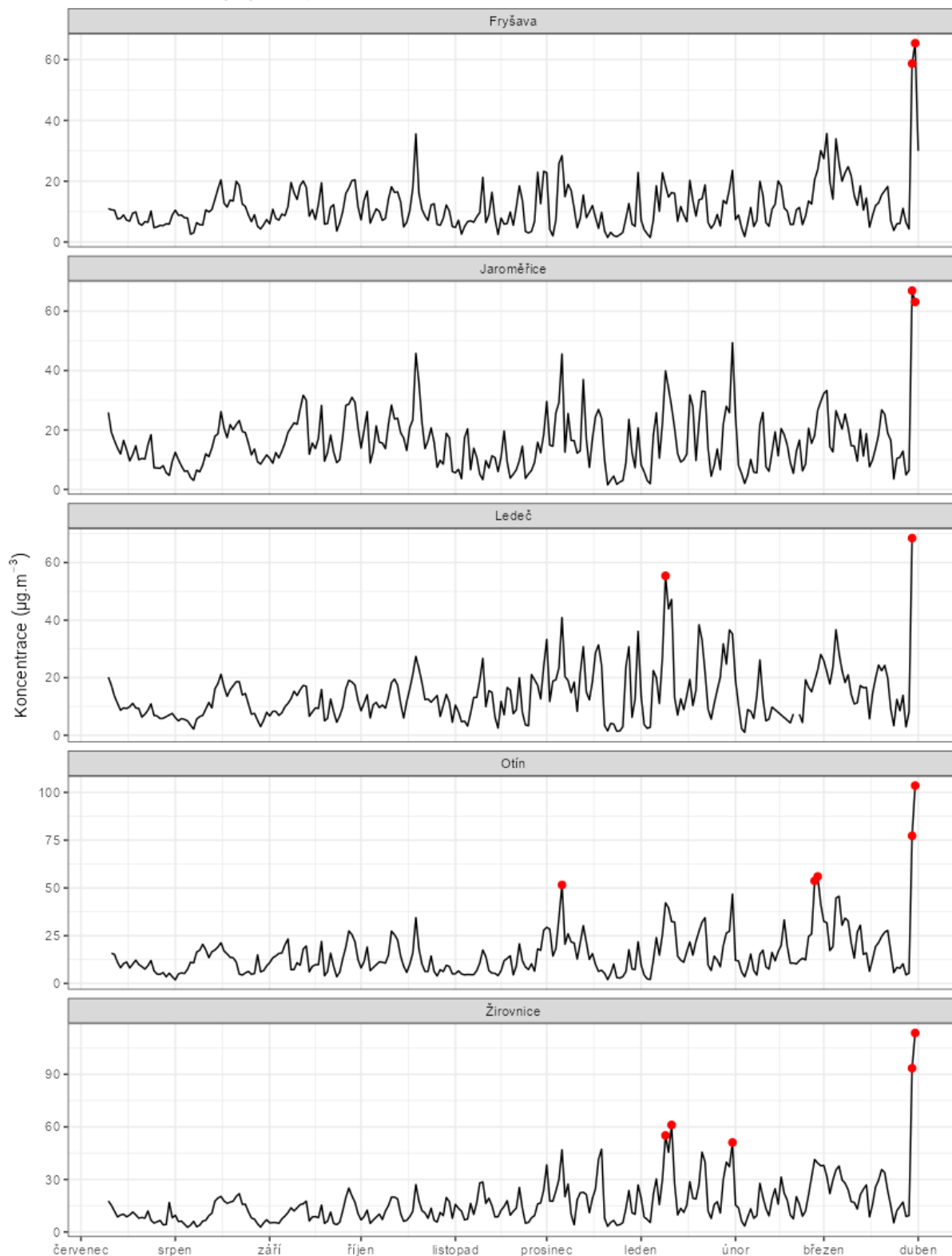
Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁₀, PM_{2.5}
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 19 – Vývoj průměrných denních koncentrací jednotlivých frakcí PM, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

Výskyt dní s překročenou hodnotou denního imisního limitu pro PM₁₀

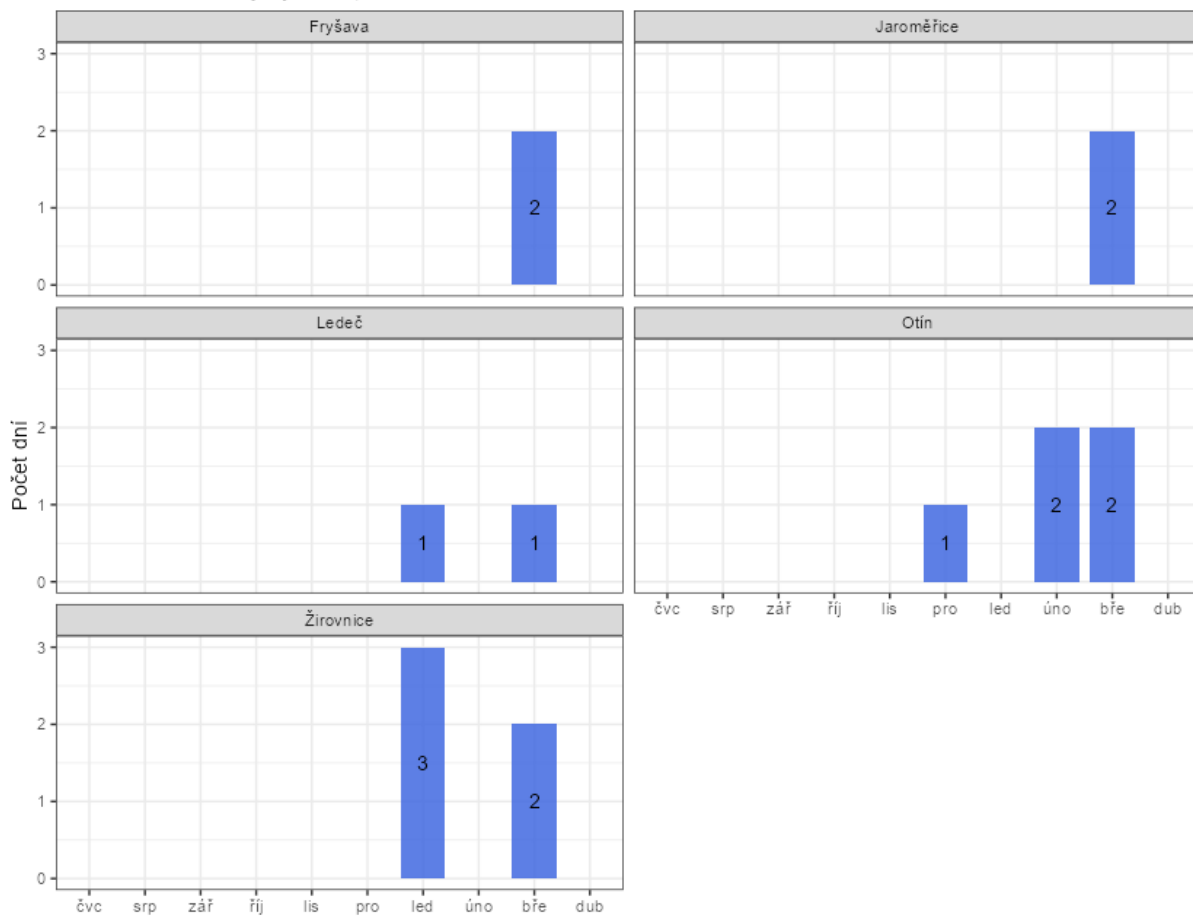
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 20 – Výskyt dní s překročenou hodnotou denního imisního limitu PM₁₀, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

Počet dní s překročením denního imisního limitu PM₁₀ v jednotlivých měsících

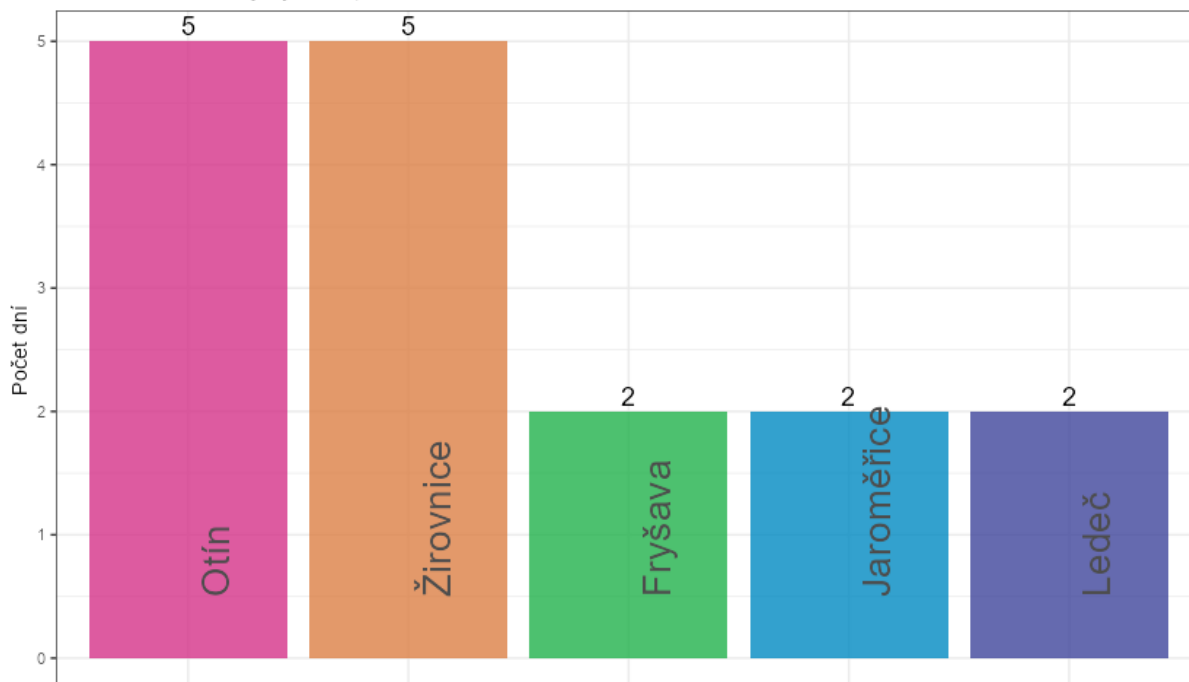
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 21 – Počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ v jednotlivých měsících, Kraj Vysočina

Počet dní s koncentracemi PM₁₀ vyššími, než je hodnota denního imisního limitu

Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 22 – Suma počtu dní za měřené období s překročením hodnoty imisního limitu pro denní koncentraci PM₁₀, Kraj Vysočina, VII/2023 – IV/2024

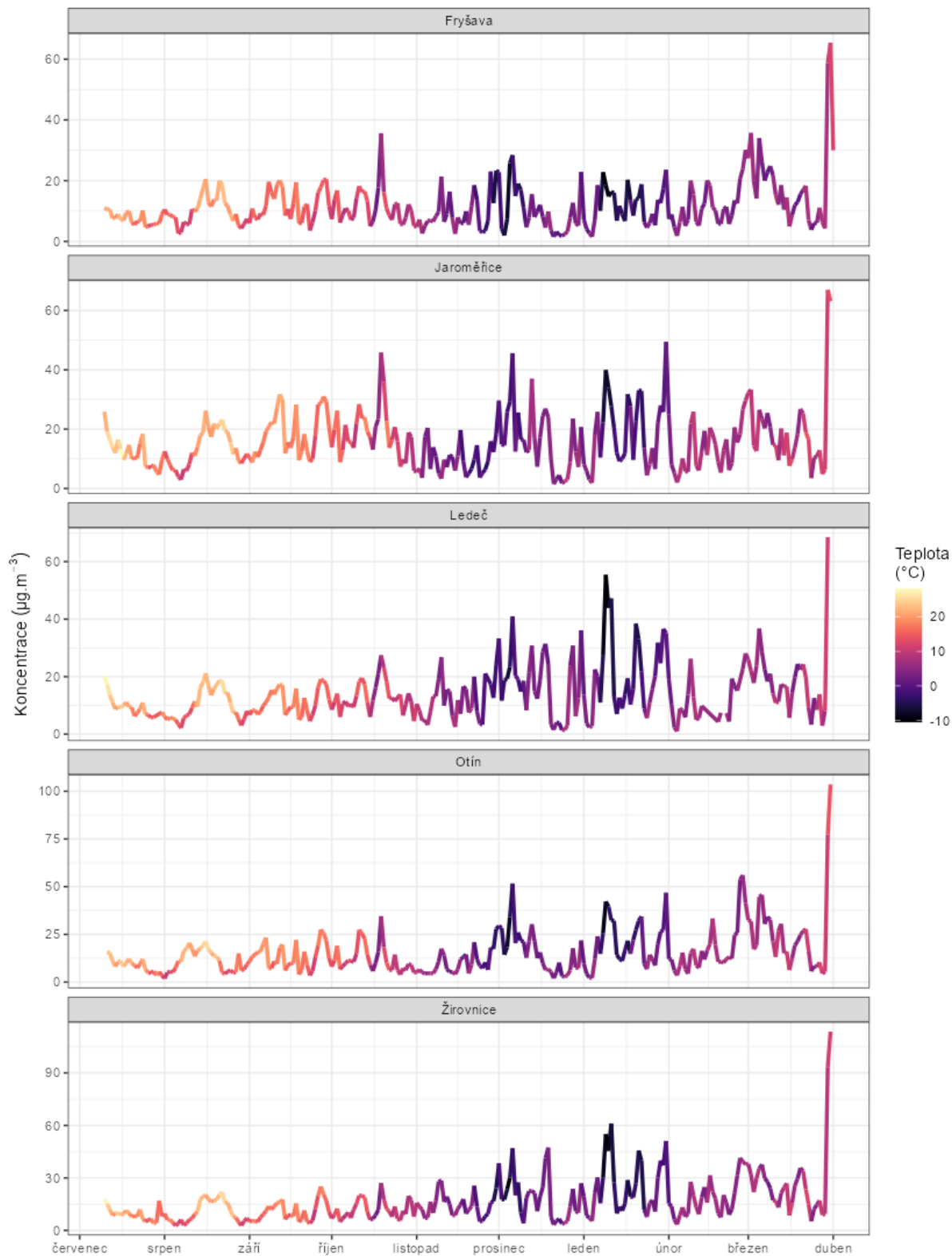
Vzhledem k tomu, že jsou trend a z velké části i hodnoty PM₁₀ a jemnějších frakcí téměř totožné (Obr. 19), bude vliv meteorologických podmínek zobrazen pouze pro PM₁₀, avšak totéž platí i pro jemnější frakce.

Na Obr. 23 jsou zobrazeny grafy závislosti PM₁₀ na teplotě pro jednotlivé lokality. Křivka vždy zobrazuje vývoj koncentrací PM₁₀, zabarvení křivky zobrazuje aktuální teplotu vzduchu. Obdobně pak grafy na Obr. 24 zobrazují vliv relativní vlhkosti vzduchu na koncentrace PM₁₀.

Z grafů je pak patrné, že vyšší koncentrace PM₁₀ jsou měřeny při nízkých teplotách a vyšších relativních vlhkostech vzduchu. Nízké teploty, doprovázené bezvětřím, jsou podmínky charakteristické pro teplotní inverzi. Nízké teploty se dále promítnou do potřeby více topit, takže se i zvyšují emise z lokálních topenišť – v chladné části roku nejvýznamnější zdroj prašnosti.

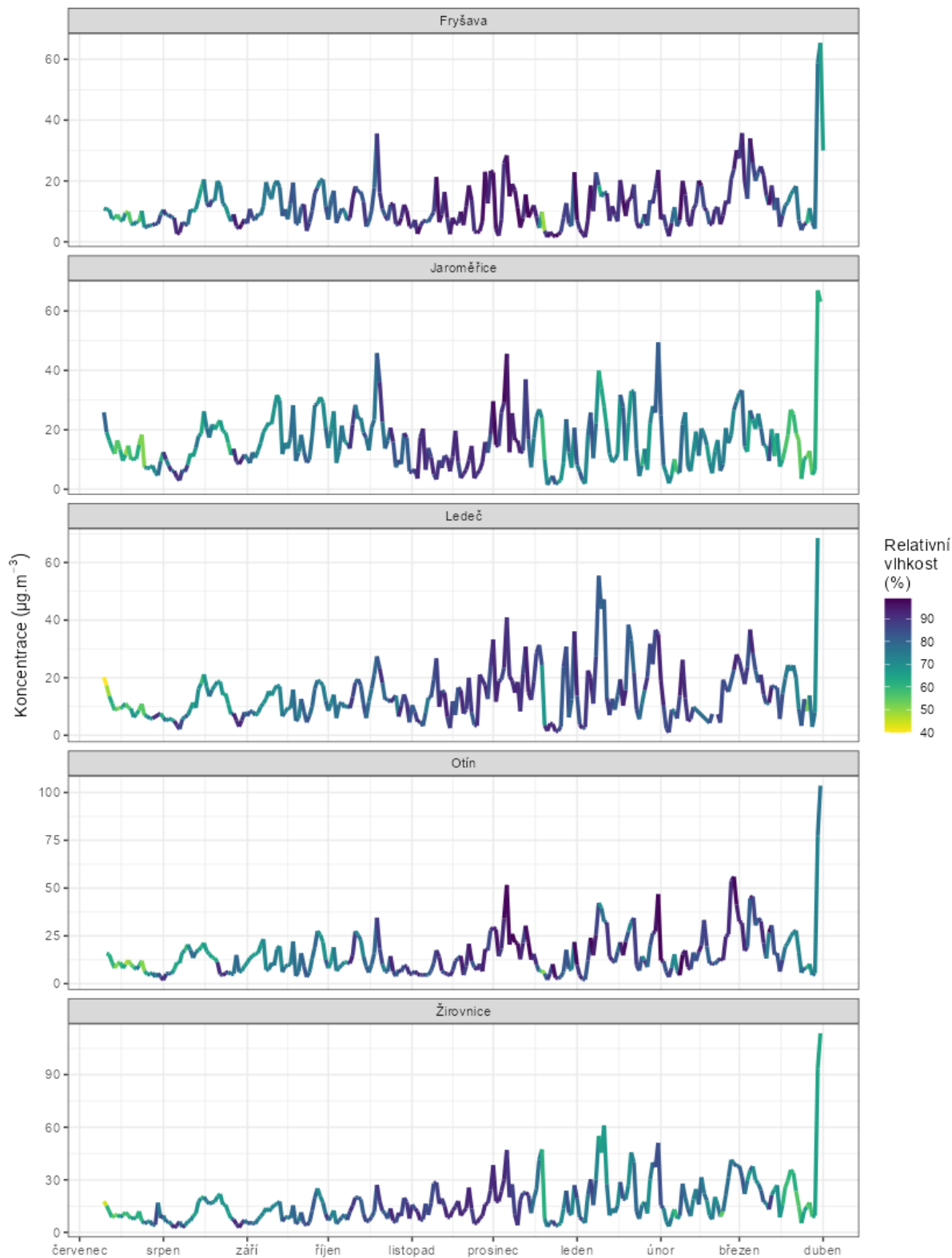
Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁₀ v závislosti na teplotě vzduchu

Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 23 – Vliv teploty na koncentrace PM₁₀, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁₀ v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 24 – Vliv relativní vlhkosti na koncentrace PM₁₀, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

Z hlediska týdenního chodu průměrných denních koncentrací PM (Obr. 25) jsou zpravidla nejvyšší koncentrace měřeny uprostřed pracovního týdne. Naopak nejnižší koncentrace byly měřeny o víkendu.

Průměrný týdenní chod denních koncentrací PM₁₀, PM_{2.5}

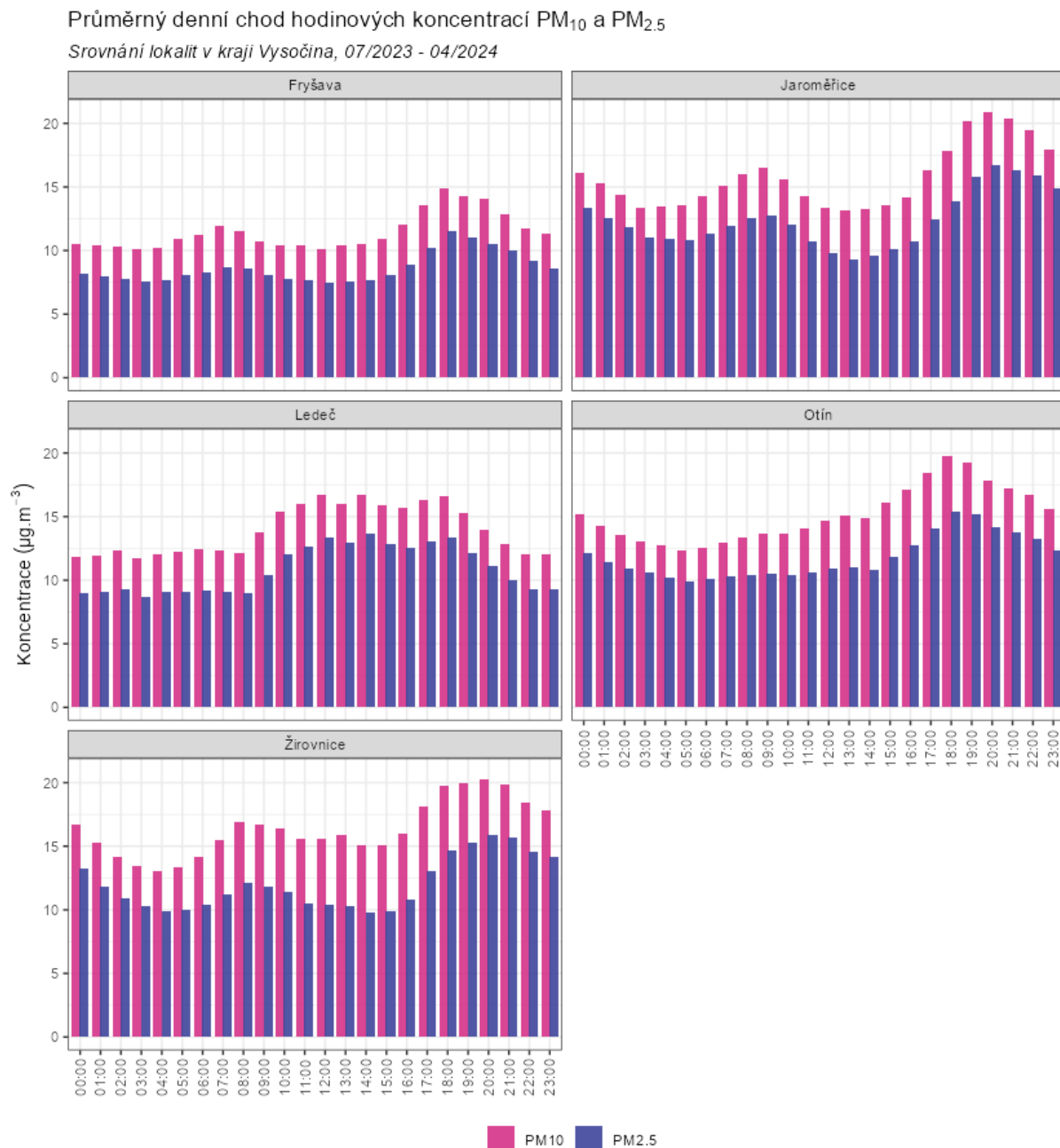
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 25 – Průměrný týdenní chod denních koncentrací PM, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

3.1.4 Analýza hodinových koncentrací – denní chod

Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod koncentrací PM₁₀ (a v podstatě také jemnějších frakcí) v lokalitě Kraj Vysočina. Denní chod koncentrací PM zobrazuje Obr. 26.



Obr. 26 – Denní chod hodinových koncentrací jednotlivých frakcí PM, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

Z grafů je patrné, že nejvyšší hodnoty koncentrací PM₁₀ jsou dosahovány ve večerních a nočních hodinách, a během ranní dopravní špičky. Výjimkou je lokalita Leděč, kde jsou zvýšené koncentrace obou frakcí zejména v denních hodinách. V případě jemnějších frakcí není ranní špička tak výrazná, což

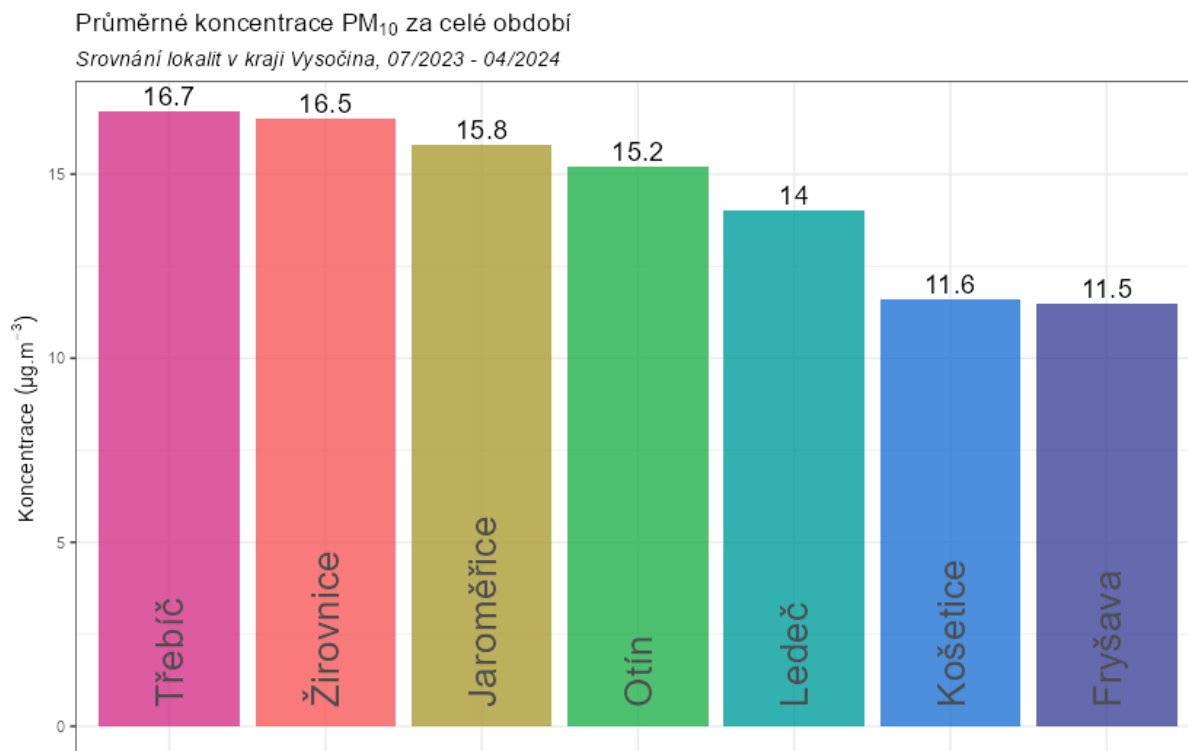
naznačuje větší podíl zvířené hrubší frakce. Dále je patrný pokles koncentrací v odpoledních hodinách a opětovný nárůst ve večerních. Večerní vysoké hodnoty jsou pravděpodobně důsledek návratu lidí z práce a zatopení v lokálních topeništích, které plošně navýší hodnoty koncentrací prašnosti v celém území. Zde je patrné, že dojde ke zvýšení všech frakcí, relativně více těch jemnějších. Svůj vliv mají také rozptylové podmínky, které bývají v noci horší. Minimální hodnoty jsou pak většinou měřeny v brzkých ranních hodinách a během odpoledne.

3.1.5 Srovnání s lokalitami státní sítě imisního monitoringu

V této podkapitole budou koncentrace, naměřené v projektových lokalitách kraje Vysočina, srovnány s hodnotami naměřenými ve státní síti imisního monitoringu.

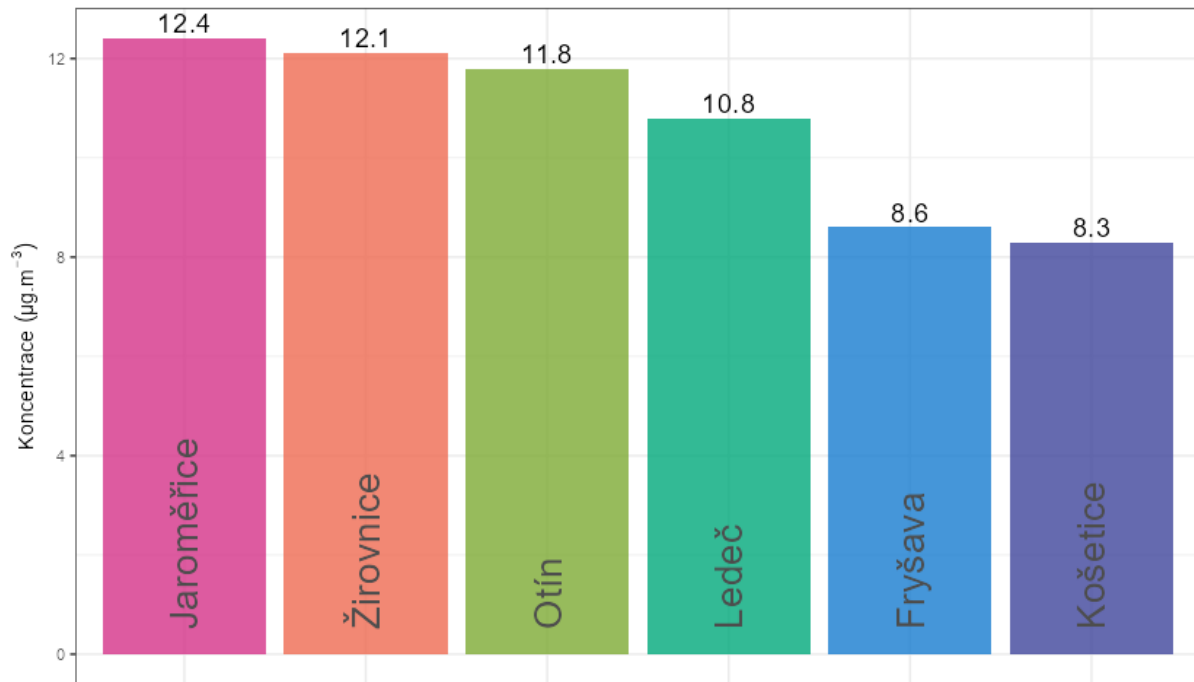
Na následujícím Obr. 27 jsou zobrazeny průměrné koncentrace částic PM₁₀ za celé období na blízkých lokalitách v roce 2023 a srovnány s projektovými lokalitami Kraj Vysočina. Z grafu vyplývá, že koncentrace PM₁₀ se v lokalitách pohybují v průměru za období VII/2023 – IV/2024 v rozmezí 11–17 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší koncentrace byly měřeny v lokalitě Třebíč, nejnižší pak v lokalitách Fryšava a Košetice.

Na následujícím grafu na Obr. 28 jsou obdobně zobrazeny hodnoty průměrných koncentrací PM_{2,5} za celé sledované období na vybraných lokalitách. Z grafu vyplývá, že koncentrace PM_{2,5} se v jednotlivých lokalitách pohybují v průměru za období VII/2023 – IV/2024 v rozmezí 8–13 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší koncentrace byly měřeny v lokalitě Jaroměřice, nejnižší pak v lokalitách Košetice a Fryšava, podobně jako v případě PM₁₀.



Obr. 27 – Srovnání průměrné koncentrace PM₁₀ projektových lokalit kraje Vysočina s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, VII/2023 - IV/2024

Průměrné koncentrace PM_{2,5} za celé období
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024

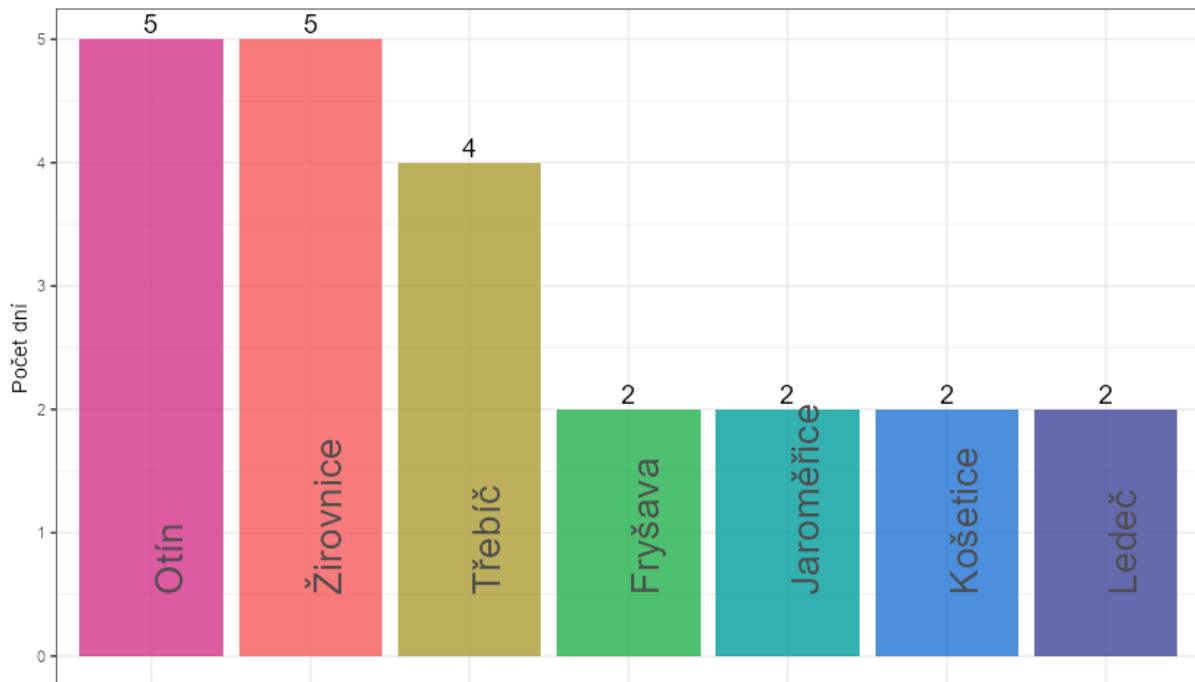


Obr. 28 – Srovnání průměrné koncentrace PM_{2,5} projektových lokalit kraje Vysočina s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, VII/2023 - IV/2024

Graf na následujícím Obr. 29 zobrazuje poslední legislativou sledovanou charakteristiku pro suspendované částice PM₁₀. Jedná se o imisní limit pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀, jehož hodnota může být z kalendářní rok 35x překročena. V grafu je zobrazen právě počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀.

Z grafu je patrné, že k překročení imisního limitu na žádné z vybraných lokalit nedošlo. Počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro denní koncentrace PM₁₀ se pohyboval v rozmezí 2–5 dní. Nejvíce překročení dosáhly lokality Otín a Žirovnice, následovány lokalitou Třebíč. Zbýlé lokality naměřily shodně 2 překročení.

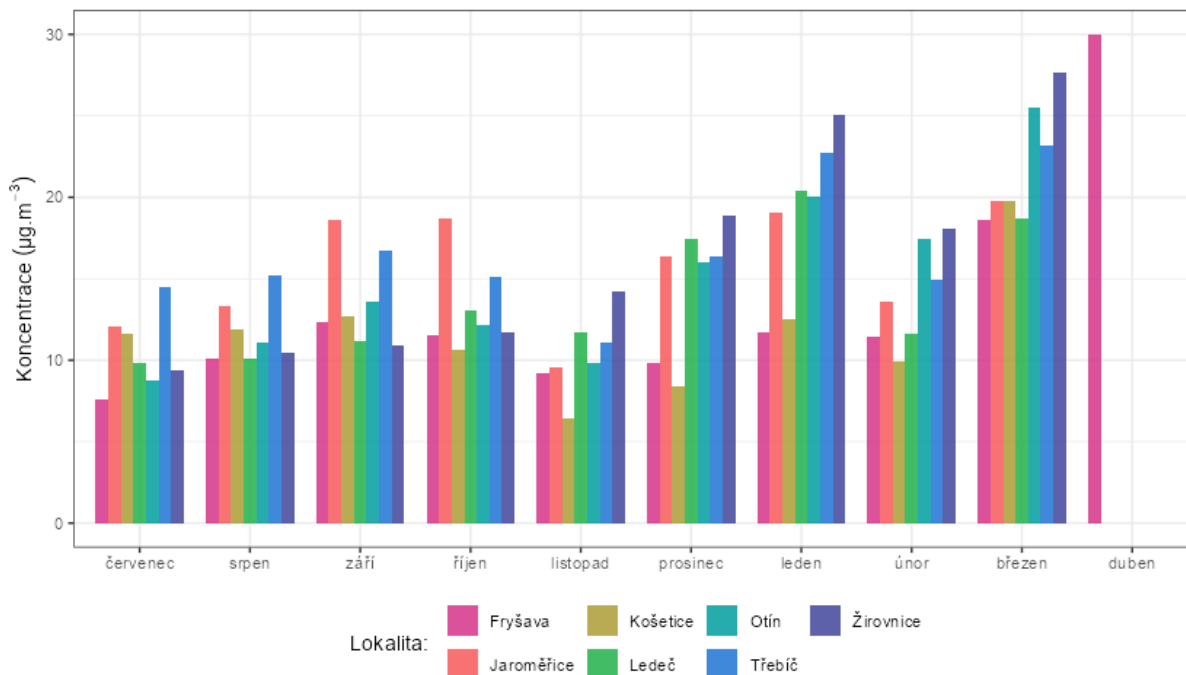
Počet dní s koncentracemi PM₁₀ vyššími, než je hodnota denního imisního limitu
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 29 – Počet dní s průměrnými denními koncentracemi PM₁₀ vyššími, než je hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀, vybrané lokality imisního monitoringu, VII/2023 - IV/2024

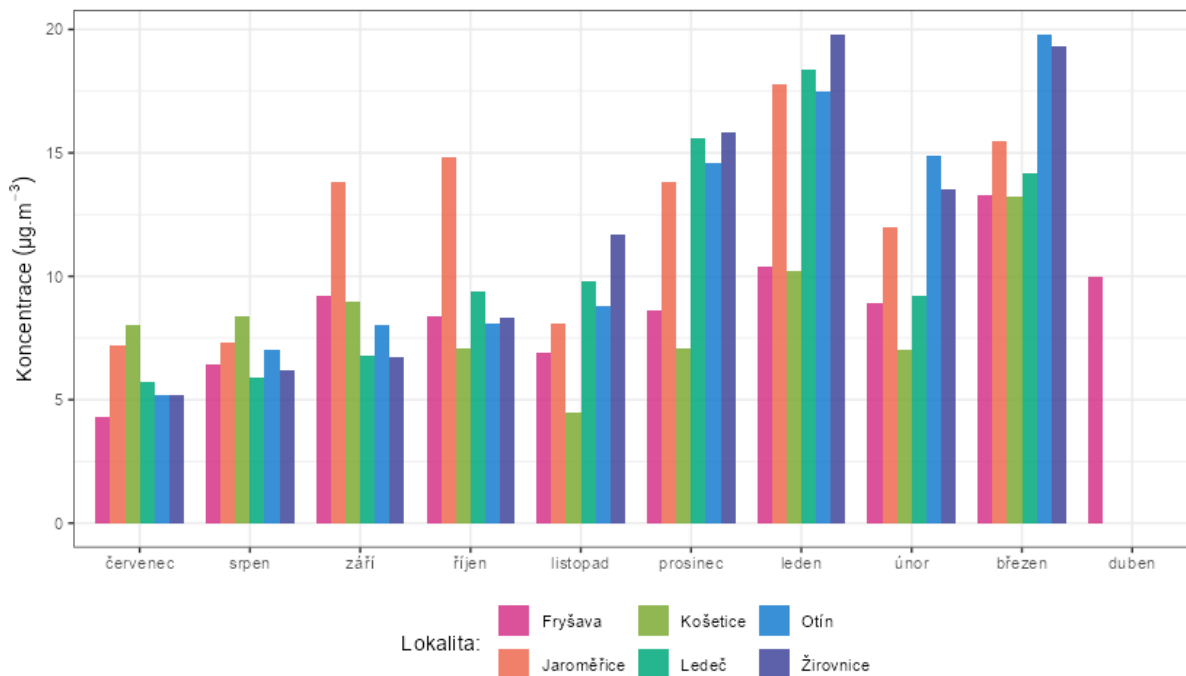
Následující grafy zobrazují průměrné měsíční koncentrace PM₁₀ a PM_{2,5} naměřené ve vybraných lokalitách. Z obou grafů je patrné, že vývoj koncentrací v jednotlivých měsících byl na všech lokalitách podobný. Rovněž je patrné, že obdobně jako v projektových lokalitách kraje Vysočina byly i v ostatních lokalitách naměřeny nejvyšší koncentrace zejména v lednu a březnu. Je tedy zřejmé, že vliv na zvýšené koncentrace neměly lokální zdroje, ale ovlivnění bylo regionální, resp. nadregionální.

Průměrné měsíční koncentrace PM₁₀
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 30 – Srovnání průměrných měsíčních koncentrací PM₁₀ projektových lokalit kraje Vysočina s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, VII/2023 - IV/2024

Průměrné měsíční koncentrace PM_{2.5}
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



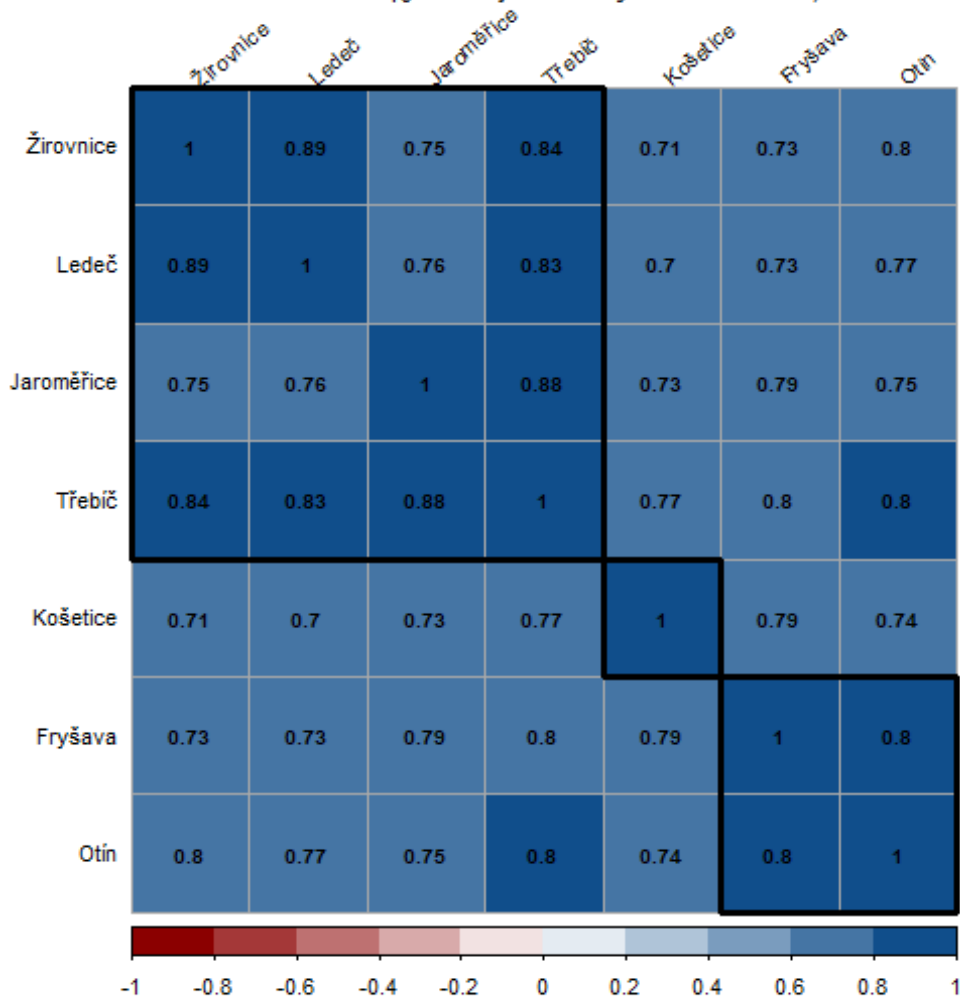
Obr. 31 – Srovnání průměrných měsíčních koncentrací PM_{2,5} projektových lokalit kraje Vysočina s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, VII/2023 - IV/2024

Velmi dobrou korelaci mezi jednotlivými lokalitami potvrzuje i následující Obr. 32 a Obr. 33. Ty na korelogramech zobrazuje, jak spolu jednotlivé lokality korelují. Modrá barva symbolizuje silnou pozitivní korelaci (když roste jedna veličina, roste i druhá), bílá značí žádnou korelaci, červená pak silnou negativní korelaci (jedna veličina stoupá a druhá klesá).

Korelogram na Obr. 32 zobrazuje korelace sestrojené nad 24h daty PM₁₀ z měření v projektových i dalších vybraných lokalitách. Z korelogramu je dobře patrné, že všechny lokality mezi sebou dobře korelují, mezi některými existuje na úrovni denních koncentrací poměrně silná vazba (např. lokality Ledeč a Žirovnice).

Korelogram je rozdělen do 3 clusterů, mezi kterými existuje užší vazba. Je patrné, že lokalita Košetice se od ostatních liší, proto je v samostatném clusteru. To je pravděpodobně způsobeno umístěním mimo obec, tudíž s odlišnou dynamikou. Silnější vazbu mezi sebou mají rovněž lokality Fryšava a Otín. Ostatní lokality mají mezi sebou silnější vazbu. Tyto výsledky naznačují, že v lokalitách Fryšava a Otín může mít významnější vliv lokální ovlivnění. Přesto je korelace stále velmi dobrá a na všech lokalitách jsou patrné nadregionální vlivy související především s počasím.

Korelace koncentrací PM₁₀ mezi jednotlivými lokalitami, 24h data

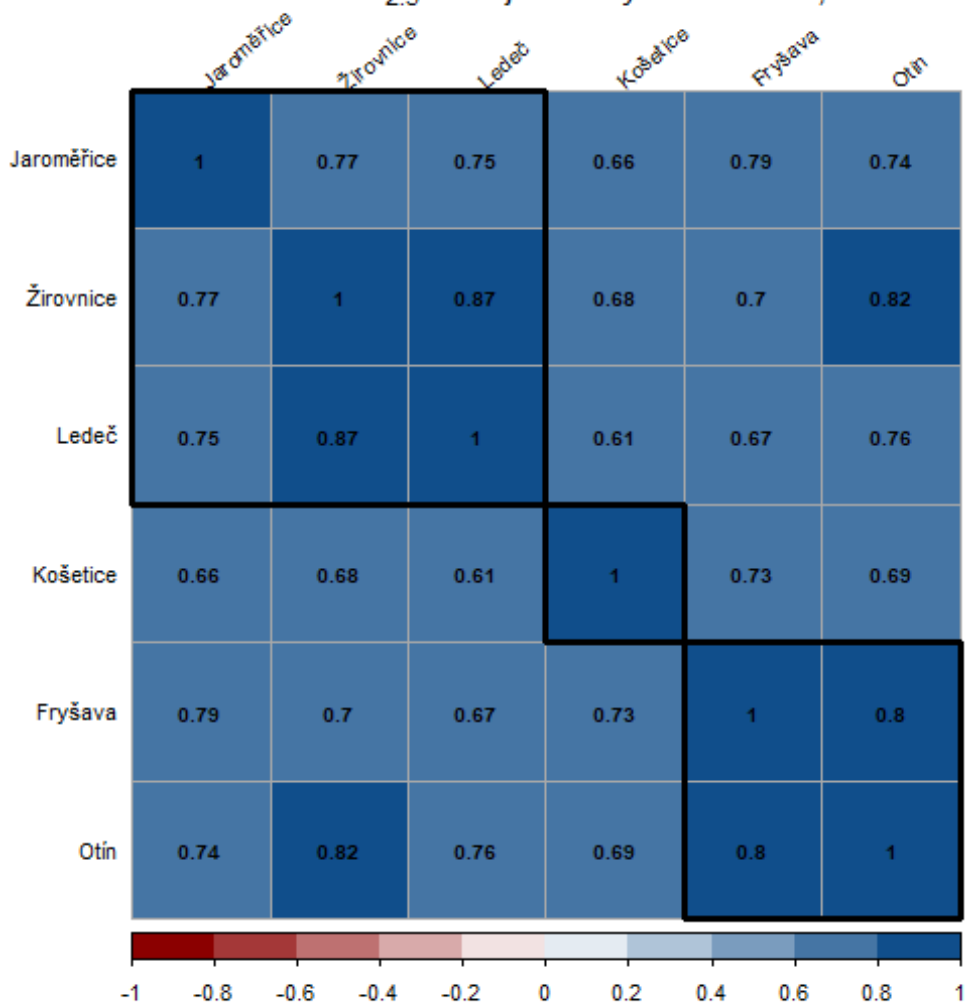


Obr. 32 – Korelogram 24hodinových koncentrací PM₁₀ lokality kraje Vysočina, VII/2023 – IV/2024

Korelogram na Obr. 33 zobrazuje korelace sestavené nad 24h daty $PM_{2.5}$ z měření v projektových i dalších vybraných lokalitách. Z korelogramu je dobře patrné, že všechny lokality mezi sebou dobře korelují, mezi některými existuje na úrovni denních koncentrací poměrně silná vazba (např. lokality Kunovice a Růžďka).

Korelogram je rozdělen do 3 clusterů, mezi kterými existuje užší vazba. Opět je patrné, že lokalita Košetice se od ostatních liší, a rovněž lokality Fryšava a Otín mají mezi sebou silnější vazbu. Tyto výsledky naznačují, že v lokalitách Salaš a Prlov může mít významnější vliv lokální ovlivnění. Přesto je korelace stále velmi dobrá a na všech lokalitách jsou patrné nadregionální vlivy související především s počasím.

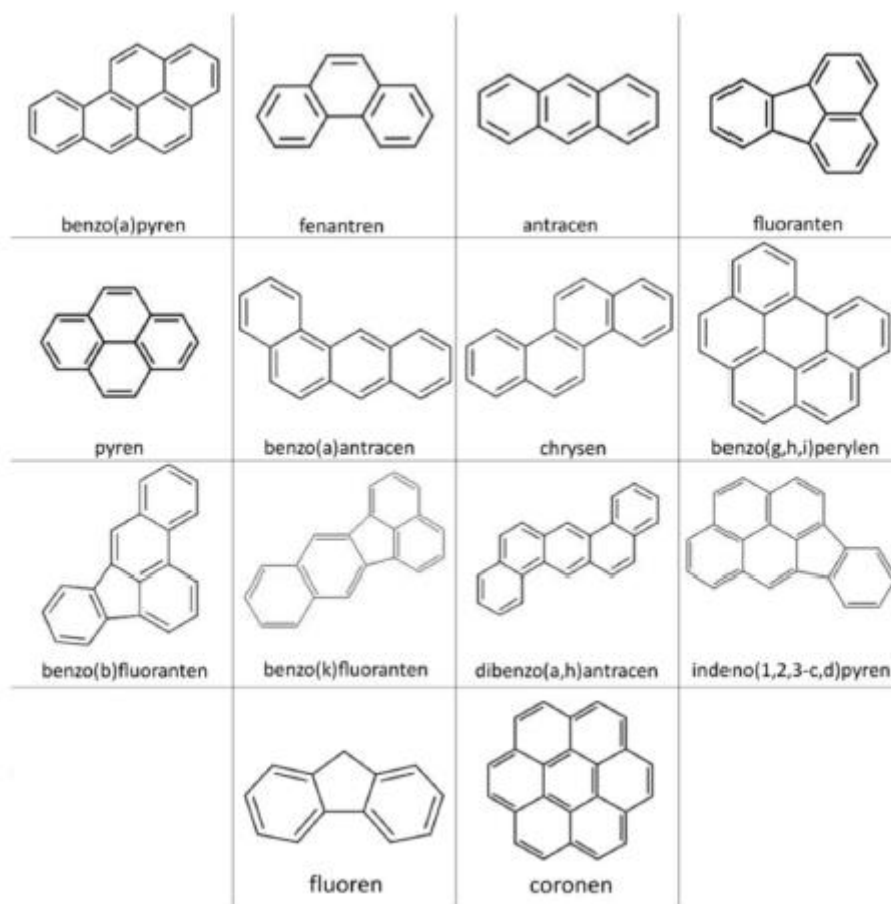
Korelace koncentrací $PM_{2.5}$ mezi jednotlivými lokalitami, 24h data



Obr. 33 – Korelogram 24hodinových koncentrací PM_{10} , lokality kraje Vysočina, VII/2023 – IV/2024

3.2 POLYCYKlickÉ AROMATICKÉ UHLOVODÍKY, BENZO[A]PYREN

Benzo[a]pyren je legislativním zástupcem polyaromatických uhlovodíků. Přírodní hladina pozadí benzo[a]pyrenu může být s výjimkou výskytu lesních požárů téměř nulová. Jeho antropogenním zdrojem, stejně jako ostatních polycyklických aromatických uhlovodíku (PAH), je jednak nedokonalé spalování fosilních paliv, jak ve stacionárních (domácí topeniště) tak i v mobilních zdrojích (motory spalující naftu), ale také výroba koksu, železa a obalovny živičných směsí. Benzo[a]pyren, stejně jako další PAH s 5 a více aromatickými jádry, je navázán především na částice menší než 2,5 µm. Další typické zástupce PAH uvádí následující Obr. 34.

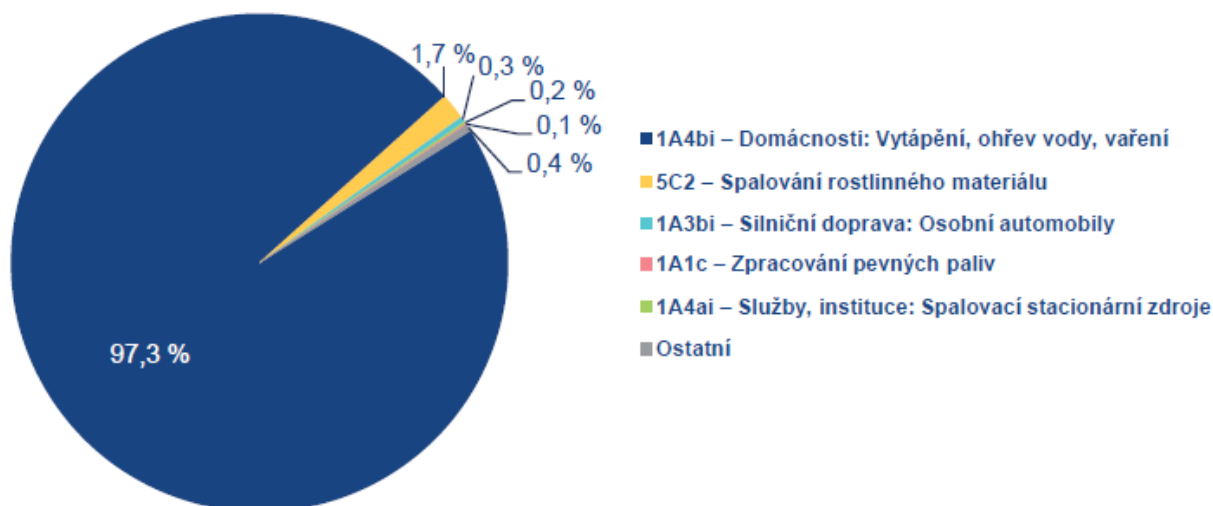


Obr. 34 – Polycyklické aromatické uhlovodíky

U benzo[a]pyrenu, stejně jako u některých dalších PAH, jsou prokázány karcinogenní účinky na lidský organismus.

Emise PAH, z nichž je v oblasti kvality ovzduší sledován zejména benzo[a]pyren, jsou produkovány téměř výhradně spalovacími procesy, při nichž nedochází k dostatečné oxidaci přítomných organických spalitelných látek. Benzo[a]pyren je produktem nedokonalého spalování při teplotách 300 až 600 °C. Mezi jeho nejvýznamnější zdroje se proto řadí spalování pevných paliv v kotlích nižších výkonů, především v domácích topeništích (sektor 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření, Obr. 35) a to z důvodu podílu 97,3 % celkové produkce benzo[a]pyrenu v roce 2021. Dalším významnějším

zdrojem je *spalování rostlinného materiálu (NFR 5C2)*, které se podílí v roce 2021 na celkových emisích 1,7 %. Vliv dopravy se uplatňuje především podél dálnic, komunikací s intenzivní dopravou a na území větších městských celků. Emise benzo[a]pyrenu z průmyslových zdrojů, především z koksoven, sice nepředstavují významný podíl na celkových emisích, ale v lokálním měřítku mohou i s ohledem na celoroční provoz zásadně ovlivňovat kvalitu ovzduší [8].

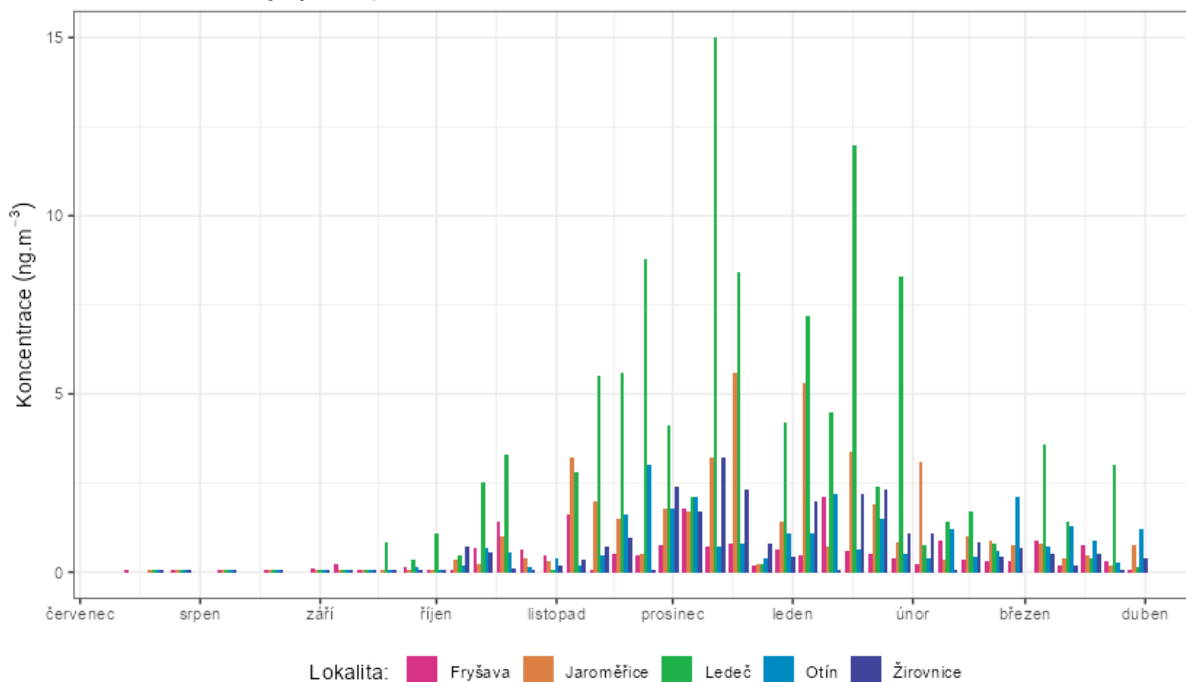


Obr. 35 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích benzo[a]pyrenu v ČR, rok 2021 [8]

V lokalitách kraje Vysočina probíhaly 24hodinové odběry benzo[a]pyrenu (a dalších PAH). Výsledky uvádí následující graf na Obr. 36. Velmi vysoké koncentrace byly měřeny především v prosinci a lednu. Mezi lokalitami bylo maxima dosaženo v prosinci v lokalitě Ledeč. Obecně lze říci, že vysoké koncentrace jsou hlavně v topné sezóně, mimo takřka nulové. Pro zobrazení byly v případě hodnot pod mezí detekce použity ½ hodnoty detekčního limitu.

Průměrné denní koncentrace benzo[a]pyrenu

Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



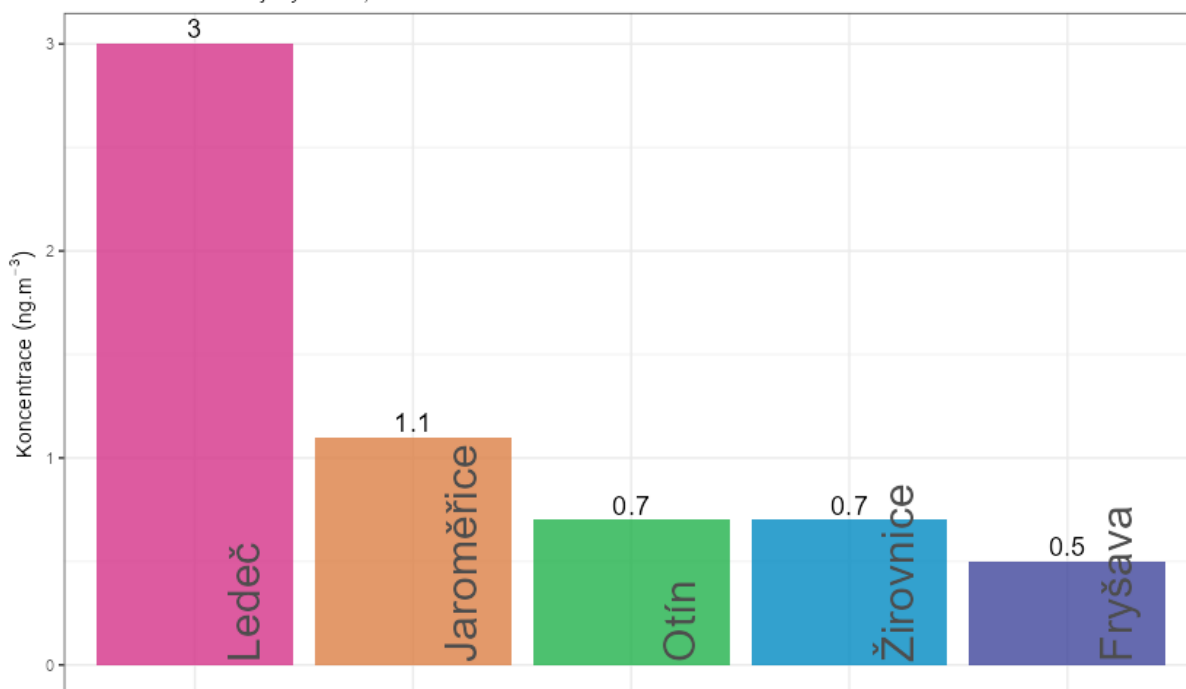
Obr. 36 – Koncentrace benzo[a]pyrenu (24. hodinový odběr), lokalita Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci benzo[a]pyrenu je 1 ng.m^{-3} . Data se však neodebírala po celý rok, takže srovnání s imisním limitem je orientační, přesto lokalita Leděč překračuje hodnotu imisního limitu poměrně významně, koncentrace v lokalitě Jaroměřice se pohybují na hranici hodnoty imisního limitu, ostatní lokality se pohybují pod limitem. Grafické znázornění průměrných hodnot je uvedeno na Obr. 37.

Graf na Obr. 38 zobrazuje zprůměrované měsíční průměry za VII/2023 - IV/2024. V letních měsících jsou koncentrace téměř nulové. Avšak v chladné části roku, kdy jsou v provozu lokální topeniště, mohou být koncentrace poměrně vysoké.

Průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu za celé období

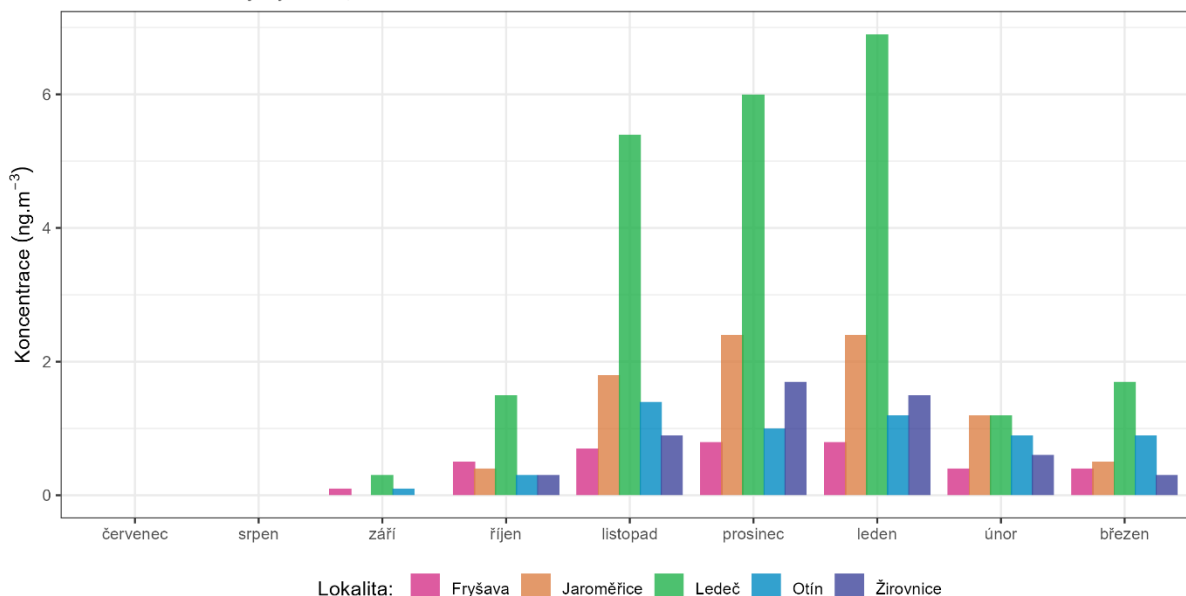
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 37 – Vývoj průměrných ročních koncentrací benzo[a]pyrenu, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

Průměrné měsíční koncentrace benzo[a]pyrenu

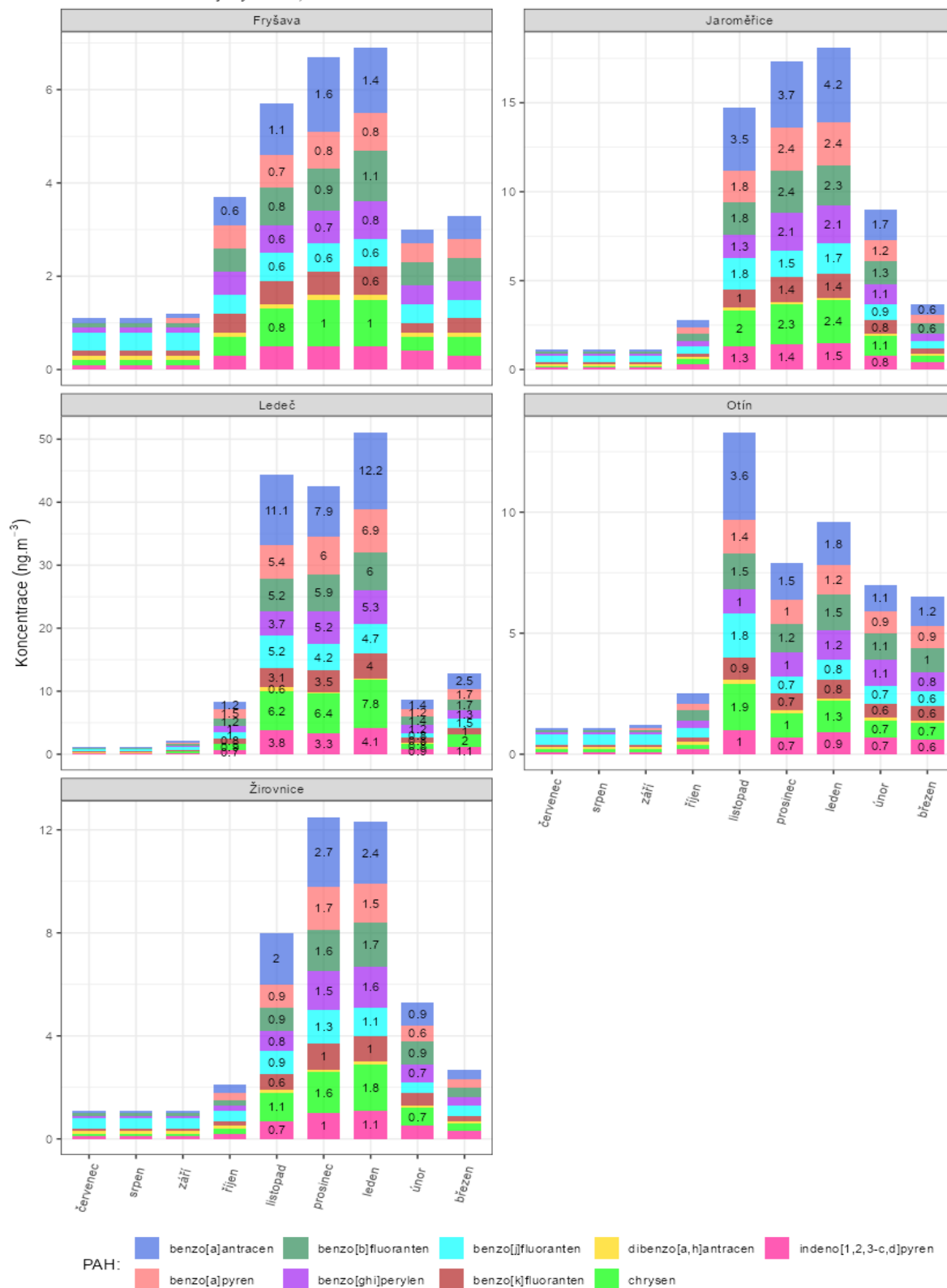
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 38 – Průměrných měsíční koncentrací benzo[a]pyrenu, Kraj Vysočina, VII/2023 - IV/2024

Kromě legislativou sledovaného benzo[a]pyrenu byly analyzovány i další polycyklické aromatické uhlovodíky. Průměrné měsíční koncentrace jsou uvedeny na následujícím Obr. 39. Jednotlivé denní odběry v lokalitách pak uvádí Obr. 40 – Obr. 44.

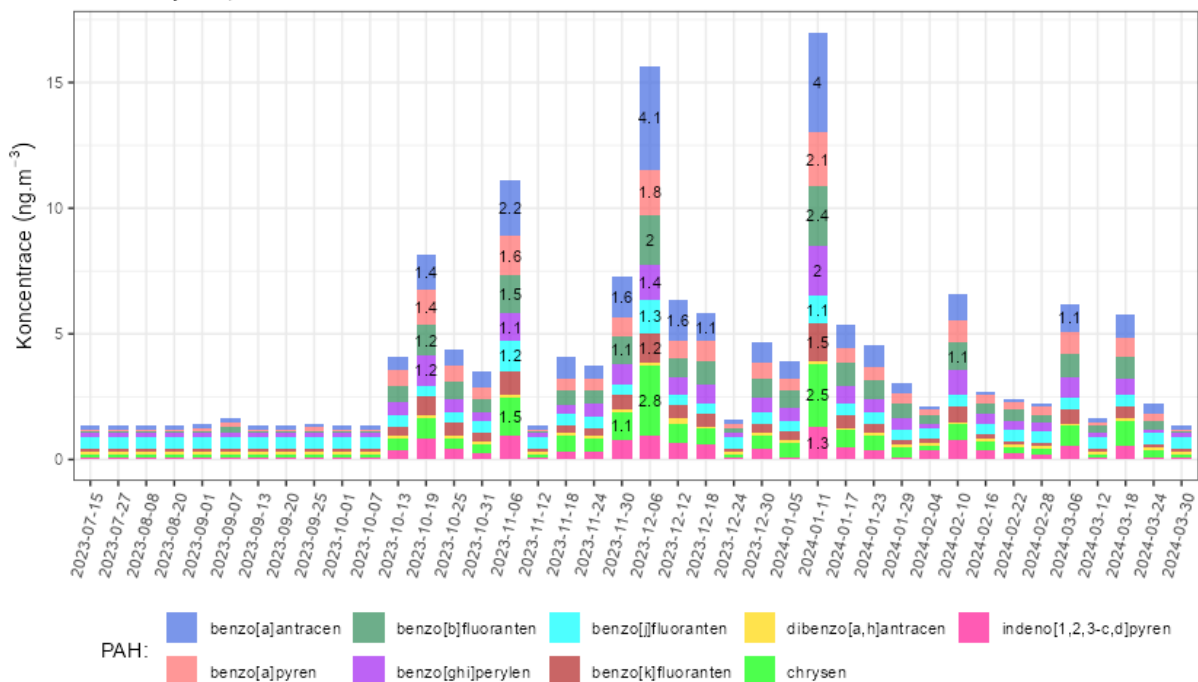
Průměrné denní koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků
Srovnání lokalit v kraji Vysočina, 07/2023 - 04/2024



Obr. 39 – Průměrné měsíční koncentrace jednotlivých PAH v jednotlivých lokalitách kraje Vysočina, VII/2023 – IV/2024

Průměrné denní koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků

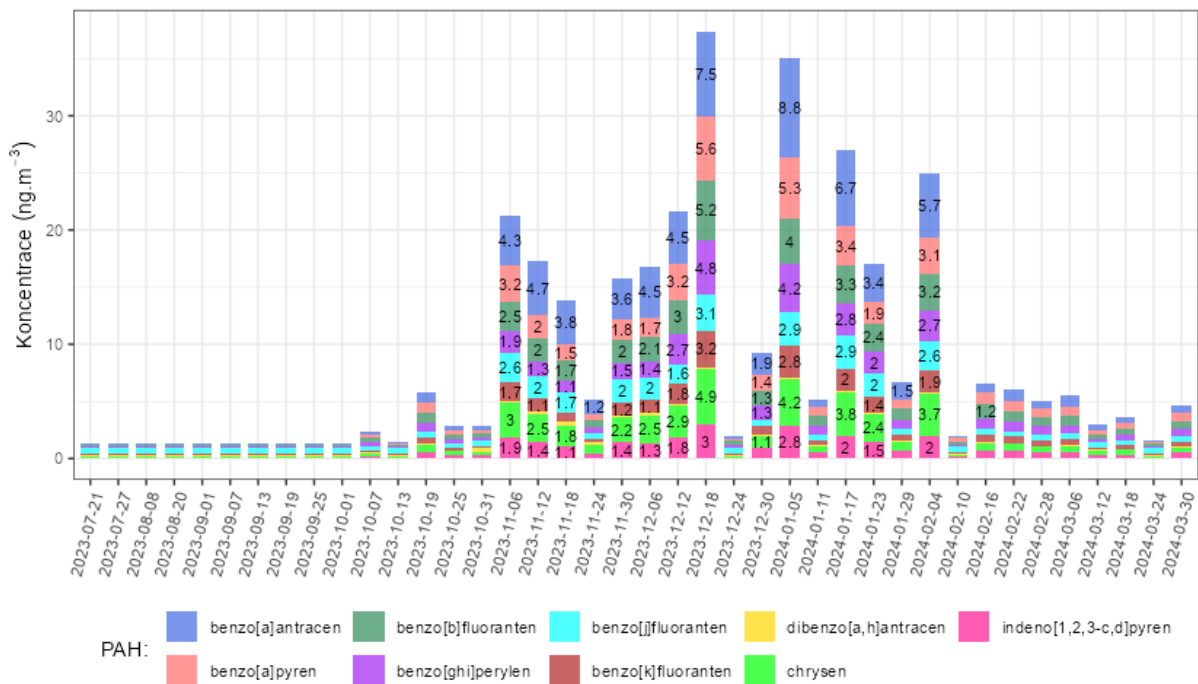
Lokalita Fryšava, 07/2023 - 04/2024



Obr. 40 – Průměrné denní koncentrace PAH, lokalita Fryšava, VII/2023 – IV/2024

Průměrné denní koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků

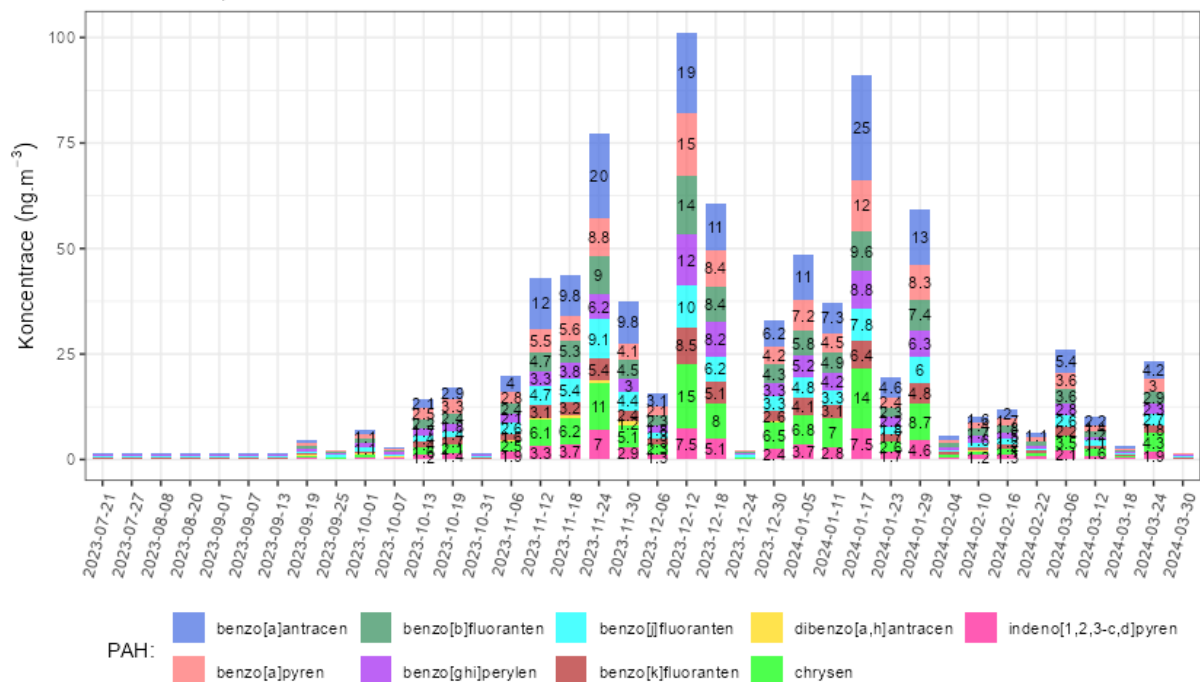
Lokalita Jaroměřice, 07/2023 - 04/2024



Obr. 41 – Průměrné denní koncentrace PAH, lokalita Jaroměřice, VII/2023 – IV/2024

Průměrné denní koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků

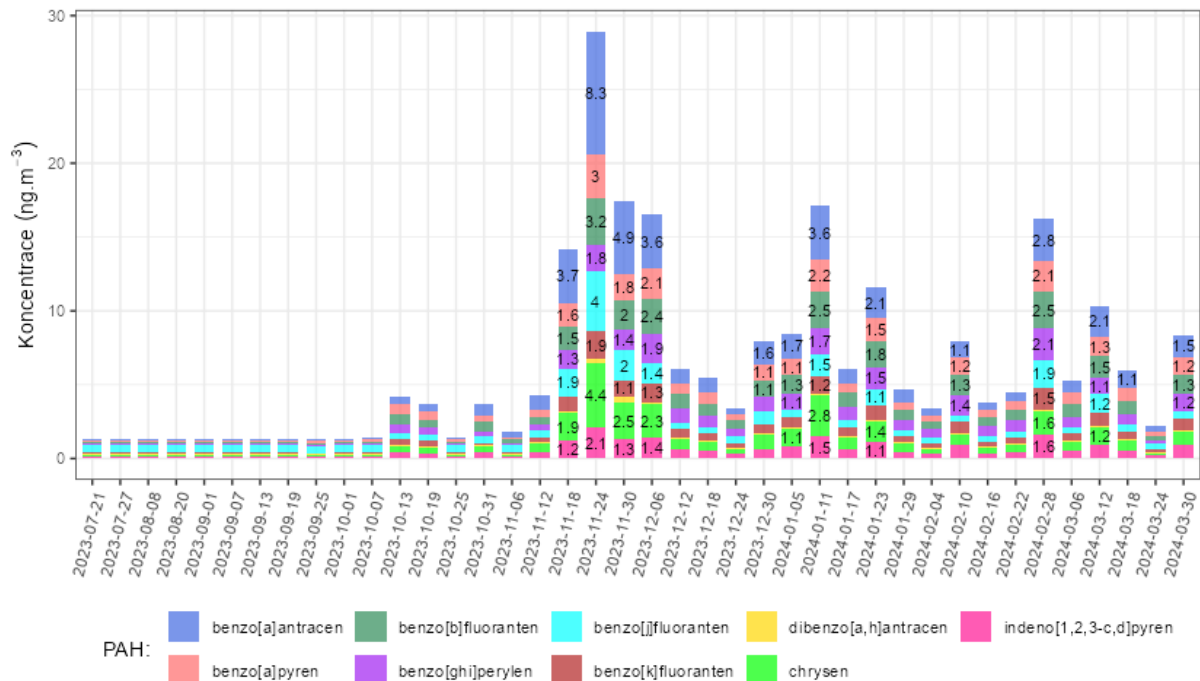
Lokalita Ledeč, 07/2023 - 04/2024



Obr. 42 – Průměrné denní koncentrace PAH, lokalita Ledeč, VII/2023 – IV/2024

Průměrné denní koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků

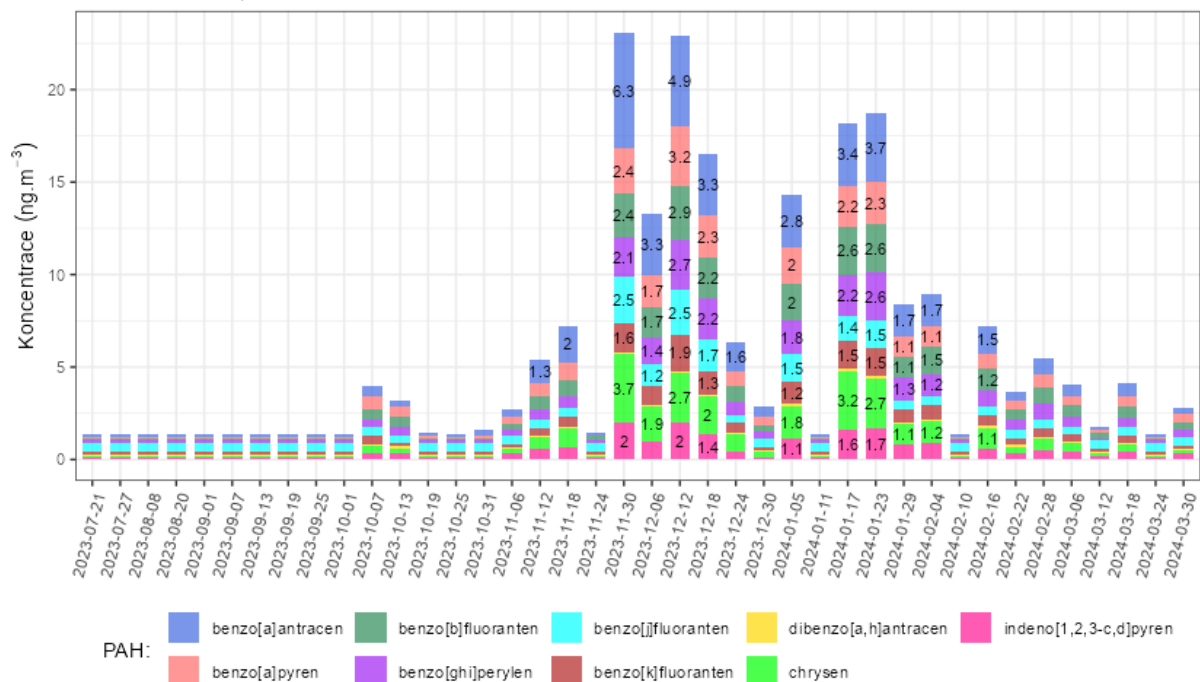
Lokalita Otín, 07/2023 - 04/2024



Obr. 43 – Průměrné denní koncentrace PAH, lokalita Otín, VII/2023 – IV/2024

Průměrné denní koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků

Lokalita Žirovnice, 07/2023 - 04/2024



Obr. 44 – Průměrné denní koncentrace PAH, lokalita Žirovnice, VII/2023 – IV/2024

4 ZÁVĚRY

- Vývoj průměrných denních koncentrací **PM₁₀** i **PM_{2,5}** odpovídá vývoji koncentrací na dalších stanicích státní sítě imisního monitoringu. Na úrovni hodinových koncentrací ovlivňují vývoj meteorologické podmínky (např. teplota) a s nimi související činnosti – zejména vytápění v lokálních topeništích. Maximální koncentrace PM byly měřeny ve večerních a nočních hodinách po zatopení a dále v době ranní dopravní špičky. Důležitým faktorem jsou rovněž meteorologické podmínky, zejména teplota a rychlost větru. Pokud je bezvětří, nedochází k rozptylu škodlivin, ale naopak k jejich kumulaci a koncentrace rostou.
- Průměrné roční koncentrace PM₁₀ se pohybovaly v rozmezí 11,5 – 16,5 µg·m⁻³, koncentrace PM_{2,5} pak v rozmezí 8,6 – 12,4 µg·m⁻³. Hodnoty průměrných koncentrací za období VII/2023 - IV/2024 se tak na všech lokalitách pohybují pod hodnotami imisních limitů pro průměrné roční koncentrace PM₁₀ a PM_{2,5}.
- Za období VII/2023 - IV/2024 byla hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ (50 µg·m⁻³) překročena 2 – 5x, imisní limit pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ je tak plněn na všech lokalitách.

- Koncentrace benzo[a]pyrenu v Kraji Vysočina se velmi odvíjí od provozu svého nejvýznamnějšího zdroje – lokálních topenišť. Nejvyšší koncentrace jsou tak měřeny v chladné části roku v topné sezóně. Odběry neprobíhaly po celý rok, naměřené koncentrace lze tedy s imisním limitem srovnat pouze orientačně. Lokalita Ledec překračuje hodnotu imisního limitu poměrně významně, koncentrace v lokalitě Jaroměřice se pohybují na hranici hodnoty imisního limitu, ostatní lokality se pohybují pod limitem. Průměrné hodnoty za celé období se pohybovaly v intervalu 0,5 – 3 ng·m⁻³.

- O překročení imisních limitů zpravidla rozhoduje topná sezóna. Pokud je dlouhá a vyskytují se v ní častěji dny se zhoršenými rozptylovými podmínkami, popř. s velmi nízkými teplotami, může dojít k překročení imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀, popř. pro průměrnou roční koncentraci benzo[a]pyrenu.

5 CITOVANÁ LITERATURA

- [1] Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší ve znění pozdějších předpisů, 2012 - 2017, MŽP, 2012.
- [2] R Core Team, „R: A language and environment for statistical computing,“ R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria., 2018. [Online]. Available: <https://www.R-project.org/>.
- [3] H. Wickham a et al., „Welcome to the tidyverse,“ *Journal of Open Source Software*, sv. 4, č. 43, p. 1686, 2019.
- [4] D. Carslaw a K. Ropkins, „Openair - an R package for air quality data analysis,“ *Environmental*, Sv. %1 z %227-28, pp. 52 - 61, 2012.
- [5] ČHMÚ, „Teplota a srážky na území ČR za rok 2023,“ 3 1 2024. [Online]. Available: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2024/Teplota_a_srazky_na_uzemi_CR_za_rok_2023.pdf.
- [6] ČHMÚ, „Předběžná zpráva s hodnocením kvality ovzduší za rok 2023,“ 18 1 2024. [Online]. Available: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2024/Predbezna_zprava_2023_UKO_isko.pdf.
- [7] M. VOJTÍŠEK, „O provozu vznětových motorů a aerosolech jimi produkovaných v městských aglomeracích,“ *Konference ČAS 2010. Sborník konference.*, č. ISBN: 978-80-86186-25-2, 2010.
- [8] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2022; ISBN 978-80-7653-060-7 (pdf),“ 2023. [Online]. Available: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/22groc/gr22cz/Obsah_CZ.html.
- [9] U. EPA, „Particulate Matter (PM) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/pm-pollution>.
- [10] J. Keder, „Rozbor výsledků kontinuálního měření spekter velikostí částic analyzátorů Grimm,“ v *Ovzduší 2007*, Brno, 2007.
- [11] Vyhláška č. 330/2012 Sb. o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích, Praha, 2012.
- [12] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České Republiky 1996 - 2015,“ 1 12 2016. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html.
- [13] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České Republiky,“ 1996 - 2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html.
- [14] ČHMÚ, „Registr emisí a zdrojů znečištění ovzduší,“ 2010-2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emisnibilance_CZ.html.
- [15] USEPA, „Nitrogen Dioxide (NO2) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/no2-pollution>.
- [16] P. WARNECK, *Chemistry of the natural atmosphere*, San Diego: Academic Press: ISBN 0-12-735632-0, 2000.
- [17] European Commission, „Position paper on air quality: nitrogen dioxide,“ 1997.
- [18] WHO, „Air quality guidelines for Europe, Second Edition,“ *WHO Regional Publications, European Series*, sv. No. 91, 2000.
- [19] J. H. Seinfeld a S. N. Pandis, *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*, New York: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-0-471-72017-1, 2006.
- [20] J. Fiala a D. Závodský, „Chemické aspekty znečištěného ovzduší – troposférický ozon.,“ v *Kompendium ochrany kvality ovzduší*, Praha, 2003.

- [21] I. Colbeck a A. R. Mackenzie, „Air Pollution by photochemical oxidants,“ *Air Quality Monographs*, č. Elsevier. ISBN 0-444-88542-0, 1994.
- [22] EEA, „Air quality in Europe — 2016 report,“ 2016. [Online]. Available: https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016/at_download/file.
- [23] ČHMÚ, kolektiv autorů, „Grafická ročenka 2017,“ Český hydrometeorologický ústav, 2018. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/Obsah_CZ.html.
- [24] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2018,“ 2019. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/18groc/gr18cz/IV.1.PM_CHMU2018.pdf. [Přístup získán 2019].
- [25] Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, 2012.
- [26] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2019,“ ISBN: ISBN 978-80-7653-009-6,“ ČHMÚ, 2020. [Online]. Available: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/Obsah_CZ.html.
- [27] R. Tolasz a H. Škáchová, „Rok 2021 v Česku,“ INFOMET, 12 01 2022. [Online]. Available: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1641983653>.
- [28] V. Michal, „O provozu vznětových motorů a aerosolech jimi produkovaných v městských aglomeracích,“ v *Konference ČAS 2010. Sborník konference*, Praha, 2010.
- [29] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020,“ ISBN: ISBN 978-80-7653-023-2,“ ČHMÚ, 2021. [Online]. Available: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/Obsah_CZ.html.
- [30] Š. L. Š. H. Tolasz R., „Počasí, podnebí a kvalita ovzduší v ČR v roce 2016 – vybrané události,“ 13 1 2016. [Online]. Available: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1484297500>.
- [31] R. Tolasz a H. Škáchová, „Rok 2022 v Česku,“ ČHMÚ, 01 2023. [Online]. Available: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2023/Zprava_Rok_2022.pdf.
- [32] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2021,“ ISBN: ISBN 978-80-7653-038-6,“ ČHMÚ Praha, 2022. [Online]. Available: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/21groc/gr21cz/Obsah_CZ.html.