

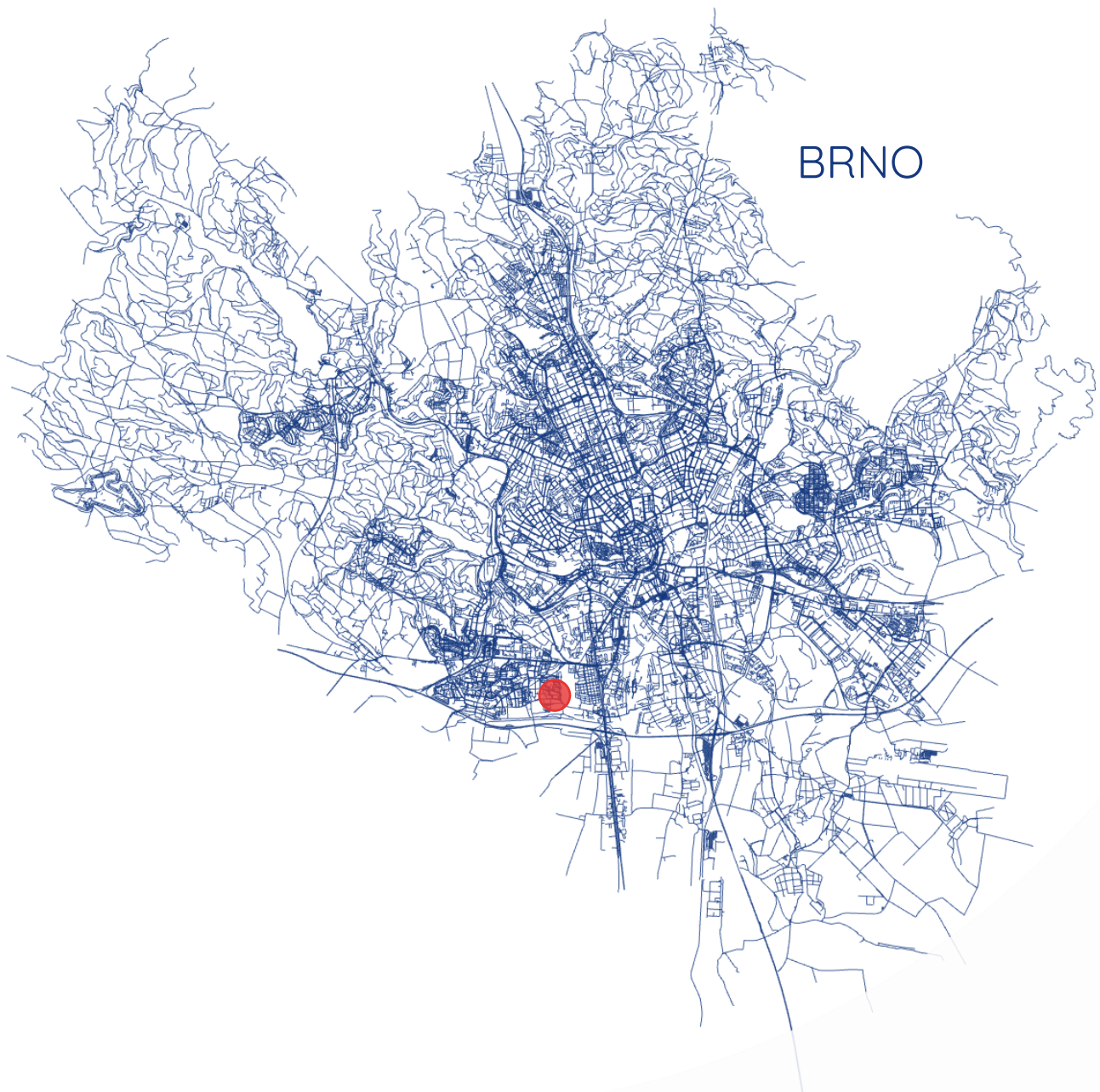


Český
hydrometeorologický
ústav

BOHUNICE – UL. LÁNY

vyhodnocení měření kvality ovzduší
mobilním vozem v ulici Lány

ODBORNÁ ZPRÁVA



Bohunice - ul. Lány

vyhodnocení měření kvality ovzduší mobilním vozem v ulici Lány v Brně v roce 2023

ZHOTOVITEL

Český hydrometeorologický ústav

zastoupen Mgr. Markem Riederem, ředitelem ČHMÚ

Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4

IČ: 00020699

DIČ: CZ00020699, není plátce DPH

Pobočka Brno

Kroftova 43, 616 67 Brno

ve věcech smluvních je oprávněn jednat:

Ing. Petr Janál, Ph.D., ředitel pobočky Brno

ve věcech technických je oprávněn jednat:

Mgr. Jáchym Brzezina Ph.D., vedoucí oddělení kvality ovzduší

tel: 737 387 741, email: jachym.brzezina@chmi.cz

OBJEDNATEL

Statutární město Brno

zastoupen Ing. Martinem Vaněčkem

Dominikánské nám. 196/1, 602 00, Brno

IČ: 4992785

DIČ: CZ44992785

kontaktní osoba: Ing. Markéta Durnová

příjemce: Magistrát města Brna, Odbor životního prostředí,

Kounicova 67, 601 67 Brno

ZPRACOVATEL

Mgr. Jáchym Brzezina, Ph.D.

Ing. Zuzana Vránová

DATUM PŘEDÁNÍ

12. 7. 2023

POČET STRAN

99

Obsah

ÚVOD	4
PARAMETRY MONITORINGU	5
<i>Monitorované parametry</i>	5
<i>Lokalita monitoringu</i>	5
<i>Stacionární stanice imisního monitoringu Brno-Lány</i>	7
METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY	8
VLIV METEOROLOGICKÝCH PODMÍNEK NA KVALITU OVZDUŠÍ.....	8
TEPLOTA VZDUCHU.....	9
RYCHLOST VĚTRU.....	13
SMĚR VĚTRU.....	17
ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY	19
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE.....	19
<i>Suspendované částice PM₁₀</i>	20
<i>Suspendované částice PM_{2,5}</i>	33
<i>Vztah mezi frakcemi</i>	42
OXIDY DUSÍKU.....	44
<i>Oxid dusičitý (NO₂)</i>	46
<i>Oxid dusnatý (NO)</i>	59
OXID SIŘIČITÝ (SO ₂).....	68
OXID UHELNATÝ (CO).....	77
KORELACE.....	88
<i>Korelace s teplotou vzduchu</i>	89
ZÁVĚR	96
POUŽITÁ LITERATURA	98

ÚVOD

V rámci této hodnotící zprávy byla vyhodnocena data z měřicí kampaně mobilním měřicím vozem Magistrátu města Brna umístěného po dobu přibližně 5 měsíců od poloviny prosince 2022 do druhé poloviny května roku 2023 v ulici Lány, v městské části Brno-Bohunice. Tato data byla dále srovnána s daty ze stacionární stanice imisního monitoringu Brno-Lány, nacházející se vzdušnou čarou 182 m od místa umístění měřicího vozu, avšak dále od dopravně zatížené ulice Lány.

Hodnoceny jsou jak imisní charakteristiky (koncentrace znečišťujících látek), tak meteorologické parametry, které jsou důležité pro hodnocení kvality ovzduší.

PARAMETRY MONITORINGU

Monitoring mobilním měřicím vozem Magistrátu města Brna probíhal od 13. 12. 2022 do 21. 5. 2023. Mobilní vůz provádí kontinuální měření koncentrací znečišťujících látek a také meteorologických parametrů. K dispozici jsou tak hodinové průměry těchto veličin.

MONITOROVANÉ PARAMETRY

Sledované znečišťující látky:

- suspendované částice PM₁₀
- suspendované částice PM_{2,5}
- suspendované částice PM₁
- oxid dusičitý (NO₂)
- oxid dusnatý (NO)
- oxidy dusíku (NO_x)
- oxid siřičitý (SO₂)
- oxid uhelnatý (CO)

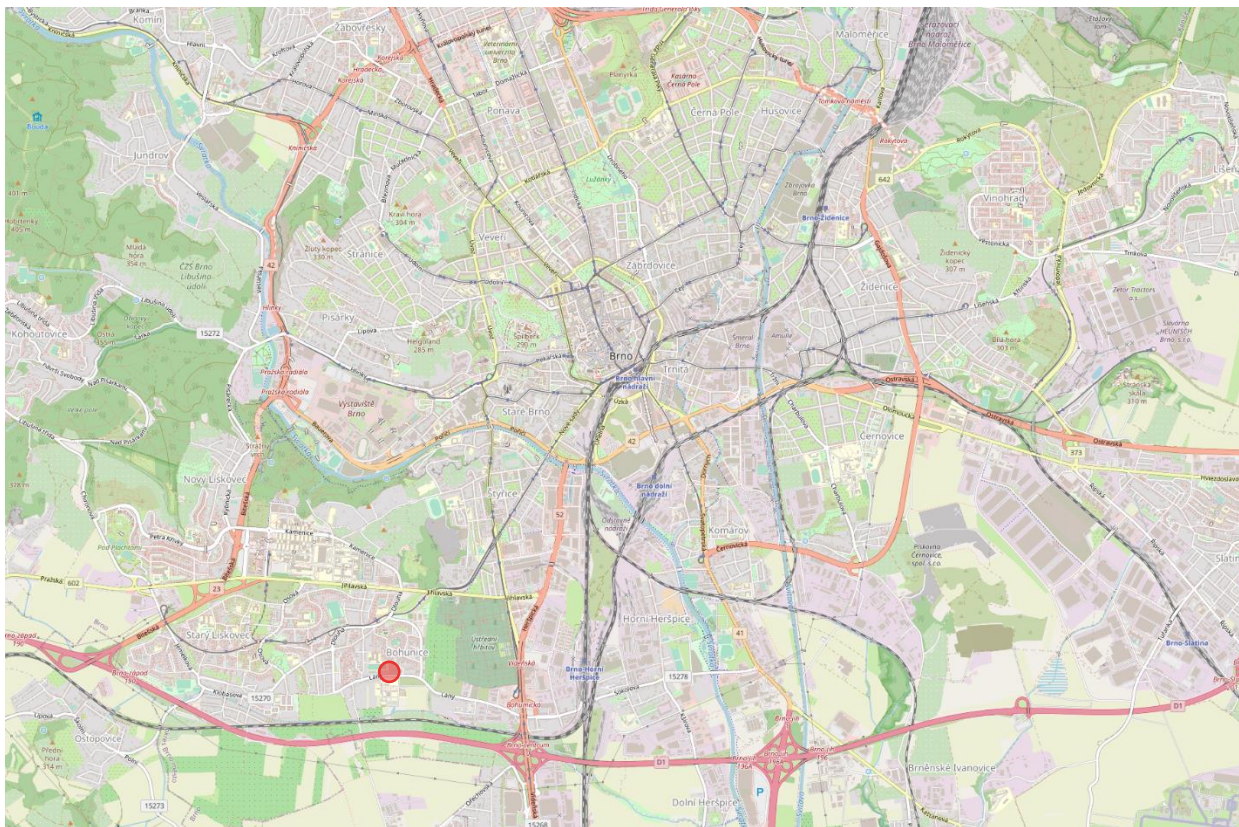
Sledované meteorologické parametry:

- směr větru
- rychlost větru
- teplota vzduchu ve 2 metrech
- relativní vlhkost vzduchu
- tlak vzduchu

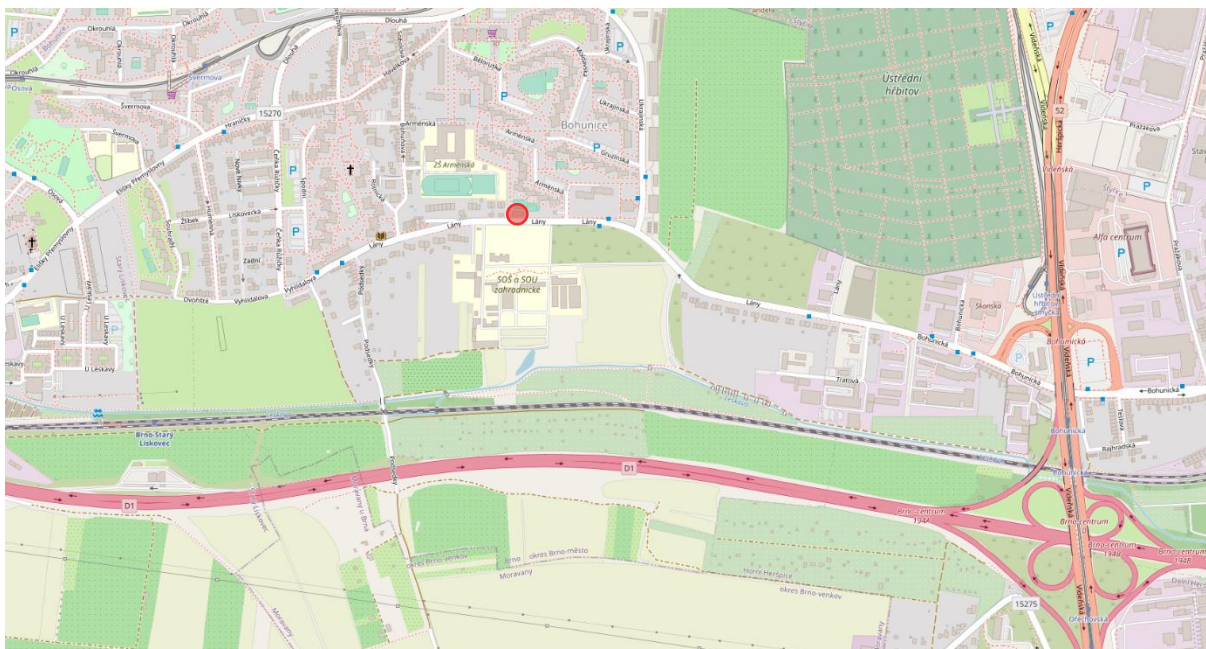
LOKALITA MONITORINGU

Měřicí vůz byl umístěn v ulici Lány v městské části Brno-Bohunice. Přesné souřadnice jsou 49,16625 s. š. a 16,58271 v. d. Toto místo přímo přiléhá ulici Lány a je vzdálené přibližně 180 metrů vzdušnou čarou od stacionární stanice imisního monitoringu Brno-Lány. Na sever od lokality měřicího vozu je zejména zástavba panelových domů. Ulice Lány se nachází několik metrů jižně od měřicího bodu a probíhá ve východo-západním směru. Na jih od měřicího bodu je zeleň v rámci areálu bývalé SOŠ zahradnické.

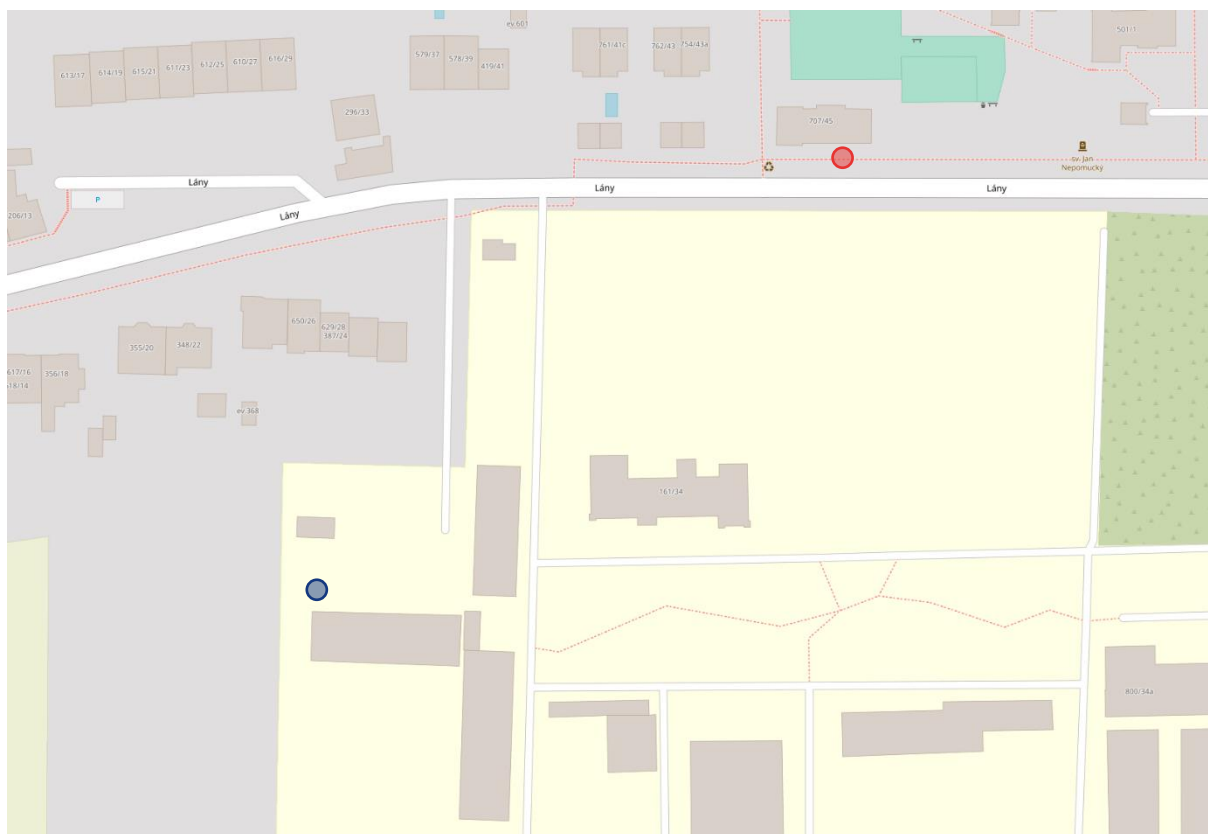
Následující mapy různého měřítka ukazují místo monitoringu měřicího vozu, u detailní mapy je vyznačena i stacionární stanice imisního monitoringu Brno-Lány.



Obrázek 1 - mapa umístění měřicího vozu v ulici Lány (červený bod) v rámci širšího okolí.
Zdroj: openstreetmaps.org



Obrázek 2 - mapa umístění měřicího vozu v ulici Lány (červený bod) v rámci bližšího okolí.
Zdroj: openstreetmaps.org



Obrázek 3 – detailní mapa okolí ulice Lány v městské části Brno-Bohunice s vyznačením umístění mobilního měřicího vozu (červený bod) a umístění stacionární stanice imisního monitoringu Brno-Lány (tmavě modrý bod).

STACIONÁRNÍ STANICE IMISNÍHO MONITORINGU BRNO-LÁNY

Stacionární automatizovaná stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA), se kterou jsou v rámci této zprávy hodnoty srovnávány, se nachází na okraji bývalého areálu Střední odborné školy zahradní a Středního odborného učiliště, na který navazují zahrady blízkých rodinných domků. Dálnice D1 se nachází ve vzdálenosti 415 metrů směrem na jih. Stanice je v provozu od 1. ledna 2000. Stanice je ve vlastnictví Magistrátu města Brna a je klasifikována jako pozad'ová, předměstská stanice v obytné a přírodní zóně.

V současnosti jsou na stanici monitorovány koncentrace oxidu siřičitého (SO_2), oxidu dusičitého (NO_2), oxidu dusnatého (NO), oxidů dusíku (NO_x), oxidu uhelnatého (CO), přízemního ozonu (O_3), suspendovaných částic PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ a PM_1 . Dále jsou zde sledovány meteorologické parametry – směr a rychlost větru, teplota vzduchu ve 2 metrech a relativní vlhkost vzduchu.

METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY

VLIV METEOROLOGICKÝCH PODMÍNEK NA KVALITU OVZDUŠÍ

Kvalitu ovzduší, mimo vlastní zdroje znečišťování ovzduší, výrazně ovlivňují i meteorologické podmínky. Obecně lze říci, že nejvyšší koncentrace znečišťujících látek v ovzduší bývají pozorovány v zimě, naopak nejnižší v létě. Výjimkou jsou koncentrace přízemního ozonu, kde je tomu přesně naopak v důsledku principu vzniku tohoto sekundárního polutantu fotochemickými reakcemi.

Důvodů pro vysoké koncentrace většiny znečišťujících látek v zimním období je více. S nízkými teplotami je spojeno vytápění domácností tuhými palivy, a právě lokální vytápění se dle emisní bilance 2020 podílí na emisích PM_{10} (55,3 %) i $PM_{2,5}$ (71,0 %) nejvýrazněji.

Velmi významnou roli, často dokonce dominantní, v kvalitě ovzduší hrají také rozptylové podmínky – především pak směr a rychlost větru a teplotní zvrstvení atmosféry. Při nízkých rychlostech větru je výrazně omezeno promíchávání vzduchu a dochází tedy ke kumulaci znečišťujících látek v místě zdroje. Negativní vliv mají také zimní teplotní inverze. Inverzní situace je synoptická situace, při níž teplota vzduchu s rostoucí nadmořskou výškou vzrůstá. Má tedy opačný průběh než obvyklý, kdy teplota s rostoucí nadmořskou výškou klesá. Inverzní vrstva v atmosféře zabraňuje promíchávání vzduchu a vede tedy k hromadění vodní páry (tvorba mlh a nízké inverzní oblačnosti) i znečištění vzduchu pod vrstvou inverze.

Je důležité zmínit, že zhoršené rozptylové podmínky nemusí znamenat vysoké koncentrace znečišťujících látek v ovzduší, ale naopak situace s vysokými koncentracemi polutantů nastávají takřka ve všech případech za nepříznivých rozptylových podmínek.

Na základě směru větru se znečišťující látky v ovzduší pohybují do okolních oblastí, často stovky kilometrů a hovoříme o tzv. dálkovém transportu, který může být i přeshraniční.

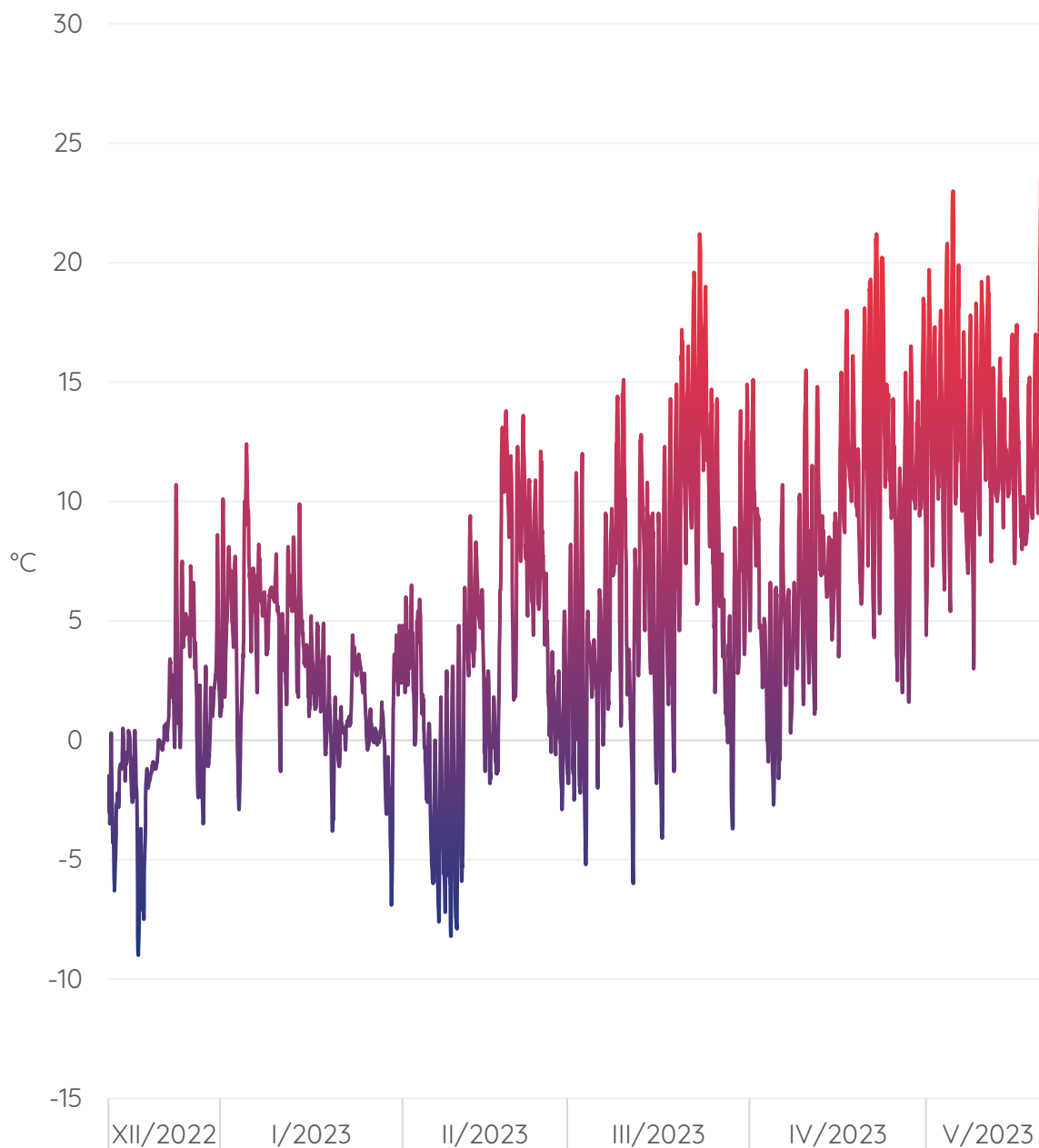
Kvalitu ovzduší ovlivňují také srážky, ať už dešťové či sněhové, které mají pozitivní vliv a snižují koncentrace znečišťujících látek v ovzduší prostřednictvím mokré depozice.

TEPLOTA VZDUCHU

Teplota vzduchu může přímo i nepřímo ovlivňovat koncentrace znečišťujících látek. V chladném období například determinuje intenzitu vytápění, tedy množství emisí z této kategorie zdrojů.

Celková průměrná teplota vzduchu v lokalitě ulice Lány (měřicí vůz) za celou měřicí kampaň byla 5,80 °C, maximální naměřená hodinová průměrná teplota má hodnotu 27,2 °C, naopak minimální -9,0 °C.

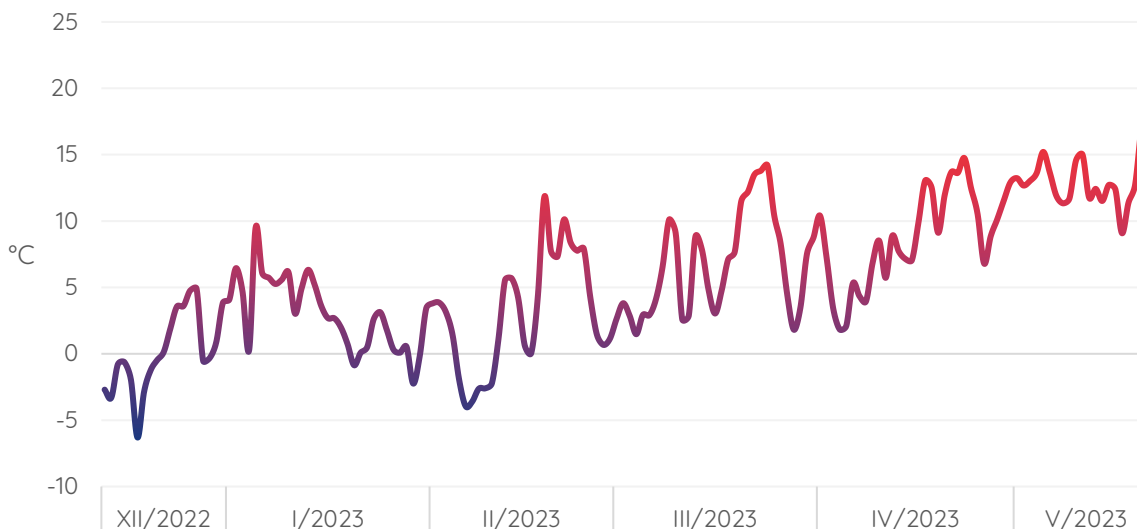
Následující graf ukazuje hodinový průběh teploty vzduchu z měřicího vozu v ulici Lány za celé období monitoringu.



Obrázek 4 – hodinová průměrná teplota vzduchu v lokalitě ulice Lány naměřená měřicím vozem za celou měřicí kampaň.

V grafu je dobře patrné, že nejchladnější bylo období v polovině prosince a na začátku února. Následně se v jarním období postupně oteplevalo.

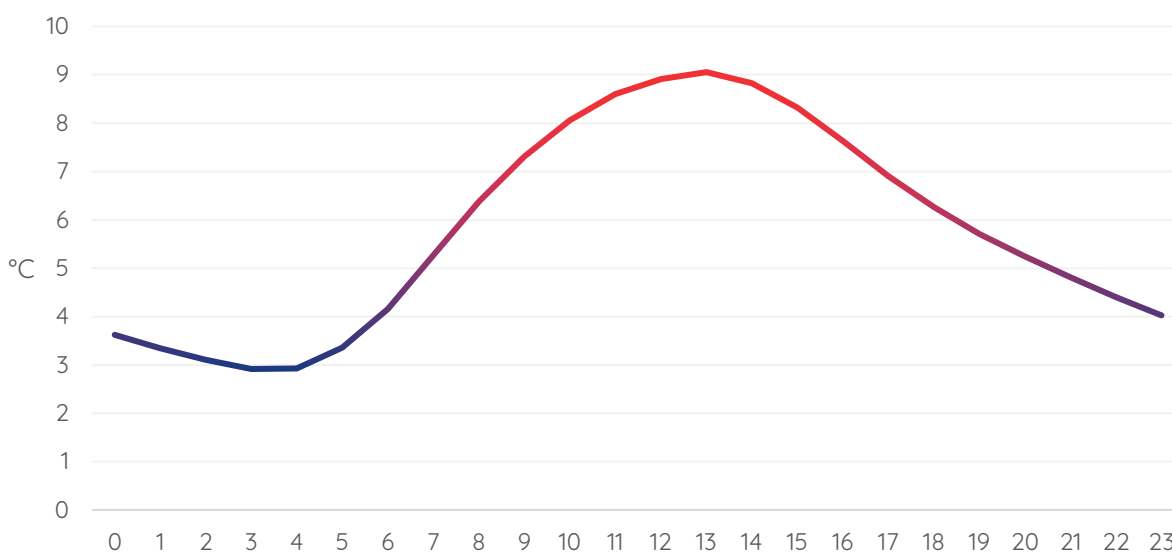
Graf níže ukazuje průměrné denní teploty vypočítané z výše uvedených hodinových průměrných teplot vzduchu.



Obrázek 5 – průměrná denní teplota vzduchu v lokalitě ulice Lány naměřená měřicím vozem za celou měřicí kampaň.

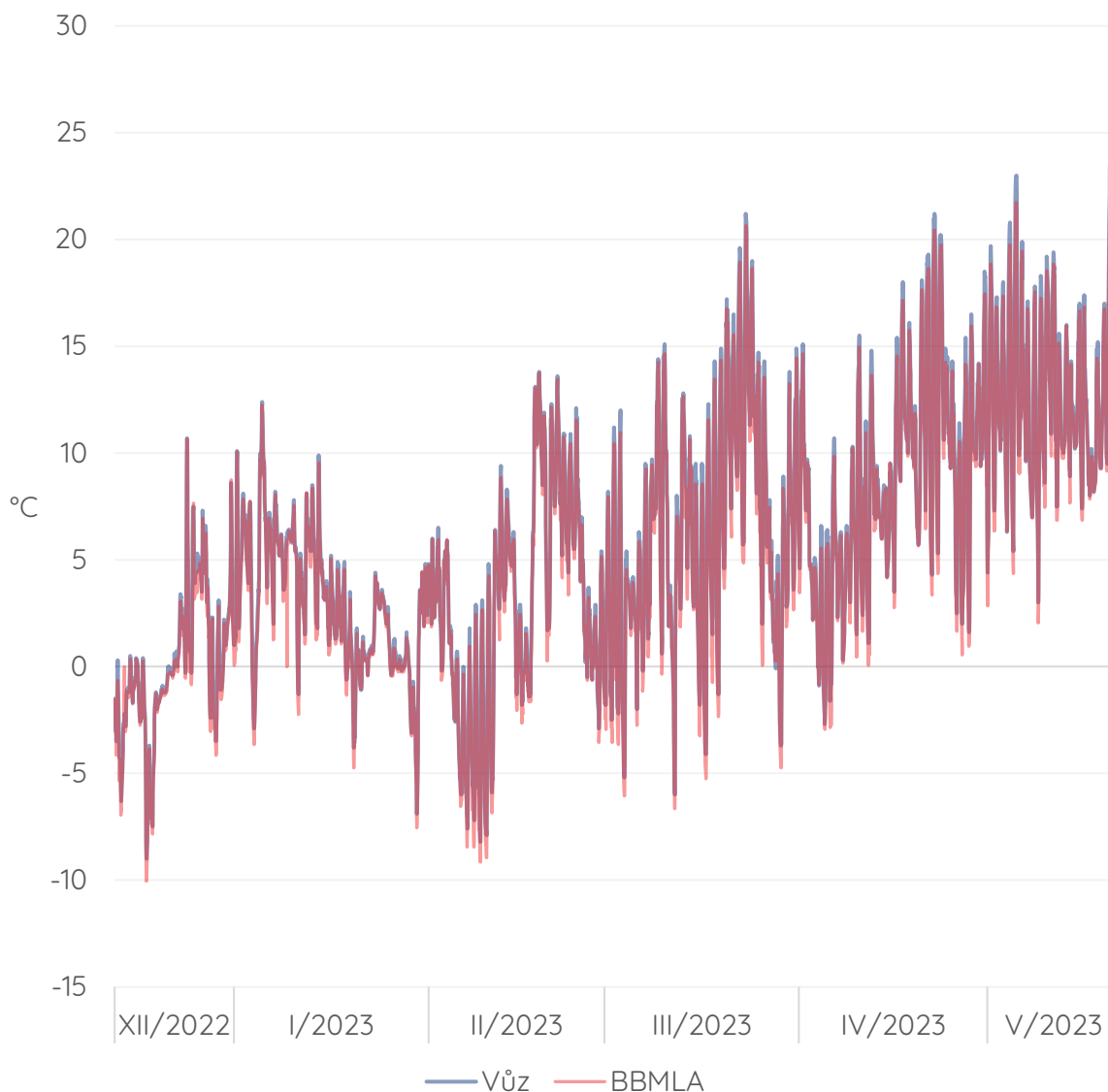
Nejnižší denní průměrná teplota byla nižší než $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, naopak nejvyšší denní průměr byl zaznamenán na úplném závěru měřicí kampaně a dosahoval hodnoty $20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výše uvedený graf dává určitou představu o tom, jak intenzivní bylo v daném období vytápění. Zatímco některé dny, kdy průměrné denní teploty byly pod bodem mrazu, byla intenzita výrazná, na konci měřicího období již byly teploty vysoké a intenzita vytápění minimální.

Průměrný denní chod teploty vzduchu je v souladu s běžným chodem teploty v průběhu dne. Nejnižší bývají teploty před východem Slunce, naopak nejvyšší v pozdějších odpoledních hodinách. Hodiny dne v grafu níže odpovídají času UTC.



Obrázek 6 – průměrná teplota vzduchu v jednotlivé hodiny dne v lokalitě ulice Lány naměřená měřicím vozem za celou měřicí kampaň.

Srovnání průměrné hodinové teploty z dat naměřených měřicím vozem v ulici Lány a stanicí imisního monitoringu Brno-Lány ilustruje následující čárový graf. Obě měřicí místa jsou od sebe vzdálená necelých 200 metrů. S ohledem na běžnou prostorovou variabilitu teploty vzduchu lze v tomto případě očekávat zcela minimální rozdíly. Tento předpoklad níže uvedený graf potvrzuje. Obě čáry jsou téměř shodné – teplotu vzduchu můžeme v obou lokalitách označit za prakticky shodnou.



Obrázek 7 – srovnání průměrných hodinových teplot vzduchu z ulice Lány (měřicí vůz) a stacionární stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).

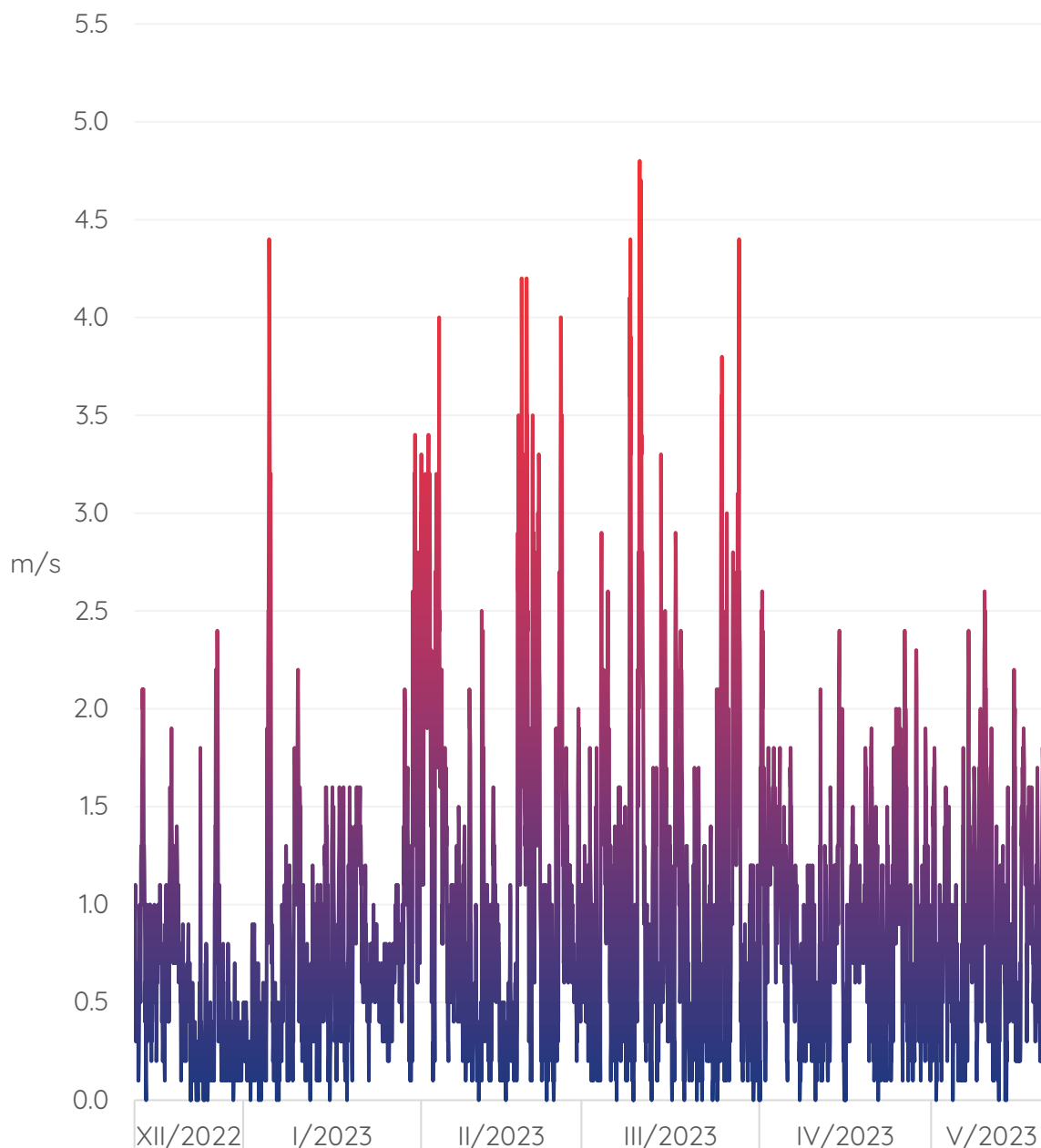
Celková průměrná teplota v lokalitě ulice Lány (měřicí vůz) má hodnotu 5,80 °C, průměrná teplota ze shodného období z dat ze stanice Brno-Lány je 5,40 °C.

RYCHLOST VĚTRU

Rychlost větru je důležitým faktorem pro kvalitu ovzduší. Obecně platí, že čím je rychlost větru vyšší, tím je vyšší rozptyl látek v ovzduší, a tedy i lepší kvalita ovzduší. Výjimkou z tohoto pravidla mohou být například lokality poblíž stavenišť, kde naopak vyšší rychlosti větru způsobují intenzivnější resuspenzi, a tedy i koncentrace znečišťujících látek. Podobně se mohou chovat i měřicí body poblíž polí, kde zejména v období holé půdy, nezmrzlé půdy a sucha může být velmi intenzivní resuspenze z eroze půdy.

Celková průměrná rychlost větru v lokalitě ulice Lány (měřicí vůz) za celou měřicí kampaň představuje 0,88 m/s, maximální naměřená hodinová průměrná rychlost má hodnotu 4,8 m/s.

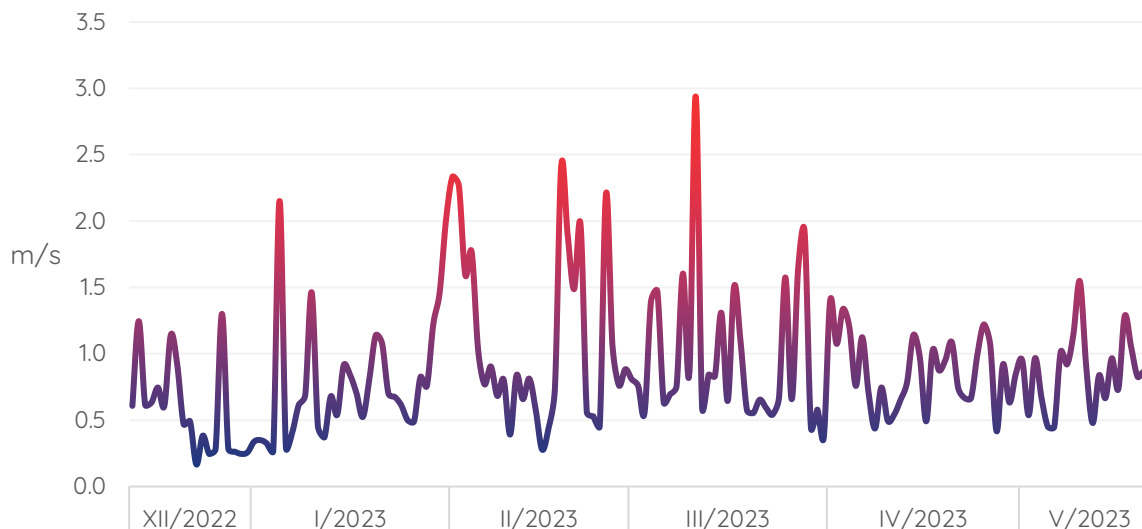
Následující graf ukazuje hodinový průběh rychlosti větru z měřicího vozu v ulici Lány za celé období monitoringu.



Obrázek 8 - hodinová průměrná rychlost větru v lokalitě ulice Lány naměřená měřicím vozem za celou měřicí kampaň.

Hodinové rychlosti větru v lokalitě ulice Lány dosahovaly v době monitoringu hodnot do 5 m/s.

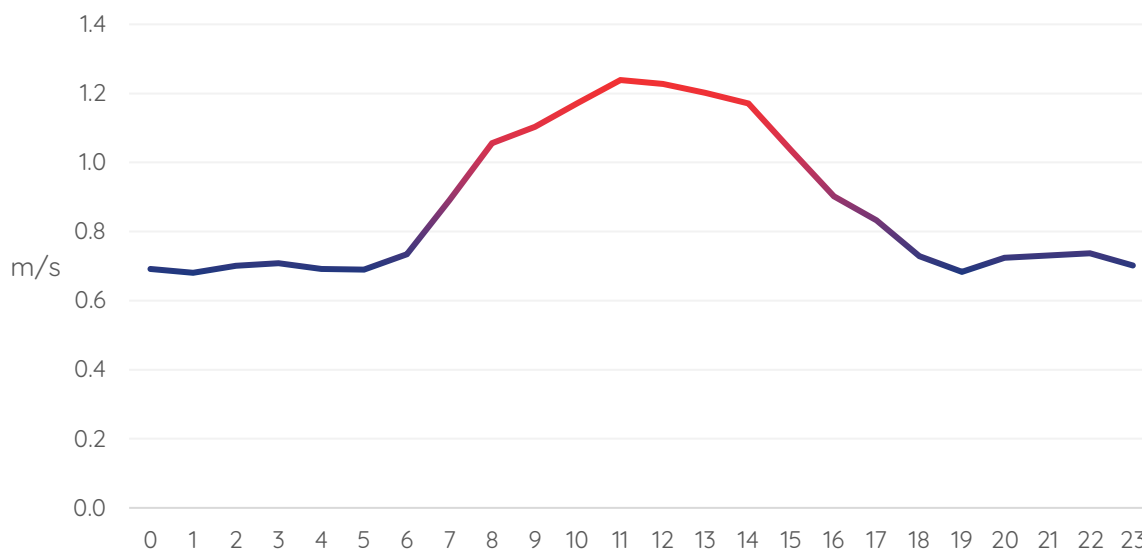
Graf níže ukazuje průměrné denní rychlosti větru vypočítané z výše uvedených hodinových průměrných rychlostí větru.



Obrázek 9 - průměrná denní rychlost větru v lokalitě ulice Lány naměřená měřicím vozem za celou měřicí kampaň.

Graf výše ukazuje, že největrnější dny byly zaznamenány na přelomu ledna a února, v druhé polovině února a druhém týdnu v březnu. Naopak období nejnižších rychlostí větru představovala poslední část měření, dny v dubnu a květnu.

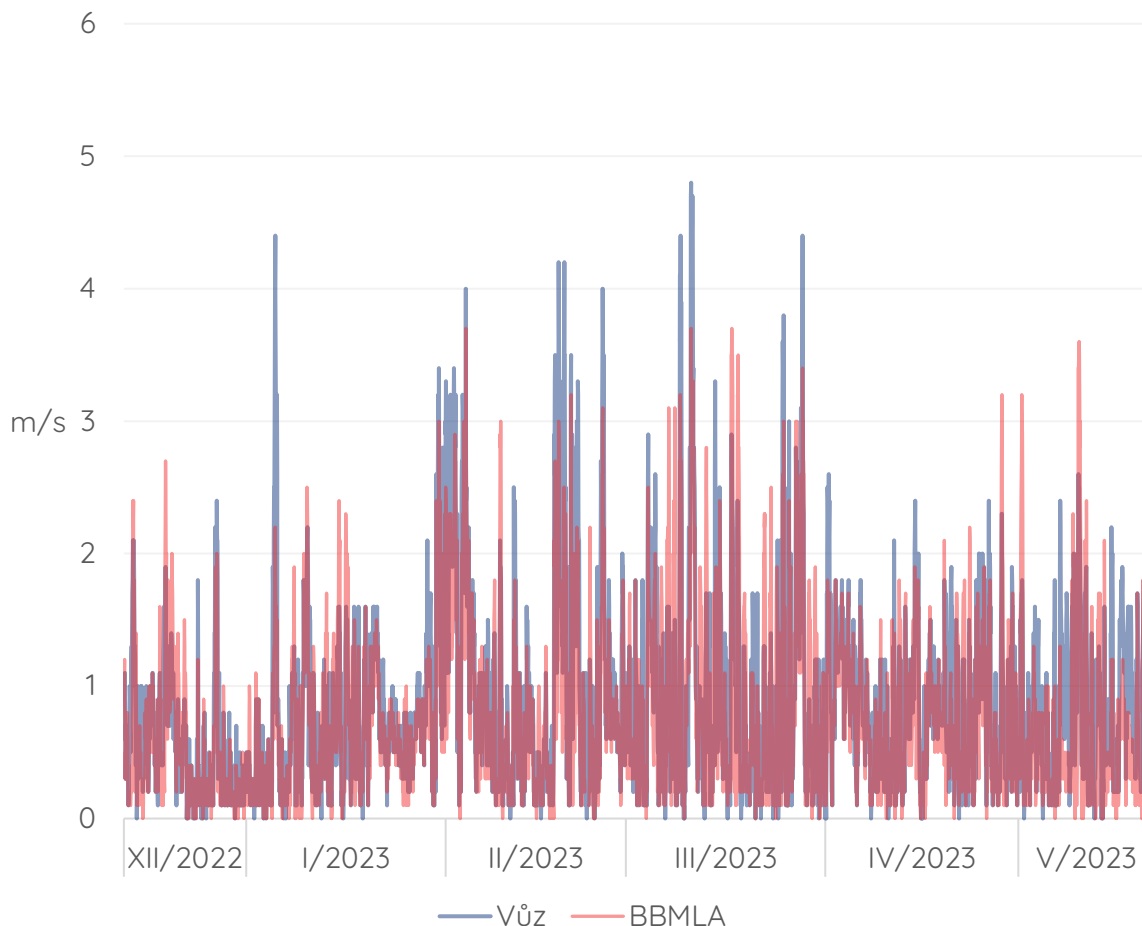
Průměrný denní chod rychlostí větru ukazuje následující čárový graf, kde jsou zobrazeny průměrné rychlosti větru pro jednotlivé hodiny dne (zde vyjádřené v čase UTC).



Obrázek 10 - průměrná rychlost větru v jednotlivé hodiny dne v lokalitě ulice Lány naměřená měřicím vozem za celou měřicí kampaň.

Obecně platí, že rychlosti větru jsou vyšší v denní dobu – to potvrzuje i graf výše, kde jsou rychlosti větru nejvyšší právě v dopoledních a odpoledních hodinách.

Prostorová variabilita rychlosti větru je výrazně vyšší než v případě teploty vzduchu. Odlišné rychlosti větru mohou být i v měřítku několika metrů, pokud je v okolí nějaká překážka, která výrazněji ovlivňuje proudění vzduchu v daném místě. Přestože jsou tedy obě srovnávané lokality (vůz a stanice imisního monitoringu Brno-Lány) jen 180 metrů, rychlosti větru se zde liší více než v případě teploty vzduchu.



Obrázek 11 - srovnání průměrných hodinových rychlostí větru z ulice Lány (měřicí vůz) a stacionární stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).

Celková průměrná rychlost větru v lokalitě ulice Lány (měřicí vůz) má hodnotu 0,88 m/s, průměrná rychlost větru ze shodného období z dat ze stanice Brno-Lány je 0,76 m/s. Rozdíl je v tomto případě s ohledem na vzájemnou vzdálenost obou lokalit dán prouděním u země, které je velmi výrazně ovlivňováno překážkami v okolí. Lokalita v ulici Lány je tedy na základě výše uvedených dat pravděpodobně lépe provětrávaná, naopak stanice imisního monitoringu Brno-Lány má kolem sebe více překážek, které zpomalují proudění v dané lokalitě.

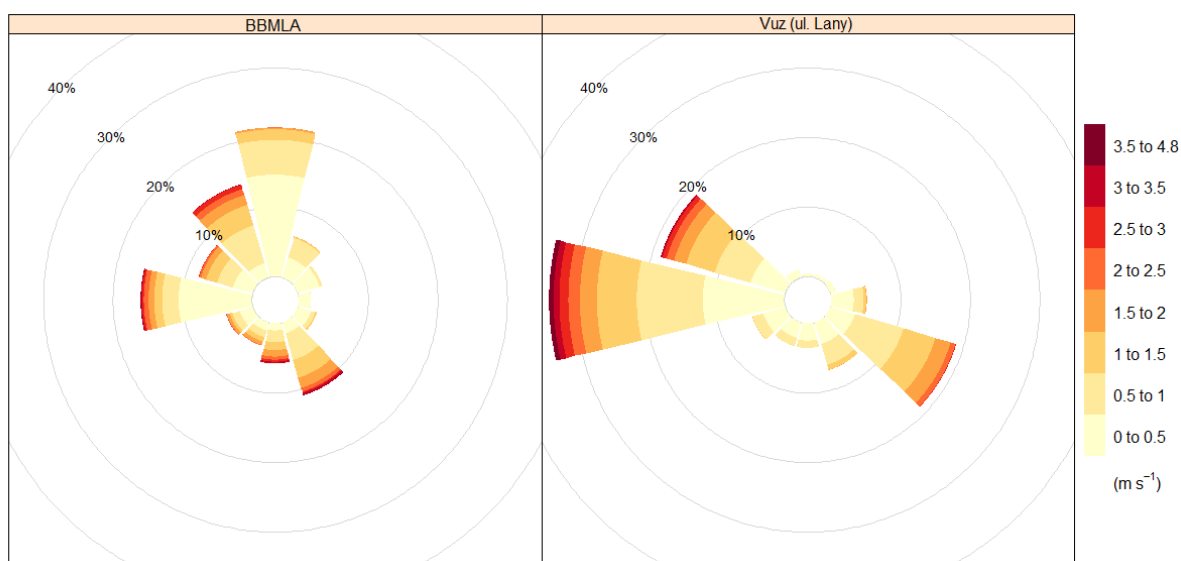
SMĚR VĚTRU

Směr větru představuje velmi důležitý faktor při hodnocení výsledků naměřených koncentrací znečišťujících látek. Právě na základě směru větru lze odvozovat například potenciální zdroje znečištění ovzduší v dané lokalitě.

Na tomto místě je také důležité zmínit, že měření směru větru ve městě obecně je často velmi výrazně ovlivněné překážkami v bezprostředním okolí měřicího místa. Stožár, na jehož konci je umístěn právě senzor měření rychlosti a směru větru, se nachází přibližně ve výšce 10 metrů. Pokud jsou však v okolí překážky vyšší, dochází k ovlivnění proudění v daném místě.

Směr větru se nejčastěji vyjadřuje prostřednictvím tzv. větrných růžic, což je speciální typ grafu, který ukazuje zastoupení jednotlivých směrů větru v daném místě.

Následující dvě větrné růžice byly zkonstruovány z dat o směru a rychlosti větru z obou lokalit (měřicí vůz v ulici Lány a stanice imisního monitoringu Brno-Lány) za celou dobu monitorovací kampaně v ulici Lány.



Obrázek 12 – větrné růžice ukazující zastoupení jednotlivých směrů větru a příslušných rychlostí větru v lokalitě měřicího vozu v ulici Lány a stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA) za celou dobu měřicí kampaně v ulici Lány.

Větrné růžice ukazují, že lokalita měřicího vozu byla lépe provětrávaná, rychlosti větru zde dosahovaly vyšších hodnot. Dominantní zde bylo západní proudění, výrazněji zastoupené byly ještě směry severozápadní a jihovýchodní.

V lokalitě stanice imisního monitoringu Brno-Lány byly rychlosti větru nižší a dominantní bylo severní proudění, výrazněji zastoupené bylo ještě proudění severozápadní, západní a jihovýchodní.

Rozdíly mezi oběma růžicemi jsou s ohledem na velmi malou vzdálenost mezi oběma body dány překážkami proudění v bezprostředním okolí (budovy, stromy apod.).

ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY

Níže uvedené hodnocení úrovně znečištění ovzduší vychází z koncentrací naměřených měřicím vozem v ulici Lány a z dat ze stacionární automatizované stanice imisního monitoringu Brno-Lány. S ohledem na termín vyhotovování této zprávy a použitá data, je nutné doplnit, že se jedná o operativní data – data, která sice již prošla primární verifikací, ale jsou stále označována jako operativní a v rámci komplexnější verifikace jsou ještě předmětem změn.

SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE

Suspendované částice (particulate matter, PM, někdy též označované jako prachové částice či aerosoly) představují komplexní, různorodou směs extrémně malých pevných částic a kapiček v ovzduší, a to organické i anorganické povahy. Základní dělení PM je založeno na jejich aerodynamickém průměru. Právě jejich velikost je totiž klíčová pro dopady na lidské zdraví (Kim, 2015). Rozlišujeme částice frakce PM₁₀, což značí soubor suspendovaných částic s maximálním aerodynamickým průměrem 10 μm, dále PM_{2,5} značící soubor částic s maximálním aerodynamickým průměrem 2,5 μm. Čím menší je velikost částic, tím snadněji a hlouběji pronikají do dýchacího systému. Ultrajemné částice (< 0,1 μm) se mohou dostat dokonce až do krevního oběhu.

Částice PM samy o sobě mohou působit dráždivě. Zároveň však na ně mohou být navázány různé další zdraví škodlivé látky, jako například těžké kovy či polyaromatické uhlovodíky. Kromě velikosti tedy hraje roli také jejich morfologie a chemické složení. Neexistuje bezpečná spodní hranice koncentrace a negativní zdravotní účinky mohou být zaznamenány i při velmi nízkých koncentracích. Dlouhodobá expozice může vést k vyšší úmrtnosti na choroby srdečně-cévní a respirační, rakovině plic, výskytu symptomů chronického zánětu průdušek a snížení plicních funkcí u dětí i dospělých. (Trasande, 2016). Krátkodobá expozice zvýšeným koncentracím aerosolových částic se podílí na nárůstu celkové nemocnosti i úmrtnosti, zejména na onemocnění srdečně-cévní a dýchací a na zvýšení počtu osob hospitalizovaných pro tato onemocnění, zvýšení kojenecké úmrtnosti, zvýšení výskytu respiračních symptomů jako je kašel a ztížené dýchání – zejména u astmatiků a na změnách plicních funkcí při spirometrickém vyšetření. Dlouhodobá expozice ovzduší znečištěnému aerosolem má za následek vyšší úmrtnost na choroby srdečně-cévní a respirační, včetně rakoviny plic a s tím související zkrácení délky života,

zvýšení nemocnosti na onemocnění dýchacího ústrojí a výskytu symptomů chronického zánětu průdušek a snížení plicních funkcí u dětí i dospělých. Přibývá důkazů o vlivu expozice částicím na vznik diabetu II. typu, na neurologický vývoj u dětí a neurologické poruchy u dospělých.

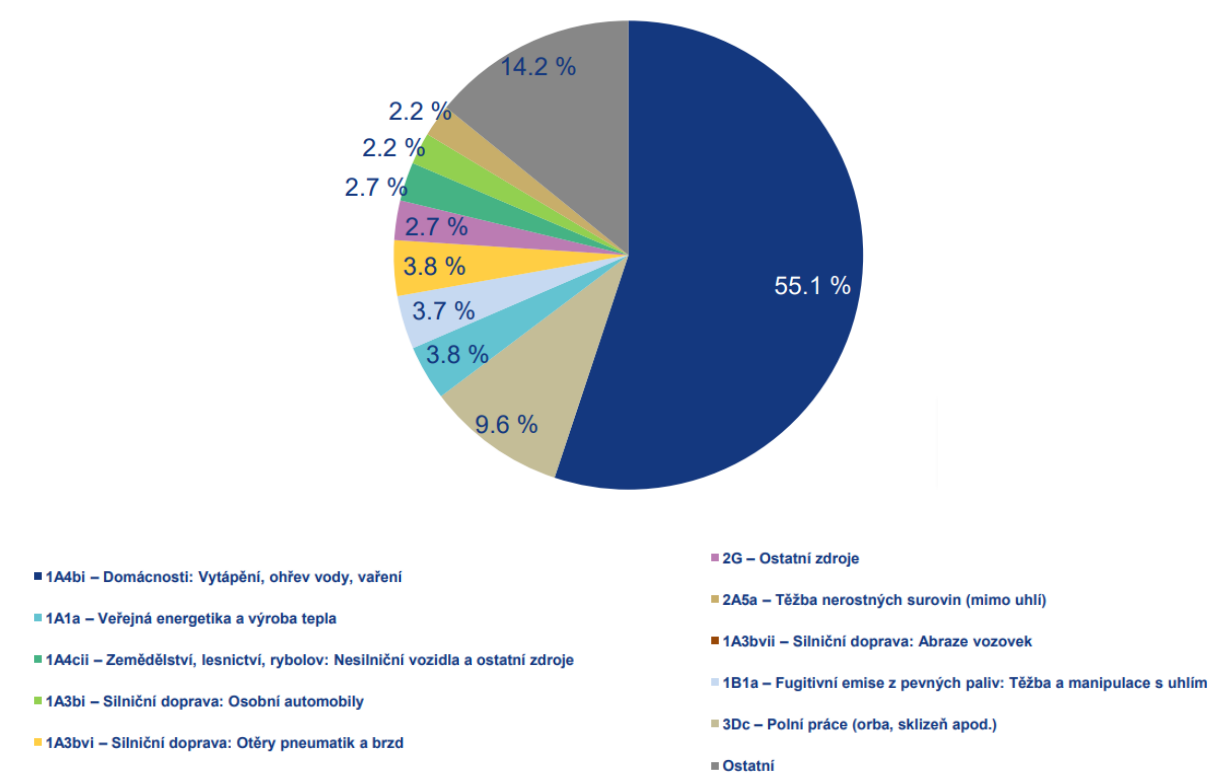
Zdrojem suspendovaných částic v ovzduší jsou jak přírodní procesy, tak antropogenní činnost. Z přirozených procesů je to například větrná eroze nebo vulkanická činnost. Z lidských zdrojů je to celá řada technologických procesů, spalování odpadu v domácnostech, doprava atd. (Vierkötter, 2017). Nezanedbatelným zdrojem suspendovaných částic je i víření prachu, tzv. resuspenze (Hetem, 2016). Částice deponované na povrchu vozovky se turbulentním prouděním, vyvolaném například projíždějícím vozidlem, dostávají zpět do ovzduší. V principu podobný proces se děje i na chodnících, střeších budov, okenních parapetech, ale i ve vnitřních prostorách budov, kde k víření prachu chůzí (Wang, 2021).

Koncentrace suspendovaných částic v ovzduší se stanovuje pomocí automatických β prachoměrů, pomocí optických analyzátorů či gravimetricky. V případě měření pomocí β prachoměrů jsou prašné aerosolové částice zachytávány pomocí podtlaku na filtrační pásku ze skelného vlákna, která se automaticky odvíjí mezi β -zářičem a Geiger-Müllerovým počítačem. Metoda je tedy založena na absorpci beta záření ve vzorku zachyceném na filtračním materiálu. Z rozdílu absorpce beta záření mezi exponovaným a neexponovaným filtračním materiálem, který je úměrný hmotnosti zachyceného prašného aerosolu, je odvozen údaj o jeho koncentraci. Analýza vzorku probíhá automaticky, což je velkou výhodou. U metody optického aerosolového spektrometru se určuje velikost částic prostřednictvím rozptýleného světla podle Lorenz-Mieovy metody. Hodnota koncentrace částic je dedukována z počtu impulzů rozptýleného světla. Amplituda (výška) impulzu rozptýleného světla je měřítkem pro stanovení průměru částic. V případě gravimetrie jsou aerosolové částice zachytávány filtrací venkovního ovzduší konstantní rychlostí na příslušný filtr. Celková hmotnost aerosolových částic zachycených na filtru (μg) je rovna rozdílu hmotnosti filtru po a před expozicí. Tato metoda je velmi přesná, její nevýhodou je ovšem nemožnost sledování koncentrací v reálném čase.

SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{10}

Suspendované částice PM_{10} jsou částice o aerodynamickém průměru do 10 μm . Často vznikají mechanicky, například erozí půdy, při sopečných výbuších, zemědělských či

stavebních pracích, ale také během spalovacích procesů při nedokonalém spalování. Hlavním zdrojem suspendovaných částic PM₁₀ v České republice bylo v roce 2019 (nejnovější data) lokální vytápění domácností, které přispívalo k celkovým emisím PM₁₀ z více než poloviny (55,1 %). Dalšími významnými zdroji byly polní práce (9,6 %), veřejná energetika a výroba tepla (3,8 %), silniční doprava: Otěry pneumatik a brzd (3,8 %) a fugitivní emise z pevných paliv (3,7 %).

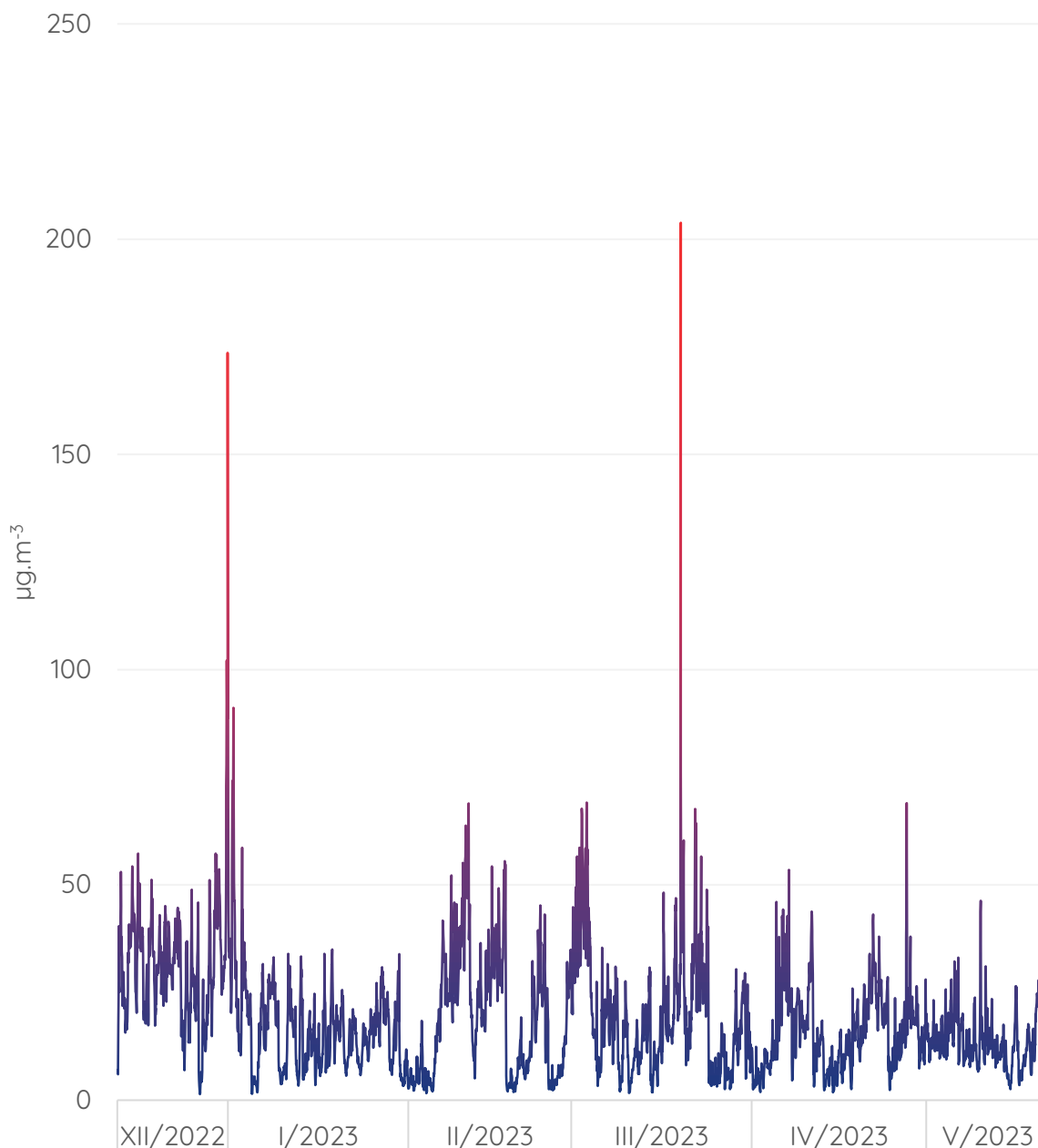


Obrázek 13 – emisní zdroje suspendovaných částic PM₁₀ v České republice (emisní bilance 2019)

Pro suspendované částice PM₁₀ jsou v zákoně o ochraně ovzduší stanoveny dva imisní limity pro ochranu zdraví:

- imisní limit pro roční průměrnou koncentraci (40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
- imisní limit pro 24h průměrnou koncentraci (50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, max. 35 překročení za kalendářní rok)

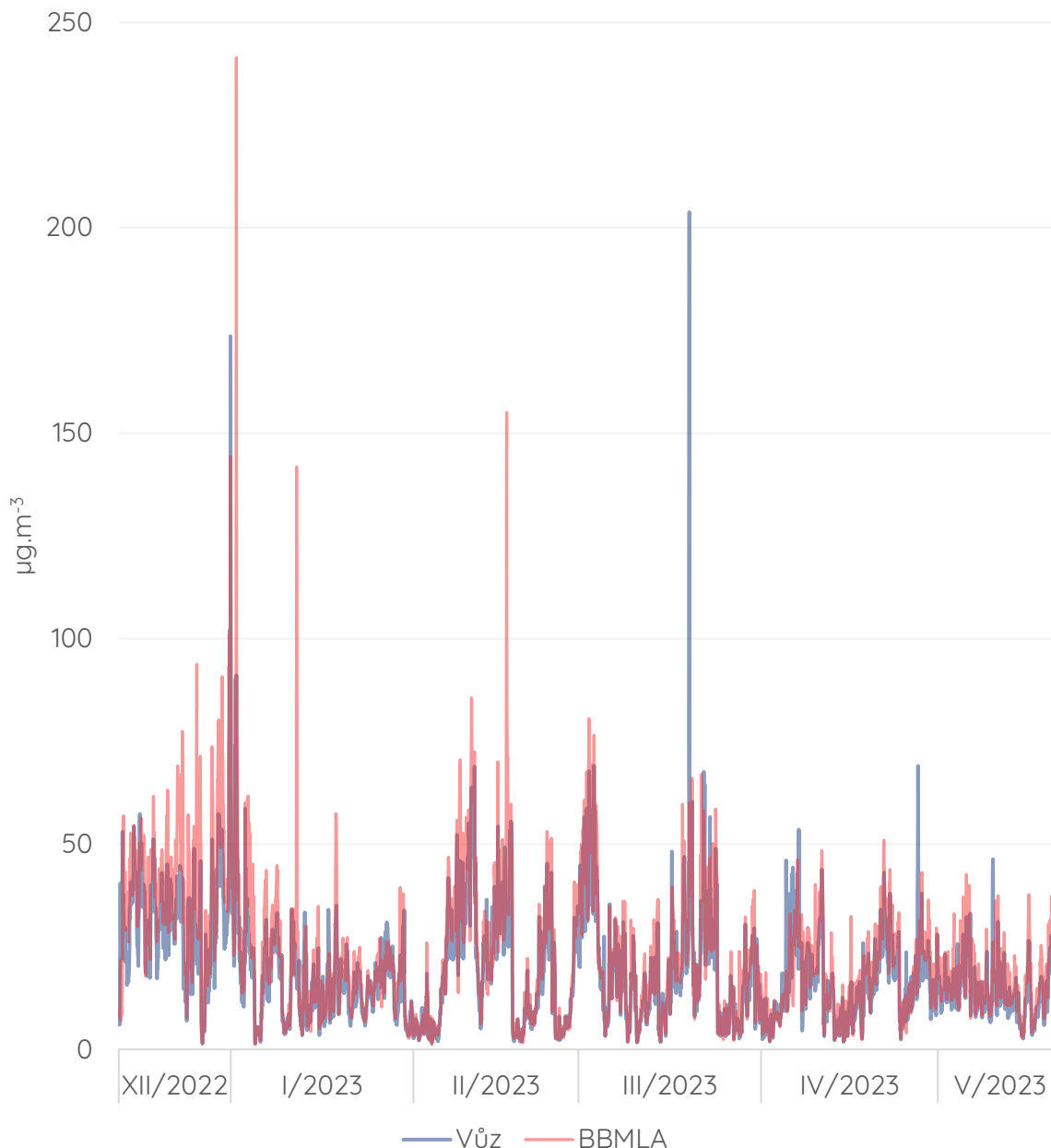
Následující čárový graf ukazuje průběh hodinových průměrných koncentrací částic PM₁₀ za celou dobu měření měřicím vozem v ulici Lány.



Obrázek 14 – průměrné hodinové koncentrace částic PM₁₀ naměřené měřicím vozem v ulici Lány.

Celková průměrná koncentrace částic PM₁₀ za celou měřicí kampaň je 18,93 µg·m⁻³. Maximální hodinová průměrná koncentrace má hodnotu 203,8 µg·m⁻³ a byla pozorována 19. 3. 2023 v 19 h.

Další graf představuje stejné období a opět průměrné hodinové koncentrace částic PM₁₀, tentokrát včetně srovnání s hodnotami z nedaleké stacionární stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).



Obrázek 15 - průměrné hodinové koncentrace částic PM₁₀ naměřené měřicím vozem v ulici Lány a na stacionární stanici imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).

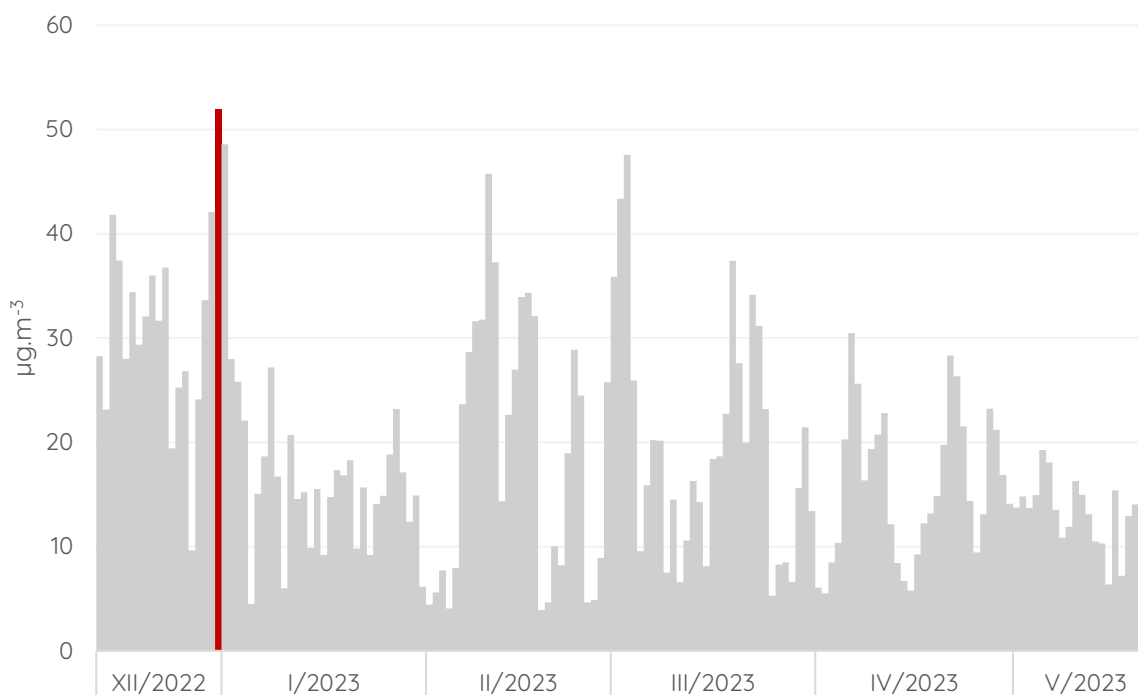
Při srovnání obou křivek je zjevné, že v naprosté většině případů byly koncentrace částic PM₁₀ v obou lokalitách velmi podobné – projevuje se znečištění plošnějšího charakteru. Jsou zde však patrné i některé zvýšené hodnoty, které se projevily jen v jedné lokalitě nebo v odlišné intenzitě.

Celkové statistické shrnutí obou datových souborů hodinových průměrných koncentrací ukazuje následující tabulka.

Parametr	Měřicí vůz (ulice Lány)	stanice Brno-Lány (BBMLA)
průměr	18,93 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	22,66 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
medián	16,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	19,1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
maximum	203,8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	241,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
směrodatná odchylka	13,16 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	16,70 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Tabulka ukazuje, že v lokalitě měřicího vozu byly koncentrace mírně nižší než v lokalitě Brno-Lány na stanici imisního monitoringu. Nižší byla i absolutně maximální naměřená koncentrace částic PM_{10} .

Graf níže ukazuje průměrné denní hodnoty koncentrací částic PM_{10} za celou dobu měřicí kampaně z dat měřicího vozu v ulici Lány. Červenou barvou jsou zvýrazněny dny, kdy došlo k překročení hodnoty 24h imisního limitu ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

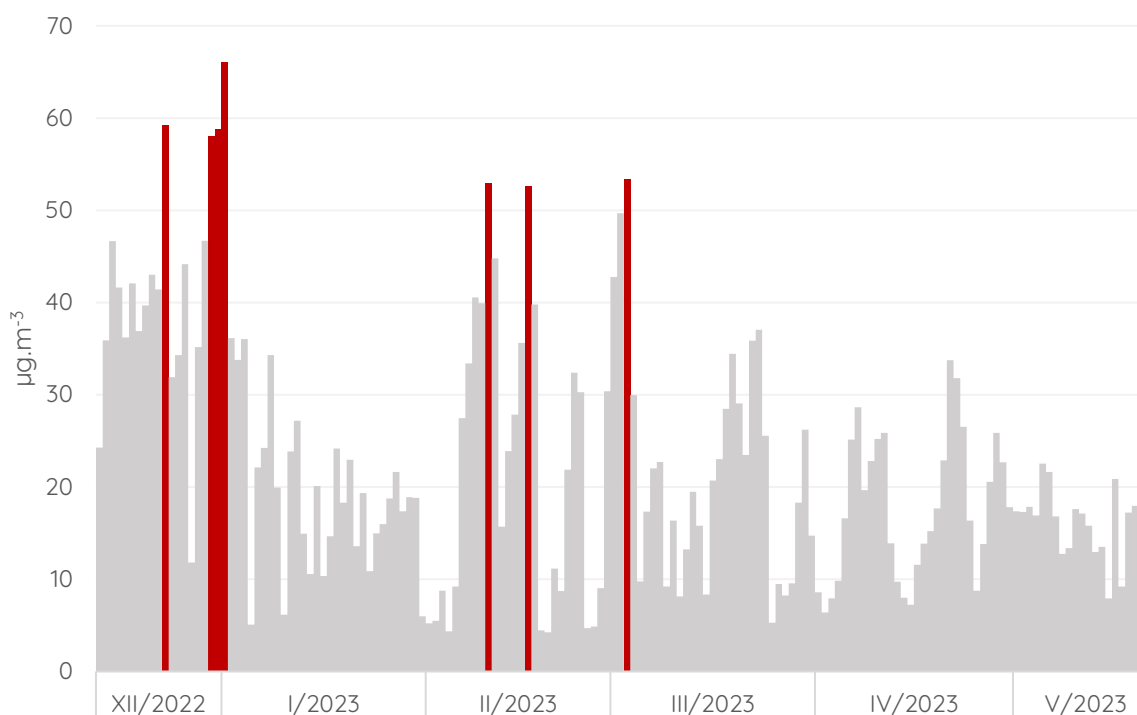


Obrázek 16 – průměrné denní koncentrace částic PM_{10} z dat měřicího vozu v ulici Lány. Červeně jsou vyznačeny dny, kdy došlo k překročení hodnoty 24h imisního limitu pro ochranu zdraví pro částice PM_{10} .

Hodnota 24h imisního limitu pro ochranu zdraví pro částice PM_{10} byla překročena za celou dobu měření pouze jednou, a to 31. prosince 2022. Přelom roku je v tomto ohledu specifický. Ve městech se velmi výrazně projevuje znečištění z odpalování pyrotechniky a hodnoty koncentrací řady znečišťujících látek dosahují často velmi vysokých hodnot v urbánních

oblastech. Nejedná se tedy o nějaký lokální zdroj. S ohledem na průměrování hodnot v čase UTC, nikoliv občanském, se odpalování pyrotechniky projevuje jak 1. ledna, tak 31. prosince. Právě 1. leden je po 31. prosinci dnem s druhou nejvyšší průměrnou koncentrací částic PM_{10} , těsně pod hodnotou 24h imisního limitu. Aby byl 24h imisní limit překročen, muselo by za kalendářní rok dojít k více než 35 takovýmto překročením. V tomto ohledu lze tedy 1 překročení hodnotit kladně, protože se navíc měřilo v chladnou část roku, kdy jsou obecně koncentrace částic PM nejvyšší. Protože je ale průměrovací období nastavené na kalendářní rok, nelze přímo srovnávat tyto hodnoty s těmito imisními limity, stejně tak jako nelze srovnávat celkový průměr s imisním limitem pro roční průměr z důvodu nedostatku dat (6měsíční kampaň).

Totožný graf denních průměrných koncentrací byl vytvořen také z dat ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány za totožné období.

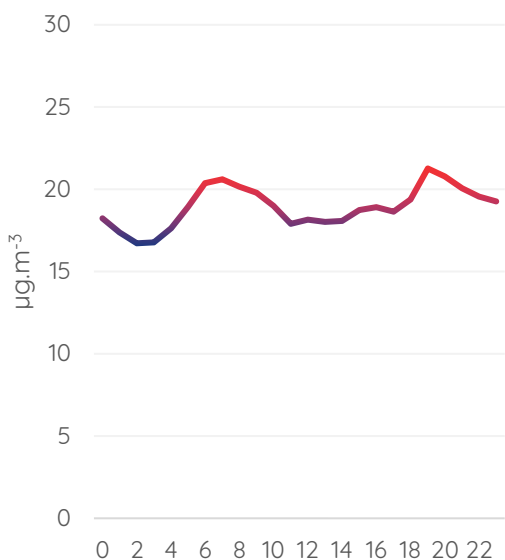


Obrázek 17 - průměrné denní koncentrace částic PM_{10} ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány. Červeně jsou vyznačeny dny, kdy došlo k překročení hodnoty 24h imisního limitu pro ochranu zdraví pro částice PM_{10} .

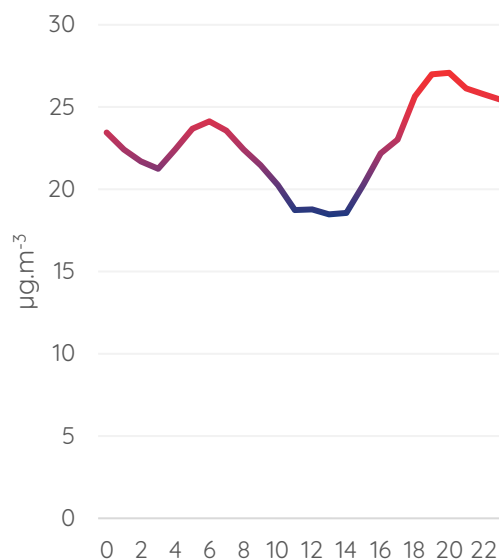
V případě stanice Brno-Lány došlo v daném období k překročení hodnoty 24h imisního limitu celkem 7x. Překračování hodnoty 24h imisního limitu v závěru roku 2022 souviselo s lokálním vytápěním, kdy se projevoval velmi výrazně efekt vytápění pevnými palivy velmi blízko stanice imisního monitoringu Brno-Lány na základě vlastního zjištění pracovníků

Magistrátu města Brna. Této epizodě se blíže věnuje analýza na konci této kapitoly o částicích PM.

Pro identifikaci potenciálních zdrojů a bližší informace o datech je vhodné zjistit mj. také průměrný denní chod koncentrací částic PM₁₀. Dva grafy níže ukazují průměrné koncentrace v jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) pro měřicí vůz v ulici Lány i stanici imisního monitoringu Brno-Lány. Pro možnost lepšího srovnání bylo sjednoceno měřítko osy Y.

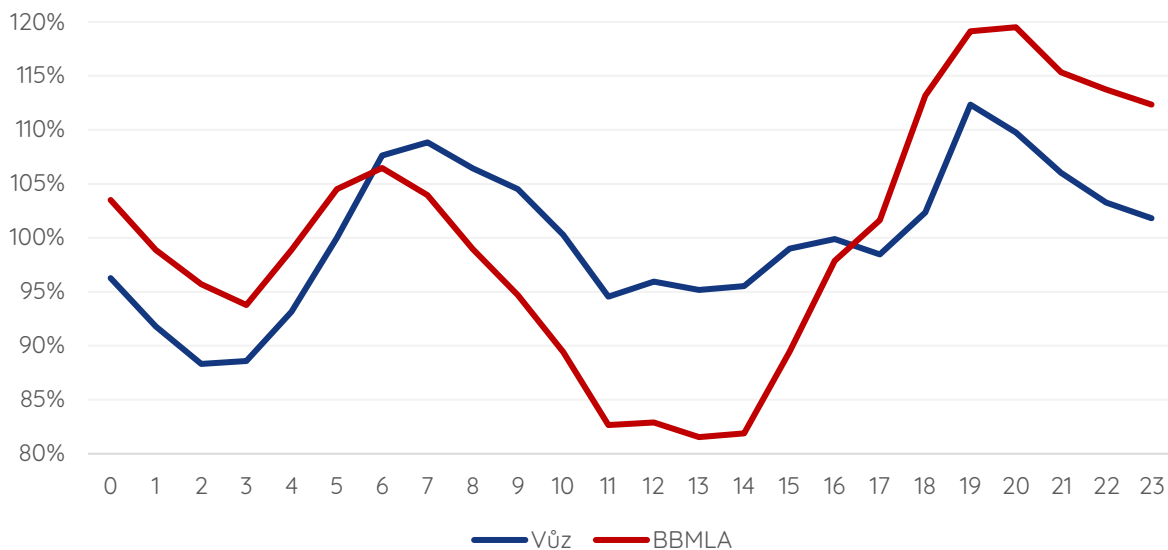


Obrázek 18 – průměrné koncentrace částic PM₁₀ pro jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) z dat měřicího vozu v ulici Lány.



Obrázek 19 - průměrné koncentrace částic PM₁₀ pro jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) z dat stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

Výše uvedené srovnání ukazuje, že stanice Brno-Lány vykazuje nejen vyšší hodnoty koncentrací jako takových, ale také vyšší variabilitu v průběhu dne. Aby bylo možné oba průměrné chody přímo srovnat, byly hodnoty normalizované. Normalizace byla provedena vztahením každého průměru pro konkrétní hodinu k celkovému průměru z dané lokality. Hodnoty v grafu níže tedy nepředstavují absolutní hodnoty koncentrací, ale procentuální podíl průměrné koncentrace v danou hodinu dne oproti celkovému průměru dne.

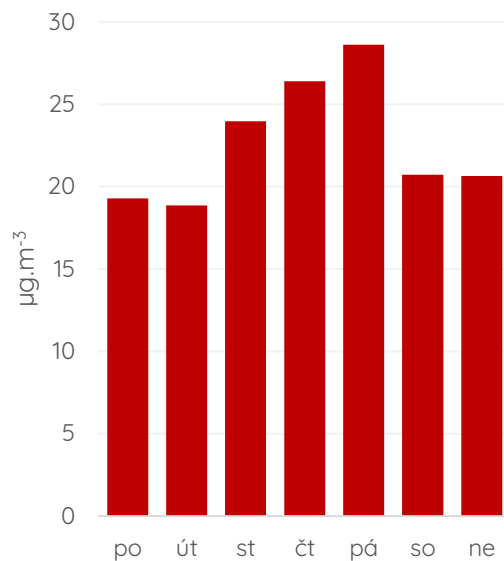
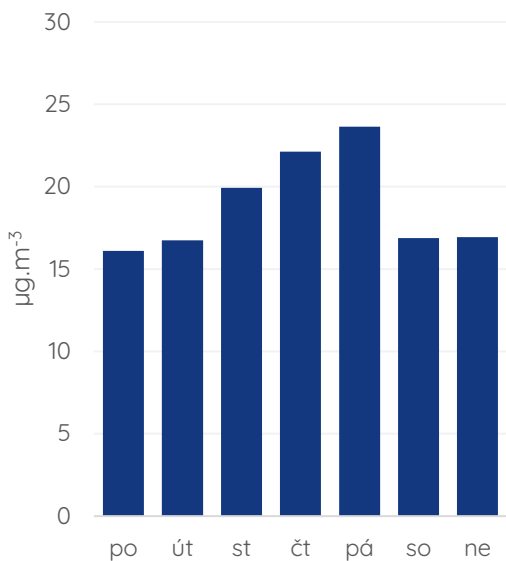


Obrázek 20 – normalizovaný průměrný chod koncentrací částic PM_{10} z dat měřicího vozu v ulici Lány a stanice imisního monitoringu Brno-Lány. Hodnoty představují podíl průměrné koncentrace pro danou hodinu dne (v čase UTC) oproti celkovému průměru v dané lokalitě.

Srovnání obou chodů ukazuje, že celkový chod je na obou lokalitách podobný, liší se jeho výraznost. V obou lokalitách jsou patrné dvě špičky, jedna dopoledne, jedna večer. V obou případech dochází v noci k poklesu koncentrací a opět začínají růst kolem 3 h UTC (4 h SEČ, 5 h SELČ). Další propad je pozorován po poledni, což obecně souvisí s tím, že v danou dobu nebývá ani dopravní špička, ani špička vytápění a rychlost proudění je v denní dobu vyšší, než je v průměru v noci, proto koncentrace zpravidla po poledni výrazněji klesají. Výrazně větší pokles je pozorován na stanici Brno-Lány, kde však následně dochází naopak k vyššímu nárůstu ve večerních hodinách.

Zajímavé je také podívat se na průměrné koncentrace v jednotlivé dny v týdnu. Na rozdíl od meteorologických podmínek, kde podobná analýza nedává smysl, v případě znečišťujících látek mohou být pozorovány rozdíly zejména mezi pracovními dny a dny víkendovými, kdy se v menší míře projevuje například doprava.

Následující grafy ukazují průměrné koncentrace částic PM_{10} v jednotlivé dny v týdnu za celou dobu měření pro data z vozu v ulici Lány a ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány za totožné období.

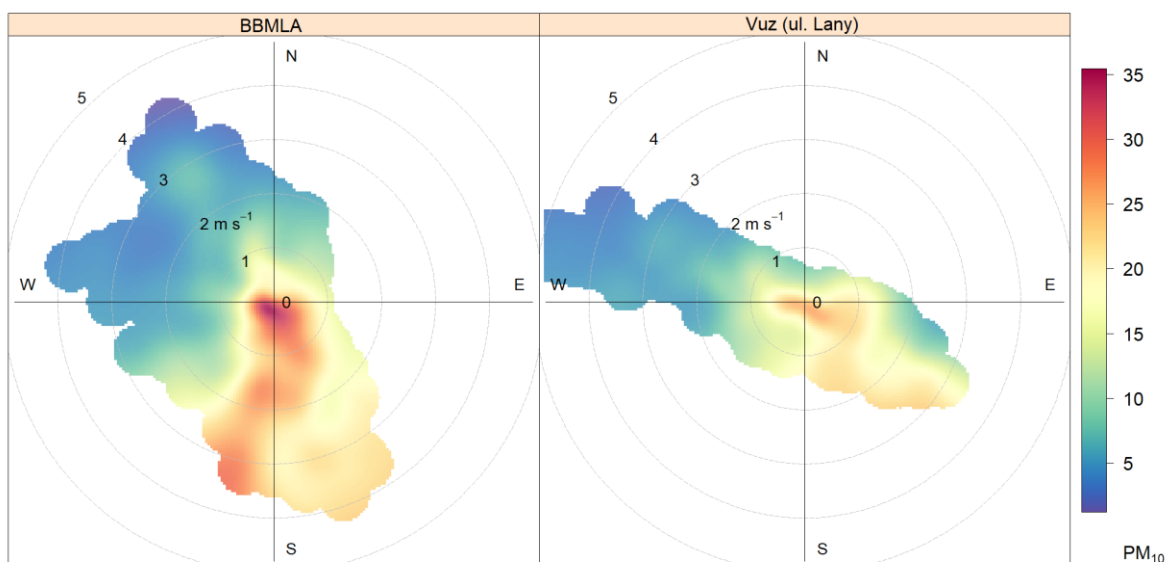


Obrázek 21 - průměrné koncentrace částic PM₁₀ pro jednotlivé dny v týdnu z dat měřicího vozu v ulici Lány.

Obrázek 22 - průměrné koncentrace částic PM₁₀ pro jednotlivé dny v týdnu z dat stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

Oba grafy ukazují velmi podobný týdenní průměrný chod s maximem v pátek.

Při hodnocení dat o kvalitě ovzduší jsou velmi užitečné tzv. koncentrační růžice, které ilustrují vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi příslušné znečišťující látky. Následující koncentrační růžice ukazují, při jakém směru a rychlosti větru byly koncentrace částic PM₁₀ nejvyšší a obecně rozložení koncentrací ve vztahu k parametrům větru.



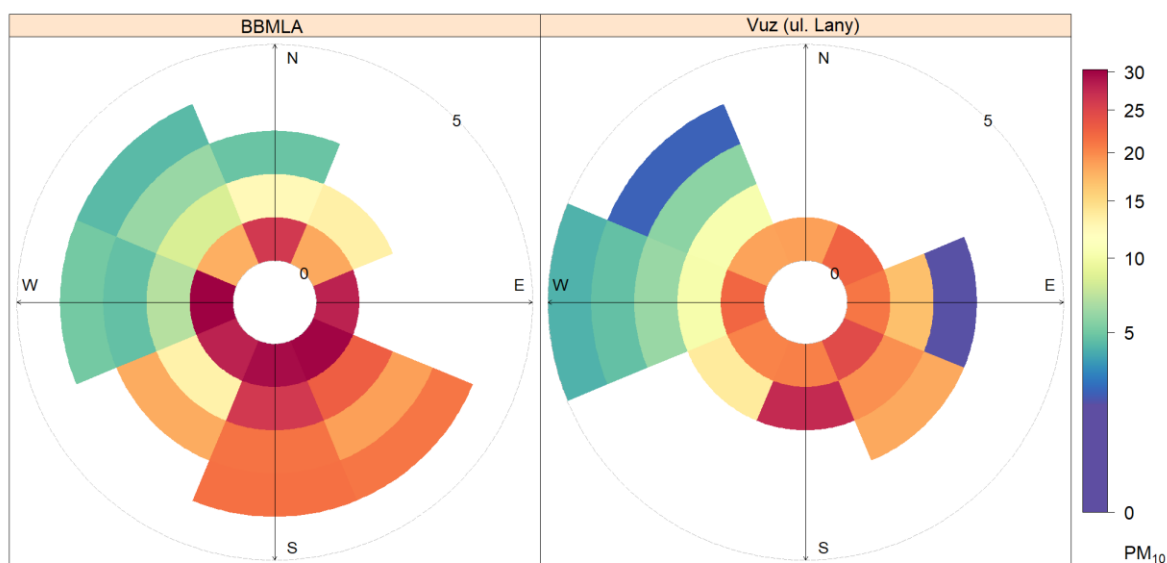
Obrázek 23 - koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi koncentracemi částic PM₁₀ a rychlostí a směrem větru za celou dobu měřicí kampaně v ulici Lány.

Koncentrační růžice z lokality stanice imisního monitoringu Brno-Lány ukazuje, že nejvyšší míra znečištění byla pozorována při nízkých rychlostech větru. Zvýšené byly hodnoty koncentrací částic PM_{10} také při jižním proudění.

V lokalitě v ulici Lány (měřicí vůz) byly koncentrace mírně zvýšené při jihovýchodním proudění, naopak nejnižší při proudění severozápadním.

Vážená koncentrační růžice zobrazuje rovněž vztah mezi směrem a rychlostí větru a koncentracemi znečišťujících látek, v potaz ale bere také délku trvání jednotlivých kombinací směru a rychlosti větru. Vážená koncentrační růžice ukazuje, jaký podíl mají na celkovém znečištění v dané lokalitě jednotlivé kombinace směru a rychlosti větru. Pokud je tedy nějaký směr větru hodně zastoupený, i když mohou být koncentrace v daném směru nízké, může být podíl v daném směru významný a naopak.

Následující vážené koncentrační růžice byly zkonstruovány z dat za celou dobu měřicí kampaně v lokalitě ulice Lány pro obě srovnávané lokality.

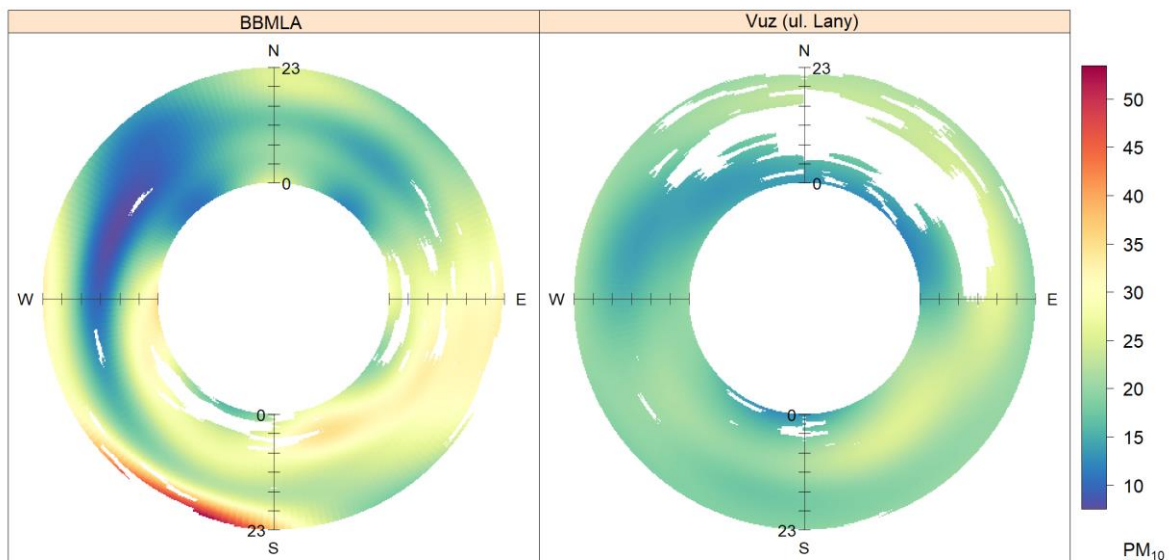


Obrázek 24 - vážená koncentrační růžice ilustrující vztah mezi koncentracemi částic PM_{10} a směrem a rychlostí větru, beroucí v potaz zastoupení jednotlivých kombinací směru a rychlostí větru v časovém měřítku.

Růžice ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA) ukazuje, že nejvyšší podíl znečištění částicemi PM_{10} je z jižního směru a při velmi nízkých rychlostech větru z jakéhokoliv směru. V lokalitě ulice Lány pochází většina znečištění částicemi PM_{10} z jihovýchodního směru, příp. ze všech směrů při velmi nízkých rychlostech větru. Severní a severovýchodní směr je v případě lokality ulice Lány zastoupen naprosto minimálně – to souvisí s faktem,

že zde stála budova a větrná růžice z této lokality ukazuje na naprosto minimální zastoupení těchto směrů větru.

Anulární koncentrační růžice má za cíl posoudit vztah mezi směrem větru, koncentrací částic PM_{10} a hodinou dne.

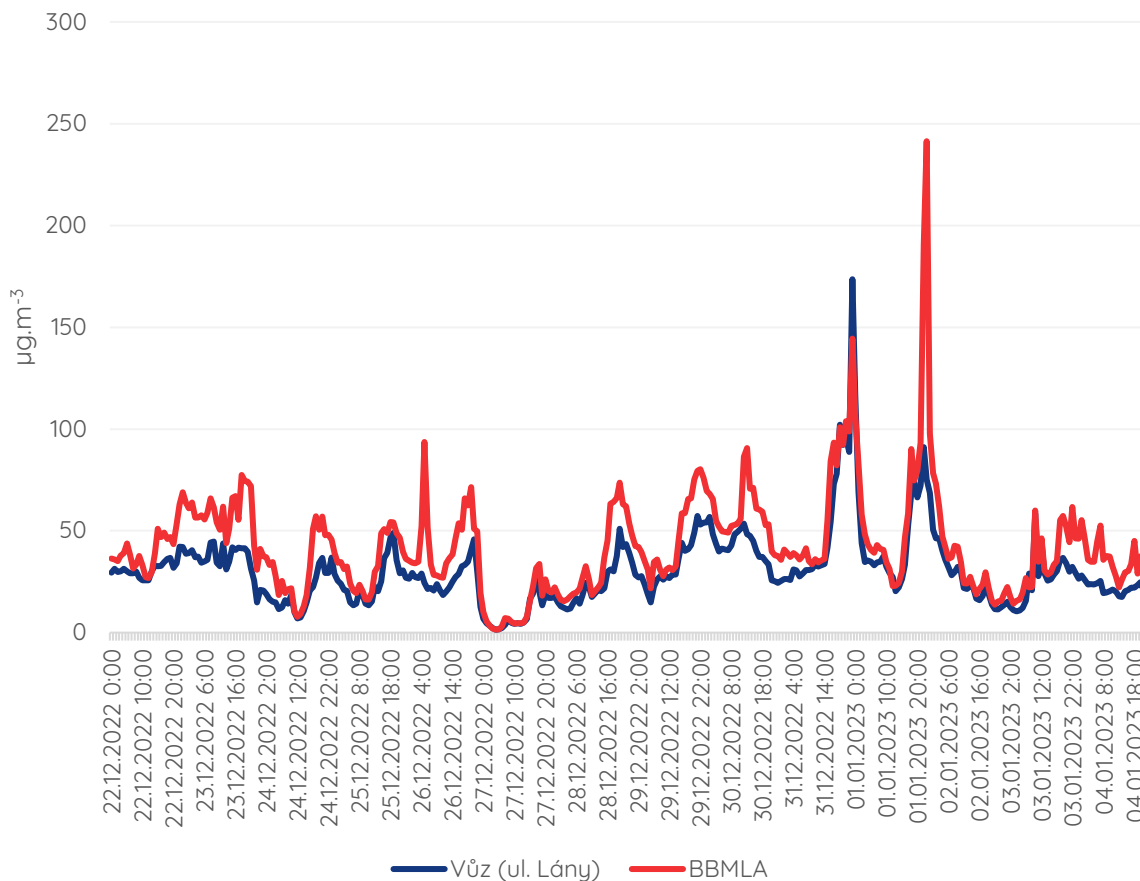


Obrázek 25 – anulární koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi koncentracemi PM_{10} , směrem větru a hodinou dne (v občanském čase).

Anulární koncentrační růžice z lokality Brno-Lány ukazuje velmi vysoké hodnoty při jižním až jihozápadním proudění v nočních hodinách. Tato hodnota je značně ovlivněna jednou epizodou vysokých koncentrací PM_{10} , při tomto směru větru a hodině dne. Obecně jsou však patrné vyšší koncentrace při východním proudění po celý den, naopak při západním a zejména severozápadním, velmi nízké koncentrace zejména uprostřed dne. V lokalitě ulice Lány jsou patrné zvýšené koncentrace uprostřed dne zejména při východním a jihovýchodním směru proudění.

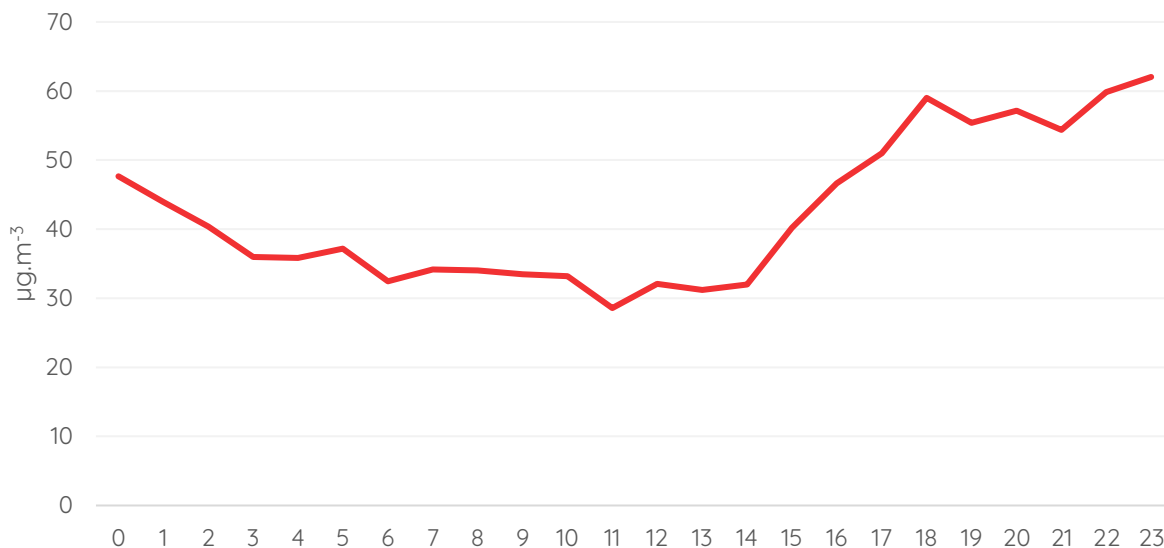
Přibližně v období od 22. 12. 2022 do 4. 1. 2023 byly v lokalitě Lány zaznamenány krátkodobě výrazněji zvýšené koncentrace částic PM. Na základě bližšího šetření zástupci Magistrátu města Brna na místě bylo zjištěno, že se jedná o vliv lokálního topení v blízkosti měřicích bodů. Níže uvedená analýza se blíže věnuje tomuto konkrétnímu období.

Graf níže ukazuje průběh hodinových průměrných koncentrací částic PM_{10} ve výše uvedené časové epizodě.



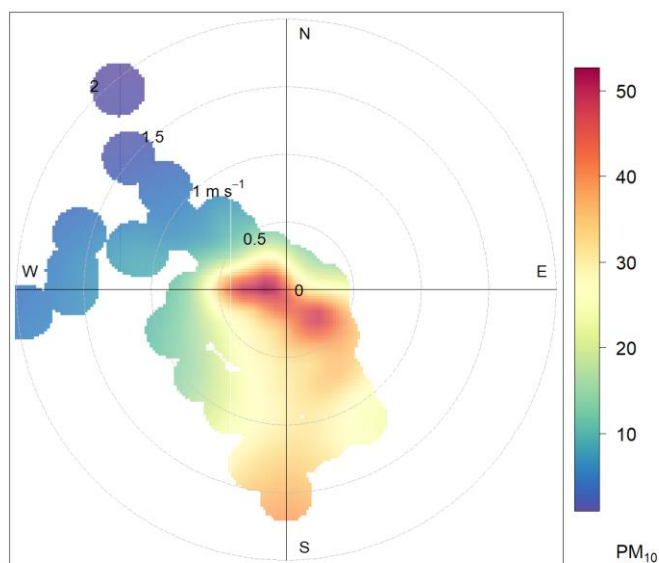
Obrázek 26 – průměrné hodinové koncentrace částic PM₁₀ v lokalitě měřicího vozu v ulici Lány a stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA) v období od 22. 12. 2022 do 4. 1. 2023.

Nárůst byl patrný zejména v lokalitě stanice Brno-Lány, a to vždy ve večerních a nočních hodinách – odpovídá předpokladu zatopení večer. Tuto skutečnost dobře ilustruje následující graf průměrných koncentrací částic PM₁₀ v jednotlivé hodiny dne v příslušné epizodě ze stanice Brno-Lány.



Obrázek 27 – průměrné koncentrace částic PM₁₀ v jednotlivé hodiny dne na stanici Brno-Lány v období od 22. 12. 2022 do 4. 1. 2023.

Z koncentrací částic PM₁₀ na stanici Brno-Lány v období od 22. 12. 2022 do 4. 1. 2023 byla zkonstruována koncentrační růžice, která napoví i o směru proudění při nejvyšších koncentracích částic.



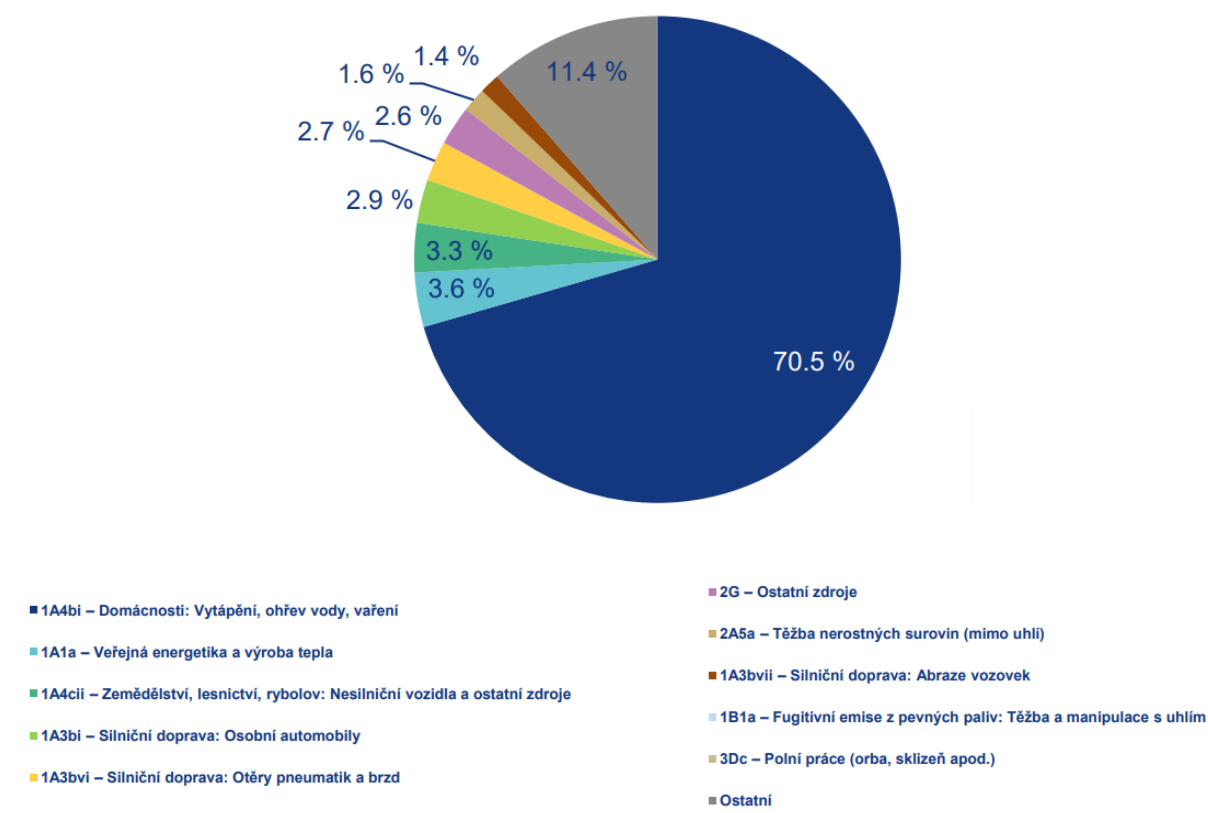
Obrázek 28 – koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi koncentracemi částic PM₁₀ a rychlostí a směrem větru v lokalitě stanice imisního monitoringu Brno-Lány v období od 22. 12. 2022 do 4. 1. 2023.

Růžice ukazuje, že nejvyšší byly koncentrace jednoznačně při nejnižších rychlostech větru, a to zejména při západním proudění.

SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{2,5}

Suspendované částice PM_{2,5} představují chemicky různorodou směs organických a anorganických částic, jejichž společným znakem je aerodynamický průměr do 2,5 μm. Jedná se tedy o částice menší, a tedy zdravotně potenciálně rizikovější, jelikož pronikají hlouběji do dýchacího systému, stejně jako částice PM_{1,0}, kde mohou působit zánětlivě a zhoršovat tak průběh kardiovaskulárních a plicních onemocnění (Wang, 2021). Navíc vzhledem ke své nižší váze mohou v ovzduší setrvávat déle, či se snadněji šířit na větší vzdálenosti. Zdrojem částic této frakce jsou velmi často spalovací procesy.

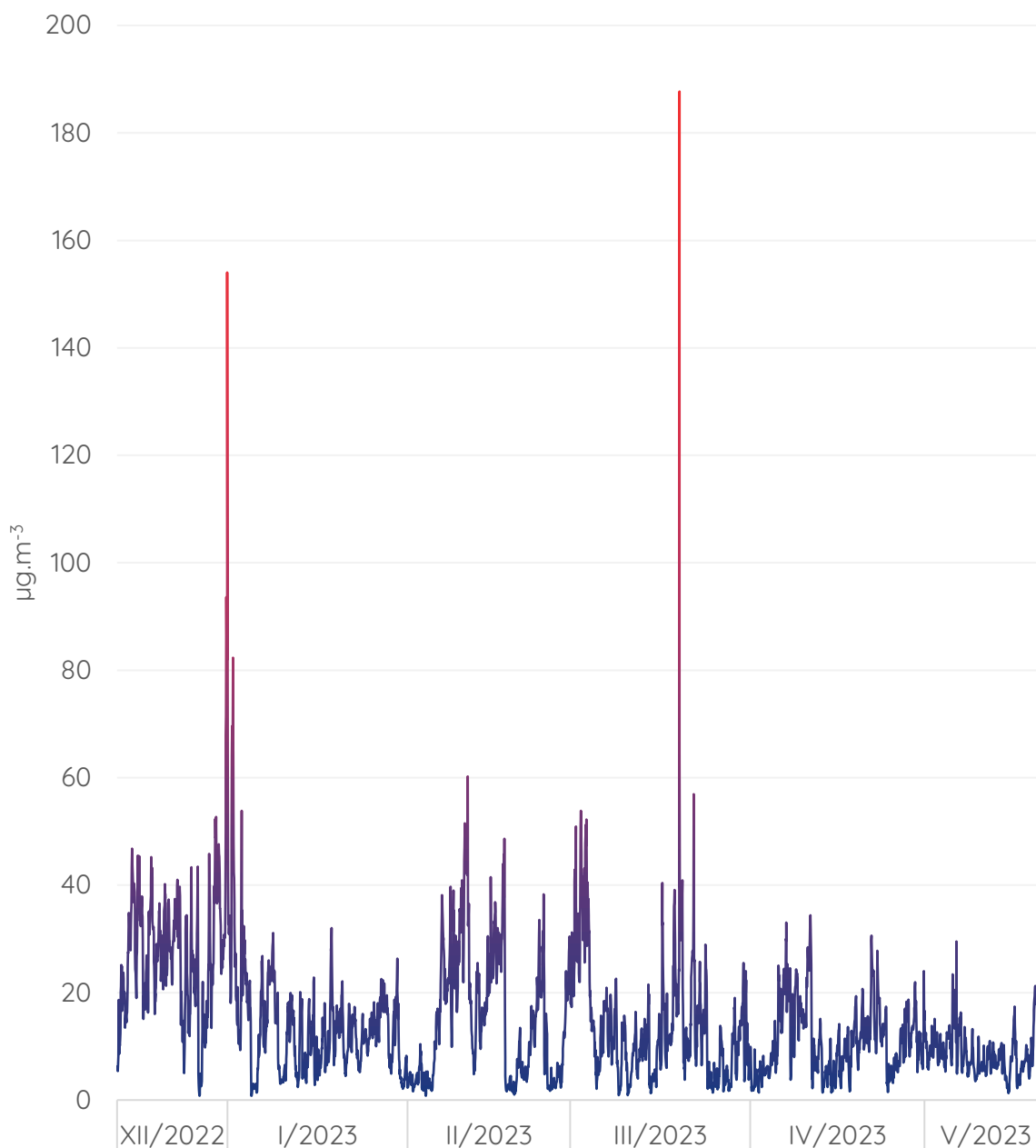
Téměř tři čtvrtiny (70,5 %) emisí PM_{2,5} v České republice pochází z lokálního vytápění domácností. Dalšími významnými, avšak řádově méně zastoupenými kategoriemi zdrojů jsou veřejná energetika a výroba tepla (3,6 %), silniční doprava (3,3 %) a zemědělství, lesnictví a rybolov (2,9 %). Tato čísla jsou platná pro Českou republiku jako celek, v dílčích oblastech, například ve městech, bude toto zastoupení odlišné. Lokální vytápění domácností je problémem zejména v menších obcích, naopak automobilová doprava mívá výraznější zastoupení ve městech.



Obrázek 29 – emisní zdroje suspendovaných částic PM_{2,5} v České republice (emisní bilance 2019)

Pro suspendované částice $PM_{2,5}$ je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven imisní limit pro ochranu zdraví pro roční průměrnou koncentraci ($20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

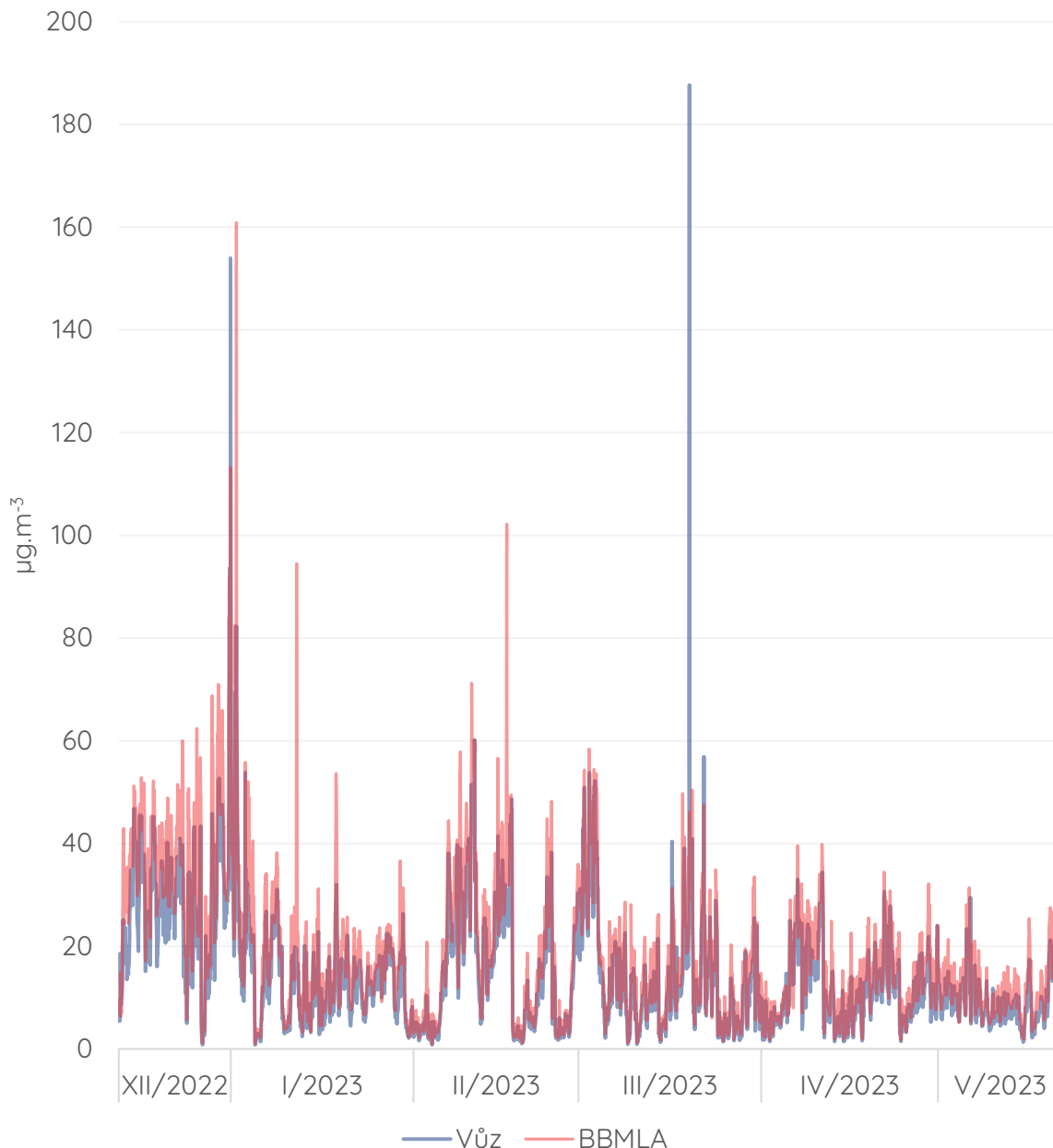
Následující čárový graf ukazuje průběh hodinových průměrných koncentrací částic $PM_{2,5}$ za celou dobu měření měřicím vozem v ulici Lány.



Obrázek 30 - průměrné hodinové koncentrace částic $PM_{2,5}$ naměřené měřicím vozem v ulici Lány.

Celková průměrná koncentrace částic $PM_{2,5}$ za celou měřicí kampaň je $14,56 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Maximální hodinová průměrná koncentrace má hodnotu $187,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a byla pozorována 19. 3. 2023 v 19 h.

Další graf představuje stejné období a opět průměrné hodinové koncentrace částic $PM_{2.5}$, tentokrát včetně srovnání s hodnotami z nedaleké stacionární stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).



Obrázek 31 - průměrné hodinové koncentrace částic $PM_{2.5}$ naměřené měřicím vozem v ulici Lány a na stacionární stanici imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).

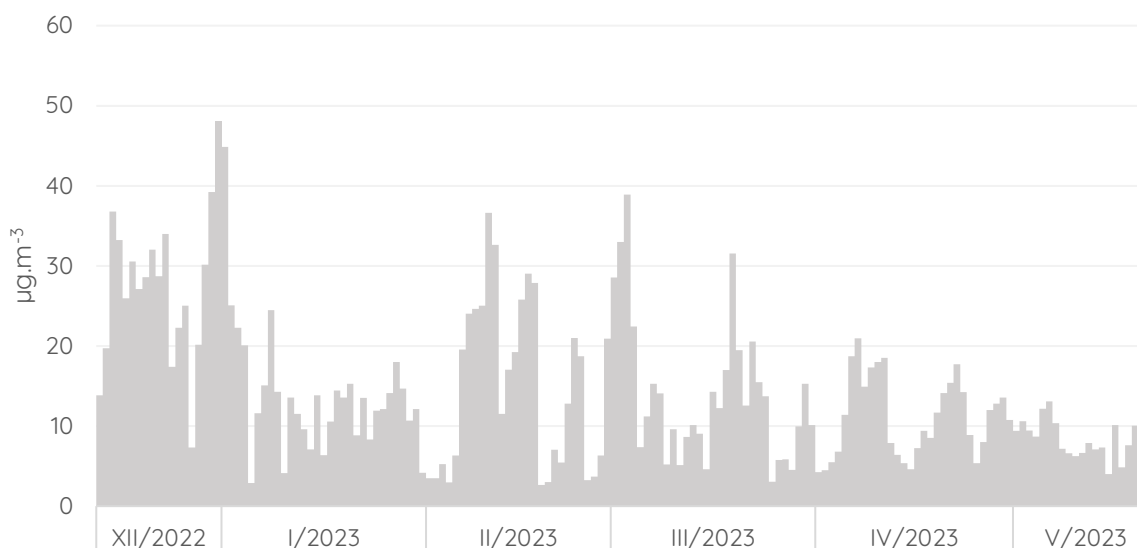
Při srovnání obou křivek je zjevné, že v naprosté většině případů byly koncentrace částic $PM_{2.5}$ v obou lokalitách velmi podobné – projevuje se znečištění plošnějšího charakteru. Jsou zde však patrné i některé zvýšené hodnoty, které se projevíly jen v jedné lokalitě nebo v odlišné intenzitě.

Celkové statistické shrnutí obou datových souborů hodinových průměrných koncentrací ukazuje následující tabulka.

Parametr	Měřicí vůz (ulice Lány)	stanice Brno-Lány (BBMLA)
průměr	14,56 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	18,58 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
medián	11,6 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	15,1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
maximum	187,7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	160,9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
směrodatná odchylka	11,53 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	13,94 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Tabulka ukazuje, že v lokalitě měřicího vozu byly koncentrace částic $\text{PM}_{2,5}$ nižší než v lokalitě Brno-Lány na stanici imisního monitoringu. Přestože je průměrná koncentrace částic $\text{PM}_{2,5}$ v lokalitě stanice Brno-Lány relativně blízko ročnímu imisnímu limitu ($20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), nelze tento průměr s touto hodnotou srovnávat, protože probíhal monitoring převážně v chladnou část roku, kdy jsou koncentrace částic obecně vyšší, a tedy se nejedná o reprezentativní hodnotu v kontextu ročního průměru za kalendářní rok.

Graf níže ukazuje průměrné denní hodnoty koncentrací částic $\text{PM}_{2,5}$ za celou dobu měřicí kampaně z dat měřicího vozu v ulici Lány.

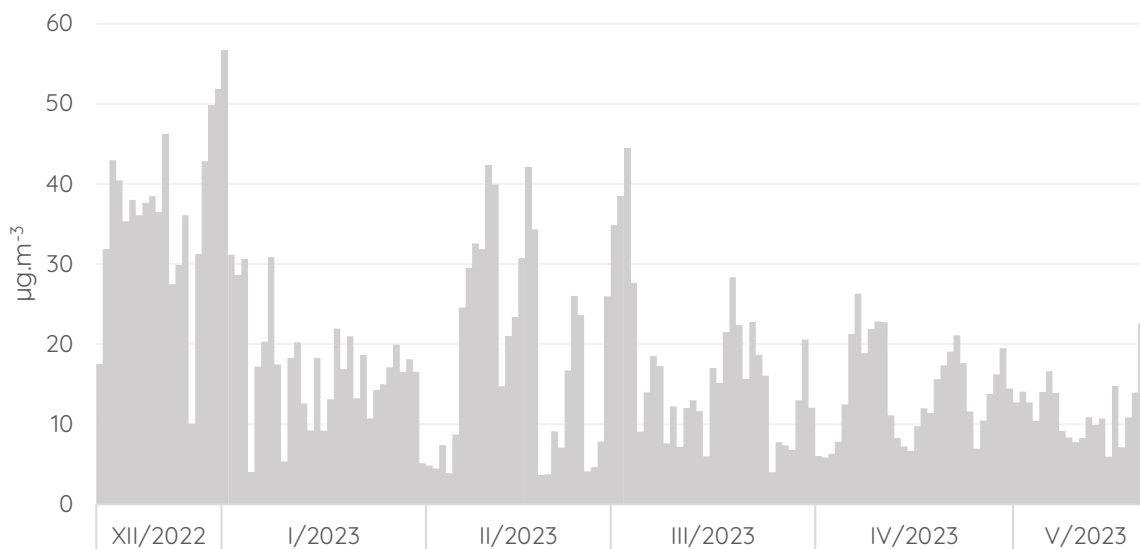


Obrázek 32 - průměrné denní koncentrace částic $\text{PM}_{2,5}$ z dat měřicího vozu v ulici Lány.

Stejně jako v případě částic PM_{10} vidíme nejvyšší hodnoty na přelomu roku. Jak bylo popsáno v kapitole o částicích PM_{10} , tyto vysoké koncentrace souvisí s odpalováním zábavní pyrotechniky v souvislosti se silvestrovskými oslavami. Protože je odpalování

pyrotechniky spalovací proces, produkuje primárně menší částice, tudíž se vliv odpalování projeví jak u částic PM_{10} , tak ještě výrazněji u částic $PM_{2.5}$.

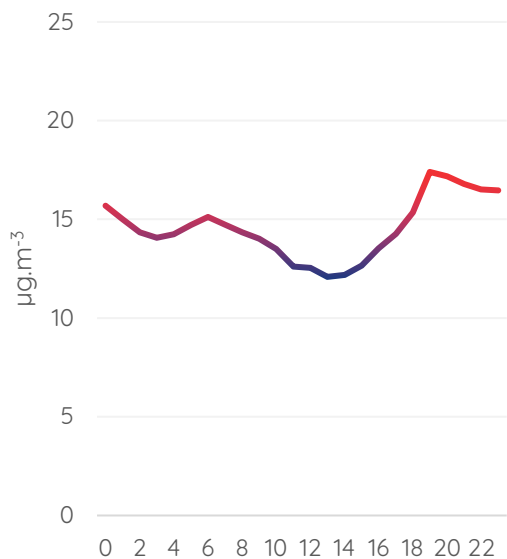
Totožný graf denních průměrných koncentrací byl vytvořen také z dat ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány za totožné období.



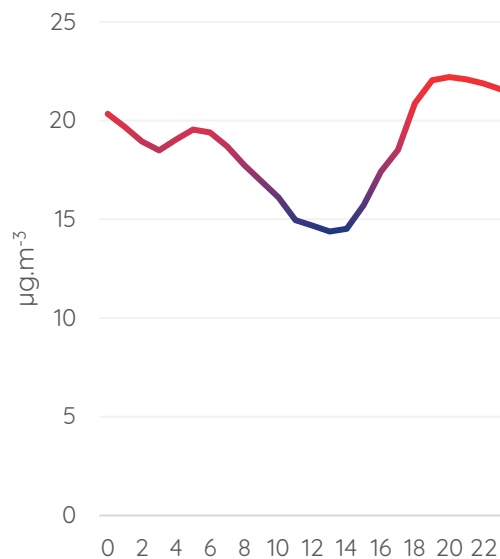
Obrázek 33 - průměrné denní koncentrace částic PM_{10} ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

Také v případě stanice Brno-Lány se nejvýrazněji projevil na koncentracích Silvestr a odpalování zábavní pyrotechniky.

Pro identifikaci potenciálních zdrojů a bližší informace o datech je vhodné zjistit mj. také průměrný denní chod koncentrací částic $PM_{2.5}$. Dva grafy níže ukazují průměrné koncentrace v jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) pro měřicí vůz v ulici Lány i stanici imisního monitoringu Brno-Lány. Pro možnost lepšího srovnání bylo sjednoceno měřítko osy Y.

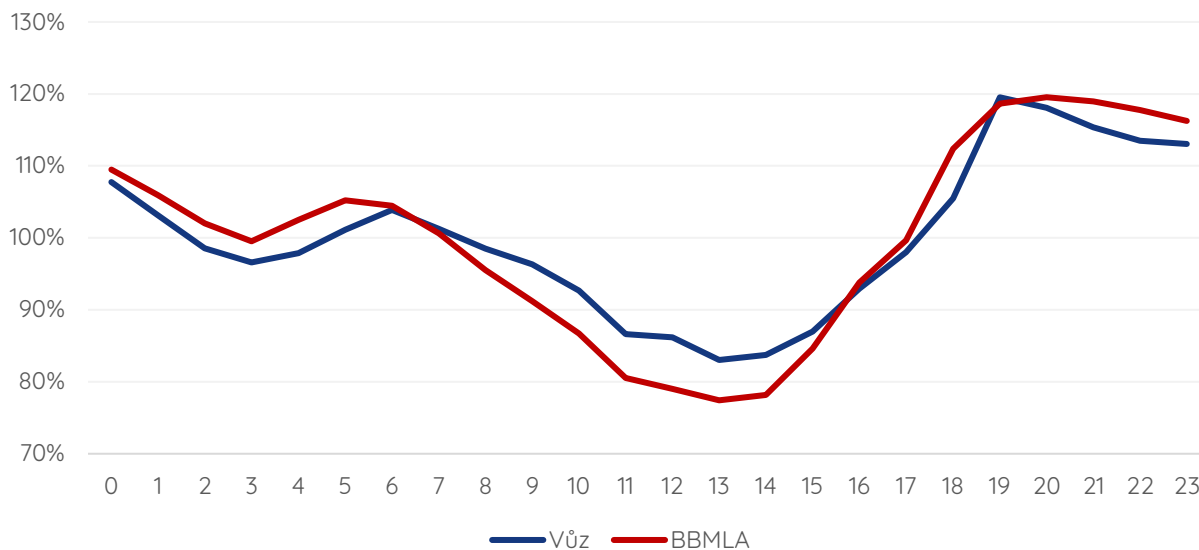


Obrázek 34 – průměrné koncentrace částic PM_{2.5} pro jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) z dat měřicího vozu v ulici Lány.



Obrázek 35 - průměrné koncentrace částic PM_{2.5} pro jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) z dat stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

Přestože se oba grafy mírně liší, co se týče absolutních hodnot koncentrací, křivka trendu je v obou případech velmi podobná s maximem ve večerních hodinách a minimem v brzkých odpoledních. Aby bylo možné oba průměrné chody přímo srovnat, byly hodnoty normalizované. Normalizace byla provedena vztažením každého průměru pro konkrétní hodinu k celkovému průměru z dané lokality. Hodnoty v grafu níže tedy nepředstavují absolutní hodnoty koncentrací, ale procentuální podíl průměrné koncentrace v danou hodinu dne oproti celkovému průměru dne.

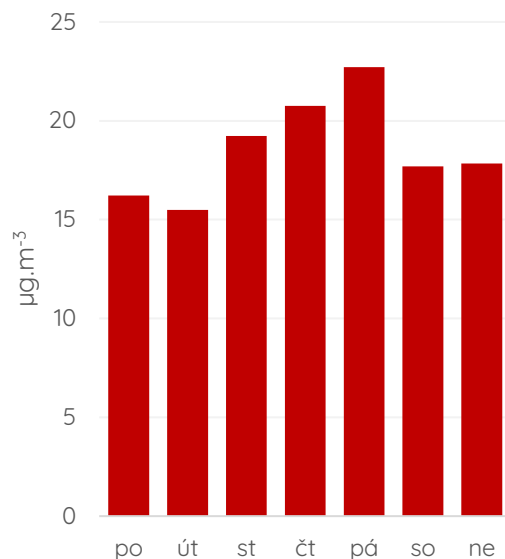
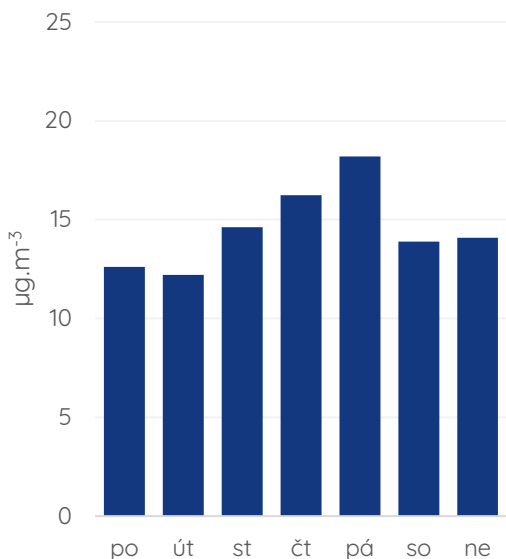


Obrázek 36 - normalizovaný průměrný chod koncentrací částic $PM_{2.5}$ z dat měřicího vozu v ulici Lány a stanice imisního monitoringu Brno-Lány. Hodnoty představují podíl průměrné koncentrace pro danou hodinu dne (v čase UTC) oproti celkovému průměru v dané lokalitě.

Normalizovaný průměrný denní chod koncentrací částic $PM_{2.5}$ je v obou srovnávaných lokalitách prakticky shodný. Patrná je ranní a večerní špička, výraznější pokles po poledni (související mj. s vyšší rychlostí proudění v denní dobu) a postupný pokles v nočních hodinách.

Zajímavé je také podívat se na průměrné koncentrace v jednotlivé dny v týdnu. Na rozdíl od meteorologických podmínek, kde podobná analýza nedává smysl, v případě znečišťujících látek mohou být pozorovány rozdíly zejména mezi pracovními dny a dny víkendovými, kdy se v menší míře projevuje například doprava.

Následující grafy ukazují průměrné koncentrace částic $PM_{2.5}$ v jednotlivé dny v týdnu za celou dobu měření pro data z vozu v ulici Lány a ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány za totožné období.

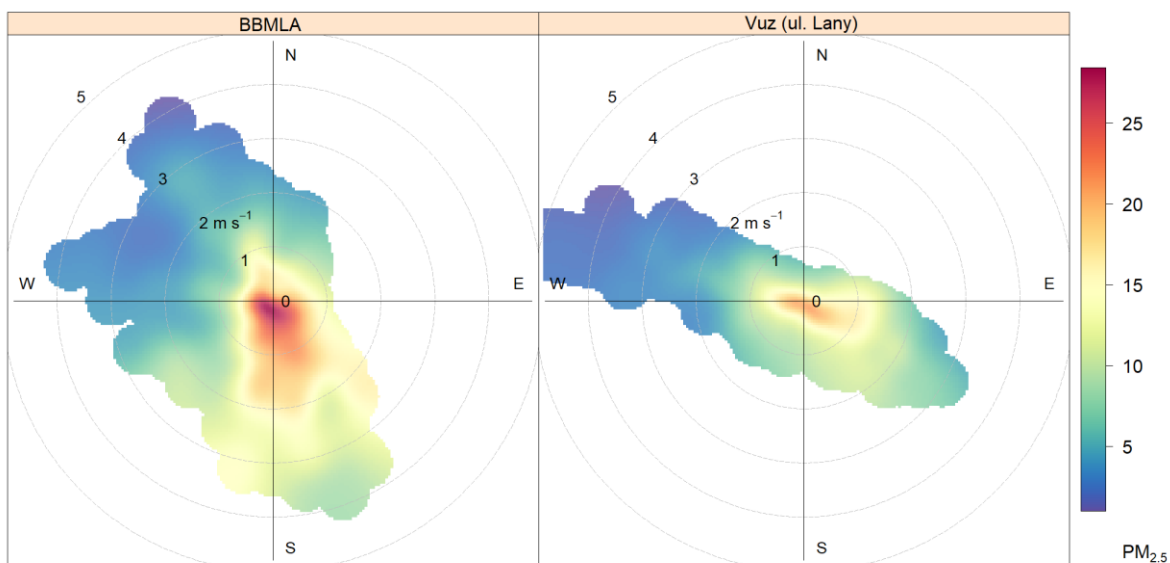


Obrázek 37 - průměrné koncentrace částic PM_{2.5} pro jednotlivé dny v týdnu z dat měřicího vozu v ulici Lány.

Obrázek 38 - průměrné koncentrace částic PM_{2.5} pro jednotlivé dny v týdnu z dat stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

Stejně jako v případě částic PM₁₀, nejvyšší koncentrace částic PM_{2.5} byly v obou lokalitách pozorovány v pátek.

Při hodnocení dat o kvalitě ovzduší jsou velmi užitečné tzv. koncentrační růžice, které ilustrují vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi příslušné znečišťující látky. Následující koncentrační růžice ukazují, při jakém směru a rychlosti větru byly koncentrace částic PM_{2.5} nejvyšší a obecně rozložení koncentrací ve vztahu k parametrům větru.



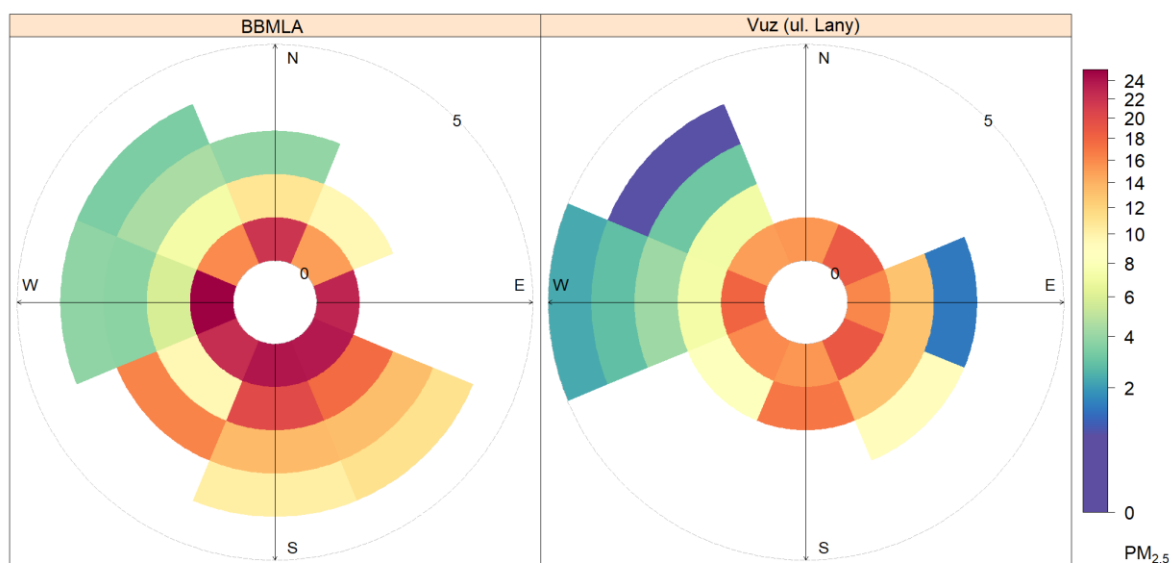
Obrázek 39 - koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi koncentracemi částic PM_{2.5} a rychlostí a směrem větru za celou dobu měřicí kampaně v ulici Lány.

Koncentrační růžice z lokality stanice imisního monitoringu Brno-Lány ukazuje, že nejvyšší míra znečištění částicemi $PM_{2.5}$ byla pozorována při nízkých rychlostech větru. Zvýšené byly hodnoty koncentrací částic $PM_{2.5}$ také při jižním a jihovýchodním proudění.

V lokalitě v ulici Lány (měřicí vůz) byly koncentrace mírně zvýšené při jihovýchodním proudění, naopak nejnižší při proudění severozápadním.

Vážená koncentrační růžice zobrazuje rovněž vztah mezi směrem a rychlostí větru a koncentracemi znečišťujících látek, v potaz ale bere také délku trvání jednotlivých kombinací směru a rychlosti větru. Vážená koncentrační růžice ukazuje, jaký podíl mají na celkovém znečištění v dané lokalitě jednotlivé kombinace směru a rychlosti větru. Pokud je tedy nějaký směr větru hodně zastoupený, i když mohou být koncentrace v daném směru nízké, může být podíl v daném směru významný a naopak.

Následující vážené koncentrační růžice byly zkonstruovány z dat za celou dobu měřicí kampaně v lokalitě ulice Lány pro obě srovnávané lokality.

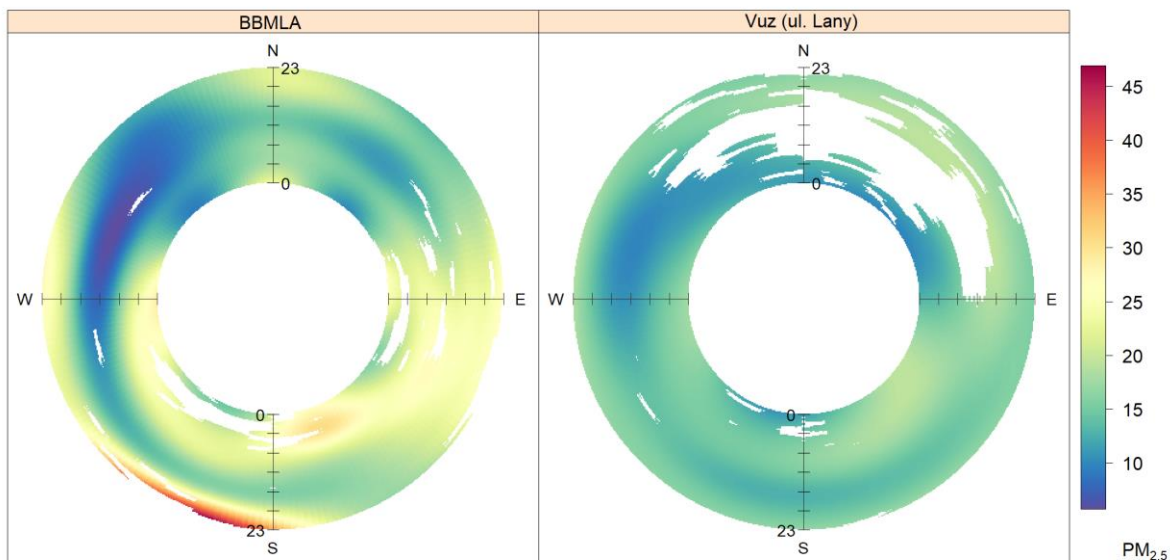


Obrázek 40 - vážená koncentrační růžice ilustrující vztah mezi koncentracemi částic $PM_{2.5}$ a směrem a rychlostí větru, beroucí v potaz zastoupení jednotlivých kombinací směru a rychlosti větru v časovém měřítku.

Růžice ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA) ukazuje, že nejvyšší podíl znečištění částicemi $PM_{2.5}$ je z jižního směru a při velmi nízkých rychlostech větru z jakéhokoliv směru. V lokalitě ulice Lány pochází většina znečištění částicemi $PM_{2.5}$ z jižního a jihovýchodního směru, příp. ze všech směrů při velmi nízkých rychlostech větru. Severní a severovýchodní směr je v případě lokality ulice Lány zastoupen naprosto

minimálně – to souvisí s faktem, že zde stála budova a větrná růžice z této lokality ukazuje na naprosto minimální zastoupení těchto směrů větru.

Anulární koncentrační růžice má za cíl posoudit vztah mezi směrem větru, koncentrací částic $PM_{2,5}$ a hodinou dne.

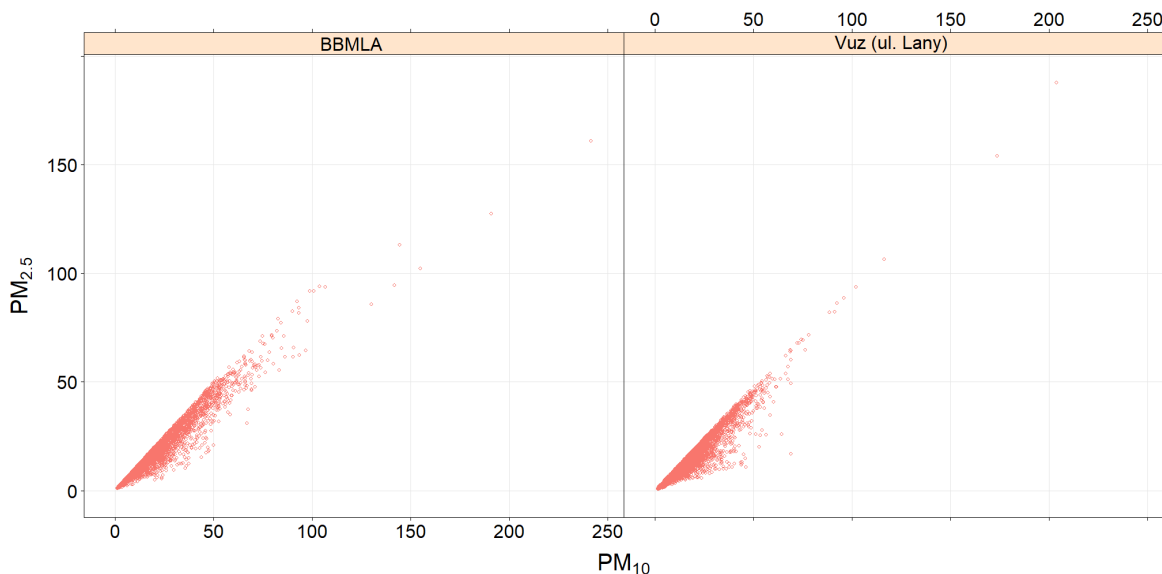


Obrázek 41 - anulární koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi koncentracemi $PM_{2,5}$, směrem větru a hodinou dne (v občanském čase).

Anulární koncentrační růžice z lokality Brno-Lány ukazuje velmi vysoké hodnoty při jižním až jihozápadním proudění v nočních hodinách. Tato hodnota je značně ovlivněna jednou epizodou vysokých koncentrací $PM_{2,5}$, při tomto směru větru a hodině dne. Obecně jsou však patrné vyšší koncentrace při východním proudění po celý den, naopak při západním a zejména severozápadním, velmi nízké koncentrace zejména uprostřed dne. V lokalitě ulice Lány jsou patrné zvýšené koncentrace uprostřed dne zejména při jihovýchodním směru proudění, zejména v ranních hodinách.

VZTAH MEZI FRAKCEMI

Následující bodový graf ukazuje vztah mezi hodinovými průměrnými koncentracemi PM_{10} a $PM_{2,5}$ zvláště pro obě srovnávané lokality.

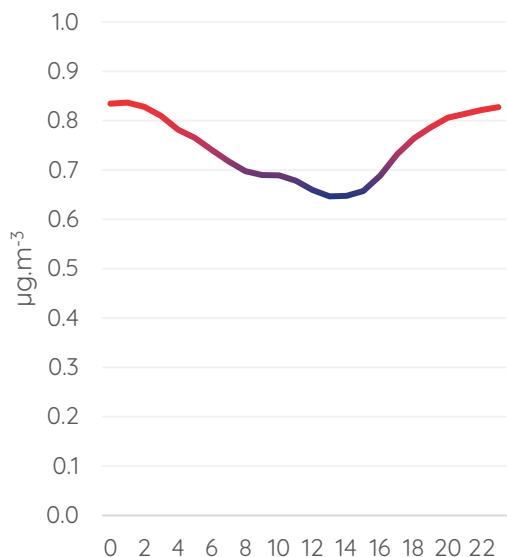


Obrázek 42 – bodový graf vztahu mezi koncentracemi částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ z obou srovnávaných lokalit stanice Brno-Lány a měřicího vozu v ulici Lány.

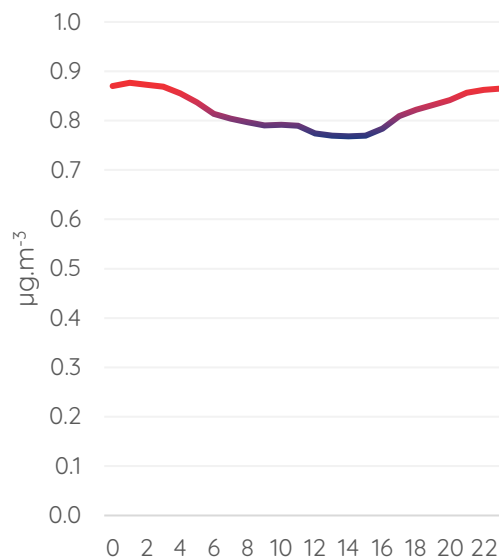
Mezi koncentracemi obou frakcí je úzká vazba. Hodnoty koncentrací PM_{10} jsou vždy vyšší, což souvisí s faktem, že všechny částice $PM_{2,5}$ jsou zároveň částicemi PM_{10} , kam však patří i větší částice, které mají aerodynamický průměr větší než $2,5 \mu m$, proto nejsou klasifikované jako částice $PM_{2,5}$.

Za účelem podrobnějšího vyhodnocení byl vypočítán i poměr částic $PM_{2,5}/PM_{10}$. Ten ukazuje, jaké zastoupení měli v celkovém pohledu menší částice. V lokalitách s vyšším podílem zdrojů větších částic (např. zemědělská činnost) bývá tento poměr nižší, naopak v lokalitách silně ovlivněných spalovacími zdroji (vytápění, doprava), bývá tento poměr vyšší, protože většina částic představuje menší částice, které při spalovacích procesech primárně vznikají.

Následující grafy ukazují průměrný poměr koncentrací částic $PM_{2,5}/PM_{10}$ v jednotlivé hodiny dne v čase UTC pro obě srovnávané lokality.



Obrázek 43 – průměrný poměr koncentrací částic PM_{2,5}/PM₁₀ v lokalitě měřicího vozu v ulici Lány.



Obrázek 44 - průměrný poměr koncentrací částic PM_{2,5}/PM₁₀ v lokalitě stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).

V případě obou lokalit je poměr koncentrací částic PM_{2,5}/PM₁₀ relativně vysoký a svědčí o vysokém podílu menších částic. Tento podíl klesá zejména v poledních hodinách. Na znečištění se zde tedy podílí zejména spalovací zdroje. Částice PM_{2,5} jsou také díky své menší velikosti lehčí a mohou se atmosférou šířit na větší vzdálenosti, proto je vyšší podíl částic PM_{2,5} do jisté míry možný také při vyšším podílu dálkového transportu.

S ohledem na denní průměrný chod poměru koncentrací PM_{2,5} nelze vyloučit vliv lokálních topenišť, který se projevuje právě nárůstem ve večerních hodinách, vliv zde bude mít ale i odpolední dopravní špička, po které se koncentrace snižují pomaleji než po ranní (souvisí s faktem, že v denní dobu jsou obecně vyšší rychlosti větru a vyšší koncentrace se tak rychleji rozptýlí než v noční dobu).

OXIDY DUSÍKU

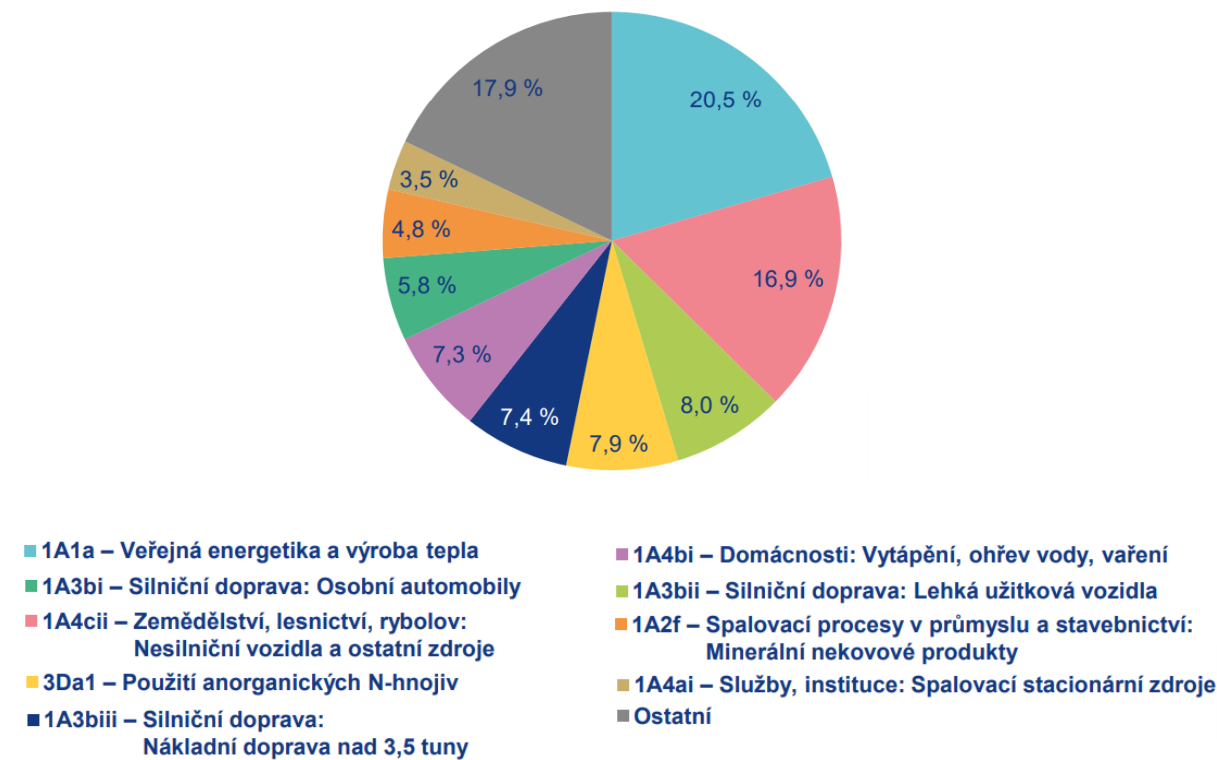
V kontextu kvality ovzduší se jako oxidy dusíku (NO_x) označuje součet koncentrací oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO₂). Vzhledem k faktu, že NO je přechodný meziprodukt a rychle oxiduje mj. na NO₂, jsou koncentrace NO_x závislé především na koncentracích NO₂. Oxidy dusíku se negativně podepisují na životním prostředí, a to hlavně ve spojitosti s globálním oteplováním (oxid dusný se řadí mezi tzv. skleníkové plyny) a kyselých deštích (spolu s oxidem siřičitým), (Mohajan, 2018). Oxidy dusíku fungují také spolu s organickými těkavými látkami (VOC) a slunečním zářením jako prekurzory vzniku nežádoucího přízemního ozónu.

Oxidy dusíku mají širokou škálu dopadů i na lidské zdraví. Snižují funkci plic a poškozují sliznice, přičemž mohou vést až k rozvoji astmatu a potížím s dýcháním a podrážděním očí. Přispívají též k rozvoji alergií. V oblastech s vysokou hladinou znečištění oxidy dusíku byl prokázán nárůst kardiovaskulárních nemocí včetně zvýšené úmrtnosti (Kampa, 2008).

Oxidy dusíku se tvoří při spalování paliv v závislosti na teplotě spalování, obsahu dusíku v palivu a přebytku spalovacího vzduchu. Emisními zdroji bývají teplárny, elektrárny, lokální topeniště, silniční doprava, ale také ta železniční a vodní. Vznikají i při některých chemicko-technologických procesech (např. výroba kyseliny dusičné, amoniaku, dusíkatých hnojiv). Koncentrace oxidů dusíku bývají obvykle zvýšené ve městech v blízkosti frekventovaných dopravních tepen. Mezi přírodní zdroje patří vulkanická činnost či půda v rámci denitrifikačních procesů, které v ní probíhají (Grant, 2013).

Měření NO_x (NO i NO₂) probíhá chemiluminescenční metodou, kdy reakcí oxidu dusnatého (NO) a ozónu (O₃) v plynné fázi vzniká charakteristická luminiscence s intenzitou přímo úměrnou koncentraci oxidu dusnatého, dále oxid dusičitý a kyslík. Emise záření je měřena pomocí fotonásobiče. Měření lze provádět v několika cyklech, a to dle toho, zda je měřena koncentrace NO, NO₂, či NO_x. Provádí-li se cyklus NO, vzorek plynu prochází přímo měřicí komorou, kde dochází k oxidaci NO molekulami ozónu. Výstupní signál fotonásobiče je tak úměrný koncentraci NO v měřeném vzorku. Provádí-li se cyklus NO_x – vzorek plynu prochází konvertorem a poté je smíchán s ozónem uvnitř reakční komory. Výstupní signál fotonásobiče je pak úměrný koncentracím NO + NO₂ v měřeném vzorku. A provádí-li se referenční cyklus, vzorek plynu prochází předreakční komorou, kde je smíchán s ozónem. Molekuly NO obsažené v měřeném vzorku jsou oxidovány na NO₂ před vstupem do reakční komory. Výstupní signál z fotonásobiče je použit jako nulový referenční signál.

Dle nejnovější emisní bilance z roku 2019 je v České republice hlavním zdrojem NO_x v ovzduší kategorie Veřejná energetika a výroba tepla (20,5 %) a dále Silniční doprava: Osobní automobily (16,9 %). Doprava je však v tomto případě rozdělena do více kategorií a při sečtení veškerých kategorií týkajících se dopravy je patrné, že právě doprava je v současnosti hlavním zdrojem NO_x.



Obrázek 45 - emisní zdroje oxidů dusíku (NO_x) v České republice (emisní bilance 2019)

OXID DUSIČITÝ (NO₂)

Oxid dusičitý je v čisté plynné formě červenohnědý a silně agresivní a jedovatý. Jedná se o meziprodukt výroby kyseliny dusičné, obecně je používán jako oxidační činidlo v mnoha průmyslových technologiích. Nebezpečí vdechování oxidu dusičitého spočívá ve vzniku zánětů dýchacích cest, který může vést až k edému plic (Khaniabadi, 2017).

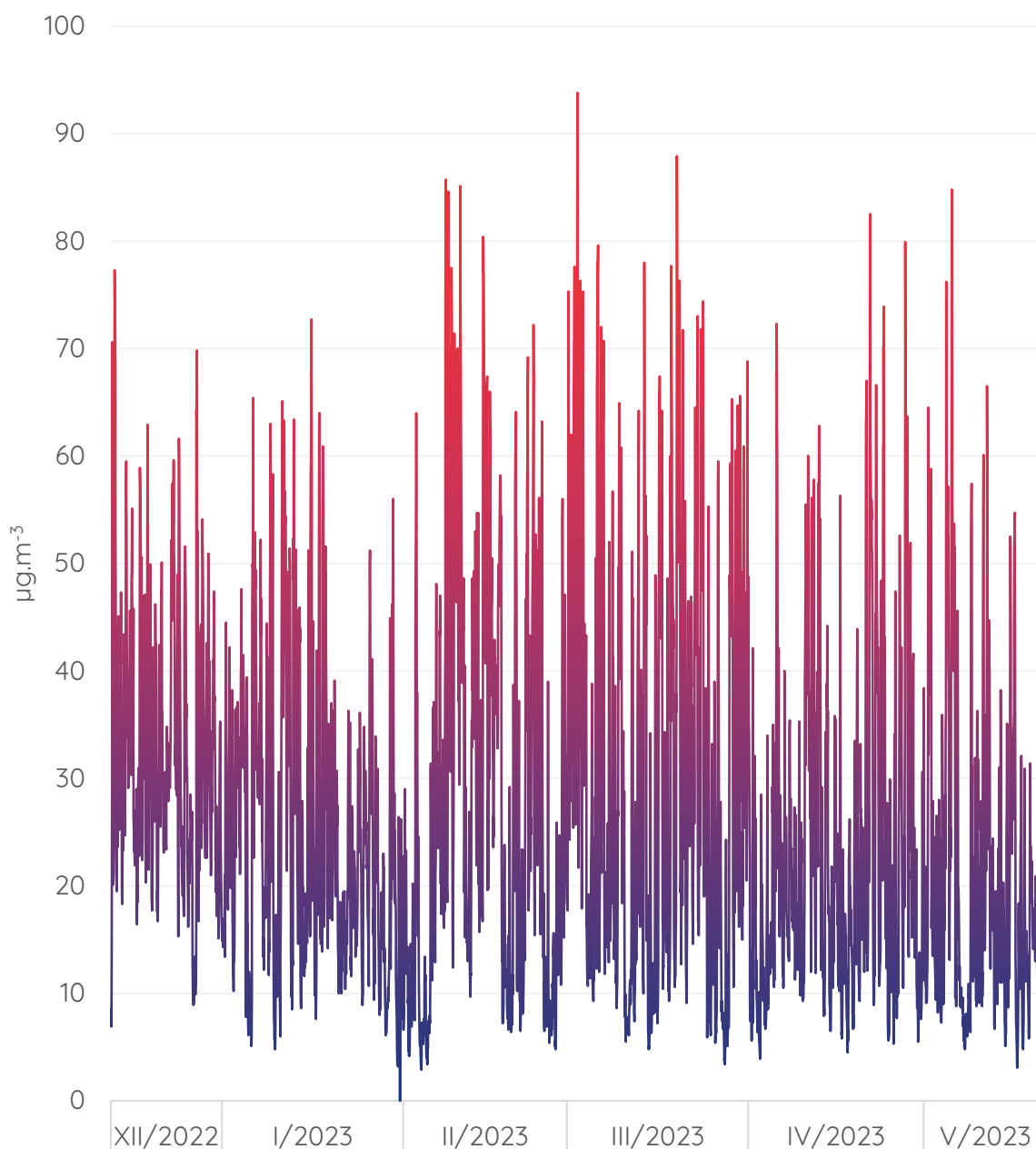
Měření oxidu dusičitého je založeno na chemiluminiscenci. Koncentrace tohoto plynu jsou zjišťovány sekundárně z rozdílu mezi koncentracemi oxidu dusnatého (NO) a oxidů dusíku (NO_x = NO + NO₂).

Nejvýznamnějším zdrojem oxidu dusičitého je doprava a v menší míře průmysl a domácnosti (WHO, 2016). Vzniká oxidací vzdušného dusíku za vysokých teplot ve spalovacích motorech. Patří na seznam plynů podílejících se na tvorbě nežádoucích kyselých dešťů (Kumar, S., 2017). Navíc spolu s kyslíkem a těkavými organickými látkami (VOC) reaguje za vzniku přízemního ozonu, polutantu, který může ve vysokých koncentracích způsobit vznik fotochemického smogu. Působení NO₂ bývá spojováno se zvýšením celkové, kardiovaskulární a respirační úmrtnosti (Costa, 2014).

Pro oxid dusičitý jsou v zákoně o ochraně ovzduší stanoveny dva imisní limity pro ochranu zdraví:

- imisní limit pro roční průměrnou koncentraci ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
- imisní limit pro hodinovou průměrnou koncentraci ($200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, max. 18 překročení za kalendářní rok)

Následující čárový graf ukazuje průběh hodinových průměrných koncentrací NO_2 za celou dobu měření měřicím vozem v ulici Lány.

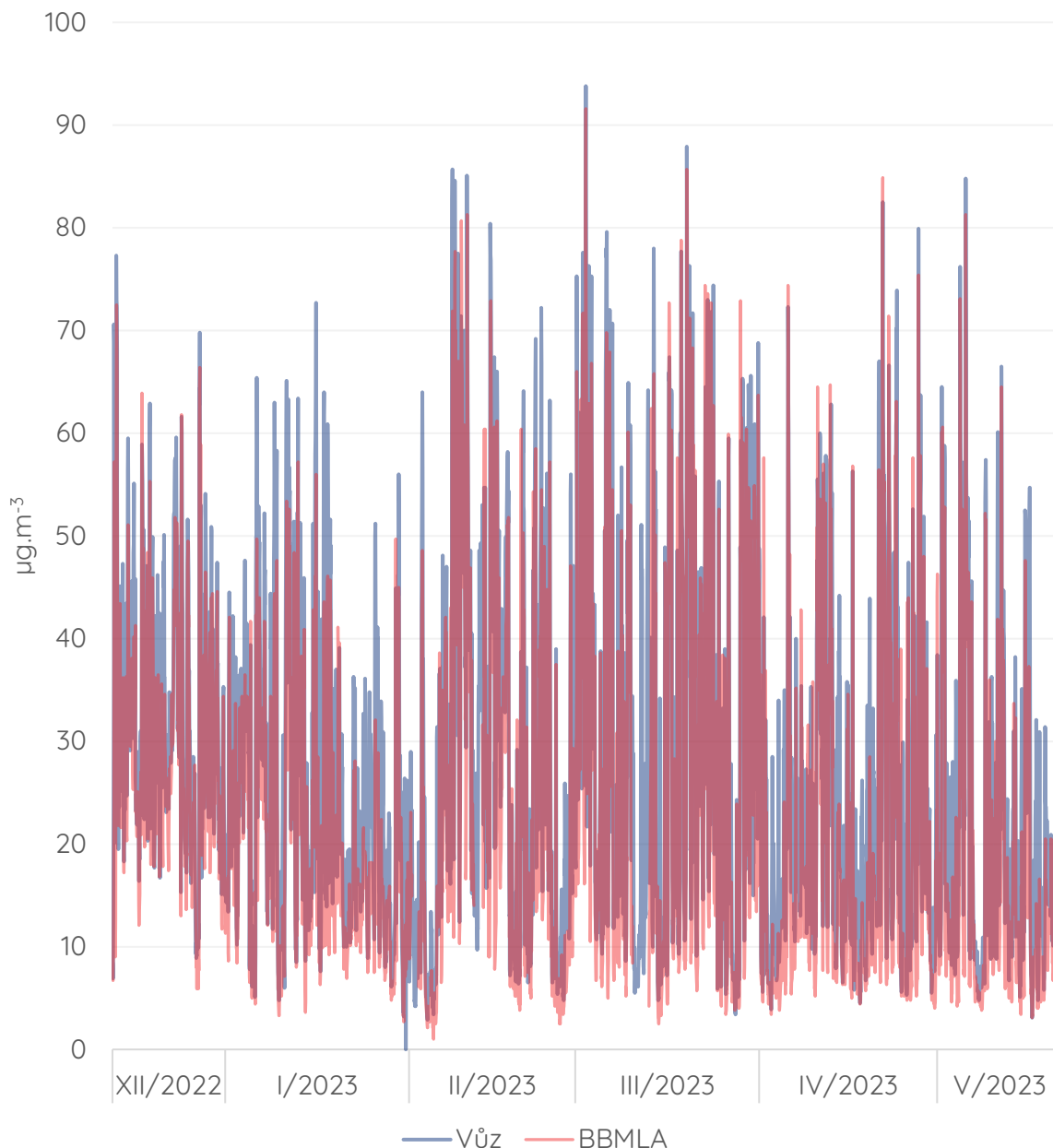


Obrázek 46 - průměrné hodinové koncentrace NO_2 naměřené měřicím vozem v ulici Lány.

Na první pohled je patrná vysoká variabilita dat. Ta je primárně dána variabilitou v průběhu dne, kdy v dopravně ovlivněných lokalitách koncentrace přes den mohou být značně rozdílné.

Celková průměrná koncentrace NO_2 za celou měřicí kampaň je $26,54 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Maximální hodinová průměrná koncentrace má hodnotu $93,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a byla pozorována 2. 3. 2023 v 18 h.

Další graf představuje stejné období a opět průměrné hodinové koncentrace NO_2 , tentokrát včetně srovnání s hodnotami z nedaleké stacionární stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).



Obrázek 47 - průměrné hodinové koncentrace NO₂ naměřené měřicím vozem v ulici Lány a na stacionární stanici imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).

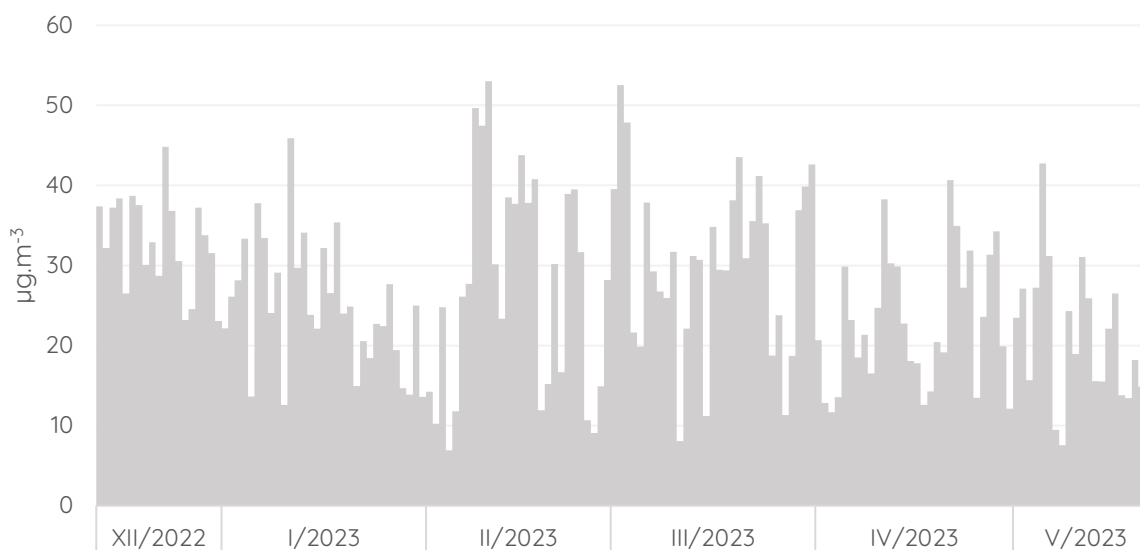
Přestože je interpretace tohoto grafu obtížnější s ohledem na jeho rozkolísanost, je patrné, že trendy chodu koncentrací jsou v obou lokalitách podobné. Oproti srovnání chodu částic PM jsou zde patrné větší rozdíly v absolutních hodnotách koncentrací NO₂ na obou lokalitách s převahou vyšších hodnot v lokalitě měřicího vozu v ulici Lány.

Celkové statistické shrnutí obou datových souborů hodinových průměrných koncentrací ukazuje následující tabulka.

Parametr	Měřicí vůz (ulice Lány)	stanice Brno-Lány (BBMLA)
průměr	26,54 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	22,56 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
medián	22,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	17,2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
maximum	93,8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	91,6 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
směrodatná odchylka	16,33 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	16,40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Zejména srovnání obou mediánových hodnot ukazuje, že v lokalitě ulice Lány byly koncentrace NO_2 přibližně o 30 % vyšší. Ve srovnání se stanicí Brno-Lány byla lokalita měřicího vozu v ulici Lány výrazně blíže intenzivnímu dopravnímu zdroji, proto vyšší koncentrace NO_2 v této lokalitě nejsou překvapením.

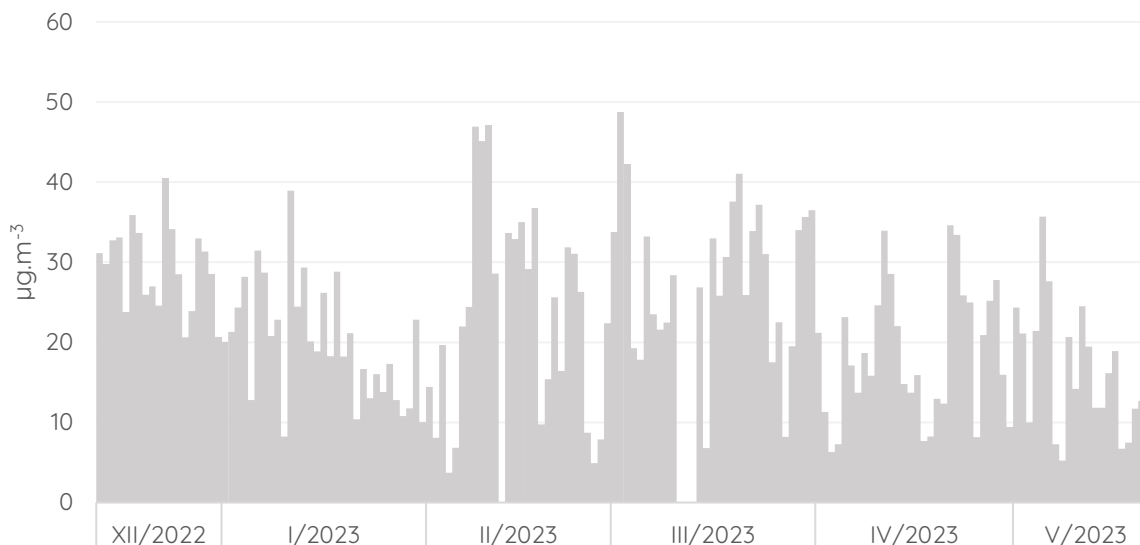
Graf níže ukazuje průměrné denní hodnoty koncentrací NO_2 za celou dobu měřicí kampaně z dat měřicího vozu v ulici Lány.



Obrázek 48 - průměrné denní koncentrace NO_2 z dat měřicího vozu v ulici Lány.

U oxidu dusičitého se odpalování pyrotechniky projevuje výrazně méně než u částic PM, proto zde není nejvýraznější maximum na přelomu roku. Nejvyšší průměrné denní koncentrace NO_2 se pohybovaly kolem $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

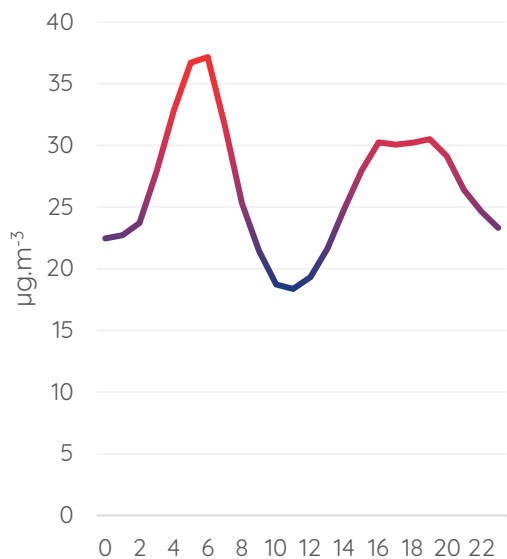
Totožný graf denních průměrných koncentrací byl vytvořen také z dat ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány za totožné období.



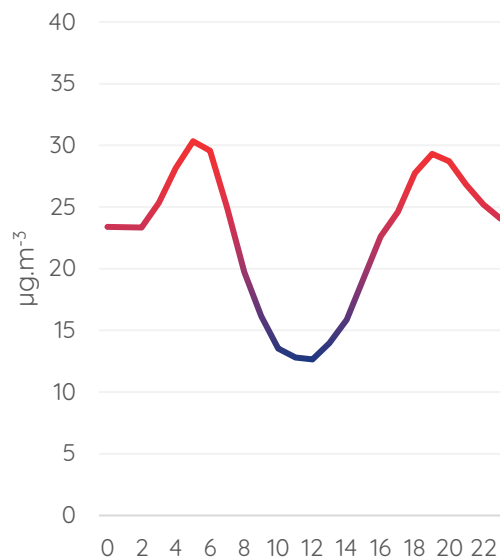
Obrázek 49 - průměrné denní koncentrace NO₂ ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

Při srovnání obou grafů vidíme velmi podobný trend denních průměrných koncentrací NO₂ v obou srovnávaných lokalitách. Průměrné denní koncentrace NO₂ na stanici Brno-Lány byly celkově nižší. V maximech se pohybovaly do 50 µg·m⁻³.

Pro identifikaci potenciálních zdrojů a bližší informace o datech je vhodné zjistit mj. také průměrný denní chod koncentrací NO₂. Dva grafy níže ukazují průměrné koncentrace v jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) pro měřicí vůz v ulici Lány i stanici imisního monitoringu Brno-Lány. Pro možnost lepšího srovnání bylo sjednoceno měřítko osy Y.



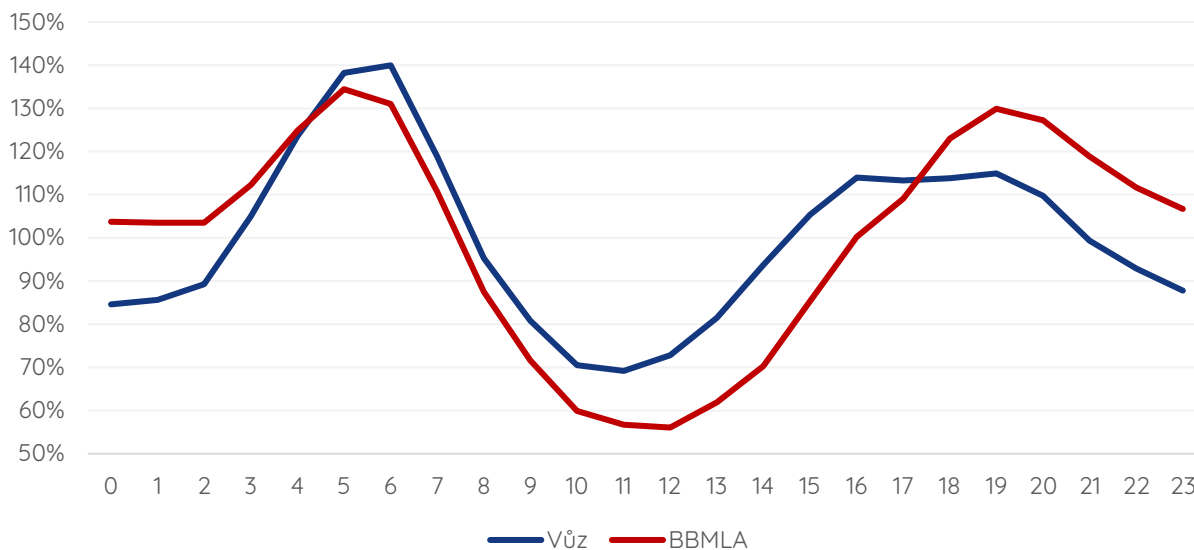
Obrázek 50 - průměrné koncentrace NO₂ pro jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) z dat měřicího vozu v ulici Lány.



Obrázek 51 - průměrné koncentrace NO₂ pro jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) z dat stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

Průměrný denní chod koncentrací NO₂ je u obou lokalit velmi podobný a zároveň výrazný. V lokalitě měřicího vozu v ulici Lány se velmi výrazně projevuje ranní dopravní špička, kdy se průměrné koncentrace pohybují až nad 35 µg.m⁻³. Kolem poledne dochází v souvislosti s útlumem dopravy a vyšším prouděním větru v denní dobu k výraznějšímu poklesu, kterému následuje opětovný nárůst v souvislosti s odpolední dopravní špičkou. Na stanici Brno-Lány je trend v hodnoceném období podobný, ale ranní dopravní špička se více projevuje v lokalitě měřicího vozu v ulici Lány.

Aby bylo možné oba průměrné chody přímo srovnat, byly hodnoty normalizované. Normalizace byla provedena vztažením každého průměru pro konkrétní hodinu k celkovému průměru z dané lokality. Hodnoty v grafu níže tedy nepředstavují absolutní hodnoty koncentrací, ale procentuální podíl průměrné koncentrace v danou hodinu dne oproti celkovému průměru dne.

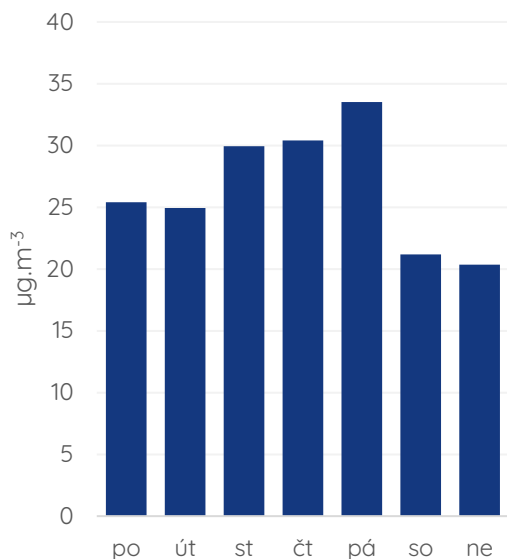


Obrázek 52 - normalizovaný průměrný chod koncentrací NO₂ z dat měřicího vozu v ulici Lány a stanice imisního monitoringu Brno-Lány. Hodnoty představují podíl průměrné koncentrace pro danou hodinu dne (v čase UTC) oproti celkovému průměru v dané lokalitě.

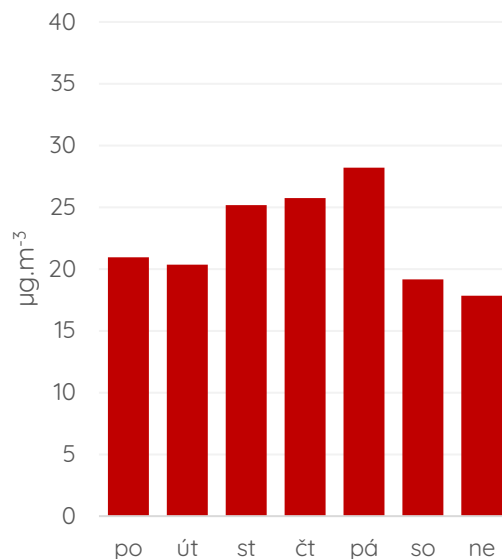
Oba normalizované průměrné denní chody koncentrací NO₂ jsou v obou lokalitách velmi podobné. V lokalitě stanice imisního monitoringu Brno-Lány je procentuálně výraznější pokles po poledni a naopak výraznější večerní špička.

Zajímavé je také podívat se na průměrné koncentrace v jednotlivé dny v týdnu. Na rozdíl od meteorologických podmínek, kde podobná analýza nedává smysl, v případě znečišťujících látek mohou být pozorovány rozdíly zejména mezi pracovními dny a dny víkendovými, kdy se v menší míře projevuje například doprava.

Následující grafy ukazují průměrné koncentrace NO₂ v jednotlivé dny v týdnu za celou dobu měření pro data z vozu v ulici Lány a ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány za totožné období.



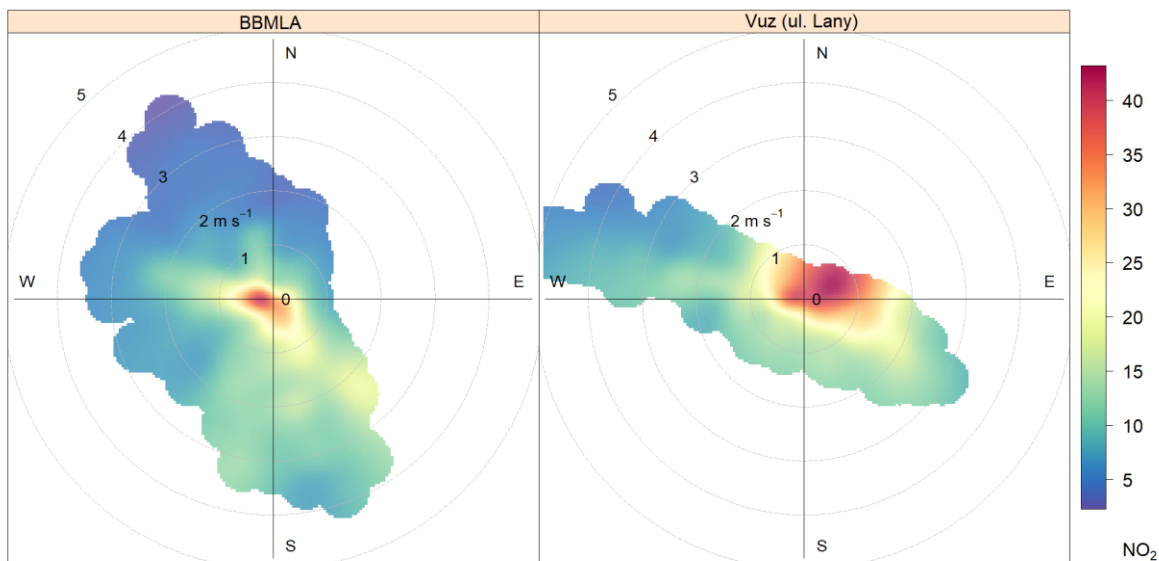
Obrázek 53 - průměrné koncentrace NO₂ pro jednotlivé dny v týdnu z dat měřicího vozu v ulici Lány.



Obrázek 54 - průměrné koncentrace NO₂ pro jednotlivé dny v týdnu z dat stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

V obou grafech je patrné, že nejvyšší hodnoty byly v průměru pozorovány v pátek, naopak nižší byly koncentrace v oba víkendové dny, zejména v neděli. Tento charakter průměrného týdenního trendu koncentrací NO₂ je typický pro lokality ovlivněné dopravou.

Při hodnocení dat o kvalitě ovzduší jsou velmi užitečné tzv. koncentrační růžice, které ilustrují vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi příslušné znečišťující látky. Následující koncentrační růžice ukazují, při jakém směru a rychlosti větru byly koncentrace NO₂ nejvyšší a obecně rozložení koncentrací ve vztahu k parametrům větru.

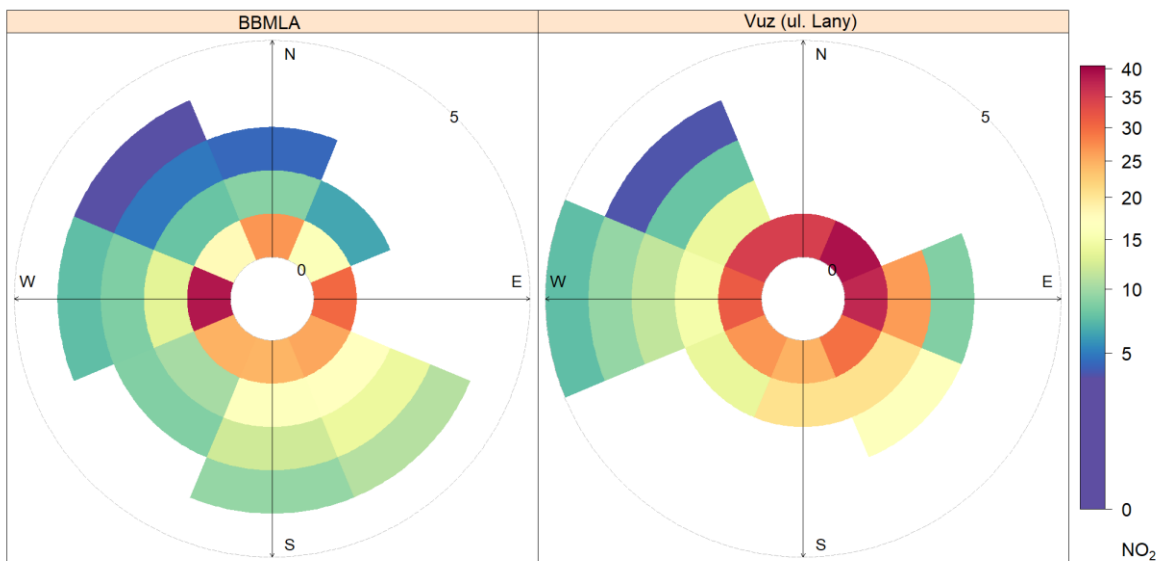


Obrázek 55 - koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi koncentracemi NO_2 a rychlostí a směrem větru za celou dobu měřicí kampaně v ulici Lány.

V případě lokality stanice Brno-Lány (BBMLA) byly koncentrace nejvyšší při nízkých rychlostech větru a totéž platí i o data z měřicího vozu v ulici Lány. V případě lokality stanice Brno-Lány je dále významnější zejména jihovýchodní směr proudění, v lokalitě měřicího vozu se rovněž projevovaly zejména severní až východní směry.

Vážená koncentrační růžice zobrazuje rovněž vztah mezi směrem a rychlostí větru a koncentracemi znečišťujících látek, v potaz ale bere také délku trvání jednotlivých kombinací směru a rychlosti větru. Vážená koncentrační růžice ukazuje, jaký podíl mají na celkovém znečištění v dané lokalitě jednotlivé kombinace směru a rychlosti větru. Pokud je tedy nějaký směr větru hodně zastoupený, i když mohou být koncentrace v daném směru nízké, může být podíl v daném směru významný a naopak.

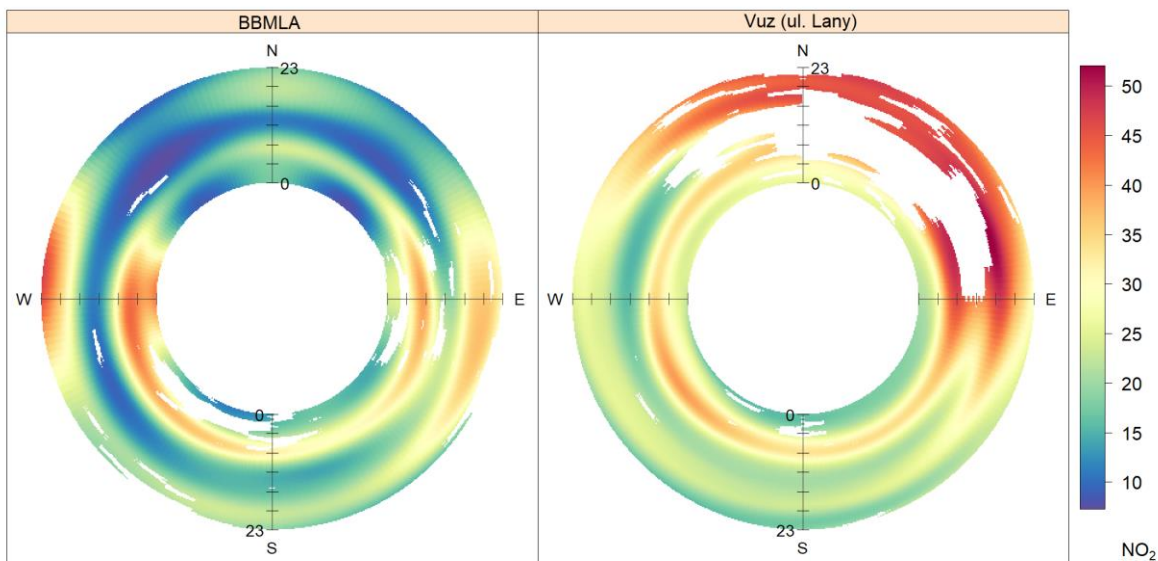
Následující vážené koncentrační růžice byly zkonstruovány z dat za celou dobu měřicí kampaně v lokalitě ulice Lány pro obě srovnávané lokality.



Obrázek 56 - vážená koncentrační růžice ilustrující vztah mezi koncentracemi částic NO₂ a směrem a rychlostí větru, beroucí v potaz zastoupení jednotlivých kombinací směru a rychlostí větru v časovém měřítku.

Na stanici Brno-Lány pochází největší podíl znečištění víceméně ze všech směrů, ale vždy při velmi nízkých rychlostech větru. V lokalitě ulice Lány platí totéž. Výrazněji se projevuje severozápadní proudění, zde je ale proudění velmi omezené (budova v těsné blízkosti), pravděpodobně se tedy jedná spíše o kumulaci znečištění v dané lokalitě při tomto směru proudění.

Anulární koncentrační růžice má za cíl posoudit vztah mezi směrem větru, koncentrací NO₂ a hodinou dne.

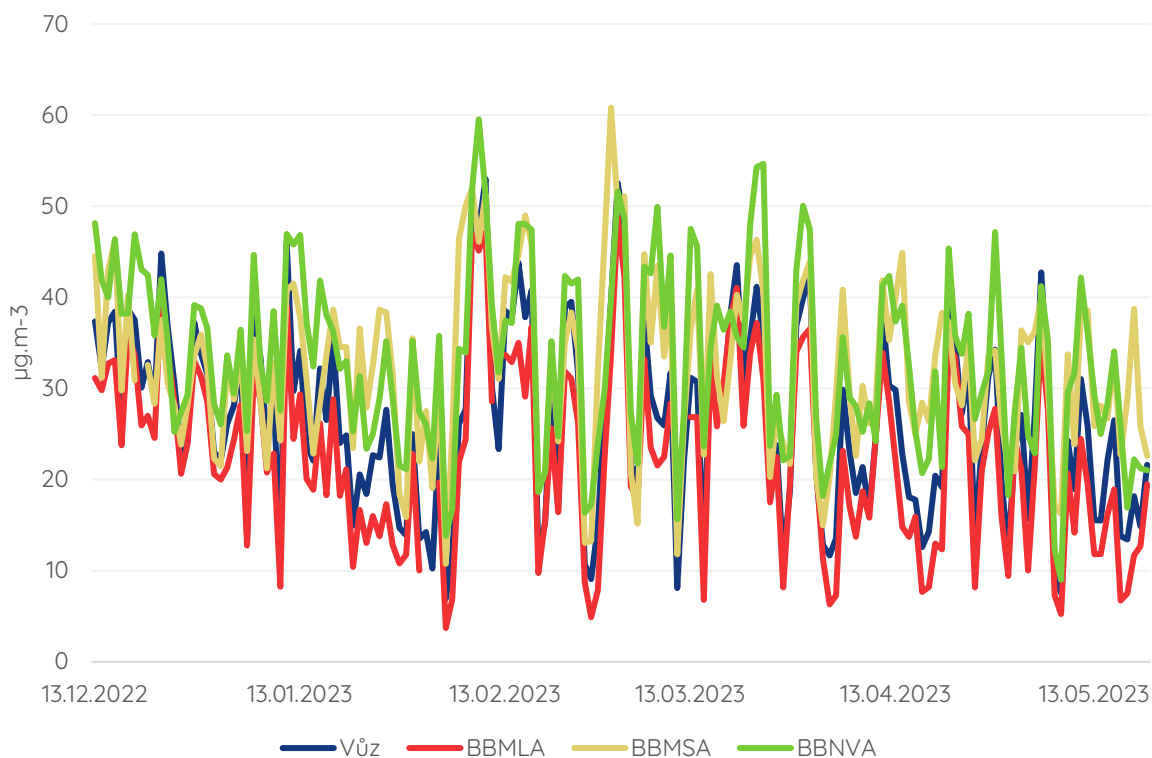


Obrázek 57 - anulární koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi koncentracemi NO₂, směrem větru a hodinou dne (v občanském čase).

V lokalitě stanice Brno-Lány byly koncentrace NO₂ zvýšené ve večerních a nočních hodinách při západním proudění. U jižního a východního směru to bylo naopak v ranních a večerních hodinách (koreluje s dopravními špičkami). V lokalitě ulice Lány byly koncentrace nejvyšší v ranních hodinách, a to zejména při severovýchodním proudění – jak bylo popsáno výše, může to souviset spíše s kumulací znečištění při tomto směru proudění, protože zde stojí budova a proudění je velmi omezené.

Pro lepší možnost srovnání a kontext byla analýza v případě oxidu dusičitého doplněna ještě o srovnání s dvěma dopravně velmi vytíženými stanicemi Brno-Úvoz (hot spot) a Brno-Svatoplukova.

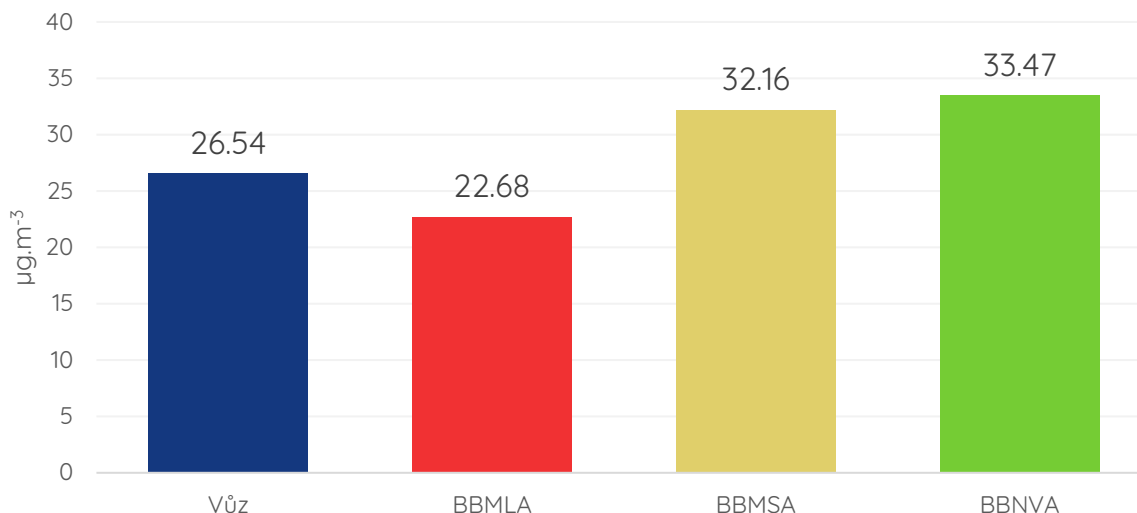
Graf níže ukazuje průměrné denní koncentrace NO₂ v hodnoceném období ze tří srovnávaných stanic imisního monitoringu a lokality měřicího vozu v ulici Lány.



Obrázek 58 – průměrné denní koncentrace NO_2 v lokalitě měřicího vozu v ulici Lány (Vůz) a na stanicích imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA), Brno-Svatoplukova (BBMSA) a Brno-Úvoz (hot spot) (BBNVA).

Z výše uvedeného grafu je patrné, že nejnižší byly koncentrace NO_2 v lokalitě stanice Brno-Lány, naopak nejvyšší na jedné z dopravně velmi vytížených stanic Brno-Svatoplukova nebo Brno-Úvoz. Tento výsledek odpovídá tomu, jak jsou jednotlivé lokality dopravně zatížené.

Pro lepší srovnání byly hodnoty dále zprůměrovány za celé hodnocené období.



Obrázek 59 – průměrné koncentrace NO₂ za celé hodnotící období v lokalitě měřicího vozu v ulici Lány (Vůz) a na stanicích imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA), Brno-Svatoplukova (BBMSA) a Brno-Úvoz (hot spot) (BBNVA).

Z výše uvedeného grafu jsou rozdíly jasně patrné. Průměrné koncentrace NO₂ ve velmi dopravně zatížených lokalitách (BBMSA a BBNVA) jsou přibližně o 20 % vyšší než hodnoty v ulici Lány (měřící vůz). Naopak na stanici Brno-Lány, která je klasifikována jako předměstská pozad'ová a ze srovnávaných stanic je nejméně dopravně zatížená, jsou koncentrace přibližně o 15 % nižší než v poloze měřicího vozu v ulici Lány.

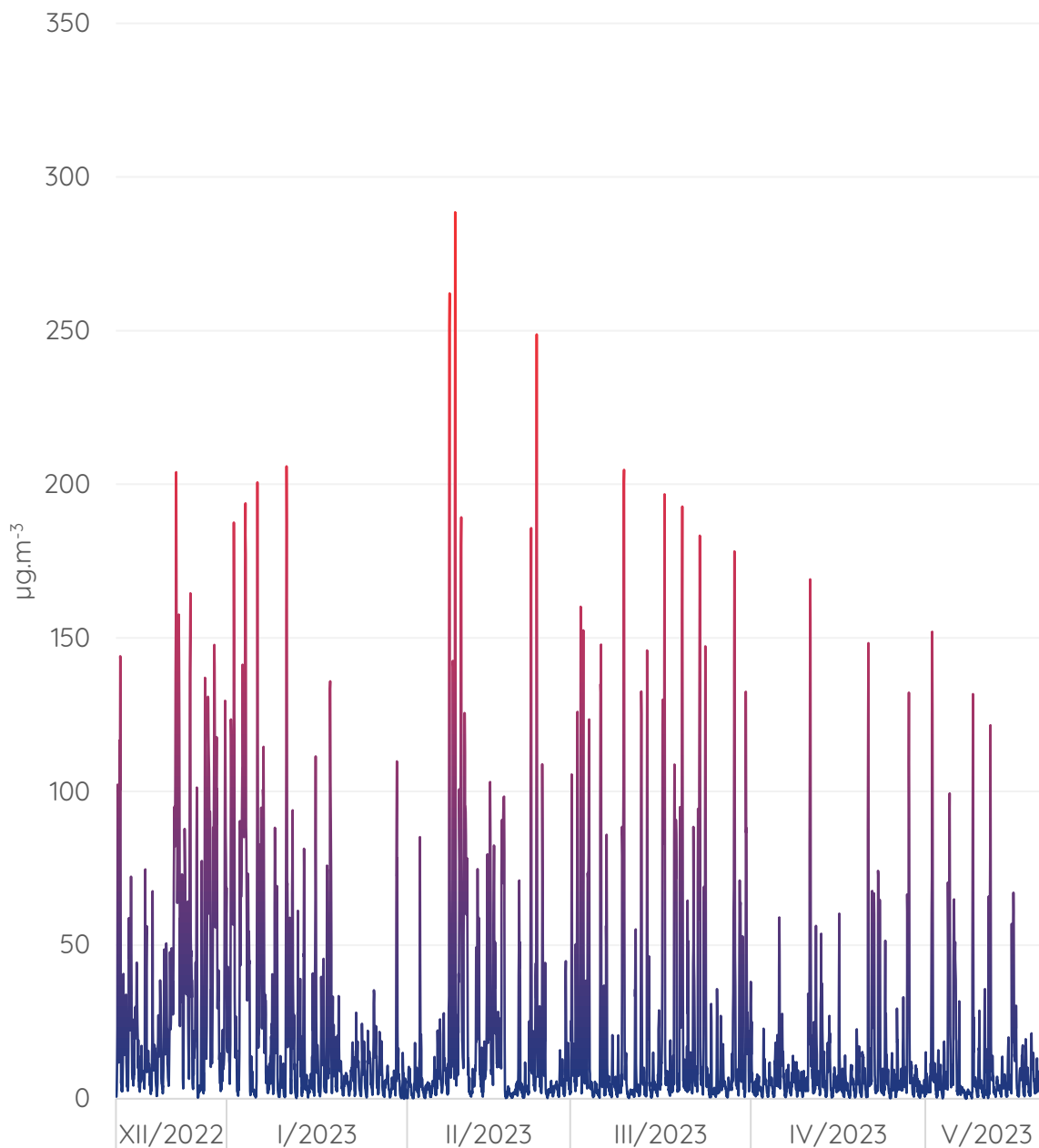
OXID DUSNATÝ (NO)

Oxid dusnatý je za normálních podmínek bezbarvý jedovatý plyn. Jedná se o velmi reaktivní molekulu, která snadno oxiduje na NO₂, tedy představuje dočasný intermediát v řadě chemických reakcí probíhajících jak v troposféře, tak ve stratosféře (Tadic, 2021). Oxid dusnatý je taktéž meziproduktem při výrobě kyseliny dusičné, využívá se též v potravinářství. Jelikož NO v atmosféře rychle oxiduje na NO₂, jsou jeho koncentrace vysoké zejména v blízkosti jeho zdroje. NO vzniká při nedokonalém spalování, např. ve spalovacích motorech. Koncentrace NO bývají typicky vysoké v lokalitách, které jsou dopravně zatíženy, tedy zejména v blízkosti samotných intenzivně zatížených komunikací. Následně vzniklý NO₂ se může šířit na větší vzdálenosti, např. napříč městem.

Měření oxidu dusnatého je založeno na chemiluminiscenci. Přímo pro NO není specifikován imisní limit.

Přímo pro oxid dusnatý není v zákoně o ochraně ovzduší stanoven žádný imisní limit.

Následující čárový graf ukazuje průběh hodinových průměrných koncentrací NO za celou dobu měření měřicím vozem v ulici Lány.

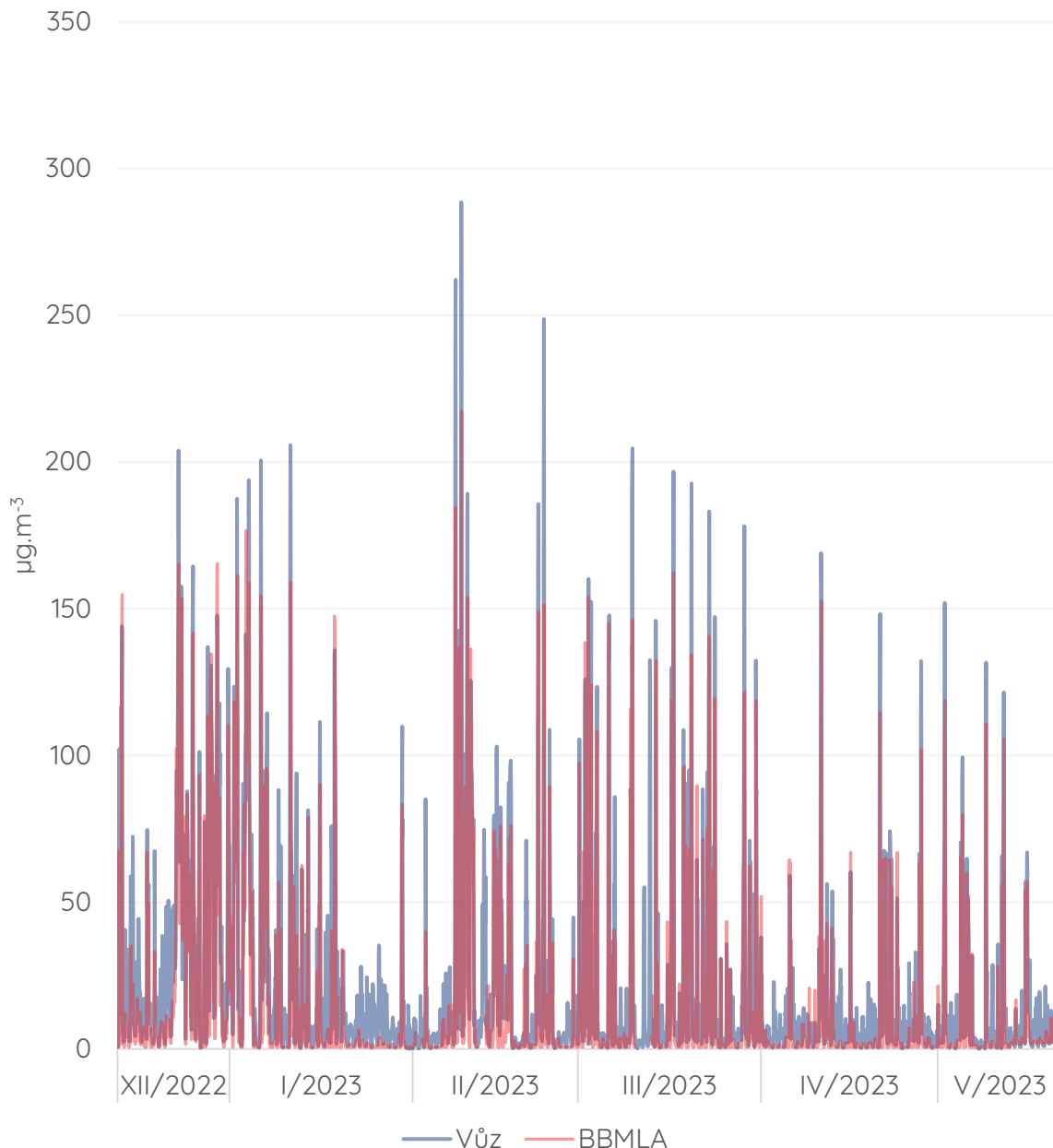


Obrázek 60 - průměrné hodinové koncentrace NO naměřené měřicím vozem v ulici Lány.

V grafu je dobře patrná velmi výrazná variabilita koncentrací NO. To souvisí s vlivem dopravy. Variabilita bývá vyšší v lokalitách více ovlivněných dopravou. Naopak v lokalitách odlehlých bývají koncentrace NO dlouhodobě velmi nízké.

Celková průměrná koncentrace NO za celou měřicí kampaň je $20,19 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Maximální hodinová průměrná koncentrace má hodnotu $288,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a byla pozorována 9. 2. 2023 v 6 h.

Další graf představuje stejné období a opět průměrné hodinové koncentrace NO, tentokrát včetně srovnání s hodnotami z nedaleké stacionární stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).



Obrázek 61 - průměrné hodinové koncentrace NO naměřené měřicím vozem v ulici Lány a na stacionární stanici imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).

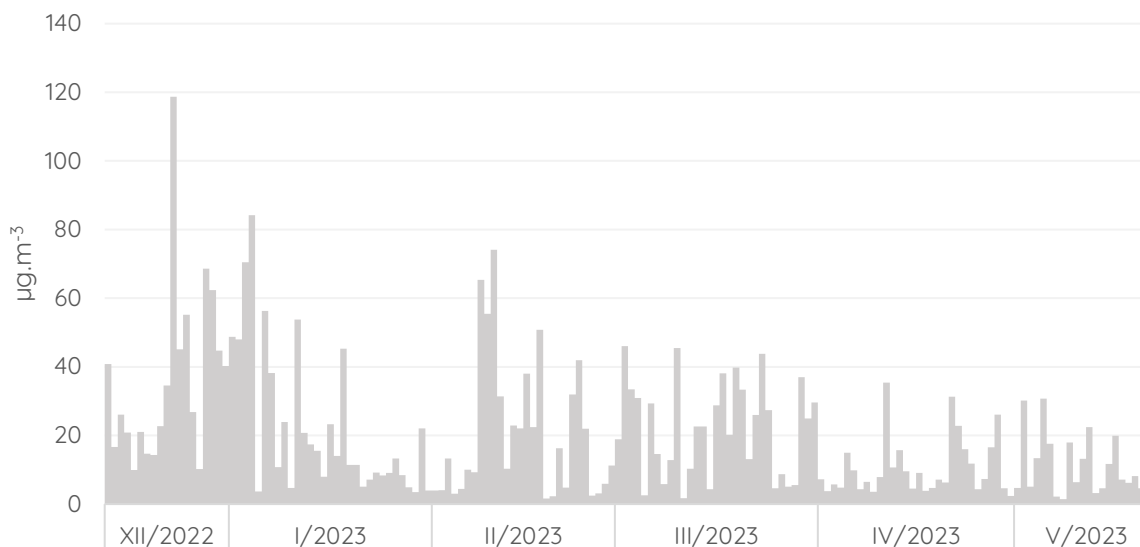
Přestože je interpretace tohoto grafu obtížnější s ohledem na jeho rozkolísanost, je patrné, že trend chodu koncentrací je v obou lokalitách podobný. Oproti srovnání chodu částic PM jsou zde patrné výrazně větší rozdíly v absolutních hodnotách koncentrací NO na obou lokalitách s převahou vyšších hodnot v lokalitě měřicího vozu v ulici Lány.

Celkové statistické shrnutí obou datových souborů hodinových průměrných koncentrací ukazuje následující tabulka.

Parametr	Měřicí vůz (ulice Lány)	stanice Brno-Lány (BBMLA)
průměr	20,19 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	15,17 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
medián	6,8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	1,7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
maximum	288,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	217,3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
směrodatná odchylka	32,55 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	30,05 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Velmi výrazný je v obou lokalitách rozdíl v mediánové hodnotě. To ukazuje na fakt, že v lokalitě ulice Lány (měřicí vůz) bylo pozorováno více vysokých hodnot koncentrací NO, které ale nebyly tak časté, protože průměrná hodnota koncentrací je odlišná výrazně méně (rozdíl ca 25 %).

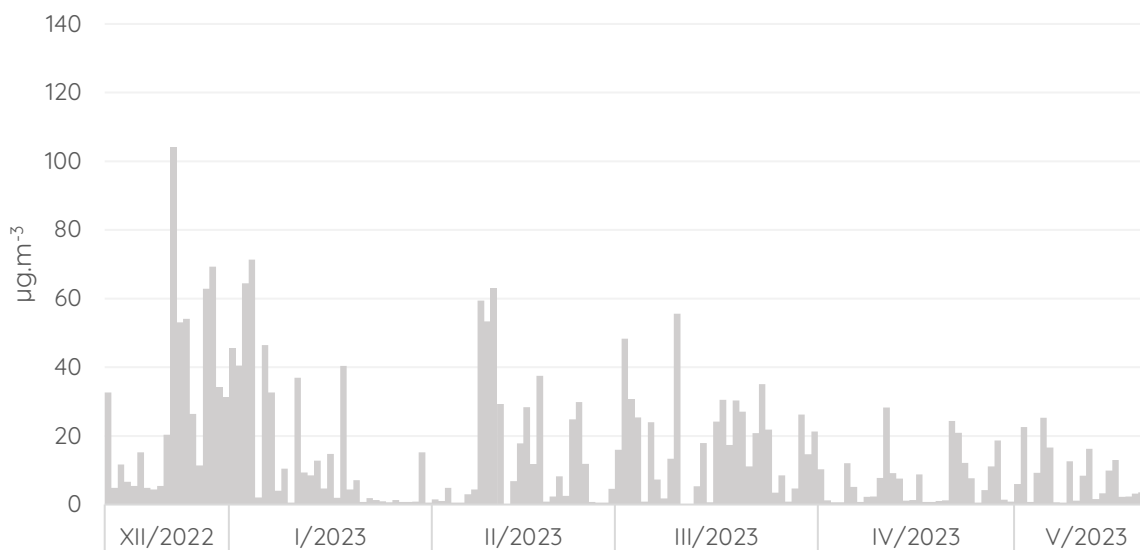
Graf níže ukazuje průměrné denní hodnoty koncentrací NO za celou dobu měřicí kampaně z dat měřicího vozu v ulici Lány.



Obrázek 62 - průměrné denní koncentrace NO z dat měřicího vozu v ulici Lány.

Jak ukazuje graf, průměrné denní koncentrace NO se pohybovaly většinou do 40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v několika dnech byly vyšší, jeden den dosáhly hodnoty téměř 120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

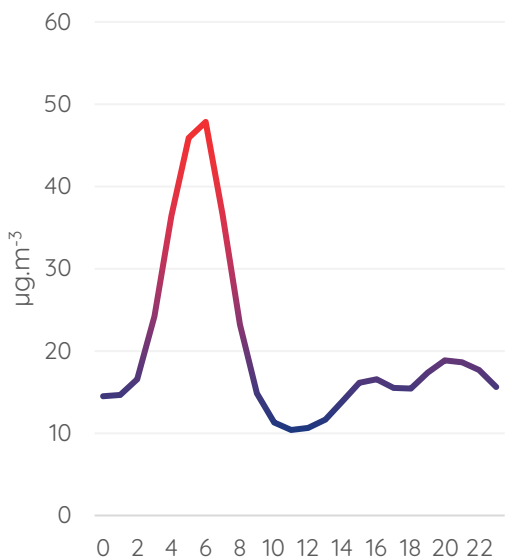
Totožný graf denních průměrných koncentrací byl vytvořen také z dat ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány za totožné období.



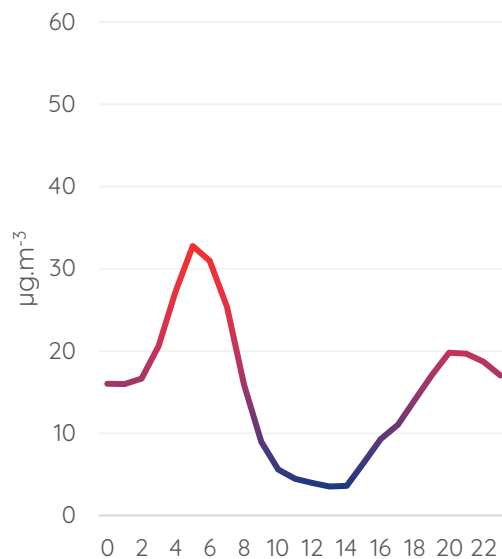
Obrázek 63 - průměrné denní koncentrace NO ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

V případě stanice imisního monitoringu Brno-Lány jsou hodnoty velmi podobné, co se týče trendu, dosahují však celkově nižších hodnot. Denní maximum v daném období má hodnotu $104,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Pro identifikaci potenciálních zdrojů a bližší informace o datech je vhodné zjistit mj. také průměrný denní chod koncentrací NO. Dva grafy níže ukazují průměrné koncentrace v jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) pro měřicí vůz v ulici Lány i stanici imisního monitoringu Brno-Lány. Pro možnost lepšího srovnání bylo sjednoceno měřítko osy Y.



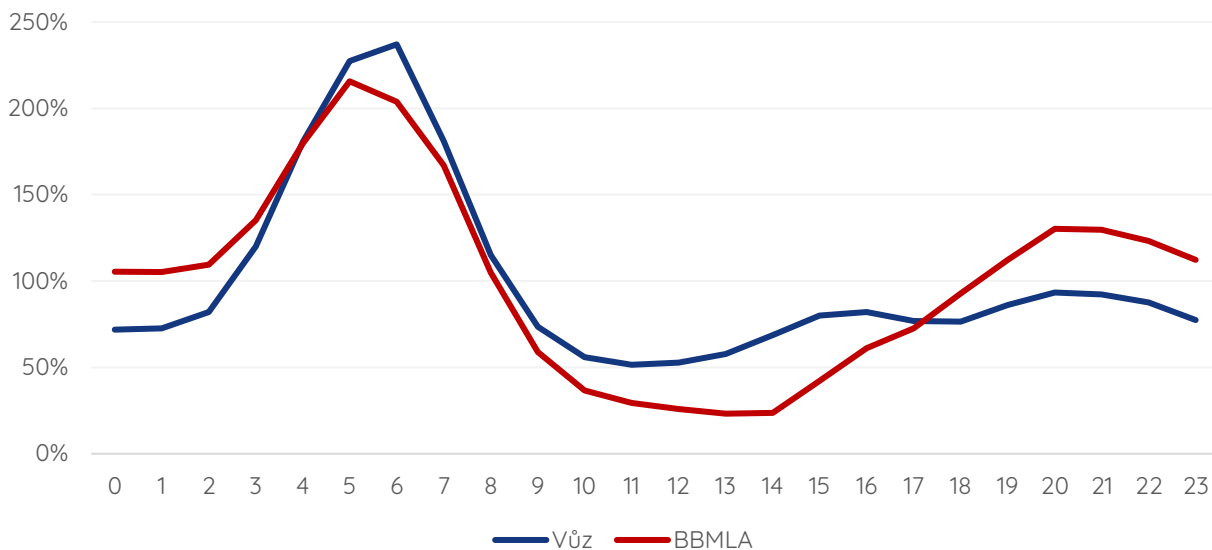
Obrázek 64 - průměrné koncentrace NO pro jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) z dat měřicího vozu v ulici Lány.



Obrázek 65 - průměrné koncentrace NO pro jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) z dat stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

Výše uvedené grafy průměrného denního chodu ukazují, že charakteristika křivky je podobná, liší se však v absolutních hodnotách. V lokalitě ulice Lány (měřicí vůz) byly koncentrace v ranních hodinách výrazně vyšší. Vyšší hodnoty byly v ulici Lány vyšší víceméně po celý den s výjimkou večerních hodin, kdy byly obdobné jako na stanici imisního monitoringu Brno-Lány.

Aby bylo možné oba průměrné chody přímo srovnat, byly hodnoty normalizované. Normalizace byla provedena vztahením každého průměru pro konkrétní hodinu k celkovému průměru z dané lokality. Hodnoty v grafu níže tedy nepředstavují absolutní hodnoty koncentrací, ale procentuální podíl průměrné koncentrace v danou hodinu dne oproti celkovému průměru dne.

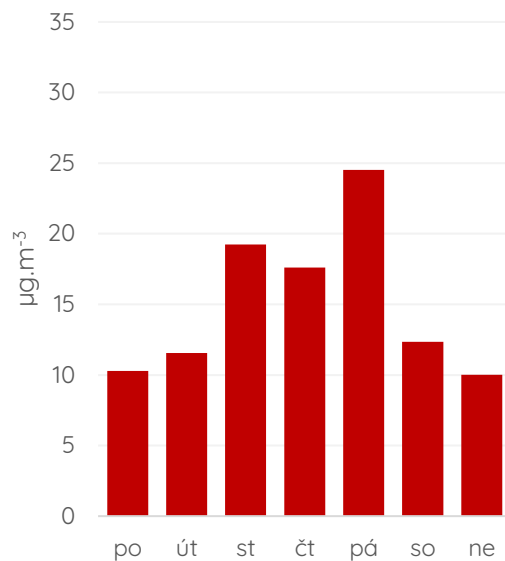
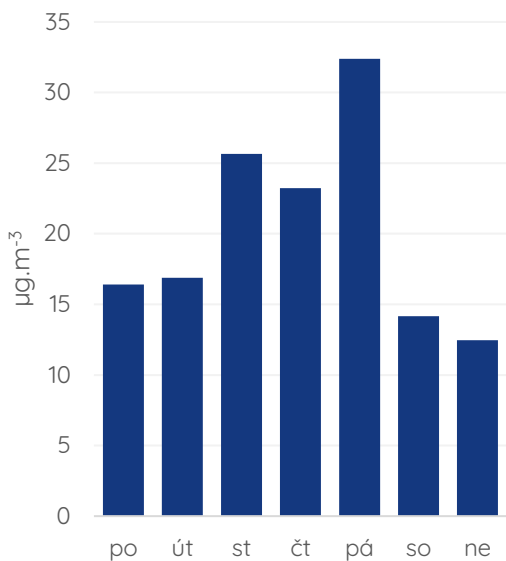


Obrázek 66 - normalizovaný průměrný chod koncentrací NO z dat měřicího vozu v ulici Lány a stanice imisního monitoringu Brno-Lány. Hodnoty představují podíl průměrné koncentrace pro danou hodinu dne (v čase UTC) oproti celkovému průměru v dané lokalitě.

Na grafu normalizovaného denního chodu koncentrací NO v obou lokalitách vidíme velmi podobný charakter trendu jako takového. V lokalitě stanice Brno-Lány je procentuálně vyšší míra znečištění ve večerních hodinách, naopak výraznější pokles po poledni. V normalizovaném pohledu se ranní špička v obou lokalitách projevuje téměř shodně.

Zajímavé je také podívat se na průměrné koncentrace v jednotlivé dny v týdnu. Na rozdíl od meteorologických podmínek, kde podobná analýza nedává smysl, v případě znečišťujících látek mohou být pozorovány rozdíly zejména mezi pracovními dny a dny víkendovými, kdy se v menší míře projevuje například doprava.

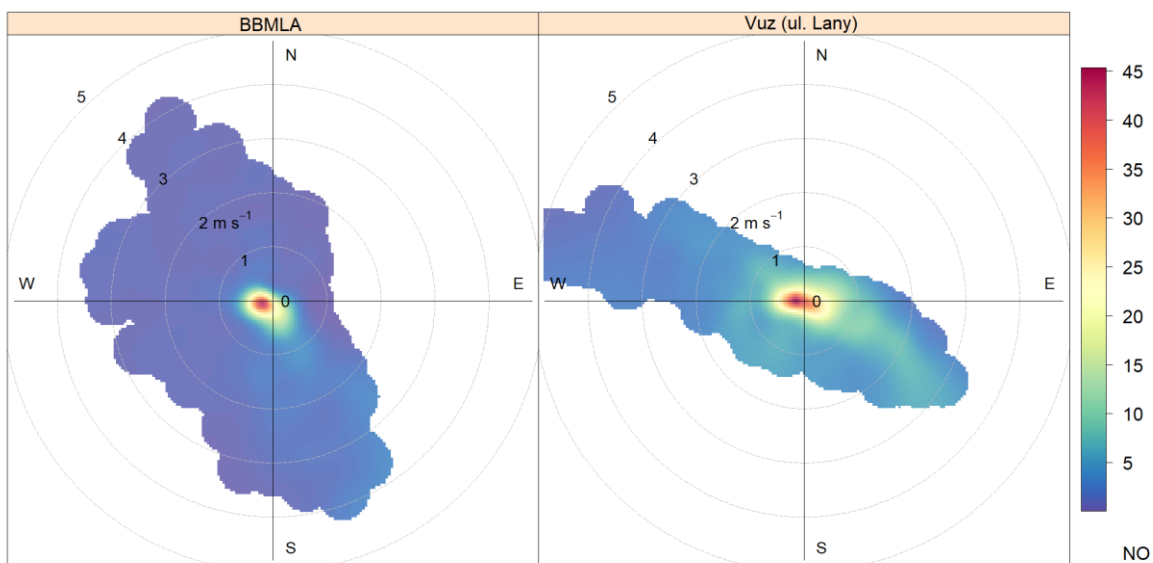
Následující grafy ukazují průměrné koncentrace NO v jednotlivé dny v týdnu za celou dobu měření pro data z vozu v ulici Lány a ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány za totožné období.



Obrázek 67 - průměrné koncentrace NO pro jednotlivé dny v týdnu z dat měřicího vozu v ulici Lány. Obrázek 68 - průměrné koncentrace NO pro jednotlivé dny v týdnu z dat stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

Průměrný týdenní chod ukazuje nejvyšší hodnoty v pátek, nejnižší ve víkendové dny, zejména v neděli, a to v obou srovnávaných lokalitách.

Při hodnocení dat o kvalitě ovzduší jsou velmi užitečné tzv. koncentrační růžice, které ilustrují vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi příslušné znečišťující látky. Následující koncentrační růžice ukazují, při jakém směru a rychlosti větru byly koncentrace NO nejvyšší a obecně rozložení koncentrací ve vztahu k parametrům větru.

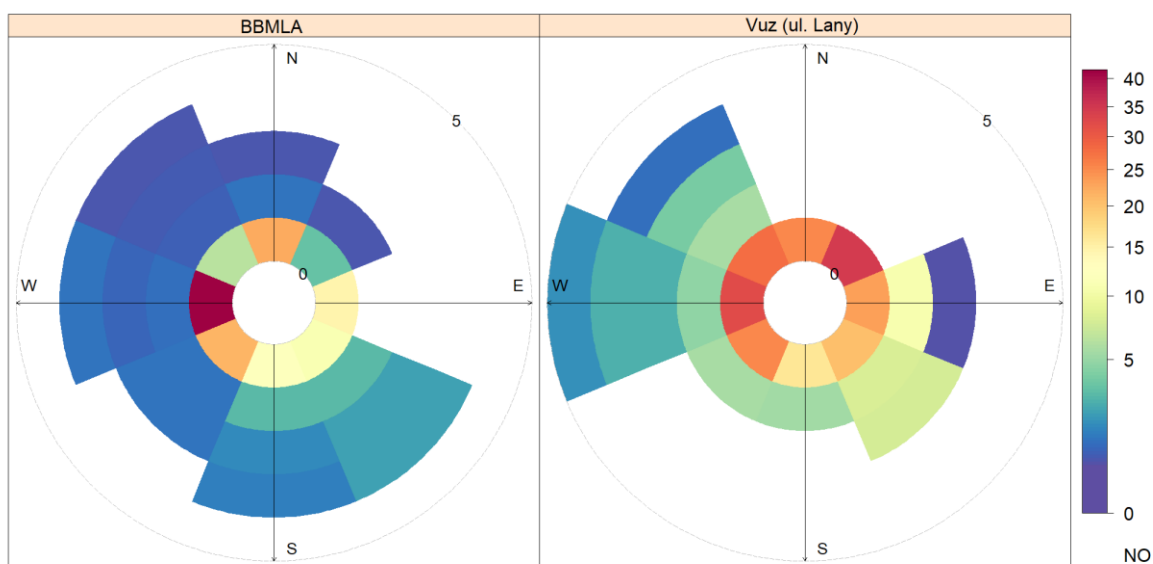


Obrázek 69 - koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi koncentracemi NO a rychlostí a směrem větru za celou dobu měřicí kampaně v ulici Lány.

V případě růžic z obou srovnávaných lokalit je jasně patrné, že nejvyšší byly koncentrace v obou lokalitách při velmi nízkých rychlostech větru. Vůz v ulici Lány vykazoval vyšší hodnoty ještě při jihovýchodním proudění.

Vážená koncentrační růžice zobrazuje rovněž vztah mezi směrem a rychlostí větru a koncentracemi znečišťujících látek, v potaz ale bere také délku trvání jednotlivých kombinací směru a rychlosti větru. Vážená koncentrační růžice ukazuje, jaký podíl mají na celkovém znečištění v dané lokalitě jednotlivé kombinace směru a rychlosti větru. Pokud je tedy nějaký směr větru hodně zastoupený, i když mohou být koncentrace v daném směru nízké, může být podíl v daném směru významný a naopak.

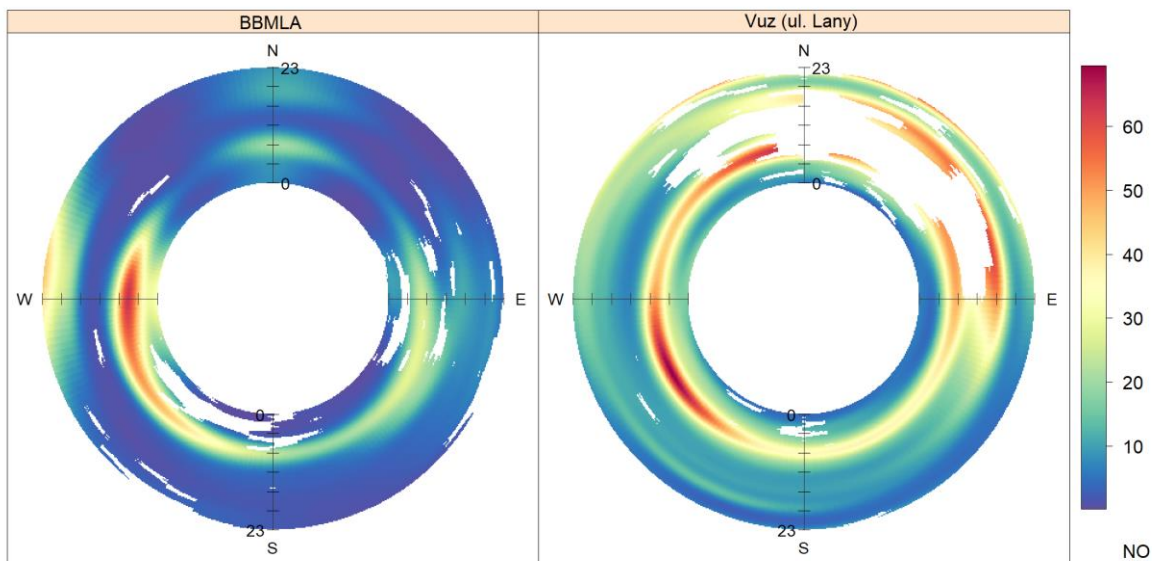
Následující vážené koncentrační růžice byly zkonstruovány z dat za celou dobu měřicí kampaně v lokalitě ulice Lány pro obě srovnávané lokality.



Obrázek 70 - vážená koncentrační růžice ilustrující vztah mezi koncentracemi NO a směrem a rychlostí větru, beroucí v potaz zastoupení jednotlivých kombinací směru a rychlostí větru v časovém měřítku.

Nejvyšší podíl znečištění má v případě lokality Brno-Lány i ulice Lány doba, kdy je rychlost větru velmi nízká. V lokalitě stanice Brno-Lány je to pak zejména při západním směru proudění.

Anulární koncentrační růžice má za cíl posoudit vztah mezi směrem větru, koncentrací NO a hodinou dne.



Obrázek 71 - anulární koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi koncentracemi NO, směrem větru a hodinou dne (v občanském čase).

Anulární koncentrační růžice ze stanice Brno-Lány i data z vozu v ulici Lány ukazují, že nejvyšší byly koncentrace NO v ranních hodinách – souvisí s ranní dopravní špičkou. V ulici Lány to pak bylo zejména při jihozápadním a severovýchodním směru.

OXID SIŘIČITÝ (SO₂)

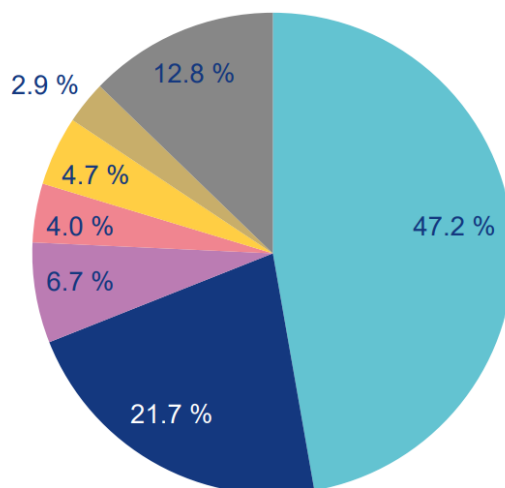
Oxid siřičitý je bezbarvý štiplavě zapáchající jedovatý plyn těžší než vzduch. V minulosti se jednalo z hlediska kvality ovzduší o jeden z nejproblematictějších polutantů. S měřením koncentrací SO₂ se v České republice začalo na přelomu 60. a 70. let a jednalo se o první znečišťující látku, která byla tímto způsobem pravidelně monitorována. V současnosti leží hodnoty koncentrací SO₂ hluboko pod hranicí imisního limitu. K poklesu došlo hlavně díky legislativním změnám, díky nimž se výrazně snížily emise z tepelných elektráren a dalších průmyslových zdrojů (díky odsiřování spalin, používání kvalitnějších paliv).

Přírodním zdrojem oxidu siřičitého v ovzduší je vulkanická činnost (Santis, 2021), hlavním zdrojem je však lidská činnost, přičemž velké problémy s vysokými koncentracemi SO₂ mají například Čína či Indie (Li, 2017). Do ovzduší se SO₂ dostává spalováním fosilních paliv během průmyslových procesů i v domácnostech z lokálních topenišť. Vzniká jako vedlejší produkt spalování hnědého uhlí. Pro oxid siřičitý jsou platné imisní limity jak pro ochranu zdraví, tak pro ochranu ekosystémů a vegetace. Hodinový imisní limit pro ochranu zdraví je rovný 350 µg/m³ a může být překročen maximálně 24x za rok. 24h imisní limit pro

ochranu zdraví byl stanoven na $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a může být překročen maximálně 3x za rok. Imisní limit pro ochranu ekosystému a vegetace je platný pro rok a zimní období (říjen-březen) a má hodnotu $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Oxid siřičitý je značně toxický plyn, který představuje velké riziko zejména pro rostliny, protože reakcí s chlorofylem narušuje fotosyntézu (Choi, 2014). U lidí působí dráždivě zejména na horní cesty dýchací, může podporovat vznik astmatu a dlouhodobá expozice vysokým koncentracím může narušovat krvetvorbu a poškozovat srdeční sval (Heaviside, 2021).

Měření je založeno na excitaci molekuly SO_2 absorpcí ultrafialového (UV) záření vhodné vlnové délky a následné emisi záření přesně známé vlnové délky při přechodu molekuly do základního stavu. Intenzita tohoto záření je přímo úměrná koncentraci SO_2 ve vzorku a je měřena pomocí fotonásobiče, jehož signál je zpracován elektronikou analyzátoru a předán na výstup.

Dle nejnovější emisní bilance z roku 2019 je v České republice hlavním zdrojem SO_2 v ovzduší kategorie Veřejná energetika a výroba tepla (47,2 %) a dále Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření (21,7 %) a Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Železo a ocel (6,7 %).



- 1A1a – Veřejná energetika a výroba tepla
- 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření
- 1A2a – Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Železo a ocel
- 1A2c – Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Chemický průmysl
- 1A2f – Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Minerální nekovové produkty
- 1A4ai – Služby, instituce: Spalovací stacionární zdroje
- Ostatní

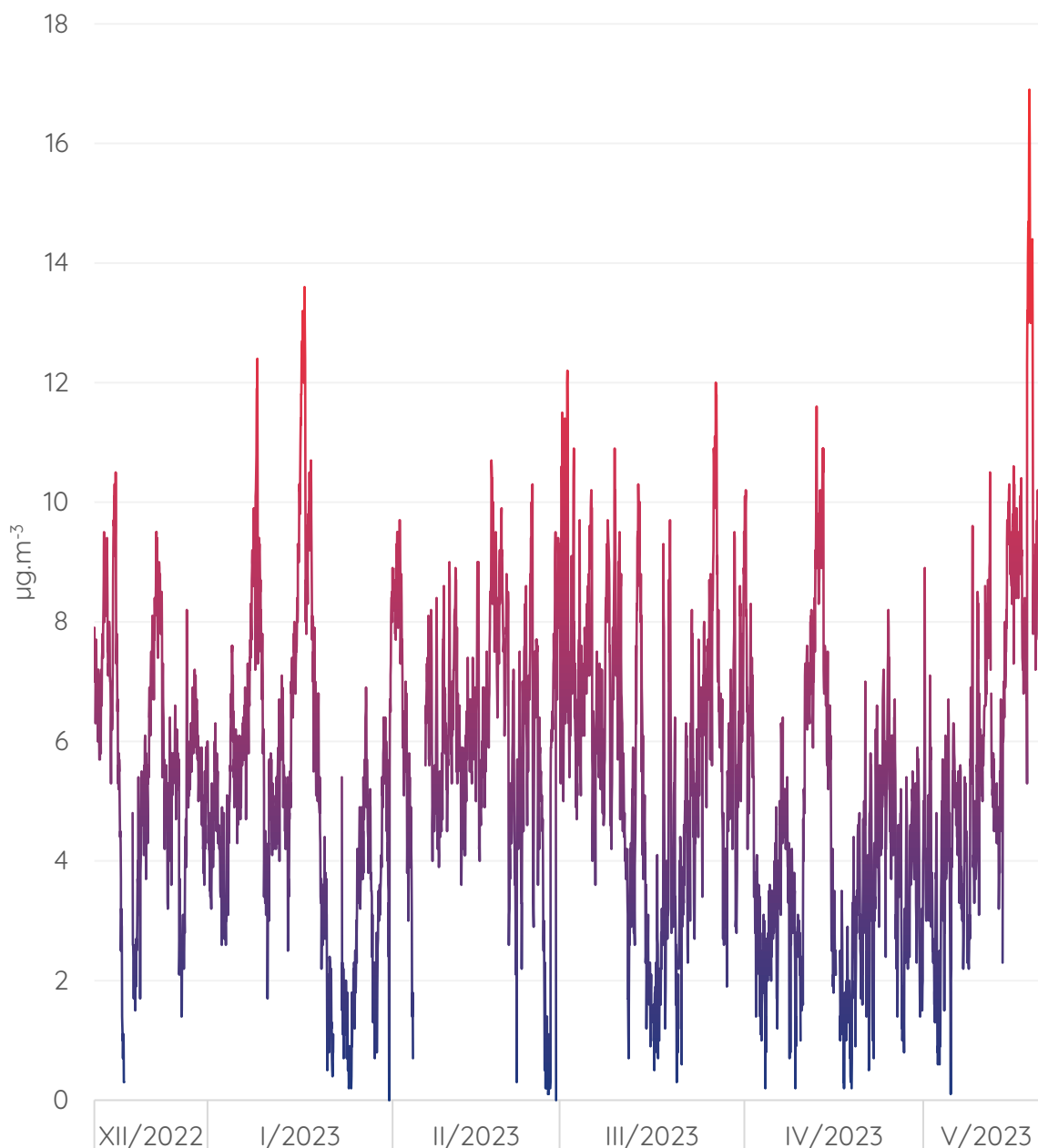
Obrázek 72 - emisní zdroje oxidu siřičitého v České republice (emisní bilance 2019)

Vzhledem k převažujícímu vlivu sektoru Veřejná energetika a výroba tepla jsou emise SO₂ koncentrovány do Ústeckého, Moravskoslezského a Středočeského kraje, ve kterých se nachází větší energetické výrobní celky.

Pro oxid siřičitý jsou v zákoně o ochraně ovzduší stanoveny dva imisní limity pro ochranu zdraví:

- imisní limit pro 24h průměrnou koncentraci (125 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, max. 3 překročení za kalendářní rok)
- imisní limit pro hodinovou průměrnou koncentraci (350 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, max. 24 překročení za kalendářní rok)

Následující čárový graf ukazuje průběh hodinových průměrných koncentrací SO₂ za celou dobu měření měřicím vozem v ulici Lány.

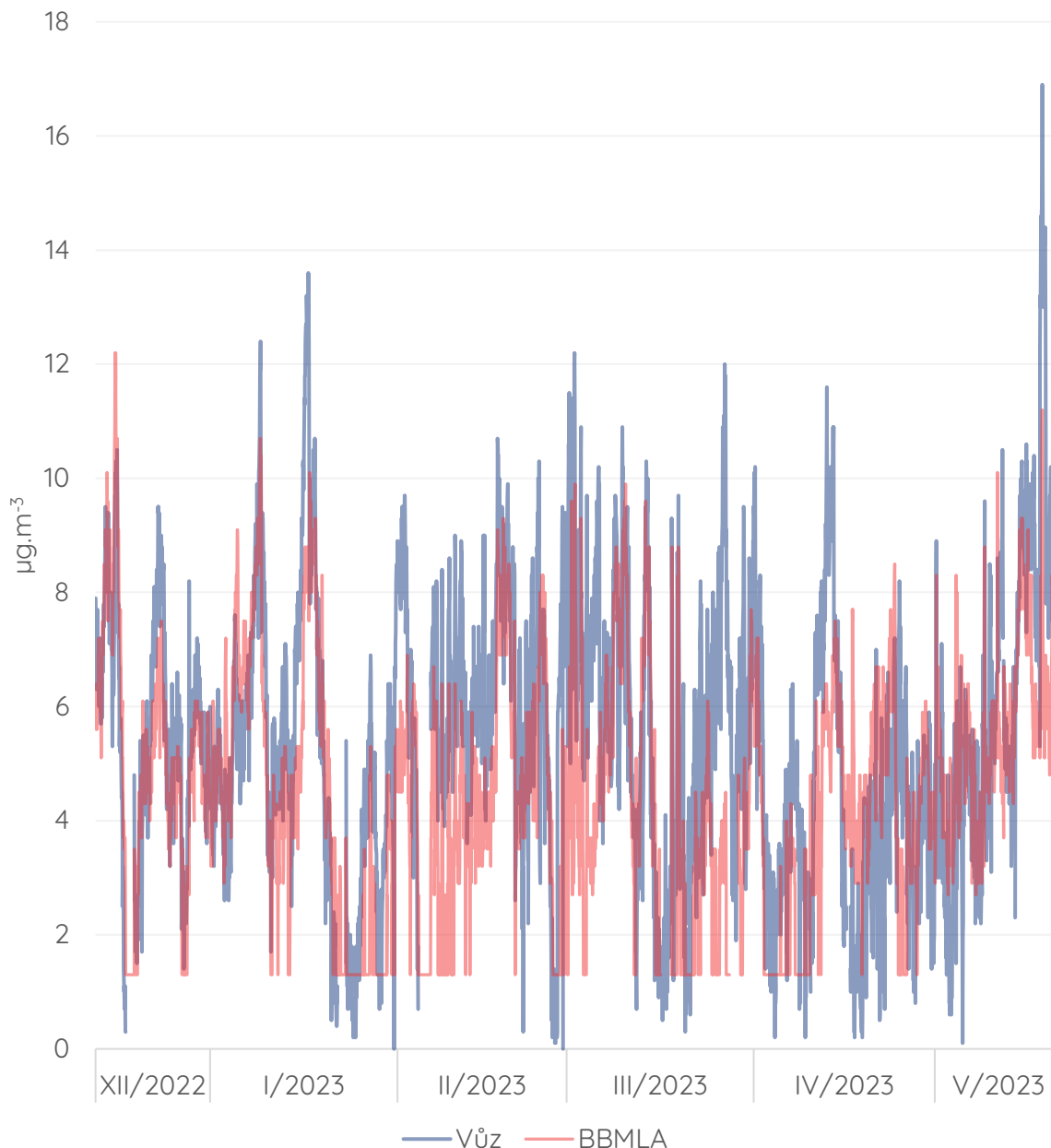


Obrázek 73 - průměrné hodinové koncentrace SO₂ naměřené měřicím vozem v ulici Lány.

Graf ukazuje, že přestože zde je patrná výrazná variabilita hodnot, s ohledem na hodnoty imisních limitů jsou všechny naměřené hodinové průměrné koncentrace velmi nízké, do 17 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Celková průměrná koncentrace SO₂ za celou měřicí kampaň je 5,56 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Maximální hodinová průměrná koncentrace má hodnotu 16,9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a byla pozorována 18. 5. 2023 v 19 h.

Další graf představuje stejné období a opět průměrné hodinové koncentrace SO₂, tentokrát včetně srovnání s hodnotami z nedaleké stacionární stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).



Obrázek 74 - průměrné hodinové koncentrace SO₂ naměřené měřicím vozem v ulici Lány a na stacionární stanici imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).

Přestože je interpretace tohoto grafu obtížnější s ohledem na jeho rozkolísanost, je patrné, že trend chodu koncentrací je v obou lokalitách podobný.

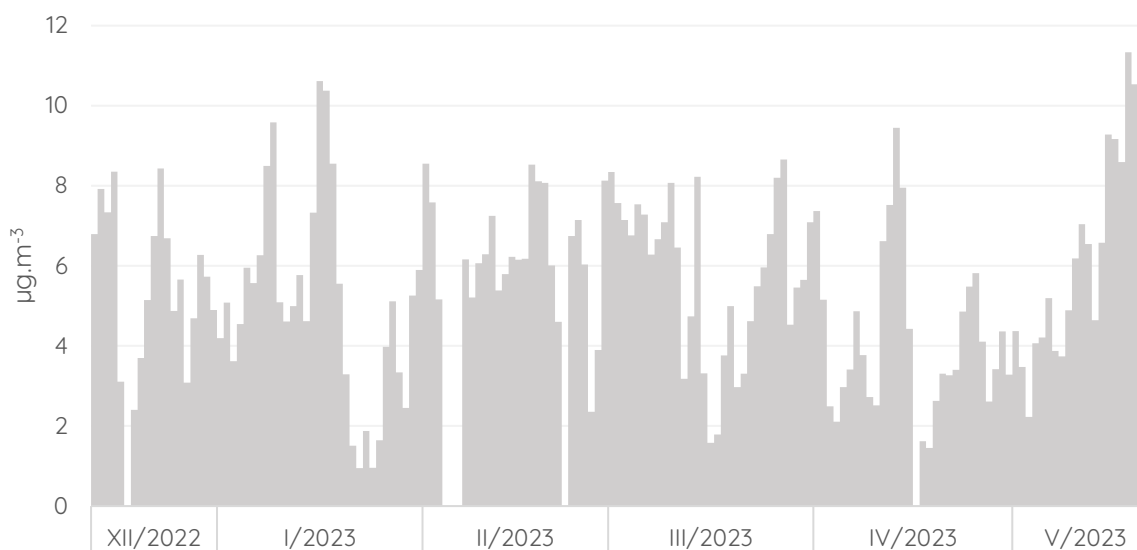
Celkové statistické shrnutí obou datových souborů hodinových průměrných koncentrací ukazuje následující tabulka.

Parametr	Měřicí vůz (ulice Lány)	stanice Brno-Lány (BBMLA)
průměr	5,56 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	4,54 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
medián	5,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	4,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
maximum	16,9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	12,2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
směrodatná odchylka	2,53 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	2,17 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Přestože je průměrná koncentrace SO_2 mírně vyšší v lokalitě ulice Lány (měřicí vůz) s ohledem na absolutní hodnotu koncentrací je tento rozdíl zanedbatelný.

Výše uvedená tabulka také ukazuje, že v ani jednom případě nebyla překročena hodnota hodinového imisního limitu ($350 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Nejvyšší průměrná hodinová koncentrace byla pouze $16,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

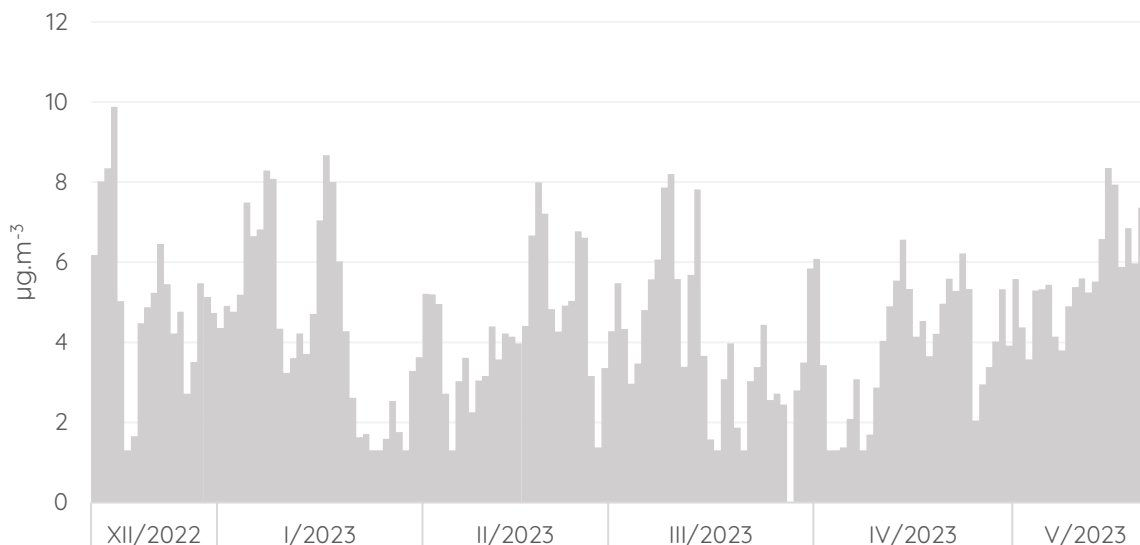
Graf níže ukazuje průměrné denní hodnoty koncentrací SO_2 za celou dobu měřicí kampaně z dat měřicího vozu v ulici Lány.



Obrázek 75 - průměrné denní koncentrace SO_2 z dat měřicího vozu v ulici Lány.

Průměrné denní koncentrace SO_2 v lokalitě ulice Lány se pohybovaly do $12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a s velkou rezervou je tedy splněn imisní limit pro 24h koncentraci SO_2 ($125 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

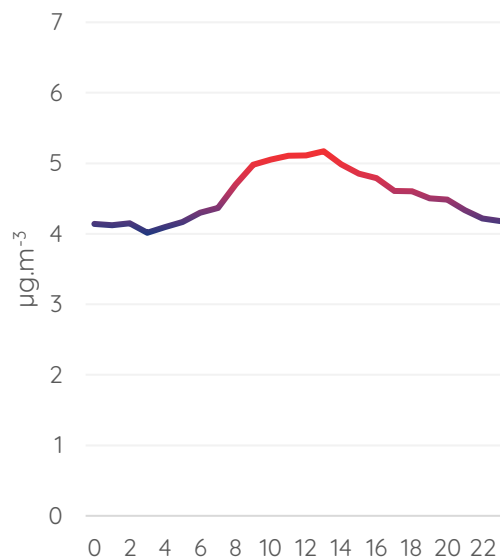
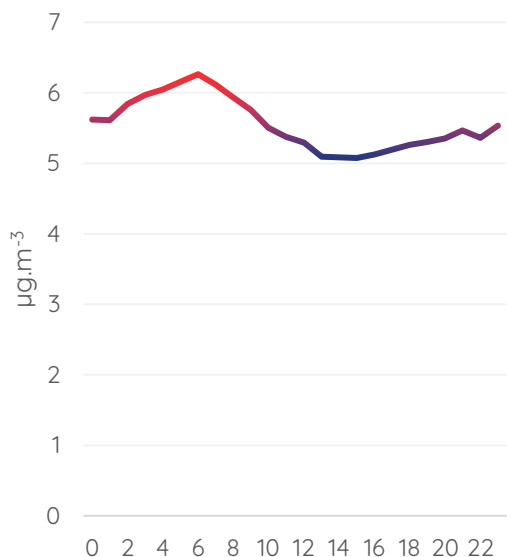
Totožný graf denních průměrných koncentrací byl vytvořen také z dat ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány za totožné období.



Obrázek 76 - průměrné denní koncentrace SO₂ ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

Také v lokalitě stanice imisního monitoringu Brno-Lány byly denní průměrné koncentrace SO₂ velmi nízké a pohybovaly se do 10 µg·m⁻³.

Níže uvedené grafy ukazují průměrné koncentrace SO₂ pro jednotlivé hodiny dne pro obě srovnávané lokality.

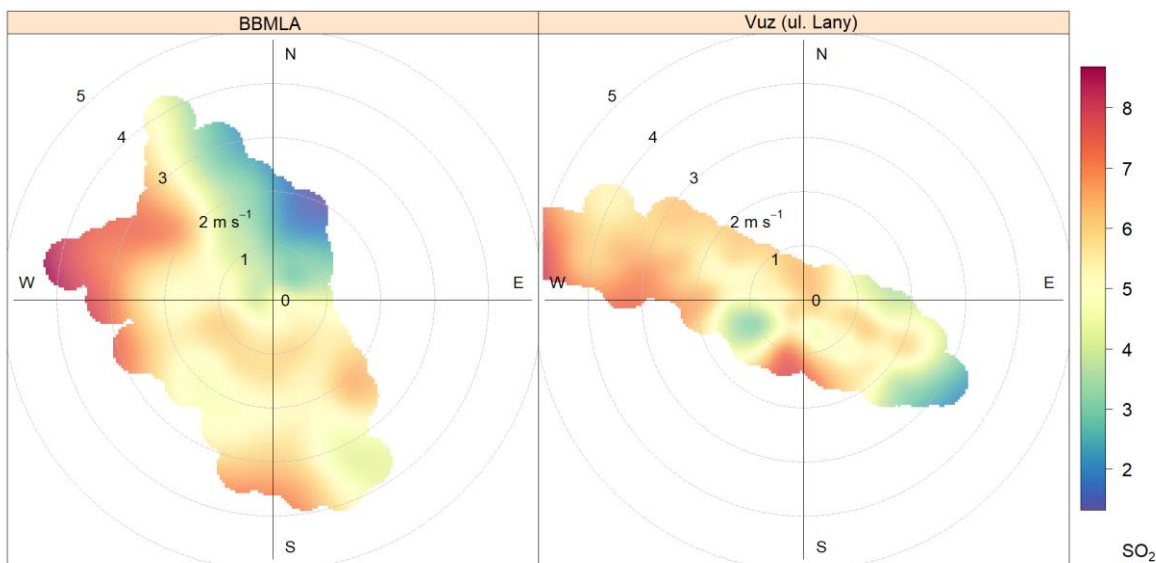


Obrázek 77 - průměrné koncentrace SO₂ pro jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) z dat měřícího vozu v ulici Lány.

Obrázek 78 - průměrné koncentrace SO₂ pro jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) z dat stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

Při hodnocení dat o kvalitě ovzduší jsou velmi užitečné tzv. koncentrační růžice, které ilustrují vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi příslušné znečišťující látky.

Následující koncentrační růžice ukazují, při jakém směru a rychlosti větru byly koncentrace SO_2 nejvyšší a obecně rozložení koncentrací ve vztahu k parametrům větru.

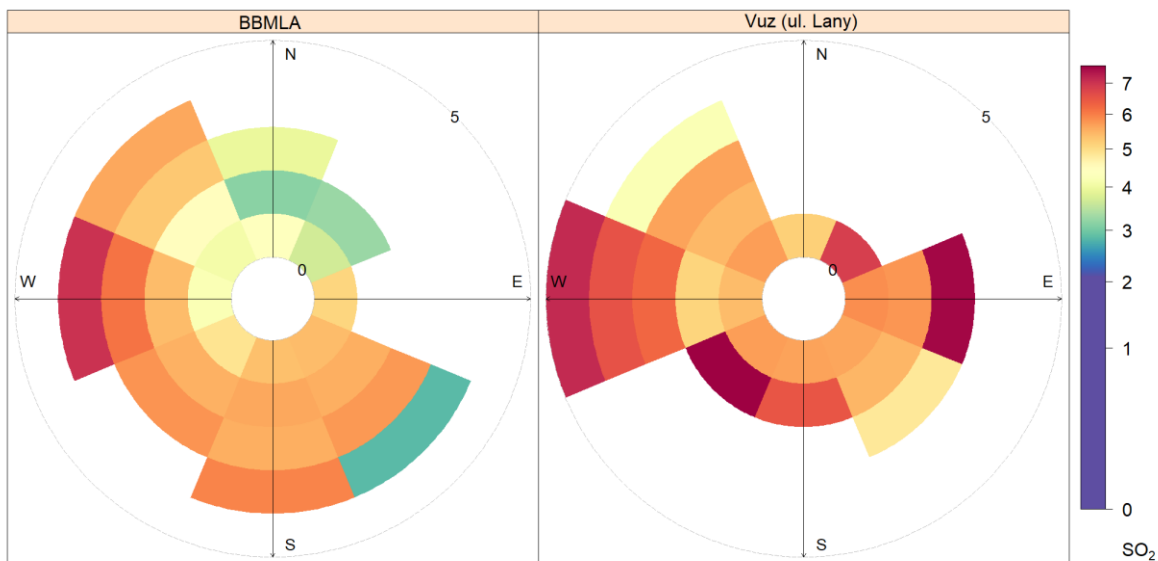


Obrázek 79 - koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi koncentracemi SO_2 a rychlostí a směrem větru za celou dobu měřicí kampaně v ulici Lány.

Výše uvedené růžice ukazují, že zvýšené byly koncentrace SO_2 zejména při západním směru proudění a vyšších rychlostech větru – to tedy, na rozdíl od růžic v případě NO_x , pokazuje na nějaký vzdálenější zdroj, ze kterého se do této lokality znečištění dostává při vyšších rychlostech větru.

Vážená koncentrační růžice zobrazuje rovněž vztah mezi směrem a rychlostí větru a koncentracemi znečišťujících látek, v potaz ale bere také délku trvání jednotlivých kombinací směru a rychlosti větru. Vážená koncentrační růžice ukazuje, jaký podíl mají na celkovém znečištění v dané lokalitě jednotlivé kombinace směru a rychlosti větru. Pokud je tedy nějaký směr větru hodně zastoupený, i když mohou být koncentrace v daném směru nízké, může být podíl v daném směru významný a naopak.

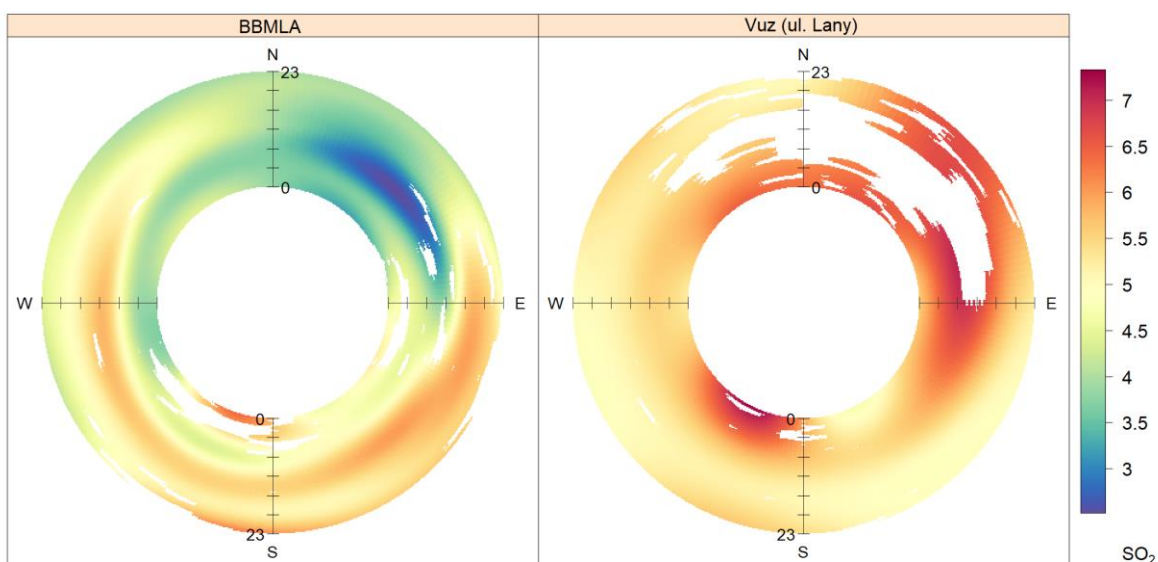
Následující vážené koncentrační růžice byly zkonstruovány z dat za celou dobu měřicí kampaně v lokalitě ulice Lány pro obě srovnávané lokality.



Obrázek 80 - vážená koncentrační růžice ilustrující vztah mezi koncentracemi SO_2 a směrem a rychlostí větru, beroucí v potaz zastoupení jednotlivých kombinací směru a rychlostí větru v časovém měřítku.

Vážené koncentrační růžice výše ukazují relativně významný podíl znečištění z řady směrů – odpovídá to faktu, že koncentrace SO_2 jsou celkově velmi nízké a rozdíly jsou tedy v tomto směru nevýznamné.

Anulární koncentrační růžice má za cíl posoudit vztah mezi směrem větru, koncentrací SO_2 a hodinou dne.



Obrázek 81 - anulární koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi koncentracemi SO_2 , směrem větru a hodinou dne (v občanském čase).

Anulární koncentrační růžice ukazují, že koncentrace SO_2 byly vyšší zejména v denních hodinách v případě stanice Brno-Lány – to odpovídá faktu, že v denní dobu obecně bývá vyšší rychlost větru a pokud se sem znečištění dostává ze vzdálenějších zdrojů (o čemž svědčí koncentrační růžice pro SO_2 výše), jsou koncentrace vyšší právě v tuto dobu. V případě ulice Brno-Lány jsou hodnoty zvýšené spíše v brzkých ranních hodinách.

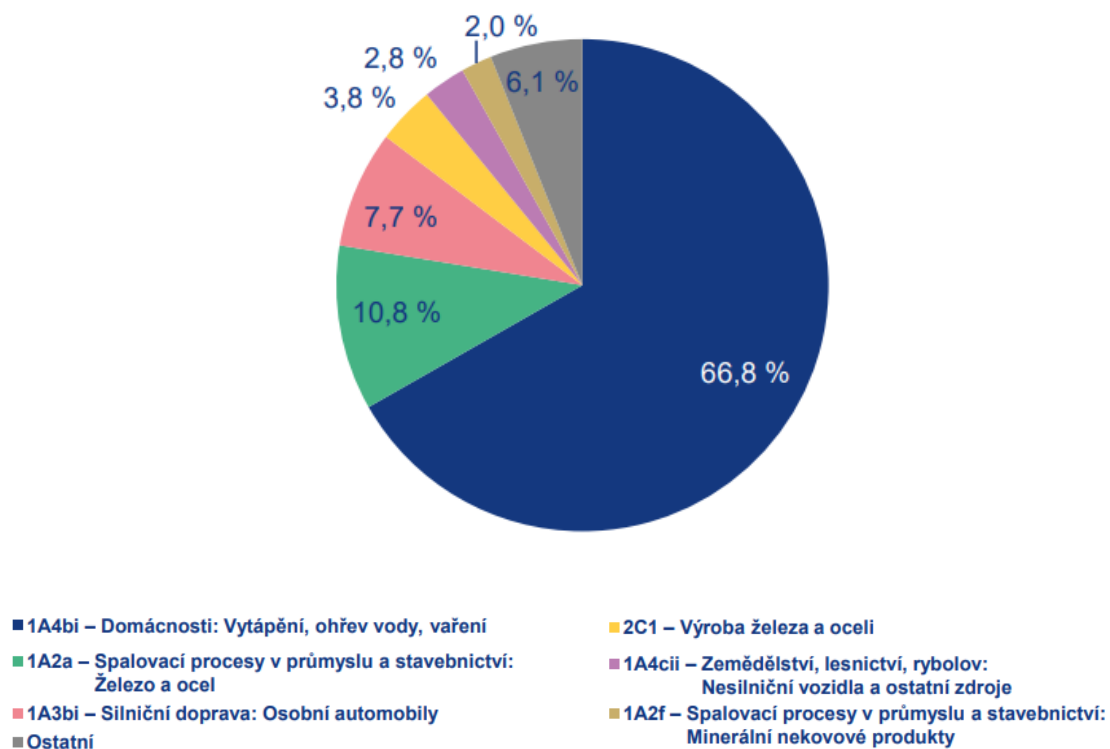
OXID UHELNATÝ (CO)

Oxid uhelnatý je bezbarvý jedovatý plyn lehčí než vzduch bez chuti, zápachu a dráždivých účinků. Vzhledem ke své toxicitě se jedná o jednu ze sledovaných látek znečišťujících ovzduší. Hlavním antropogenním zdrojem CO je především nedokonalé spalování fosilních paliv, kdy je teplota spalování příliš nízká, či není k dispozici dostatečné množství kyslíku nebo není čas hoření dostatečný, a namísto úplné oxidace na CO_2 se uvolňuje právě oxid uhelnatý. Většina světové produkce CO padá na vrub přirozeným procesům, mezi které patří například fotochemické procesy v troposféře, vulkanická činnost, lesní požáry a jiné přírodní procesy doprovázené hořením (Badr, 1994).

Toxicita tohoto plynu spočívá v jeho vazbě na krevní barvivo hemoglobin a následný vznik karboxyhemoglobinu (Rose, 2017). Vzniklý karboxyhemoglobin je poměrně stabilní a není schopen vázat kyslík, čímž dochází k blokaci přenosu kyslíku v těle.

Měření koncentrací CO probíhá metodou nediverzní infračervené spektrometrie. Měření je založeno na sledování struktury infračerveného absorpčního spektra měřeného plynu vzhledem k dalším plynům přítomným v analyzovaném vzorku.

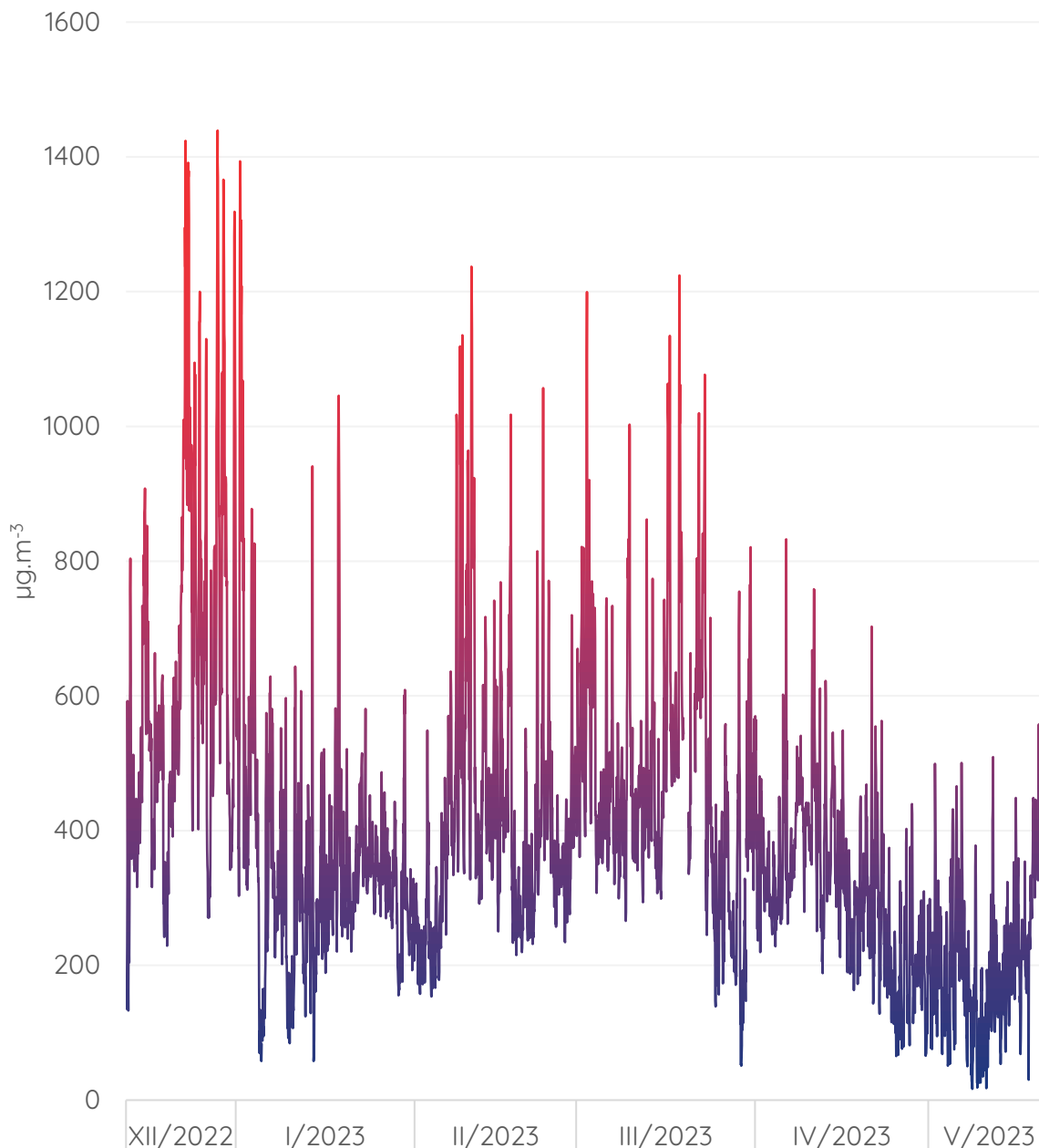
Dle nejnovější emisní bilance z roku 2019 je v České republice hlavním zdrojem CO v ovzduší kategorie Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření (66,8 %) a dále Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Železo a ocel (10,8 %) a Silniční doprava: osobní automobily (7,7 %).



Obrázek 82 - emisní zdroje oxidu uhelnatého v České republice (emisní bilance 2019)

Pro oxid uhelnatý je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven imisní limit pro maximální denní 8h klouzavý průměr ($10\,000\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Následující čárový graf ukazuje průběh hodinových průměrných koncentrací CO za celou dobu měření měřicím vozem v ulici Lány.

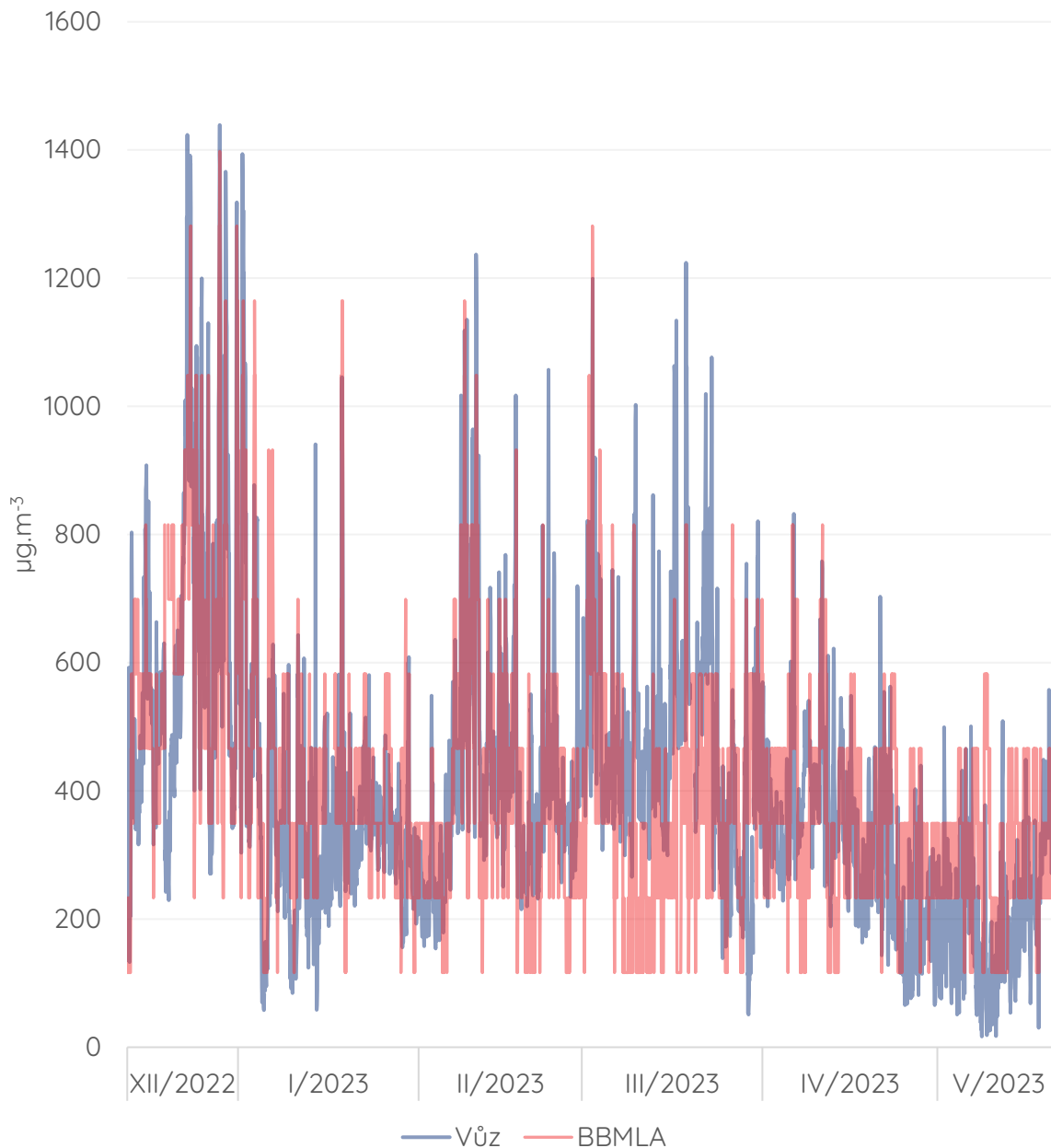


Obrázek 83 - průměrné hodinové koncentrace CO naměřené měřicím vozem v ulici Lány.

Graf průměrných hodinových koncentrací ukazuje, že hodnoty koncentrací CO byly vyšší zejména na konci prosince 2022, naopak v posledním měsíci měření byly výrazně nižší. Také je patrné, že nejvyšší hodnoty hodinových průměrných koncentrací se pohybovaly kolem $1400 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ – 8h klouzavý průměr byl ještě nižší a tedy velmi výrazně pod hodnotou příslušného imisního limitu ($10\,000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Celková průměrná koncentrace CO za celou měřicí kampaň je $395 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Maximální hodinová průměrná koncentrace má hodnotu $1439 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a byla pozorována 28. 12. 2022 ve 20 h.

Další graf představuje stejné období a opět průměrné hodinové koncentrace CO, tentokrát včetně srovnání s hodnotami z nedaleké stacionární stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).



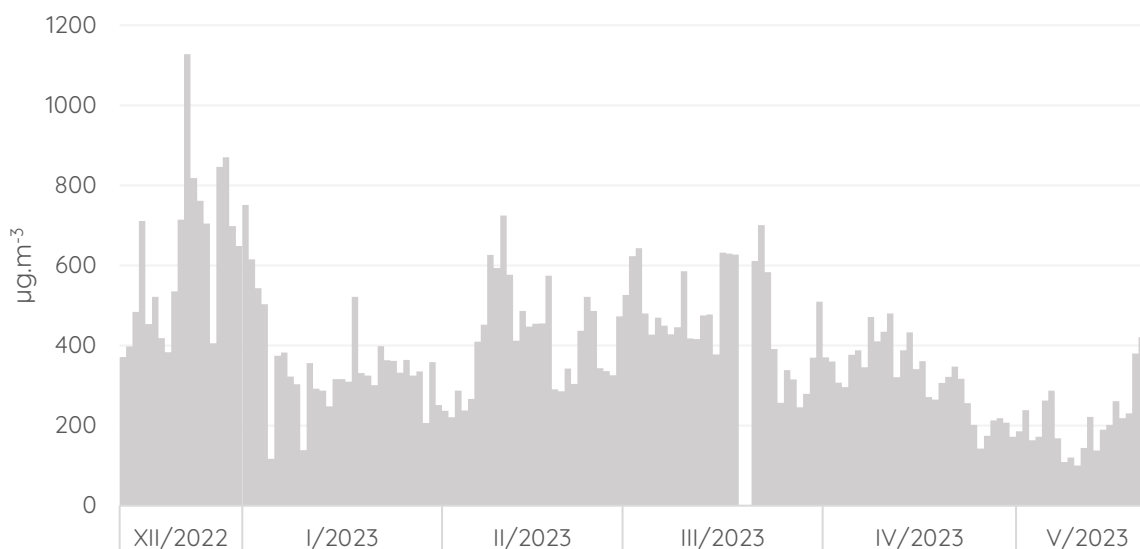
Obrázek 84 - průměrné hodinové koncentrace CO naměřené měřicím vozem v ulici Lány a na stacionární stanici imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).

Ze srovnání je dobře vidět, že vyšší hodnoty koncentrací CO na konci prosince se projevíly na obou lokalitách stejně jako nižší hodnoty ke konci měřicí kampaně. Celkově je trend velmi podobný s určitými odlišnostmi v absolutních hodnotách koncentrací.

Celkové statistické shrnutí obou datových souborů hodinových průměrných koncentrací ukazuje následující tabulka.

Parametr	Měřicí vůz (ulice Lány)	stanice Brno-Lány (BBMLA)
průměr	395 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	401 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
medián	358 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	350 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
maximum	1439 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	1398 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
směrodatná odchylka	212 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	187 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

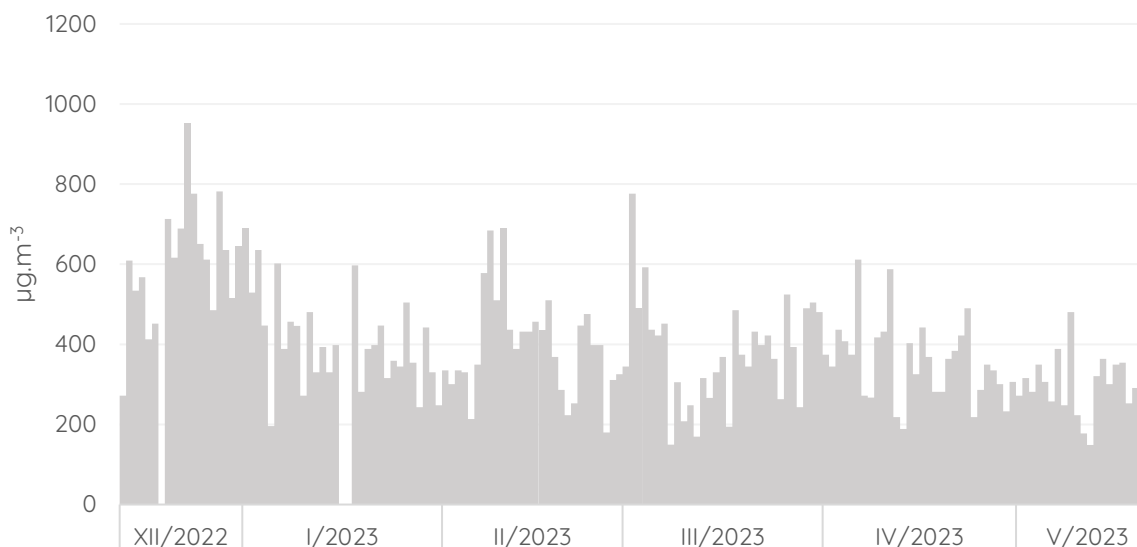
Graf níže ukazuje průměrné denní hodnoty koncentrací CO za celou dobu měřicí kampaně z dat měřicího vozu v ulici Lány.



Obrázek 85 - průměrné denní koncentrace CO z dat měřicího vozu v ulici Lány.

Průměrné denní koncentrace CO v lokalitě ulice Lány (měřicí vůz) se pohybovaly ve většinu dnů do 600 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Pouze v jednom případě byla průměrná denní koncentrace CO vyšší než 1000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (23. 12. 2022, 1127 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

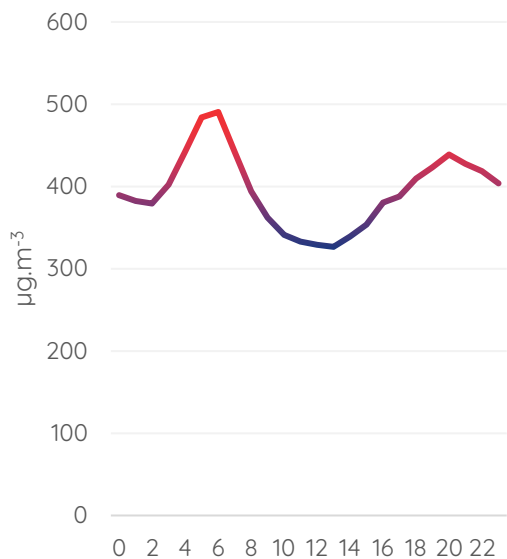
Totožný graf denních průměrných koncentrací byl vytvořen také z dat ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány za totožné období.



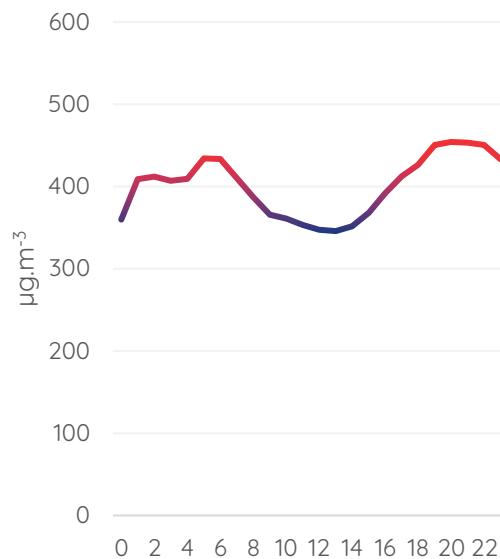
Obrázek 86 - průměrné denní koncentrace CO ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

Průměrné denní koncentrace CO z lokality stanice státní sítě imisního monitoringu Brno-Lány jsou rovněž ve většině případů do $600 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, maximální pozorovaný denní průměr byl zaznamenán v totožný den jako u měřicího vozu, tedy 23. 12. 2022 ($951 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Pro identifikaci potenciálních zdrojů a bližší informace o datech je vhodné zjistit mj. také průměrný denní chod koncentrací CO. Dva grafy níže ukazují průměrné koncentrace v jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) pro měřicí vůz v ulici Lány i stanici imisního monitoringu Brno-Lány. Pro možnost lepšího srovnání bylo sjednoceno měřítko osy Y.



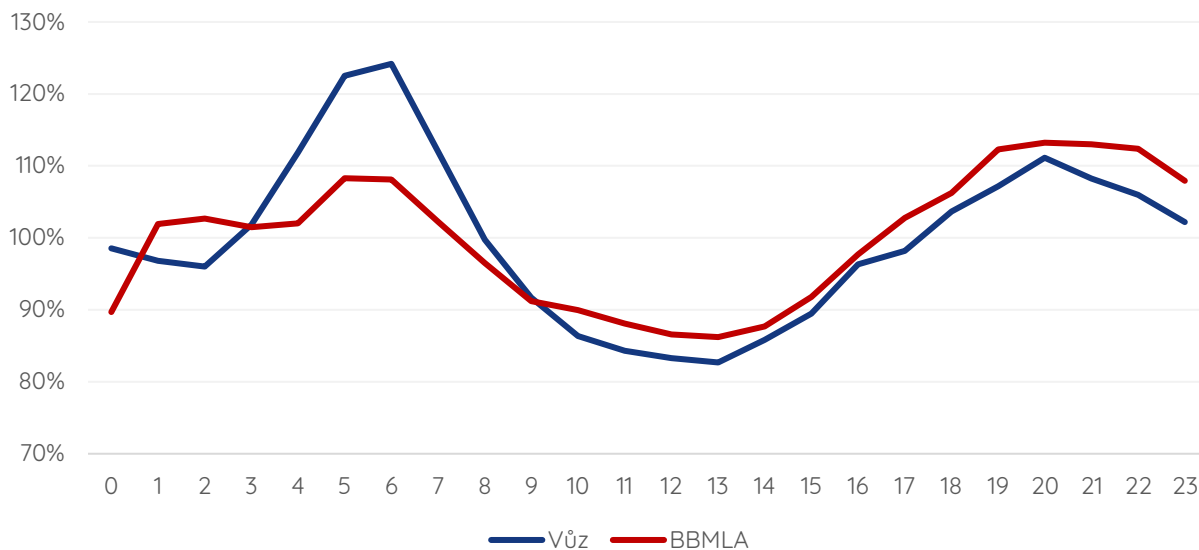
Obrázek 87 - průměrné koncentrace CO pro jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) z dat měřicího vozu v ulici Lány.



Obrázek 88 - průměrné koncentrace CO pro jednotlivé hodiny dne (v čase UTC) z dat stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

Průměrný denní chod koncentrací CO ukazuje vliv dopravy, a to zejména v lokalitě ulice Lány (měřicí vůz), kde je velmi patrná ranní dopravní špička i odpolední zvýšení koncentrací související rovněž s dopravou. V lokalitě stanice imisního monitoringu Brno-Lány je tento chod také patrný, ale méně výrazný a koncentrace jsou celkově mírně nižší.

Aby bylo možné oba průměrné chody přímo srovnat, byly hodnoty normalizované. Normalizace byla provedena vztažením každého průměru pro konkrétní hodinu k celkovému průměru z dané lokality. Hodnoty v grafu níže tedy nepředstavují absolutní hodnoty koncentrací, ale procentuální podíl průměrné koncentrace v danou hodinu dne oproti celkovému průměru dne.

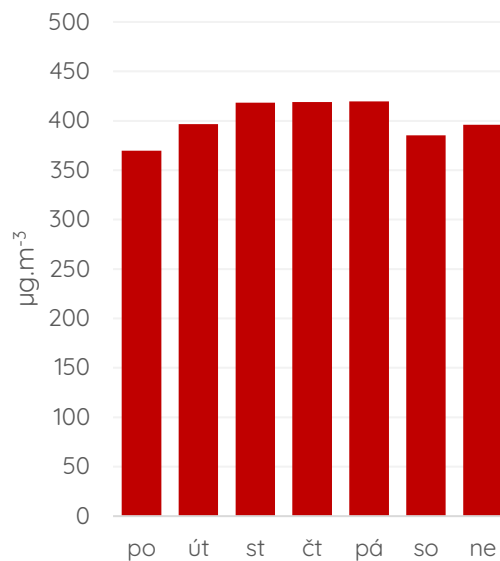
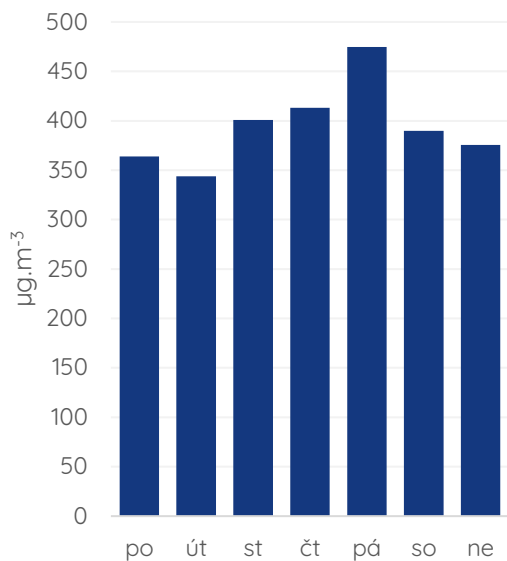


Obrázek 89 - normalizovaný průměrný chod koncentrací CO z dat měřicího vozu v ulici Lány a stanice imisního monitoringu Brno-Lány. Hodnoty představují podíl průměrné koncentrace pro danou hodinu dne (v čase UTC) oproti celkovému průměru v dané lokalitě.

V obou lokalitách je chod podobný, v lokalitě ulice Lány je výraznější ranní dopravní špička, což souvisí s faktem, že se nachází blíže dopravně zatížené komunikaci a shoduje se chodem koncentrací oxidů dusíku, který rovněž souvisí s dopravou.

Zajímavé je také podívat se na průměrné koncentrace v jednotlivé dny v týdnu. Na rozdíl od meteorologických podmínek, kde podobná analýza nedává smysl, v případě znečišťujících látek mohou být pozorovány rozdíly zejména mezi pracovními dny a dny víkendovými, kdy se v menší míře projevuje například doprava.

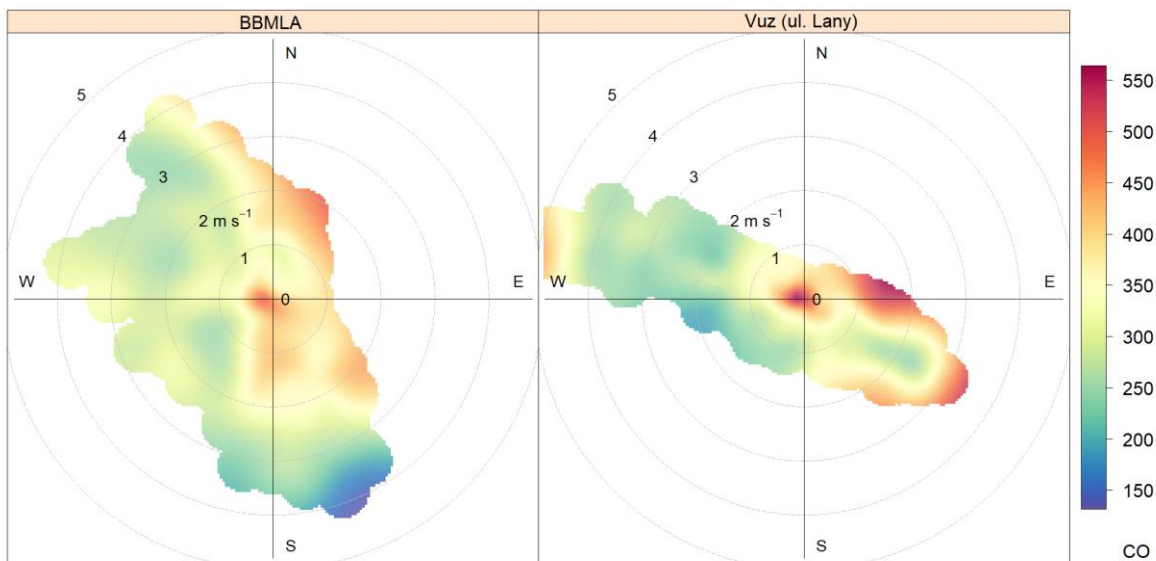
Následující grafy ukazují průměrné koncentrace CO v jednotlivé dny v týdnu za celou dobu měření pro data z vozu v ulici Lány a ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány za totožné období.



Obrázek 90 - průměrné koncentrace CO pro jednotlivé dny v týdnu z dat měřicího vozu v ulici Lány. Obrázek 91 - průměrné koncentrace CO pro jednotlivé dny v týdnu z dat stanice imisního monitoringu Brno-Lány.

Nejvyšší koncentrace CO byly v lokalitě ulice Lány v pátek – stejně jako v případě dalších znečišťujících látek a v souvislosti s dopravou. V lokalitě stanice Brno-Lány jsou rozdíly mezi jednotlivými dny v týdnu výrazně menší, což vychází ze skutečnosti, že je tato lokalita dopravou méně ovlivňovaná než ulice Lány, kde byl měřicí bod velmi blízko vozovky.

Při hodnocení dat o kvalitě ovzduší jsou velmi užitečné tzv. koncentrační růžice, které ilustrují vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi příslušné znečišťující látky. Následující koncentrační růžice ukazují, při jakém směru a rychlosti větru byly koncentrace CO nejvyšší a obecně rozložení koncentrací ve vztahu k parametrům větru.

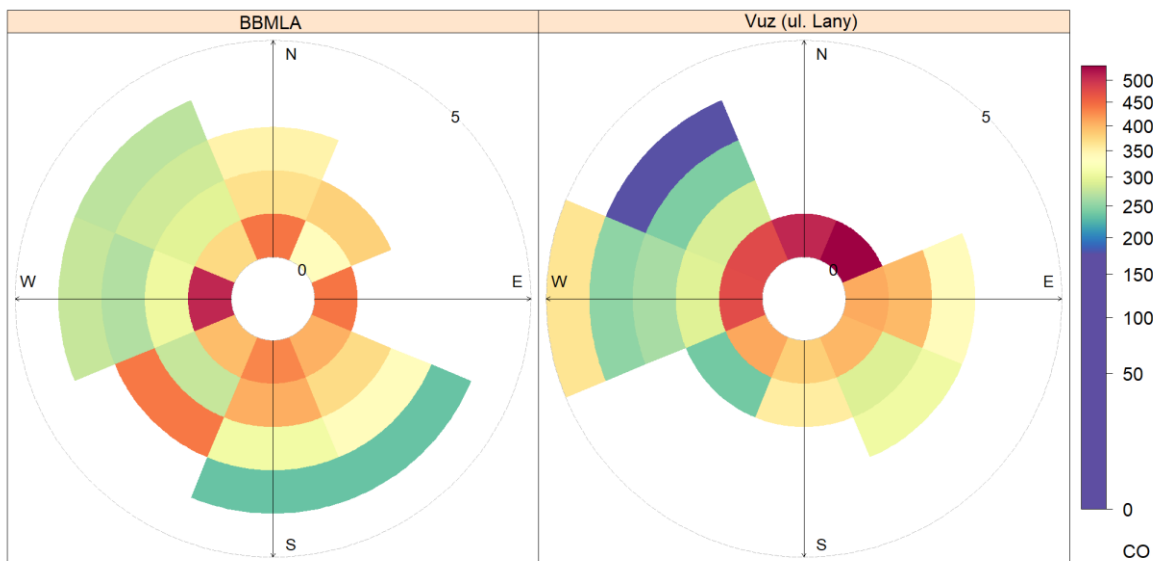


Obrázek 92 - koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi koncentracemi CO a rychlostí a směrem větru za celou dobu měřicí kampaně v ulici Lány.

V lokalitě stanice Brno-Lány byly koncentrace CO zvýšené při nízkých rychlostech větru, při vyšších rychlostech pak zejména při severovýchodním a jihovýchodním proudění. V ulici Lány (měřící vůz) byly koncentrace CO vyšší při nízkých rychlostech větru, při vyšších při severo- a jihovýchodním proudění.

Vážená koncentrační růžice zobrazuje rovněž vztah mezi směrem a rychlostí větru a koncentracemi znečišťujících látek, v potaz ale bere také délku trvání jednotlivých kombinací směru a rychlosti větru. Vážená koncentrační růžice ukazuje, jaký podíl mají na celkovém znečištění v dané lokalitě jednotlivé kombinace směru a rychlosti větru. Pokud je tedy nějaký směr větru hodně zastoupený, i když mohou být koncentrace v daném směru nízké, může být podíl v daném směru významný a naopak.

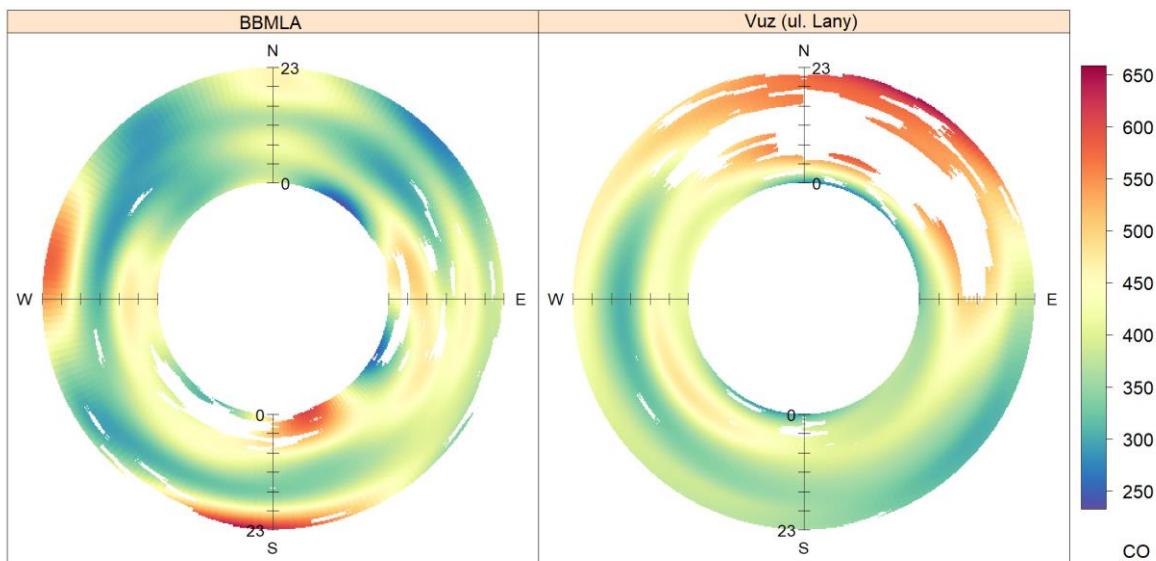
Následující vážené koncentrační růžice byly zkonstruovány z dat za celou dobu měřicí kampaně v lokalitě ulice Lány pro obě srovnávané lokality.



Obrázek 93 - vážená koncentrační růžice ilustrující vztah mezi koncentracemi CO a směrem a rychlostí větru, beroucí v potaz zastoupení jednotlivých kombinací směru a rychlostí větru v časovém měřítku.

Nejvyšší podíl znečištění oxidem uhelnatým je v lokalitě stanice Brno-Lány při nízkých rychlostech větru a při západním proudění. V lokalitě ulice Lány zejména při nízkých rychlostech větru a severním proudění, což může souviset s obecně velmi nízkými rychlostmi větru v tomto směru a možnou kumulací znečištění z důvodu překážky v podobě budovy v blízkosti měřicího vozu.

Anulární koncentrační růžice má za cíl posoudit vztah mezi směrem větru, koncentrací CO a hodinou dne.

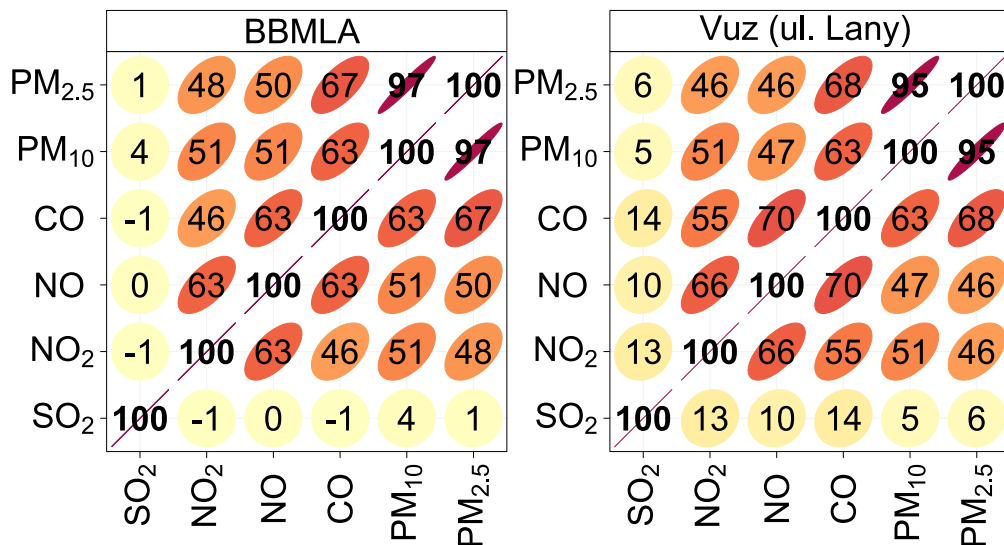


Obrázek 94 - anulární koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi koncentracemi CO, směrem větru a hodinou dne (v občanském čase).

V lokalitě stanice Brno-Lány byly nejvyšší koncentrace CO pozorovány při v pozdních nočních a brzkých ranních hodinách. V ulici Lány pak při severovýchodním proudění, zejména ve večerních hodinách. V ostatních směrech jsou v růžicích patrné dvě dopravní špičky, tedy zvýšené koncentrace v ranních a pozdějších odpoledních hodinách.

KORELACE

Korelace mezi jednotlivými znečišťujícími látkami pro obě srovnávané lokality ukazuje následující korelační diagram.



Obrázek 95 – korelační diagram ukazující korelace mezi jednotlivými znečišťujícími látkami pro obě srovnávané lokality stanice Brno-Lány a měřicí vůz v ulici Lány.

Největší vazba je v případě obou lokalit mezi koncentracemi částic PM_{2.5} a PM₁₀. Tento fakt byl popsán již v kapitole o poměru koncentrací PM_{2.5}/PM₁₀. Ukazuje to na vysoký podíl menších částic, které pochází zejména ze spalovacích zdrojů.

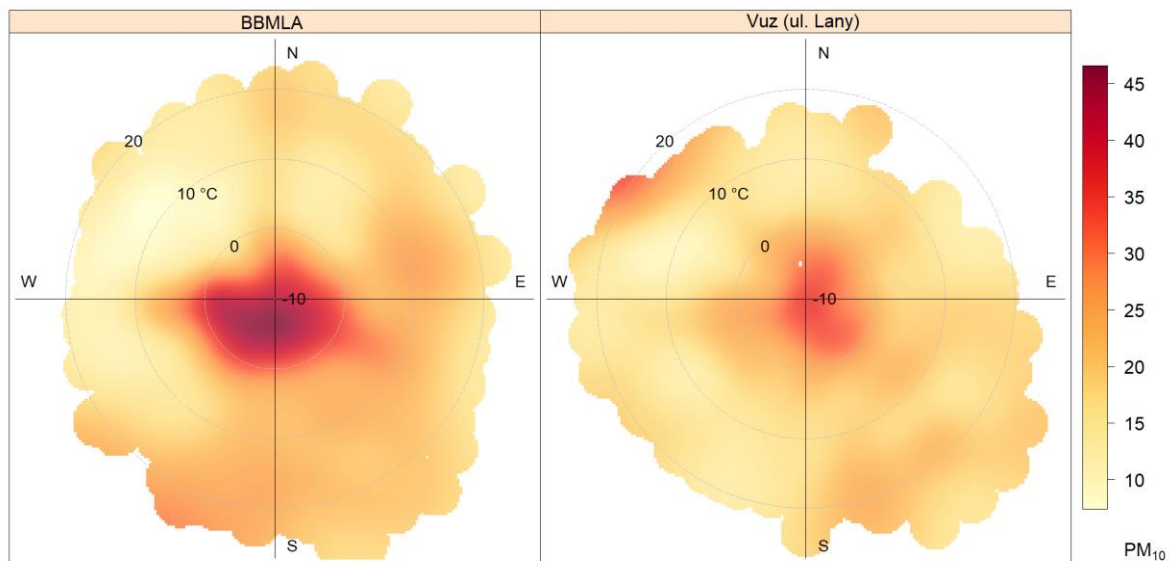
Vazba mezi CO a PM je vyšší v případě ulice Lány, to naznačuje vyšší podíl dopravy na koncentracích částic PM v této lokalitě oproti stanici Brno-Lány, rozdíl však není vysoký.

KORELACE S TEPLOTOU VZDUCHU

Jak bylo zmíněno v kapitole o meteorologických podmínkách, koncentrace znečišťujících látek velmi významně ovlivňuje teplota vzduchu. Při nízkých teplotách vzduchu zásadním způsobem stoupají emise z vytápění. Koncentrace prakticky všech znečišťujících látek s výjimkou přízemního ozonu jsou vyšší v chladnou část roku – souvisí to kromě vytápění také například se studenými starty automobilů (vyšší emise) atd.

Za účelem hodnocení vazby mezi teplotou vzduchu a koncentracemi znečišťujících látek, byly zkonstruovány koncentrační růžice, které však místo rychlosti větru zahrnují právě parametr teploty vzduchu. Ve středu růžice jsou nejnižší teploty, na jejím okraji nejvyšší.

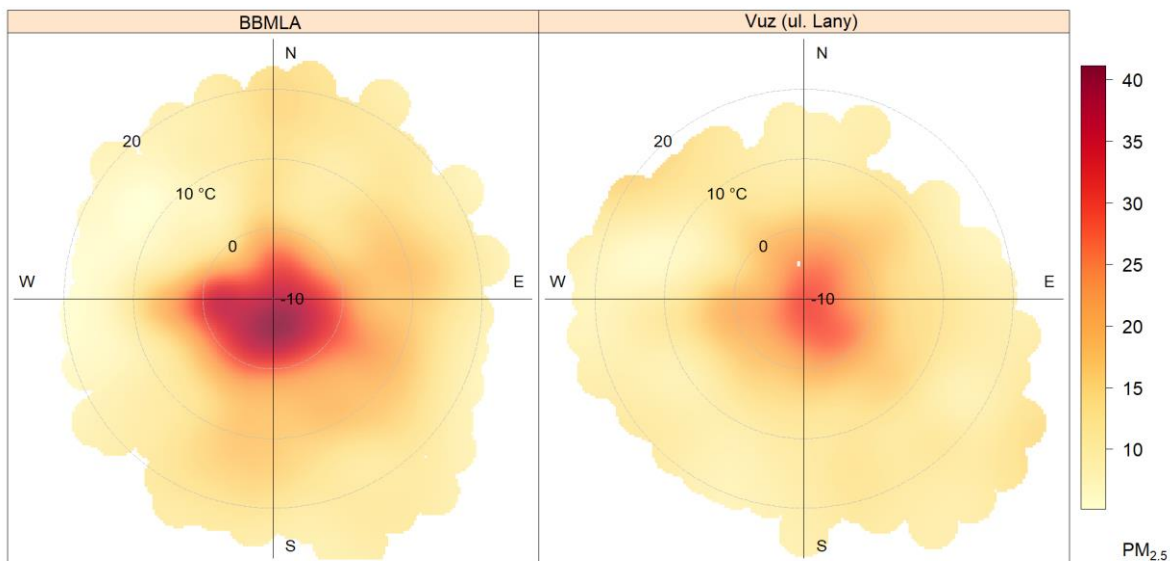
Následující koncentrační růžice ukazují vztah mezi koncentracemi částic PM₁₀, teplotou vzduchu a směrem větru, zvláště pro obě srovnávané lokality.



Obrázek 96 – koncentrační růžice ilustrující vztah mezi koncentracemi částic PM₁₀, teplotou vzduchu a směrem větru pro data z měřicího vozu v ulici Lány a data ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).

Zejména v lokalitě stanice Brno-Lány je vidět zcela jednoznačná vazba koncentrací PM₁₀ na teplotu vzduchu. Při jakémkoliv směru větru byly koncentrace částic PM₁₀ při velmi nízkých teplotách zvýšené. Tento charakter je patrný i v případě měřicího vozu v ulici Lány, byť méně výrazně.

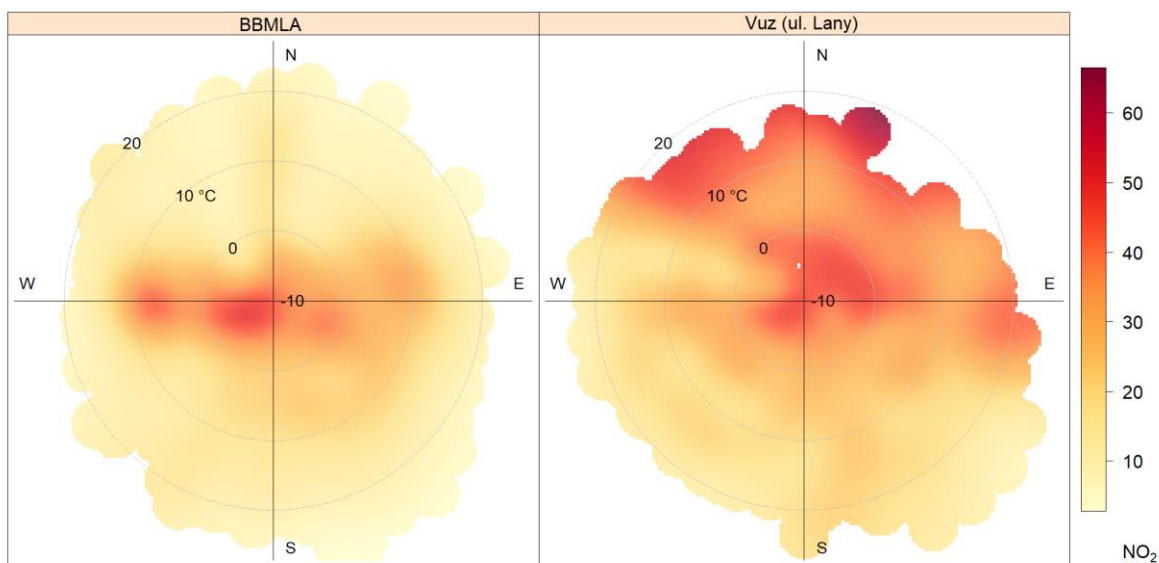
Následující koncentrační růžice ukazují vztah mezi koncentracemi částic PM_{2,5}, teplotou vzduchu a směrem větru, zvláště pro obě srovnávané lokality.



Obrázek 97 - koncentrační růžice ilustrující vztah mezi koncentracemi částic PM_{2.5}, teplotou vzduchu a směrem větru pro data z měřicího vozu v ulici Lány a data ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).

Vytápění, studené starty, ale i další zdroje ovlivňované teplotou vzduchu, jsou primárně zdrojem částic PM_{2.5}. Dle očekávání je zde patrná ještě silnější vazba než v případě částic PM₁₀. Zejména v lokalitě stanice Brno-Lány jsou koncentrace jednoznačně nejvyšší právě při nejnižších teplotách zaznamenaných v průběhu této měřicí kampaně.

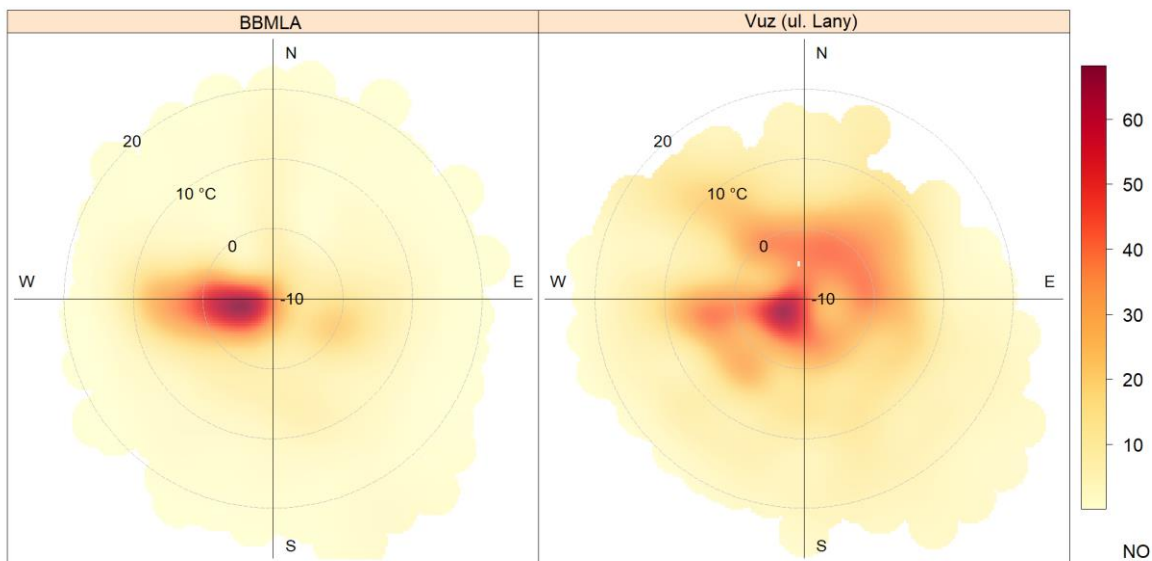
Následující koncentrační růžice ukazují vztah mezi koncentracemi NO₂, teplotou vzduchu a směrem větru, zvláště pro obě srovnávané lokality.



Obrázek 98 - koncentrační růžice ilustrující vztah mezi koncentracemi NO₂, teplotou vzduchu a směrem větru pro data z měřicího vozu v ulici Lány a data ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).

V případě koncentrací NO₂ je vazba na teplotu výrazně menší než v případě částic PM. V lokalitě stanice Brno-Lány jsou patrné vyšší koncentrace zejména při západním proudění při nízkých i středně vysokých teplotách. V lokalitě měřicího vozu v ulici Lány jsou koncentrace obecně vyšší při severozápadním až východním proudění.

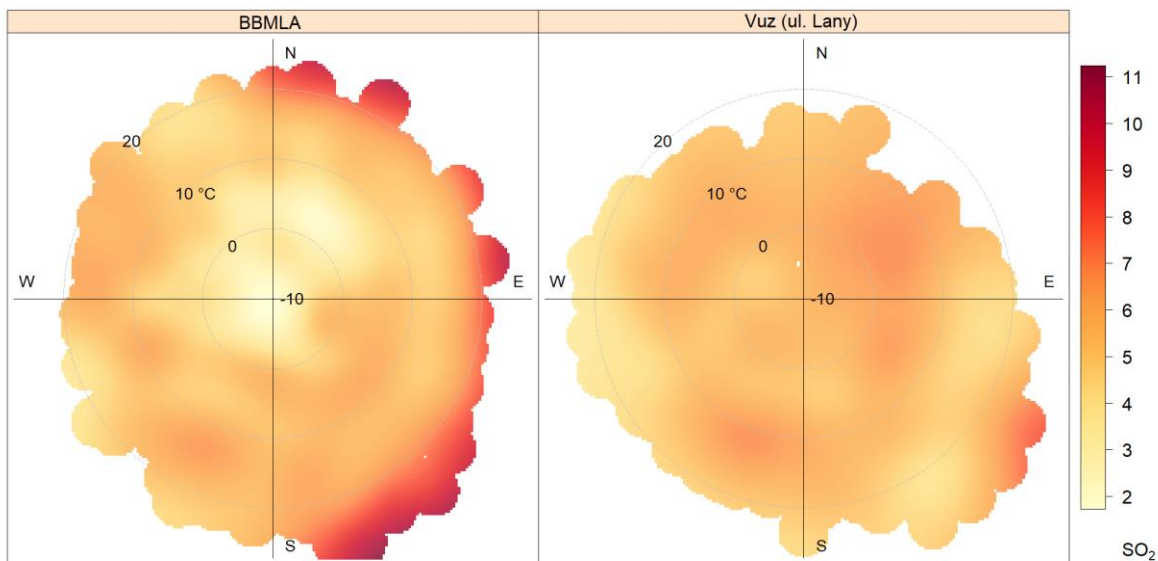
Následující koncentrační růžice ukazují vztah mezi koncentracemi NO, teplotou vzduchu a směrem větru, zvláště pro obě srovnávané lokality.



Obrázek 99 - koncentrační růžice ilustrující vztah mezi koncentracemi NO, teplotou vzduchu a směrem větru pro data z měřicího vozu v ulici Lány a data ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).

Na rozdíl od NO_2 , v případě NO je vztah mezi teplotou a koncentracemi NO výraznější. V lokalitě stanice Brno-Lány byly nejvyšší koncentrace při nejnižších teplotách a západním proudění, v lokalitě ulice Lány tomu bylo podobně, byť zde jsou patrné zvýšené koncentrace i při vyšších teplotách (může souviset s faktem, že je tato lokalita více dopravně exponovaná, takže se zde emise z výfukových plynů projevují po celý rok při různých teplotách vzduchu).

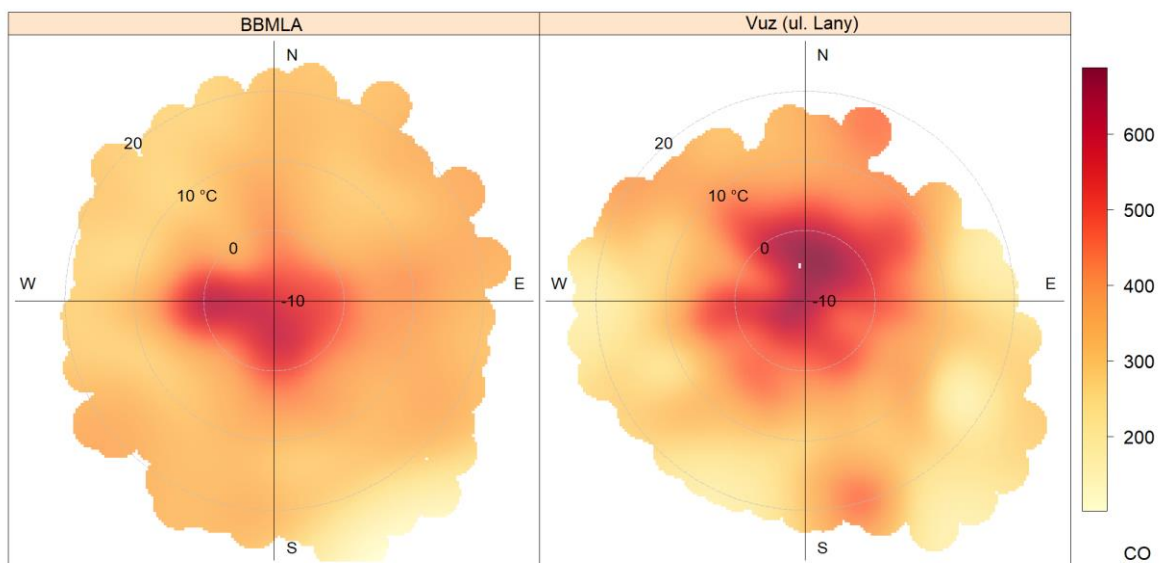
Následující koncentrační růžice ukazují vztah mezi koncentracemi SO_2 , teplotou vzduchu a směrem větru, zvláště pro obě srovnávané lokality.



Obrázek 100 - koncentrační růžice ilustrující vztah mezi koncentracemi SO₂, teplotou vzduchu a směrem větru pro data z měřicího vozu v ulici Lány a data ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).

V případě oxidu siřičitého není vazba na teplotu příliš patrná. V lokalitě stanice Brno-Lány byly koncentrace SO₂ nejvyšší při nejvyšších teplotách a severním, východním až jižním směru proudění. Koncentrace SO₂ se v průběhu roku příliš výrazně nemění. V lokalitě ulice Lány není vazba na teplotu patrná vůbec.

Následující koncentrační růžice ukazují vztah mezi koncentracemi CO, teplotou vzduchu a směrem větru, zvláště pro obě srovnávané lokality.



Obrázek 101 - koncentrační růžice ilustrující vztah mezi koncentracemi CO, teplotou vzduchu a směrem větru pro data z měřicího vozu v ulici Lány a data ze stanice imisního monitoringu Brno-Lány (BBMLA).

Koncentrace oxidu uhelnatého jsou ovlivněny dopravou. Vyšší koncentrace jsou v tomto směru z dopravy při studených startech. Vztah mezi teplotou a koncentracemi CO je patrný v obou lokalitách. Nižší teploty vzduchu se projeví ve zvýšených koncentracích CO.

ZÁVĚR

V rámci hodnocení byly vyhodnoceny koncentrace znečišťujících látek naměřené v rámci měřicí kampaně v brněnské ulici Lány. Sledovány byly jak koncentrace většiny základních znečišťujících látek, tak meteorologické podmínky pro lepší možnost hodnocení.

Monitoring měřicím vozem probíhal přibližně od poloviny prosince 2022 do druhé poloviny května 2023. Tato data byla dále srovnána s daty ze stacionární stanice imisního monitoringu Brno-Lány, nacházející se vzdušnou čarou 182 m od místa umístění měřicího vozu, avšak dále od dopravně zatížené ulice Lány.

S ohledem na délku monitoringu nelze z naměřených hodnot provádět přímé srovnání s imisními limity.

Větrná růžice pro lokalitu v ulici Lány ukázala, že nejčtetnější bylo severní proudění, naopak ve směru od severovýchodu byla četnost i rychlost proudění velmi malá, mj. také kvůli překážkám v bezprostředním okolí měřicího místa.

Koncentrace částic PM_{10} byly v průměru vyšší v lokalitě stanice Brno-Lány ve srovnání s měřicím vozem v ulici Lány. Na stanici Brno-Lány byl také zaznamenán vyšší počet překročení hodnoty 24h imisního limitu pro částice PM_{10} . Na základě vyhodnocení koncentrační růžice a například denního chodu koncentrací lze říci, že tyto vyšší koncentrace v lokalitě stanice Brno-Lány jsou dány dvěma faktory - vlivem nedaleké dálnice D1, která je blíže stanici než měřicímu vozem, a dále také lokálnímu vytápění, které na základě dat bylo významnější v lokalitě stanice Brno-Lány. Frakce menších částic $PM_{2,5}$ se v tomto směru chová obdobně a průměrné koncentrace částic $PM_{2,5}$ byly rovněž vyšší v lokalitě stanice Brno-Lány ve srovnání s lokalitou měřicího vozu v ulici Lány.

Zejména v lokalitě stanice Brno-Lány byla zaznamenána epizoda, kdy zejména ve večerních hodinách prudce stoupaly koncentrace částic PM. Jednalo se o období přibližně od 22. 12. 2022 do 4. 1. 2023. Na základě přímého pozorování pracovníků Magistrátu města Brna a na základě denního chodu koncentrací a dalších parametrů bylo zjištěno, že se jednalo o velmi významný a lokální vliv vytápění v kotli na pevná paliva.

V případě oxidů dusíku je situace opačná. Ulice Lány je více vystavena dopravě, protože se měřicí vůz nacházel v relativní blízkosti dopravní komunikace. Hlavním zdrojem emisí oxidů dusíku je v ČR právě doprava. V průměru tedy byly koncentrace NO_2 vyšší v lokalitě

měřicího vozu v ulici Lány. Data byla dále srovnána se dvěma dopravně nejvytíženějšími stanicemi Brno-Úvoz a Brno-Svatoplukova. Zde je doprava velmi intenzivní a komunikace kapacitně nedostatečné, což znamená, že jsou zde časté kolony. Dle očekávání byly koncentrace oxidu dusičitého v lokalitě měřicího vozu v ulici Lány sice vyšší než v pozad'ové předměstské lokalitě stanice Brno-Lány, ale asi o 20 % nižší než u velmi intenzivně dopravně zatížených stanic Brno-Svatoplukova a Brno-Úvoz.

Koncentrace SO_2 byly velmi nízké, tak jako je tomu dlouhodobě v celém Brně, ale i České republice. Rozdíly mezi jednotlivými lokalitami jsou s ohledem na absolutní hodnoty těchto koncentrací nevýznamné. Stejně tak byly velmi nízké koncentrace oxidu uhelnatého. Průměrná koncentrace CO v lokalitě měřicího vozu byla prakticky totožná s hodnotami z ulice Lány. Na základě hodnot koncentrací dalších látek lze předpokládat, že v lokalitě stanice Brno-Lány se více projevuje CO z vytápění, v lokalitě ulice Lány z dopravy.

Růžice srovnávající teplotu vzduchu a koncentrace znečišťujících látek jasně potvrzují silnou vazbu kvality ovzduší na meteorologické podmínky. Zejména u obou frakcí PM, NO_2 , NO a CO byly jasně nejvyšší koncentrace pozorovány při nízkých teplotách vzduchu, což souvisí s vyššími emisemi z některých zdrojů (vytápění, doprava), ale i obecně vyšší četností zhoršených rozptylových podmínek v zimním období.

POUŽITÁ LITERATURA

- Badr, O., & Probert, S. D. (1994). Sources of atmospheric carbon monoxide. *Applied energy*, 49(2), 145-195.
- Costa, S., Ferreira, J., Silveira, C., Costa, C., Lopes, D., Relvas, H., ... & Paulo Teixeira, J. (2014). Integrating health on air quality assessment—review report on health risks of two major European outdoor air pollutants: PM and NO₂. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 17(6), 307-340.
- Grant, L., & Schneider, T. (Eds.). (2013). *Air pollution by nitrogen oxides*. Elsevier.
- Heaviside, C., Witham, C., & Vardoulakis, S. (2021). Potential health impacts from sulphur dioxide and sulphate exposure in the UK resulting from an Icelandic effusive volcanic eruption. *Science of the Total Environment*, 774, 145549.
- Hetem IG, Andrade MD. Characterization of fine particulate matter emitted from the resuspension of road and pavement dust in the metropolitan area of São Paulo, Brazil. *Atmosphere*. 2016 Feb 23;7(3):31.
- Choi, D., Toda, H., & Kim, Y. (2014). Effect of sulfur dioxide (SO₂) on growth and physiological activity in *Alnus sieboldiana* at Miyakejima Island in Japan. *Ecological research*, 29(1), 103-110.
- Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental pollution*, 151(2), 362-367.
- Khaniabadi, Y. O., Goudarzi, G., Daryanoosh, S. M., Borgini, A., Tittarelli, A., & De Marco, A. (2017). Exposure to PM₁₀, NO₂, and O₃ and impacts on human health. *Environmental science and pollution research*, 24(3), 2781-2789.
- Kumar, S. (2017). Acid rain—the major cause of pollution: Its causes, effects. *Int. J. Appl. Chem*, 13(1), 53-58.
- Li, C., McLinden, C., Fioletov, V., Krotkov, N., Carn, S., Joiner, J., ... & Dickerson, R. R. (2017). India is overtaking China as the world's largest emitter of anthropogenic sulfur dioxide. *Scientific reports*, 7(1), 1-7.
- Mohajan, H. (2018). Acid rain is a local environment pollution but global concern.
- Rose, J. J., Wang, L., Xu, Q., McTiernan, C. F., Shiva, S., Tejero, J., & Gladwin, M. T. (2017). Carbon monoxide poisoning: pathogenesis, management, and future directions of therapy. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 195(5), 596-606.
- Santis, D., Petracca, I., Corradini, S., Guerrieri, L., Picchiani, M., Merucci, L., ... & Schiavon, G. (2021, July). Volcanic SO₂ Near-Real Time Retrieval Using Tropomi Data and Neural Networks: The December 2018 Etna Test Case. In *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS* (pp. 8480-8483). IEEE.

Tadic, I., Nussbaumer, C. M., Bohn, B., Harder, H., Marno, D., Martinez, M., ... & Fischer, H. (2021). Central role of nitric oxide in ozone production in the upper tropical troposphere over the Atlantic Ocean and western Africa. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(10), 8195-8211.

Trasande L, Malecha P, Attina TM. Particulate matter exposure and preterm birth: estimates of US attributable burden and economic costs. *Environmental health perspectives*. 2016 Dec;124(12):1913.

Vierkötter A, Krutmann J, Schikowski T. 9.1 Ambient Particulate Matter and Its Health Effects. *Environment and Skin*. 2017 Nov 20:105.

Wang, X., Xu, Z., Su, H., Ho, H. C., Song, Y., Zheng, H., ... & Cheng, J. (2021). Ambient particulate matter (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) and childhood pneumonia: the smaller particle, the greater short-term impact?. *Science of The Total Environment*, 772, 145509.

WHO, 2016; Air Quality Guidelines, Global Update 2005; World Health Organization, 2006