

VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ V LOKALITĚ OTROKOVICE Rok 2019



ENVITECH BOHEMIA, s.r.o.

ÚDAJE O ZAKÁZCE

Zhotovitel:

Objednatel:

Zpracovatelé:

Datum předání zprávy: 31. března 2020

Počet výtisků: 1

Výtisk číslo: 1

OBSAH

1	ÚVOD	4
1.1	IMISNÍ LIMITY	5
1.2	DATA A JEJICH ZPRACOVÁNÍ	5
2	METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY BĚHEM MĚŘENÍ	6
2.1	VĚTRNÉ RŮŽICE	6
2.2	RYCHLOST PROUDĚNÍ VĚTRU	6
2.3	TEPLOTA VZDUCHU	8
2.4	RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU	9
2.5	ÚHRN SRÁŽEK	11
3	VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ	13
3.1	SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{10} , $PM_{2,5}$ A PM_1	13
3.1.1	PRŮMĚRNÉ ROČNÍ KONCENTRACE	15
3.1.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE	16
3.1.3	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE PM	18
3.1.4	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – DENNÍ CHOD A KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	22
3.1.5	SROVNÁNÍ S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍTĚ IMISNÍHO MONITORINGU	26
3.2	OXIDY DUSÍKU NO_2 , NO A NO_x	32
3.2.1	PRŮMĚRNÉ ROČNÍ KONCENTRACE	33
3.2.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE	34
3.2.3	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE NO , NO_2 A NO_x	36
3.2.4	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – DENNÍ CHOD A KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	38
3.2.5	SROVNÁNÍ S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍTĚ IMISNÍHO MONITORINGU	42
3.3	OXID UHELNATÝ CO	45
3.3.1	VÝVOJ NEJVYŠŠÍCH 8HODINOVÝCH KLOUZAVÝCH PRŮMĚRŮ ZA DEN V ROCE	46
3.3.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE	47
3.3.3	VÝVOJ PRŮMĚRNÝCH DENNÍCH KONCENTRACÍ CO	48
3.3.4	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – DENNÍ CHOD A KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	50
3.3.5	SROVNÁNÍ S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍTĚ IMISNÍHO MONITORINGU	54
4	ZÁVĚRY	57
5	CITOVANÁ LITERATURA	58

1 ÚVOD

V Otrokovicích probíhá měření kvality ovzduší na monitorovací stanici Otrokovice – město umístěnou na náměstí 3. května. Tato stanice je charakterizována jako dopravní městská stanice. Její reprezentativnost leží v oblastním měřítku (0,5 – 4 km). Měření zde započalo 1. 1. 2014.



Obr. 1 – Stanice Otrokovice – město

Tato studie slouží jako vyhodnocení měření za rok 2019 a srovnání s legislativou.

1.1 IMISNÍ LIMITY

Pro škodliviny, měřené v lokalitě Otrokovice – město, platí následující imisní limity dle Přílohy č. 1 zákona o ochraně ovzduší [1].

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

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit LV	pLV
Suspendované částice PM ₁₀	24 hodin	50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	35
Suspendované částice PM ₁₀	1 kalendářní rok	40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	
Suspendované částice PM _{2,5}	1 kalendářní rok	25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	
Oxid dusičitý NO ₂	1 hodina	200 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	18
Oxid dusičitý NO ₂	1 kalendářní rok	40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	
Oxid uhelnatý CO	maximální denní osmihodinový klouzavý průměr	10 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	

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

1.2 DATA A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

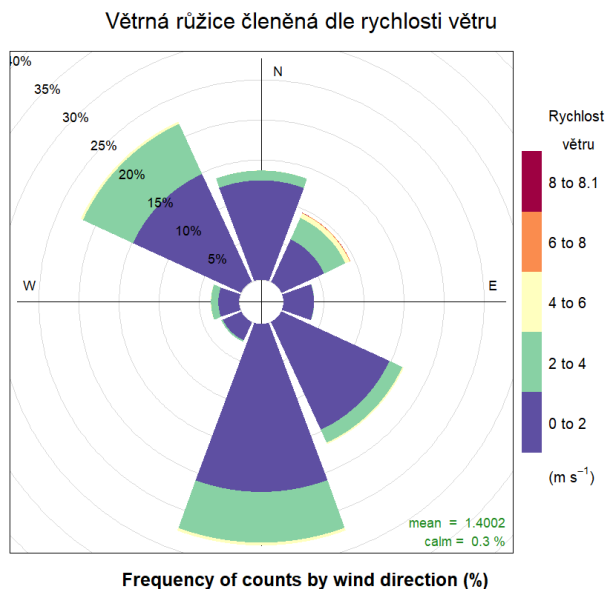
Ve studii byla mimo samotnou lokalitu Otrokovice – město rovněž použita data státní sítě imisního monitoringu za účelem srovnání lokality s okolními stanicemi. Data byla poskytnuta Českým hydrometeorologickým ústavem. Veškerá uvedená data byla poskytnuta na základě žádosti MÚ Zlín a nemohou být použita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

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

2 METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY BĚHEM MĚŘENÍ

2.1 VĚTRNÉ RŮŽICE

Na následujícím Obr. 2 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu Otrokovice – město konstruovaná z hodinových rychlostí a směrů větru. Růžice naznačuje převažující jižní (cca 27 % roku) a severozápadní (cca 23 % roku) proudění. Vyšší rychlosti větru byly zaznamenány především ze severovýchodu a dále z jihu a severozápadu. Bezvětrí panovalo ve zhruba 0,3 % času měření. Průměrná rychlost větru za celé měřené období byla zhruba $1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 2 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, Otrokovice – město, rok 2019

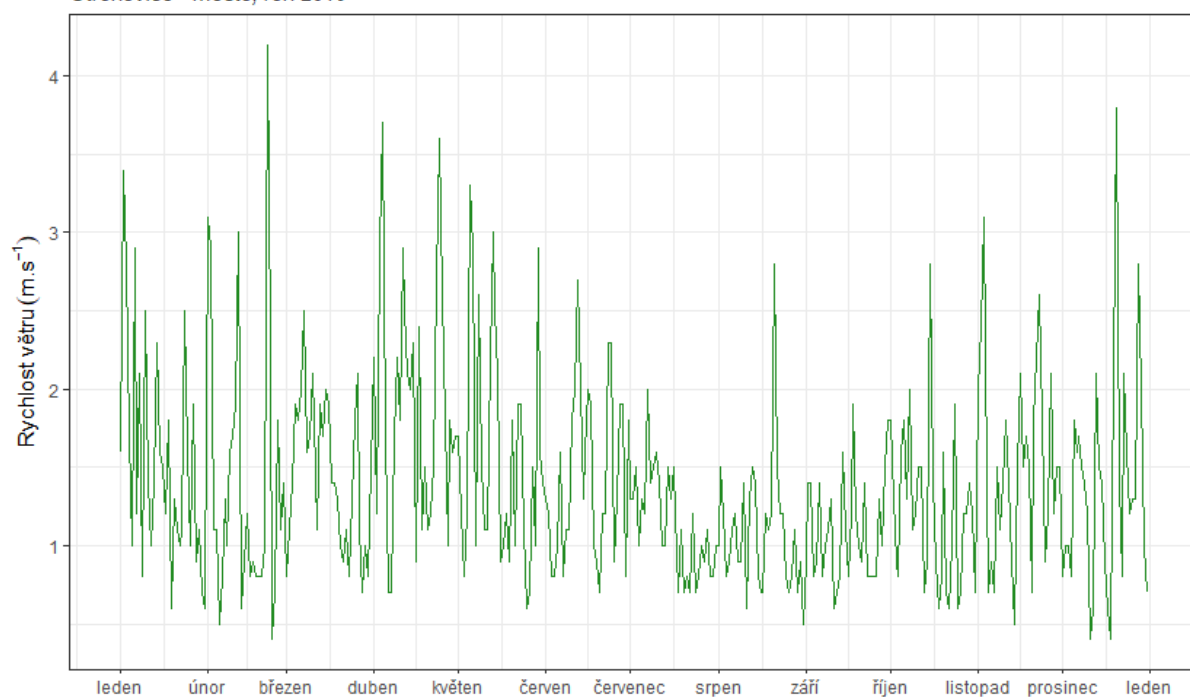
2.2 RYCHLOST PROUDĚNÍ VĚTRU

Meteorologické podmínky v chladné části roku vlivem častějších, a především silnějších teplotních inverzí napomáhají horším rozptylovým podmínkám – během teplotní inverze se v atmosféře vytvoří vrstva připomínající pokličku, pod kterou je stabilní atmosféra tzn., že je téměř bezvětrí nebo pouze nízké rychlosti větru a nedochází tedy k dostatečnému rozptylu škodlivin. Škodliviny se pak pod touto vrstvou kumulují a jejich koncentrace roste. Rychlost proudění větru je tedy významným meteorologickým prvkem ovlivňujícím koncentraci škodlivin ovzduší. Pokud jsou rychlosti velmi nízké nebo panuje bezvětrí, jsou zpravidla koncentrace škodlivin (zejména suspendovaných částic) vysoké. Naopak při vyšších rychlostech větru dochází k dobrému rozptylu, na druhou stranu může rovněž docházet i k resuspenzi suspendovaných částic, kdy dochází k opětovnému vznosu již jednou sedimentovaných částic. Příkladem takové resuspenze může být např. větrná eroze, kdy vlivem větru je strhávána půda z polí do vzduchu a podílí se tak na nárůstu koncentrací suspendovaných částic v ovzduší.

Na následujícím Obr. 3 jsou uvedeny průměrné denní rychlosti proudění větru v lokalitě Otrokovice – město. Z grafu je patrné, že byly měřeny převážně nízké rychlosti větru zhruba do $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, rychlosti okolo $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ se vyskytovaly výjimečně. Následující Obr. 4 zobrazuje průměrné měsíční hodnoty.

Vývoj průměrných denních rychlostí větru

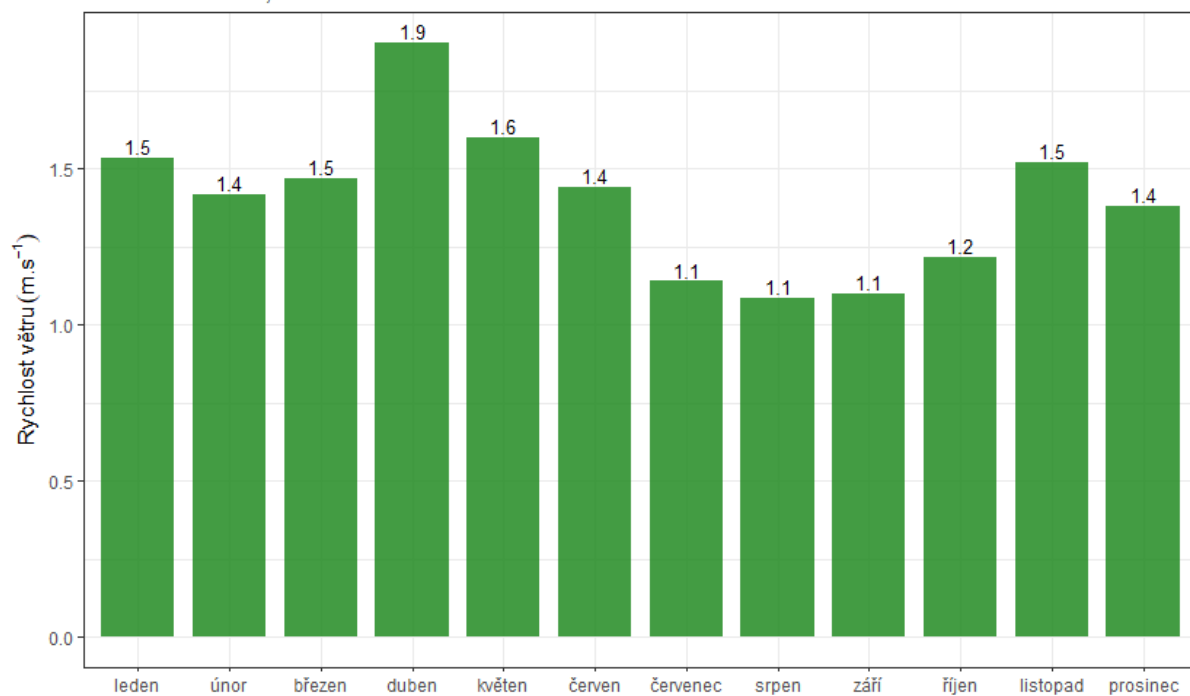
Otrokovice - město, rok 2019



Obr. 3 – Průměrné denní rychlosti větru, Otrokovice – město, rok 2019

Vývoj průměrných měsíčních rychlostí větru

Otrokovice - město, rok 2019

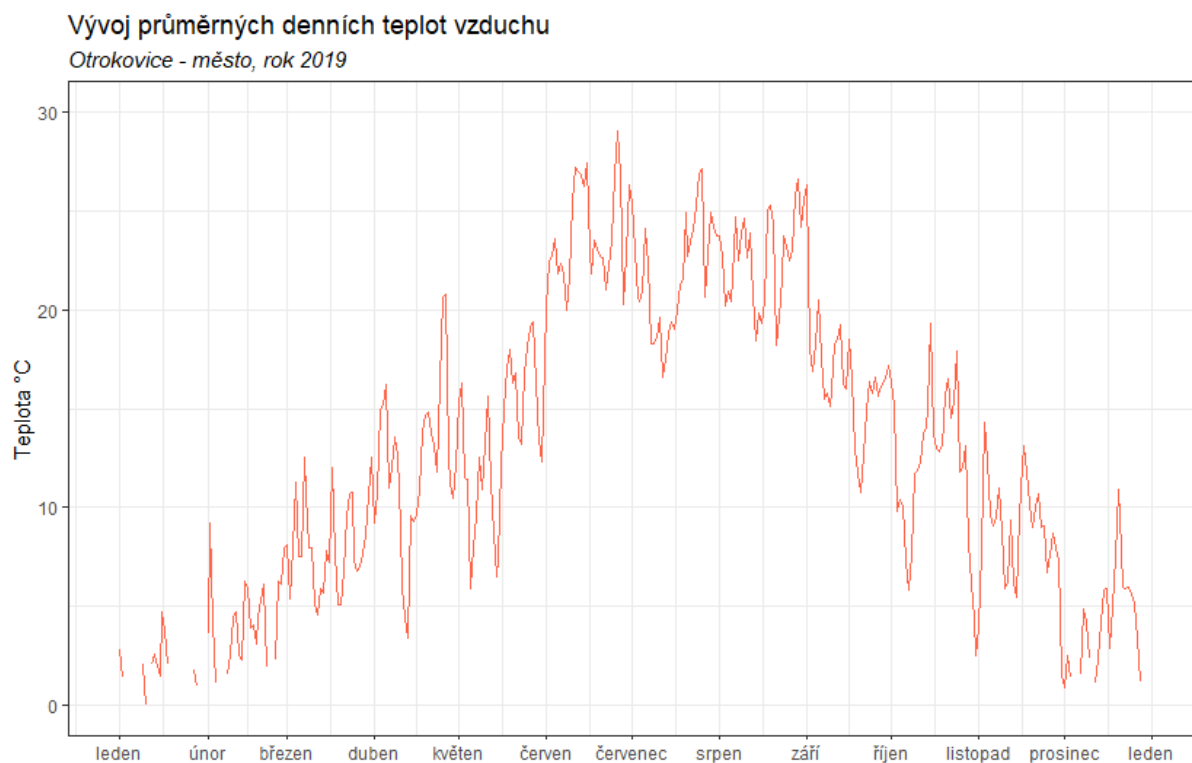


Obr. 4 – Průměrné měsíční rychlosti větru, Otrokovice – město, rok 2019

2.3 TEPLOTA VZDUCHU

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

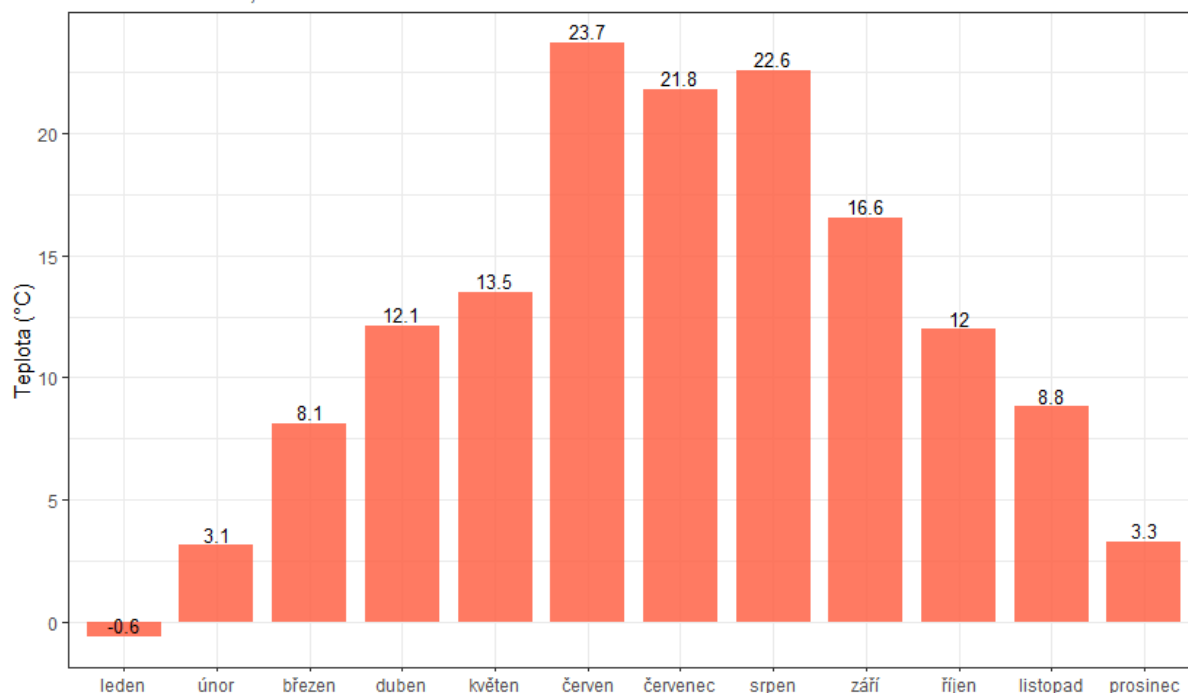
Následující Obr. 5 zobrazuje průměrné denní teploty vzduchu v lokalitě Otrokovice – město. Z grafu vyplývá, že maximální hodnoty byly v této lokalitě měřeny v červnu a dále v srpnu a červenci, poté docházelo k postupnému poklesu teplot. Minimální teploty pak byly měřeny v lednu, únoru a prosinci (Obr. 6).



Obr. 5 – Průměrné denní teploty vzduchu, Otrokovice – město, rok 2019

Vývoj průměrných měsíčních teplot vzduchu

Otrokovice - město, rok 2019



Obr. 6 – Průměrné měsíční teploty, Otrokovice – město, rok 2019

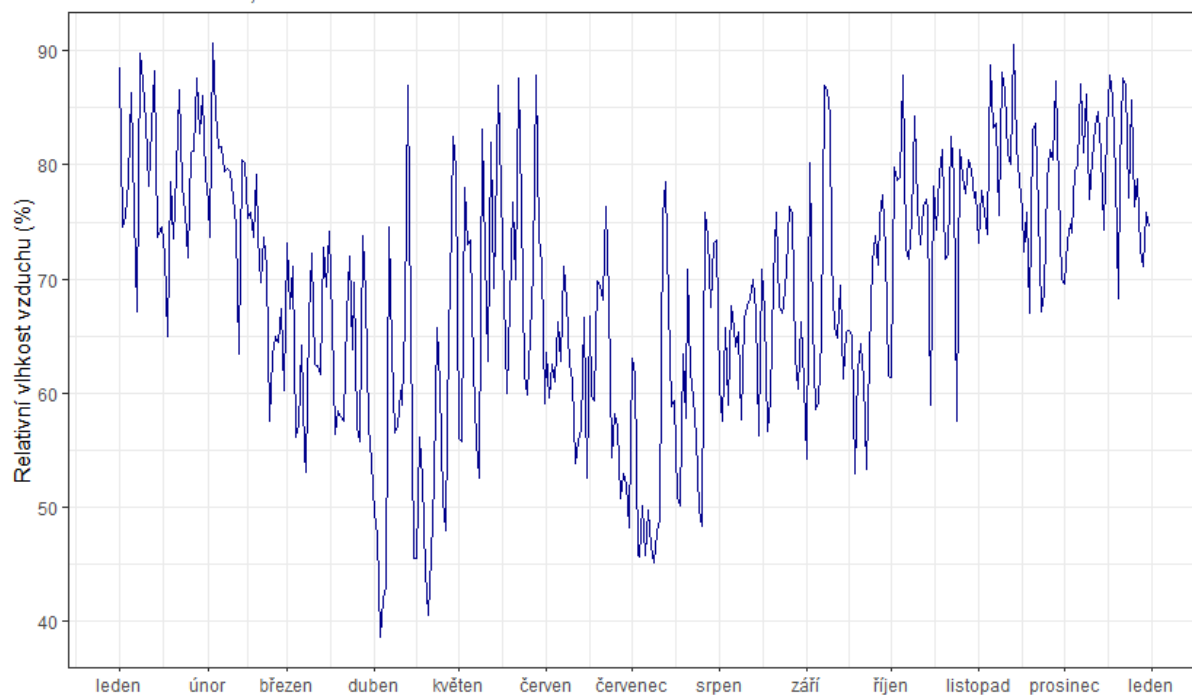
2.4 RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU

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

Následující Obr. 7 zobrazuje průměrné denní relativní vlhkosti vzduchu v lokalitě Otrokovice – město. Z grafu vyplývá, že maximální hodnoty byly v této lokalitě měřeny v chladné části roku, naopak nejnižší hodnoty byly měřeny v létě. Průměrné měsíční hodnoty jsou uvedeny v grafu na Obr. 8

Vývoj relativních denních vlhkostí vzduchu

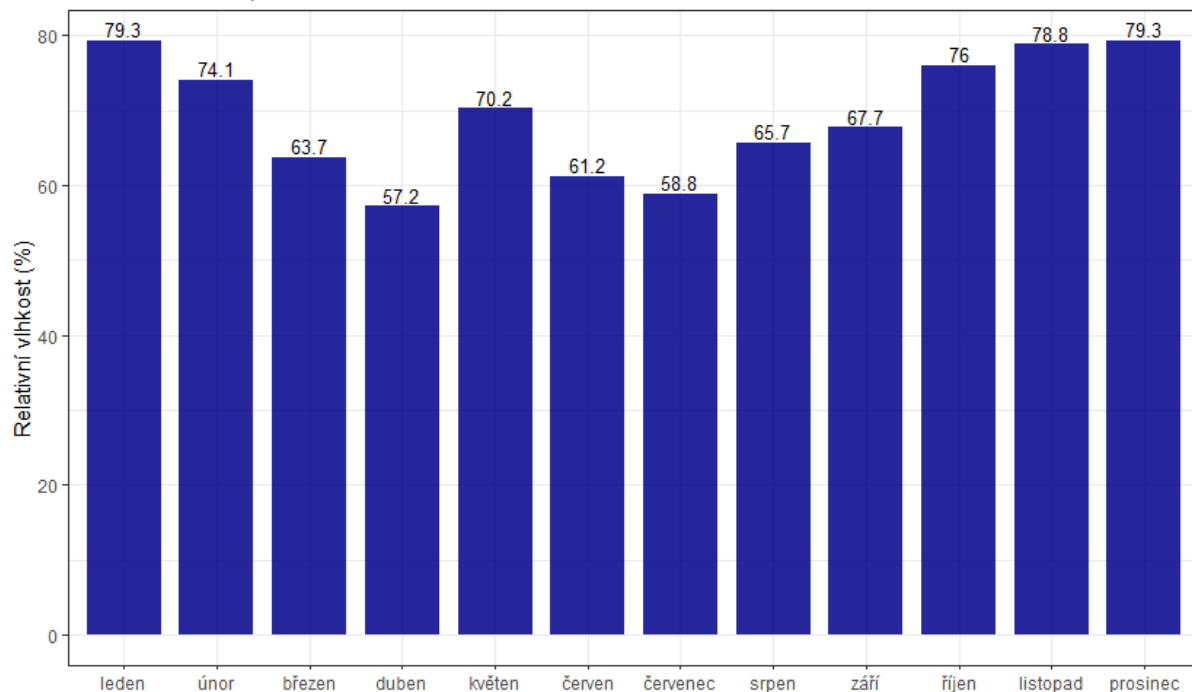
Otrokovice - město, rok 2019



Obr. 7 - Průměrné denní relativní vlhkosti vzduchu, Otrokovice – město, rok 2019

Vývoj průměrných měsíčních relativních vlhkostí vzduchu

Otrokovice - město, rok 2019

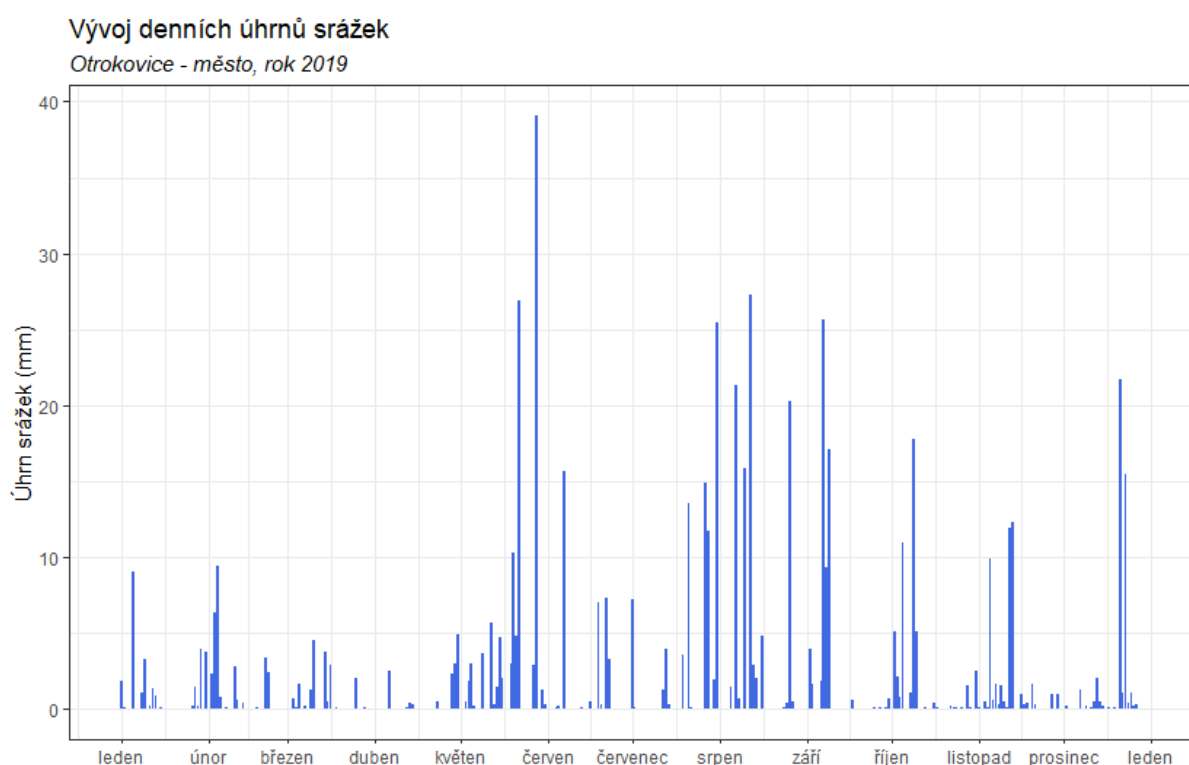


Obr. 8 – Průměrné měsíční relativní vlhkosti vzduchu, Otrokovice – město, rok 2019

2.5 ÚHRN SRÁŽEK

Koncentrace škodlivin může ovlivňovat rovněž úhrn srážek. Ten může znamenat přechod fronty, a tedy rozrušení teplotní inverze, v případě částic může díky srážkám docházet k tzv. vymývání částic z atmosféry, kdy dojde k výraznému poklesu koncentrací prašnosti v ovzduší. Naopak delší bezesrážková epizoda může v zimě značit delší epizodu s inverzním charakterem počasí, v teplé části roku pak může docházet k vysychání půdy a větrné erozi.

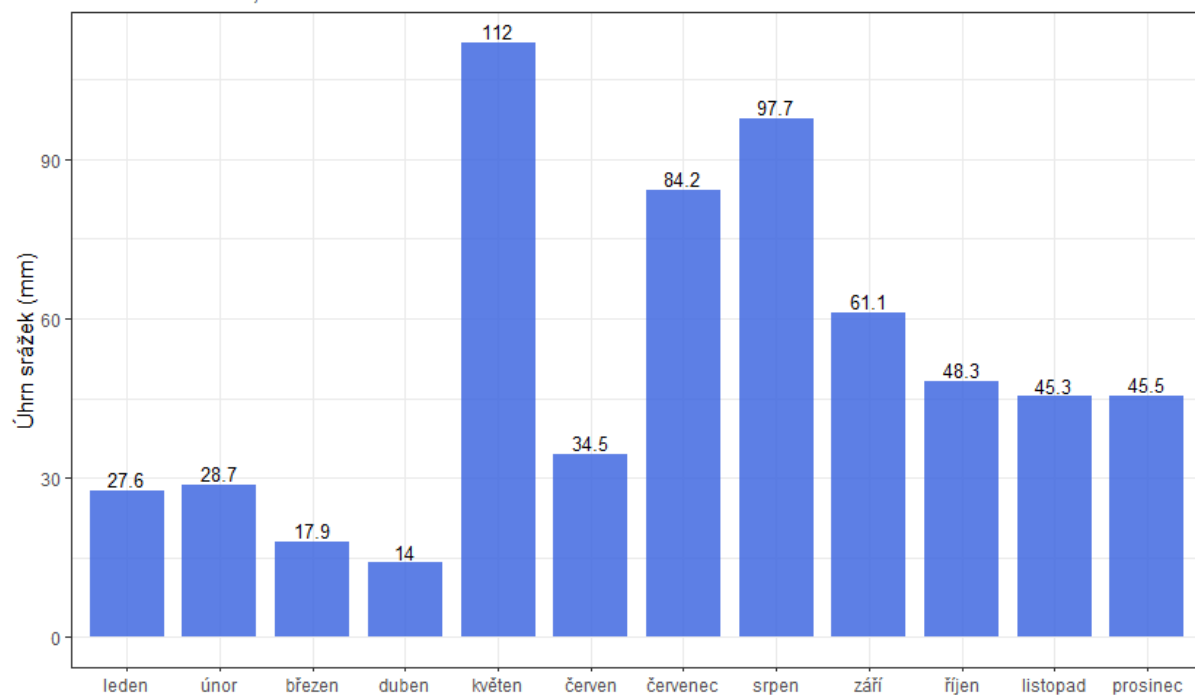
Následující Obr. 9 zobrazuje denní úhrn srážek v lokalitě Otrokovice – město. Následující graf na Obr. 10 zobrazuje měsíční úhrny srážek. Méně než 20 mm srážek v měsíčním úhrnu se vyskytlo v dubnu a březnu, nejvyšší úhrn pak byl zaznamenán v květnu.



Obr. 9 – Denní úhrn srážek, Otrokovice – město, rok 2019

Vývoj měsíčních úhrnů srážek

Otrokovice - město, rok 2019



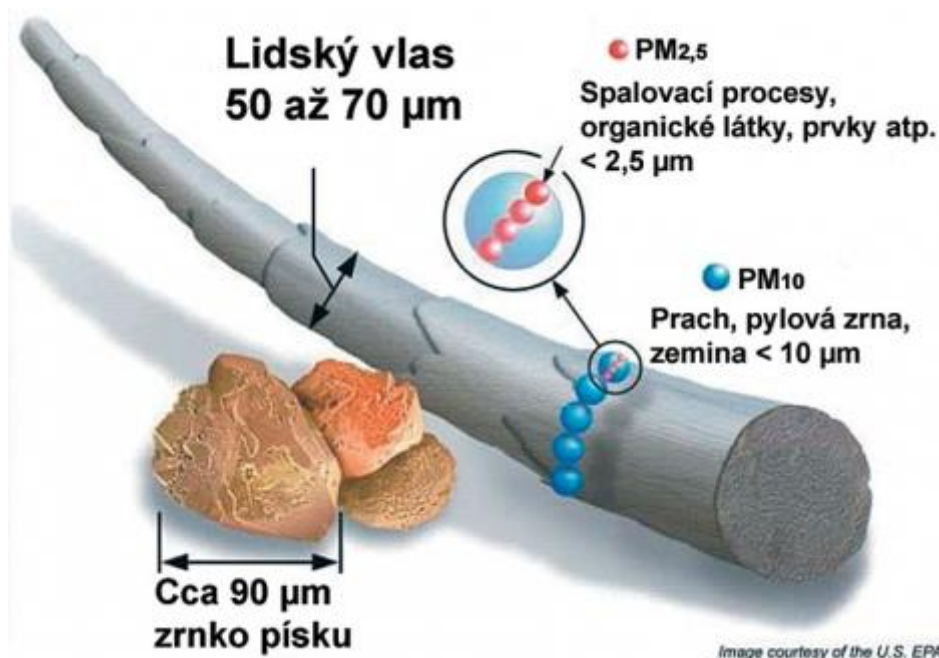
Obr. 10 – Měsíční úhrn srážek, Otrokovice – město, rok 2019

3 VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ

3.1 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{10} , $PM_{2,5}$ A PM_1

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

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

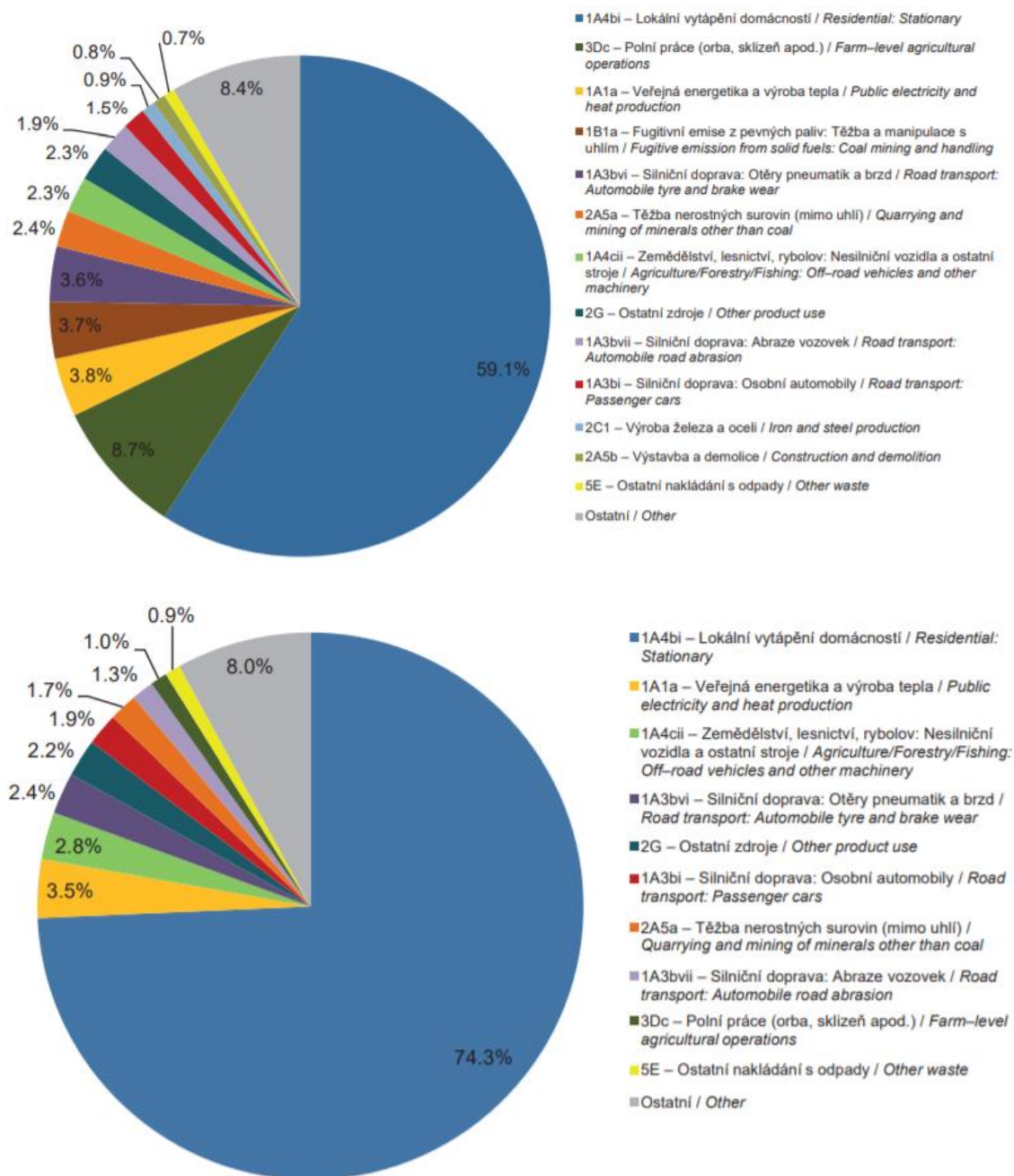


Obr. 11 – Srovnání velikostí částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ s lidským vlasem a zrnkem písku. Zdroj: US EPA

Emisní inventury částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ prováděné podle současných metodik zahrnují pouze emise produkované primárními zdroji. Ve srovnání s emisemi jiných znečišťujících látek jsou emise PM_x vnášeny do ovzduší z velkého počtu významnějších skupin zdrojů. Kromě zdrojů, ze kterých jsou tyto látky vypouštěny řízeně komínem nebo výduchy (průmyslové zdroje, lokální topeniště, doprava), pochází významné množství emisí PM ze zdrojů fugitivních (kamenolomy, skládky prašných materiálů, operace s prašnými materiály apod.). Zahrnuty jsou rovněž emise z otěrů pneumatik, brzdového obložení a abraze vozovek vypočítávané z dopravních výkonů. Kvalitu ovzduší ovlivňuje rovněž resuspenze částic (znovuzvívání), která do standardně prováděných emisních inventur není zahrnuta.

Mezi hlavní zdroje emisí částic v roce 2017 patřil v rámci celé ČR sektor 1A4bi – Lokální vytápění domácností, který se podílel na znečišťování ovzduší v celorepublikovém měřítku látkami PM_{10} 59,1 % a $PM_{2,5}$ 74,3 %. Mezi další významné zdroje emisí PM_{10} patřil sektor 3Dc – Polní práce, kde tyto emise

vznikají při obdělávání půdy, sklizni a čištění zemědělských plodin. Tento sektor představoval 8,7 % emisí PM_{10} . *Doprava* se na emisích PM_{10} podílela 10,7 % a na emisích $PM_{2,5}$ 10,3 % [5].



Obr. 12 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích PM_{10} (nahoře) a $PM_{2,5}$ (dole) v ČR, rok 2017 [5]

Suspendované částice mají významné zdravotní důsledky, které se projevují již při velmi nízkých koncentracích bez zřejmé spodní hranice bezpečné koncentrace. Zdravotní rizika částic ovlivňuje jejich koncentrace, velikost, tvar a chemické složení. Při akutním působení částic může dojít k podráždění sliznic dýchací soustavy, zvýšené produkci hlenu apod. Tyto změny mohou způsobit snížení imunity a zvýšení náchylnosti k onemocnění dýchací soustavy. Opakující se onemocnění mohou vést ke vzniku

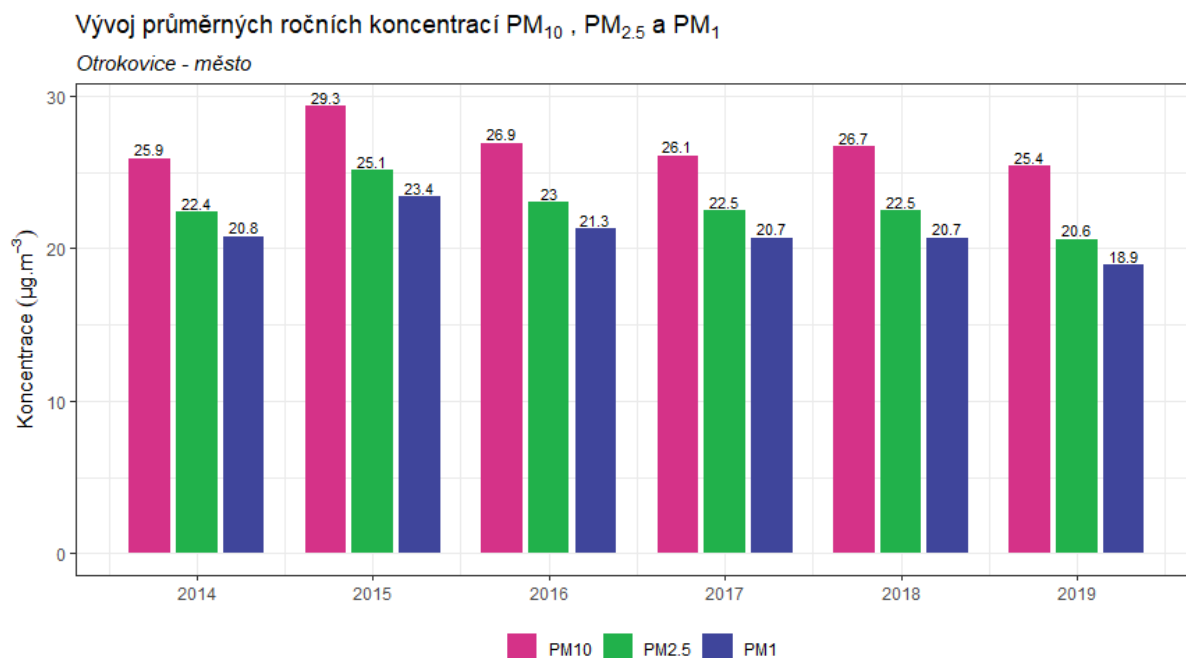
chronické bronchitidy a kardiovaskulárním potíží. Při akutním působení částic může dojít k zvýraznění symptomů u astmatiků a navýšení celkové nemocnosti a úmrtnosti populace. Dlouhodobé vystavení působení částic může vést ke vzniku onemocnění respiračního a kardiovaskulárního systému. Míra zdravotních důsledků je ovlivněna řadou faktorů, jako je například aktuální zdravotní stav jedince, alergická dispozice nebo kouření. Citlivou skupinou jsou děti, starší lidé a lidé trpící onemocněním dýchací a oběhové soustavy. Nejzávažnější zdravotní dopady, tj. kardiovaskulární a respirační účinky a navýšení úmrtnosti, mají jemné a ultra jemné částice s velikostí aerodynamického průměru pod $1\text{ }\mu\text{m}$ [6], [7].

3.1.1 Průměrné roční koncentrace

Průměrná roční koncentrace PM_{10} činila v roce 2019 v lokalitě Otrokovice – město $25,4\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Imisní limit tedy překročen nebyl. Průměrná roční koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ činila v roce 2019 v lokalitě Otrokovice – město $20,6\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Imisní limit tedy překročen nebyl, avšak byla mírně překročena hodnota zpřísněného imisního limitu platného po roce 2020 ($20\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Průměrná roční koncentrace PM_1 činila v roce 2019 v lokalitě Otrokovice – město $18,9\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Následující Obr. 13 zobrazuje vývoj průměrných ročních koncentrací PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ a PM_1 v lokalitě Otrokovice – město. Z grafu je patrné, že proti roku 2018 došlo ve všech sledovaných frakcích prašnosti k poklesu průměrných ročních koncentrací. Nejvyšší koncentrace PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$ byly měřeny v roce 2015.

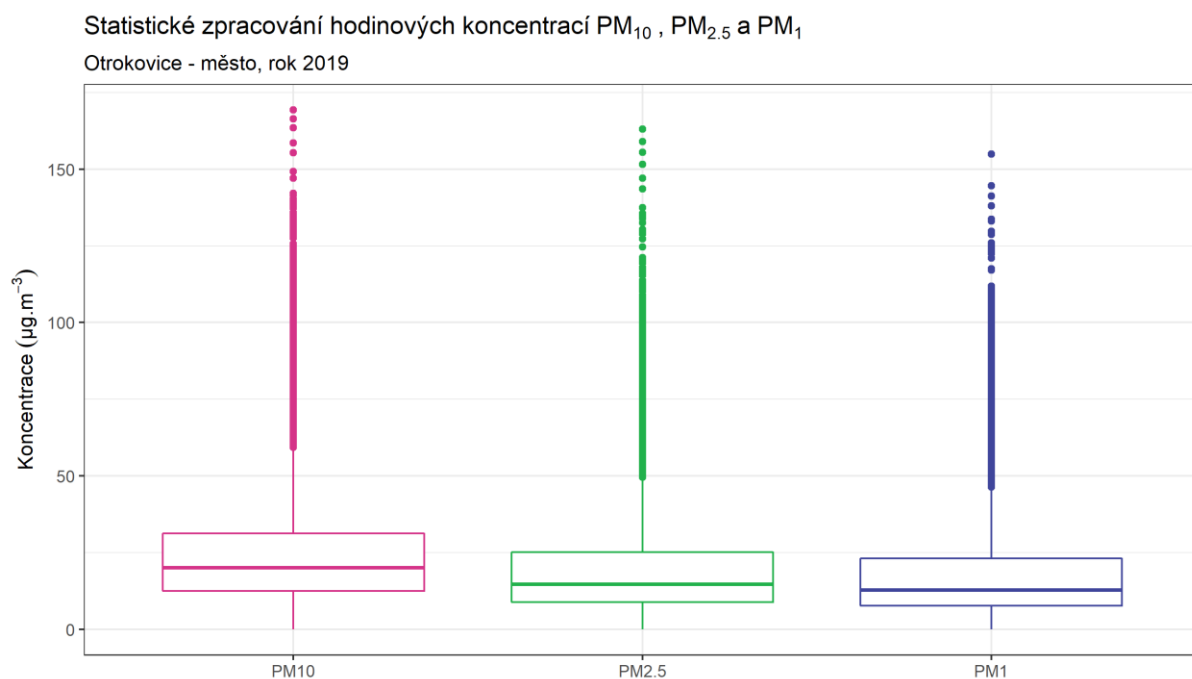


Obr. 13 -Vývoj průměrných ročních koncentrací PM, lokalita Otrokovice – město

Následující Tab. 2 pak zobrazuje statistické zpracování naměřených hodinových dat pro jednotlivé frakce PM. Grafické znázornění hodinových koncentrací pomocí krabicových grafů za rok 2019 pak zobrazuje Obr. 14.

Tab. 2 – Statistické charakteristiky hodinových koncentrací PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 v lokalitě Otrokovice – město, rok 2019

STATISTIKA	PM10	PM25	PM01
PRŮMĚR	25,4	20,6	18,9
MAXIMUM	169,3	163,1	154,9
MEDIÁN	20,1	14,7	12,8
MINIMUM	0	0	0



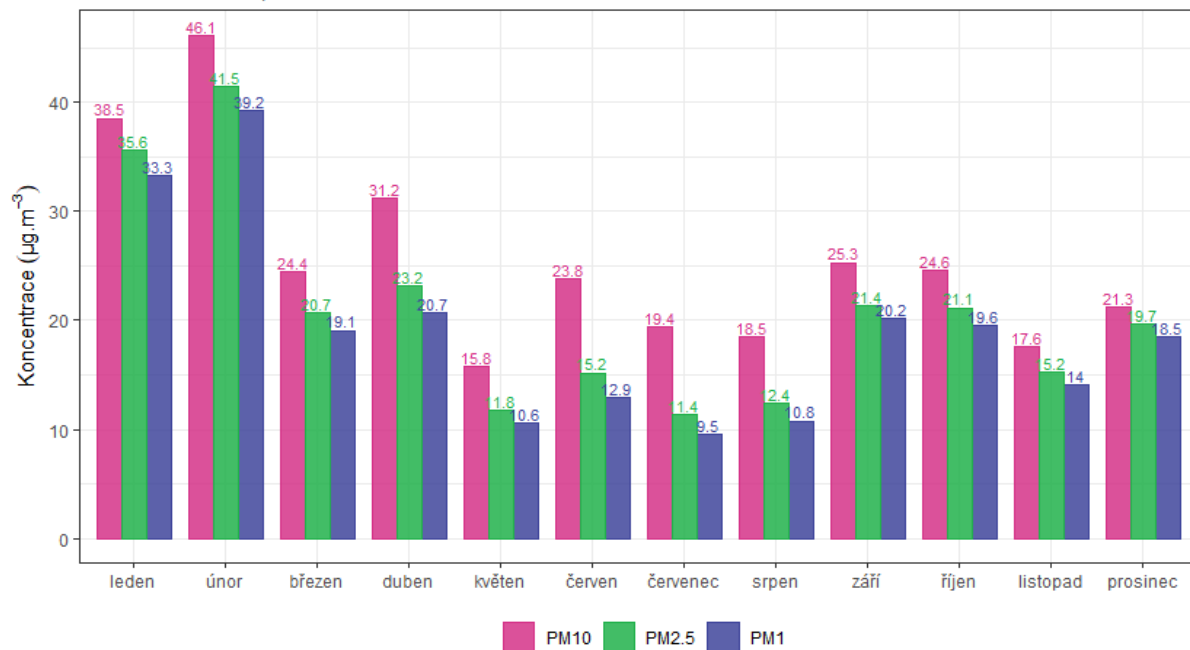
Obr. 14 – Statistické zpracování hodinových koncentrací PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 v lokalitě Otrokovice – město, rok 2019

3.1.2 Průměrné měsíční koncentrace

Na Obr. 15 jsou průměrné měsíční koncentrace PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 . Z obrázku je patrné, že v letních měsících jsou koncentrace nejnižší, naopak v chladné části roku jsou měřeny vyšší koncentrace. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace PM_{10} byla naměřena v únoru a lednu, tedy v měsících, kdy bylo nejchladněji a bylo potřeba intenzivněji topit. Rovněž je patrné, že v dubnu vzrostl podíl hrubší frakce PM_{10} , což může být důsledek, sucha a víření prachnosti včetně větrné eroze.

Vývoj průměrných měsíčních koncentrací PM₁₀, PM_{2.5} a PM₁

Otrokovice - město, rok 2019

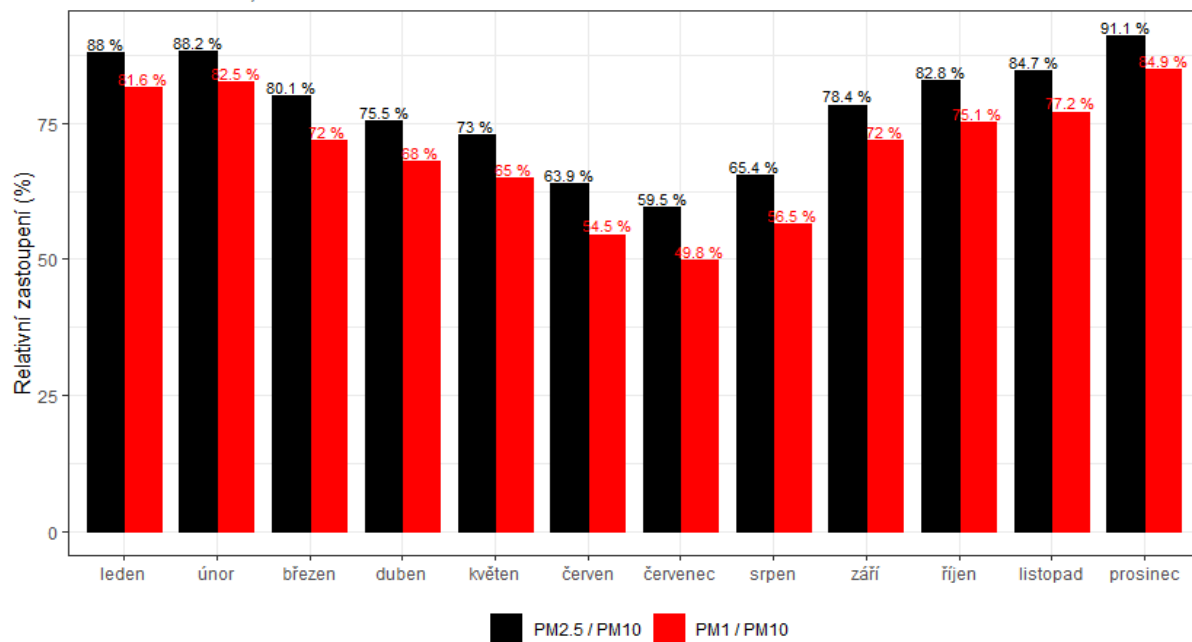


Obr. 15 - Průměrné měsíční koncentrace PM₁₀, PM_{2.5} a PM₁, Otrokovice – město, rok 2019

Průměrné měsíční zastoupení jemnějších frakcí v PM₁₀ zobrazuje Obr. 16. Z něj je patrné, že v chladné části roku je jemnější a nebezpečnější frakce zastoupena podstatně více (až 90 %), než v létě.

Průměrné měsíční relativní zastoupení PM_{2.5} v PM₁₀ a PM₁ v PM₁₀

Otrokovice - město, rok 2019



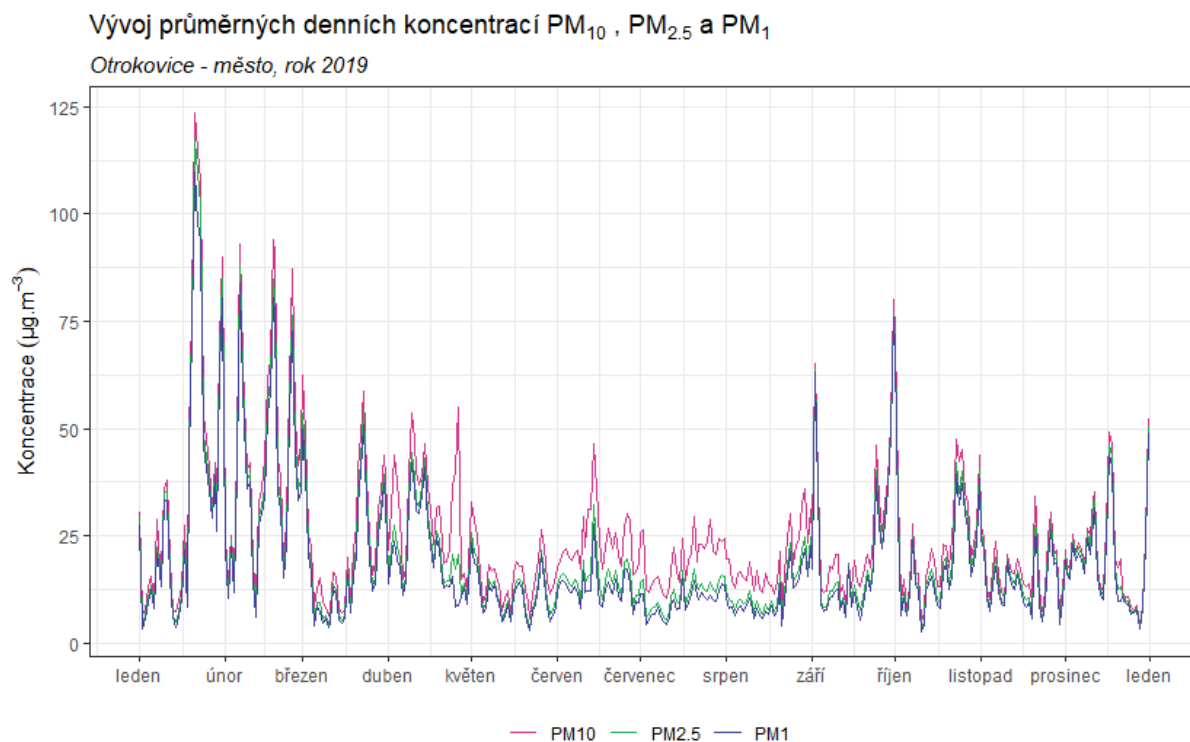
Obr. 16 – Průměrné měsíční zastoupení PM_{2.5} v PM₁₀ a PM₁ v PM₁₀, lokalita Otrokovice – město, rok 2019

3.1.3 Průměrné denní koncentrace PM

Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁ v lokalitě Otrokovice – město zobrazuje následující Obr. 17. Z grafu je patrné, že koncentrace jemnějších frakcí PM_{2,5} a PM₁ do značné míry kopírují hrubší frakci PM₁₀ a z velmi velké části tak PM₁₀ tvoří.

Průměrné denní koncentrace vyšší, než je hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ (50 µg·m⁻³) se vyskytují pouze v chladné části. V měsících květen–srpen, kdy nejsou v provozu lokální topeniště a jsou příznivější rozptylové podmínky, jsou koncentrace všech frakcí PM nízké a k překračování hodnoty limitu nedochází. Počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu v jednotlivých měsících zobrazuje následující Obr. 18. Nejvíce překročení bylo naměřeno v únoru a lednu, kdy byly rovněž měřeny velmi nízké teploty a muselo se tedy intenzivněji topit (Obr. 5). Za rok 2019 došlo souhrnně k 26 překročením hodnoty imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀, imisní limit tedy překročen nebyl (zákon umožňuje za kalendářní rok 35 překročení této hodnoty).

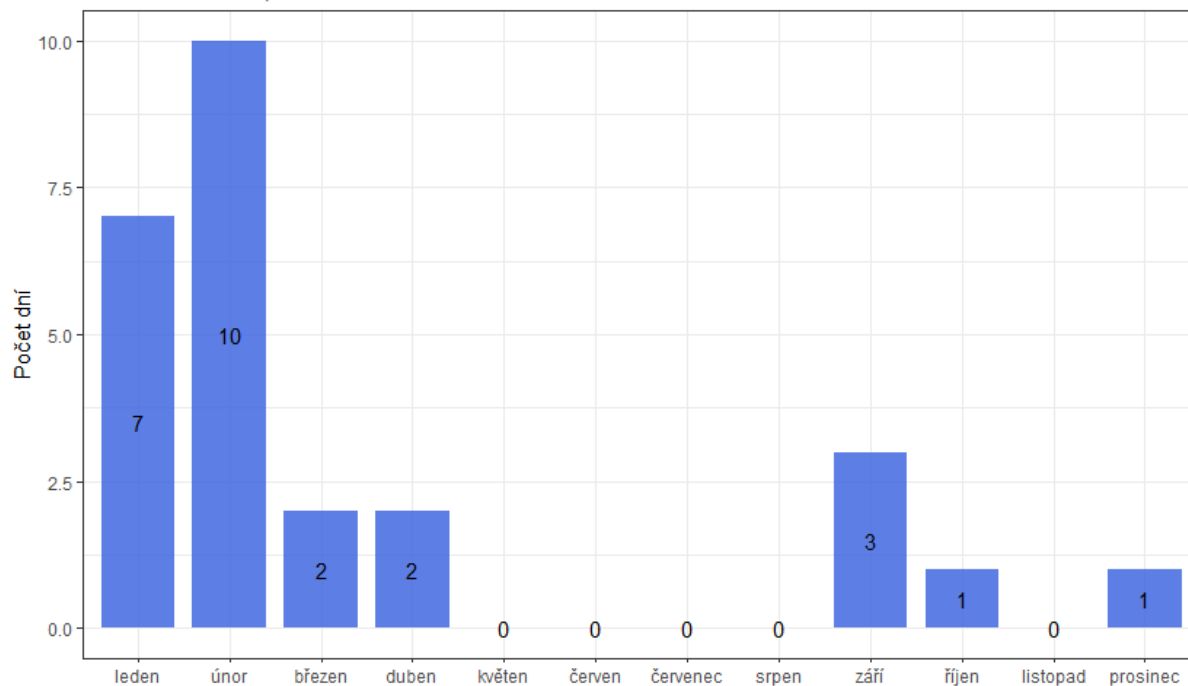
Vývoj charakteristik, vztahujících se k dennímu imisnímu limitu pro PM₁₀ (36. nejvyšší koncentrace PM₁₀ za kalendářní rok a počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu) zobrazuje Obr. 19. Z grafu je patrné, že v roce 2019 došlo k poklesu obou sledovaných charakteristik proti roku 2018. V roce 2018 bylo identifikováno nejvíce dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro denní koncentrace PM₁₀, nejvyšší 36. nejvyšší denní koncentrace PM₁₀ za kalendářní rok byla naměřena v letech 2015 a 2016.



Obr. 17 – Vývoj průměrných hodinových koncentrací PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁, Otrokovice – město, rok 2019

Počet dní s překročením denního imisního limitu PM₁₀ v jednotlivých měsících

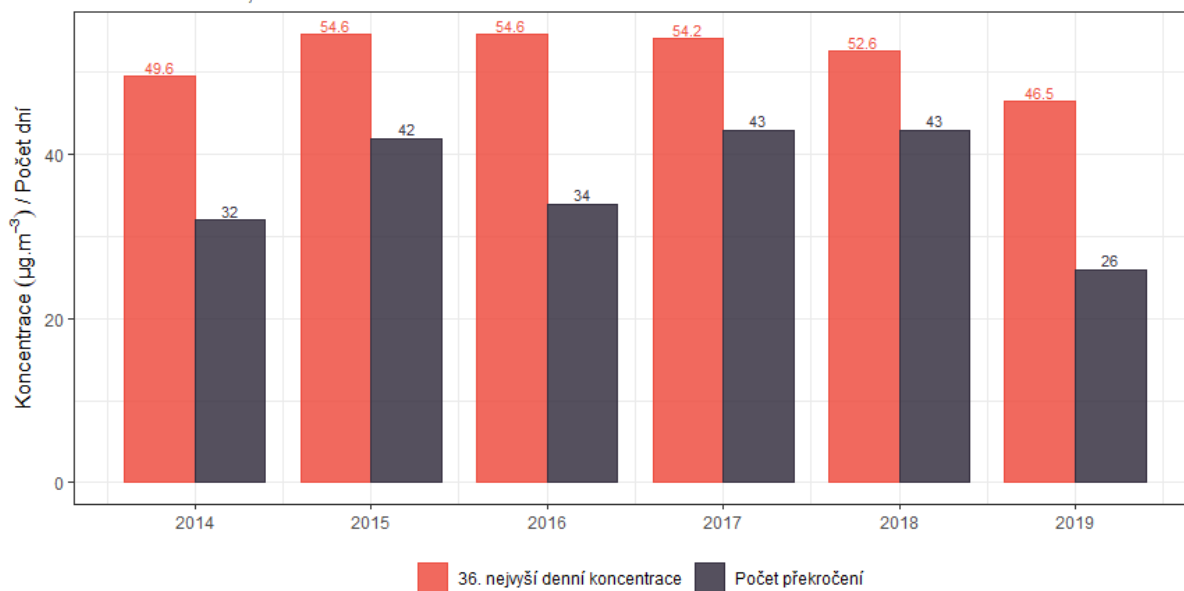
Otrokovice - město, rok 2019



Obr. 18 – Počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ v jednotlivých měsících, Otrokovice – město

Vývoj 36. nejvyšší denní koncentrace PM₁₀ a překročení hodnoty imisního limitu

Otrokovice - město, rok 2019

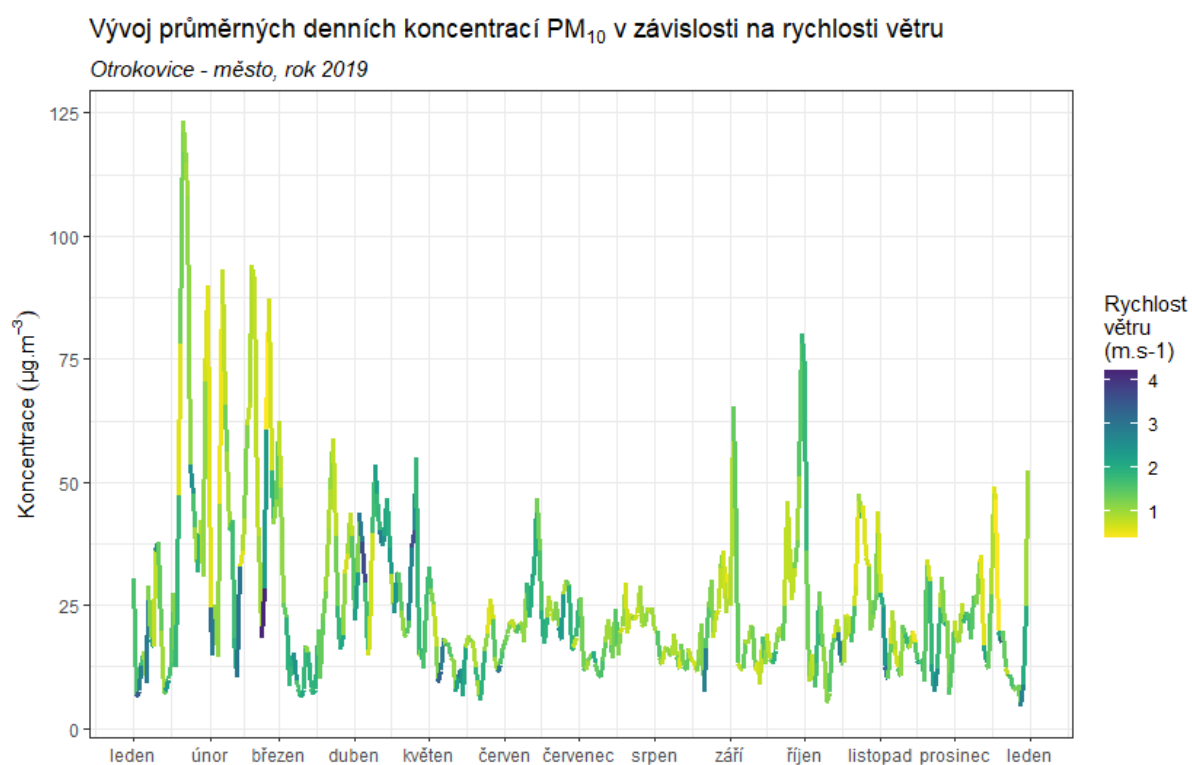
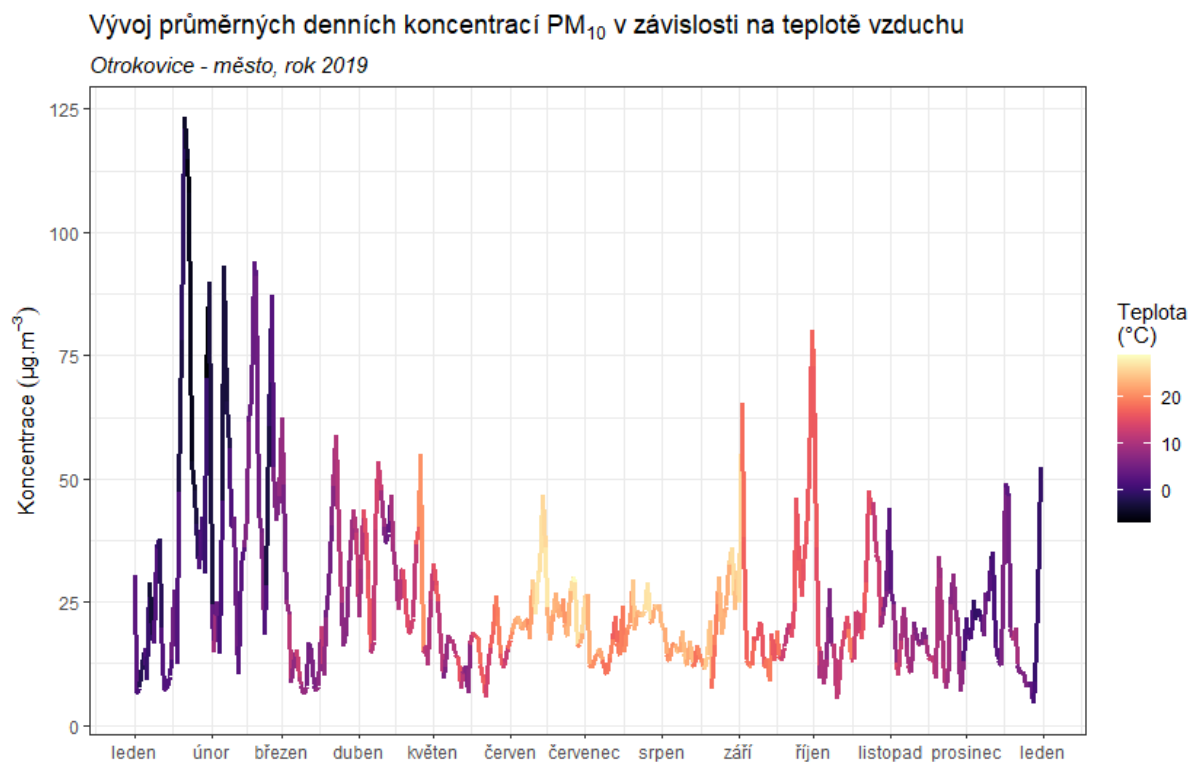


Obr. 19 – Vývoj 36. nejvyšší denní koncentrace PM₁₀ a počtu dní s překročením hodnoty imisního limitu pro denní koncentraci PM₁₀, lokalita Otrokovice – město

Vzhledem k tomu, že jsou trend a z velké části i hodnoty PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 téměř totožné (Obr. 17), bude vliv meteorologických podmínek zobrazen pouze pro PM_{10} , avšak totéž platí i pro jemnější frakce.

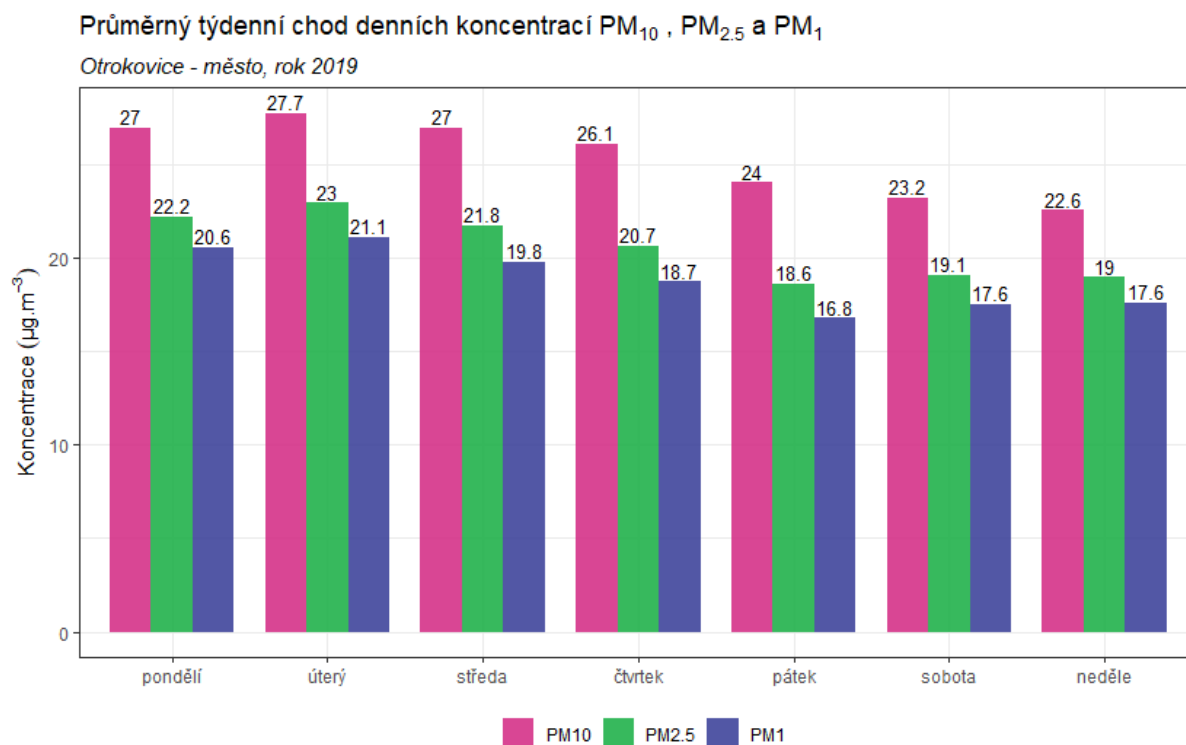
Na Obr. 20 jsou nad sebou zobrazeny dva grafy. Křivka vždy zobrazuje vývoj koncentrací PM_{10} , zabarvení křivky na horním grafu vždy zobrazuje aktuální teplotu vzduchu, ve spodním grafu pak rychlost proudění větru.

Z grafů je pak patrné, že vyšší koncentrace PM_{10} jsou měřeny při nízkých teplotách a nízkých rychlostech větru. To jsou podmínky charakteristické pro teplotní inverzi. Nízké teploty se dále promítnou do potřeby více topit, takže se i zvyšují emise z lokálních topenišť – v chladné části roku nejvýznamnější zdroj prašnosti. Nízké rychlosti větru pak zabraňují dostatečnému rozptýlu škodlivin a koncentrace se tak neustále zvyšují.



Obr. 20 – Vliv teploty (nahore) a rychlosti větru (dole) na koncentrace PM_{10} , Otrokovice – město, rok 2019

Z hlediska týdenního chodu průměrných denních koncentrací PM_{10} , $PM_{2.5}$ a PM_1 (Obr. 21) je nejhorším dnem úterý. Naopak nejnižší koncentrace jsou měřeny v neděli.



Obr. 21 – Průměrný týdenní chod denních koncentrací PM_{10} , Otrokovice – město, rok 2019

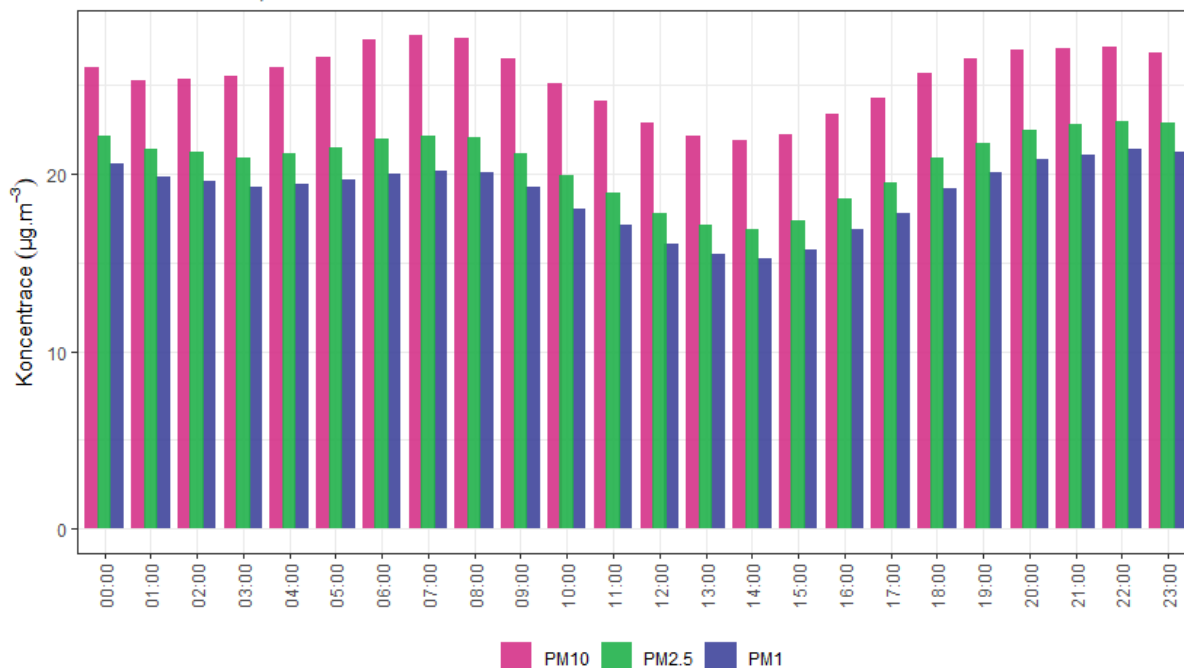
3.1.4 Analýza hodinových koncentrací – denní chod a koncentrační růžice

Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod koncentrací PM_{10} (a v podstatě také $PM_{2.5}$ a PM_1) v lokalitě Otrokovice – město. Denní chod koncentrací PM_{10} zobrazuje Obr. 22.

Z grafů je patrné, že nejvyšší hodnoty koncentrací PM_{10} jsou dosahovány během ranní dopravní špičky kolem 7. hodiny ráno a dále pak ve večerních a nočních hodinách. Večerní vysoké hodnoty jsou pravděpodobně důsledkem návratu lidí z práce a zatopení v lokálních topeništích, které plošně navýší hodnoty koncentrací prašnosti v celém území. Svůj vliv mají také rozptylové podmínky, které bývají v noci horší. Nárůst začíná kolem 16. hodiny a zůstává zvýšený zhruba do 22. hodiny. Poté dochází k postupnému poklesu koncentrací. Minimální hodnoty jsou pak měřeny během odpoledne.

Průměrný denní chod hodinových koncentrací PM₁₀, PM_{2.5} a PM₁

Otrokovice - město, rok 2019

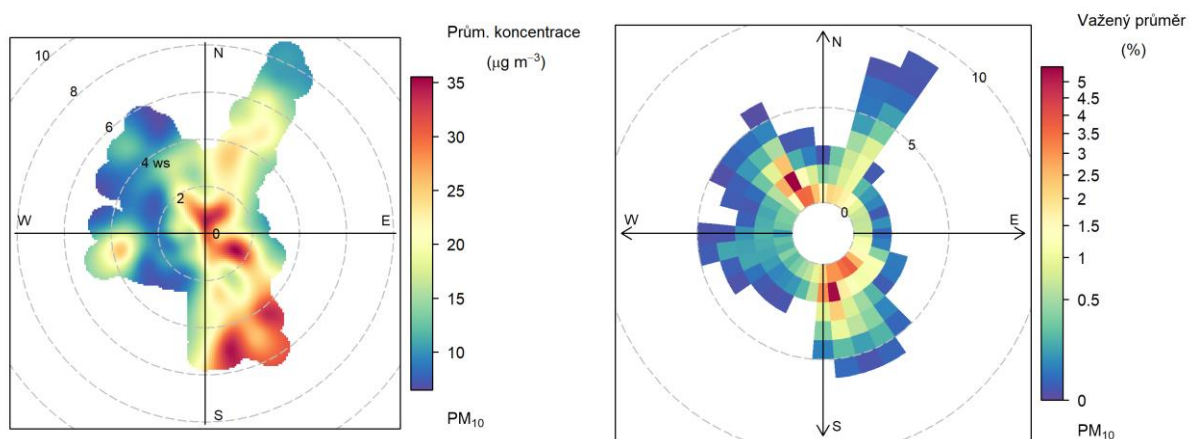


Obr. 22 – Denní chod hodinových koncentrací PM₁₀, PM_{2.5} a PM₁, Otrokovice – město, rok 2019

Koncentrační růžice jsou nástroj pro analýzu znečištění ovzduší na základě meteorologických charakteristik. Pro jejich konstrukci jsou použita hodinová data meteorologických prvků a koncentrací škodlivin. Vychází se z větrné růžice, do polárních souřadnic se ukládá jednak směr větru jako u klasické větrné růžice, a dále pak rychlost větru – ve středu růžice je bezvětří, s rostoucí vzdáleností od středu roste rychlost větru. Pro jednotlivé rychlosti a směry větru je pak v koncentrační růžici zprůměrována koncentrace dané škodliviny, naměřená vždy při daných rychlostech a směrech větru.

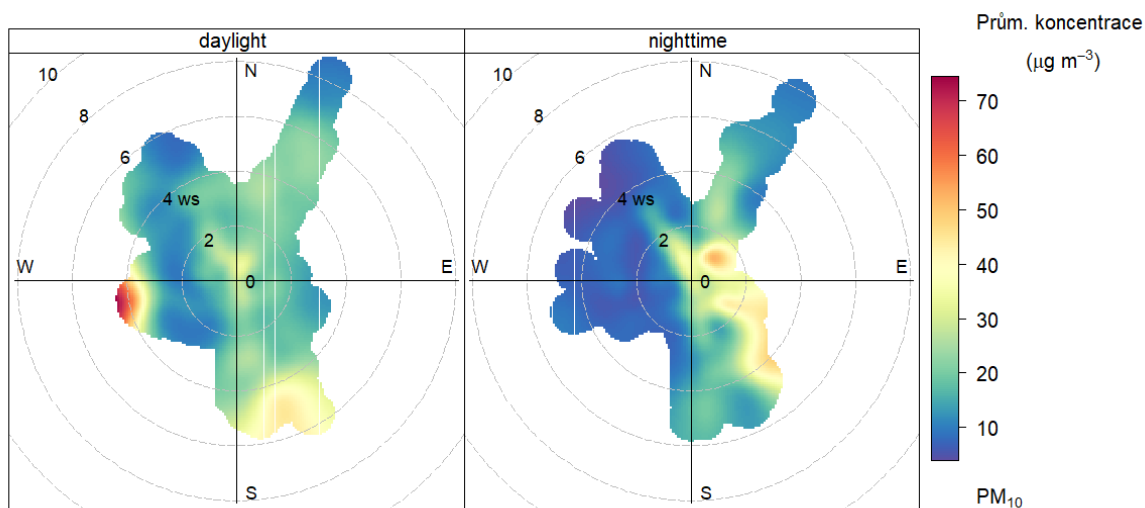
Základní koncentrační růžice tak ukazuje, při jakých rychlostech a směrech větru jsou v průměru dosahovány (nejvyšší) koncentrace. Vážená koncentrační růžice pak vypočte vážený průměr (tzn. že je vzata v úvahu také četnost výskytu), a dává tak informaci, jakým procentem se jednotlivé směry větru podílí na měřených koncentracích dané škodliviny.

Následující Obr. 23 zobrazuje tyto dva typy koncentračních růžic pro lokalitu Otrokovice – město.



Obr. 23 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro PM₁₀, Otrokovice – město, rok 2019

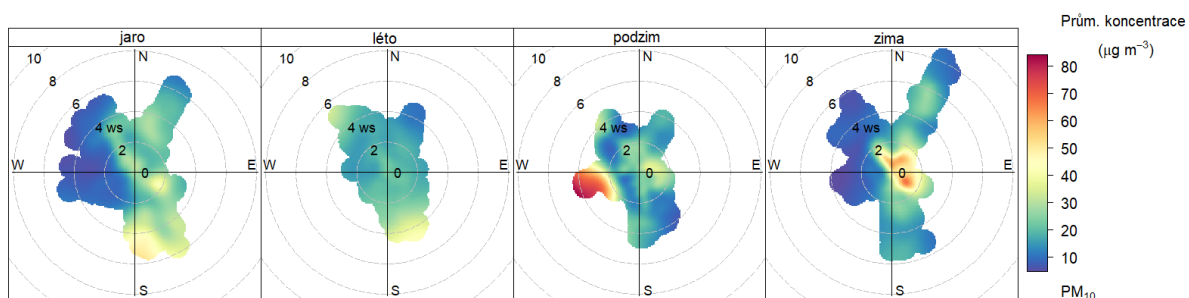
Z Obr. 23 vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při severním až východním proudění a nízkých rychlostech větru a dále pak při jihovýchodním proudění a rychlostech větru vyšších než 4 m·s⁻¹. Co se týče relativního příspěvku k měřeným koncentracím, převládají severozápadní, jižní a jihovýchodní směry větru (z těchto směrů fouká nejčastěji) a spíše nízké rychlosti větru. Na následujícím Obr. 24 je koncentrační růžice rozdělená na den a noc. Vysoké koncentrace PM₁₀ ze západu byly měřeny pouze přes den. Dále je patrné, že vysoké koncentrace z jihovýchodu při vyšších rychlostech větru byly měřeny v denních hodinách, naopak vyšší koncentrace ze severovýchodu až východu při nižších rychlostech větru byly měřeny v nočních hodinách.



Obr. 24 – Koncentrační růžice ve dne (daytime) a v noci (nighttime), Otrokovice – město, rok 2019

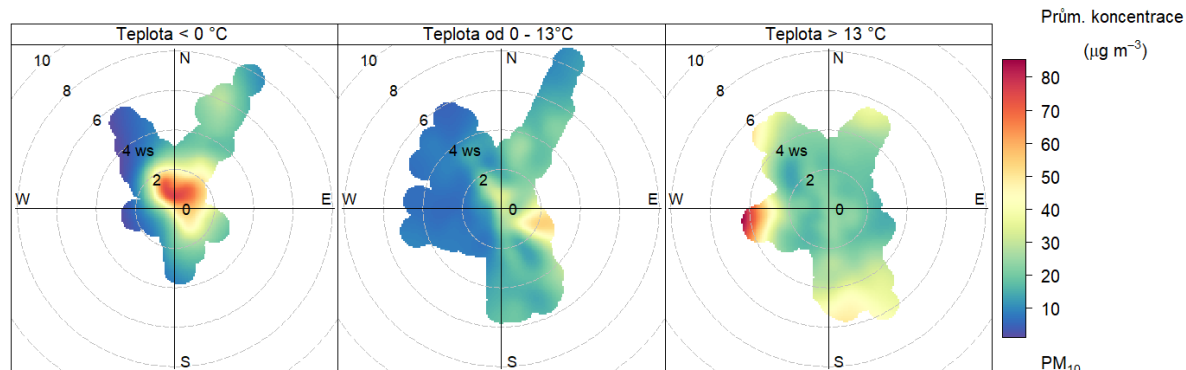
Následující Obr. 25 zobrazuje koncentrační růžice v jednotlivých ročních obdobích. Vysoké koncentrace ze západu byly měřeny pouze na podzim. Mohlo se jednat buď o dočasné lokální ovlivnění, nebo se mohlo jednat o vliv větrné eroze při vyšších rychlostech větru. Vyšší koncentrace při nižších rychlostech

větru pak byly měřeny zejména v zimě, což mohl být důsledek teplotní inverze, zhoršených rozptylových podmínek a vlivu lokálních topenišť.



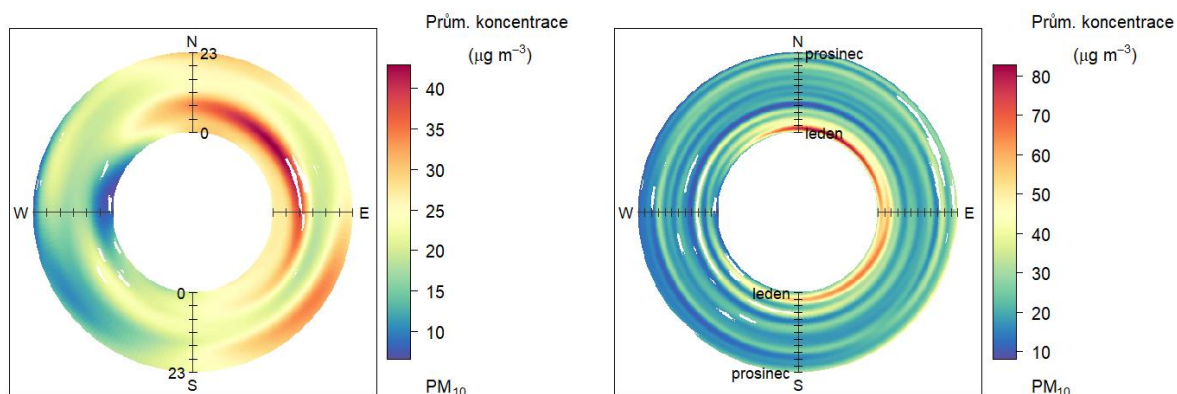
Obr. 25 – Koncentrační růžice jednotlivých ročních období, Otrokovice – město, rok 2019

Dále lze rozdělit koncentrační růžice na základě teplot vzduchu. Z Obr. 26 je pak patrné, že nejvyšší koncentrace jsou měřeny při teplotách vzduchu nižších než 0 °C a nízkých rychlostech větru při proudění severu a severovýchodu. Při vyšších teplotách jsou již pouze mírně zvýšené, při teplotách nad 13 °C jsou zaznamenány vysoké koncentrace při vyšších rychlostech větru ze západu. To nahrává teorii o větrné erozi – při vyšších teplotách může docházet k vysychání půdy a jejímu vznosu při vyšších rychlostech větru.



Obr. 26 – Koncentrační růžice členěná dle teplot, Otrokovice – město, rok 2019

Cenné informace poskytuje rovněž průměrný denní a roční chod, členěný dle směru větru. V případě denního chodu je uprostřed první hodina po půlnoci a na okraji pak 23. hodina. V případě ročního chodu je pak uprostřed 1. 1. a na okraji 31. 12. Směry větru jsou totožné jako v případě růžic.



Obr. 27 – Průměrný denní chod (vlevo) a roční chod (vpravo) koncentrací dle směru větru, Otrokovice – město, rok 2019

Z Obr. 27 pak vyplývá, že v případě lokality Otrokovice – město v roce 2019 byly nejvyšší koncentrace PM_{10} měřeny ve velmi brzkých ranních hodinách a v době dopravní špičky při proudění ze severovýchodu. Na těchto koncentracích se může podílet vliv dopravy, ale také dálkového transportu z těchto směrů. Zvýšené koncentrace ve večerních a nočních hodinách jsou zaznamenány především při jihovýchodním proudění. Při proudění ze západu bývají koncentrace pouze nízké. V případě ročního chodu jsou významné zejména zimní měsíce, v roce 2019 pak dominoval zejména začátek roku a severovýchodní proudění.

3.1.5 Srovnání s lokalitami státní sítě imisního monitoringu

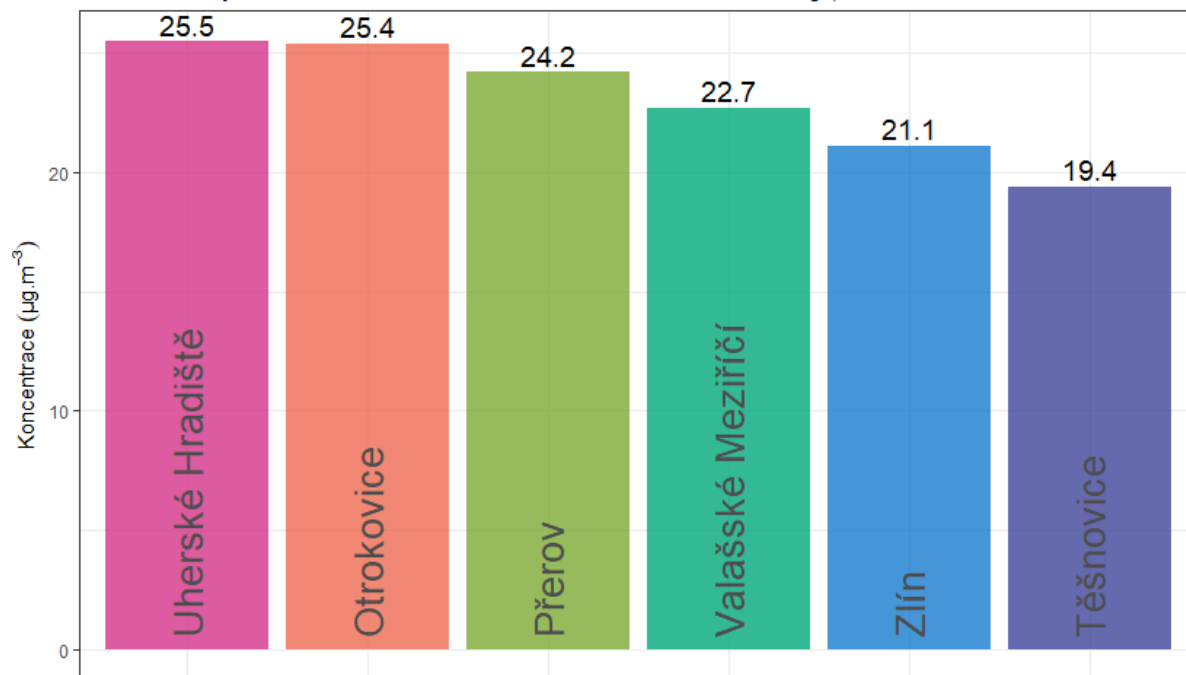
V této podkapitole budou koncentrace, naměřené v lokalitě Otrokovice – město, srovnány s hodnotami naměřenými ve státní síti imisního monitoringu Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ).

Na následujícím Obr. 28 jsou zobrazeny průměrné roční koncentrace částic PM_{10} na blízkých lokalitách v roce 2019 a srovnány s lokalitou Otrokovice – město. Z grafu vyplývá, že v lokalitě Otrokovice – město jsou měřeny spíše vyšší koncentrace PM_{10} , typické pro dopravní lokality. Nejnížší hodnotu naměřila venkovská pozadová lokalita Těšnovice. Nejvyšší koncentrace PM_{10} byly naměřeny v dopravní lokalitě Uherské Hradiště, a právě lokalita Otrokovice – město. Žádná z uvedených lokalit nepřekročila imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM_{10} .

Na následujícím grafu na Obr. 29 jsou obdobně zobrazeny hodnoty průměrných ročních koncentrací $PM_{2,5}$ na vybraných lokalitách. Z grafu je patrné, že lokalita Otrokovice – město dosahuje nejvyšších hodnot (v lokalitě Uherské Hradiště měření $PM_{2,5}$ neprobíhá). Žádná z lokalit nepřekročila imisní limit pro průměrnou roční koncentraci $PM_{2,5}$. Od roku 2020 bude platit zpřísněný imisní limit ($20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Lokalita Otrokovice – město tuto hodnotu v roce 2019 mírně překročila.

Průměrné roční koncentrace PM₁₀

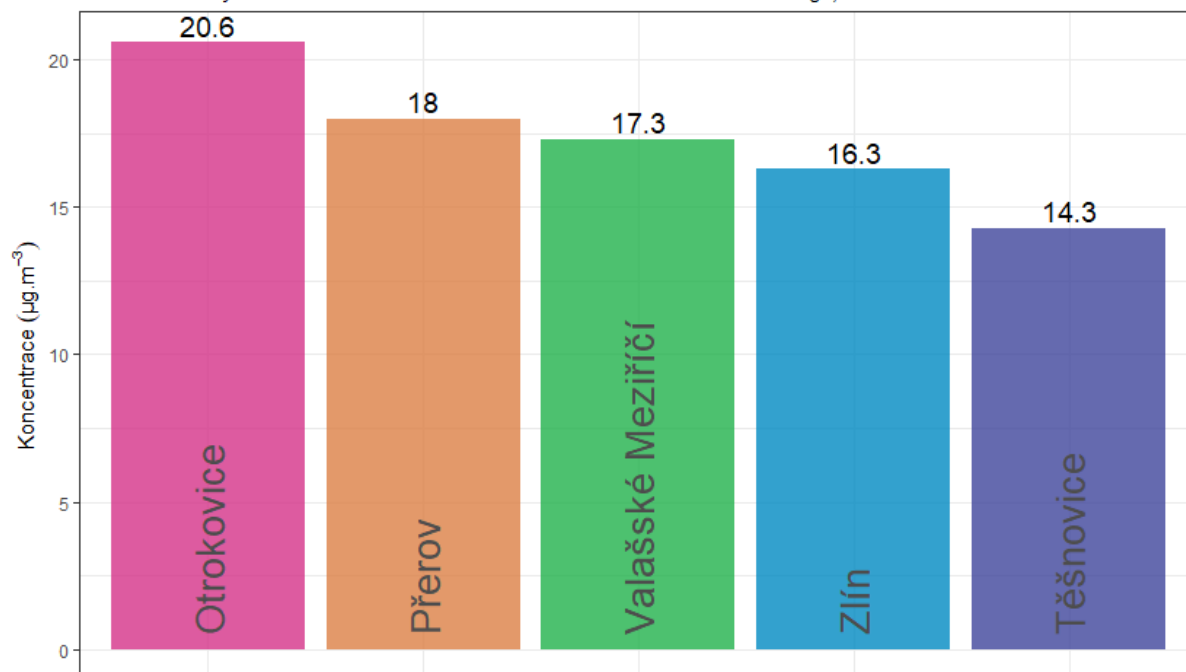
Srovnání lokality Otrokovice - město s lokalitami státní sítě imisního monitoringu, rok 2019



Obr. 28 – Srovnání průměrné roční koncentrace PM₁₀ lokality Otrokovice – město s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2019

Průměrné roční koncentrace PM_{2,5}

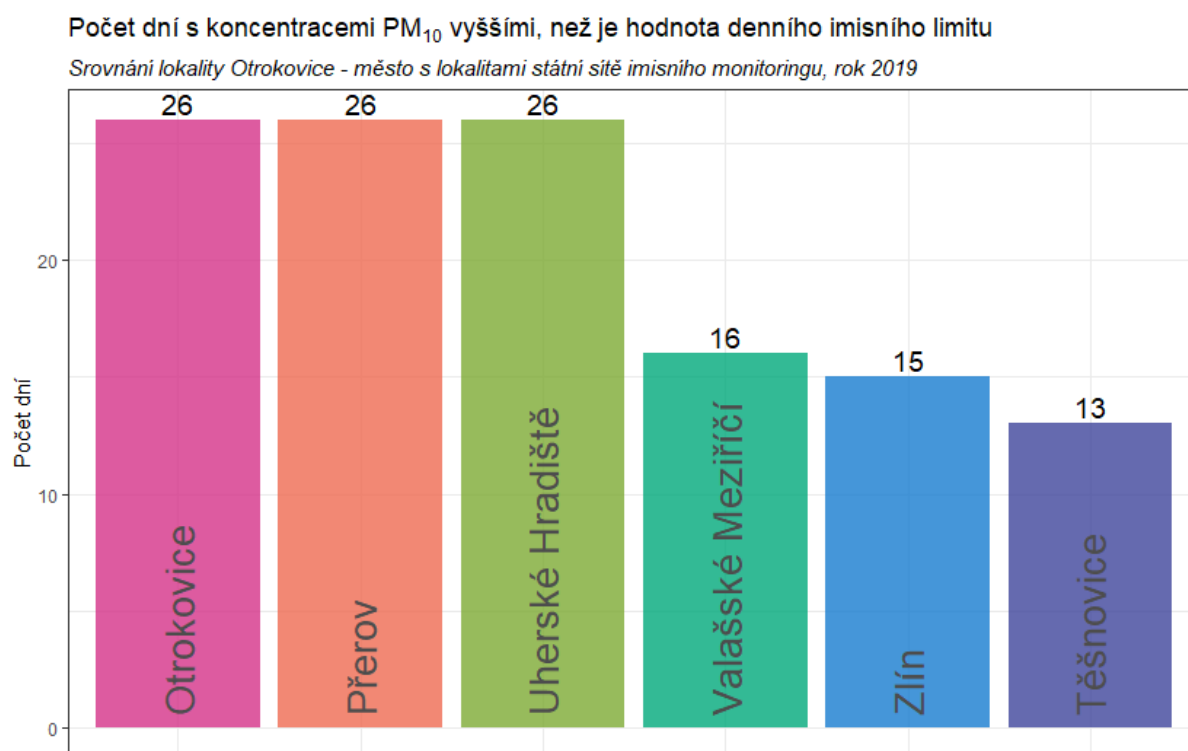
Srovnání lokality Otrokovice - město s lokalitami státní sítě imisního monitoringu, rok 2019



Obr. 29 – Srovnání průměrné roční koncentrace PM_{2,5} lokality Otrokovice – město s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2019

Graf na následujícím Obr. 30 zobrazuje poslední legislativou sledovanou charakteristiku pro suspendované částice PM_{10} . Jedná se o imisní limit pro průměrnou denní koncentraci PM_{10} , jehož hodnota může být z kalendářní rok 35x překročena. V grafu je zobrazen právě počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM_{10} . V případě překročení limitu je číslo v popisku zobrazeno červeně.

Z grafu je patrné, že k překročení imisního limitu na žádné z vybraných lokalit nedošlo. Lokalita Otrokovice – město plnila imisní limit v roce 2019, došlo k 26 překročením, stejně jako v lokalitách Přerov a Uherské Hradiště. Nejméně překročení zaznamenala opět venkovská pozadová lokalita Těšnovice.

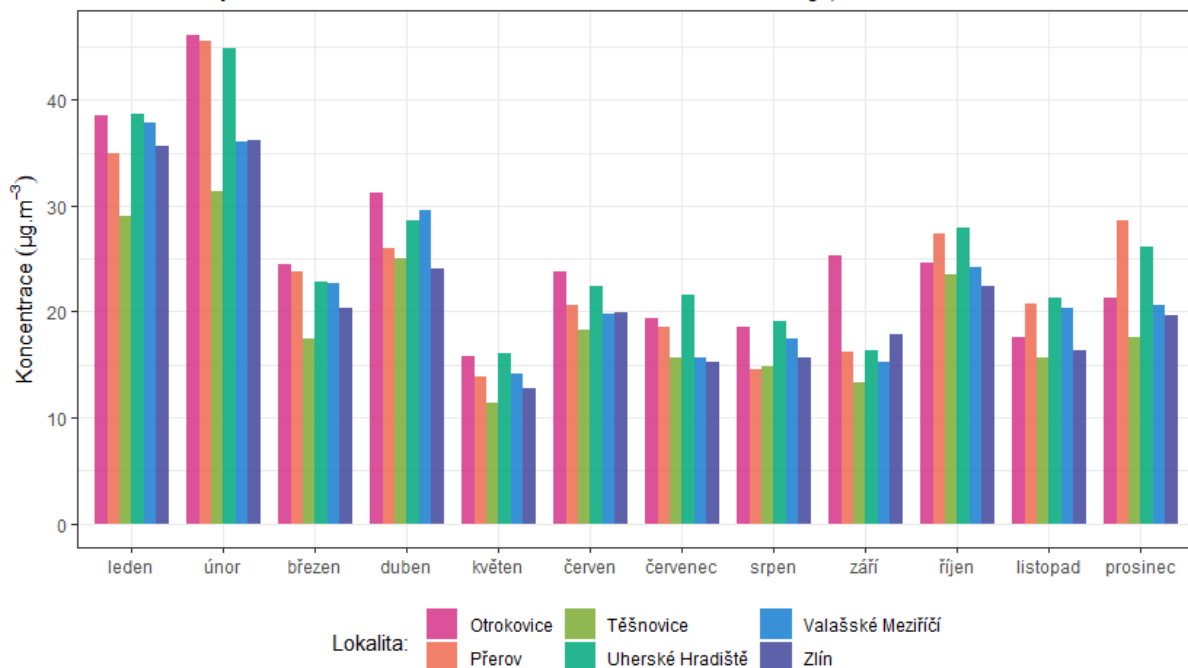


Obr. 30 – Počet dní s průměrnými denními koncentracemi PM_{10} vyššími, než je hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM_{10} , vybrané lokality Olomouckého kraje, rok 2019

Následující grafy zobrazují průměrné měsíční koncentrace PM_{10} a $PM_{2,5}$ naměřené ve vybraných lokalitách. Z obou grafů je patrné, že vývoj koncentrací v jednotlivých měsících byl na všech lokalitách podobný. Rovněž je patrné, že obdobně jako v lokalitě Otrokovice – město byly i v ostatních lokalitách měsíce s nejvyššími koncentracemi stejné – zejména leden a únor. Je tedy zřejmé, že vliv na zvýšené koncentrace neměly lokální zdroje, ale ovlivnění bylo regionální, resp. nadregionální.

Průměrné měsíční koncentrace PM₁₀

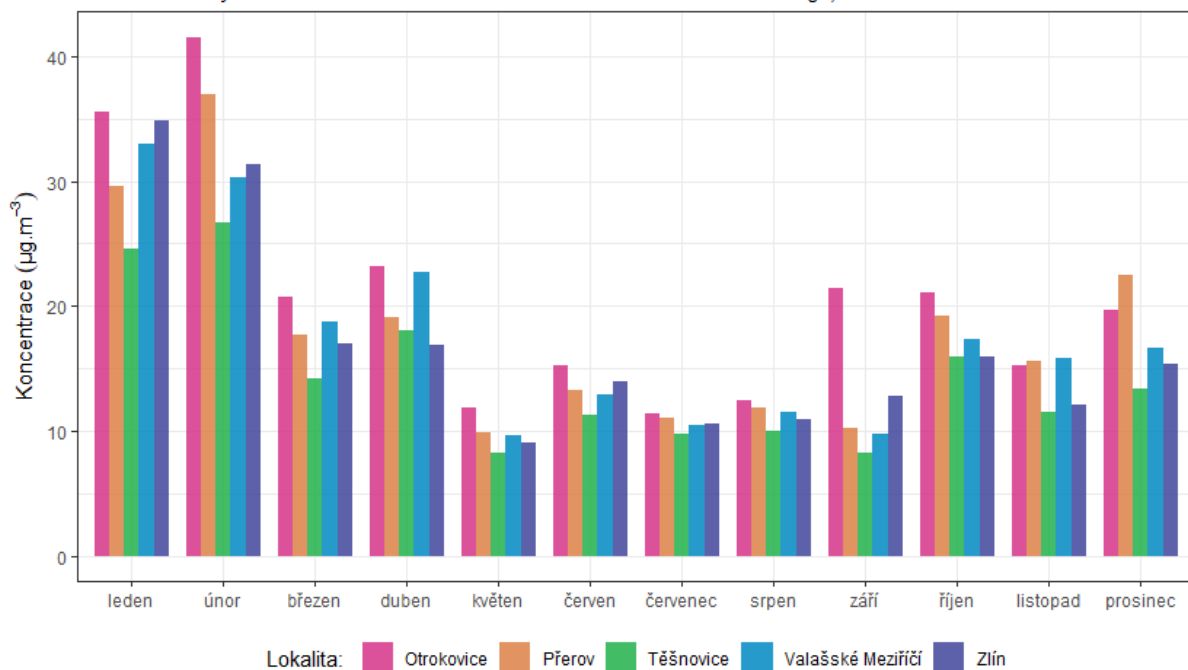
Srovnání lokality Otrokovice - město s lokalitami státní sítě imisního monitoringu, rok 2019



Obr. 31 – Srovnání průměrných měsíčních koncentrací PM₁₀ lokality Otrokovice – město s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2019

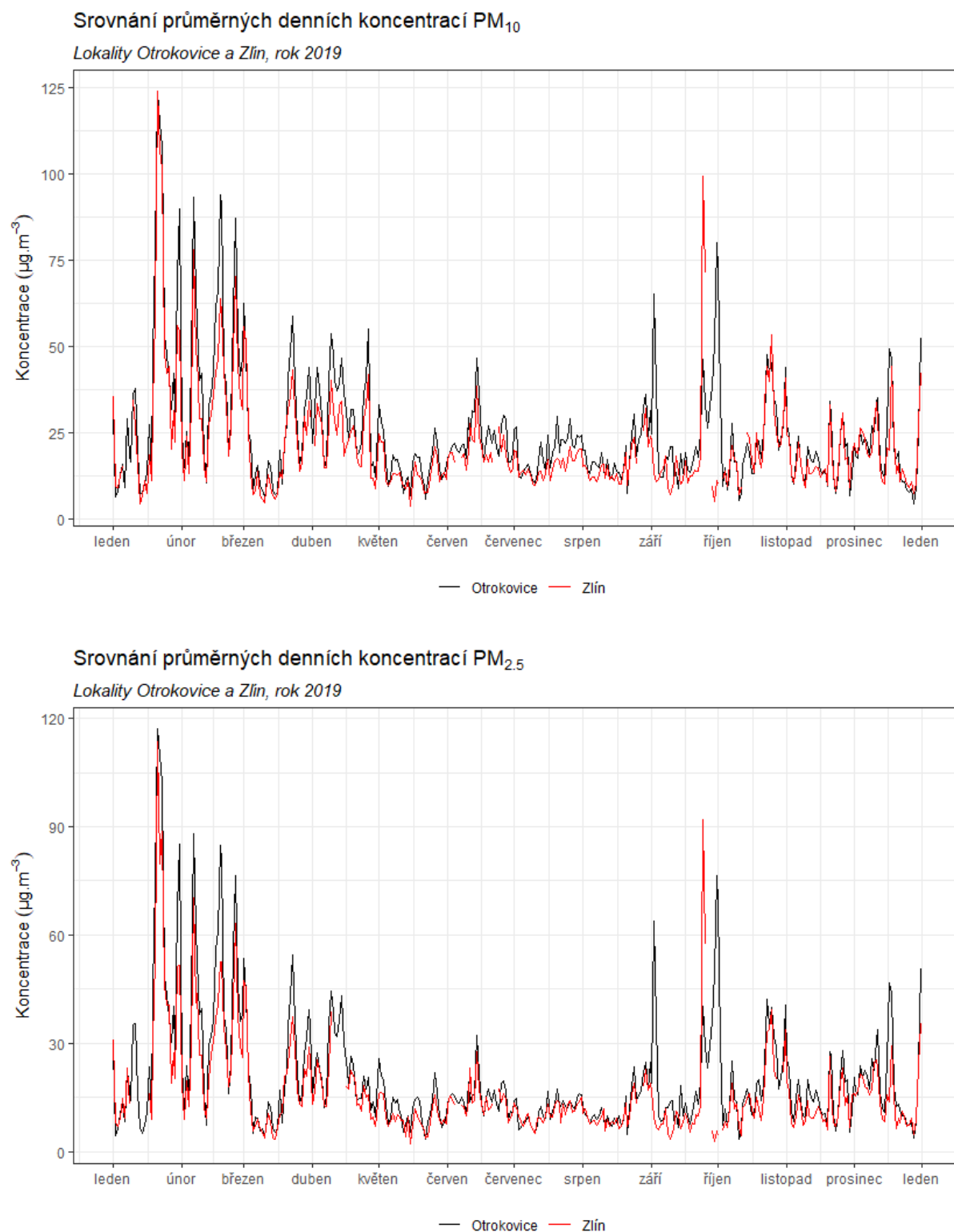
Průměrné měsíční koncentrace PM_{2,5}

Srovnání lokality Otrokovice - město s lokalitami státní sítě imisního monitoringu, rok 2019



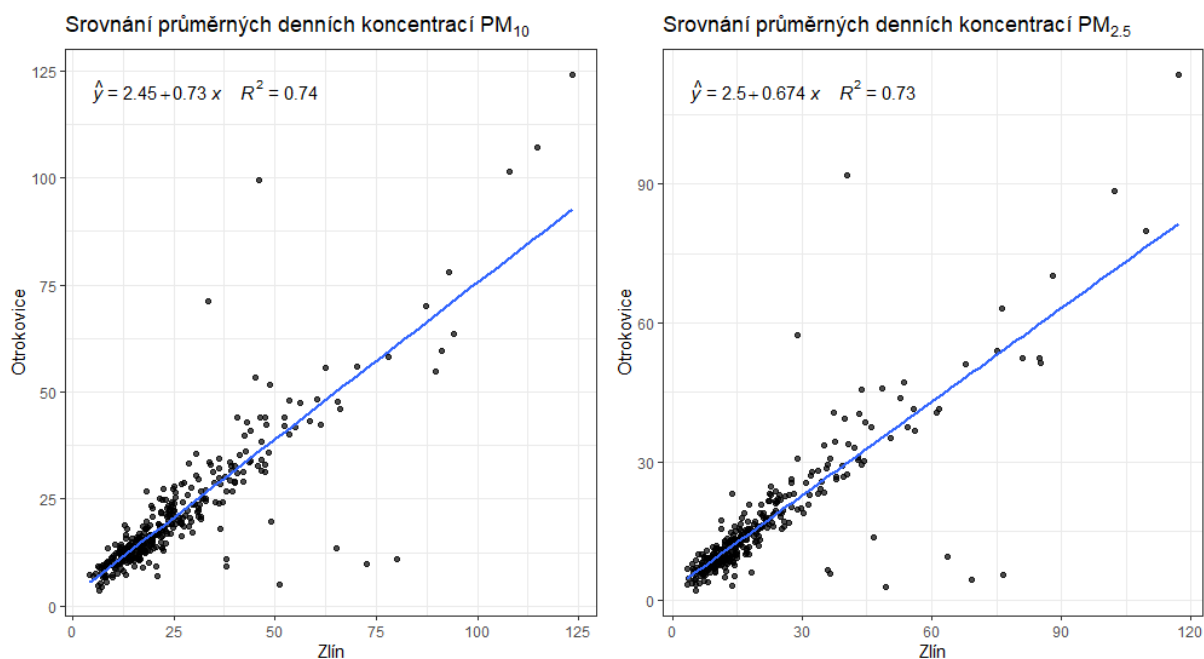
Obr. 32 – Srovnání průměrných měsíčních koncentrací PM_{2,5} lokality Otrokovice – město s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2019

Následující graf na Obr. 33 srovnání průměrných denních koncentrací PM_{10} (nahore) a $PM_{2,5}$ (dole) s lokalitou státní sítě imisního monitoringu Zlín.



Obr. 33 – Srovnání průměrných denních koncentrací PM_{10} , lokality Otrokovice – město a Zlín, rok 2019

Z grafu je dobře patrné, že vývoj průměrných denních koncentrací je v obou lokalitách velmi podobný. Rozdíl patrný v grafu s počtem překročení (Obr. 30) lze najít dubnu, květnu, listopadu a prosinci, kdy je ve špičkách lokalita Otrokovice – město mírně nad hodnotou imisního limitu, zatímco koncentrace v lokalitě Zlín je mírně pod hodnotou imisního limitu. Mezi stanicemi existuje dobrá korelace jak pro PM_{10} , tak pro $PM_{2,5}$, jak ukazují grafy na Obr. 34. Vyšší koncentrace v lokalitě Otrokovice – město jsou zřejmě způsobeny rozdílnou orografií terénu.



Obr. 34 – Srovnání průměrných denních koncentrací v lokalitě Zlín a Otrokovice – město, rok 2019

3.2 OXIDY DUSÍKU NO₂, NO A NO_x

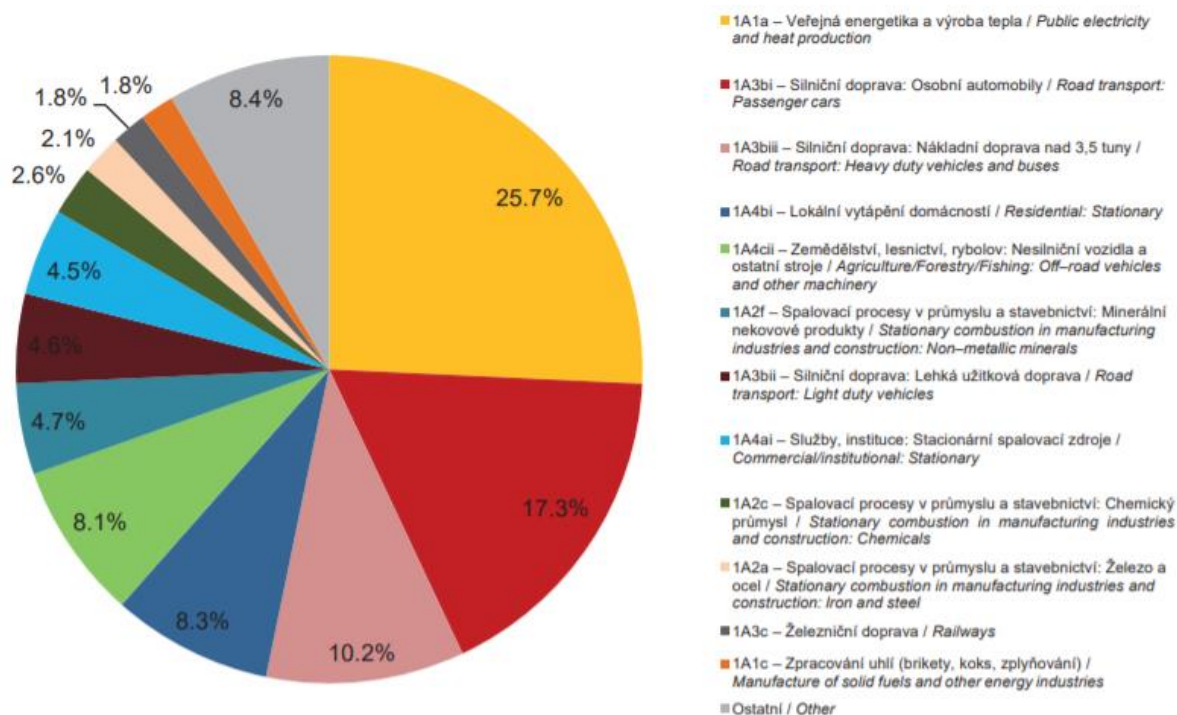
Při sledování a hodnocení kvality venkovního ovzduší se pod termínem oxidy dusíku (NO_x) rozumí směs oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO₂) [8].

Pro oxid dusičitý jsou v příloze 1 zákona o ochraně ovzduší [1] uvedeny dva imisní limity. Pro průměrnou roční koncentraci a pro hodinovou koncentraci, která může být za kalendářní rok 18 x překročena (Tab. 1).

Z hlediska imisních limitů je na území ČR důležitý pouze imisní limit pro průměrnou roční koncentraci NO₂. Imisní limit pro hodinovou koncentraci není v současnosti na žádné lokalitě v ČR překračován, a to ani na dopravně nejzatíženějších lokalitách, jako je Praha-Legerova.

Více než 90 % z celkových oxidů dusíku ve venkovním ovzduší je emitováno ve formě NO. NO₂ vzniká relativně rychle reakcí NO s přízemním ozonem nebo s radikály typu HO₂, popř. RO₂ [9]. Řadou chemických reakcí se část NO_x přemění na HNO₃/NO₃⁻, které jsou z atmosféry odstraňovány suchou a mokrou atmosférickou depozicí. Pozornost je věnována NO₂ z důvodu jeho negativního vlivu na lidské zdraví. Hraje také klíčovou roli při tvorbě fotochemických oxidantů.

V Evropě vznikají emise NO_x převážně z antropogenních spalovacích procesů, kde NO vzniká reakcí mezi dusíkem a kyslíkem ve spalovaném vzduchu a částečně i oxidací dusíku z paliva. Hlavní antropogenní zdroje představuje především silniční doprava (významný podíl má ovšem i doprava letecká a vodní) a dále spalovací procesy ve stacionárních zdrojích. Méně než 10 % celkových emisí NO_x vzniká ze spalování přímo ve formě NO₂. Přírodní emise NO_x vznikají převážně z půdy, vulkanickou činností a při vzniku blesků. Jsou poměrně významné z globálního pohledu, z pohledu Evropy však představují méně než 10 % celkových emisí [10].



Obr. 35 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích NO_x v ČR, rok 2017 [5]

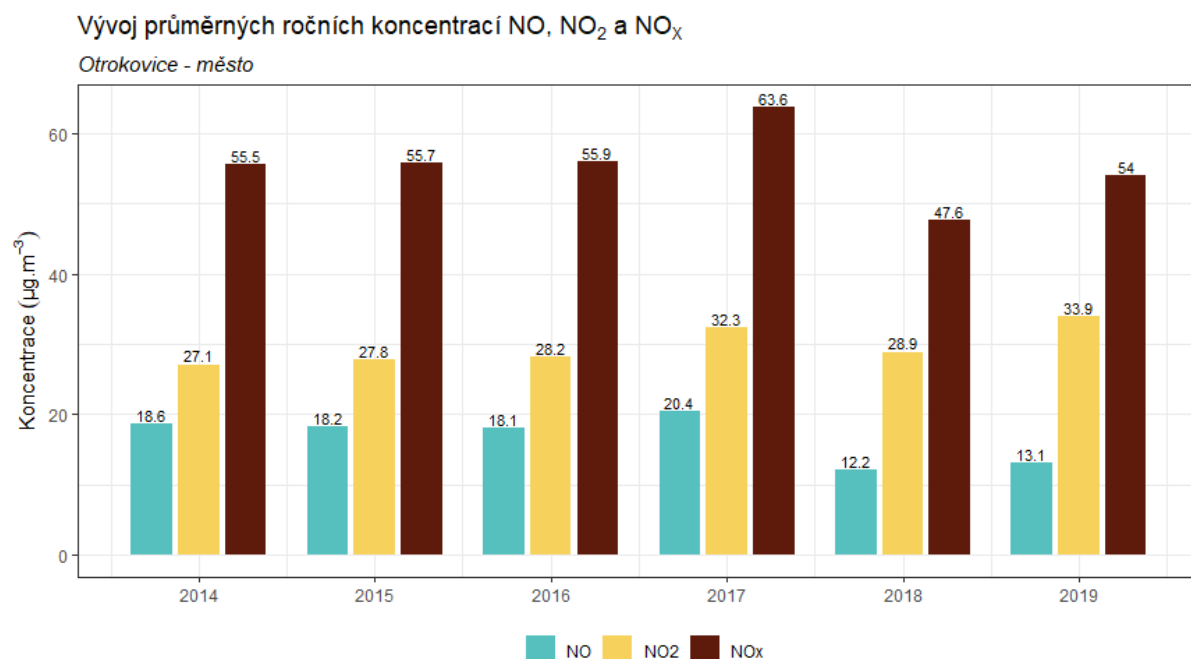
Největší množství emisí NO_x pochází z dopravy. Sektory 1A3bi – *Silniční doprava: Osobní automobily*, 1A3biii – *Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5 t*, 1A3bii – *Lehká užitková vozidla* a 1A4cii – *Zemědělství, lesnictví, rybolov: Nesilniční vozidla a ostatní stroje* se na celorepublikových emisích NO_x v roce 2017 podílely 40,1 %. Ze sektoru 1A1a – *Veřejná energetika a výroba tepla* bylo do ovzduší vneseno 25,7 % emisí NO_x [5].

3.2.1 Průměrné roční koncentrace

Průměrná roční koncentrace NO_2 činila v roce 2019 v lokalitě Otrokovice – město $33,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Imisní limit tedy překročen nebyl.

Průměrná roční koncentrace NO činila v roce 2019 v lokalitě Otrokovice – město $13,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Průměrná roční koncentrace NO_x činila v roce 2019 v lokalitě Otrokovice – město $54 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Následující Obr. 36 zobrazuje vývoj průměrných ročních koncentrací NO , NO_2 a NO_x v lokalitě Otrokovice – město. Z grafu je patrné, že hodnoty všech oxidů dusíku proti roku 2018 mírně vzrostly. Nejvyšší hodnota průměrné roční koncentrace NO_2 byla zaznamenána právě v roce 2019.

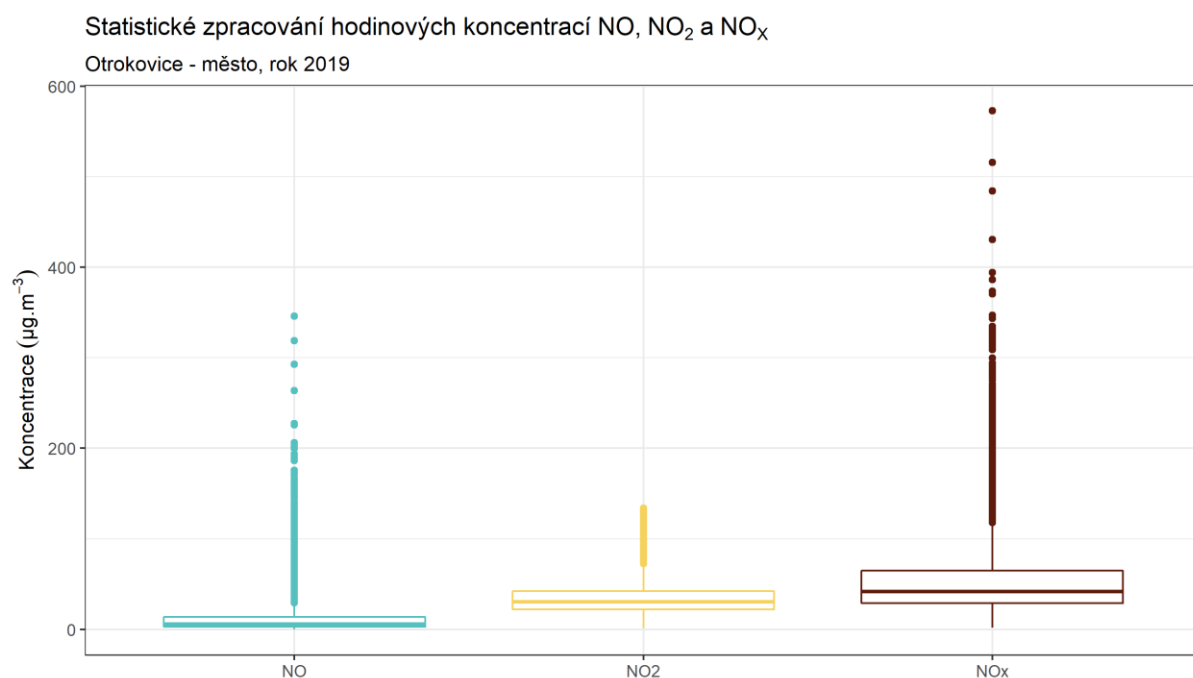


Obr. 36 -Vývoj průměrných ročních koncentrací NO , NO_2 a NO_x , lokalita Otrokovice – město

Následující Tab. 3 pak zobrazuje statistické zpracování naměřených hodinových dat pro jednotlivé oxidy dusíku. Grafické znázornění hodinových koncentrací pomocí krabicových grafů za rok 2019 pak zobrazuje Obr. 37. Z tabulky i grafického znázornění je patrné, že maximální hodnota hodinové koncentrace NO_2 se pohybovala na úrovni 2/3 hodnoty imisního limitu pro hodinové koncentrace NO_2 ($200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Tato hodnota může být navíc 18x za kalendářní rok překročena. Imisní limit pro hodinové koncentrace NO_2 je tedy v lokalitě Otrokovice – město s velmi velkou rezervou plněn.

Tab. 3 – Statistické charakteristiky hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x v lokalitě Otrokovice – město, rok 2019

STATISTIKA	NO	NO ₂	NO _x
PRŮMĚR	13,1	33,9	54
MAXIMUM	345,9	133,5	572,9
MEDIÁN	5,7	30,4	41,7
MINIMUM	0	1,3	1,9



Obr. 37 – Statistické zpracování hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x v lokalitě Otrokovice – město, rok 2019

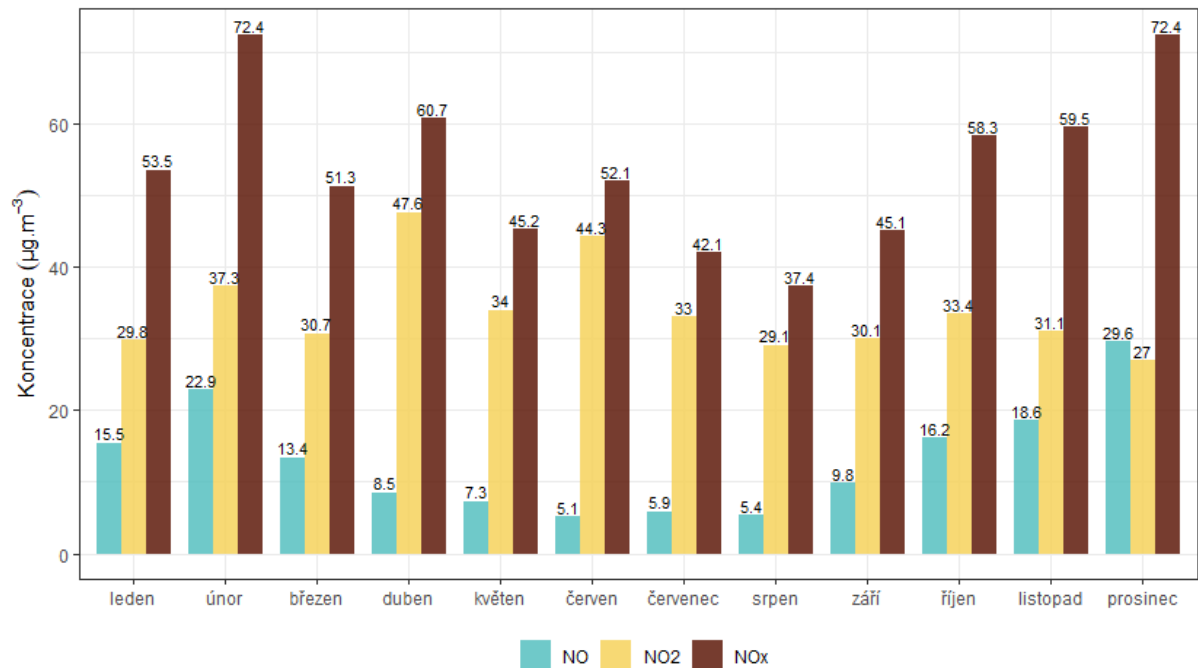
3.2.2 Průměrné měsíční koncentrace

Na Obr. 38 jsou průměrné měsíční koncentrace NO, NO₂ a NO_x. Z obrázku je patrné, že v letních měsících jsou koncentrace nejnižší, naopak v chladné části roku jsou měřeny vyšší koncentrace. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace NO₂ byla naměřena v dubnu a červnu.

Poměr měsíčních koncentrací NO / NO₂ zobrazuje Obr. 39. Poměr je v teplé části roku nízký, v chladné naopak stoupá. V prosinci byly v průměru měřeny vyšší hodnoty koncentrací NO než NO₂, což indikuje významný vliv dopravy na koncentrace v lokalitě.

Vývoj průměrných měsíčních koncentrací NO, NO₂ a NO_x

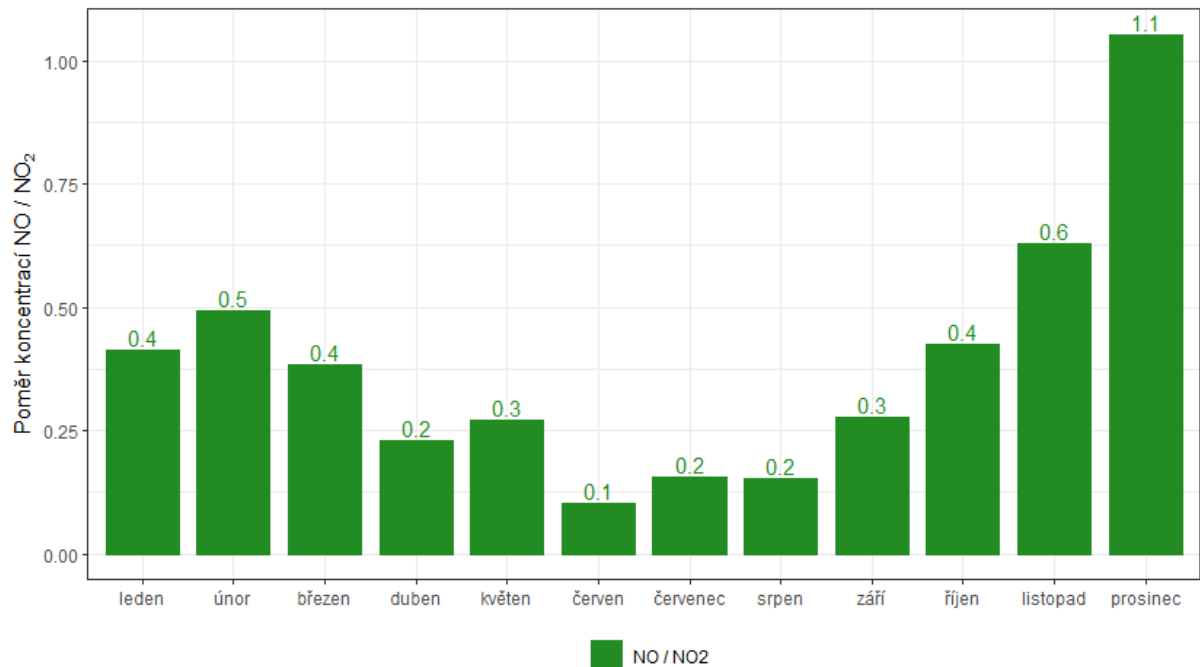
Otrokovice - město, rok 2019



Obr. 38 - Průměrné měsíční koncentrace NO, NO₂ a NO_x, Otrokovice – město, rok 2019

Průměrný měsíční poměr koncentrací NO / NO₂

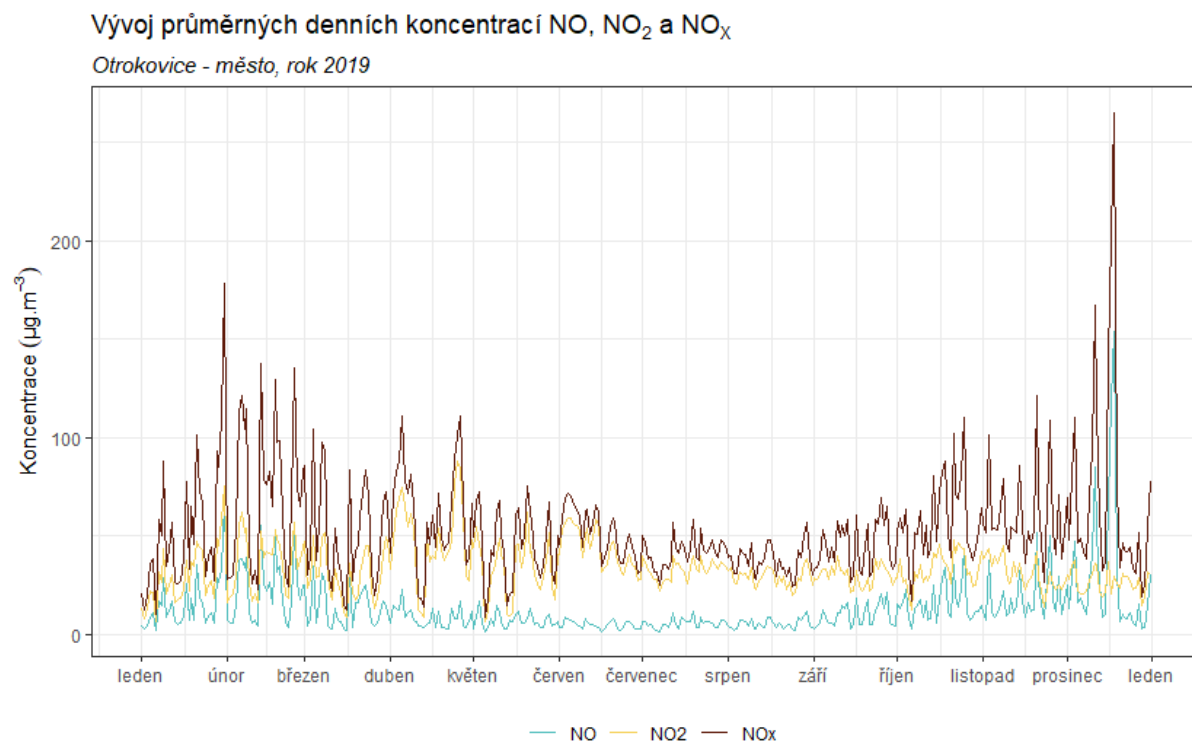
Otrokovice - město, rok 2019



Obr. 39 – Poměr měsíčních koncentrací NO / NO₂, lokalita Otrokovice – město, rok 2019

3.2.3 Průměrné denní koncentrace NO, NO₂ a NO_x

Vývoj průměrných denních koncentrací NO, NO₂ a NO_x v lokalitě Otrokovice – město zobrazuje následující Obr. 40.



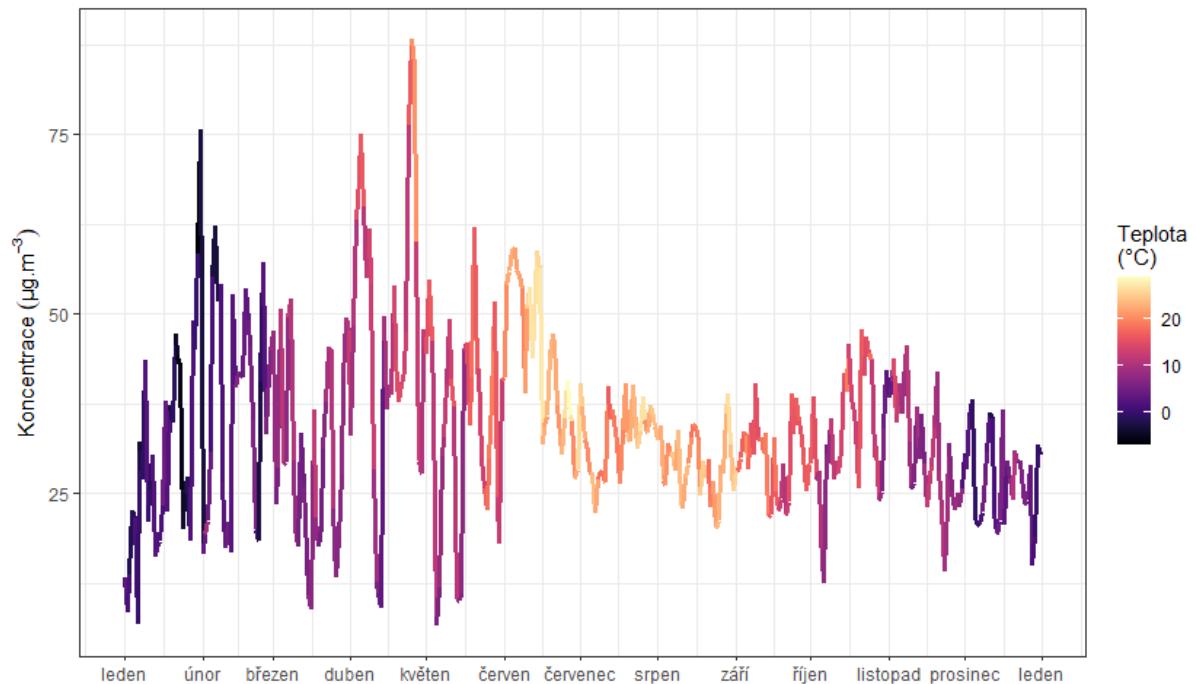
Obr. 40 – Vývoj průměrných hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x, Otrokovice – město, rok 2019

Z grafu je patrné, že nejnižší hodnoty jsou měřeny v letních měsících a směrem k zimním měsícům hodnoty postupně narůstají.

Vzhledem k tomu, že imisní limit je stanoven pouze pro koncentrace NO₂, bude vliv meteorologických podmínek zobrazen pouze pro tuto látku. Na Obr. 41 jsou nad sebou zobrazeny dva grafy. Křivka vždy zobrazuje vývoj koncentrací NO₂ v dané lokalitě. Zabarvení křivky na horním grafu vždy zobrazuje aktuální teplotu vzduchu, ve spodním grafu pak rychlost proudění větru. Z grafů je patrné, že na koncentrace NO₂ má vliv jak teplota, tak rychlost větru. Nejvyšší koncentrace jsou pak měřeny při velmi nízkých rychlostech větru, resp. při nízkých teplotách.

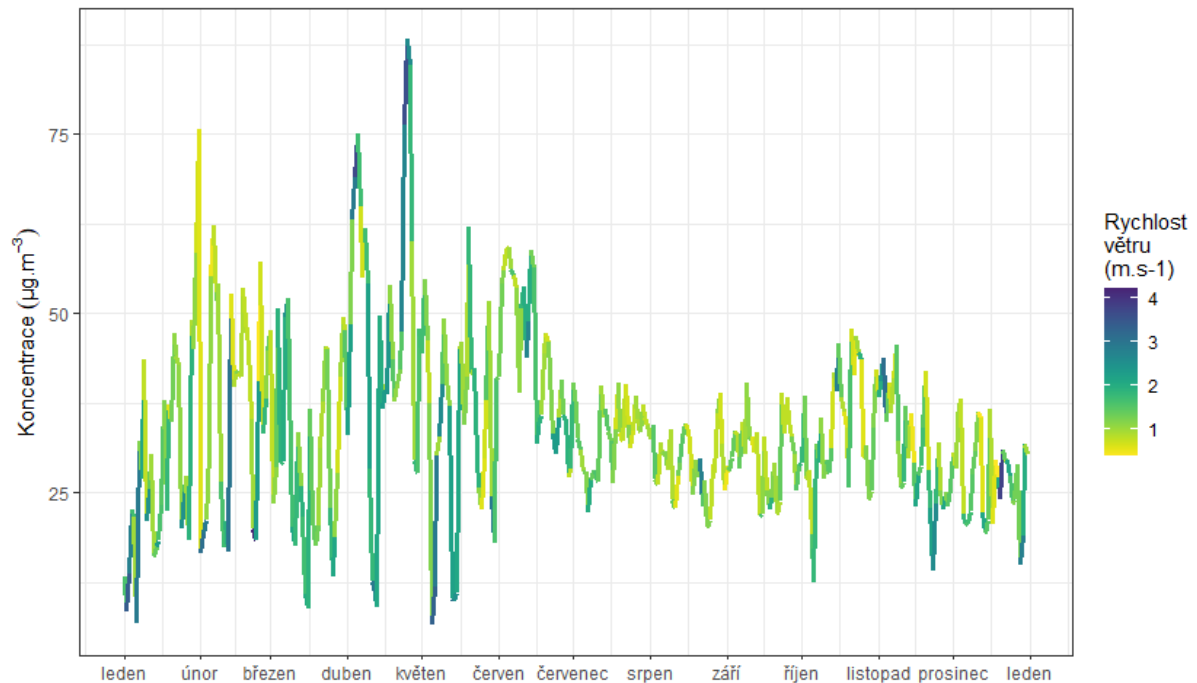
Vývoj průměrných denních koncentrací NO₂ v závislosti na teplotě vzduchu

Otrokovice - město, rok 2019



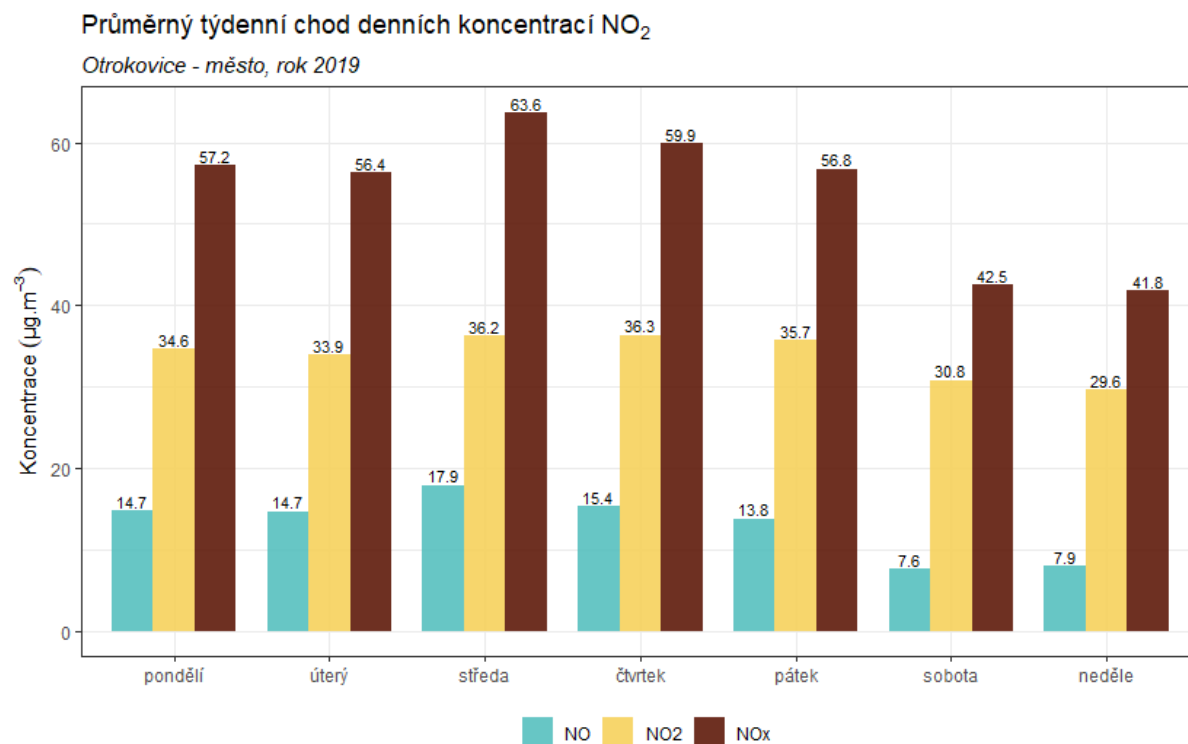
Vývoj průměrných denních koncentrací NO₂ v závislosti na rychlosti větru

Otrokovice - město, rok 2019



Obr. 41 – Vliv teploty (nahore) a rychlosti větru (dole) na koncentrace NO₂, Otrokovice – město, rok 2019

Z hlediska týdenního chodu denních koncentrací NO, NO₂ a NO_x (Obr. 42) je velmi dobře patrný vliv vyššího dopravního zatížení v pracovní dny, který se projeví také ve vyšších koncentracích zejména NO, ale i NO₂ v pracovní dny. Nejvyšší hodnoty jsou měřeny v neděli.



Obr. 42 – Průměrný týdenní chod denních koncentrací NO₂, Otrokovice – město, rok 2019

3.2.4 Analýza hodinových koncentrací – denní chod a koncentrační růžice

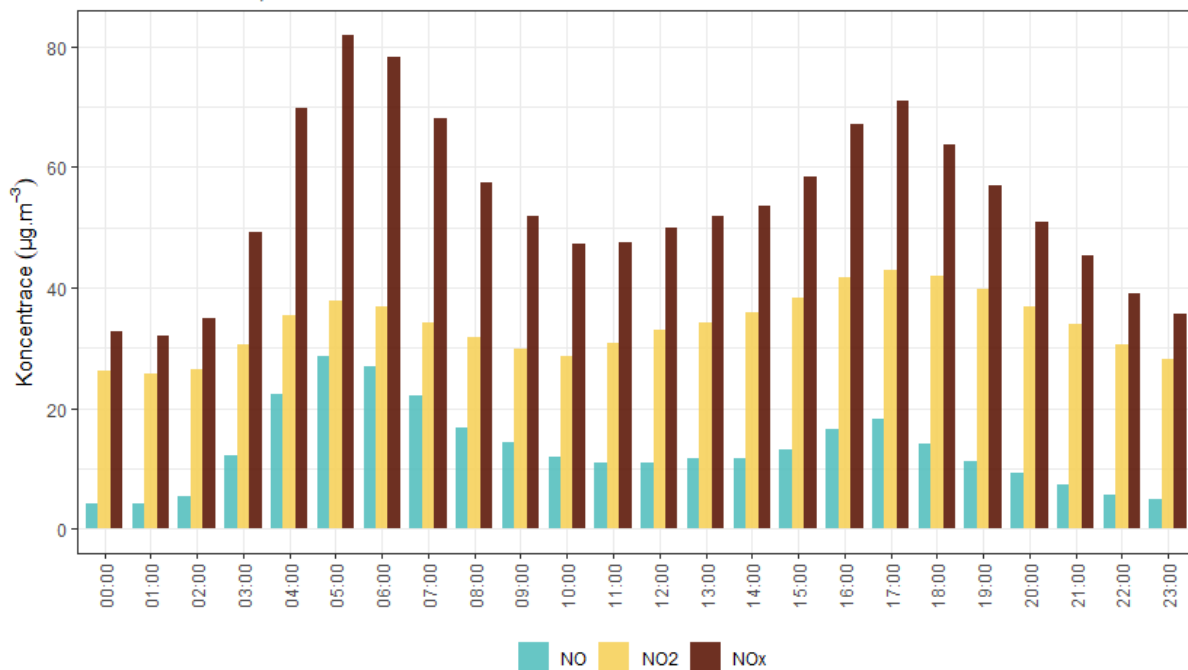
Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod koncentrací NO, NO₂ a NO_x v lokalitě Otrokovice – město. Denní chod zobrazuje následující Obr. 43.

Z grafů je patrné, že nejvyšší hodnoty koncentrací NO₂ dosahovány v době ranní a odpolední dopravní špičky. Večerní hodnoty mohou být také navýšeny o vliv lokálních topenišť a vytápění. Přesto jsou koncentrace NO₂ nízké, typické pro pozadové lokality. Přes den dochází k mírnému poklesu koncentrací, což může být částečně způsobeno spotřebováním NO₂ na tvorbu přízemního ozónu. Tato reakce probíhá pouze díky slunečního záření, proto lze největší úbytek koncentrací NO₂ očekávat okolo poledne.

Z grafu je rovněž patrné, že v době ranní špičky se koncentrace NO pohybují na podobných hodnotách, jako NO₂, což indikuje významnější vliv dopravy. Odpoledne a zejména večer jsou naopak koncentrace NO₂ významně vyšší než NO, pravděpodobně se tak projevil vliv lokálních topenišť.

Průměrný denní chod hodinových koncentrací NO₂

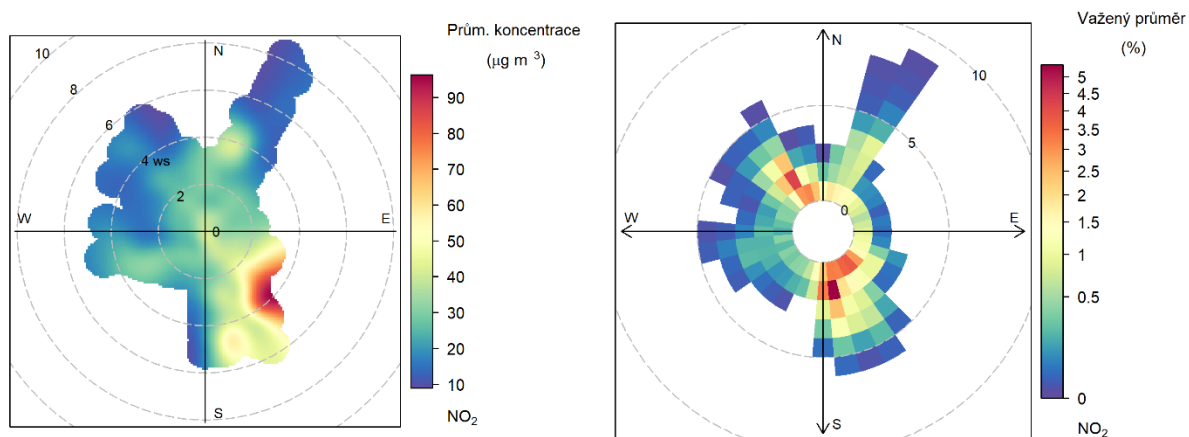
Otrokovice - město, rok 2019



Obr. 43 – Denní chod hodinových koncentrací NO₂, Otrokovice – město, rok 2019

Vysvětlení podstaty koncentračních růžic je uvedeno v kapitole 3.1.4.

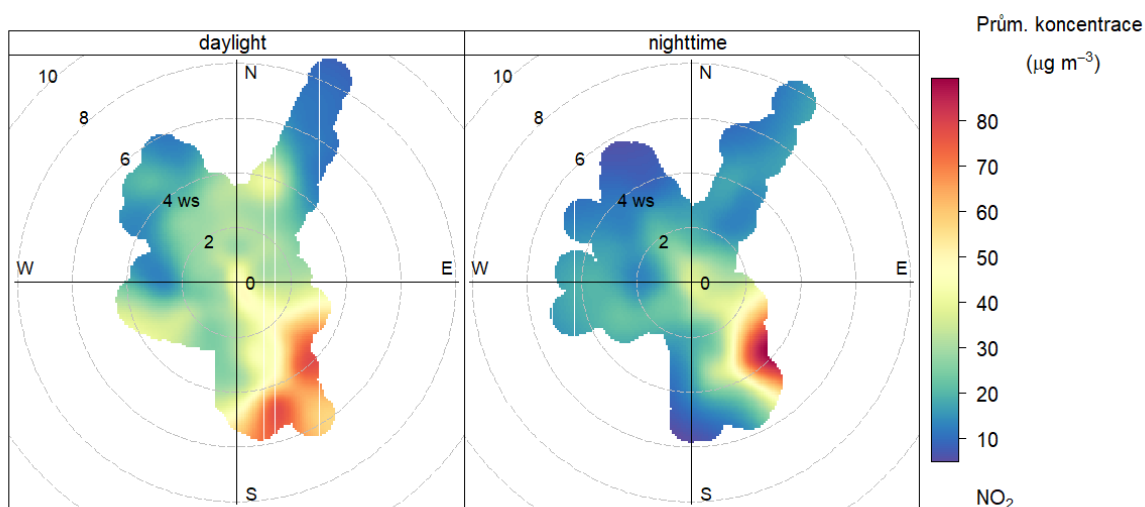
Následující Obr. 44 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro lokalitu Otrokovice – město.



Obr. 44 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro NO₂, Otrokovice – město, rok 2019

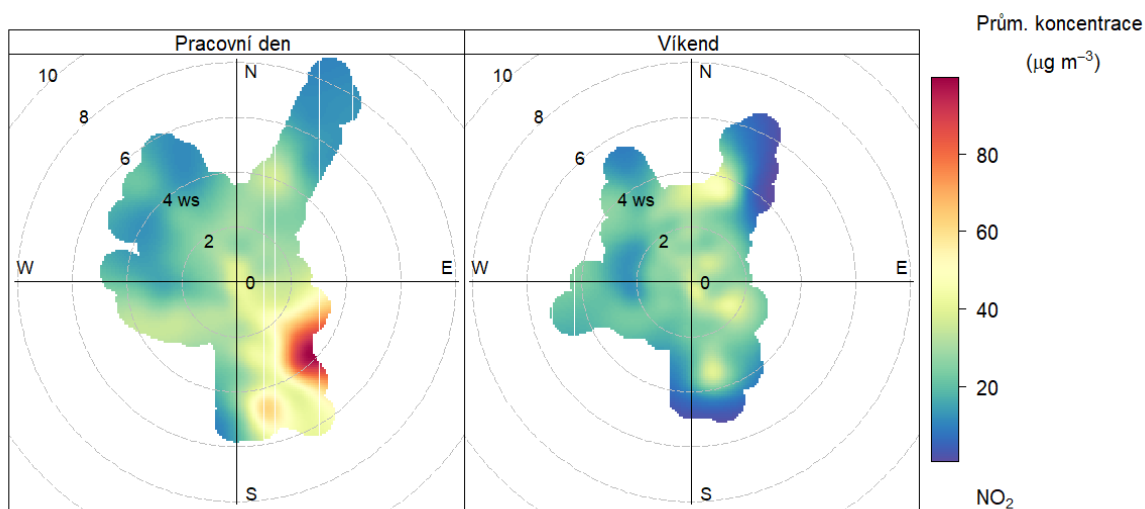
Z Obr. 44 vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při bezvětrí a při jihovýchodním proudění. Nízké rychlosti větru a jihovýchodní či severozápadní proudění (nejčastější směr proudění

dle větrné růžice) pak nejvíce přispívaly k měřeným koncentracím NO_2 . Následující Obr. 45 zobrazuje koncentrační růžici ve dne a v noci. V obou případech jsou nejvyšší koncentrace měřeny při proudění z jihovýchodu až jihu. V nočních hodinách jsou měřeny mírně vyšší.



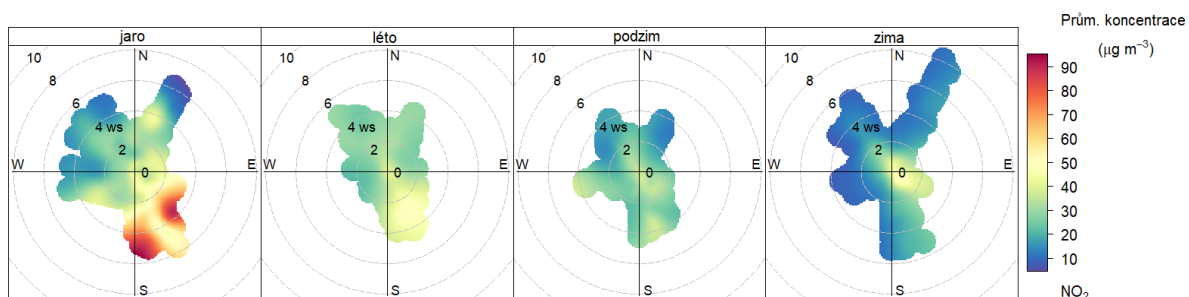
Obr. 45 - Koncentrační růžice ve dne (daytime) a v noci (nighttime), Otrokovice – město, rok 2019

Obdobně lze koncentrační růžici rozlišit na pracovní dny a víkend (Obr. 46). Z obrázku je patrné, že vyšší koncentrace jsou měřeny v pracovní dny, což může být důsledek většího provozu ve městě.



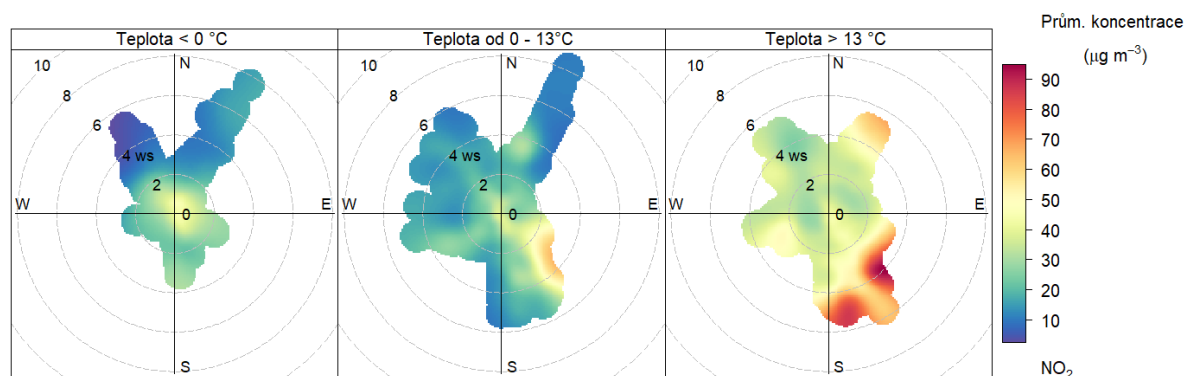
Obr. 46 – Koncentrační růžice NO_2 v pracovní dny a o víkendu, lokalita Otrokovice – město, rok 2019

Následující Obr. 47 zobrazuje koncentrační růžice v jednotlivých ročních obdobích. Vysoké koncentrace se vyskytují zejména na jaře při jihovýchodním proudění. V létě byly z těchto směrů rovněž zvýšené koncentrace NO_2 . V zimě byly zvýšené koncentrace měřeny při bezvětří a nízkých rychlostech větru.



Obr. 47 – Koncentrační růžice jednotlivých ročních období, Otrokovice – město, rok 2019

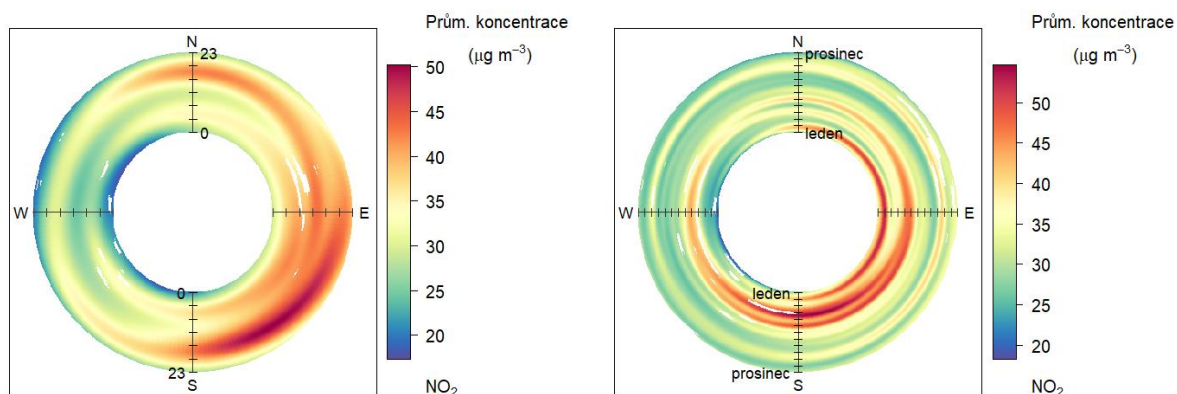
Zajímavé je také rozdělit koncentrační růžice na základě teplot vzduchu. Z Obr. 48 je pak patrné, že nejvyšší koncentrace jsou takřka výhradně měřeny při teplotách vzduchu vyšších než 13 °C a jihovýchodním proudění. Při teplotách nižších než 0 °C jsou vyšší koncentrace měřeny především při bezvětří.



Obr. 48 – Koncentrační růžice členěná dle teplot, Otrokovice – město, rok 2019

Cenné informace poskytuje rovněž průměrný denní a roční chod, členěný dle směru větru. V případě denního chodu je uprostřed první hodina po půlnoci a na okraji pak 23. hodina. V případě ročního chodu je pak uprostřed 1. 1. a na okraji 31. 12. Směry větru jsou totožné jako v případě růžic.

Z Obr. 49 pak vyplývá, že v případě lokality Otrokovice – město v roce 2019 byly nejvyšší koncentrace NO₂ měřeny po celý den při proudění z jihovýchodu, zejména však ve večerních hodinách. V případě ročního chodu jsou významné zejména zimní a jarní měsíce. Z hlediska maxim převládají jihovýchodní až východní směry.



Obr. 49 – Průměrný denní chod (vlevo) a roční chod (vpravo) koncentrací dle směru větru, Otrokovice – město, rok 2019

3.2.5 Srovnání s lokalitami státní sítě imisního monitoringu

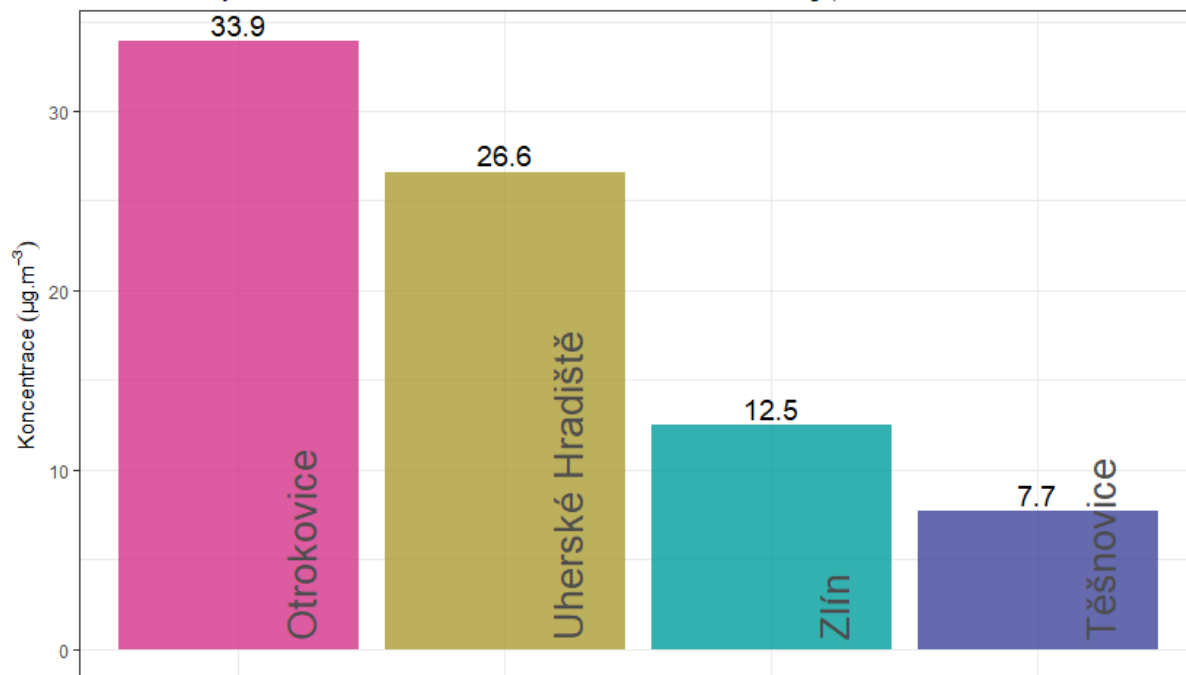
V této podkapitole budou koncentrace, naměřené v lokalitě Otrokovice – město, srovnány s hodnotami naměřenými ve státní síti imisního monitoringu Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ).

Na následujícím Obr. 50 jsou zobrazeny průměrné roční koncentrace legislativou sledovaného oxidu dusičitého NO_2 na blízkých lokalitách sítě imisního monitoringu v roce 2019. Ty jsou srovnány s lokalitou Otrokovice – město. Z grafu vyplývá, že v lokalitě Otrokovice – město jsou měřeny zvýšené koncentrace typické pro dopravní lokality. Nejnížší hodnoty naměřila venkovská pozadřová lokalita Těšnovice. Žádná z uvedených lokalit nepřekročila imisní limit pro průměrnou roční koncentraci NO_2 .

Následující graf na Obr. 51 zobrazuje průměrné měsíční koncentrace NO_2 naměřené ve vybraných lokalitách. Z grafu je patrné, že lokalita Otrokovice se výrazněji liší od ostatních stanic zejména v dubnu až červnu. Je možné, že v tuto dobu byla lokalita ovlivněna nějakým lokálním zdrojem, koncentrace byly nezvykle vysoké. V ostatních měsících sleduje lokalita Otrokovice – město podobný vývoj, jako další lokality sítě imisního monitoringu, o absolutní hodnotě pak rozhoduje míra zatížení dopravou v lokalitě.

Průměrné roční koncentrace NO₂

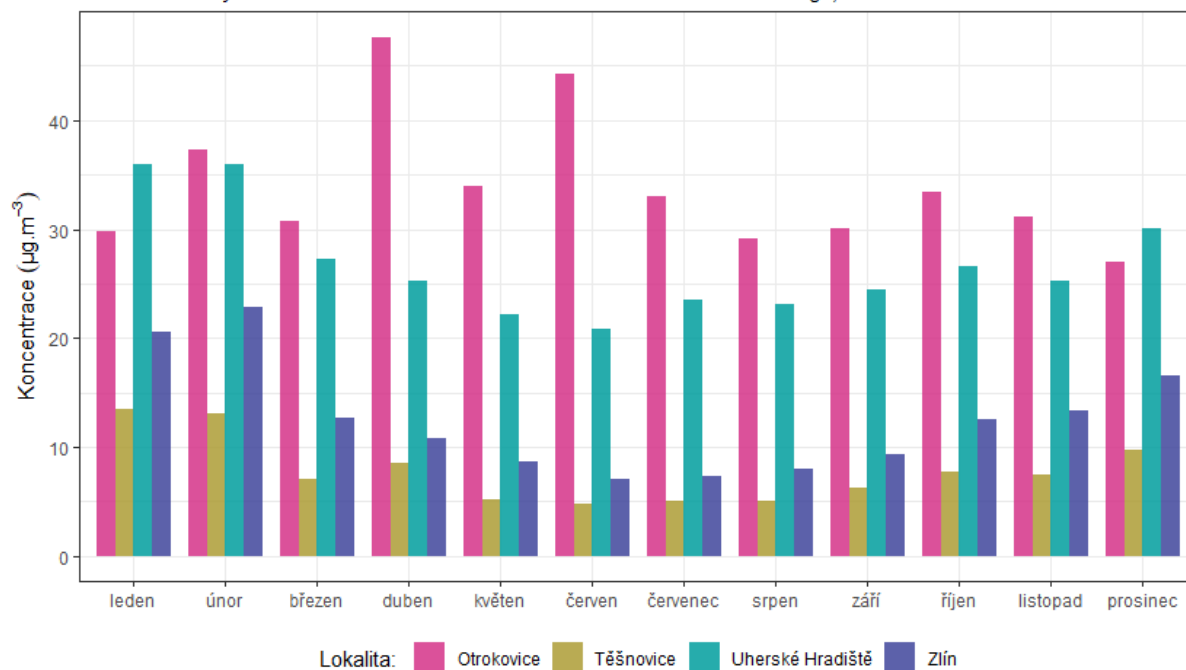
Srovnání lokality Otrokovice - město s lokalitami státní sítě imisního monitoringu, rok 2019



Obr. 50 – Srovnání průměrné roční koncentrace NO₂ lokality Otrokovice – město s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2019

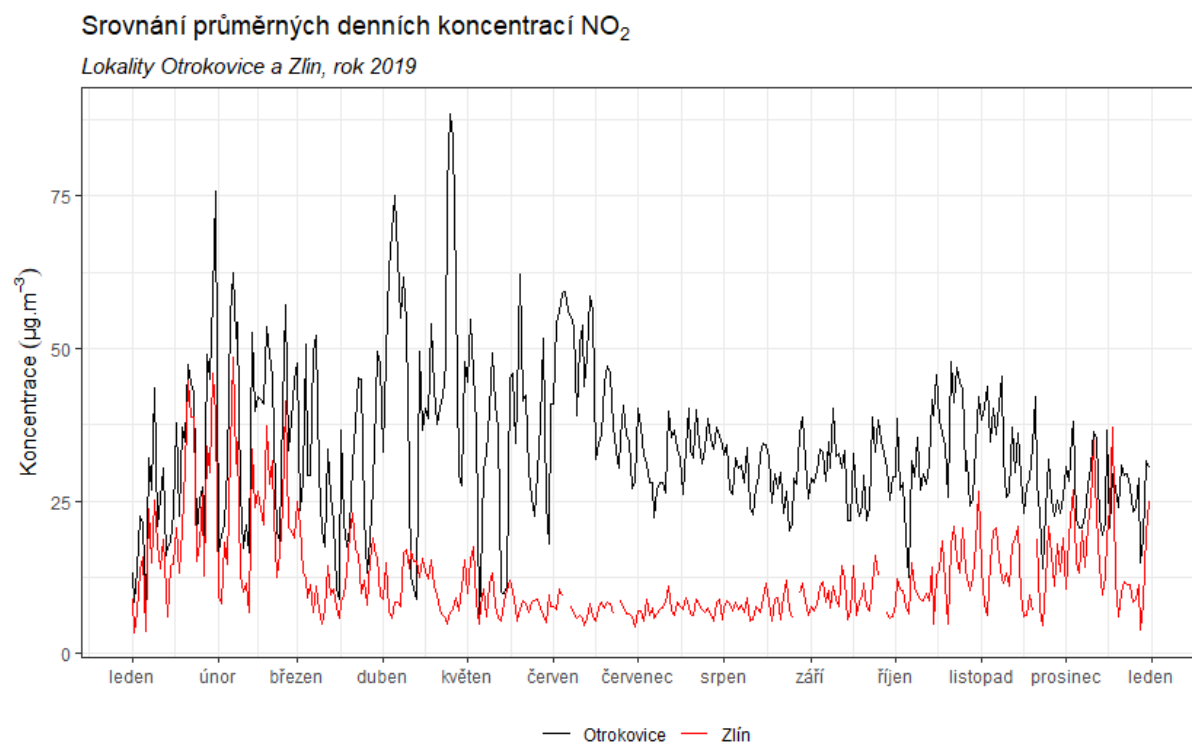
Průměrné měsíční koncentrace NO₂

Srovnání lokality Otrokovice - město s lokalitami státní sítě imisního monitoringu, rok 2019



Obr. 51 – Srovnání průměrných měsíčních koncentrací NO₂ lokality Otrokovice – město s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2019

Následující graf na Obr. 52 srovnání průměrných denních koncentrací NO_2 s nejbližší lokalitou státní sítě imisního monitoringu Zlín.



Obr. 52 – Srovnání průměrných denních koncentrací NO_2 , lokality Otrokovice – město a Zlín, rok 2019

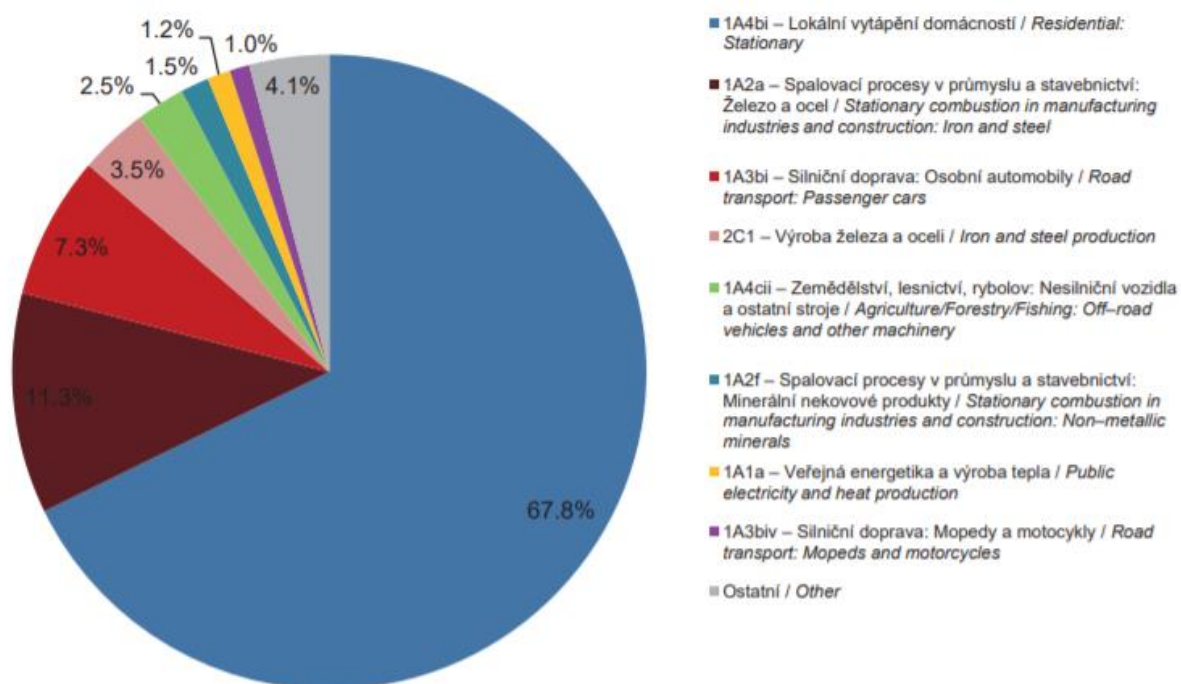
Z grafu je patrné, že koncentrace v lokalitě Otrokovice – město jsou vyšší než v lokalitě Zlín. Největší rozdíly byly zaznamenány mezi březnem a listopadem, kdy byly koncentrace zřetelně vyšší a měly odlišný trend. Je možné, že došlo k ovlivnění lokálním zdrojem. V zimních měsících je trend vývoje koncentrací podobný.

3.3 OXID UHELNATÝ CO

Antropogenním zdrojem znečištění ovzduší oxidem uhelnatým (CO) jsou procesy, při kterých dochází k nedokonalému spalování fosilních paliv. Je to především doprava a dále stacionární zdroje, zejména lokální topeniště.

Zvýšené koncentrace mohou způsobovat bolesti hlavy, zhoršují koordinaci a snižují pozornost. Oxid uhelnatý se váže na hemoglobin, zvýšené koncentrace vzniklého karboxyhemoglobinu omezují kapacitu krve pro přenos kyslíku.

Emise oxidu uhelnatého jsou produktem spalování paliv obsahujících uhlík za nízké teploty a nedostatku spalovacího vzduchu. Největší množství emisí CO vzniká v sektoru 1A4bi – Lokální vytápění domácností, který se v roce 2017 podílel na celorepublikových emisích 67,8 %. Mezi další významné zdroje patřily sektory 1A2a – Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Železo a ocel (11,3 %) a 1A3bi – Silniční doprava: Osobní automobily (7,3 %).

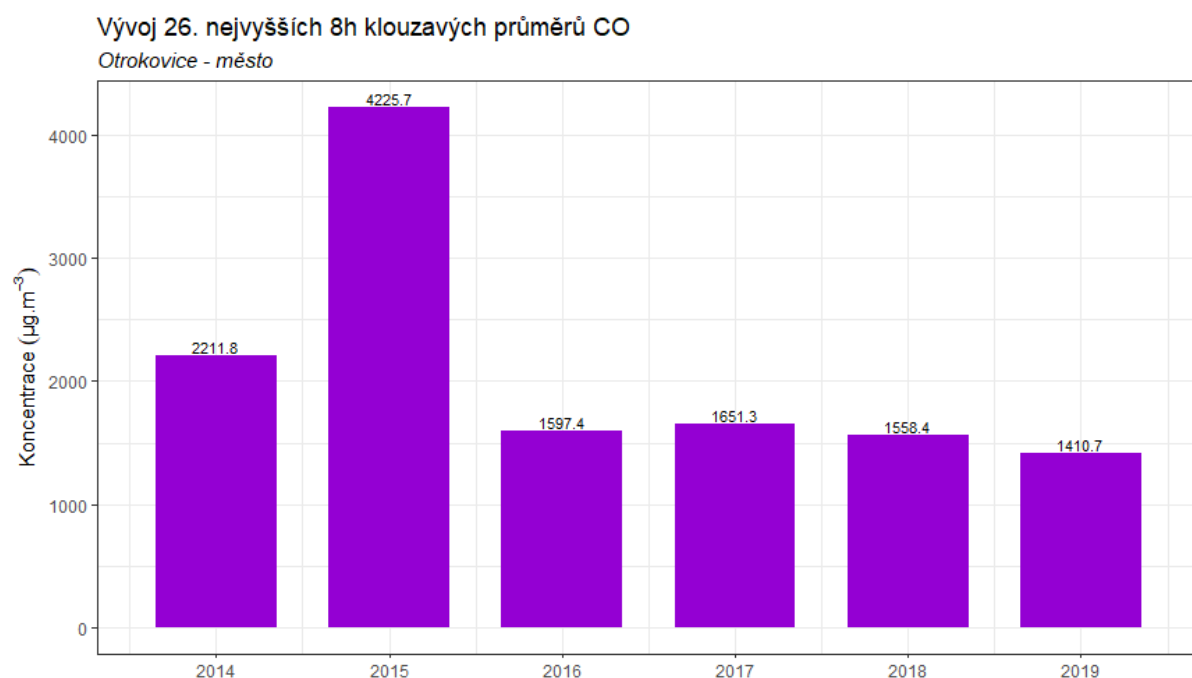


Obr. 53 - Podíl sektorů NFR na celkových emisích CO v ČR, rok 2017 [5]

3.3.1 Vývoj nejvyšších 8hodinových klouzavých průměrů za den v roce

V případě oxidu uhelnatého se sledují 8–hodinové klouzavé průměry, přičemž ten maximální nesmí za kalendářní rok překročit hodnotu $10000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato hodnota nebyla v ČR již dlouho dosažena. Vývoj maximálních 8–hodinových klouzavých průměrů CO je pro lokalitu Otrokovice – město uveden v grafu na Obr. 54.

Maximální hodnota 8h klouzavého průměru koncentrací CO v roce 2019 činila $1411 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, imisní limit tedy překročen nebyl. Z uvedeného grafu je patrné, že koncentrace proti roku 2018 velmi mírně klesly, k překročení imisního limitu nedošlo ani v jednom z roků. Nejvyšší hodnota byla naměřena v roce 2015



Obr. 54 – Vývoj nejvyššího 8hodinového klouzavého průměru CO, lokalita Otrokovice – město

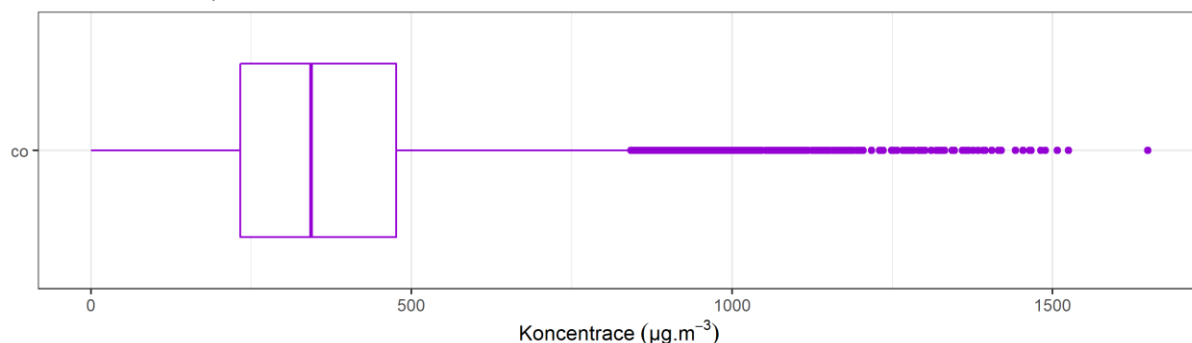
Následující Tab. 4 pak zobrazuje statistické zpracování naměřených hodinových dat pro přízemní ozón. Grafické znázornění hodinových koncentrací pomocí krabicových grafů za rok 2019 pak zobrazuje Obr. 55. Maximální naměřená hodinová koncentrace CO měla hodnotu $145 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tab. 4 – Statistické charakteristiky hodinových koncentrací CO v lokalitě Otrokovice – město, rok 2019

STATISTIKA	CO
PRŮMĚR	379,2
MAXIMUM	1648,5
MEDIÁN	343,7
MINIMUM	0

Statistické zpracování hodinových koncentrací CO

Otrokovice - město, rok 2019



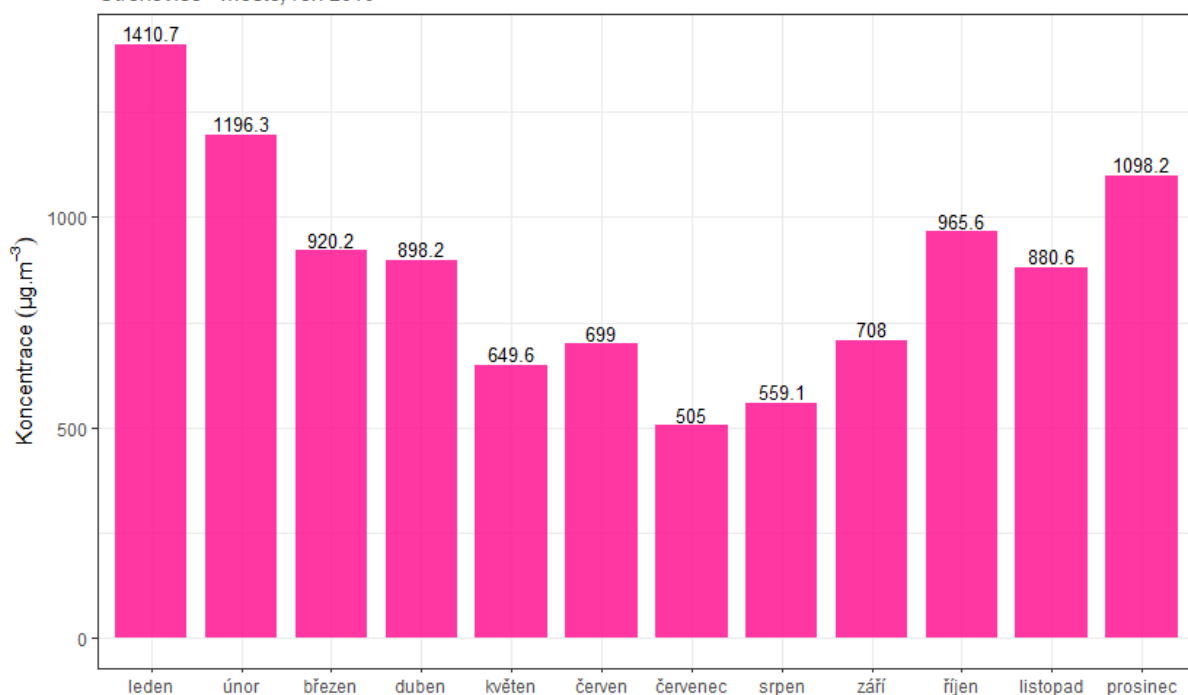
Obr. 55 – Statistické zpracování hodinových koncentrací CO v lokalitě Otrokovice – město, rok 2019

3.3.2 Průměrné měsíční koncentrace

Na Obr. 58 jsou zobrazeny Maximální 8h klouzavé průměry CO za den v jednotlivých měsících. Z obrázku je patrné, že v nejvyšší jsou hodnoty v chladné části roku, kdy je v provozu nejvíce spalovacích zdrojů produkujících CO (doprava + lokální topeniště). Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace CO byla naměřena v lednu, nejnižší pak v červenci.

Vývoj maximálních 8hodinových klouzavých průměrů CO v jednotlivých měsících

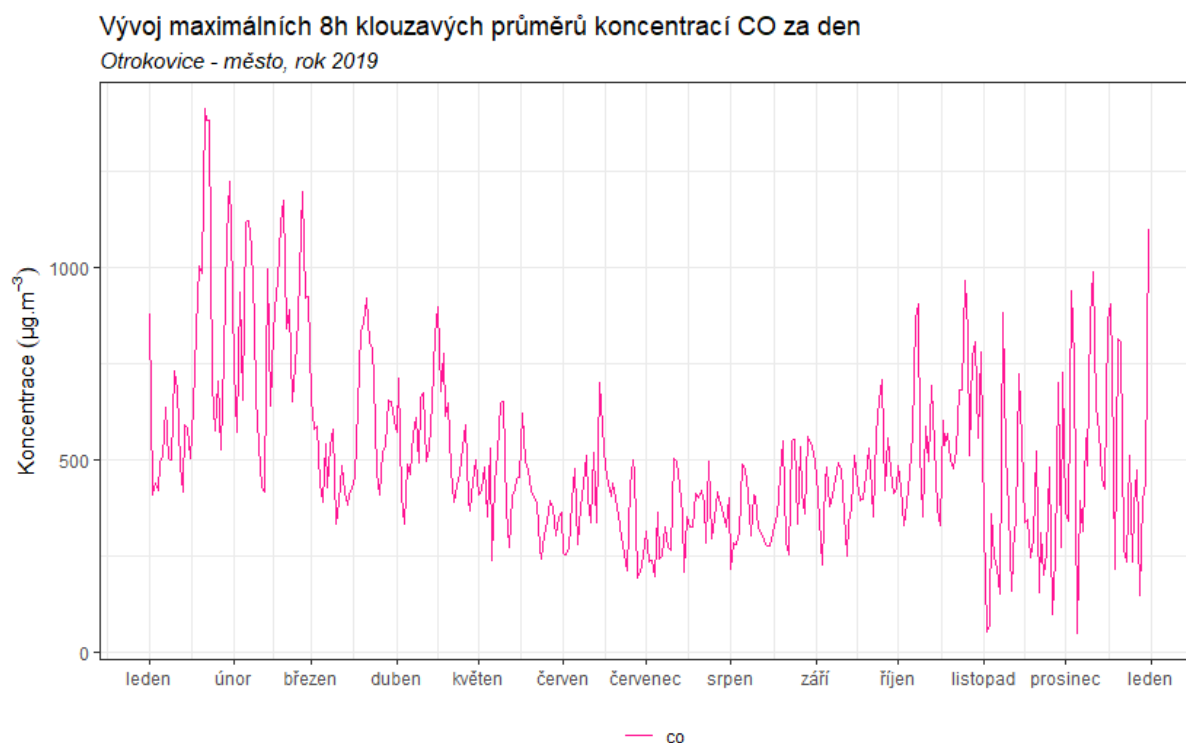
Otrokovice - město, rok 2019



Obr. 56 – Maximální 8h klouzavé průměry CO za den v jednotlivých měsících, Otrokovice – město, rok 2019

3.3.3 Vývoj průměrných denních koncentrací CO

Vývoj maximálních 8h klouzavých průměrů CO za den v lokalitě Otrokovice – město zobrazuje následující Obr. 57.



Obr. 57 – Vývoj maximálních 8h klouzavých průměrů CO za den, Otrokovice – město, rok 2019

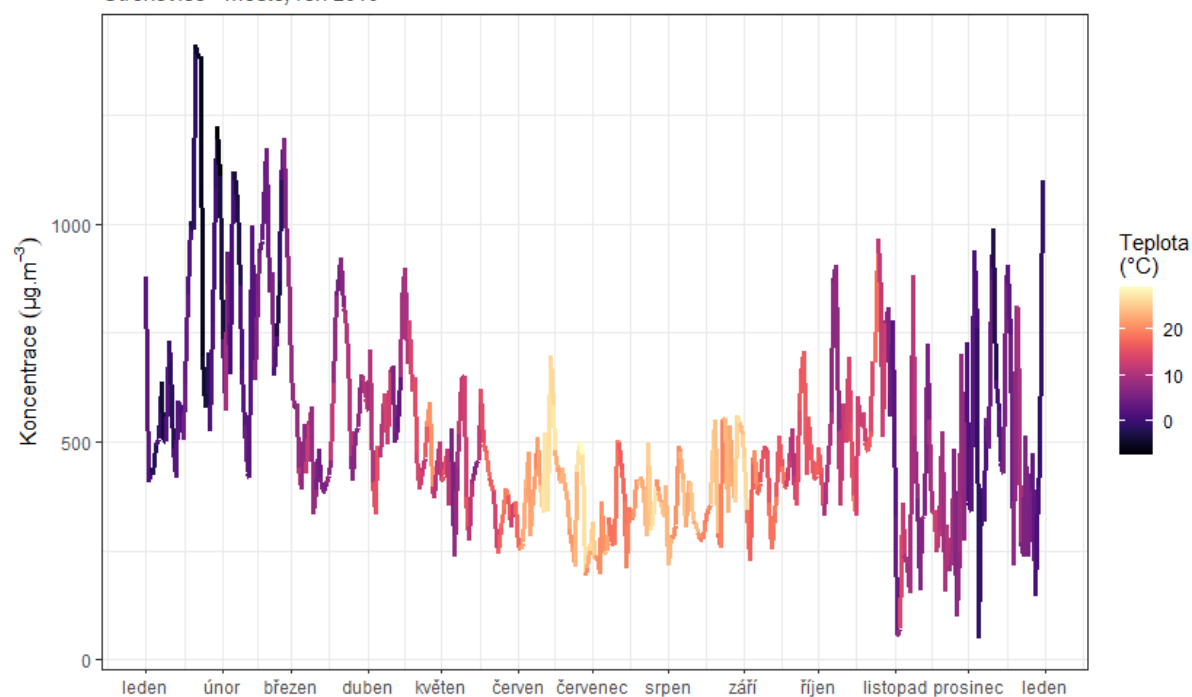
Z grafů je patrné, že v případě vývoje koncentrací CO dochází ke kulminaci zejména v chladném začátku roku. To souvisí s nízkými teplotami a vyšší potřebou topit a dále se zhoršenými rozptylovými podmínkami.

Na Obr. 58 jsou nad sebou zobrazeny dva grafy. Křivka vždy zobrazuje vývoj koncentrací CO v dané lokalitě. Zabarvení křivky na horním grafu vždy zobrazuje aktuální teplotu vzduchu, ve spodním grafu pak rychlost proudění větru.

Z uvedených grafů vyplývá, že meteorologické podmínky mají na koncentrace CO významný vliv, zejména pak teplota a sluneční záření. S rostoucím slunečním zářením a teplotou rostou rovněž koncentrace CO. Rychlost větru tolik koncentrace neovlivňuje, přesto vyšší rychlosti větru zřejmě mírně přispívají k vyšším koncentracím CO.

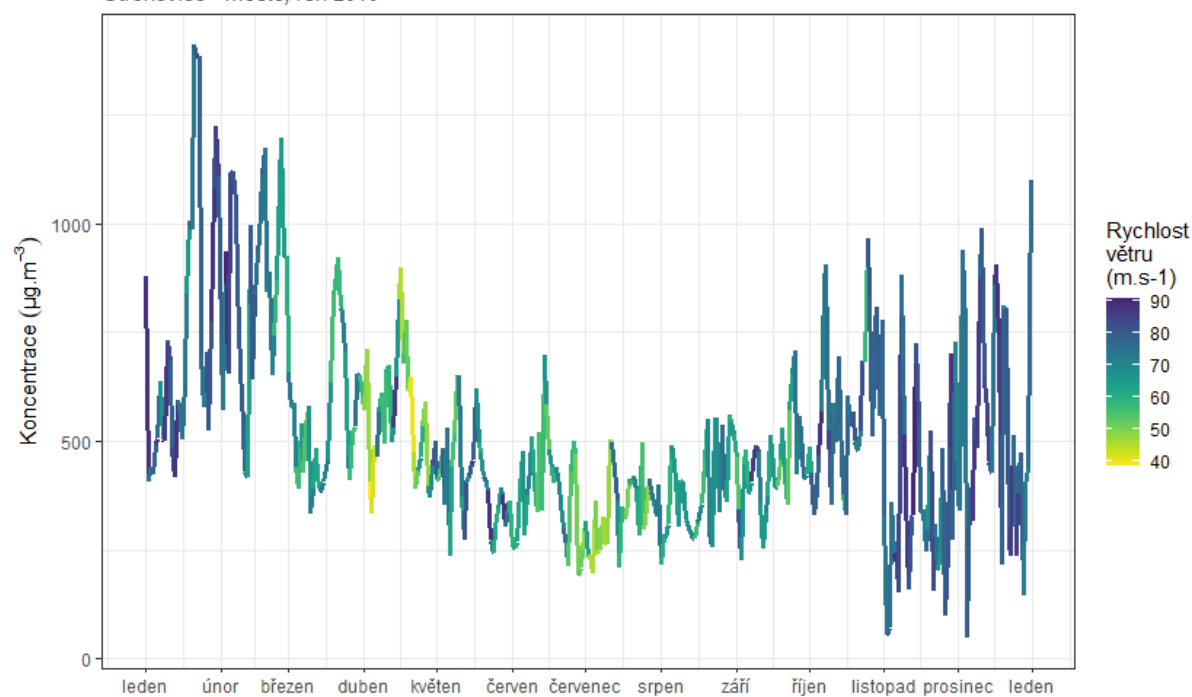
Vývoj maximálních 8h koncentrací CO za den v závislosti na teplotě vzduchu

Otrokovice - město, rok 2019



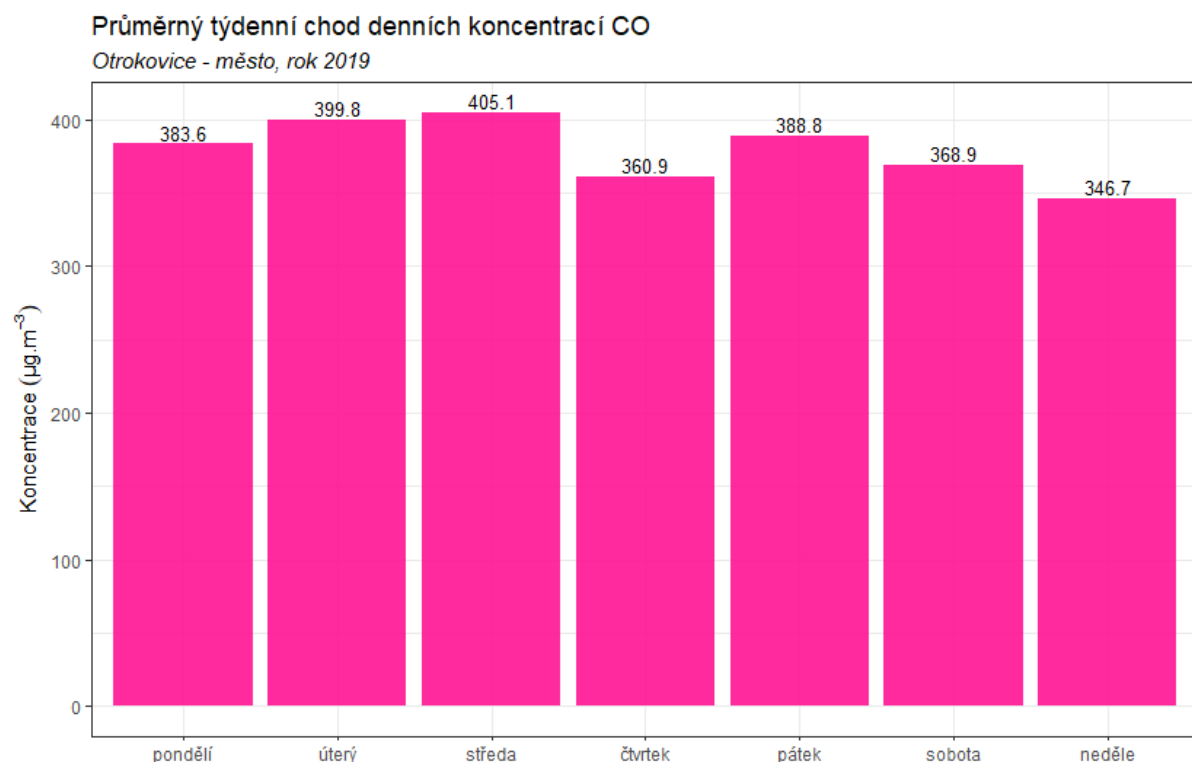
Vývoj maximálních 8h koncentrací CO za den v závislosti na rychlosti větru

Otrokovice - město, rok 2019



Obr. 58 – Vliv teploty (nahore) a rychlosti větru (dole) na koncentrace CO, Otrokovice – město, rok 2019

Naopak z týdenního chodu průměrných denních koncentrací CO není patrný výrazný rozdíl mezi jednotlivými dny. Nejvyšší hodnoty byly v průměru naměřeny ve středu, nejnižší v neděli.



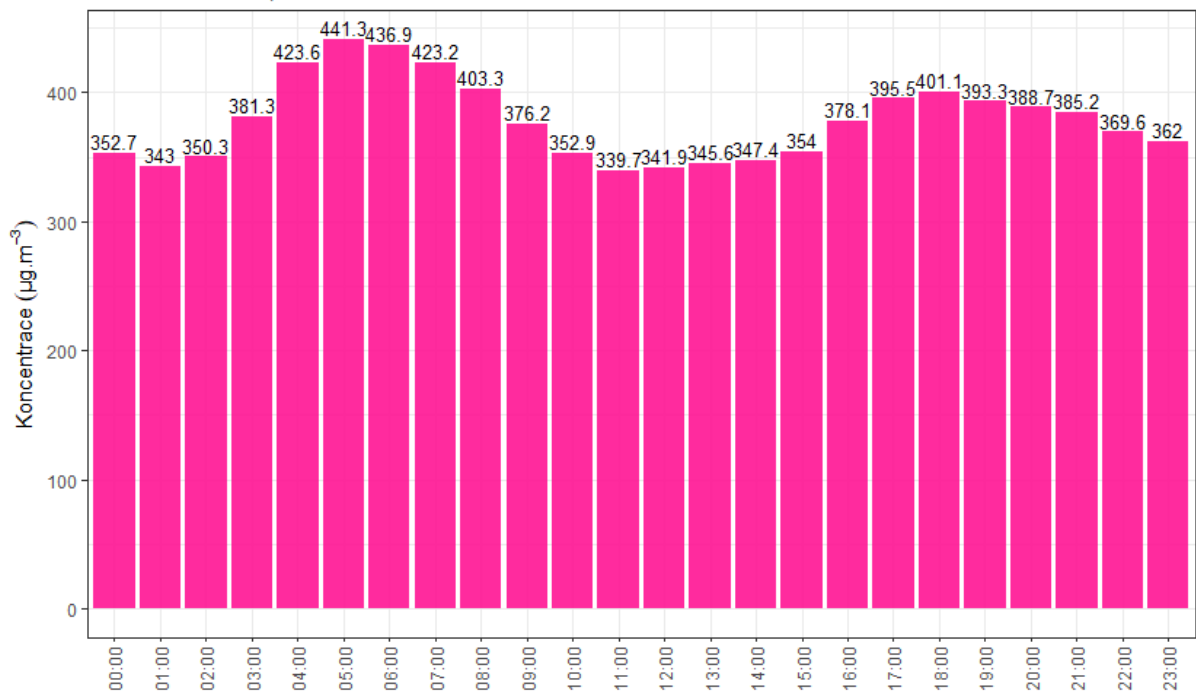
Obr. 59 - Průměrný týdenní chod denních koncentrací CO, Otrokovice – město, rok 2019

3.3.4 Analýza hodinových koncentrací – denní chod a koncentrační růžice

Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod CO v lokalitě Otrokovice – město. Denní chod CO zobrazuje následující Obr. 60. Z grafu je patrné, že nejvyšší hodnoty koncentrací CO jsou dosahovány v době ranní dopravní špičky a dále ve večerních hodinách.

Průměrný denní chod hodinových koncentrací CO

Otrokovice - město, rok 2019



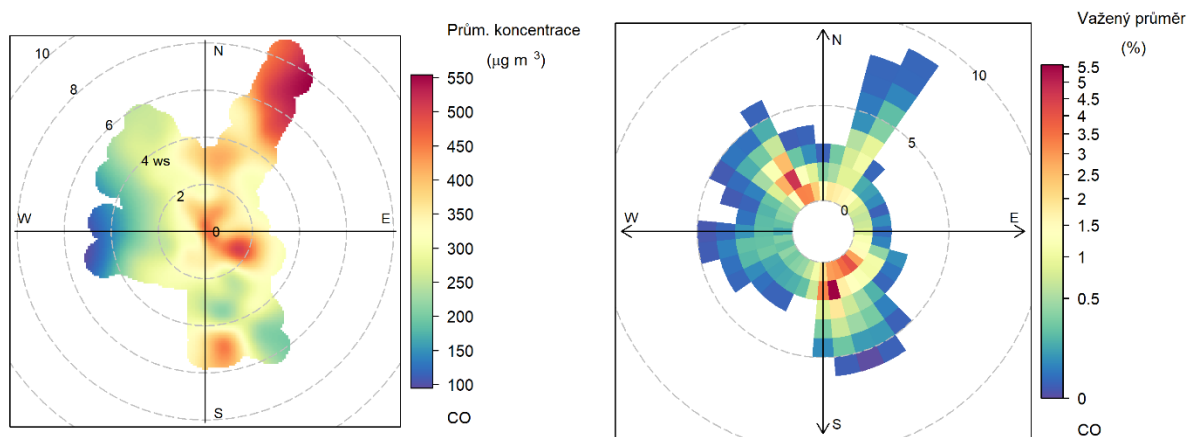
Obr. 60 – Denní chod hodinových koncentrací CO, Otrokovice – město, rok 2019

Vysvětlení podstaty koncentračních růžic je uvedeno v kapitole 3.1.4.

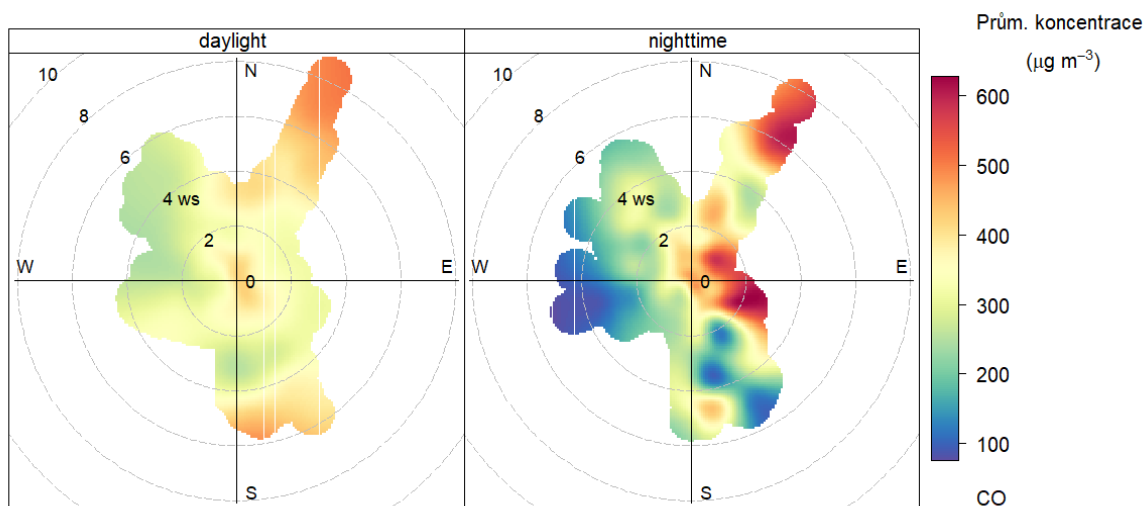
Následující Obr. 61 zobrazuje dva typy koncentrační a váženou koncentrační růžici CO pro lokalitu Otrokovice – město.

Z Obr. 61 vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při západním až severovýchodním proudění a vyšších rychlostech větru. Zvýšené koncentrace jsou měřeny také při proudění z východu a nízkých rychlostech větru. Jihovýchodní a severozápadní směry proudění se pak nejvíce podílely na měřených koncentracích CO v roce 2019.

Pokud se koncentrační růžice rozdělí na den a noc (Obr. 62), je velmi dobře patrné, že vysoké koncentrace CO se vyskytují převážně v nočních hodinách.

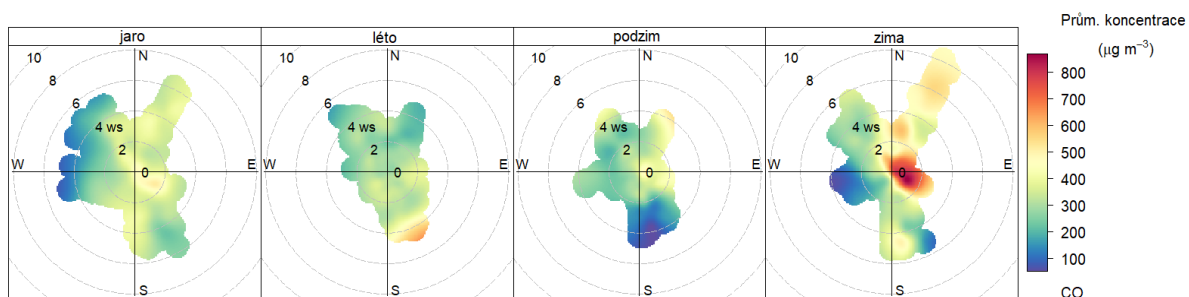


Obr. 61 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro CO, Otrokovice – město, rok 2019



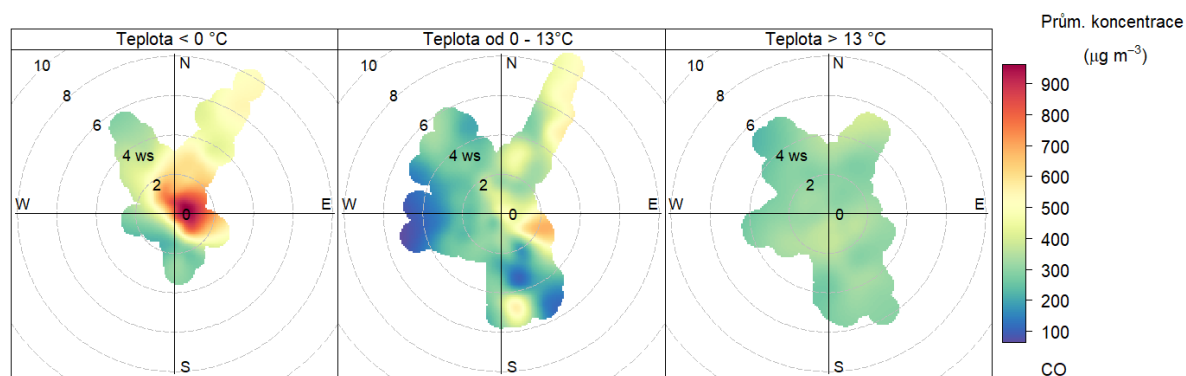
Obr. 62 - Koncentrační růžice ve dne (daytime) a v noci (nighttime), Otrokovice – město, rok 2019

Následující Obr. 63 zobrazuje koncentrační růžice v jednotlivých ročních obdobích. Vysoké koncentrace lze sledovat převážně v zimě, v ostatních měsících jsou koncentrace výrazně nižší.



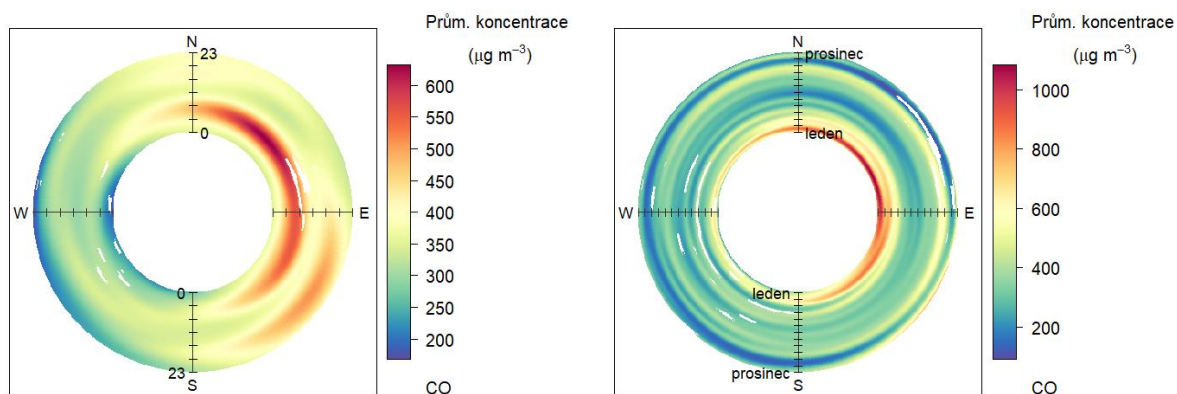
Obr. 63 – Koncentrační růžice jednotlivých ročních období, Otrokovice – město, rok 2019

Zajímavé je také rozdělit koncentrační růžice na základě teplot vzduchu. Z Obr. 64 je pak patrné, že nejvyšší koncentrace jsou takřka výhradně měřeny při teplotách vzduchu nižších než 0 °C. Při vyšších teplotách jsou naopak nízké.



Obr. 64 – Koncentrační růžice členěná dle teplot, Otrokovice – město, rok 2019

Cenné informace poskytuje rovněž průměrný denní a roční chod, členěný dle směru větru. V případě denního chodu je uprostřed první hodina po půlnoci a na okraji pak 23. hodina. V případě ročního chodu je pak uprostřed 1. 1. a na okraji 31. 12. Směry větru jsou totožné jako v případě růžic.



Obr. 65 – Průměrný denní chod (vlevo) a roční chod (vpravo) koncentrací dle směru větru, Otrokovice – město, rok 2019

Z Obr. 65 pak vyplývá, že v případě lokality Otrokovice – město v roce 2019 byly nejvyšší koncentrace CO měřeny v nočních a brzkých ranních hodinách, zejména při proudění ze severovýchodu až východu. Z ročního chodu pak vyplývá, že koncentrace kulminovaly začátkem roku, kdy byly měřeny nejnižší teploty.

3.3.5 Srovnání s lokalitami státní sítě imisního monitoringu

V této podkapitole budou koncentrace, naměřené v lokalitě Otrokovice – město, srovnány s hodnotami naměřenými ve státní síti imisního monitoringu Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ).

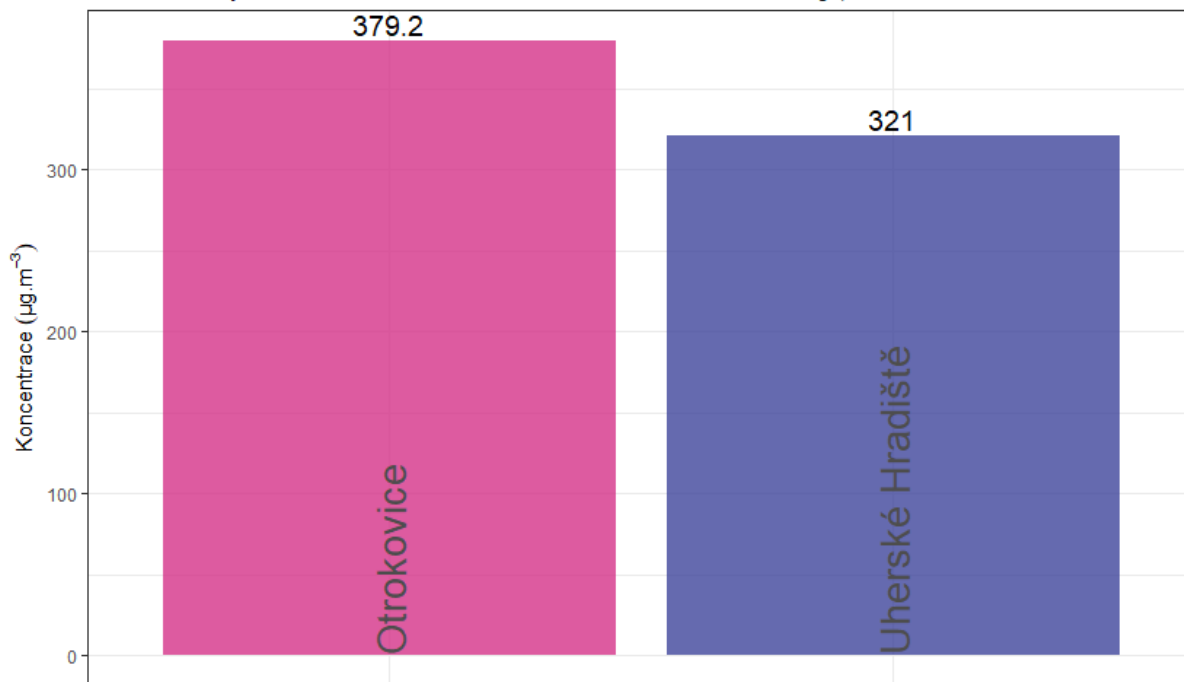
Na následujícím Obr. 66 jsou zobrazeny průměrné roční koncentrace přízemního ozónu CO na okolních lokalitách v roce 2019 a srovnány s lokalitou Otrokovice – město. Z grafu vyplývá, že v lokalitě Otrokovice – město jsou měřeny vyšší koncentrace CO z obou srovnávaných dopravních lokalit.

Následující graf na Obr. 67 zobrazuje průměrné měsíční koncentrace CO naměřené ve vybraných dopravních lokalitách. Z grafu je patrné, že vysoké koncentrace jsou vždy měřeny v chladné části roku.

Následující graf na Obr. 68 srovnání průměrných denních koncentrací CO s nejbližší dopravní lokalitou státní sítě imisního monitoringu Uherské Hradiště. Z grafu je patrné, že v lokalitě Otrokovice jsou měřeny mírně vyšší koncentrace CO po celý rok, vývoj je téměř totožný a lokality spolu velmi dobře korelují.

Průměrné roční koncentrace CO

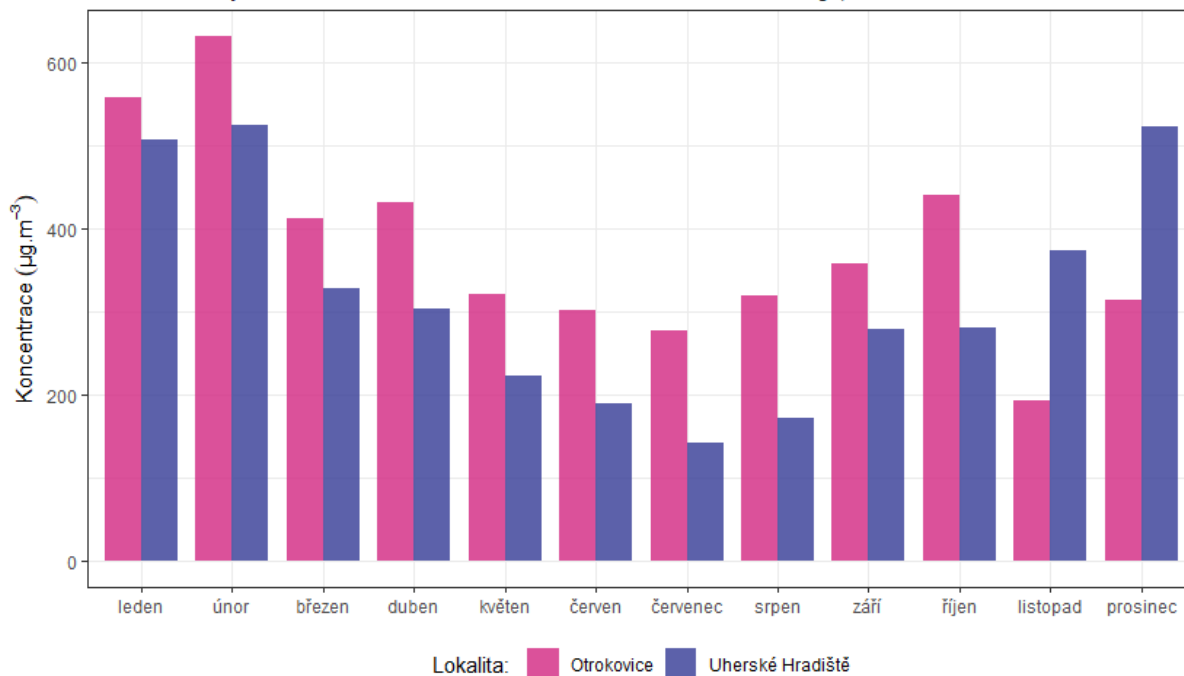
Srovnání lokality Otrokovice - město s lokalitami státní sítě imisního monitoringu, rok 2019



Obr. 66 – Srovnání průměrné roční koncentrace CO lokality Otrokovice – město s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2019

Průměrné měsíční koncentrace CO

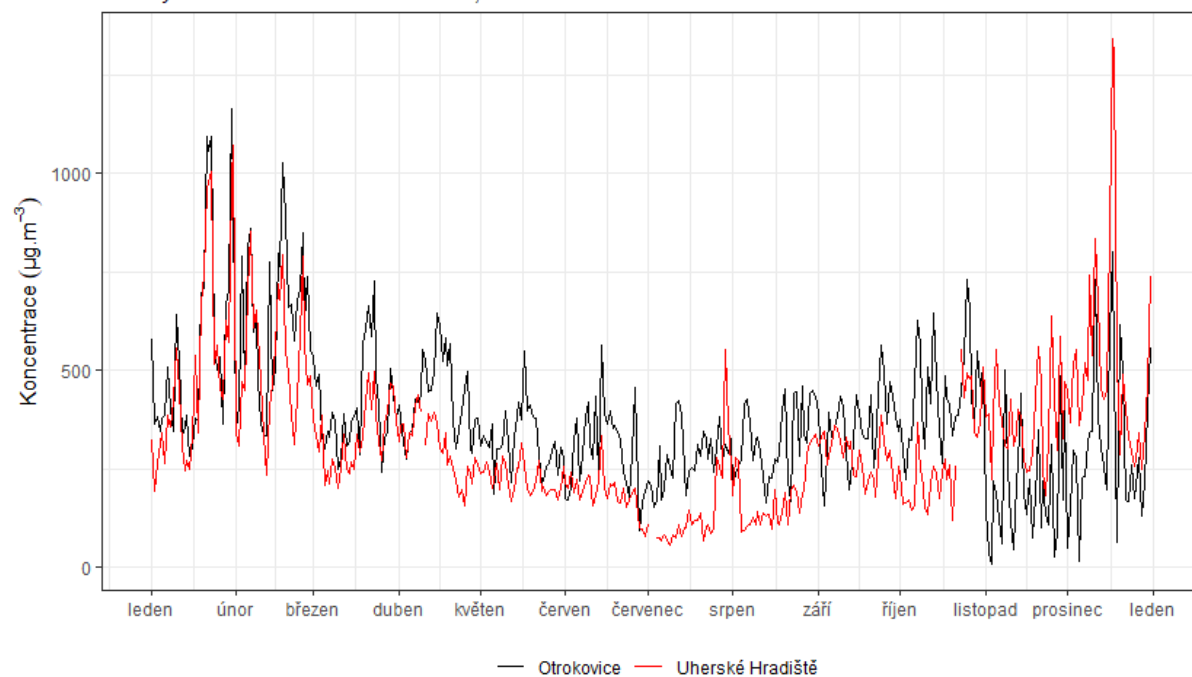
Srovnání lokality Otrokovice - město s lokalitami státní sítě imisního monitoringu, rok 2019



Obr. 67 – Srovnání průměrných měsíčních koncentrací CO lokality Otrokovice – město s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2019

Srovnání průměrných denních koncentrací CO

Lokality Otrokovice a Uherské Hradiště, rok 2019



Obr. 68 – Srovnání průměrných denních koncentrací CO, lokality Otrokovice – město a Uherské Hradiště, rok 2019

4 ZÁVĚRY

- Vývoj průměrných denních koncentrací **PM₁₀** i **PM_{2,5}** odpovídá vývoji koncentrací na dalších stanicích státní sítě imisního monitoringu. Na úrovni hodinových koncentrací ovlivňují vývoj meteorologické podmínky (např. teplota) a s nimi související činnosti – zejména vytápění v lokálních topeništích. Maximální koncentrace **PM₁₀** i **PM_{2,5}** byly měřeny ve večerních a nočních hodinách po zatopení a dále v době ranní dopravní špičky. Důležitým faktorem je rovněž rychlost větru – pokud je bezvětří, nedochází k rozptýlu škodlivin, ale naopak k jejich kumulaci a koncentrace rostou.
- Průměrné roční koncentrace **PM₁₀** (25,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) ani **PM_{2,5}** (20,6 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) nepřekračují imisní limit pro průměrné roční koncentrace těchto škodlivin. Od roku 2020 platí zpřísněný imisní limit pro **PM_{2,5}** s hodnotou 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, který byl v lokalitě Otrokovice – město v roce 2019 mírně překročen.
- Za rok 2019 byla hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci **PM₁₀** (50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) překročena 26x, imisní limit pro průměrnou denní koncentraci **PM₁₀** je tak plněn.
- Koncentrace **oxidů dusíku** souvisí především se zatížením dopravou. Zvýšené koncentrace v rámci denního chodu tak byly pozorovány během ranní a večerní dopravní špičky. Koncentrace jsou v lokalitě zvýšené, charakteristické pro dopravní lokality. Okolo poledne dochází k poklesu koncentrací **NO₂** také díky reakci této látky při tvorbě přízemního ozónu. Ze srovnání koncentrací **NO₂** se stanicí státní sítě imisního monitoringu Zlín vyplývá, že v lokalitě Otrokovice – město jsou měřeny vyšší koncentrace, avšak trend vývoje je na všech lokalitách podobný. Z hlediska týdenního chodu jsou vyšší koncentrace měřeny v pracovní dny s vyšším zatížením dopravou.
- Průměrná roční koncentrace **NO₂** (33,9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) nepřekračuje imisní limit pro průměrnou roční koncentraci **NO₂**.
- Vysoké koncentrace oxidu uhelnatého **CO** jsou měřeny převážně v chladné části roku při nízkých teplotách vzduchu. Naměřené hodnoty byly vyšší než koncentrace, které měřila dopravní stanice státní sítě imisního monitoringu Uherské Hradiště, avšak vývoj koncentrací byl podobný.
- V rámci oxidu uhelnatého se s imisním limitem srovnávají maximální 8hodinové klouzavé průměry za kalendářní rok. Maximální hodnota 8h klouzavého průměru koncentrací **CO** v roce 2019 činila 1411 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, imisní limit tedy překročen nebyl.

5 CITOVANÁ LITERATURA

- [1] *Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší ve znění pozdějších předpisů, 2012 - 2017*, MŽP, 2012.
- [2] R Core Team, „R: A language and environment for statistical computing,“ R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria., 2018. [Online]. Available: <https://www.R-project.org/>.
- [3] H. Wickham a et al., „Welcome to the tidyverse,“ *Journal of Open Source Software*, sv. 4, č. 43, p. 1686, 2019.
- [4] D. Carslaw a K. Ropkins, „Openair - an R package for air quality data analysis,“ *Environmental*, Sv. %1 z %227-28, pp. 52 - 61, 2012.
- [5] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2018,“ 2019. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/18groc/gr18cz/IV.1.PM_CHMU2018.pdf. [Přístup získán 2019].
- [6] U. EPA, „Particulate Matter (PM) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/pm-pollution>.
- [7] J. Keder, „Rozbor výsledků kontinuálního měření spekter velikostí částic analyzátoru Grimm,“ v *Ovzduší 2007*, Brno, 2007.
- [8] USEPA, „Nitrogen Dioxide (NO2) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/no2-pollution>.
- [9] P. WARNECK, *Chemistry of the natural atmosphere*, San Diego: Academic Press: ISBN 0-12-735632-0, 2000.
- [10] European Commission, „Position paper on air quality: nitrogen dioxide,“ 1997.
- [11] J. H. Seinfeld a S. N. Pandis, *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*, New York: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-0-471-72017-1, 2006.
- [12] J. Fiala a D. Závodský, „Chemické aspekty znečištěného ovzduší – troposférický ozon,“ v *Kompendium ochrany kvality ovzduší*, Praha, 2003.
- [13] I. Colbeck a A. R. Mackenzie, „Air Pollution by photochemical oxidants,“ *Air Quality Monographs*, č. Elsevier. ISBN 0-444-88542-0, 1994.
- [14] *Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší*, 2012.
- [15] *Vyhláška č. 330/2012 Sb. o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích*, Praha, 2012.
- [16] Š. L. Š. H. Tolasz R., „Počasí, podnebí a kvalita ovzduší v ČR v roce 2016 – vybrané události,“ 13 1 2016. [Online]. Available: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1484297500>.
- [17] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České Republiky 1996 - 2015,“ 1 12 2016. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html.
- [18] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České Republiky,“ 1996 - 2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html.
- [19] ČHMÚ, „Registr emisí a zdrojů znečištění ovzduší,“ 2010-2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emisnibilance_CZ.html.
- [20] M. VOJTÍŠEK, „O provozu vznětových motorů a aerosolech jimi produkovaných v městských aglomeracích,“ *Konference ČAS 2010. Sborník konference.*, č. ISBN: 978-80-86186-25-2, 2010.
- [21] WHO, „Air quality guidelines for Europe, Second Edition,“ *WHO Regional Publications, European Series*, sv. No. 91, 2000.
- [22] EEA, „Air quality in Europe — 2016 report,“ 2016. [Online]. Available: https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016/at_download/file.
- [23] ČHMÚ, kolektiv autorů, „Grafická ročenka 2017,“ Český hydrometeorologický ústav, 2018. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/Obsah_CZ.html.

