

VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ V LOKALITĚ OTROKOVICE ROK 2022



ENVITECH BOHEMIA, s.r.o.

ÚDAJE O ZAKÁZCE

Zhotovitel:

ENVItch Bohemia s.r.o.

Ovocná 34/1021,

161 00 Praha 6

Česká republika

IČO: 47119209

DIČ: CZ47119209

Datum předání zprávy: 9. února 2023

Počet výtisků: 1

Výtisk číslo: 1

OBSAH

1	ÚVOD	4
1.1	IMISNÍ LIMITY	5
1.2	DATA A JEJICH ZPRACOVÁNÍ	5
1.3	ROK 2022 V ČR Z HLEDISKA METEOROLOGIE A KVALITY OVZDUŠÍ	6
2	METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY BĚHEM MĚŘENÍ	7
2.1	VĚTRNÉ RŮŽICE	7
2.2	RYCHLOST PROUDĚNÍ VĚTRU	7
2.3	TEPLOTA VZDUCHU	9
2.4	RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU	10
2.5	ÚHRN SRÁŽEK	12
3	VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ	14
3.1	SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{10} , $PM_{2,5}$ A PM_1	14
3.1.1	PRŮMĚRNÉ ROČNÍ KONCENTRACE	16
3.1.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE	17
3.1.3	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE PM	19
3.1.4	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – DENNÍ CHOD A KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	23
3.1.5	SROVNÁNÍ S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍTĚ IMISNÍHO MONITORINGU	28
3.2	OXIDY DUSÍKU NO_2 , NO A NO_x	34
3.2.1	PRŮMĚRNÉ ROČNÍ KONCENTRACE	35
3.2.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE	36
3.2.3	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE NO , NO_2 A NO_x	38
3.2.4	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – DENNÍ CHOD A KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	40
3.2.5	SROVNÁNÍ S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍTĚ IMISNÍHO MONITORINGU	44
3.3	OXID UHELNATÝ CO	46
3.3.1	VÝVOJ NEJVYŠŠÍCH 8HODINOVÝCH KLOUZAVÝCH PRŮMĚRŮ ZA DEN V ROCE	46
3.3.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE	48
3.3.3	VÝVOJ PRŮMĚRNÝCH DENNÍCH KONCENTRACÍ CO	49
3.3.4	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – DENNÍ CHOD A KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	51
3.3.5	SROVNÁNÍ S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍTĚ IMISNÍHO MONITORINGU	55
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 2022 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	20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	
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 a nemohou být použita jinak než pro tuto studii. Veškerá data ČHMÚ pocházejí z databáze ISKO (Informační systém kvality ovzduší).

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

1.3 Rok 2022 v ČR z hlediska meteorologie a kvality ovzduší

Rok 2022 byl s průměrnou teplotou 9,2 °C a s odchylkou +0,9 °C od normálu 1991–2020 **nadnormální** (+1,7 °C od normálu 1961–1990), a je tak dalším „teplým“ rokem v řadě. Od roku 1996 zaznamenáváme v Česku pouze roky normální a v různém stupni nadnormální. Teplotní odchylka od normálu 1991–2020 v jednotlivých měsících kolísala od +3,2 °C v únoru až po –2,1 °C v dubnu.

Roční srážkový úhrn 632 mm zařazuje rok mezi roky srážkově normální (normál za období 1991–2020 je v Česku 684 mm). Nejvíce srážek, v průměru 101 mm, což bylo 123 % normálu, napadlo v Česku v červnu a nejméně, v průměru jen 16 mm, to je 35 % normálu, v březnu. V průběhu roku bylo vydáno 159 výstrah a 116 informací o výskytu nebezpečného jevu, tj. celkem 275 výstražných informací.

Na základě neverifikovaných dat ze stanic automatizovaného imisního monitoringu (AIM) lze konstatovat, že v roce 2022 byl překročen denní imisní limit pro suspendované částice PM₁₀, imisní limit pro maximální denní klouzavou 8hodinovou koncentraci přízemního ozonu (O₃) a roční imisní limit pro suspendované částice PM_{2,5}. Roční imisní limity pro PM₁₀ a oxidu dusičitého (NO₂) překročeny nebyly. Denní imisní limit PM₁₀ byl v roce 2022 překročen na třech stanicích ze 134, a to na venkovské stanici Věřňovice (okres Karviná), dopravní stanici Ostrava-Českobratrská (hot spot) a na průmyslové stanici Ostrava-Radvanice ZÚ. Imisní limit pro maximální denní 8hodinovou koncentraci O₃ byl překročen na dvou stanicích z 68, a to na regionálních stanicích Sněžník (okres Děčín) a Rudolice v Horách (okres Most). Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM_{2,5} byl překročen na pěti stanicích z 88 stanic, a to na průmyslových stanicích Ostrava-Radvanice ZÚ, Ostrava-Přívoz a Ostrava-Hrušov a na městské stanici Rychvald (okres Karviná) a venkovské stanici Věřňovice.

Nejvyšší průměrná denní koncentrace PM₁₀ (157 µg·m⁻³) byla naměřena na venkovské stanici Věřňovice, nejvyšší maximální denní 8hod. denní koncentrace O₃ (177 µg·m⁻³) na předměstské stanici Praha 4-Libuš. Nejvyšší roční průměrné koncentrace PM₁₀ (30 µg·m⁻³) i PM_{2,5} (23 µg·m⁻³) byly naměřeny na průmyslové stanici Ostrava-Radvanice ZÚ, nejvyšší roční průměrná koncentrace NO₂ (40 µg·m⁻³) pak na dopravní stanici Praha 2-Legerova (hot spot).

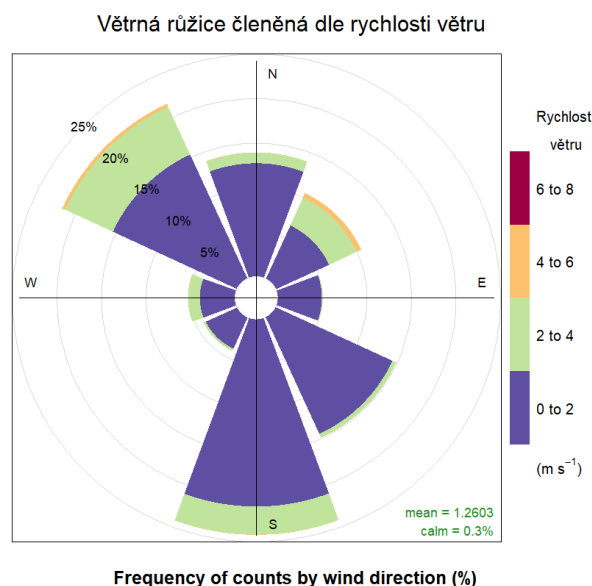
V roce 2022 bylo vyhlášeno pět smogových situací, všechny z důvodu vysokých koncentrací O₃ (jedna v červenci a čtyři v srpnu). V jednotlivých regionech převládala v roce 2022 velmi dobrá až dobrá kvalita ovzduší, přičemž její nejvyšší výskyt byl zaznamenán v Olomouckém kraji. Přijatelná kvalita ovzduší byla nejčastěji zaznamenána v Pardubickém kraji a zhoršená až špatná kvalita v aglomeraci O/K/F-M.

Uvedené hodnocení kvality ovzduší v návaznosti na meteorologické a rozptylové podmínky v ovzduší je předběžné. Vzhledem k procesu získání a zpracování odebraných vzorků je do článku [5] zahrnuto pouze hodnocení PM₁₀ a PM_{2,5}, O₃ a NO₂. Ve všech případech se jedná o neverifikovaná data ze stanic automatizovaného imisního monitoringu (AIM) ČHMÚ a dalších dodavatelů imisních dat [5].

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 25 % roku) a severozápadní (cca 22 % roku) proudění. Vyšší rychlosti větru byly zaznamenány především ze severovýchodu a severozápadu. Bezvětrí panovalo ve zhruba 0,3 % času měření. Průměrná rychlost větru za celé měřené období byla zhruba $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 2 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, Otrokovice – město, rok 2022

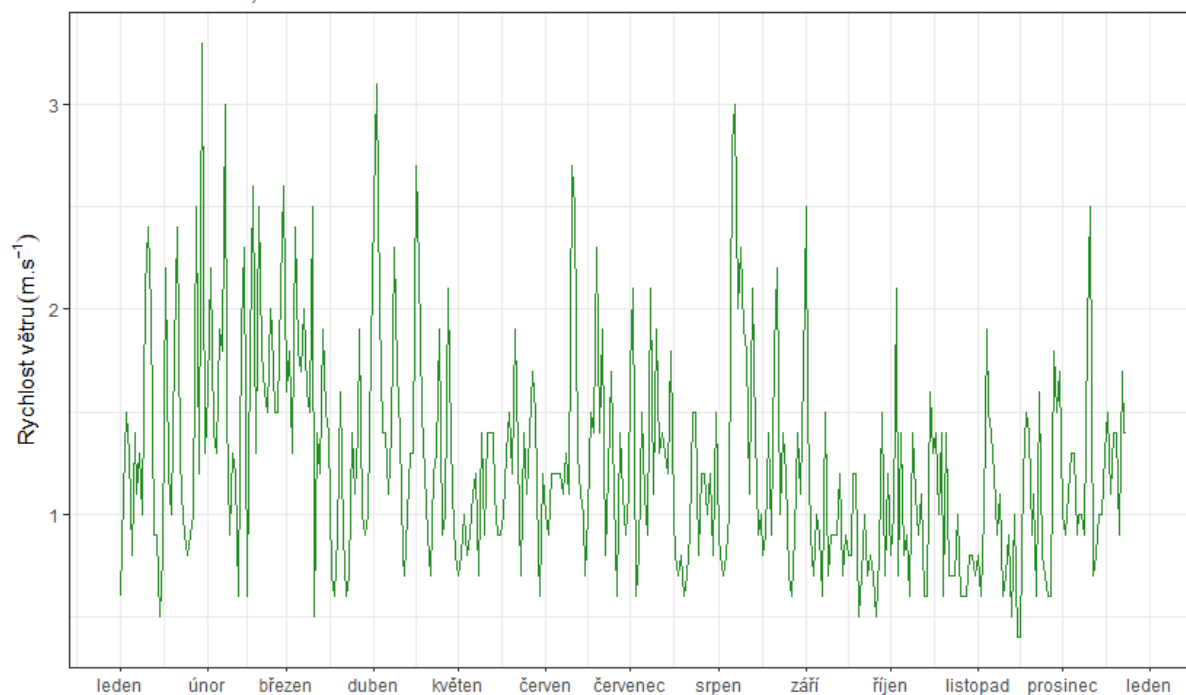
2.2 RYCHLOST PROUDĚNÍ VĚTRU

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 nad $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ se vyskytovaly výjimečně. Následující Obr. 4 zobrazuje průměrné měsíční hodnoty.

Vývoj průměrných denních rychlostí větru

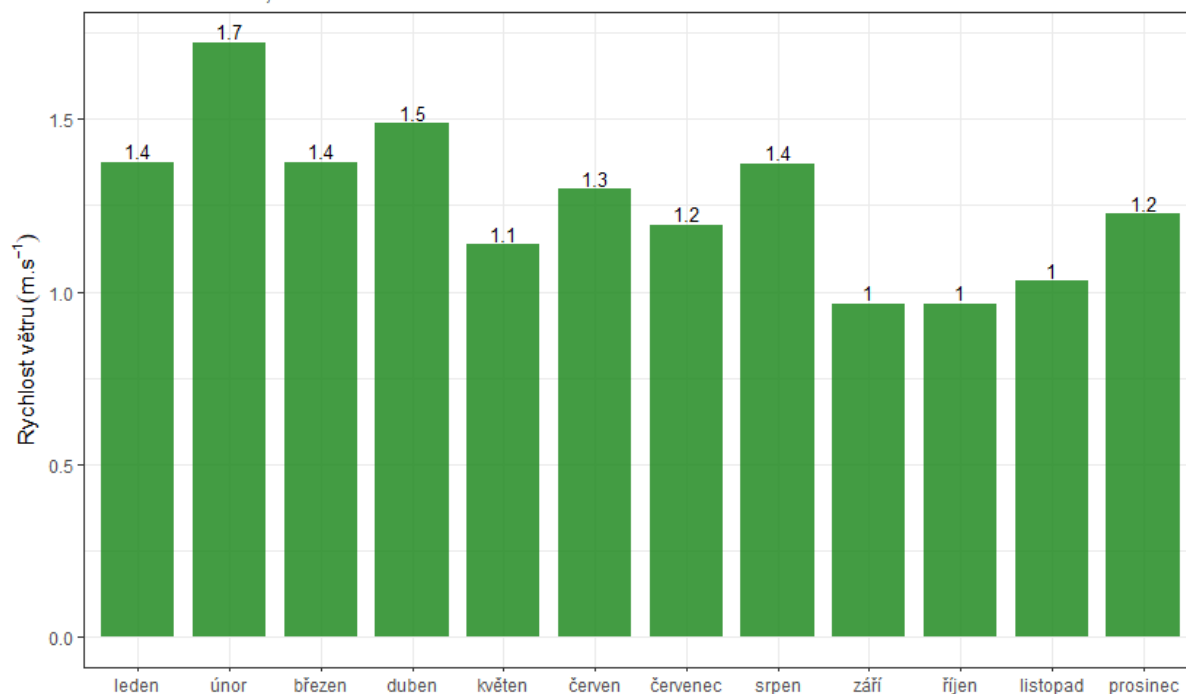
Otrokovice - město, rok 2022



Obr. 3 – Průměrné denní rychlosti větru, Otrokovice – město, rok 2022

Vývoj průměrných měsíčních rychlostí větru

Otrokovice - město, rok 2022

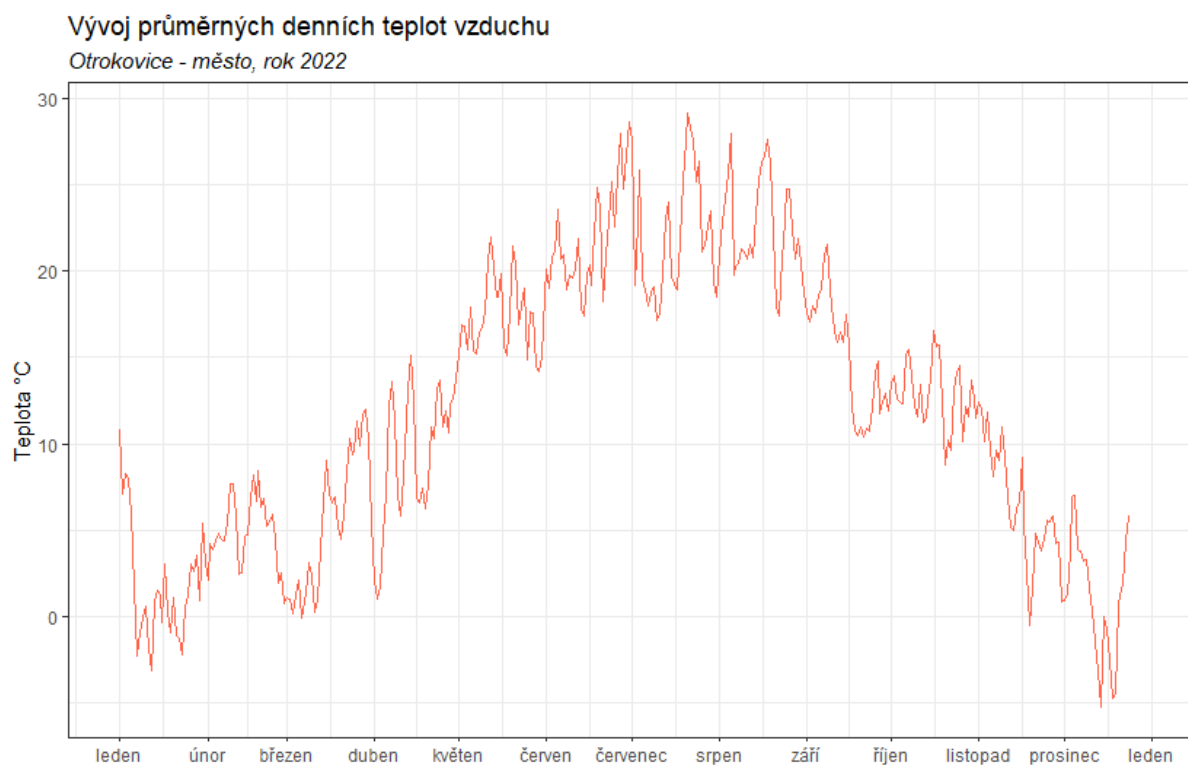


Obr. 4 – Průměrné měsíční rychlosti větru, Otrokovice – město, rok 2022

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.

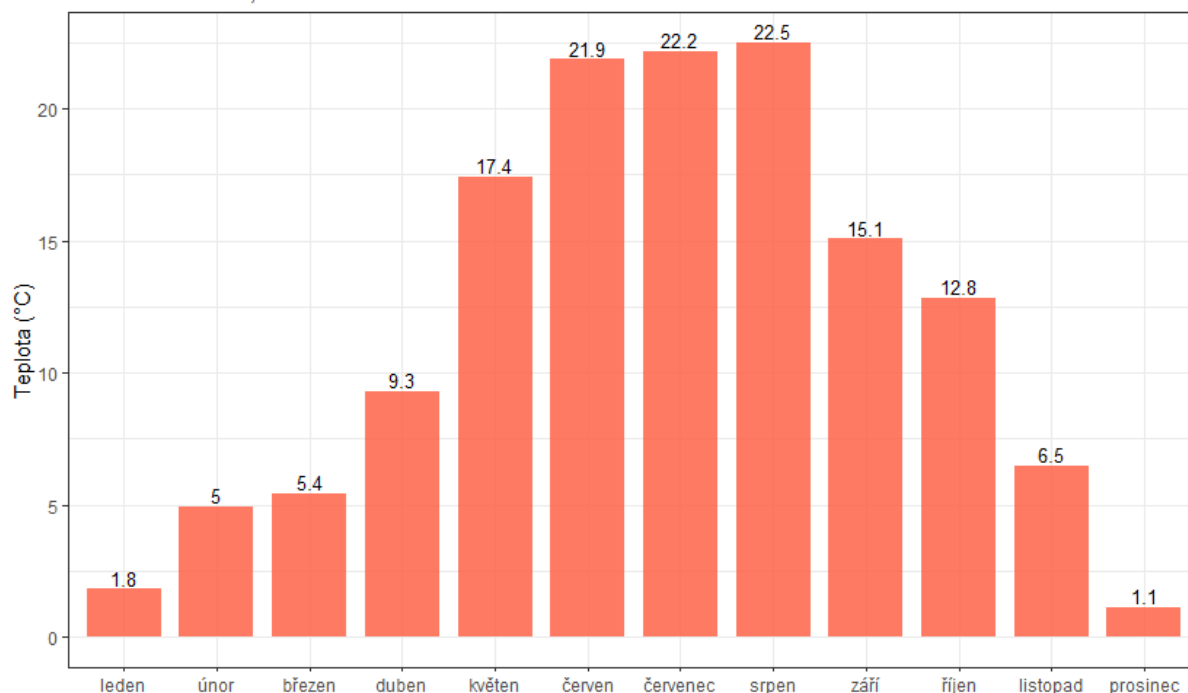
Následující Obr. 5 zobrazuje průměrné denní teploty vzduchu v lokalitě Otrokovice – město. Z grafu vyplývá, že maximální hodnoty byly v této lokalitě měřeny v srpnu a červenci, poté docházelo k postupnému poklesu teplot. Minimální teploty pak byly měřeny v prosinci a lednu (Obr. 6).



Obr. 5 – Průměrné denní teploty vzduchu, Otrokovice – město, rok 2022

Vývoj průměrných měsíčních teplot vzduchu

Otrokovice - město, rok 2022



Obr. 6 – Průměrné měsíční teploty, Otrokovice – město, rok 2022

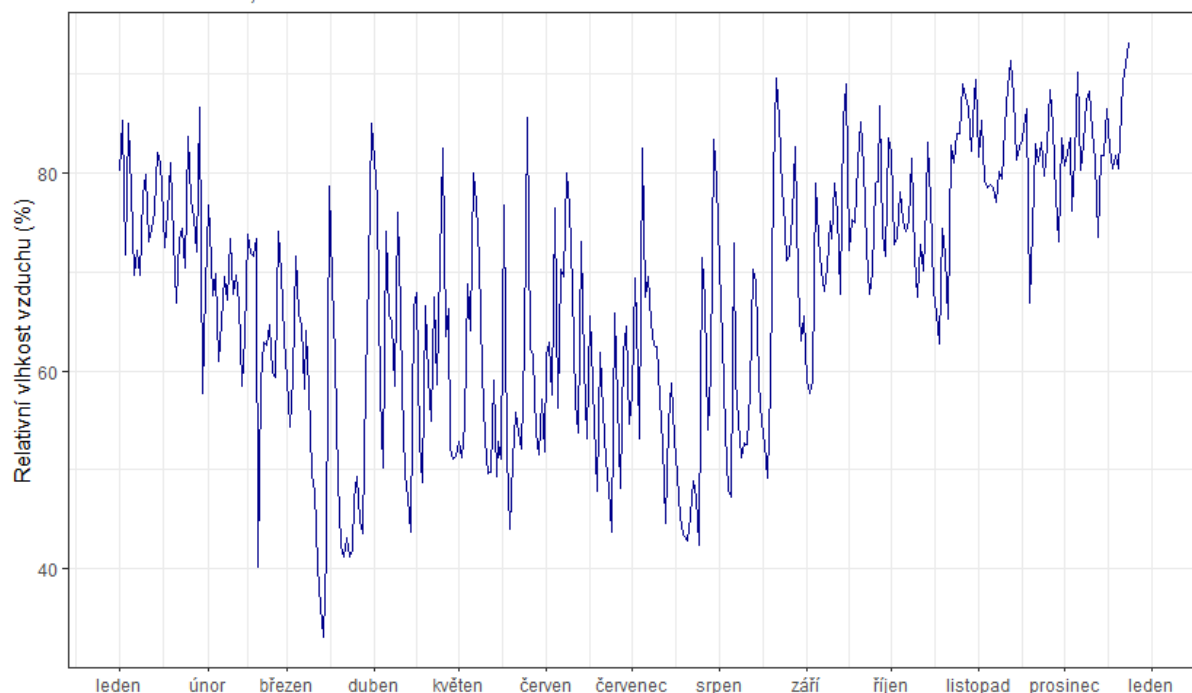
2.4 RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU

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 březnu a v létě. Průměrné měsíční hodnoty jsou uvedeny v grafu na Obr. 8

Vývoj relativních denních vlhkostí vzduchu

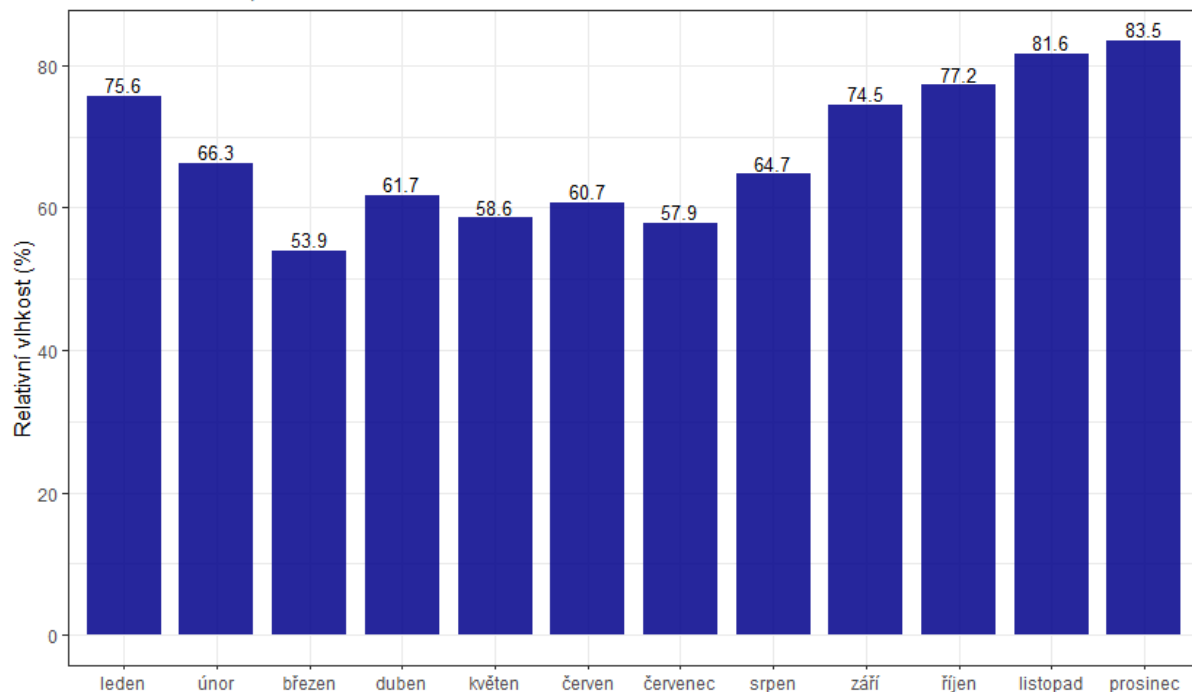
Otrokovice - město, rok 2022



Obr. 7 - Průměrné denní relativní vlhkosti vzduchu, Otrokovice – město, rok 2022

Vývoj průměrných měsíčních relativních vlhkostí vzduchu

Otrokovice - město, rok 2022

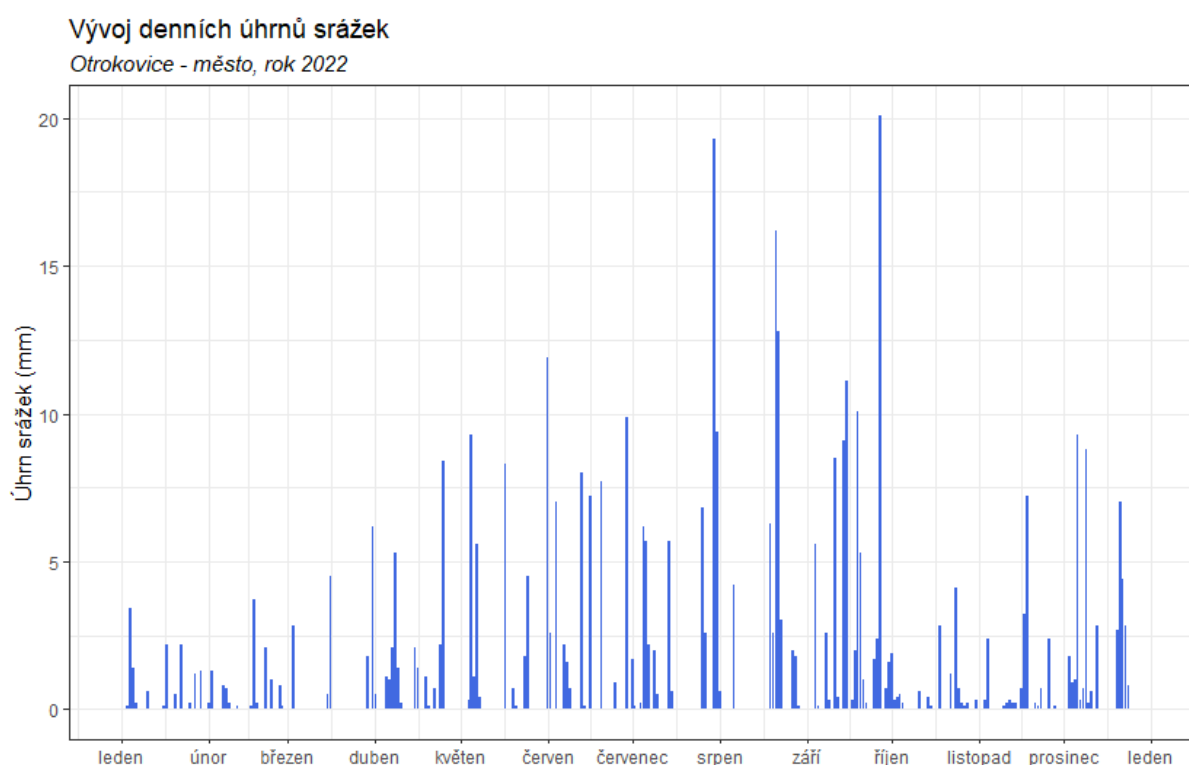


Obr. 8 – Průměrné měsíční relativní vlhkosti vzduchu, Otrokovice – město, rok 2022

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.

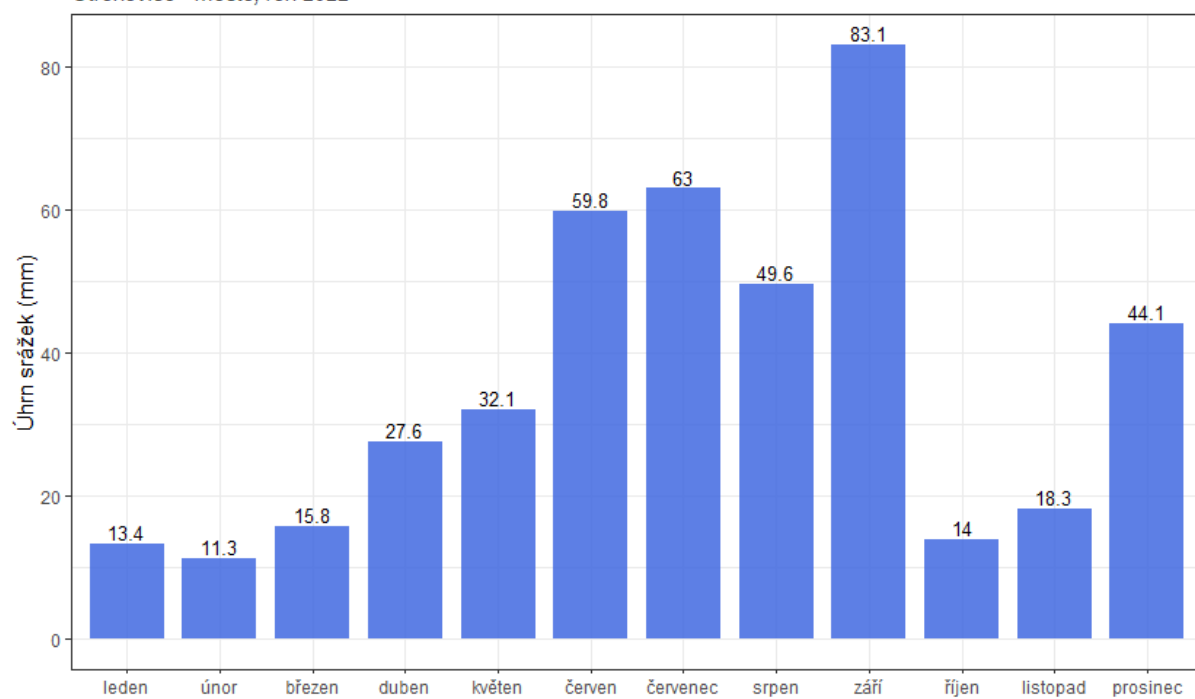
Následující Obr. 9 zobrazuje denní úhrn srážek v lokalitě Otrokovice – město. Následující graf na Obr. 10 zobrazuje měsíční úhrny srážek. Významnější úhrny srážek se vyskytovaly především v září a letních měsících.



Obr. 9 – Denní úhrn srážek, Otrokovice – město, rok 2022

Vývoj měsíčních úhrnů srážek

Otrokovice - město, rok 2022



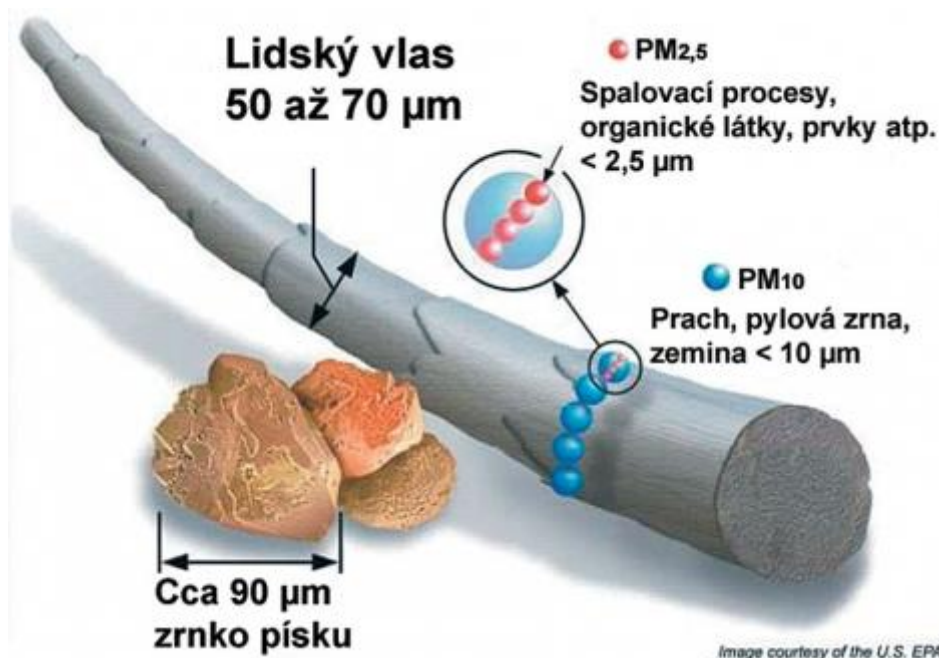
Obr. 10 – Měsíční úhrn srážek, Otrokovice – město, rok 2022

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.

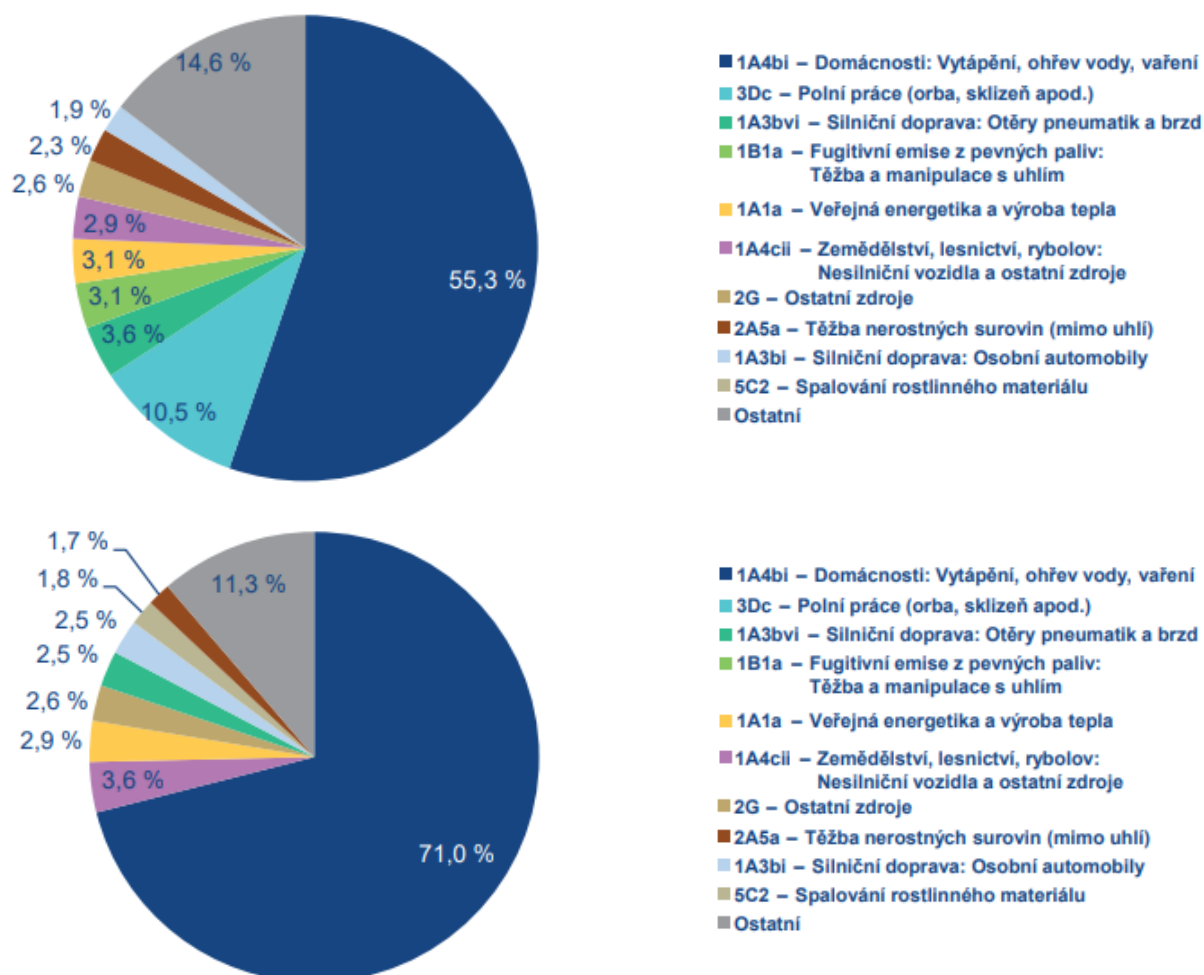


Obr. 11 – Srovnání velikostí částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ s lidským vlasem a zrnkem písku. Zdroj: US EPA

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 (znovuzvření), která do standardně prováděných emisních inventur není zahrnuta.

Mezi hlavní zdroje emisí částic v roce 2020 patřil sektor 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření, který se podílel na znečišťování ovzduší v celorepublikovém měřítku látkami PM_{10} 55,3 % a $PM_{2,5}$ 71 %. Mezi další významné zdroje emisí PM_{10} patřil sektor 3Dc – Polní práce, kde tyto emise

vznikají při zpracování půdy, sklizni a čištění zemědělských plodin. Tento sektor představoval 10,5 % emisí PM_{10} . Z hlediska účinku na lidské zdraví jsou velkým rizikem emise částic pocházející z dopravy, především ze spalování paliv ve vznětových motorech, které produkují částice o velikosti jednotek až stovek nanometrů [6]. Mobilní zdroje se na emisích PM_{10} v roce 2020 podílely 11,7 % a na emisích $PM_{2,5}$ 11,8 % [7].



Obr. 12 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích PM_{10} (nahoře) a $PM_{2,5}$ (dole) v ČR, rok 2020 [7]

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

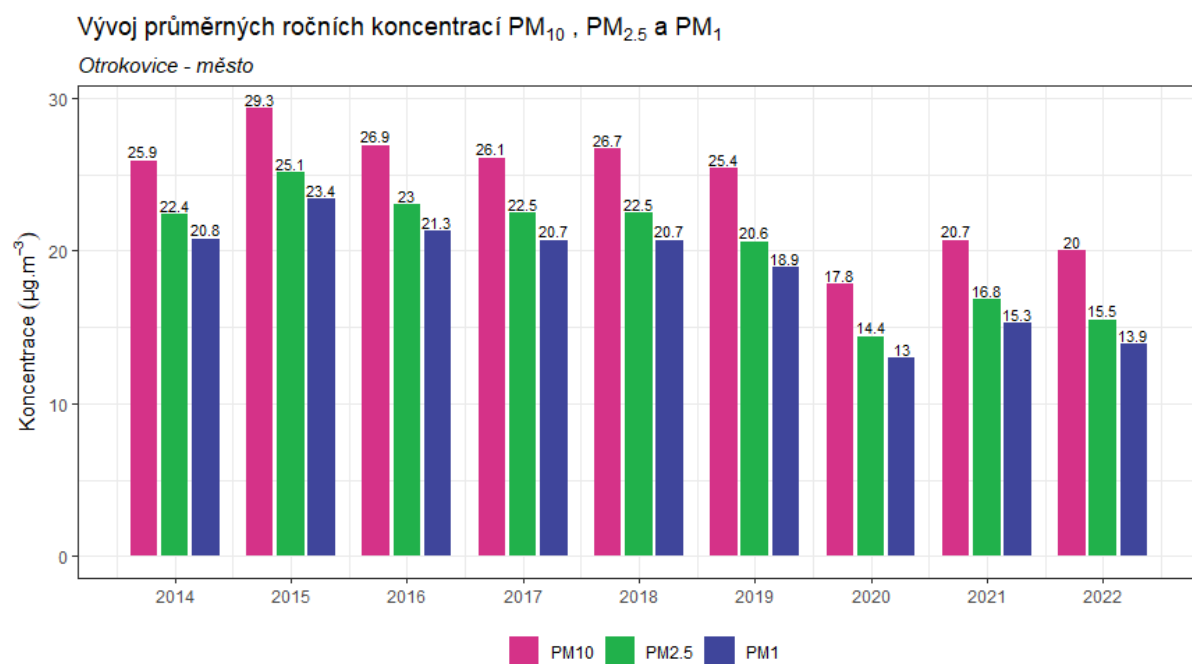
a navýšení úmrtnosti, mají jemné a ultra jemné částice s velikostí aerodynamického průměru pod 1 μm [8], [9].

3.1.1 Průměrné roční koncentrace

Průměrná roční koncentrace PM_{10} činila v roce 2022 v lokalitě Otrokovice – město $20,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Imisní limit tedy překročen nebyl. Průměrná roční koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ činila v roce 2022 v lokalitě Otrokovice – město $15,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Imisní limit tedy překročen nebyl.

Průměrná roční koncentrace PM_1 činila v roce 2022 v lokalitě Otrokovice – město $13,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

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 2021 došlo ve všech sledovaných frakcích prašnosti k mírnému poklesu průměrných ročních koncentrací. Svůj vliv na nižší koncentrace v posledních letech mohou mít i opatření spojená s onemocněním Covid 19. Nejvyšší koncentrace PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$ byly měřeny v roce 2015.

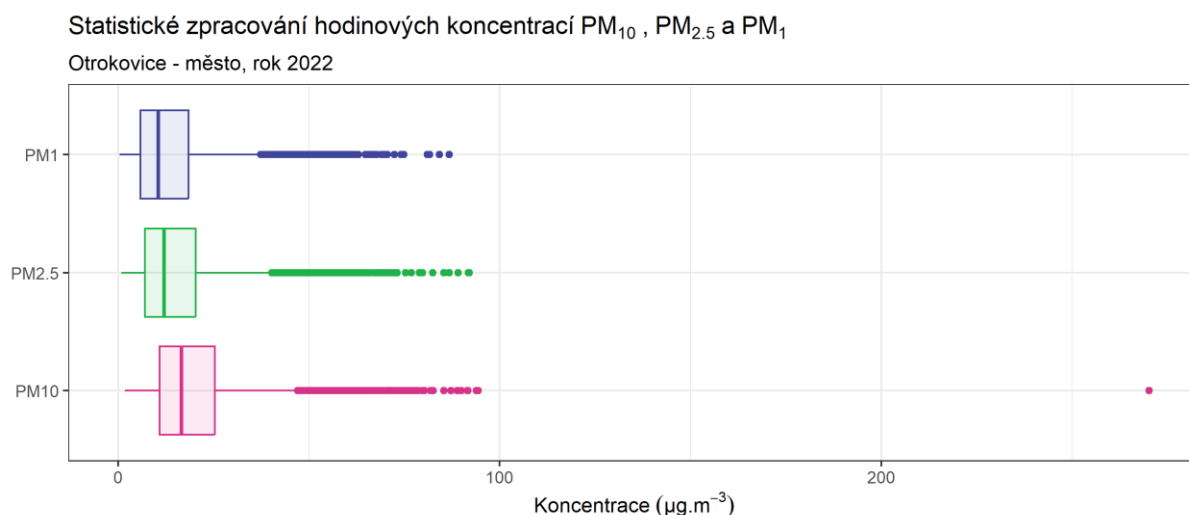


Obr. 13 -Vývoj průměrných ročních koncentrací PM, lokalita Otrokovice – město

Následující Tab. 2 pak zobrazuje statistické zpracování naměřených hodinových dat pro jednotlivé frakce PM. Grafické znázornění hodinových koncentrací pomocí krabicových grafů za rok 2022 pak zobrazuje Obr. 14.

Tab. 2 – Statistické charakteristiky hodinových koncentrací PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 v lokalitě Otrokovice – město, rok 2022

STATISTIKA	PM10	PM25	PM01
PRŮMĚR	20	15,6	14
MAXIMUM	270,2	92	86,7
MEDIÁN	16,6	12	10,5
MINIMUM	1,8	0,8	0,4

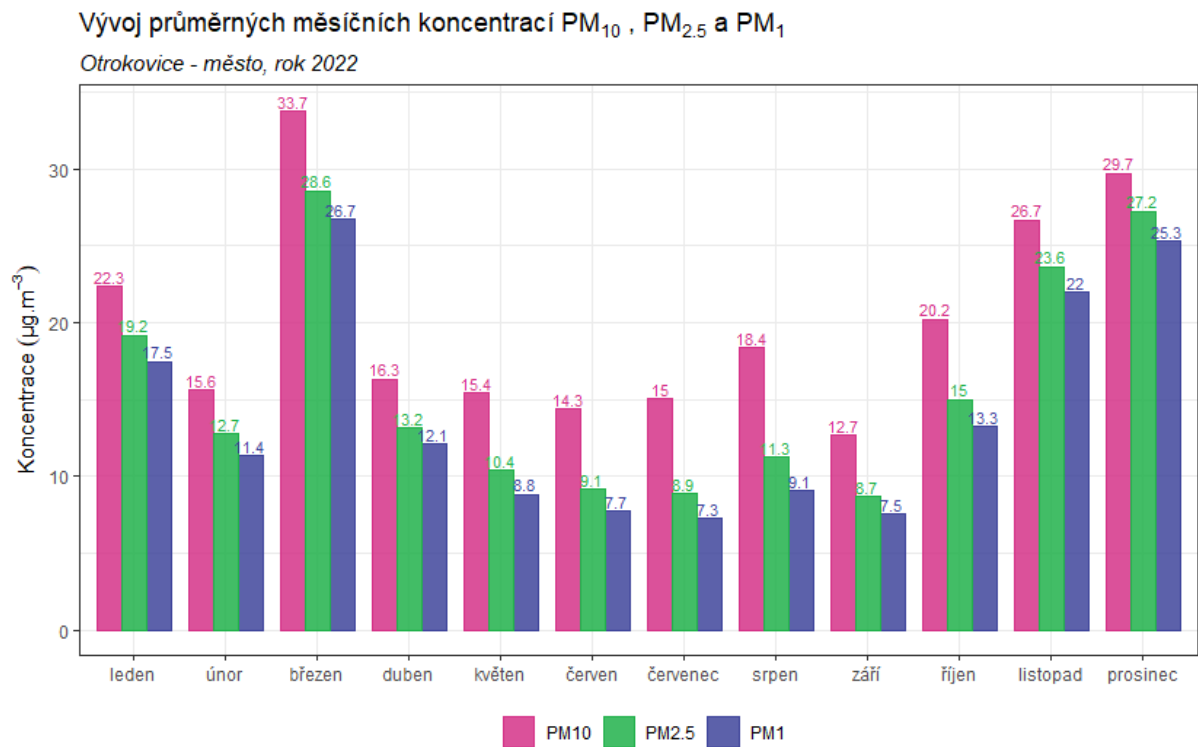


Obr. 14 – Statistické zpracování hodinových koncentrací PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 v lokalitě Otrokovice – město, rok 2022

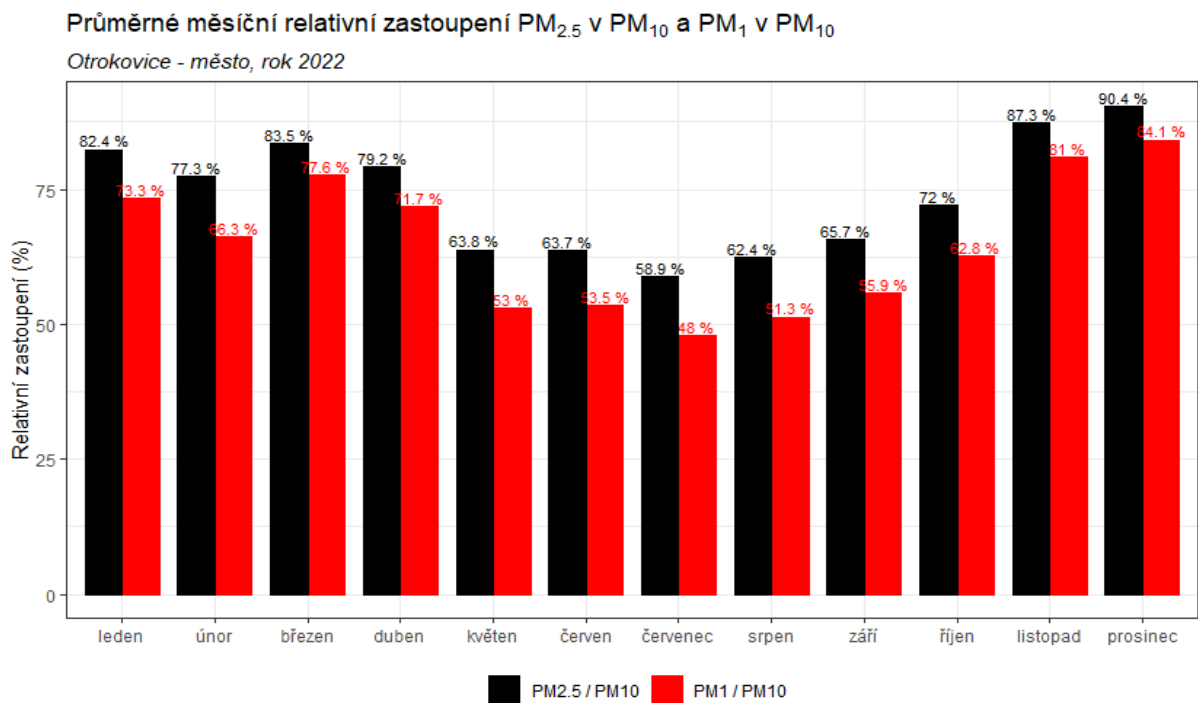
3.1.2 Průměrné měsíční koncentrace

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 březnu. Ze začátku měsíce března došlo k významnému poklesu teplot (nutnost více topit). Zároveň poklesly i rychlosti větru, což naznačuje velmi nepříznivé podmínky (Obr. 3 – Obr. 6). Rovněž je patrné, že v srpnu došlo k mírnému nárůstu koncentrací. Tento nárůst je patrný i u dalších měřicích lokalit v regionu, jde zřejmě o nadregionální vliv (více viz kap. 3.1.5).

Průměrné měsíční zastoupení jemnějších frakcí v PM_{10} 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, kdy se jemnější frakce podílí zhruba 60 %.



Obr. 15 - Průměrné měsíční koncentrace PM₁₀, PM_{2.5} a PM₁, Otrokovice – město, rok 2022



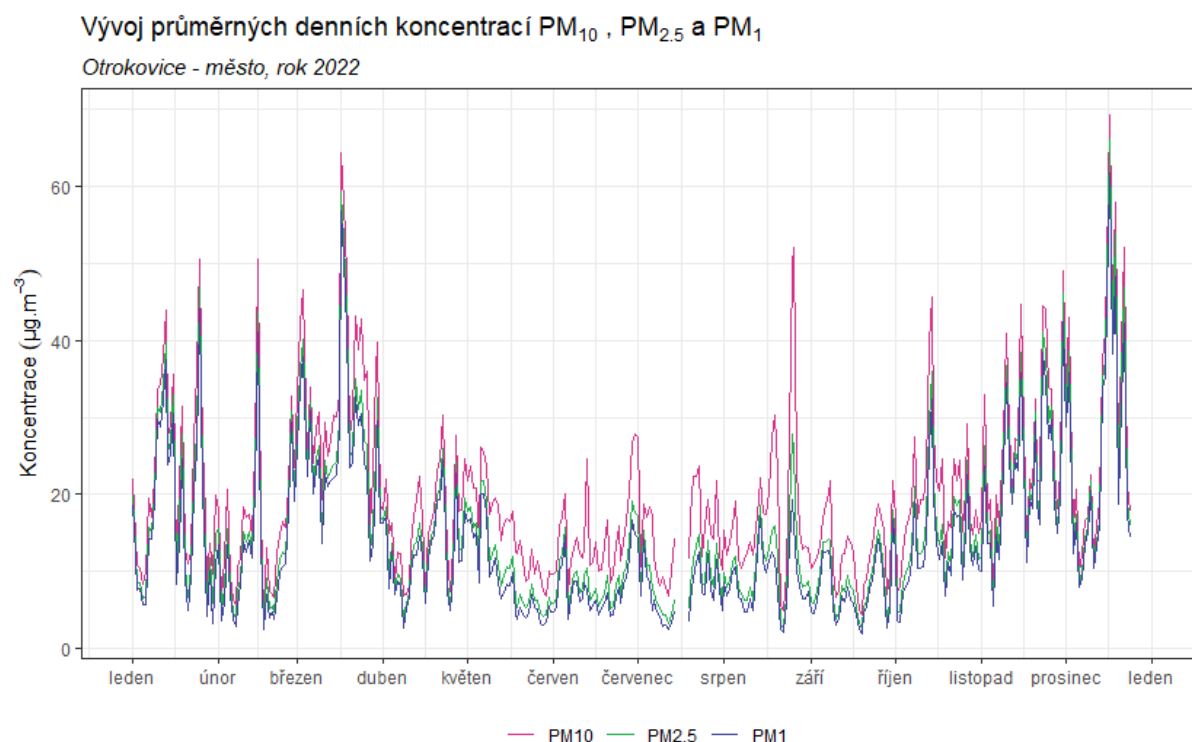
Obr. 16 – Průměrné měsíční zastoupení PM_{2.5} v PM₁₀ a PM₁ v PM₁₀, lokalita Otrokovice – město, rok 2022

3.1.3 Průměrné denní koncentrace PM

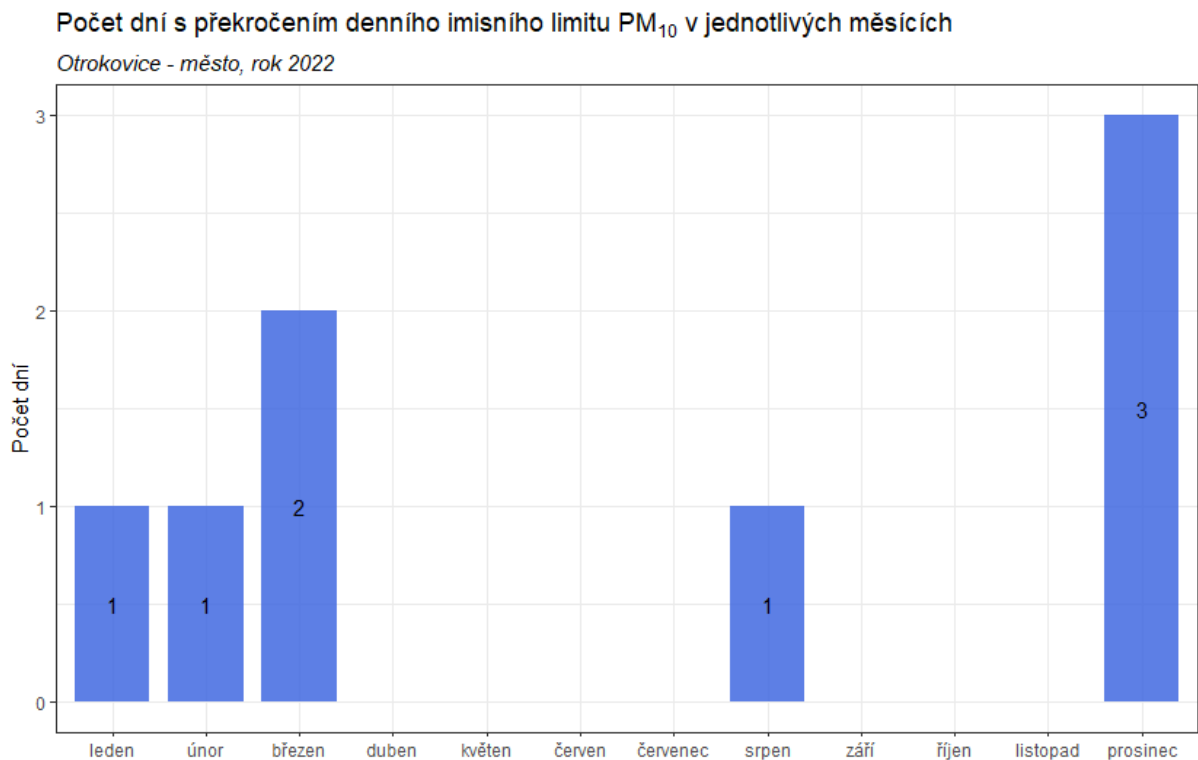
Vývoj průměrných denních koncentrací PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 v lokalitě Otrokovice – město zobrazuje následující Obr. 17. Z grafu je patrné, že koncentrace jemnějších frakcí $PM_{2,5}$ a PM_1 do značné míry kopírují hrubší frakci PM_{10} a z velmi velké části tak PM_{10} tvoří.

Průměrné denní koncentrace vyšší, než je hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM_{10} ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) se vyskytují pouze v chladné části. V měsících květen–září, kdy nejsou v provozu lokální topeniště a jsou příznivější rozptylové podmínky, jsou koncentrace všech frakcí PM nižší a k překračování hodnoty limitu až na výjimky nedochází. Počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu v jednotlivých měsících zobrazuje následující Obr. 18. Nejvíce překročení bylo naměřeno v prosinci (Obr. 5). Za rok 2022 došlo souhrnně pouze k 8 překročením hodnoty imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM_{10} , imisní limit tedy překročen nebyl (zákon umožňuje za kalendářní rok 35 překročení této hodnoty).

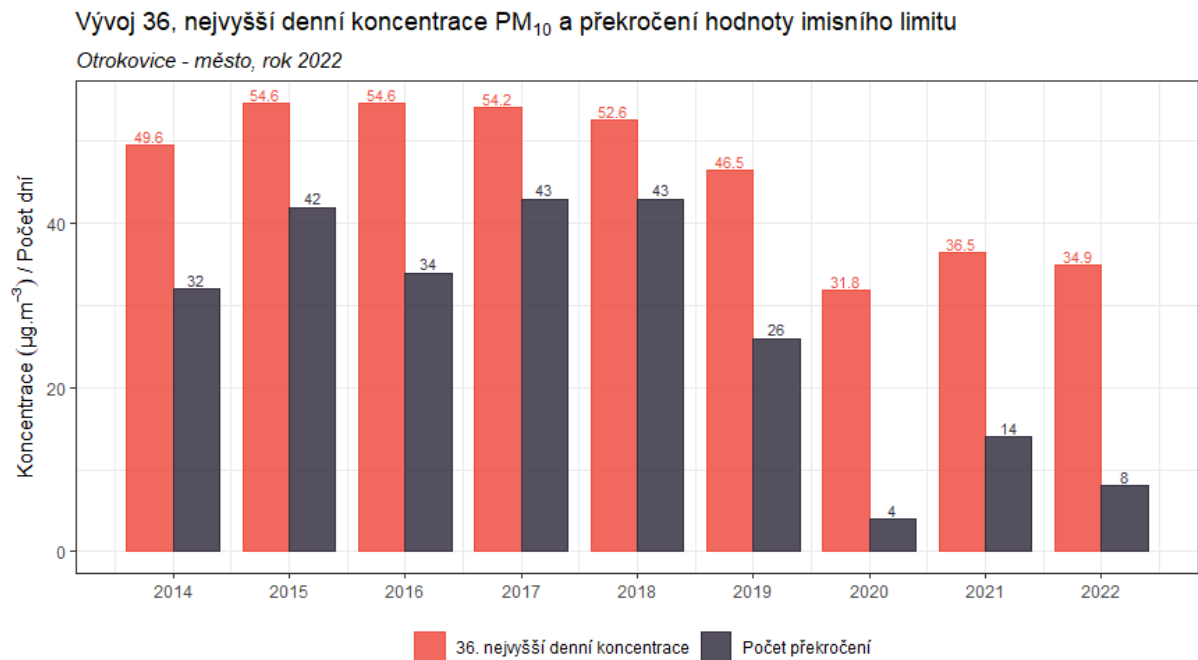
Vývoj charakteristik, vztahujících se k dennímu imisnímu limitu pro PM_{10} (36. nejvyšší koncentrace PM_{10} za kalendářní rok a počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu) zobrazuje Obr. 19. Z grafu je patrné, že v roce 2022 došlo proti roku 2021 k mírnému poklesu obou sledovaných charakteristik.



Obr. 17 – Vývoj průměrných hodinových koncentrací PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 , Otrokovice – město, rok 2022



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



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.

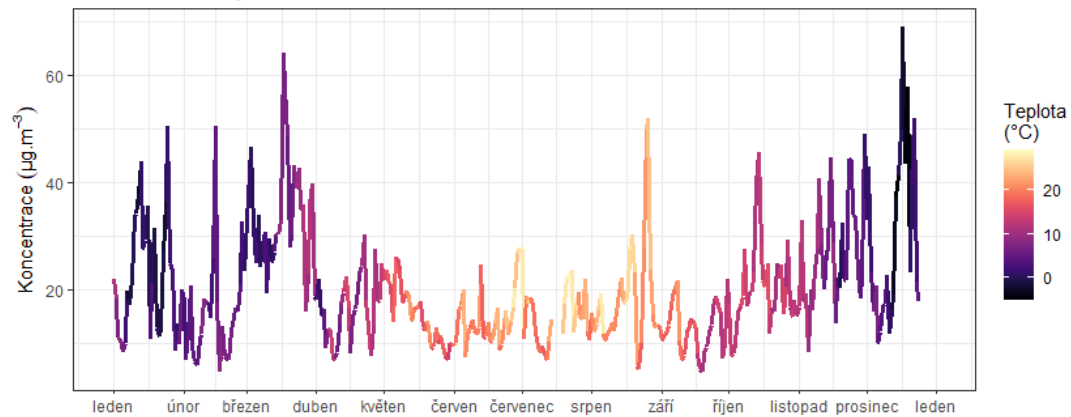
Na Obr. 20 jsou nad sebou zobrazeny tři grafy. Křivka vždy zobrazuje vývoj koncentrací PM_{10} , zbarvení křivky na horním grafu vždy zobrazuje aktuální teplotu vzduchu, v prostředním grafu pak rychlost proudění větru a ve spodním relativní vlhkost.

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 rozptylu škodlivin a koncentrace se tak neustále zvyšují.

V případě března, kdy byly měřeny nejvyšší koncentrace PM a došlo k nejvíce překročením hodnoty denního imisního limitu pro PM_{10} měly meteorologické podmínky zřejmě významný vliv. Ze začátku měsíce došlo k propadu teplot až k bodu mrazu, průměrná měsíční teplota se téměř neliší od února. Z grafu rychlosti větru je patrné, že při nejvyšších koncentracích panovaly velmi nízké rychlosti větru až bezvětří. V druhé polovině měsíce března je patrný rovněž významný pokles relativní vlhkosti vzduchu, který zapříčinil nejnížší průměrnou vlhkost v průměru mezi měsíci (Obr. 8). To může naznačovat vpád suchého kontinentálního vzduchu, který v sobě mohl nést i znečištění. Suchý vzduch beze srážek ve spojení s nižšími teplotami a nízkými rychlostmi větru s tak mohl podepsat na vyšších koncentracích škodlivin v ovzduší.

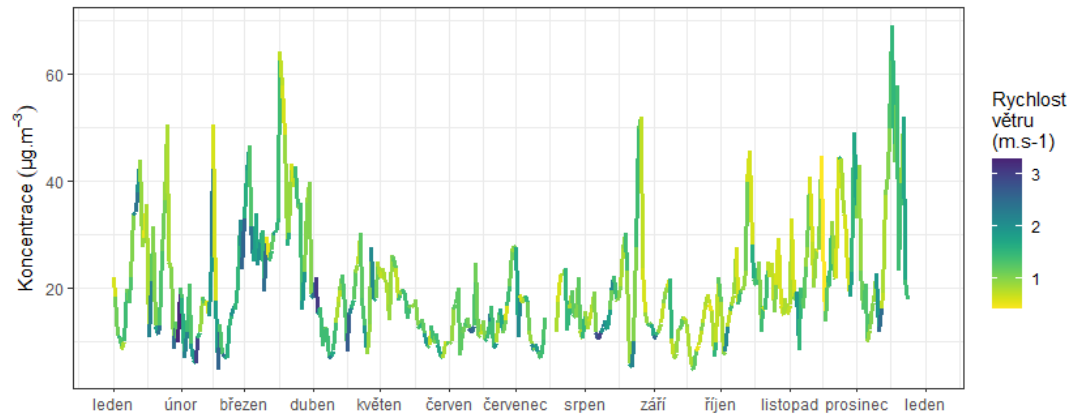
Vývoj průměrných denních koncentrací PM_{10} v závislosti na teplotě vzduchu

Otrokovice - město, rok 2022



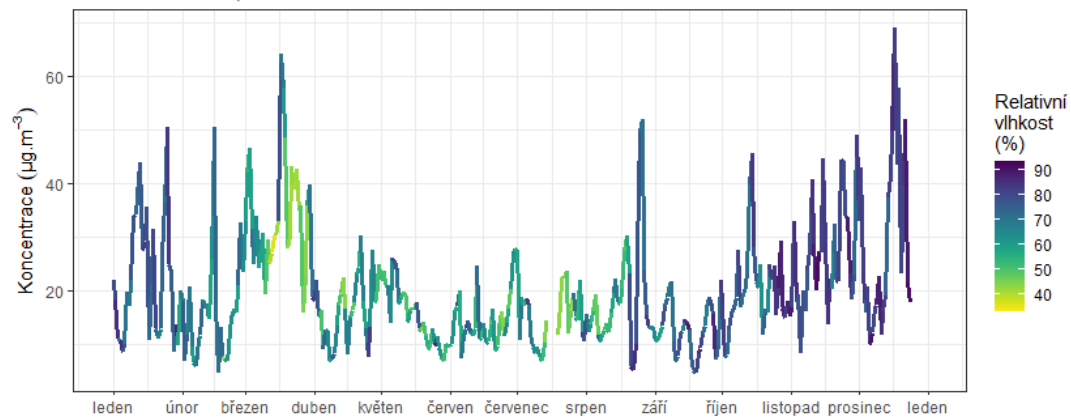
Vývoj průměrných denních koncentrací PM_{10} v závislosti na rychlosti větru

Otrokovice - město, rok 2022



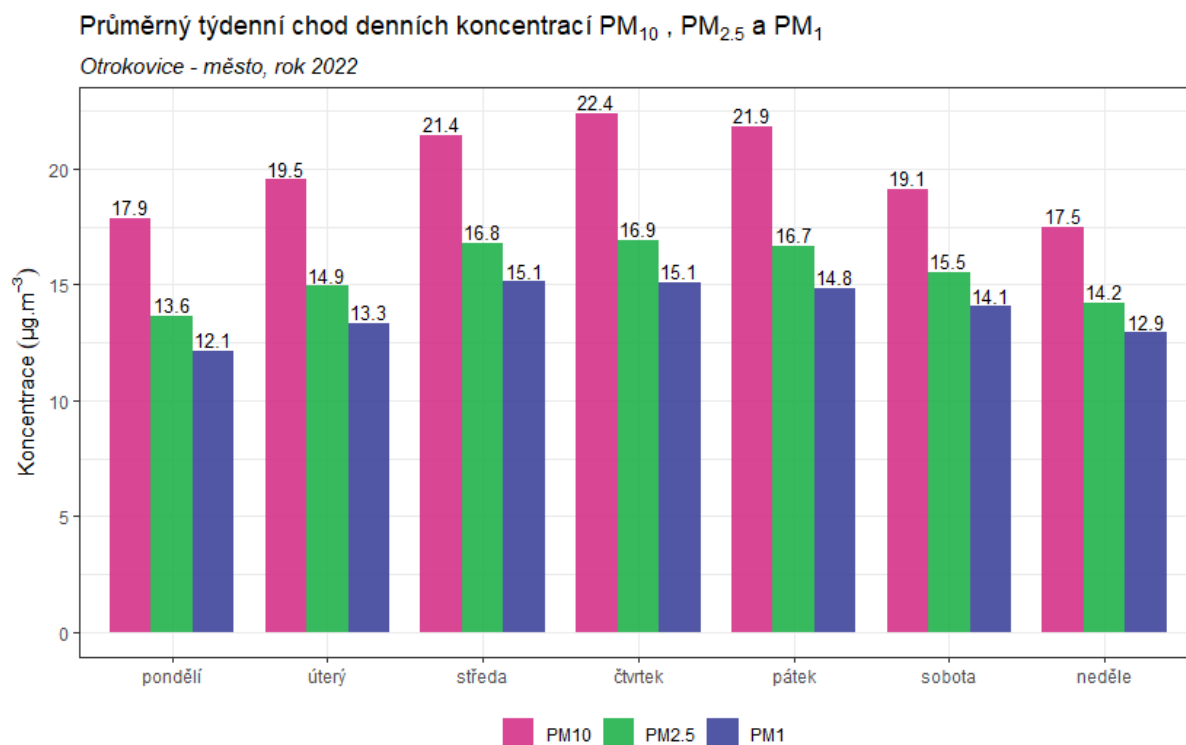
Vývoj průměrných denních koncentrací PM_{10} v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu

Otrokovice - město, rok 2022



Obr. 20 – Vliv teploty (nahore), rychlosti větru (uprostřed) a relativní vlhkosti (dole) na koncentrace PM_{10} , Otrokovice – město, rok 2022

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



Obr. 21 – Průměrný týdenní chod denních koncentrací PM_{10} , Otrokovice – město, rok 2022

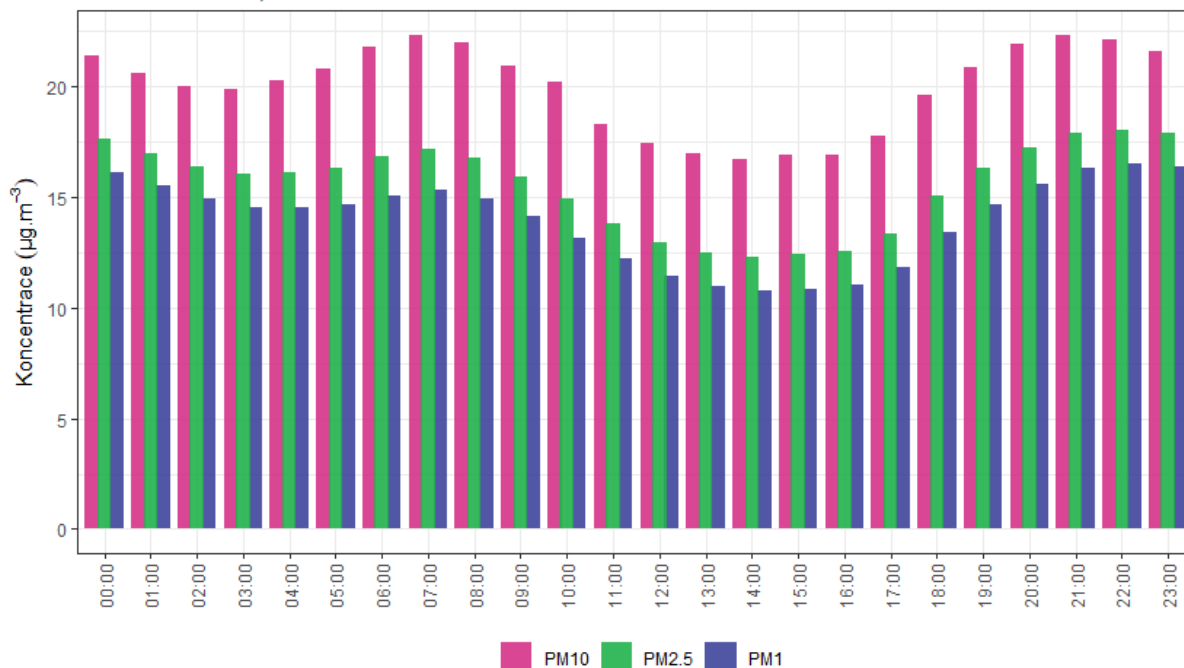
3.1.4 Analýza hodinových koncentrací – denní chod a koncentrační růžice

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 2022

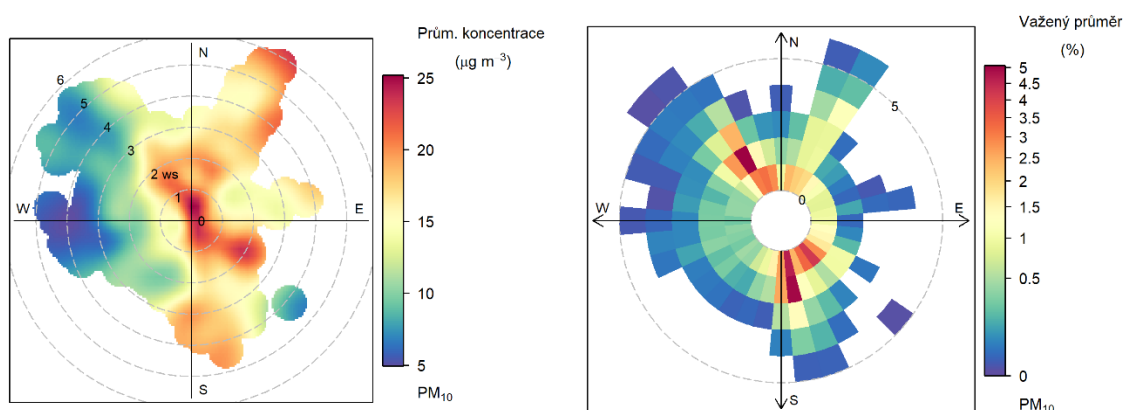


Obr. 22 – Denní chod hodinových koncentrací PM₁₀, PM_{2.5} a PM₁, Otrokovice – město, rok 2022

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.

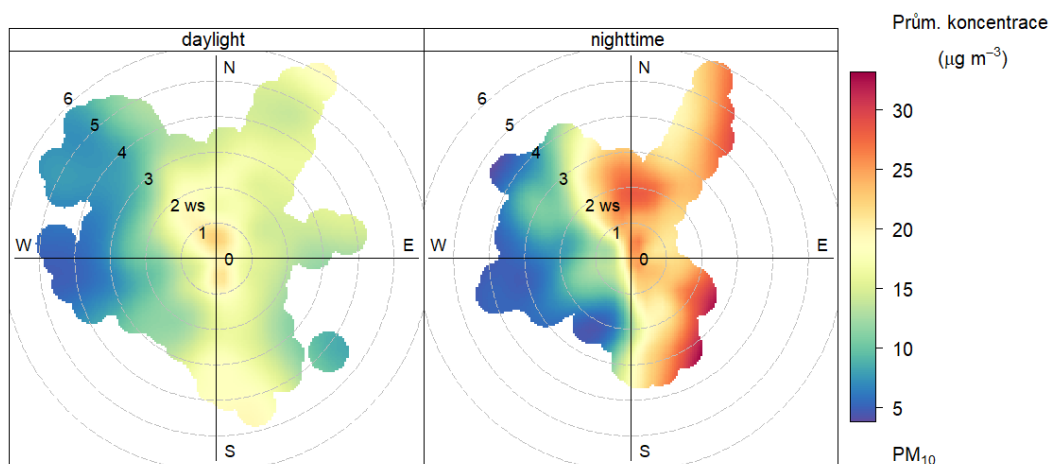
Následující Obr. 23 zobrazuje tyto dva typy koncentračních růžic pro lokalitu Otrokovice – město.



Obr. 23 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro PM_{10} , Otrokovice – město, rok 2022

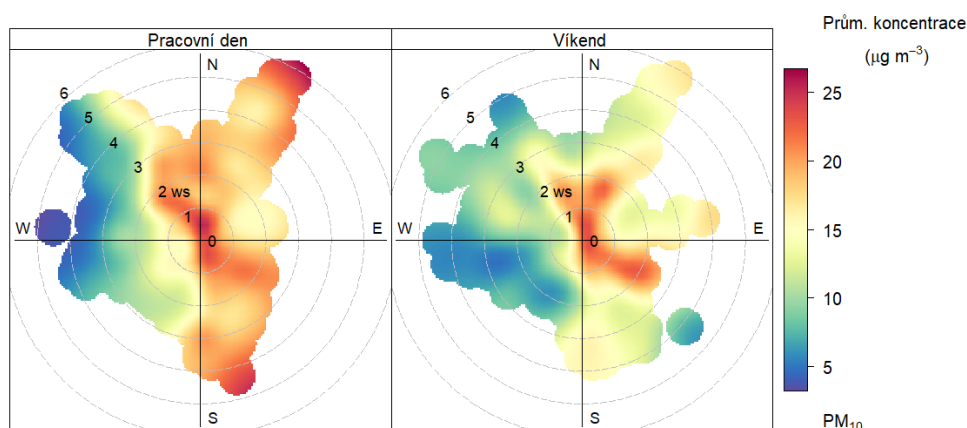
Z Obr. 23 vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při severním až severovýchodním a jihovýchodním proudění a převážně nižších rychlostech větru. Co se týče relativního příspěvku k měřeným koncentracím, převládají severozápadní, jižní a jihovýchodní směry větru (z těchto směrů fouká nejčastěji) a spíše nízké rychlosti větru.

Na následujícím Obr. 24 je koncentrační růžice rozdělená na den a noc. Vyšší koncentrace při bezvětrí či nízkých rychlostech větru převládají zejména v nočních hodinách. V denních hodinách jsou koncentrace zvýšené zejména při bezvětrí.



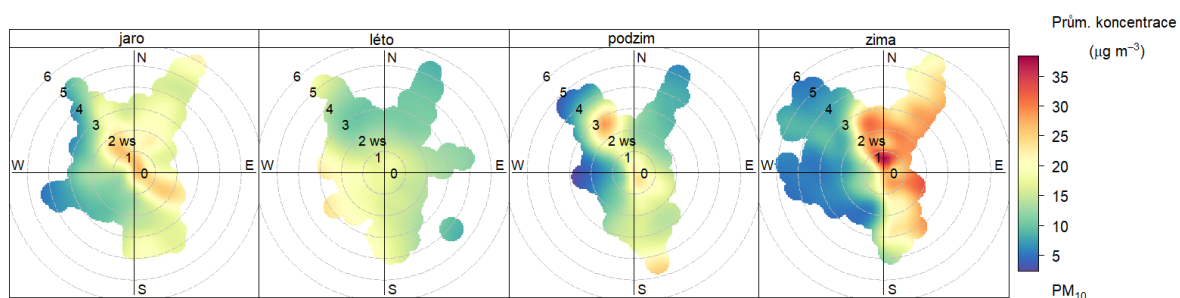
Obr. 24 – Koncentrační růžice ve dne (daytime) a v noci (nighttime), Otrokovice – město, rok 2022

Koncentrační růžici je taky možné rozdělit na pracovní dny a víkendy. Jak ukazuje následující Obr. 25, vyšší koncentrace jsou měřeny v pracovní dny, o víkendech jsou koncentrace nižší, mírně zvýšené zejména při bezvětrí a hlavních směrech proudění (sever – jihovýchod).



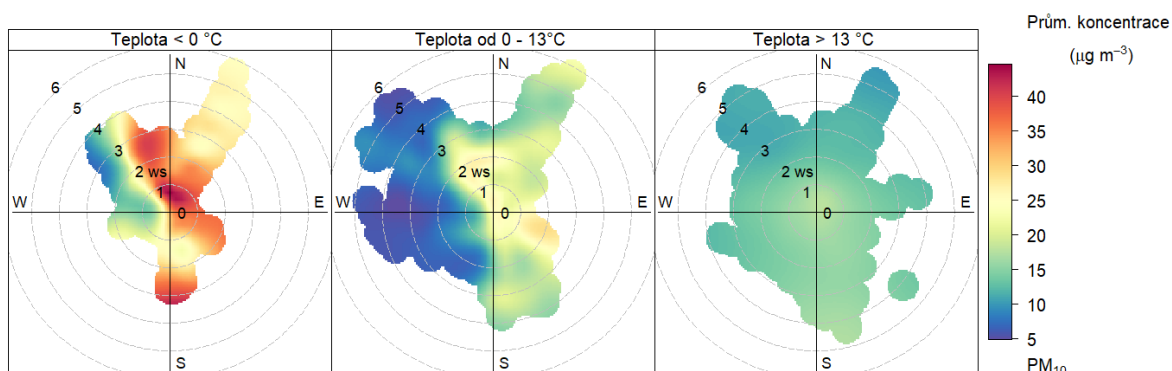
Obr. 25 – Koncentrační růžice v pracovní dny a o víkendu, Otrokovice – město, rok 2022

Následující Obr. 26 zobrazuje koncentrační růžice v jednotlivých ročních obdobích. Vysoké koncentrace byly měřeny pouze v zimních měsících, zvýšené koncentrace byly zaznamenány rovněž na jaře či na podzim. Zvýšené koncentrace v zimních měsících může být důsledek teplotní inverze, zhoršených rozptylových podmínek a vlivu lokálních topenišť. V jarních měsících mohou přetrvávat nízké teploty, a dále může vyšší prašnost souviset s posypovým materiálem, který po zimě vysychá a může dojít k jeho resuspenzi.



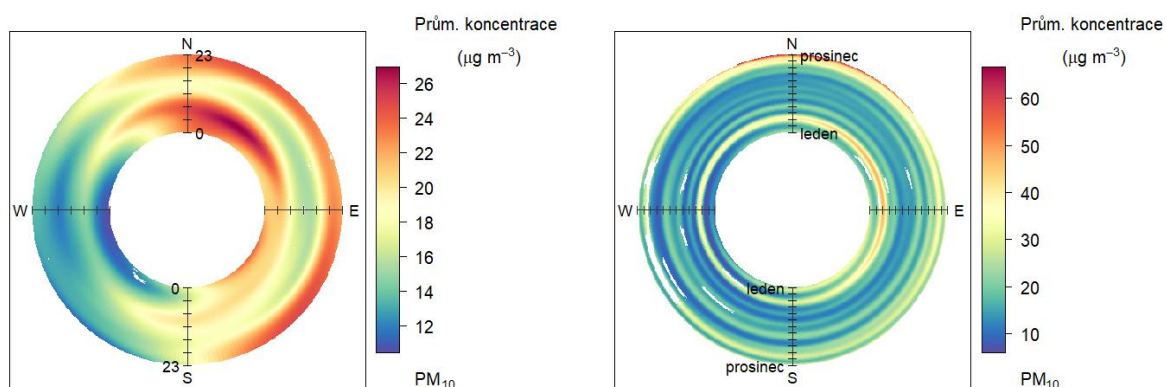
Obr. 26 – Koncentrační růžice jednotlivých ročních období, Otrokovice – město, rok 2022

Dále lze rozdělit koncentrační růžice na základě teplot vzduchu. Z Obr. 27 je pak patrné, že nejvyšší koncentrace jsou měřeny při teplotách vzduchu nižších než 0 °C a nízkých rychlostech větru při proudění severu, východu a jihu. Při vyšších teplotách jsou již pouze mírně zvýšené.



Obr. 27 – Koncentrační růžice členěná dle teplot, Otrokovice – město, rok 2022

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. 28 – Průměrný denní chod (vlevo) a roční chod (vpravo) koncentrací dle směru větru, Otrokovice – město, rok 2022

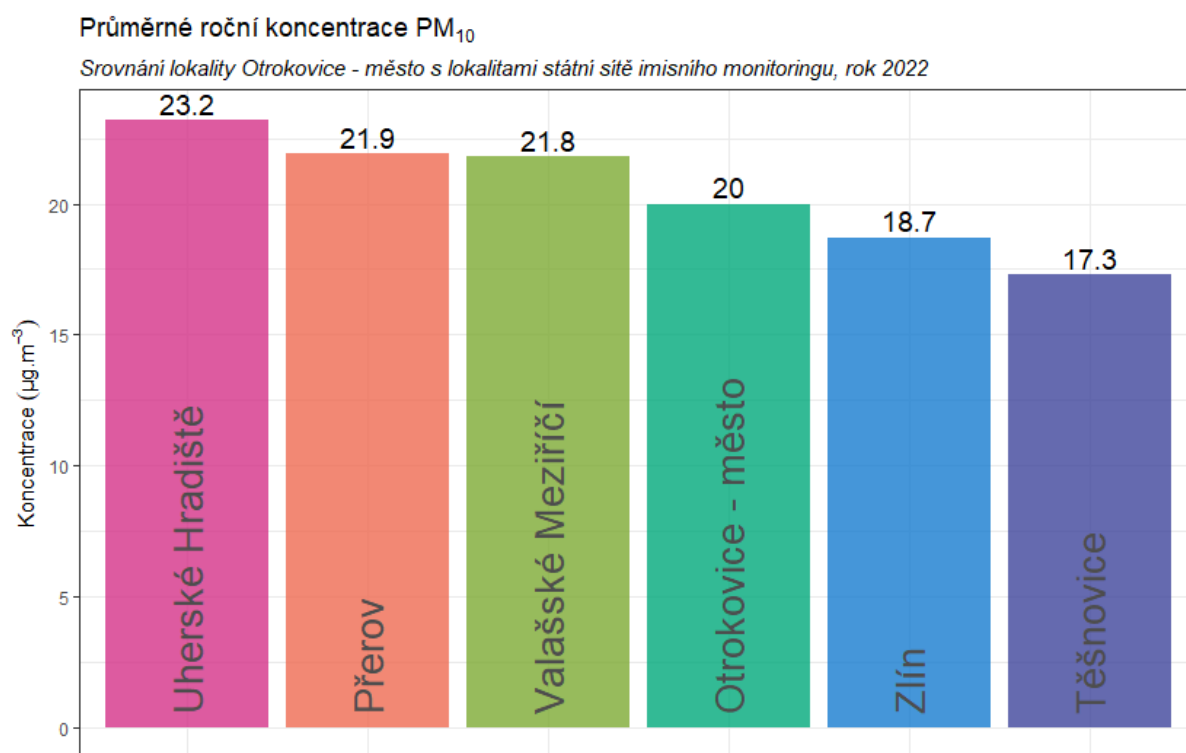
Z Obr. 28 pak vyplývá, že v případě lokality Otrokovice – město v roce 2022 byly nejvyšší koncentrace PM_{10} měřeny v nočních a ranních hodinách při proudění ze severu, v e večerních pak ze severu a jihovýchodu. Na těchto koncentracích se může podílet vliv dopravy, vytápění, ale také dálkového transportu z těchto směrů. Při proudění ze západu bývají koncentrace pouze nízké. V případě ročního chodu jsou významné zejména zimní měsíce, v roce 2022 pak zejména konec roku a severní proudění.

3.1.5 Srovnání s lokalitami státní sítě imisního monitoringu

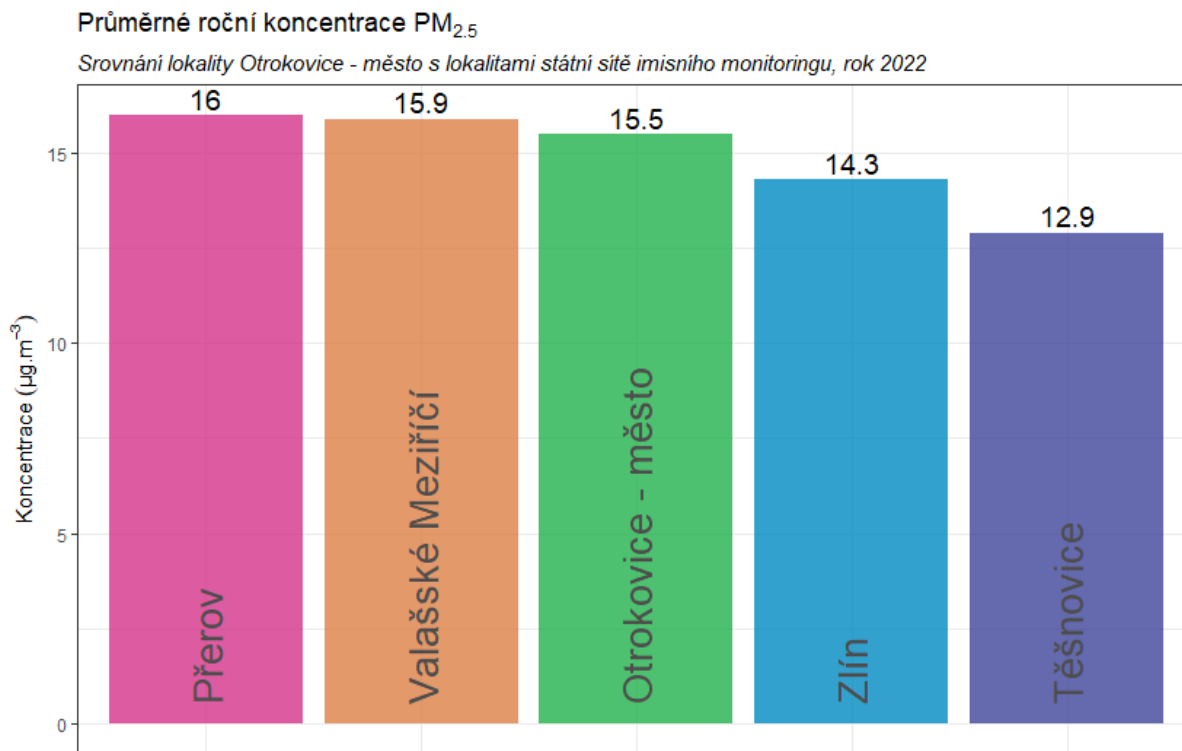
V této podkapitole budou koncentrace, naměřené v lokalitě Otrokovice – město, srovnány s hodnotami naměřenými ve státní síti imisního monitoringu Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ).

Na následujícím Obr. 29 jsou zobrazeny průměrné roční koncentrace částic PM_{10} na blízkých lokalitách v roce 2022 a srovnány s lokalitou Otrokovice – město. Z grafu vyplývá, že v lokalitě Otrokovice – město jsou měřeny průměrné koncentrace PM_{10} . Nejnižší hodnotu naměřila venkovská pozadřová lokalita Těšnovice. Nejvyšší koncentrace PM_{10} byly naměřeny v dopravní lokalitě Uherské Hradiště. Žádná z uvedených lokalit nepřekročila imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM_{10} .

Na následujícím grafu na Obr. 30 jsou obdobně zobrazeny hodnoty průměrných ročních koncentrací $PM_{2,5}$ na vybraných lokalitách. Z grafu je patrné, že lokalita Otrokovice – město dosahuje opět průměrných hodnot v regionu, nejvyšší koncentrace $PM_{2,5}$ byly naměřeny v lokalitě Přerov (v lokalitě Uherské Hradiště měření $PM_{2,5}$ neprobíhá). Žádná z lokalit nepřekročila imisní limit pro průměrnou roční koncentraci $PM_{2,5}$.



Obr. 29 – Srovnání průměrné roční koncentrace PM_{10} lokality Otrokovice – město s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2022



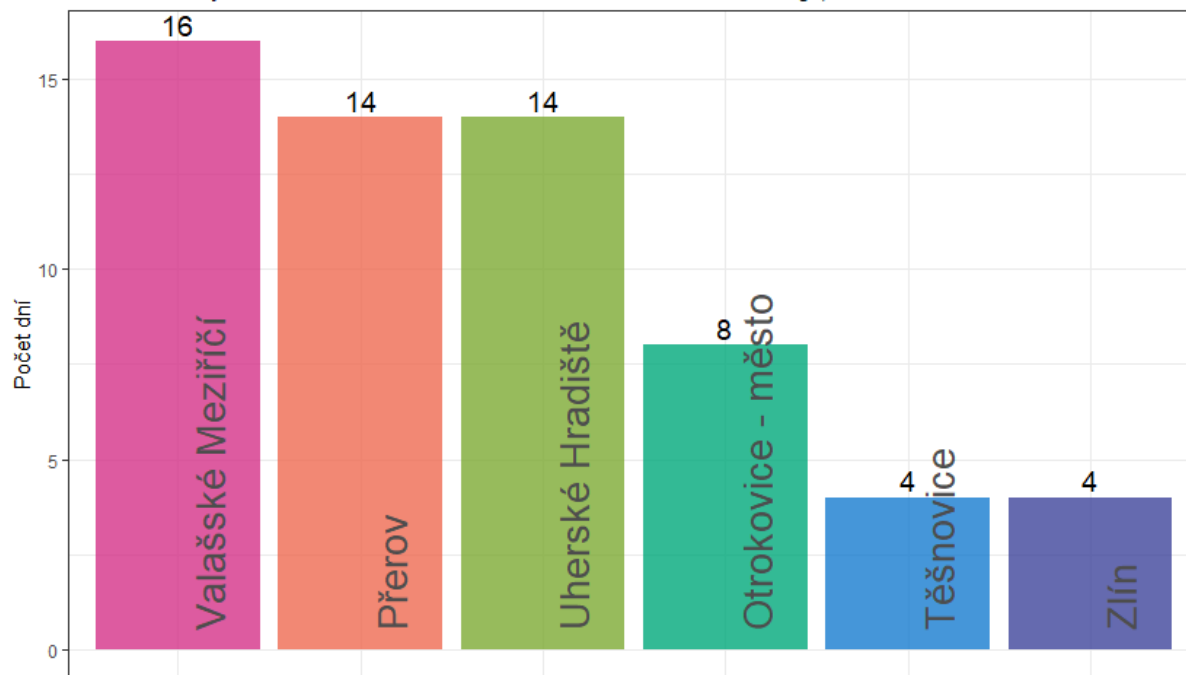
Obr. 30 – Srovnání průměrné roční koncentrace PM_{2,5} lokality Otrokovice – město s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2022

Graf na následujícím Obr. 31 zobrazuje poslední legislativou sledovanou charakteristiku pro suspendované částice PM₁₀. Jedná se o imisní limit pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀, jehož hodnota může být z kalendářní rok 35x překročena. V grafu je zobrazen právě počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀. 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 2022, došlo k 8 překročením. Nejvíce překročení zaznamenala lokalita Valašské Meziříčí (16). Nejméně překročení zaznamenala opět venkovská pozadřová lokalita Těšnovice a také Zlín (4).

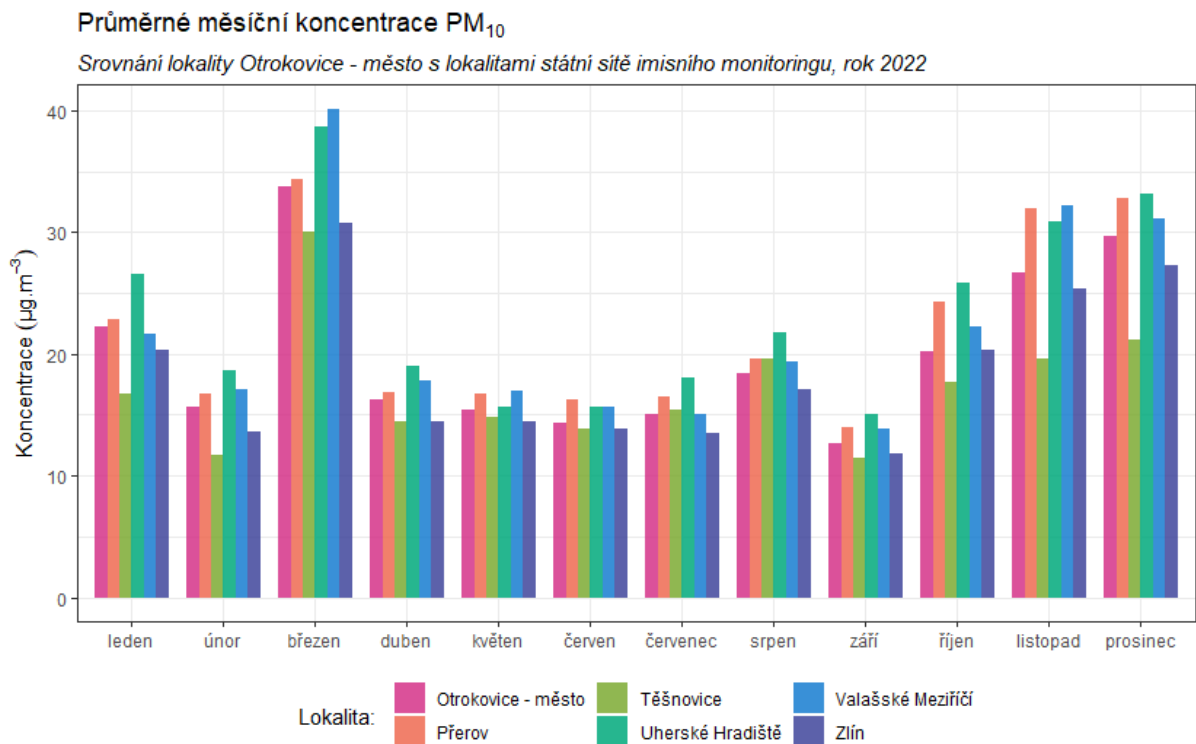
Počet dní s koncentracemi PM_{10} vyššími, než je hodnota denního imisního limitu

Srovnání lokality Otrokovice - město s lokalitami státní sítě imisního monitoringu, rok 2022

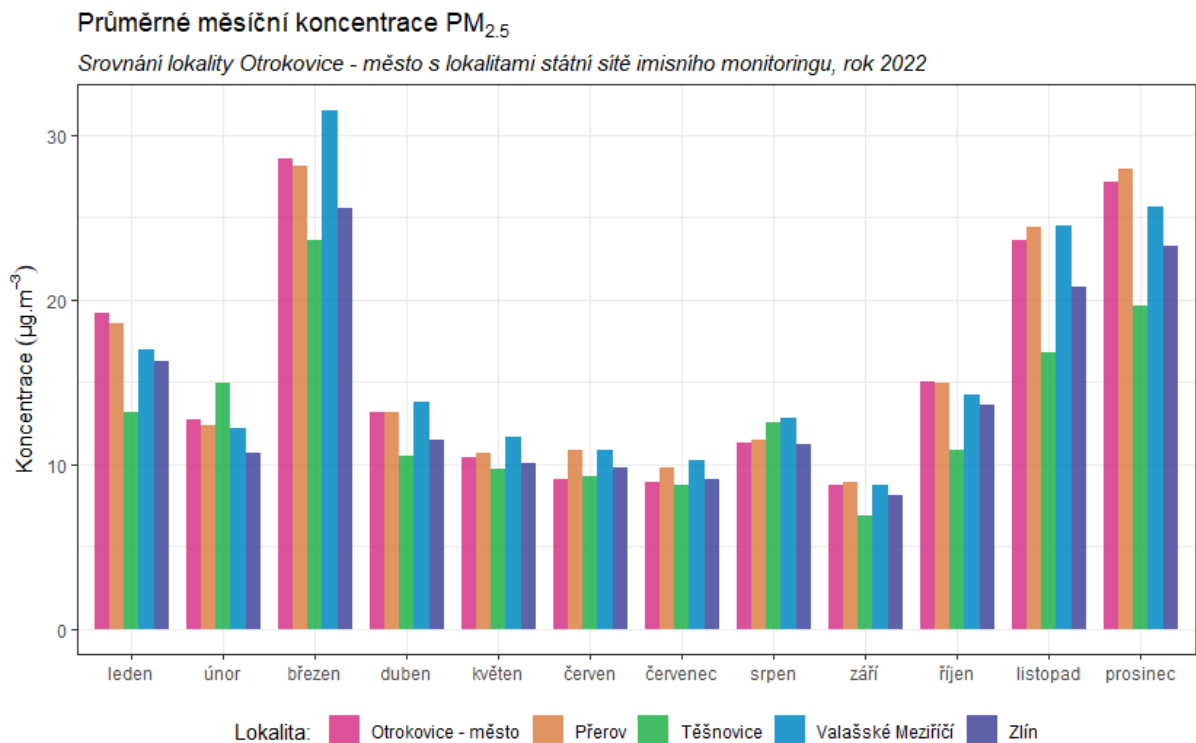


Obr. 31 – Počet dní s průměrnými denními koncentracemi PM_{10} vyššími, než je hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM_{10} , vybrané lokality státní sítě imisního monitoringu, rok 2022

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 březen. Je tedy zřejmé, že vliv na zvýšené koncentrace neměly lokální zdroje, ale ovlivnění bylo regionální, resp. nadregionální. Rovněž je u všech lokalit nepatrný nárůst koncentrací v měsících červenci a srpnu, nejde tedy pouze o lokální ovlivnění.

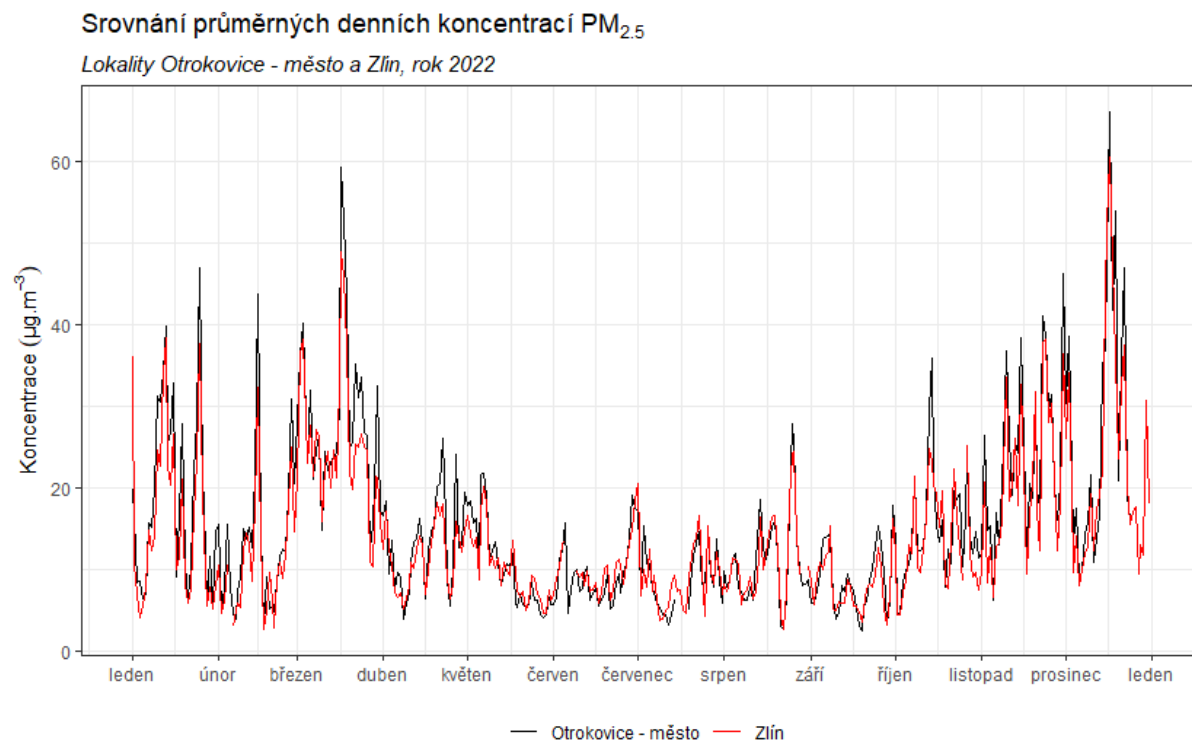
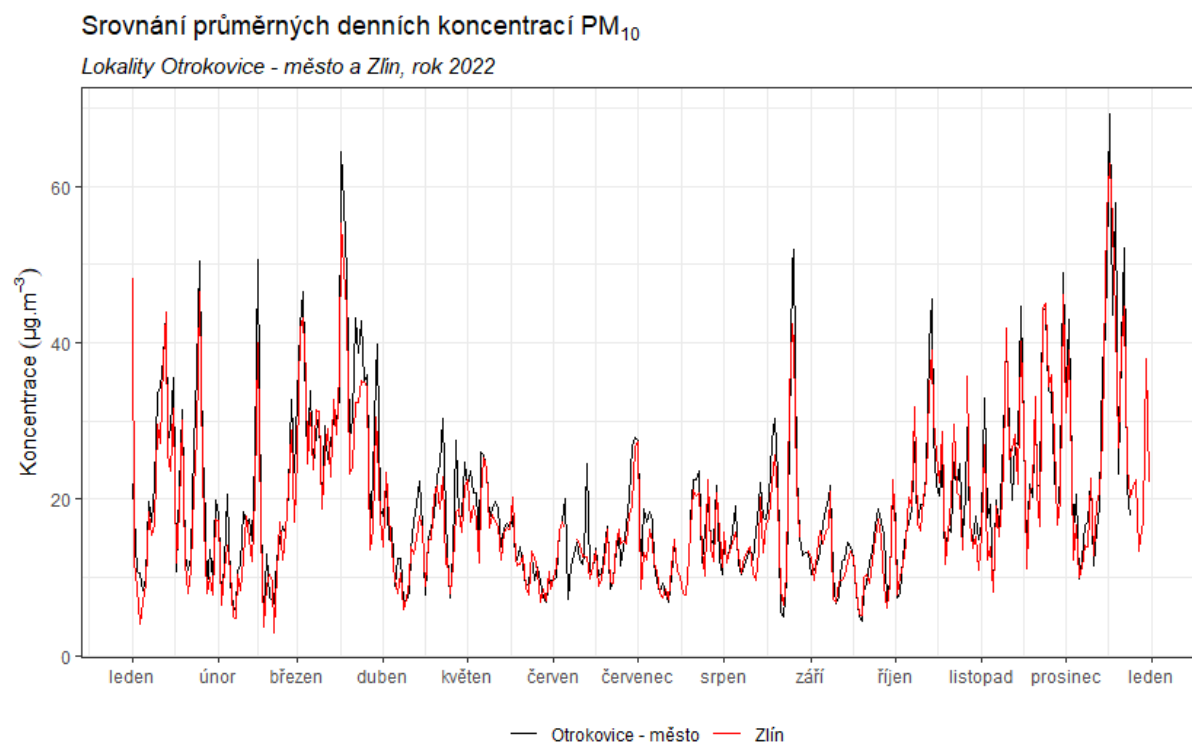


Obr. 32 – Srovnání průměrných měsíčních koncentrací PM₁₀ lokality Otrokovice – město s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2022



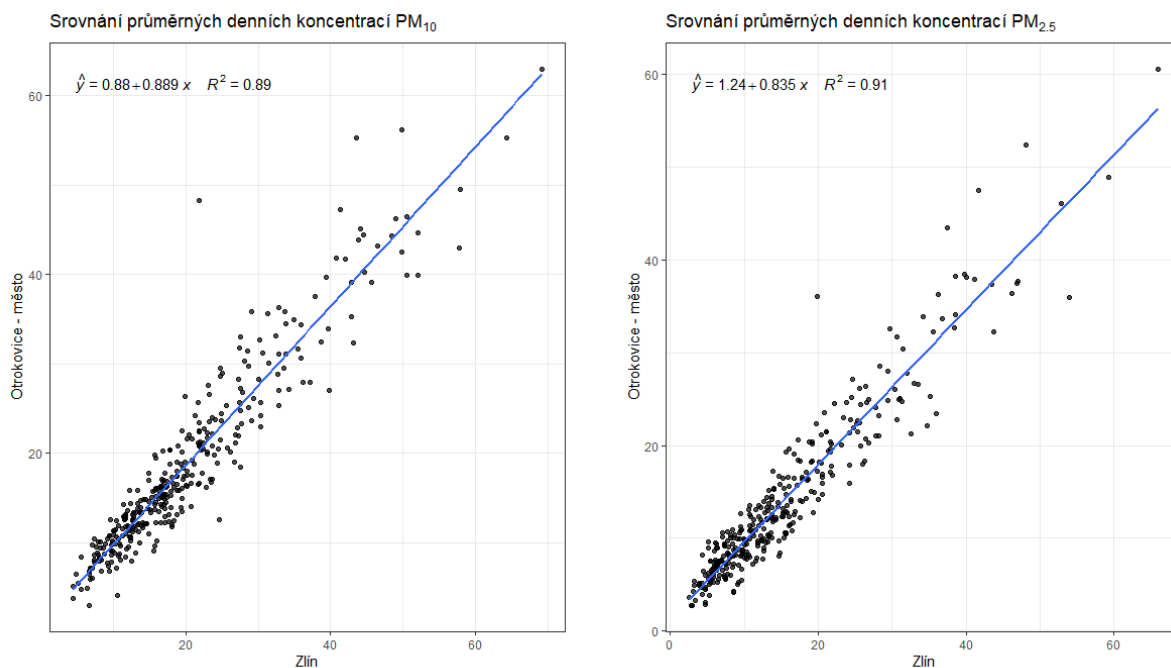
Obr. 33 – Srovnání průměrných měsíčních koncentrací PM_{2,5} lokality Otrokovice – město s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2022

Následující graf na Obr. 34 srovnání průměrných denních koncentrací PM_{10} (nahore) a $PM_{2,5}$ (dole) s lokalitou státní sítě imisního monitoringu Zlín.



Obr. 34 – Srovnání průměrných denních koncentrací PM_{10} , lokality Otrokovice – město a Zlín, rok 2022

Z grafu je dobře patrné, že vývoj průměrných denních koncentrací je v obou lokalitách velmi podobný. Mezi stanicemi existuje dobrá korelace jak pro PM_{10} , tak pro $PM_{2,5}$, jak ukazují grafy na Obr. 35. Vyšší koncentrace v lokalitě Otrokovice – město jsou zřejmě způsobeny rozdílnou orografií terénu a částečně skladbou lokálních zdrojů.



Obr. 35 – Srovnání průměrných denních koncentrací v lokalitě Zlín a Otrokovice – město, rok 2022

3.2 OXIDY DUSÍKU NO₂, NO A NO_x

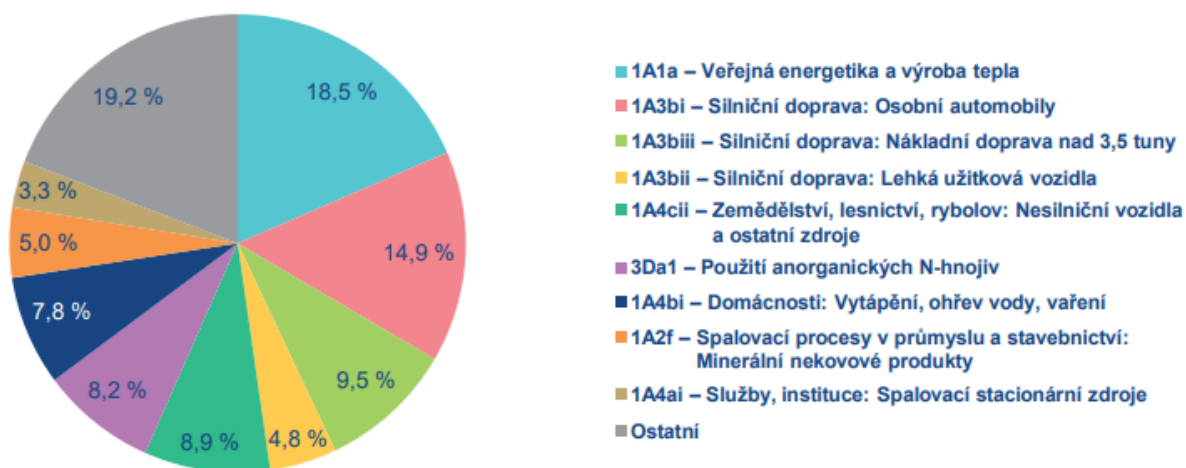
Při sledování a hodnocení kvality venkovního ovzduší se pod termínem oxidy dusíku (NO_x) rozumí směs oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO₂) [10].

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 [11]. 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 [12].



Obr. 36 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích NO_x v ČR, rok 2020 [7]

Největší množství emisí NO_x pochází z mobilních zdrojů. Sektory 1A3bi – *Silniční doprava: Osobní automobily*, 1A3biii – *Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5t* a 1A3bii – *Lehká užitková vozidla* se na celorepublikových emisích NO_x v roce 2020 podílely 29,2 %. Podíl 8,9 % pak představují emise sektoru 1A4cii – *Zemědělství, lesnictví, rybolov: Nesilniční vozidla a ostatní stroje*. Ze sektoru 1A1a – *Veřejná energetika a výroba tepla* bylo do ovzduší vneseno 18,6 % emisí NO_x, ze sektoru 3Da1 – *Použití*

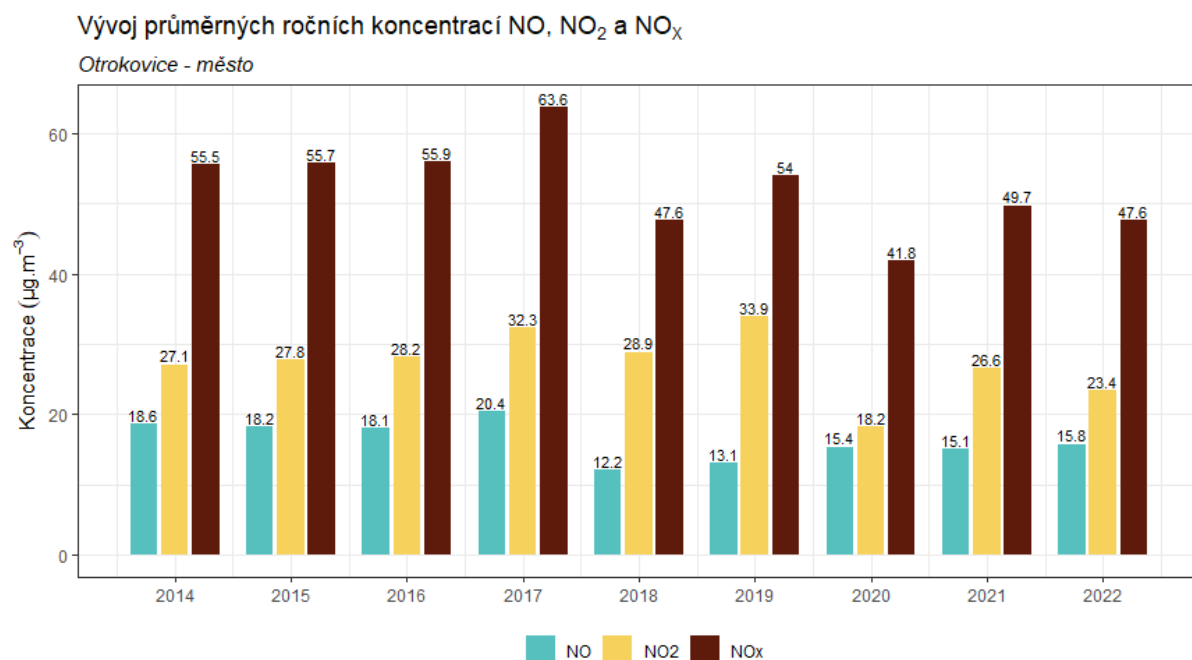
anorganických N-hnojiv 8,2 %, a ze sektoru 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření 7,8 % [7].

3.2.1 Průměrné roční koncentrace

Průměrná roční koncentrace NO_2 činila v roce 2022 v lokalitě Otrokovice – město $23,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Imisní limit tedy překročen nebyl.

Průměrná roční koncentrace NO činila v roce 2022 v lokalitě Otrokovice – město $15,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Průměrná roční koncentrace NO_x činila v roce 2022 v lokalitě Otrokovice – město $47,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Následující Obr. 37 zobrazuje vývoj průměrných ročních koncentrací NO, NO_2 a NO_x v lokalitě Otrokovice – město. Z grafu je patrné, že hodnota koncentrace NO_2 (a potažmo NO_x) proti roku 2021 mírně klesla. Koncentrace NO velmi mírně vzrostly. Celkově z hlediska oxidů dusíku nedochází k velkým koncentračním výkyvům.

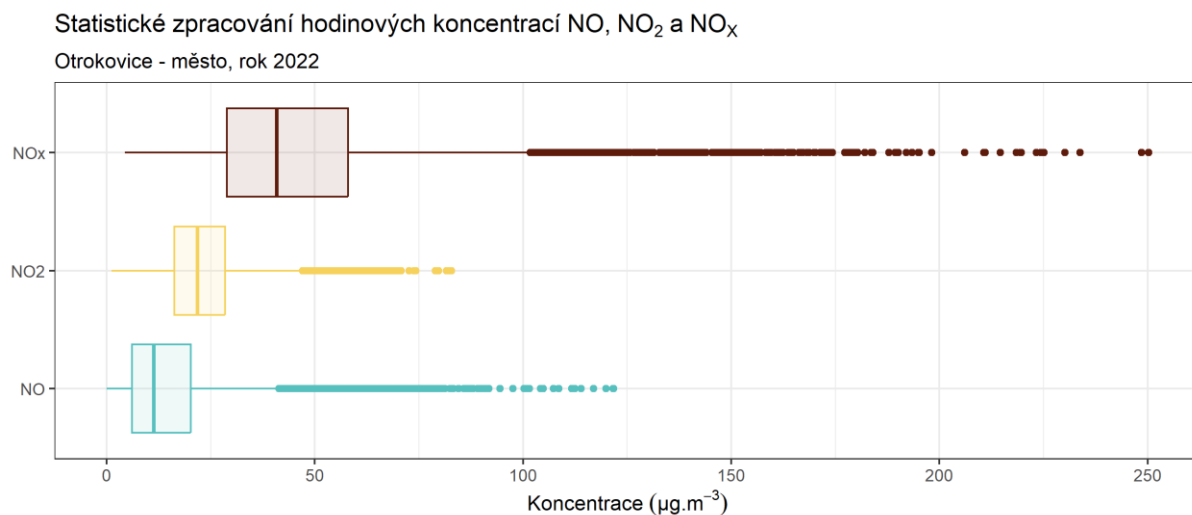


Obr. 37 -Vývoj průměrných ročních koncentrací NO, NO_2 a NO_x , lokalita Otrokovice – město

Následující Tab. 3 pak zobrazuje statistické zpracování naměřených hodinových dat pro jednotlivé oxidy dusíku. Grafické znázornění hodinových koncentrací pomocí krabicových grafů za rok 2022 pak zobrazuje Obr. 38. Z tabulky i grafického znázornění je patrné, že maximální hodnota hodinové koncentrace NO_2 se pohybovala pod 1/2 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 2022

STATISTIKA	NO	NO ₂	NO _x
PRŮMĚR	15,8	23,4	47,6
MAXIMUM	121,8	82,8	250,2
MEDIÁN	11,4	21,8	40,9
MINIMUM	0	1,1	4,4



Obr. 38 – Statistické zpracování hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x v lokalitě Otrokovice – město, rok 2022

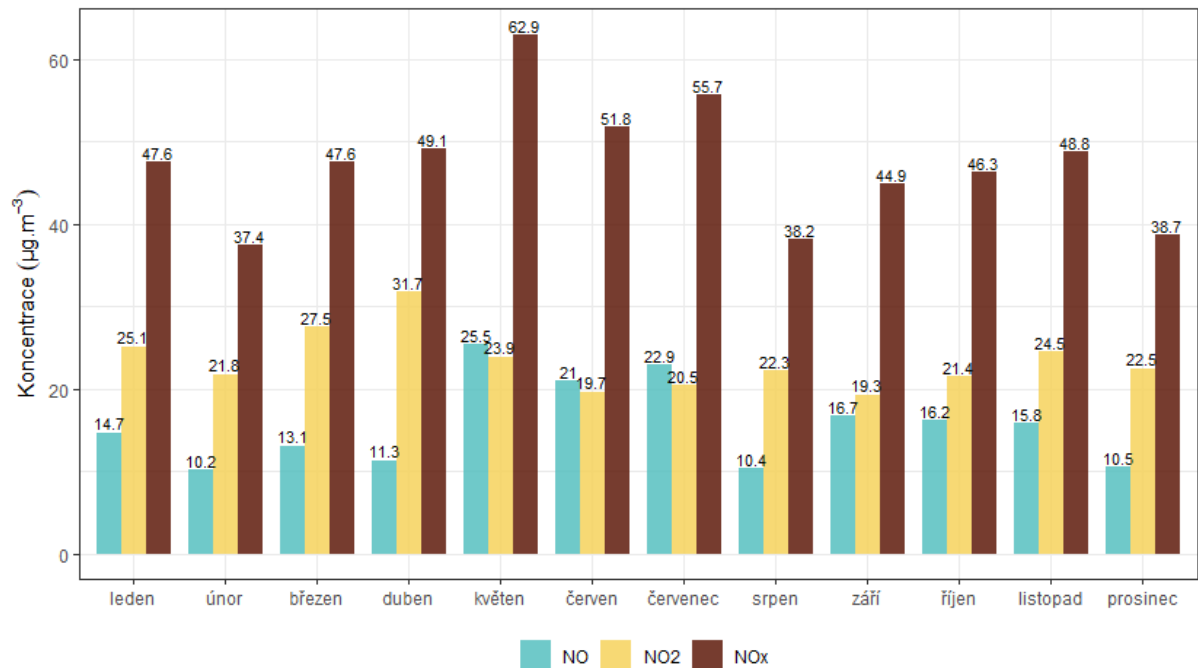
3.2.2 Průměrné měsíční koncentrace

Na Obr. 39 jsou průměrné měsíční koncentrace NO, NO₂ a NO_x. Z obrázku je patrné, že v letních měsících jsou koncentrace NO₂ nižší, naopak v chladné části roku jsou měřeny vyšší koncentrace, zejména pak koncem roku. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace NO₂ byla naměřena v dubnu.

Poměr měsíčních koncentrací NO / NO₂ zobrazuje Obr. 40. Poměr je nejvyšší v květnu – červenci, kdy koncentrace NO převýšily koncentrace NO₂, což indikuje významný vliv dopravy na koncentrace v lokalitě. Začátkem a koncem roku byly koncentrace NO zhruba poloviční proti NO₂, zatížení dopravou bylo zřejmě mírnější.

Vývoj průměrných měsíčních koncentrací NO, NO₂ a NO_x

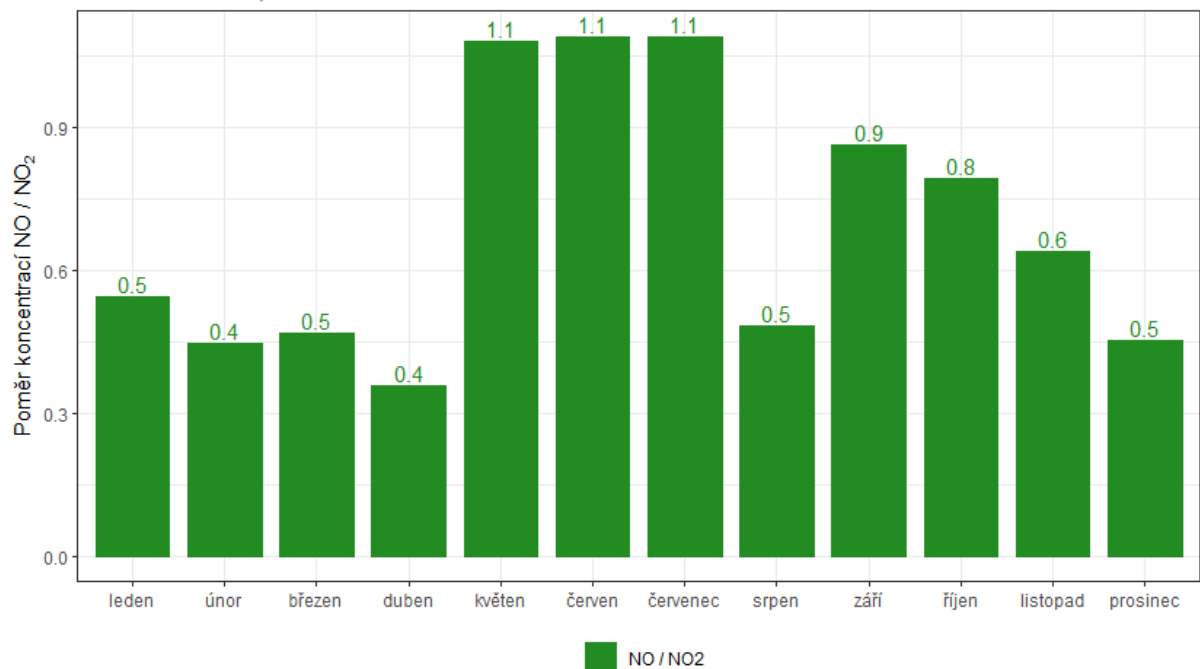
Otrokovice - město, rok 2022



Obr. 39 - Průměrné měsíční koncentrace NO, NO₂ a NO_x, Otrokovice – město, rok 2022

Průměrný měsíční poměr koncentrací NO / NO₂

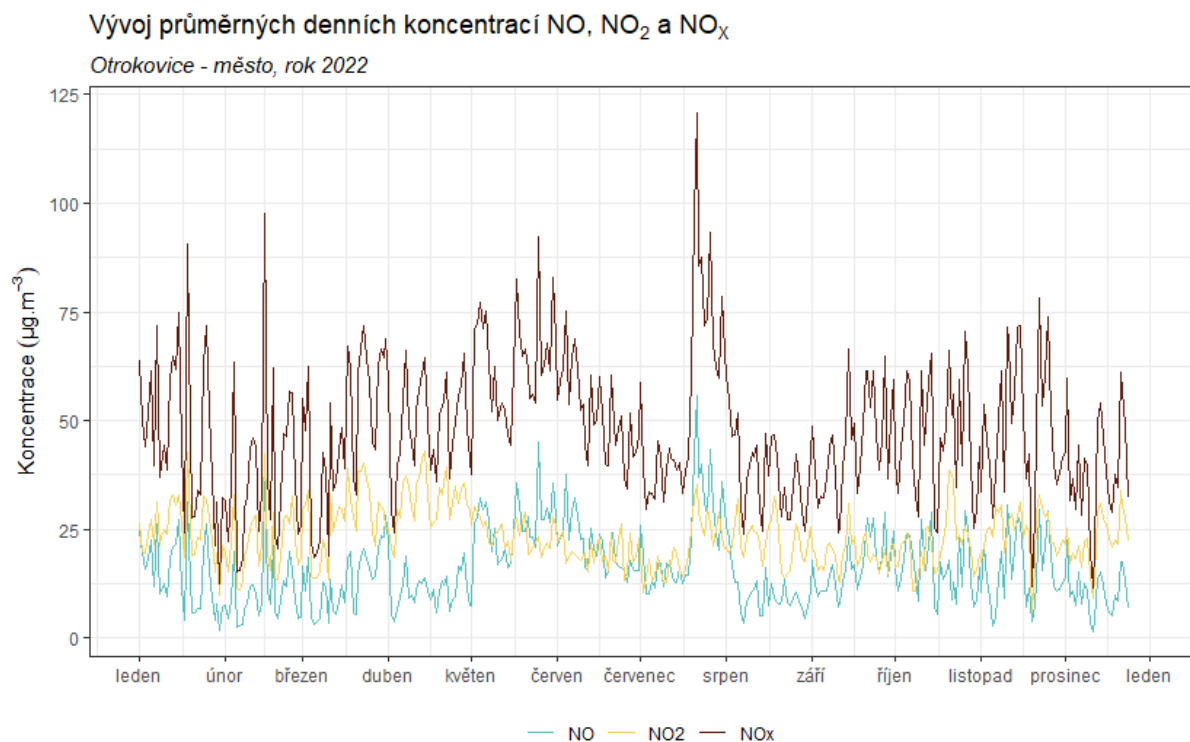
Otrokovice - město, rok 2022



Obr. 40 – Poměr měsíčních koncentrací NO / NO₂, lokalita Otrokovice – město, rok 2022

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. 41.



Obr. 41 – Vývoj průměrných hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x, Otrokovice – město, rok 2022

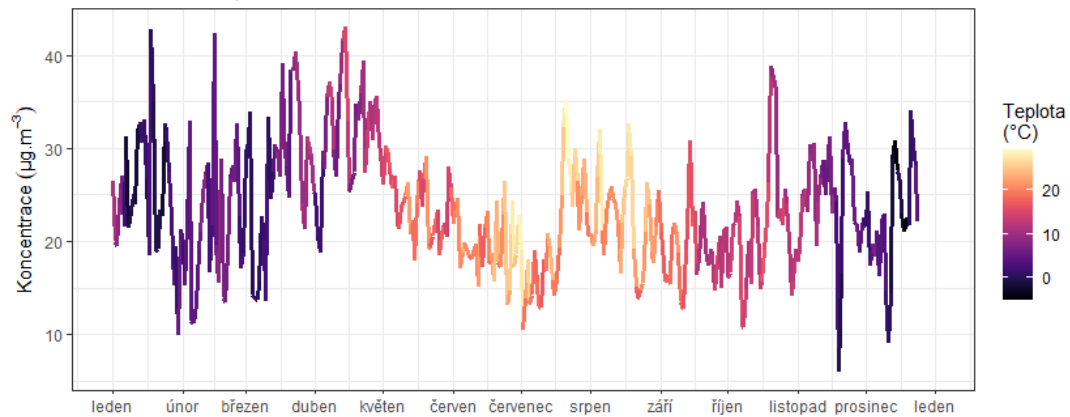
Z grafu je patrné, že koncentrace jsou poměrně vyrovnané, v letních měsících se křivka koncentrací NO dostala nad hodnoty NO₂.

Vzhledem k tomu, že imisní limit je stanoven pouze pro koncentrace NO₂, bude vliv meteorologických podmínek zobrazen pouze pro tuto látku. Na Obr. 42 jsou nad sebou zobrazeny tři grafy. Křivka vždy zobrazuje vývoj koncentrací NO₂ v dané lokalitě. Zabarvení křivky na horním grafu vždy zobrazuje aktuální teplotu vzduchu, v prostředním grafu pak rychlost proudění větru a ve spodním grafu relativní vlhkost.

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.

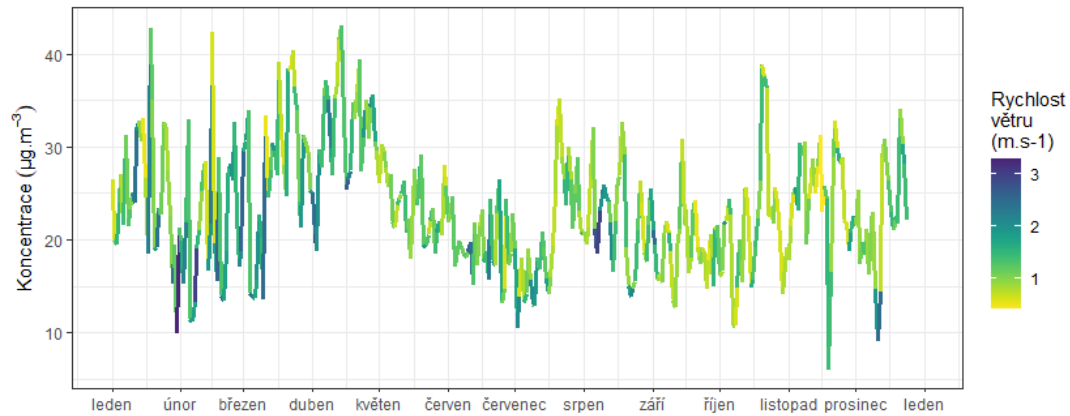
Vývoj průměrných denních koncentrací NO₂ v závislosti na teplotě vzduchu

Otrokovice - město, rok 2022



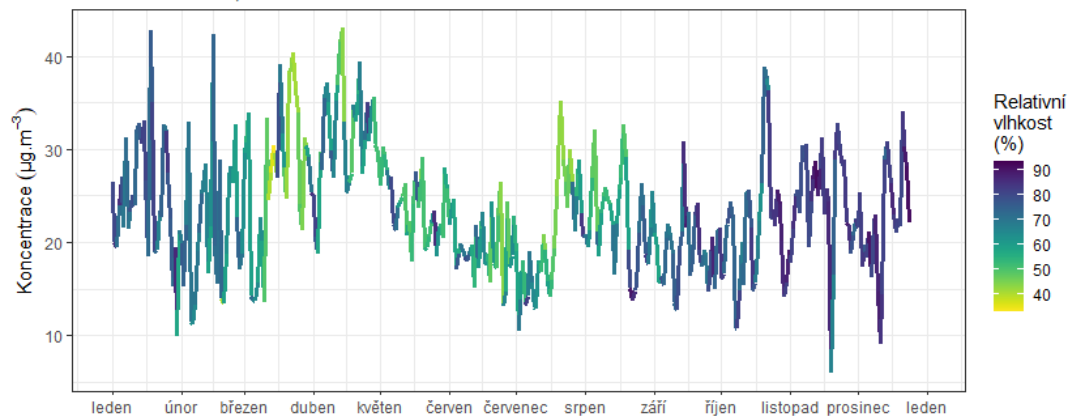
Vývoj průměrných denních koncentrací NO₂ v závislosti na rychlosti větru

Otrokovice - město, rok 2022



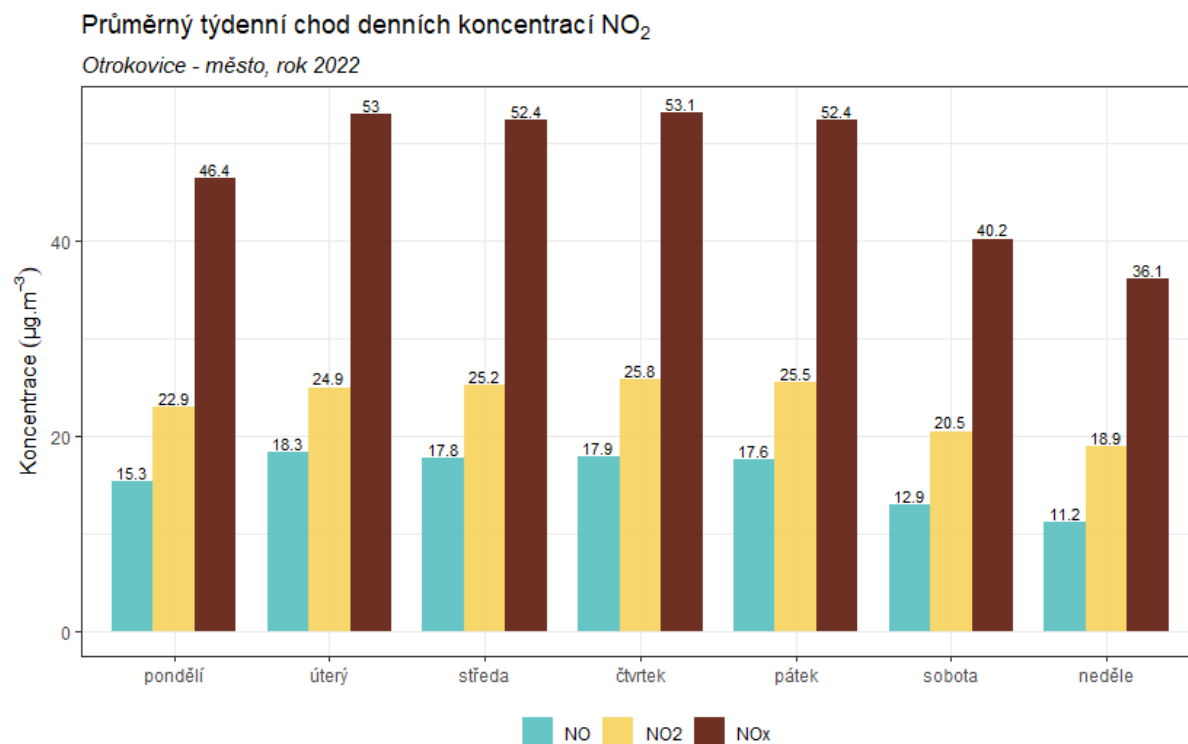
Vývoj průměrných denních koncentrací NO₂ v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu

Otrokovice - město, rok 2022



Obr. 42 – Vliv teploty (nahore), rychlosti větru (uprostřed) a relativní vlhkosti (dole) na koncentrace NO₂, Otrokovice – město, rok 2022

Z hlediska týdenního chodu denních koncentrací NO, NO₂ a NO_x (Obr. 43) 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. Nejnížší hodnoty NO i NO₂ jsou měřeny v neděli.



Obr. 43 – Průměrný týdenní chod denních koncentrací NO₂, Otrokovice – město, rok 2022

3.2.4 Analýza hodinových koncentrací – denní chod a koncentrační růžice

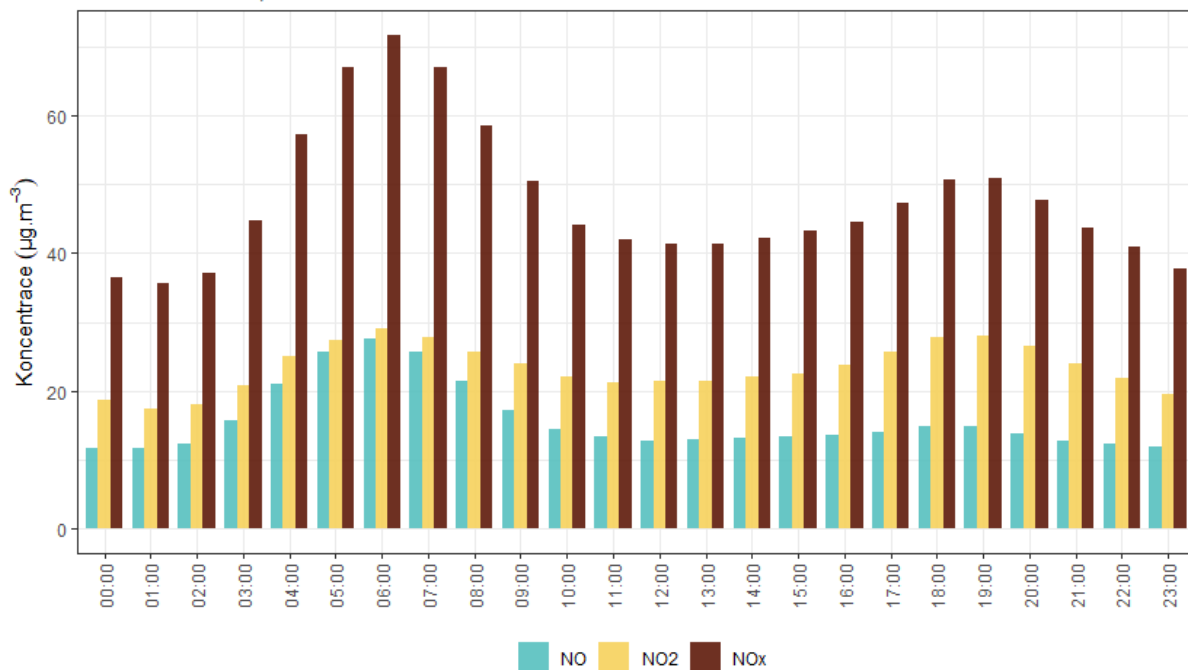
Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod koncentrací NO, NO₂ a NO_x v lokalitě Otrokovice – město. Denní chod zobrazuje následující Obr. 44.

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. 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

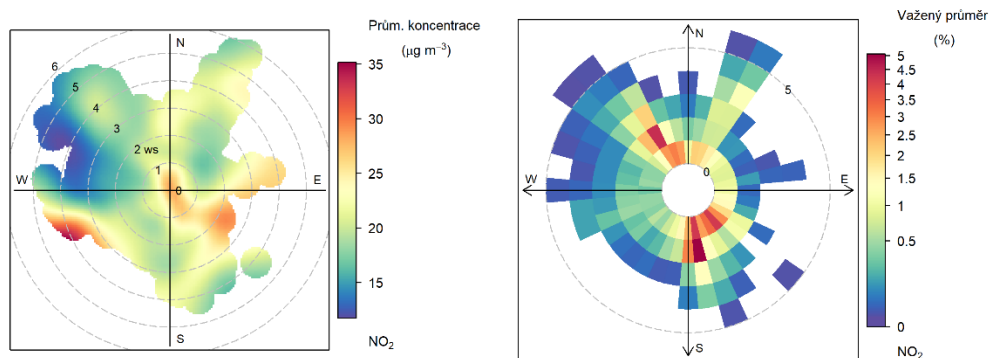
Otrokovice - město, rok 2022



Obr. 44 – Denní chod hodinových koncentrací NO₂, Otrokovice – město, rok 2022

Vysvětlení podstaty koncentračních růžic je uvedeno v kapitole 3.1.4.

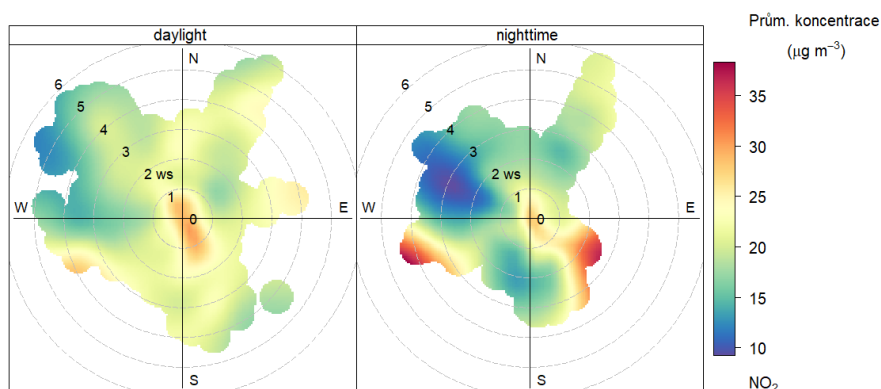
Následující Obr. 45 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro lokalitu Otrokovice – město.



Obr. 45 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro NO₂, Otrokovice – město, rok 2022

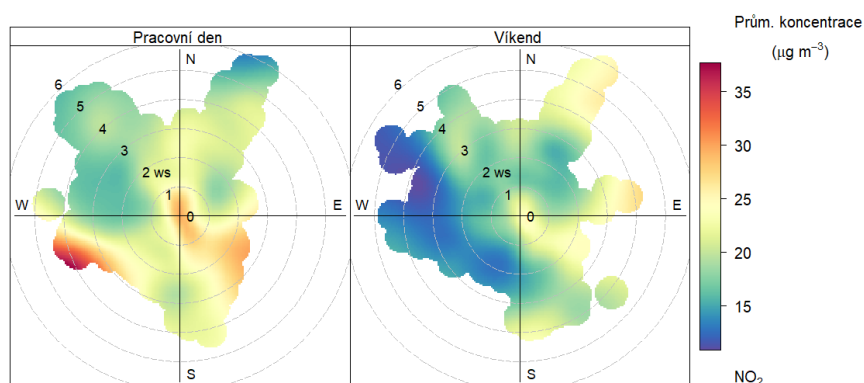
Z Obr. 45 vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při vyšších rychlostech větru a jihozápadním a jihovýchodním proudění. Nízké rychlosti větru a jihovýchodní či jižní proudění (nejčastější směr proudění dle větrné růžice) pak nejvíce přispívaly k měřeným koncentracím NO₂. Následující Obr. 46 zobrazuje koncentrační růžici ve dne a v noci. Vysoké koncentrace při vyšších

rychlostech větru z jihozápadu a jihovýchodu jsou měřeny v nočních hodinách. Při nižších rychlostech větru jsou koncentrace zhruba vyrovnané. Ve dne jsou nejvyšší koncentrace měřeny při bezvětří.



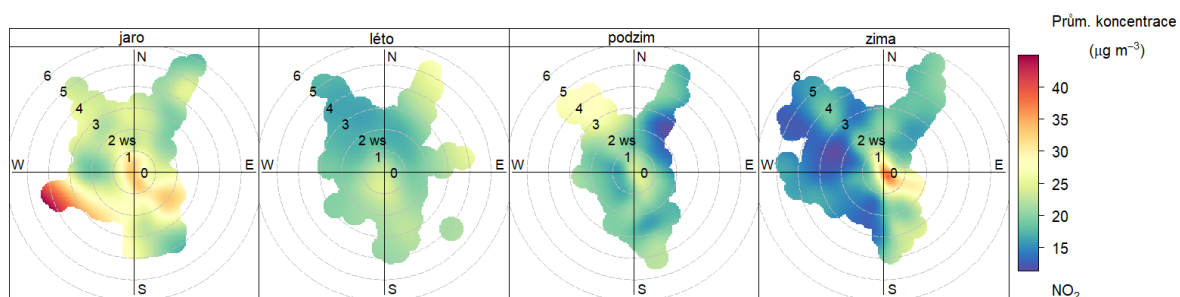
Obr. 46 - Koncentrační růžice ve dne (daytime) a v noci (nighttime), Otrokovice – město, rok 2022

Obdobně lze koncentrační růžici rozlišit na pracovní dny a víkend (Obr. 47). Z obrázku je patrné, že maximální koncentrace byly měřeny v pracovních dnech při proudění z jihozápadu a vyšších rychlostech větru. Zvýšené koncentrace jsou při bezvětří či jihovýchodním proudění.



Obr. 47 – Koncentrační růžice NO_2 v pracovní dny a o víkendu, lokalita Otrokovice – město, rok 2022

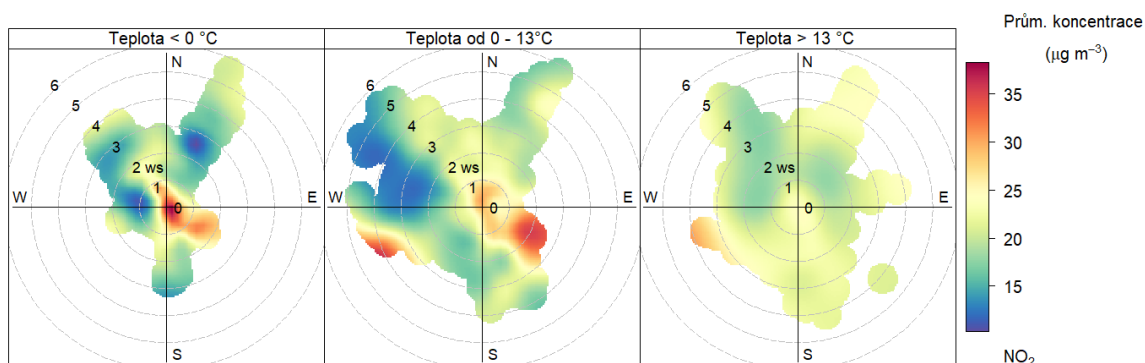
Následující Obr. 48 zobrazuje koncentrační růžice v jednotlivých ročních obdobích.



Obr. 48 – Koncentrační růžice jednotlivých ročních období, Otrokovice – město, rok 2022

Zvýšené koncentrace se vyskytují zejména na jaře a v zimě. V létě a na jaře byly koncentrace pouze nízké, zvýšené při bezvětří.

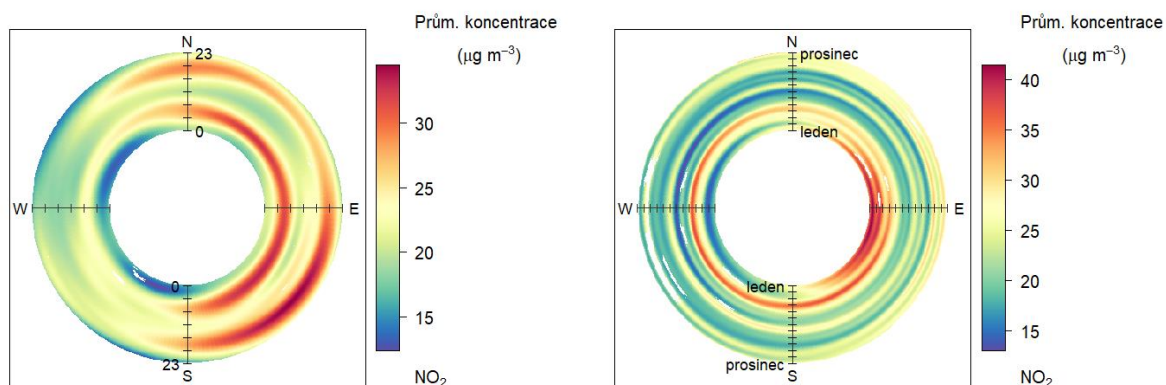
Zajímavé je také rozdělit koncentrační růžice na základě teplot vzduchu. Z Obr. 49 je pak patrné, že nejvyšší koncentrace jsou měřeny při teplotách nižších než 13 °C a bezvětří, resp. jihozápadním až jihovýchodním proudění. Při vyšších teplotách byly koncentrace nízké



Obr. 49 – Koncentrační růžice členěná dle teplot, Otrokovice – město, rok 2022

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. 50 pak vyplývá, že v případě lokality Otrokovice – město v roce 2022 byly nejvyšší koncentrace NO₂ měřeny při proudění z jihovýchodu, zejména během ranní a večerní špičky. V případě ročního chodu jsou významné zejména jarní a zimní měsíce. Z hlediska maxim převládají východní směry.



Obr. 50 – Průměrný denní chod (vlevo) a roční chod (vpravo) koncentrací dle směru větru, Otrokovice – město, rok 2022

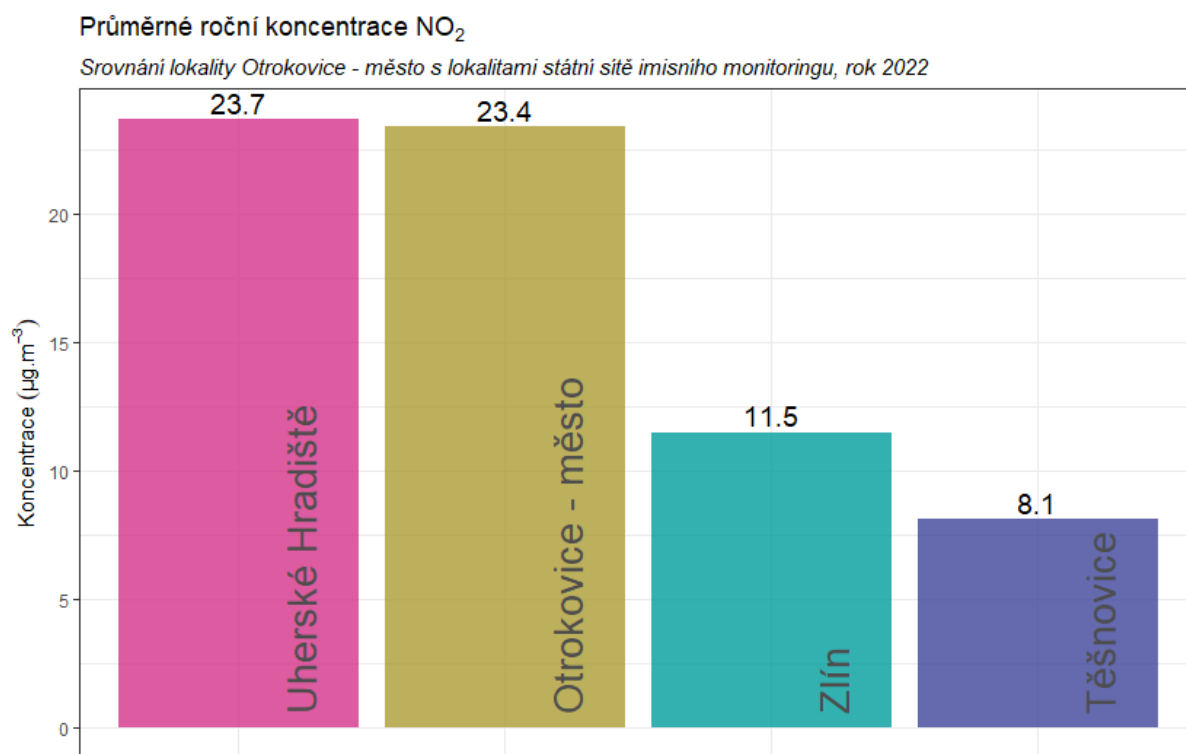
3.2.5 Srovnání s lokalitami státní sítě imisního monitoringu

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. 51 jsou zobrazeny průměrné roční koncentrace legislativou sledovaného oxidu dusičitého NO_2 na blízkých lokalitách sítě imisního monitoringu v roce 2022. Ty jsou srovnány s lokalitou Otrokovice – město. Z grafu vyplývá, že v lokalitě Otrokovice – město jsou měřeny téměř totožné koncentrace jako v dopravní lokalitě Uherské Hradiště. Hodnotami byly nejvyšší, typické pro dopravní lokality. Nejnížší hodnoty naměřila venkovská pozadřevá lokalita Těšnovice. Žádná z uvedených lokalit nepřekročila imisní limit pro průměrnou roční koncentraci NO_2 .

Následující graf na Obr. 52 zobrazuje průměrné měsíční koncentrace NO_2 naměřené ve vybraných lokalitách. Z grafu je patrné, že lokalita Otrokovice měřila velmi obdobné koncentrace, jako další dopravní lokalita Uherské Hradiště. Ale i na dalších lokalitách je i přes nižší koncentrace možné sledovat podobný vývoj, ovlivněný zejména meteorologickými podmínkami.

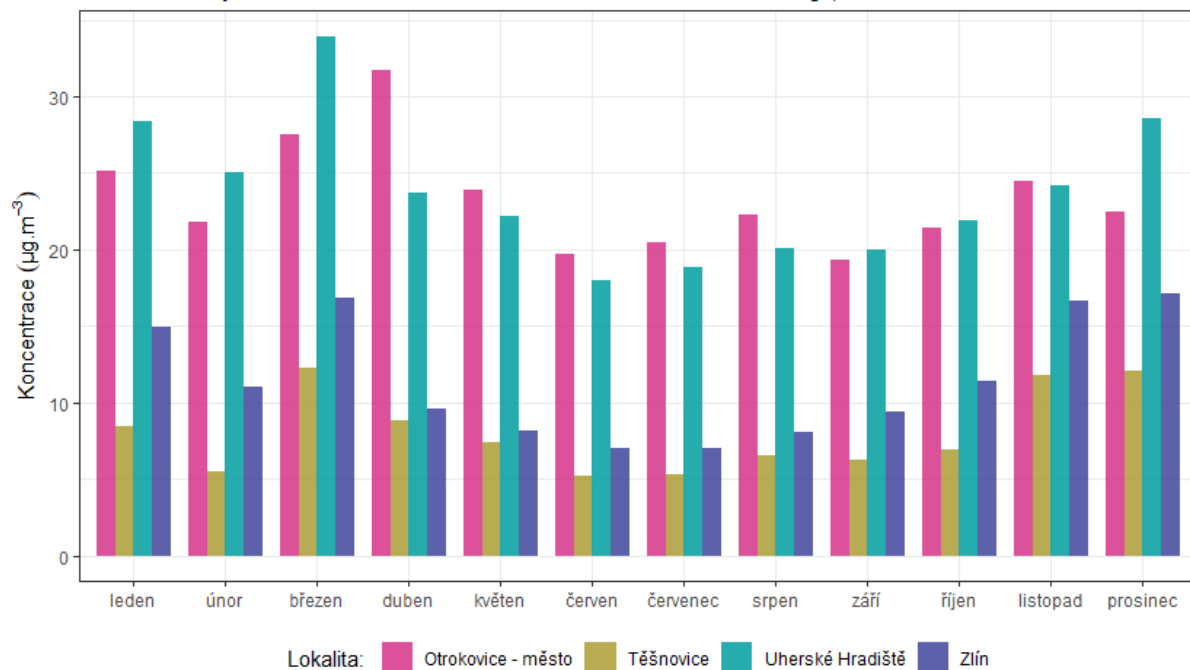
Následující graf na Obr. 53 srovnání průměrných denních koncentrací NO_2 s další dopravní lokalitou státní sítě imisního monitoringu Uherské Hradiště. Z grafu je patrné, že koncentrace v lokalitě Otrokovice – město jsou velmi dobře srovnatelné s lokalitou Uherské Hradiště.



Obr. 51 – Srovnání průměrné roční koncentrace NO_2 lokality Otrokovice – město s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2022

Průměrné měsíční koncentrace NO₂

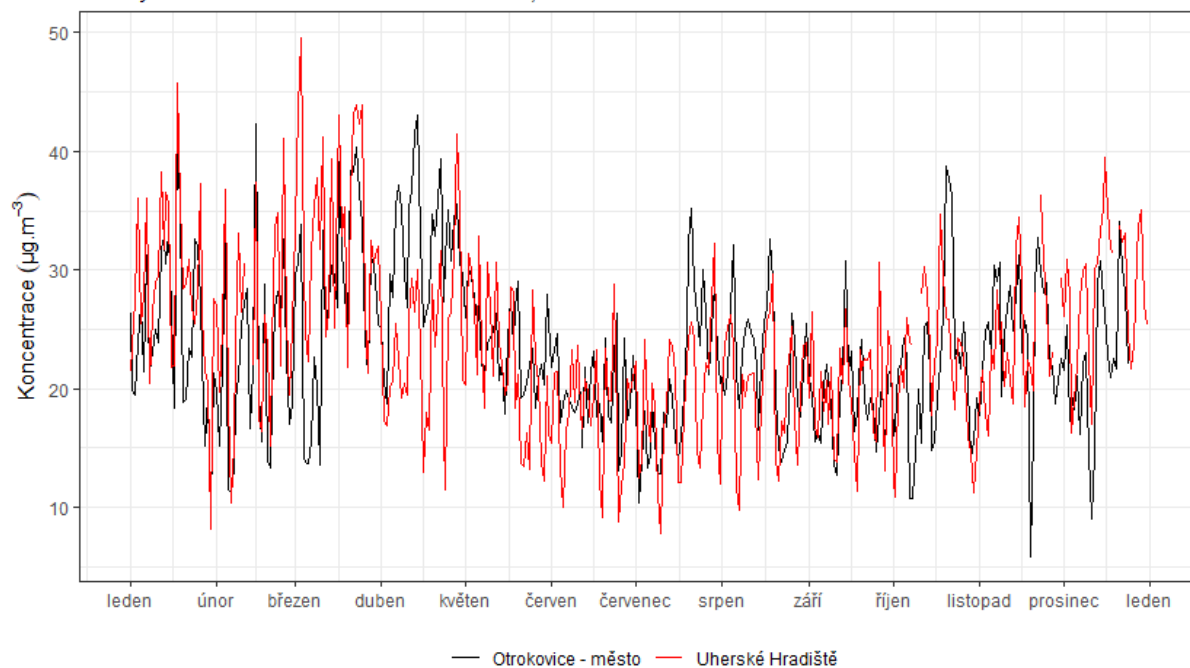
Srovnání lokality Otrokovice - město s lokalitami státní sítě imisního monitoringu, rok 2022



Obr. 52 – Srovnání průměrných měsíčních koncentrací NO₂ lokality Otrokovice – město s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2022

Srovnání průměrných denních koncentrací NO₂

Lokalita Otrokovice - město a Uherské Hradiště, rok 2022



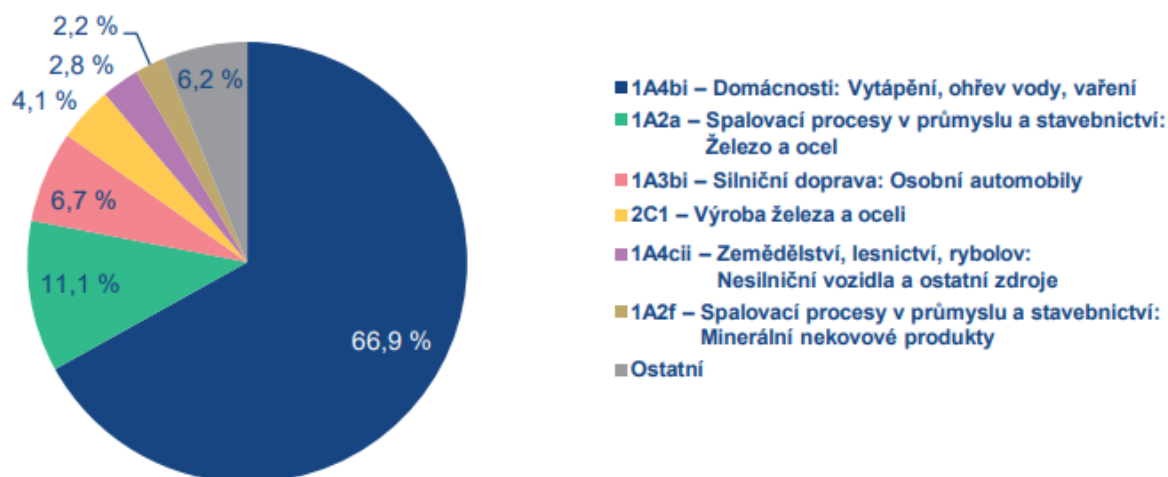
Obr. 53 – Srovnání průměrných denních koncentrací NO₂, lokality Otrokovice – město a Zlín, rok 2022

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.

Oxid uhelnatý je produktem spalování paliv obsahujících uhlík za nízké teploty a nedostatku spalovacího vzduchu. Největší množství emisí CO vzniká v sektoru 1A4bi – *Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření*, který se v roce 2020 podílel na celorepublikových emisích 66,9 %. Mezi další významné zdroje patřily sektory 1A2a – *Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Železo a ocel* (11,1 %) a 1A3bi – *Silniční doprava: Osobní automobily* (6,7 %; Obr. 54) [7].

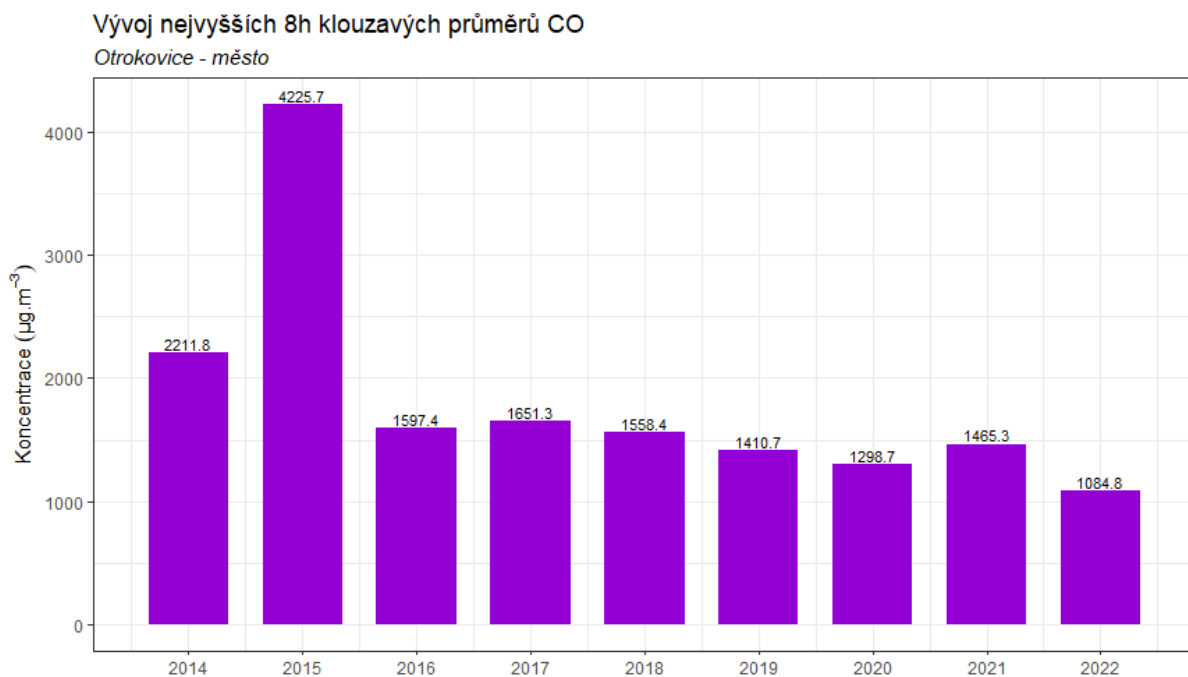


Obr. 54 - Podíl sektorů NFR na celkových emisích CO v ČR, rok 2020 [7]

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. 55.

Maximální hodnota 8h klouzavého průměru koncentrací CO v roce 2022 činila $1084,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, imisní limit tedy překročen nebyl. Z uvedeného grafu je patrné, že koncentrace proti roku 2021 výrazněji klesla, k překročení imisního limitu nedošlo ani v jednom z roků. Nejvyšší hodnota byla naměřena v roce 2015, nejnižší pak právě v roce 2022.

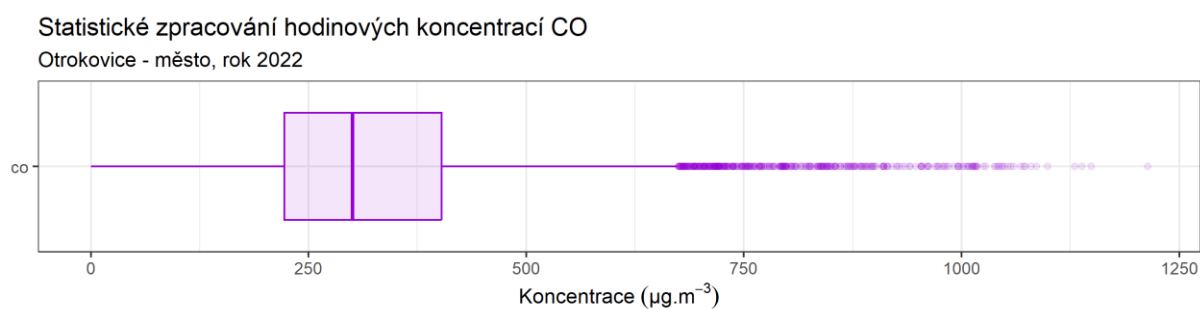


Obr. 55 – Vývoj nejvyššího 8hodinového klouzavého průměru CO, lokalita Otrokovice – město

Následující Tab. 4 pak zobrazuje statistické zpracování naměřených hodinových dat pro oxid uhelnatý. Grafické znázornění hodinových koncentrací pomocí krabicových grafů za rok 2022 pak zobrazuje Obr. 56. Maximální naměřená hodinová koncentrace CO měla hodnotu 2263,6 µg.m⁻³.

Tab. 4 – Statistické charakteristiky hodinových koncentrací CO v lokalitě Otrokovice – město, rok 2022

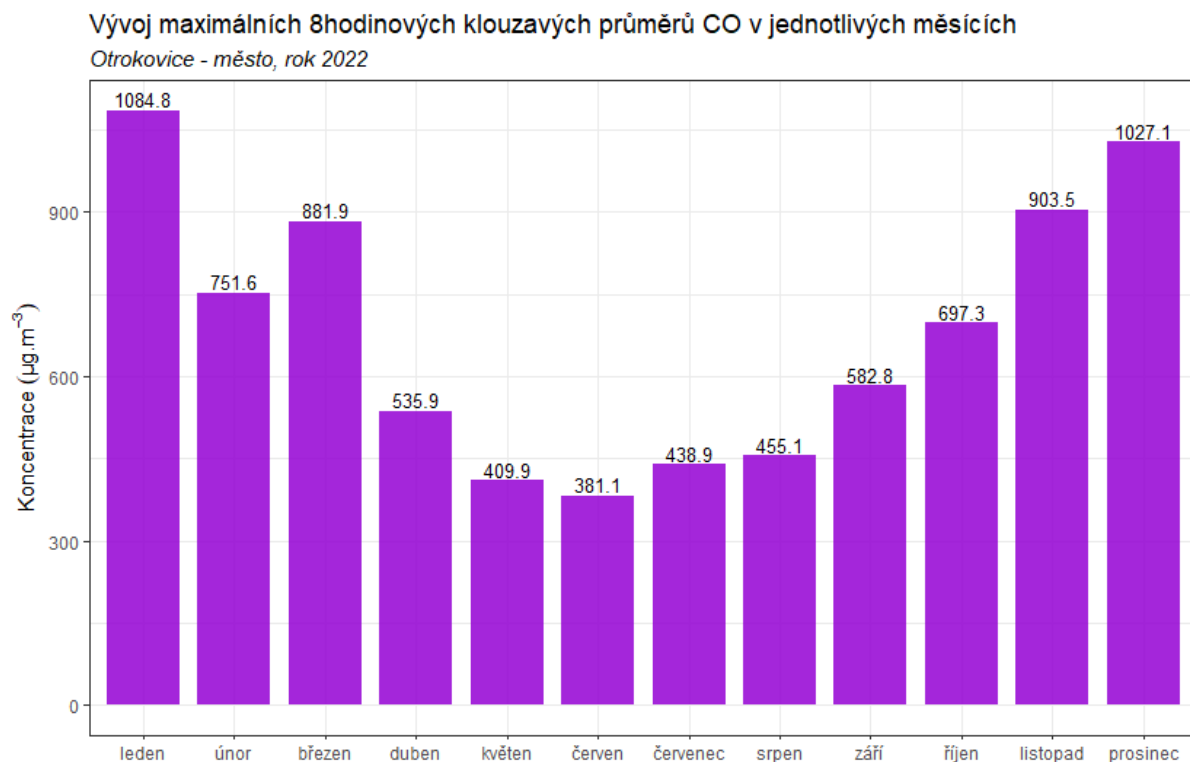
STATISTIKA	CO
PRŮMĚR	333,6
MAXIMUM	1213,9
MEDIÁN	300,6
MINIMUM	0



Obr. 56 – Statistické zpracování hodinových koncentrací CO v lokalitě Otrokovice – město, rok 2022

3.3.2 Průměrné měsíční koncentrace

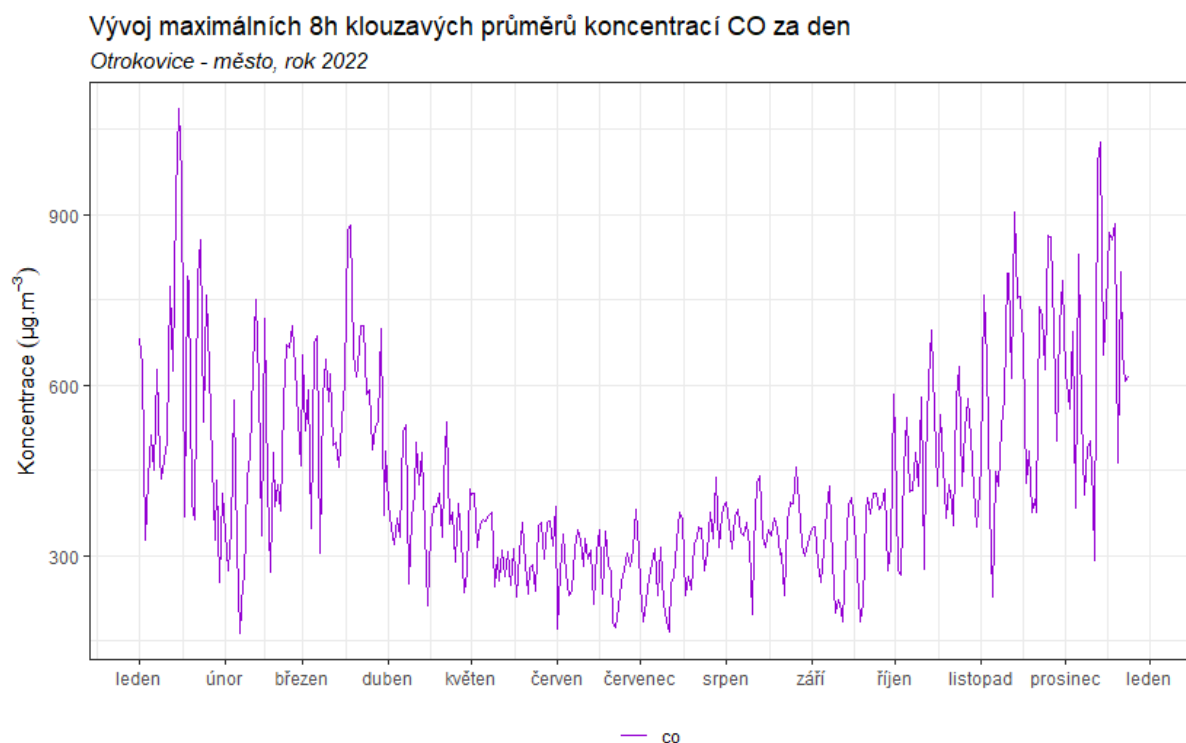
Na Obr. 59 jsou zobrazeny Maximální 8h klouzavé průměry CO za den v jednotlivých měsících. Z obrázku je patrné, že v nejvyšší jsou hodnoty v chladné části roku, kdy je v provozu nejvíce spalovacích zdrojů produkujících CO (doprava + lokální topeniště). Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace CO byla naměřena v lednu, nejnižší pak v červnu.



Obr. 57 – Maximální 8h klouzavé průměry CO za den v jednotlivých měsících, Otrokovice – město, rok 2022

3.3.3 Vývoj průměrných denních koncentrací CO

Vývoj maximálních 8h klouzavých průměrů CO za den v lokalitě Otrokovice – město zobrazuje následující Obr. 58.

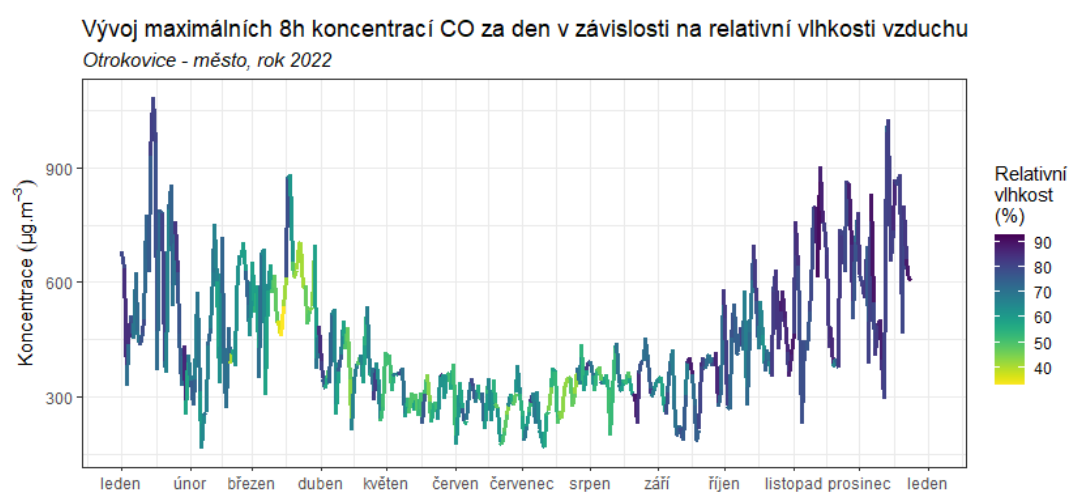
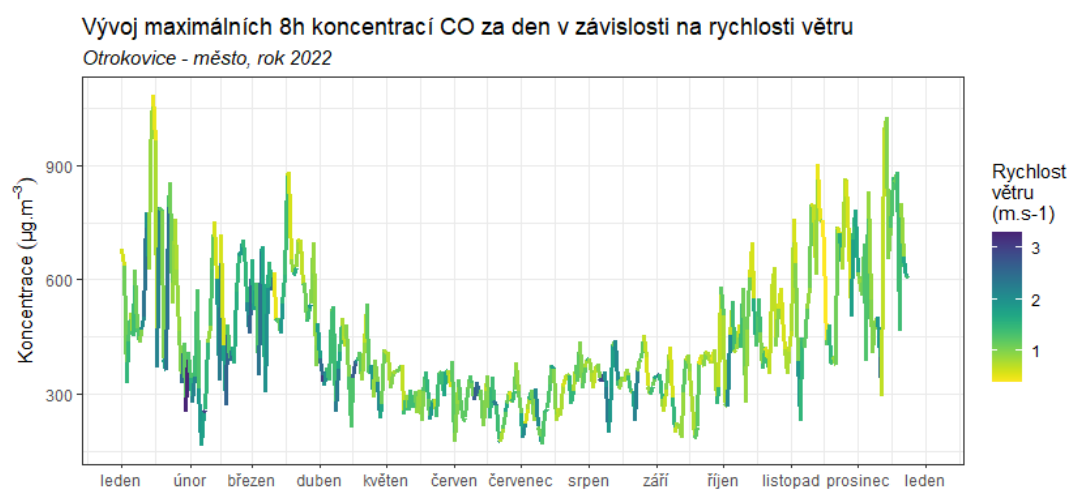
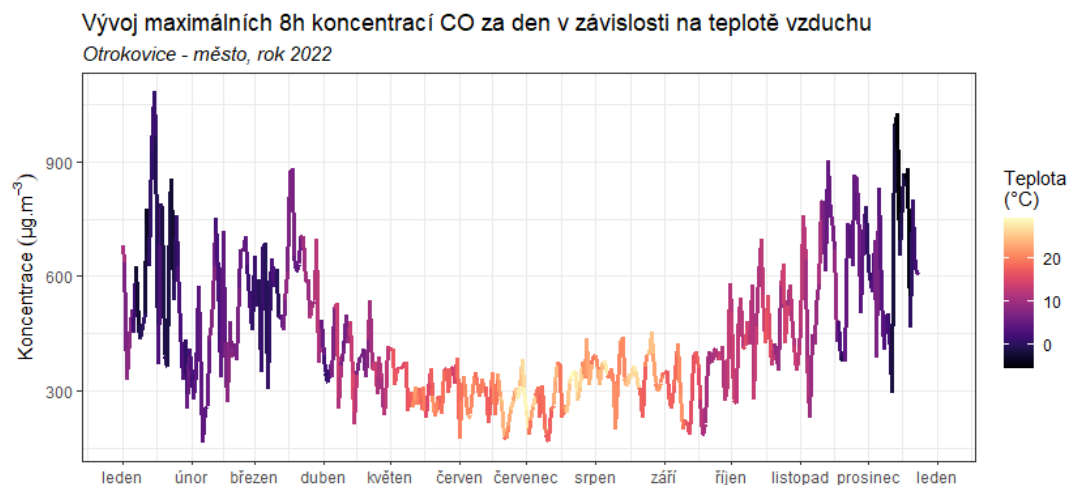


Obr. 58 – Vývoj maximálních 8h klouzavých průměrů CO za den, Otrokovice – město, rok 2022

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.

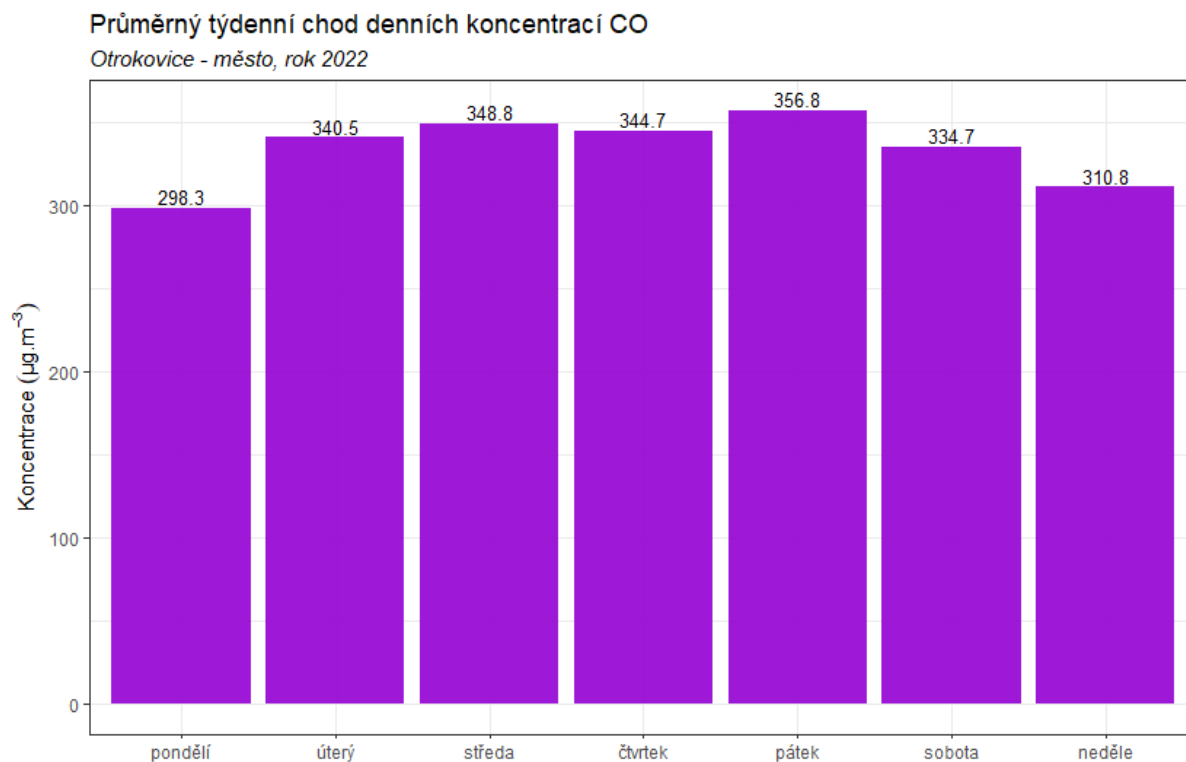
Na Obr. 59 jsou nad sebou zobrazeny tři grafy. Křivka vždy zobrazuje vývoj koncentrací CO v dané lokalitě. Zabarvení křivky na horním grafu vždy zobrazuje aktuální teplotu vzduchu, v prostředním grafu pak rychlost proudění větru, a ve spodním grafu relativní vlhkost.

Z uvedených grafů vyplývá, že meteorologické podmínky mají na koncentrace CO významný vliv, zejména pak teplota a rychlost větru. S klesající teplotou a rychlostí větru rostou koncentrace CO.



Obr. 59 – Vliv teploty (nahore), rychlosti větru (uprostřed) a relativní vlhkosti (dole) na koncentrace CO, Otrokovice – město, rok 2022

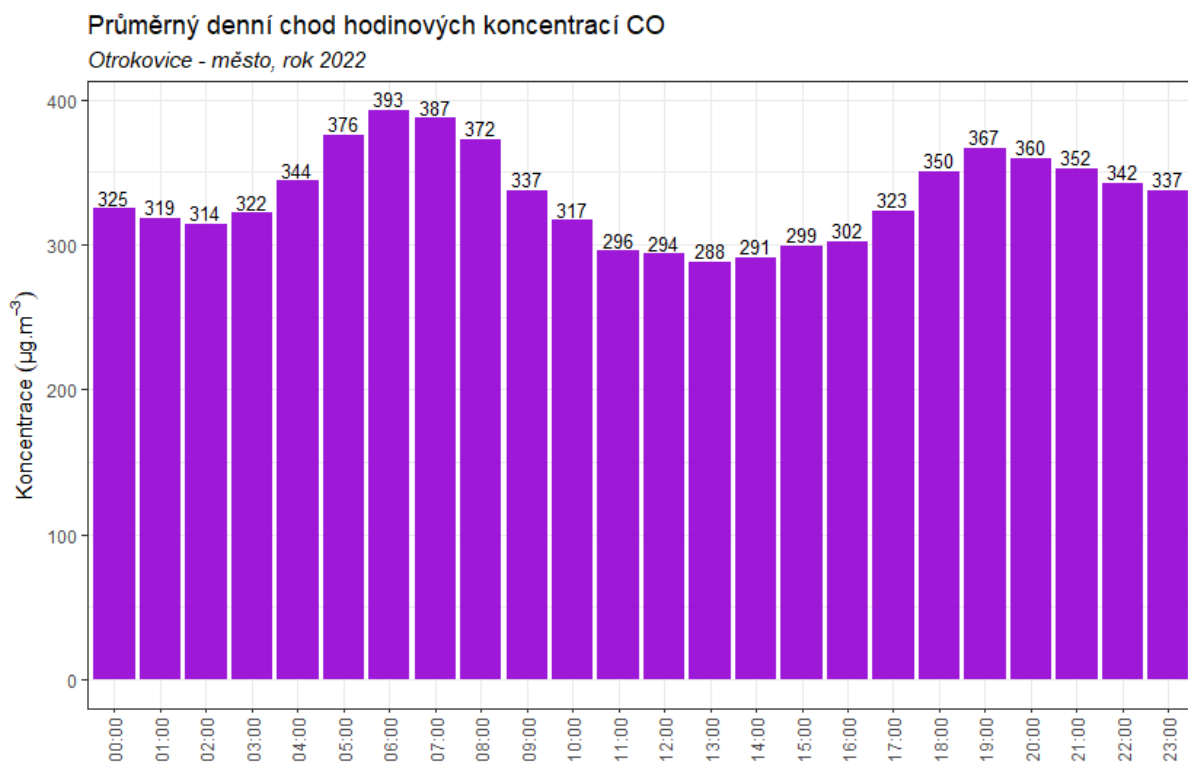
Z týdenního chodu průměrných denních koncentrací CO jsou patrné vyšší koncentrace v pracovní dny. Nejvyšší hodnoty byly v průměru naměřeny v pátek, nejnižší v pondělí.



Obr. 60 - Průměrný týdenní chod denních koncentrací CO, Otrokovice – město, rok 2022

3.3.4 Analýza hodinových koncentrací – denní chod a koncentrační růžice

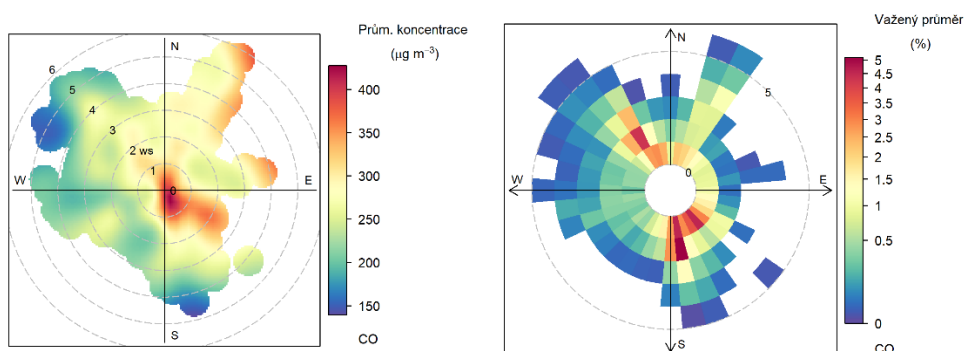
Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod CO v lokalitě Otrokovice – město. Denní chod CO zobrazuje následující Obr. 61. Z grafu je patrné, že nejvyšší hodnoty koncentrací CO jsou dosahovány v době ranní dopravní špičky a dále ve večerních hodinách.



Obr. 61 – Denní chod hodinových koncentrací CO, Otrokovice – město, rok 2022

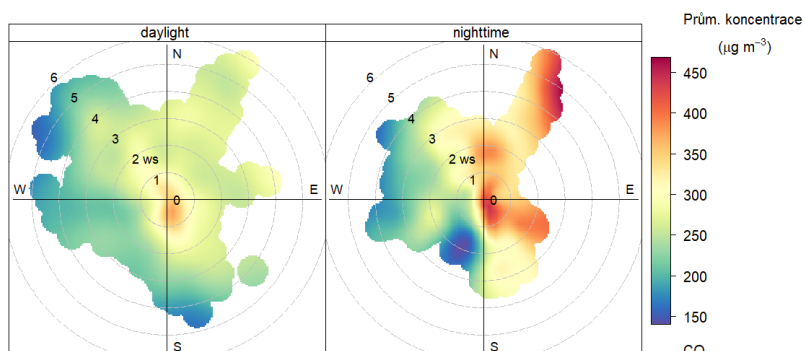
Vysvětlení podstaty koncentračních růžic je uvedeno v kapitole 3.1.4.

Následující Obr. 62 zobrazuje dva typy koncentrační a váženou koncentrační růžici CO pro lokalitu Otrokovice – město. Z Obr. 62 vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při bezvětří nebo jihovýchodním proudění. Jihovýchodní a severozápadní směry proudění se pak nejvíce podílely na měřených koncentracích CO v roce 2022.



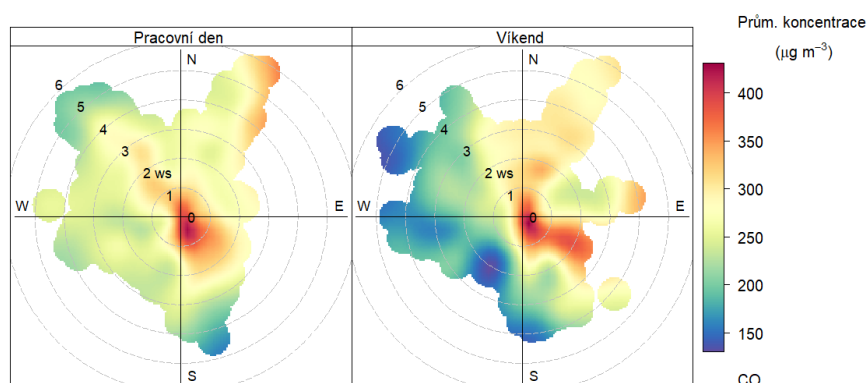
Obr. 62 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro CO, Otrokovice – město, rok 2022

Pokud se koncentrační růžice rozdělí na den a noc (Obr. 63), je velmi dobře patrné, že vysoké koncentrace CO se vyskytují převážně v nočních hodinách při bezvětří, resp. při severovýchodním až jihovýchodním proudění.



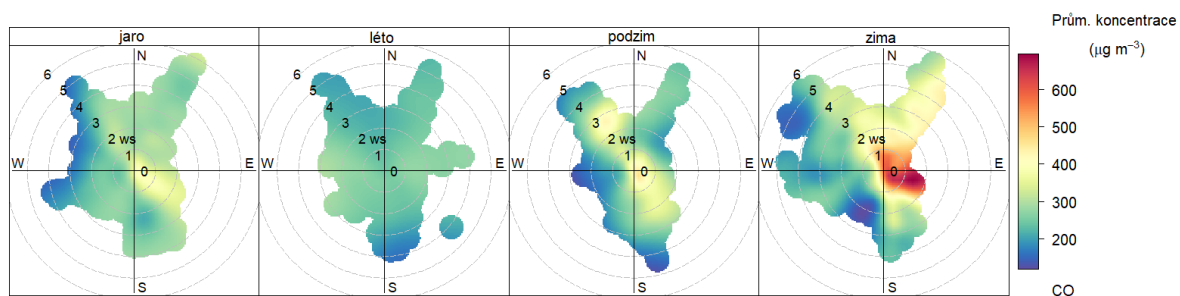
Obr. 63 - Koncentrační růžice ve dne (daytime) a v noci (nighttime), Otrokovice – město, rok 2022

Koncentrační růžici je taky možné rozdělit na pracovní dny a víkendy. Jak ukazuje následující Obr. 64, mírně vyšší koncentrace jsou měřeny o víkendech při bezvětří a východním proudění.



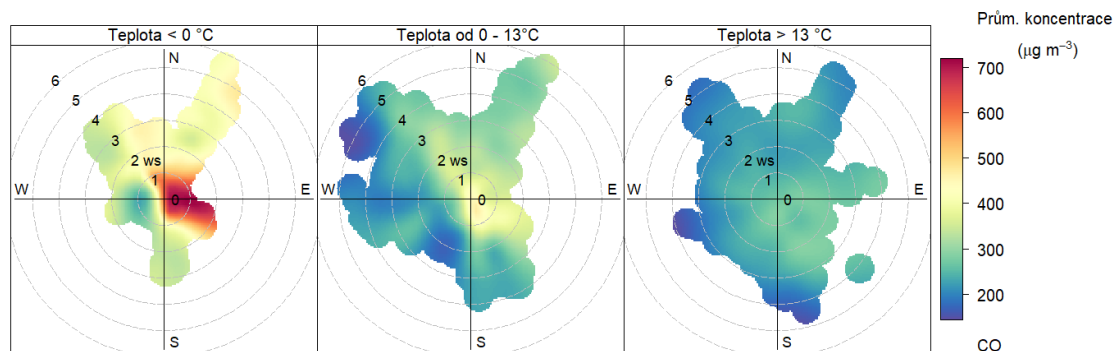
Obr. 64 – Koncentrační růžice v pracovní dny a o víkendu, Otrokovice – město, rok 2022

Následující Obr. 65 zobrazuje koncentrační růžice v jednotlivých ročních obdobích. Vysoké koncentrace lze sledovat převážně v zimě, v ostatních měsících jsou koncentrace výrazně nižší.



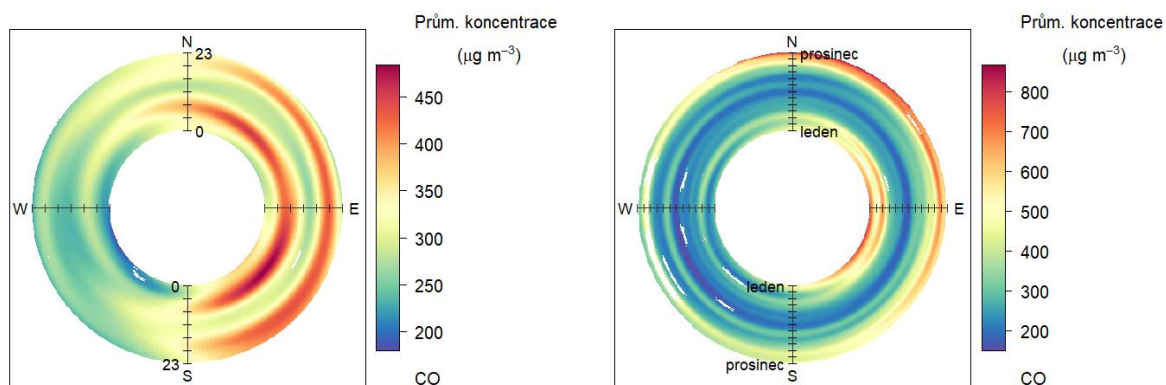
Obr. 65 – Koncentrační růžice jednotlivých ročních období, Otrokovice – město, rok 2022

Zajímavé je také rozdělit koncentrační růžice na základě teplot vzduchu. Z Obr. 66 je pak patrné, že nejvyšší koncentrace jsou takřka výhradně měřeny při teplotách vzduchu nižších než 0 °C. Při vyšších teplotách jsou zvýšené koncentrace měřeny pouze při bezvětří. Při teplotách nad 13 °C jsou koncentrace CO nízké.



Obr. 66 – Koncentrační růžice členěná dle teplot, Otrokovice – město, rok 2022

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. 67 – Průměrný denní chod (vlevo) a roční chod (vpravo) koncentrací dle směru větru, Otrokovice – město, rok 2022

Z Obr. 67 pak vyplývá, že v případě lokality Otrokovice – město v roce 2022 byly nejvyšší koncentrace CO měřeny při východním proudění zejména v brzkých ranních hodinách, a dále ve večerních a nočních hodinách. Z ročního chodu pak vyplývá, že koncentrace kulminovaly začátkem a koncem roku.

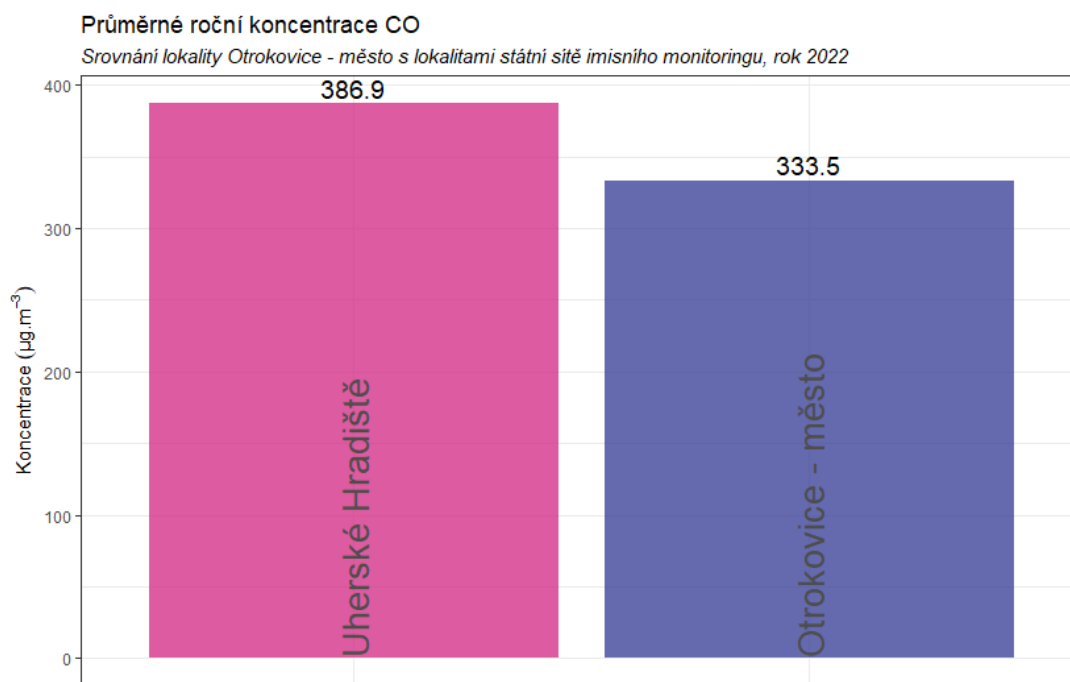
3.3.5 Srovnání s lokalitami státní sítě imisního monitoringu

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

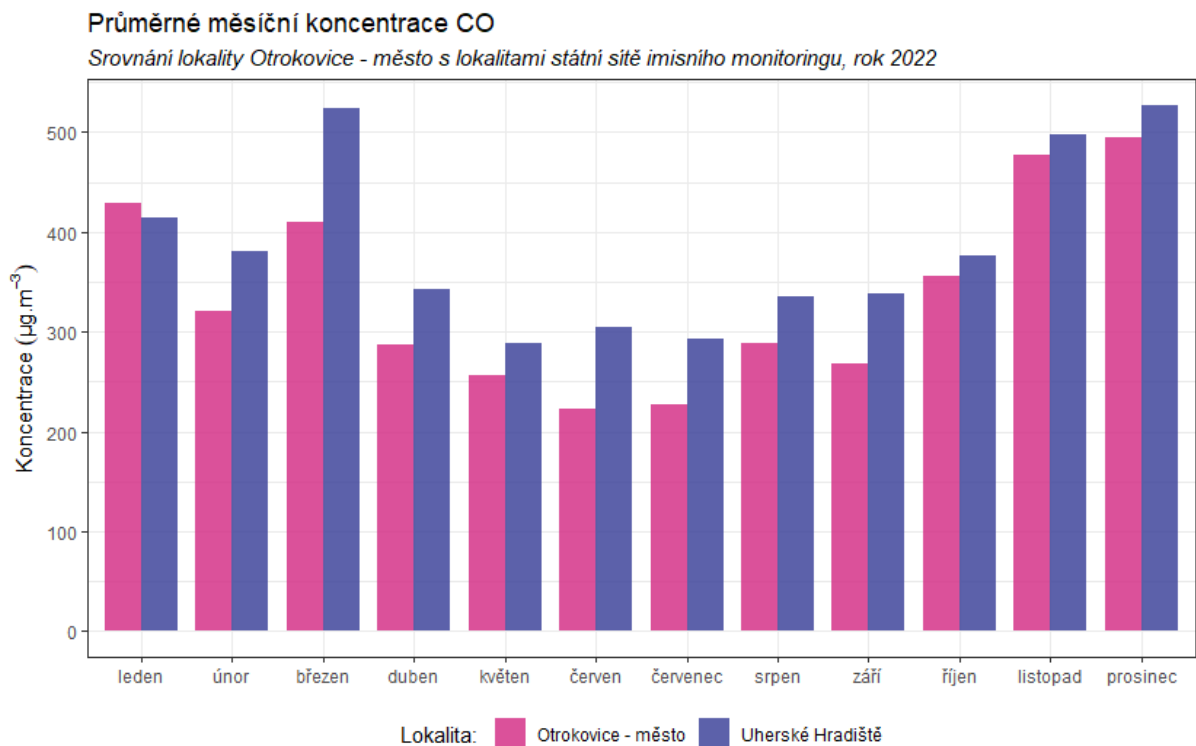
Na následujícím Obr. 68 jsou zobrazeny průměrné roční koncentrace oxidu uhelnatého CO na okolních lokalitách v roce 2022 a srovnány s lokalitou Otrokovice – město. Z grafu vyplývá, že v lokalitě Otrokovice – město jsou měřeny mírně nižší koncentrace CO z obou srovnávaných dopravních lokalit.

Následující graf na Obr. 69 zobrazuje průměrné měsíční koncentrace CO naměřené ve vybraných dopravních lokalitách. Z grafu je patrné, že vysoké koncentrace jsou vždy měřeny v chladné části roku. Lokalita Uherské Hradiště měří ve většině měsíců mírně vyšší koncentrace, než lokalita Otrokovice – město.

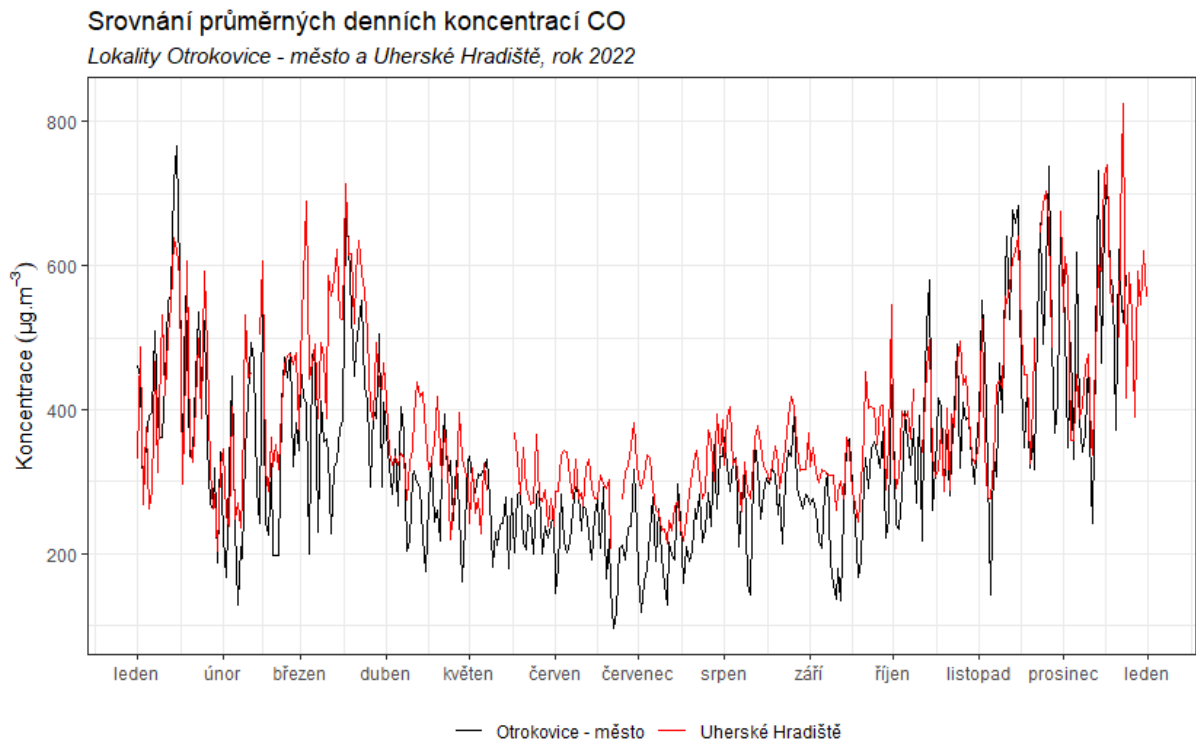
Graf na Obr. 70 uvádí srovnání průměrných denních koncentrací CO s nejbližší dopravní lokalitou státní sítě imisního monitoringu Uherské Hradiště. Z grafu je patrné, že v obou lokalitách jsou měřeny srovnatelné koncentrace s podobným vývojem.



Obr. 68 – Srovnání průměrné roční koncentrace CO lokality Otrokovice s lokalitou Uherské Hradiště, rok 2022



Obr. 69 – Srovnání průměrných měsíčních koncentrací CO lokality Otrokovice – město s lokalitou Uherské Hradiště, rok 2022



Obr. 70 – Srovnání průměrných denních koncentrací CO, lokality Otrokovice – město a Uherské Hradiště, rok 2022

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** (20,0 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) ani **PM_{2,5}** (15,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) nepřekračují imisní limit pro průměrné roční koncentrace těchto škodlivin.
- Za rok 2022 byla hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci **PM₁₀** (50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) překročena pouze 8x, 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** s dopravní stanicí státní sítě imisního monitoringu Uherské Hradiště vyplývá, že v lokalitě Otrokovice – město jsou měřeny obdobné koncentrace, v lokalitě Otrokovice – město byly vyšší v měsících srpen–říjen. Z hlediska týdenního chodu jsou vyšší koncentrace měřeny v pracovní dny s vyšším zatížením dopravou.
- Průměrná roční koncentrace **NO₂** (23,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 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 mírně vyšší než koncentrace, které měřila dopravní stanice státní sítě imisního monitoringu Uherské Hradiště.
- 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 2022 činila 1084,8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 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] R. Tolasz a H. Škáchová, „Rok 2022 v Česku,“ ČHMÚ, 01 2023. [Online]. Available: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2023/Zprava_Rok_2022.pdf.
- [6] V. Michal, „O provozu vznětových motorů a aerosolech jimi produkovaných v městských aglomeracích.,“ v *Konference ČAS 2010. Sborník konference*, Praha, 2010.
- [7] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2021, ISBN: ISBN 978-80-7653-038-6,“ ČHMÚ Praha, 2022. [Online]. Available: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/21groc/gr21cz/Obsah_CZ.html.
- [8] U. EPA, „Particulate Matter (PM) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/pm-pollution>.
- [9] J. Keder, „Rozbor výsledků kontinuálního měření spekter velikostí částic analyzátoru Grimm,“ v *Ovzduší 2007*, Brno, 2007.
- [10] USEPA, „Nitrogen Dioxide (NO2) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/no2-pollution>.
- [11] P. WARNECK, *Chemistry of the natural atmosphere*, San Diego: Academic Press: ISBN 0-12-735632-0, 2000.
- [12] European Commission, „Position paper on air quality: nitrogen dioxide,“ 1997.
- [13] Vyhláška č. 330/2012 Sb. o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích, Praha, 2012.
- [14] 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>.
- [15] 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.
- [16] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České Republiky,“ 1996 - 2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html.
- [17] ČHMÚ, „Registr emisí a zdrojů znečištění ovzduší,“ 2010-2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emisnibilance_CZ.html.

- [18] 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.
- [19] WHO, „Air quality guidelines for Europe, Second Edition,“ *WHO Regional Publications, European Series*, sv. No. 91, 2000.
- [20] 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.
- [21] J. Fiala a D. Závodský, „Chemické aspekty znečištěného ovzduší – troposférický ozon,“ v *Kompendium ochrany kvality ovzduší*, Praha, 2003.
- [22] I. Colbeck a A. R. Mackenzie, „Air Pollution by photochemical oxidants,“ *Air Quality Monographs*, č. Elsevier. ISBN 0-444-88542-0, 1994.
- [23] EEA, „Air quality in Europe — 2016 report,“ 2016. [Online]. Available: https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016/at_download/file.
- [24] 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.
- [25] 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].
- [26] *Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší*, 2012.
- [27] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2019,“ ISBN: ISBN 978-80-7653-009-6, ČHMÚ, 2020. [Online]. Available: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/Obsah_CZ.html.
- [28] R. Tolasz a H. Škáchová, „Rok 2021 v Česku,“ INFOMET, 12 01 2022. [Online]. Available: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1641983653>.
- [29] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020,“ ISBN: ISBN 978-80-7653-023-2, ČHMÚ, 2021. [Online]. Available: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/Obsah_CZ.html.