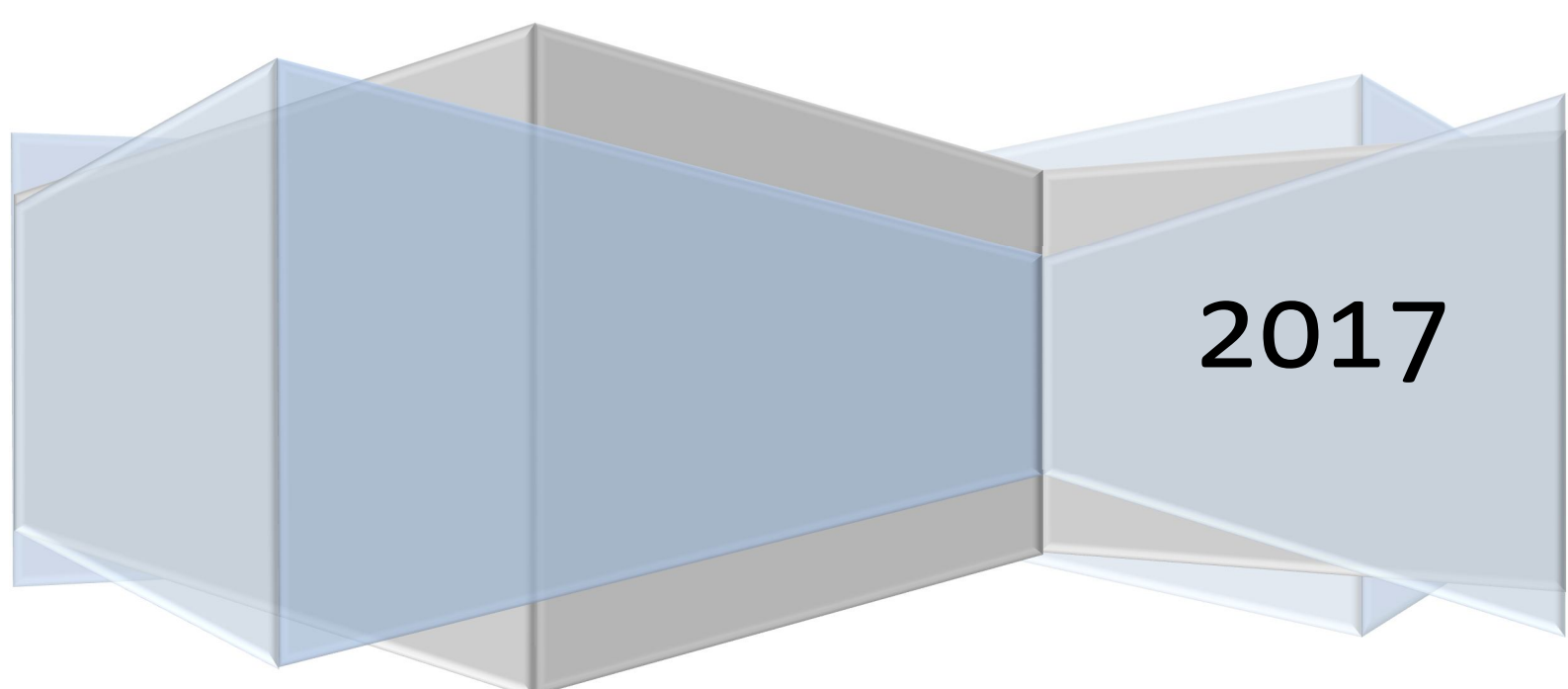


ENVltech Bohemia s.r.o.

Vyhodnocení kvality ovzduší v Otrokovicích v roce 2017



2017

OBSAH

1	ÚVOD	2
2	IMISNÍ LIMITY	3
3	METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY V ROCE 2017	4
3.1	METEOROLOGICKÁ SITUACE V ROCE 2017 A VLIV NA KVALITU OVZDUŠÍ	4
3.2	VĚTRNÁ RŮŽICE A RYCHLOST VĚTRU	5
3.3	TEPLOTA VZDUCHU	7
3.4	ÚHRN SRÁŽEK	8
4	VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ V OTROKOVICÍCH	9
4.1	SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{10}, $PM_{2,5}$ A PM_1	9
4.1.1	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE PM_{10} , $PM_{2,5}$ A PM_1	11
4.1.2	DENNÍ KONCENTRACE PM_{10}	15
4.1.3	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	19
4.2	OXIDY DUSÍKU – NO, NO_2 A NO_x	21
4.2.1	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE NO , NO_2 A NO_x	22
4.2.2	HODINOVÉ KONCENTRACE NO_2	25
4.2.3	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	29
4.3	OXID UHELNATÝ	30
5	ZÁVĚR	32
6	CITOVANÁ LITERATURA	33

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 2017, srovnání s legislativou a dalšími monitorovacími stanicemi ve Zlínském kraji. Pro vyhodnocení byla použita data ČHMÚ. Český hydrometeorologický ústav je akreditován dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 jako zkušební laboratoř č. 1460. Informace o rozsahu akreditace je možné najít na stránkách Českého Institutu pro Akreditaci (www.cai.cz).

2 IMISNÍ LIMITY

V lokalitě Otrokovice jsou měřeny následující škodliviny:

- suspendované částice PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁
- oxidy dusíku – NO, NO₂ a NO_x
- oxid uhelnatý

Pro tyto škodliviny platí dle zákona 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší [1] následující imisní limity.

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

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit LV	UAT	LAT	pLV
Oxid uhelnatý CO	maximální denní osmihodinový klouzavý průměr	10 mg*m ⁻³	7 mg*m ⁻³	5 mg*m ⁻³	
Prašný aerosol PM ₁₀	24 hodin	50 µg*m ⁻³	35 µg*m ⁻³	25 µg*m ⁻³	35
Prašný aerosol PM ₁₀	1 kalendářní rok	40 µg*m ⁻³	28 µg*m ⁻³	20 µg*m ⁻³	
Prašný aerosol PM _{2,5}	1 kalendářní rok	25 µg*m ⁻³	17 µg*m ⁻³	12 µg*m ⁻³	
Oxid dusičitý NO ₂	1 hodina	200 µg*m ⁻³	140 µg*m ⁻³	100 µg*m ⁻³	18
Oxid dusičitý NO ₂	1 kalendářní rok	40 µg*m ⁻³	32 µg*m ⁻³	26 µg*m ⁻³	

Kromě samotných imisních limitů tabulky uvádí také přípustnou četnost překročení za kalendářní rok (pLV, je-li stanovena), horní mez pro posuzování (UAT) a dolní mez pro posuzování (LAT). Pokud jsou v území překračovány hodnoty horní meze pro posuzování, je pro hodnocení kvality ovzduší nutné koncentrace měřit stacionárním měřením. V případě, že jsou nižší než dolní mez pro posuzování, postačuje pro posuzování úrovně znečištění výpočet pomocí modelu. V případě koncentrací mezi dolní a horní mezí pro posuzování se používá kombinace měření a výpočtu. Poslední sloupec (pLV) v Tab. 1 zobrazuje maximální povolený počet překročení limitní hodnoty (LV) za kalendářní rok. To znamená, že například v případě denního limitu pro PM₁₀ může být za kalendářní rok hodnota 50 µg.m⁻³ 35krát překročena, aniž by došlo k překročení imisního limitu. Proto se často hodnotí 36. nejvyšší denní koncentrace, která pokud je vyšší než 50 µg.m⁻³, došlo k překročení imisního limitu.

3 METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY V ROCE 2017

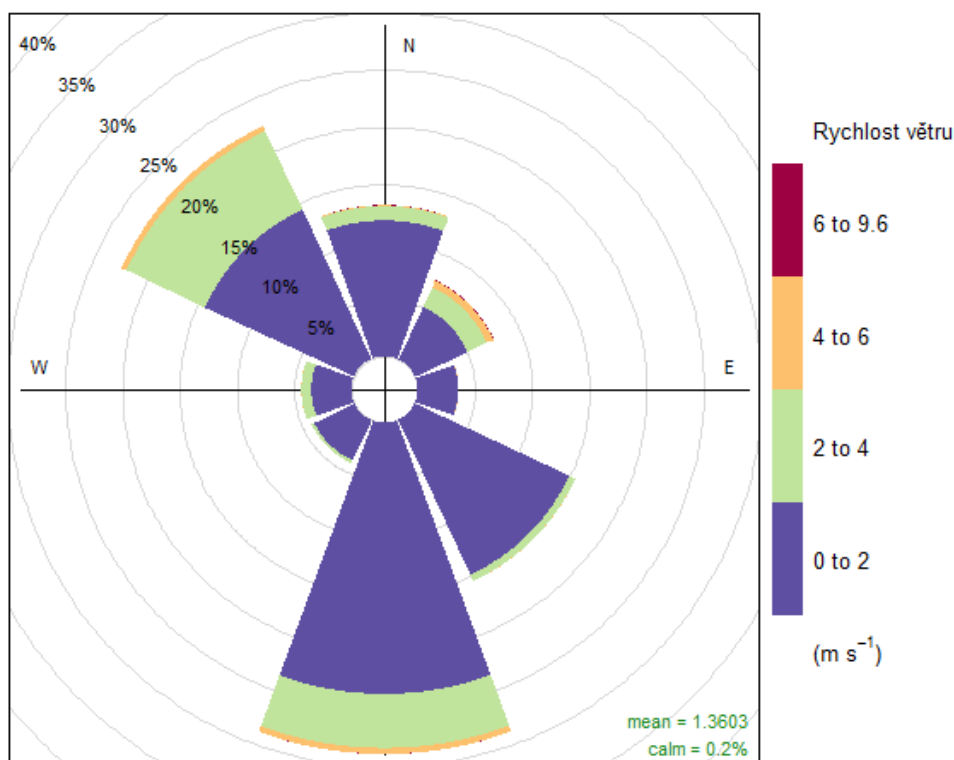
3.1 METEOROLOGICKÁ SITUACE V ROCE 2017 A VLIV NA KVALITU OVZDUŠÍ

Rok 2017 byl s průměrnou teplotou 8,6 °C a s odchylkou +1,3 °C od normálu 1961–1990 silně nadnormální, stejně jako předchozí roky 2014, 2015 a 2016, které však byly významně teplejší. Teplotní odchylka v jednotlivých měsících kolísala od +3,5 °C v březnu, teplotně silně nadnormální měsíc na hranici měsíce mimořádně nadnormálního, až po –2,8 °C v lednu, který tak byl měsícem teplotně podnormálním. Roční srážkový úhrn 675 mm zařazuje rok mezi roky srážkově normální (normál za období 1961–1990 je v Česku 674 mm). Nejvíce srážek, v průměru 90 mm, což bylo ale jen 113 % normálu, napadlo v České republice v červenci a nejméně, v průměru jen 24 mm, to je 63 % normálu, v únoru. Oba tyto srážkově extrémní měsíce však zůstaly v intervalu měsíců srážkově normálních. Jen měsíce duben a říjen byly silně nadnormální (162 respektive 188 % normálu), měsíc květen byl s 58 % podnormální, měsíce leden, únor, červen, srpen, listopad a prosinec měly úhrn nižší než je normál, ale jsou klasifikovány jako měsíce srážkově normální. V březnu, v červenci a v září byl úhrn vyšší, než je normál, ale jsou klasifikovány rovněž jako měsíce srážkově normální [2].

Na základě dat z **automatizovaných** stanic imisního monitoringu lze provést **předběžně hodnocení** kvality ovzduší v roce 2017 v návaznosti na rozptylové podmínky v ovzduší. Znečištění venkovního ovzduší suspendovanými částicemi frakce PM₁₀ a PM_{2,5}, benzo[a]pyrenem a přízemním ozonem (O₃) představuje hlavní problémy kvality ovzduší Česku. Úroveň znečištění závisí nejen na množství emisí, ale i na převažujících meteorologických a rozptylových podmínkách v daném roce. Vzhledem k procesu získání a zpracování odebraných vzorků je do článku zahrnuto pouze hodnocení suspendovaných částic PM₁₀, přízemního ozonu O₃, oxidu dusičitého NO₂ a oxidu siřičitého SO₂. Ve všech případech se jedná o neverifikovaná data ze stanic automatizovaného imisního monitoringu (AIM) ČHMÚ a dalších příspěvateľů. Verifikované koncentrace naměřené na stanicích AIM a koncentrace naměřené na manuálních stanicích jsou vyhodnoceny až v rámci tabelární a grafické ročenky ČHMÚ, která vychází vždy ve druhé polovině následujícího roku. Maximální povolený počet překročení (35× za kalendářní rok) hodnoty denního imisního limitu PM₁₀ (50 µg·m⁻³) byl v roce 2017 překročen na 47 stanicích AIM, přičemž na počtu překročení se hodnoty imisního limitu se nejvíce podílel měsíc leden (hodnoceny stanice, pro které jsou údaje za všechny měsíce roku 2017). Maximální povolený počet překročení (25× v průměru za tři roky) hodnoty imisního limitu maximální denní 8hodinové koncentrace O₃ (120 µg·m⁻³) byl překročen na 17 stanicích. V roce 2017 bylo vyhlášeno 39 smogových situací a 17 regulací z důvodu vysokých koncentrací PM₁₀ a 2 smogové situace z důvodu vysokých koncentrací přízemního ozonu O₃. Od 1. ledna 2017 vstoupila v platnost novela zákona o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb., která upravila podmínky pro vyhlášení a odvolávání smogových situací a regulací, resp. varování. U PM₁₀, NO₂ a SO₂ se při vyhlášení nově zohledňuje výhled na následujících 24 hodin. Koncentrace PM₁₀ se hodnotí pouze na základě klouzavých 12hodinových průměrů. Nově se zavádí také vyhlášení varování v případě překročení regulační prahové hodnoty pro NO₂ a SO₂, a to bez ohledu na předpokládaný vývoj koncentrací [2].

3.2 VĚTRNÁ RŮŽICE A RYCHLOST VĚTRU

Větrná růžice byla sestrojena z hodinových dat o rychlosti a směru větru. Z Obr. 2 je patrné, že v lokalitě převládají jižní a severozápadní směry, doplněné o jihovýchodní a severní směry proudění větru. Ostatní směry jsou zastoupeny podstatně méně. Tato situace vyplývá z orografie terénu a zástavby v místě měření. Bezvětří panovalo v 0,2 % hodin roku 2017. Proudění větru většinou nepřesahovalo rychlost 2 m.s^{-1} , vyšší rychlosti větru jsou zastoupeny převážně při proudění ze severozápadu a jihu.

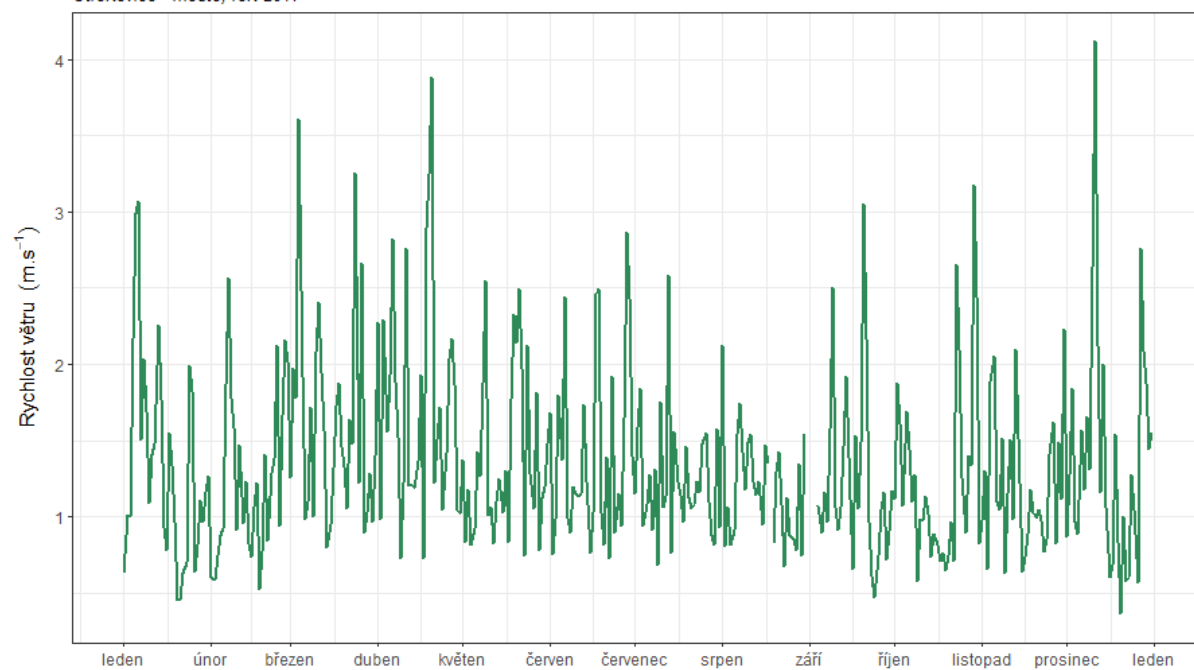


Obr. 2 – Větrná růžice, lokalita Otrokovice, rok 2017

Vývoj průměrných denních rychlostí větru pak zobrazuje Obr. 3. Je patrné, že průměrné denní rychlosti větru vyšší než $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ se vyskytují spíše výjimečně, nejčastěji proudí vítr rychlostí $1 - 2 \text{ m.s}^{-1}$. Z hlediska průměrných měsíčních rychlostí větru je patrné, že nejvyšší hodnoty byly naměřeny v dubnu a březnu, naopak nejnižší rychlosti větru byly měřeny od července do září.

Vývoj průměrných denních rychlostí větru

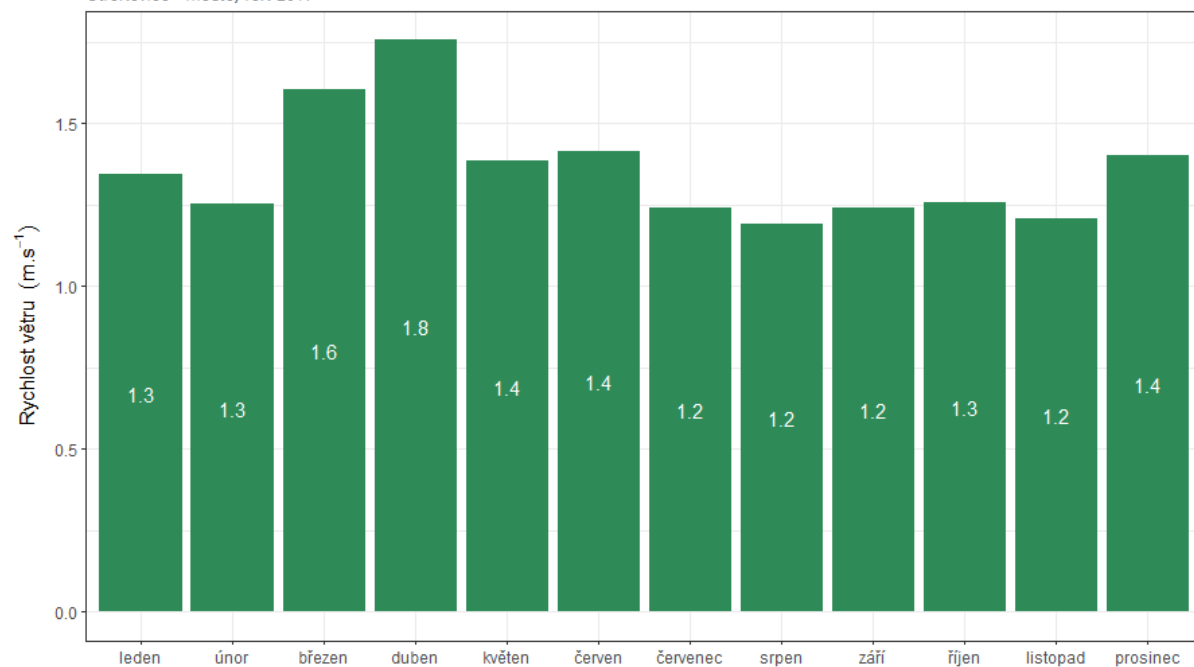
Otrokovice - město, rok 2017



Obr. 3 – Průměrné denní rychlosti větru, Otrokovice, rok 2017

Vývoj průměrných měsíčních rychlostí větru

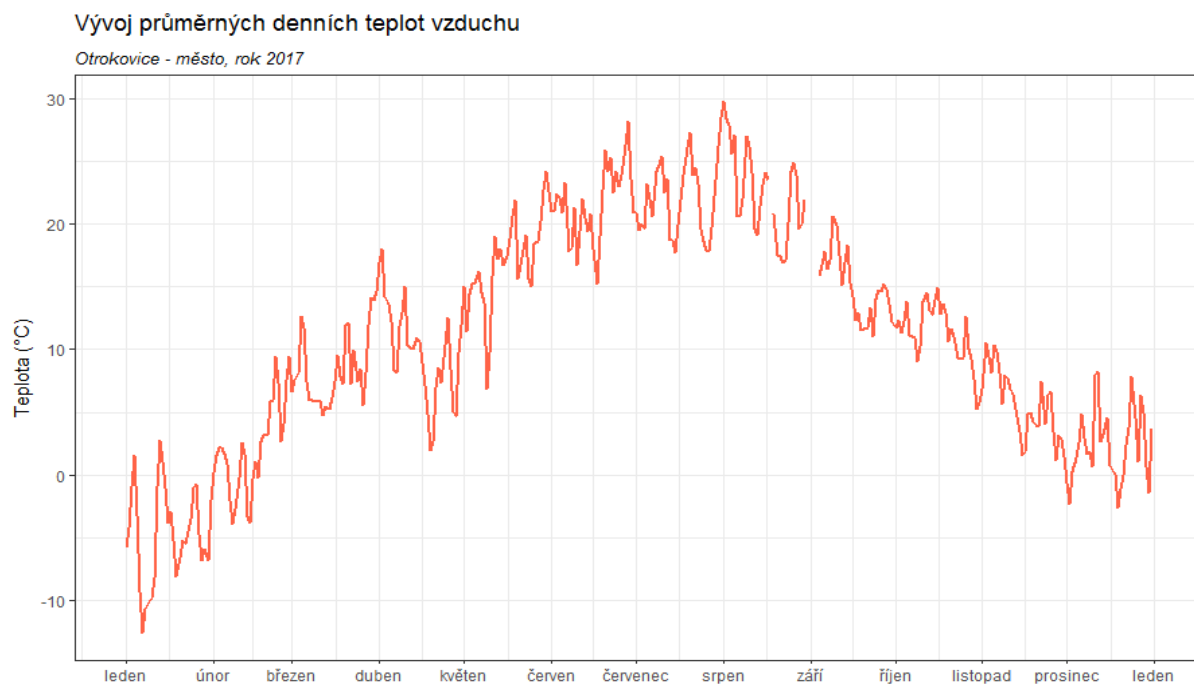
Otrokovice - město, rok 2017



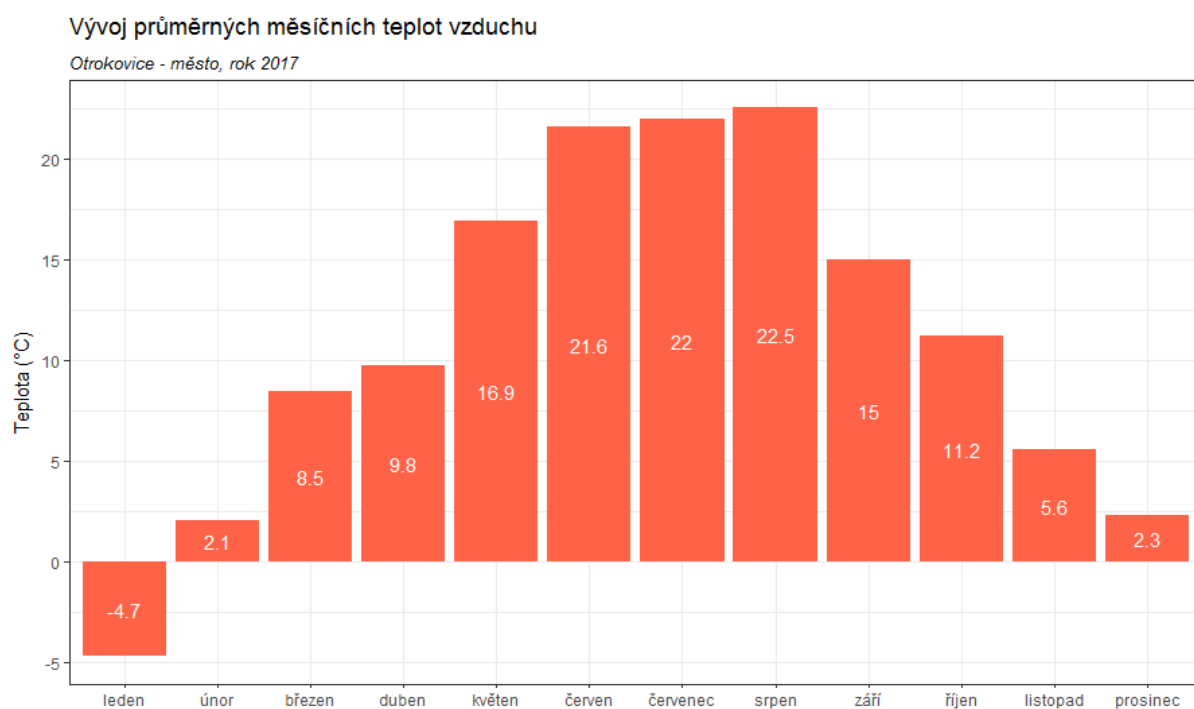
Obr. 4 - Průměrné měsíční rychlosti větru, Otrokovice, rok 2017

3.3 TEPLOTA VZDUCHU

Trend vývoje průměrných denních teplot je zobrazen v grafu na Obr. 5. Jsou zde patrné nejnižší denní teploty v lednu (minimální průměrná denní teplota naměřena dne 7. 1., $-12,6^{\circ}\text{C}$). Mimo leden se teploty pod bodem mrazu vyskytovaly také v únoru, hodnoty však již nebyly tak nízké. Nejvyšší teploty pak panovaly v srpnu (Obr. 6), kdy průměrné měsíční teploty přesáhly 22°C (maximální průměrná denní teplota dosažena 1. 8., $29,7^{\circ}\text{C}$). Naopak leden v průměrných měsíčních teplotách atakoval hranici -5°C , což je zhruba 4°C pod dlouhodobým průměrem.



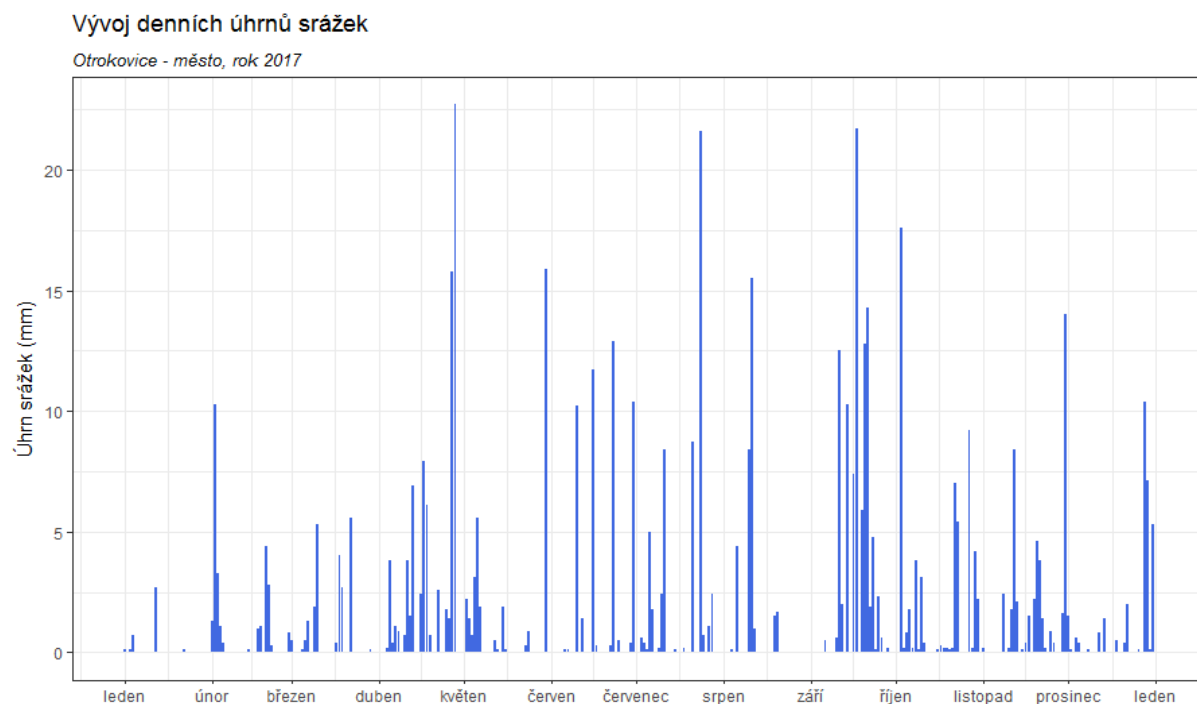
Obr. 5 – Průměrné denní teploty vzduchu, Otrokovice, rok 2017



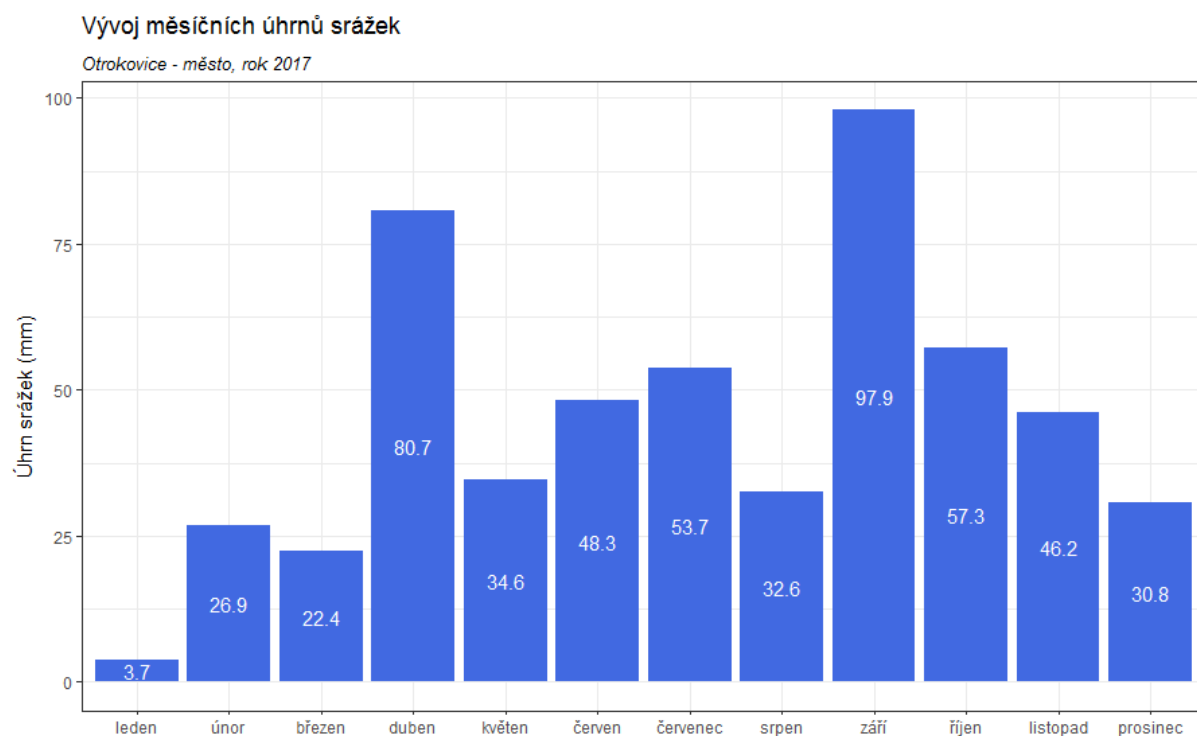
Obr. 6 - Průměrné měsíční teploty vzduchu, Otrokovice, rok 2017

3.4 ÚHRN SRÁŽEK

Denní úhrny srážek zobrazuje následující Obr. 7. Z grafu je patrné maximum dne 28. 4. 2017 (22,7 mm), což je vyšší úhrn srážek za jediný den, než měsíční úhrny v lednu či březnu (Obr. 8). Kromě zmíněných měsíců byl naměřen nízký úhrn srážek také v únoru a prosinci, což se projevilo zejména na koncentracích suspendovaných částic v ovzduší – nedocházelo k vymývání atmosféry a koncentrace tak byly vyšší.



Obr. 7 – Denní úhrn srážek, Otrokovice, rok 2017



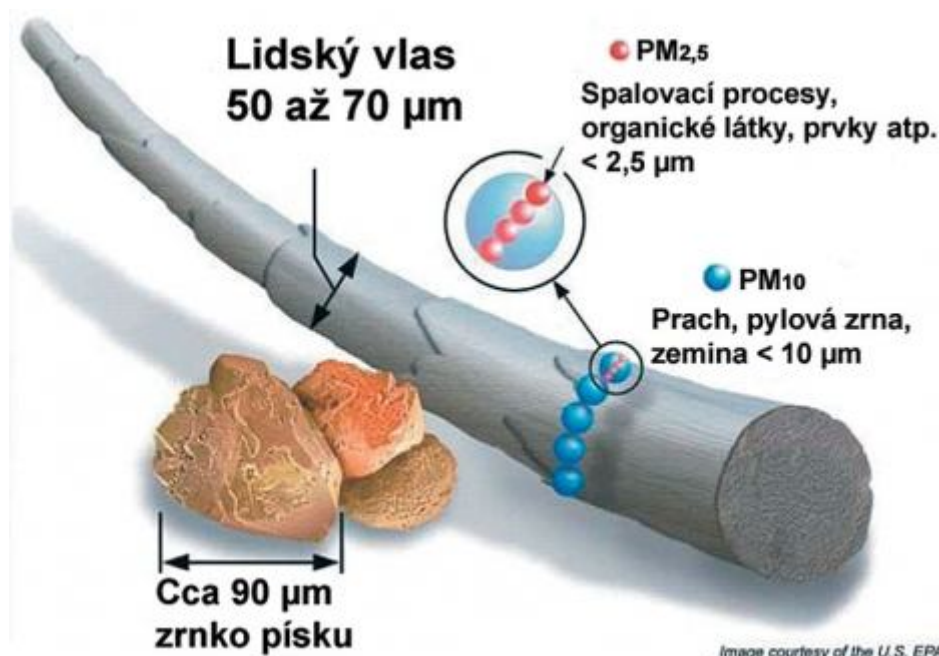
Obr. 8 – Měsíční úhrn srážek, Otrokovice, rok 2017

4 VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ V OTROKOVICÍCH

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

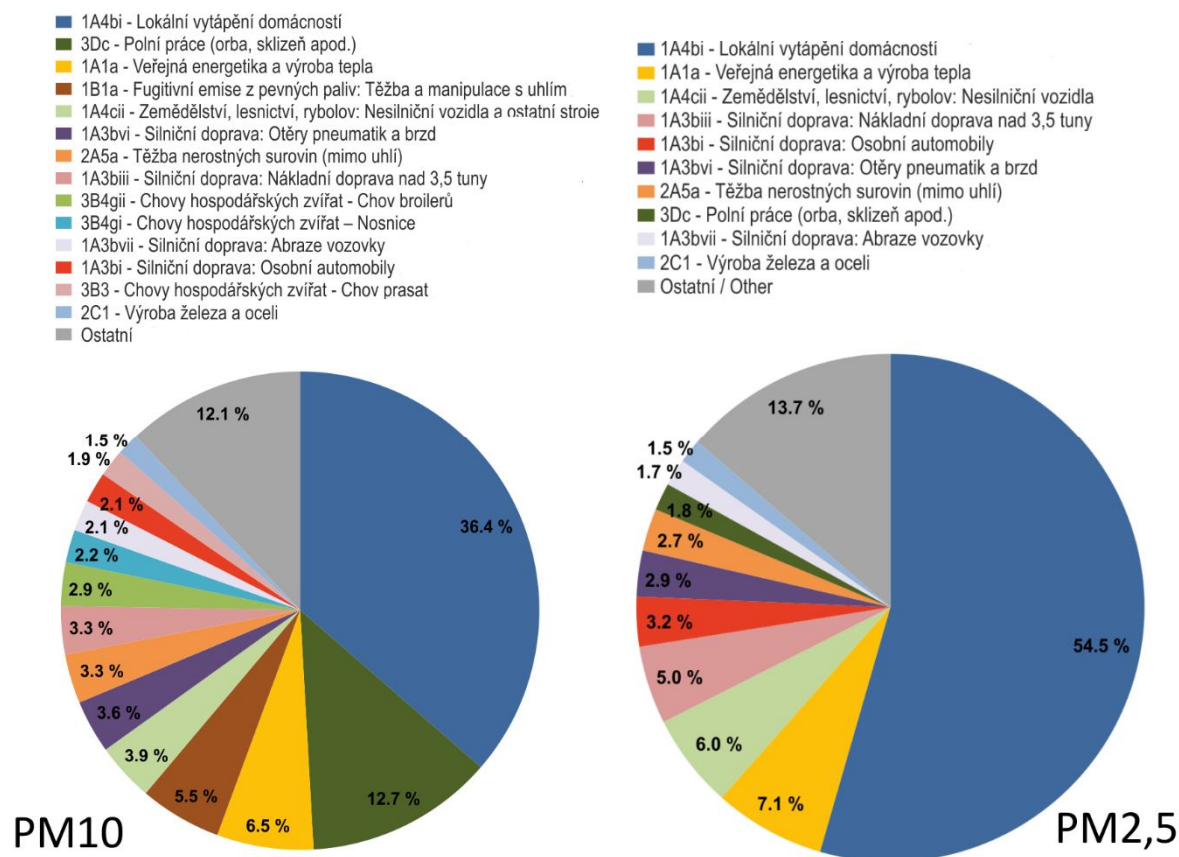
Suspendované částice jsou emitovány jak přírodními (např. sopky či prašné bouře), tak i antropogenními (např. elektrárny a průmyslové technologické procesy, doprava, spalování uhlí v domácnostech, spalování odpadu) zdroji. Většina těchto antropogenních emisních zdrojů je soustředěna v urbanizovaných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

Z hlediska platné legislativy [3] 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. 9.



Obr. 9 – 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 (znovuzvíření), která do standardně prováděných emisních inventur není zahrnuta.



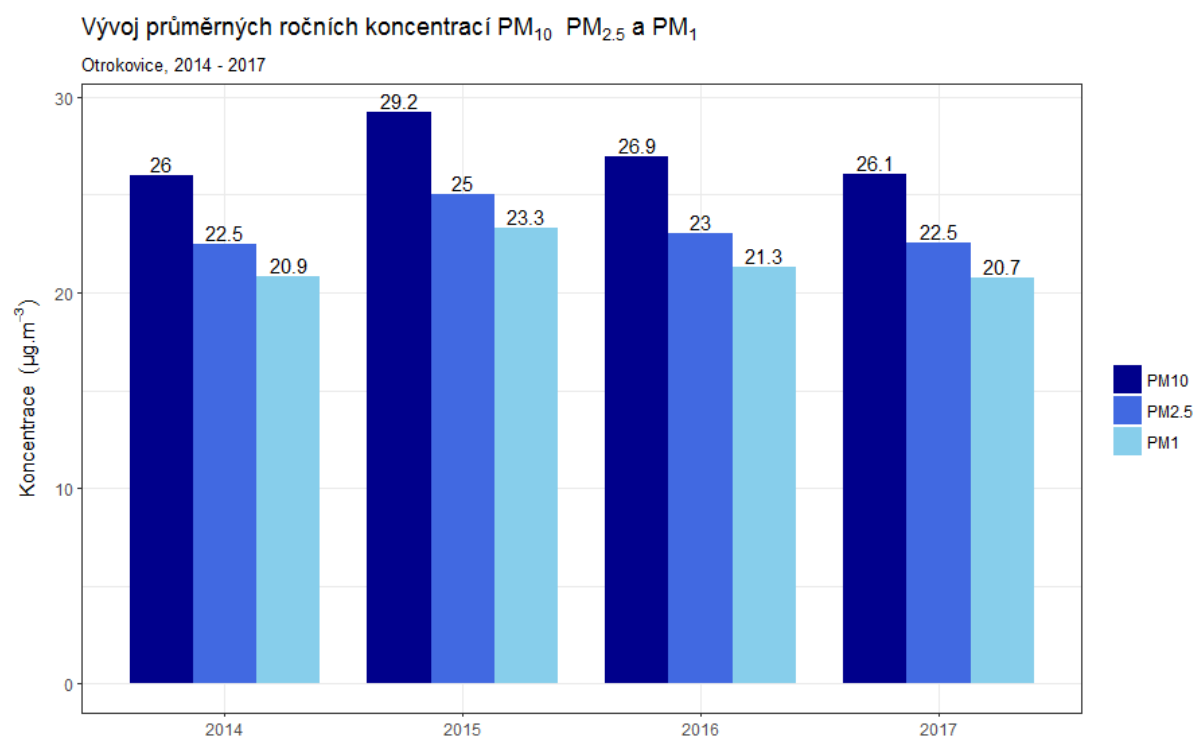
Obr. 10 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích PM_{10} (vlevo) a $PM_{2,5}$ (vpravo) v ČR v roce 2015 [4]

Mezi hlavní zdroje emisí PM_x v roce 2015 patřil sektor 1A4bi-Lokální vytápění domácností, který se podílel na znečišťování ovzduší v celorepublikovém měřítku látkami PM_{10} 36,4 % a $PM_{2,5}$ 54,5 % (Obr. 10) [5]. Mezi další významné zdroje emisí PM_{10} patří 3Dc-Polní práce, kde tyto emise vznikají při zpracování půdy, sklizni a čištění zemědělských plodin. Tento sektor představoval 12,7 % 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 nm [6]. Sektory 1A3biii-Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5 tuny a 1A3bi-Silniční doprava: Osobní automobily se na emisích PM_{10} podílely 5,4 % a na emisích $PM_{2,5}$ 8,2 %.

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 nemoci a úmrtnosti populace. Dlouhodobé vystavení působení částic může vést ke vzniku onemocnění respiračního a kardiovaskulárního systému. Míra zdravotních důsledků je ovlivněna řadou faktorů, jako je například aktuální zdravotní stav jedince, alergická dispozice nebo kouření. Citlivou skupinou jsou děti, starší lidé a lidé trpící onemocněním dýchací a oběhové soustavy. Nejzávažnější zdravotní dopady, tj. kardiovaskulární a respirační účinky a navýšení úmrtnosti, mají jemné a ultra jemné částice s velikostí aerodynamického průměru pod $1\ \mu m$ [7], [8].

4.1.1 Průměrná roční koncentrace PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1

Průměrná roční koncentrace je pro PM_{10} a $PM_{2,5}$ ukazatelem ukotveným v legislativě pomocí imisního limitu pro tuto hodnotu. Jedná se o dlouhodobou charakteristiku kvality ovzduší v daném roce a lokalitě. Následující Obr. 11 zobrazuje vývoj průměrných ročních charakteristik jednotlivých frakcí částic v lokalitě Otrokovice-město od počátku měření v roce 2014.

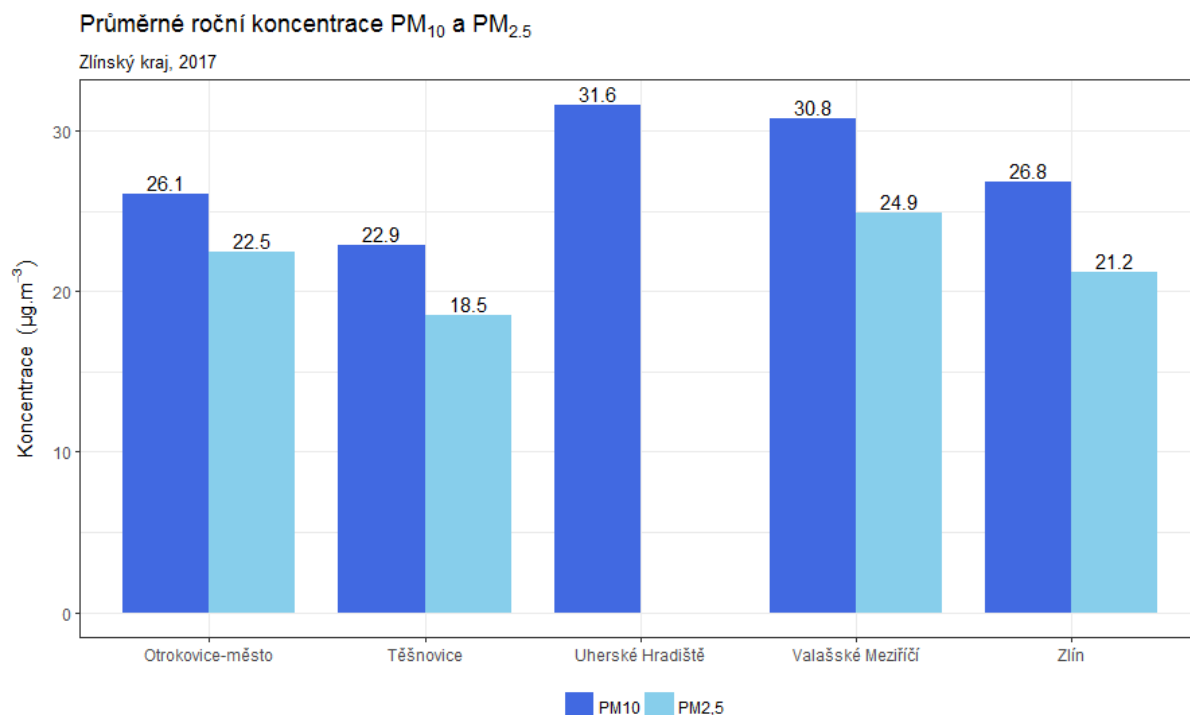


Obr. 11 – Průměrná roční koncentrace PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 , lokalita Otrokovice-město, 2014-2017

Z grafu je patrné, že nejvyšších hodnot bylo dosaženo v roce 2015. V ostatních letech jsou koncentrace poměrně vyrovnané. Průměrná roční koncentrace PM_{10} se pohybuje mezi 26 a 27 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, k překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci PM_{10} (40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) tedy dlouhodobě nedochází.

Z hlediska průměrných ročních koncentrací jemnější frakce $PM_{2,5}$ je situace mírně odlišná. V roce 2015 došlo přesně k vyrovnaní hodnoty imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci $PM_{2,5}$ (25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). V ostatních letech k překračování této hodnoty nedochází. Avšak od roku 2020 dojde ke zpřísnění imisního limitu z 25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ [9]. Při zachování současných hodnot $PM_{2,5}$ by tedy docházelo k překračování tohoto imisního limitu.

Následující Obr. 12 zobrazuje hodnoty průměrných ročních koncentrací pro suspendované částice PM_{10} a $PM_{2,5}$ v roce 2017 v Otrokovicích a na dalších lokalitách státní sítě imisního monitoringu (SSIM) ve Zlínském kraji.



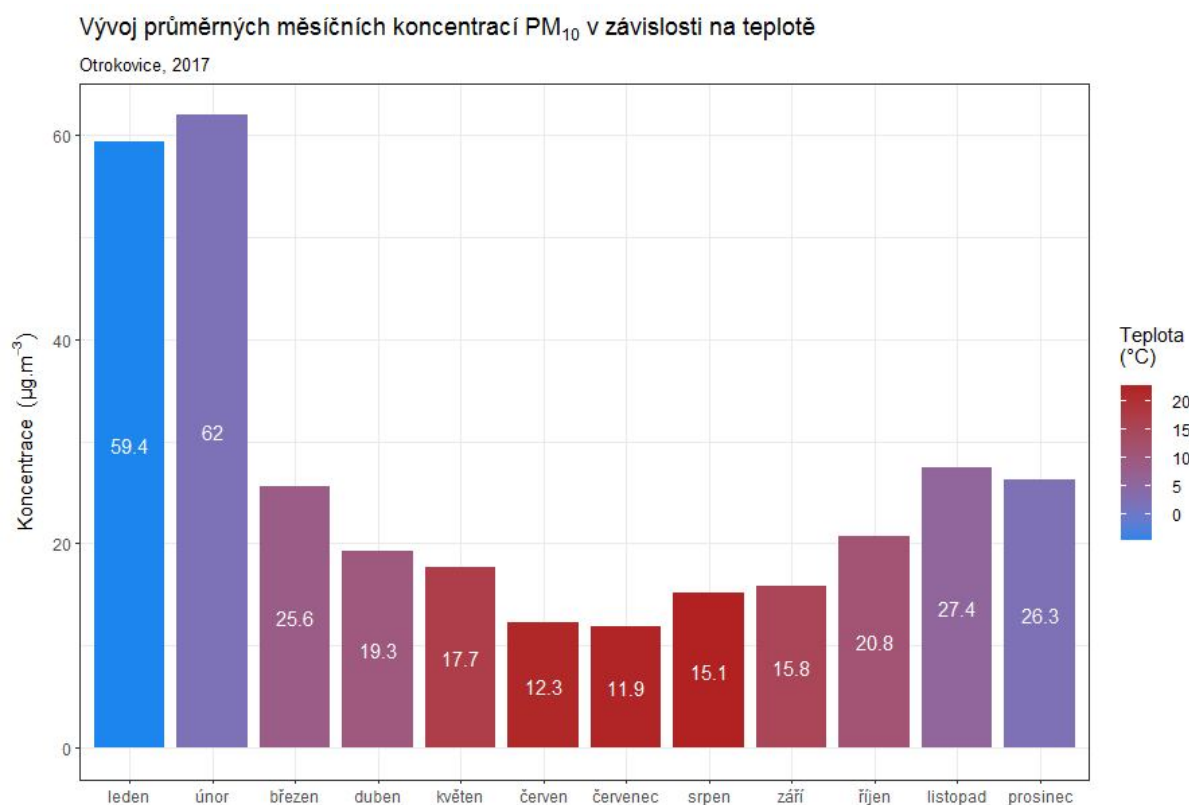
Obr. 12 – Průměrné roční koncentrace PM na stanicích imisního monitoringu ve Zlínském kraji, rok 2017

Z obrázku je patrné, že nejvyšší průměrné roční koncentrace PM₁₀ byly naměřeny v lokalitách Uherské Hradiště a Valašské Meziříčí. V případě Uherského Hradiště se jedná o dopravní lokalitu. Valašské Meziříčí sice není dopravní lokalitou, ale je podstatně více ovlivněna dálkovým přenosem znečištění z Polska a Moravskoslezského kraje. Nejvyšších hodnot koncentrací PM₁₀ dosahuje dopravní lokalita v Uherském Hradišti, nejnižší pak venkovská pozadová lokalita v Těšnovicích nedaleko Kroměříže. Lokalita Otrokovice se koncentračně pohybuje na úrovni Zlína.

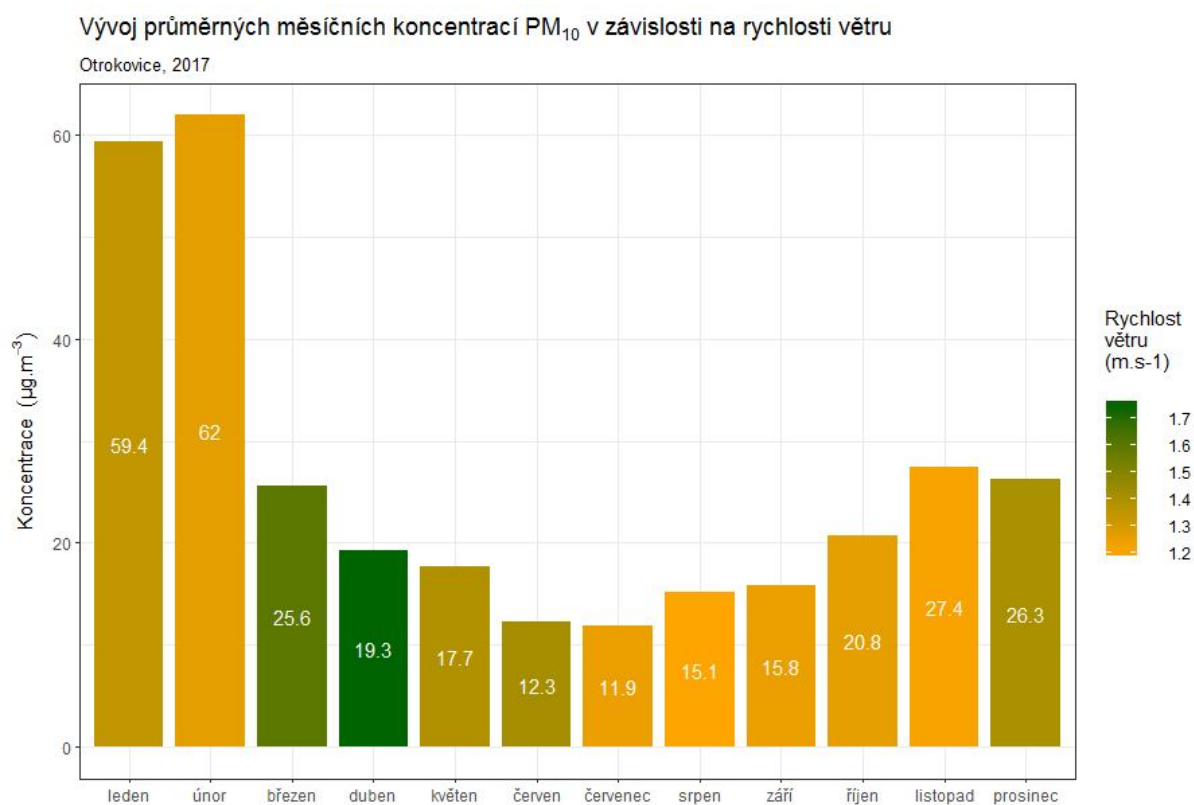
V případě PM_{2,5} byly nejvyšší koncentrace naměřeny ve Valašském Meziříčí a dále v Otrokovicích (lokalita Uherské Hradiště PM_{2,5} neměří). Z naměřených koncentrací rovněž vyplývá, že zpřísnění imisní limit by v roce 2017 dodržela pouze venkovská lokalita Těšnovice.

Z následujících Obr. 13 - Obr. 16 je patrné, že nejvyšších koncentrací je dosahováno v zimním období. Důvodem je zejména topná sezóna (lokální topeniště vyprodukují za celý rok zhruba 40 % částic PM₁₀ a více než 50 % všech emisí jemnější frakce PM_{2,5}, přitom jsou v provozu převážně pouze v topné sezóně). Velmi významným faktorem jsou však také meteorologické podmínky. Důležité je, zda-li panuje inverzní charakter počasí (zejména zimní období), na koncentrace částic mají významný vliv teplota vzduchu, rychlost větru, vlhkost či srážky.

Z následujících obrázků je dále patrný vliv zmiňovaných meteorologických prvků na koncentrace suspendovaných částic. S klesající teplotou či rychlostí větru rostou koncentrace částic a naopak. Významné jsou rovněž srážky. Pokud prší málo, nedochází k dostatečnému pročišťování atmosféry a koncentrace rostou. V případě vlhkosti koncentrace rostou s rostoucí vlhkostí. Nejvyšší průměrné měsíční koncentrace PM₁₀ byly měřeny v lednu a únoru, kdy panovaly v celé střední Evropě velmi špatné rozptylové podmínky, které vedly k vyhlášení četných smogových situací a regulací.



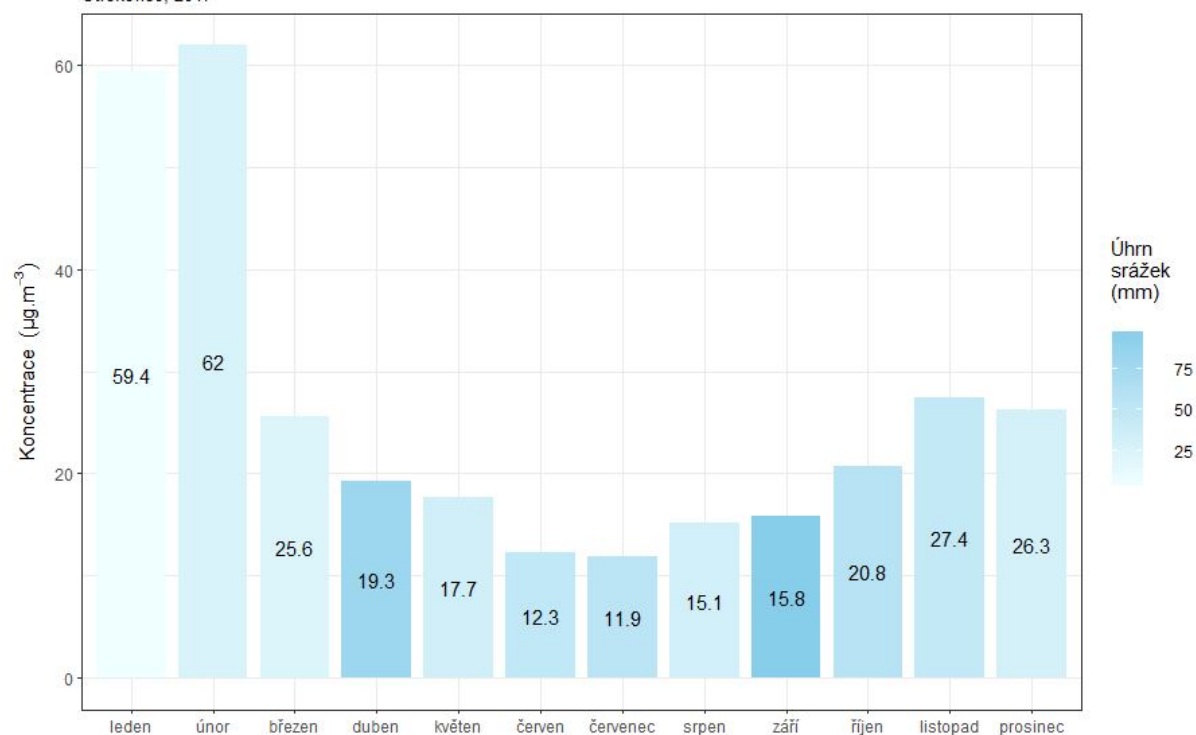
Obr. 13 – Průměrné měsíční koncentrace PM₁₀ v závislosti na průměrné teplotě vzduchu, Otrokovice, 2017



Obr. 14 - Průměrné měsíční koncentrace PM₁₀ v závislosti na průměrné rychlosti větru, Otrokovice, 2017

Vývoj průměrných měsíčních koncentrací PM₁₀ v závislosti na množství srážek

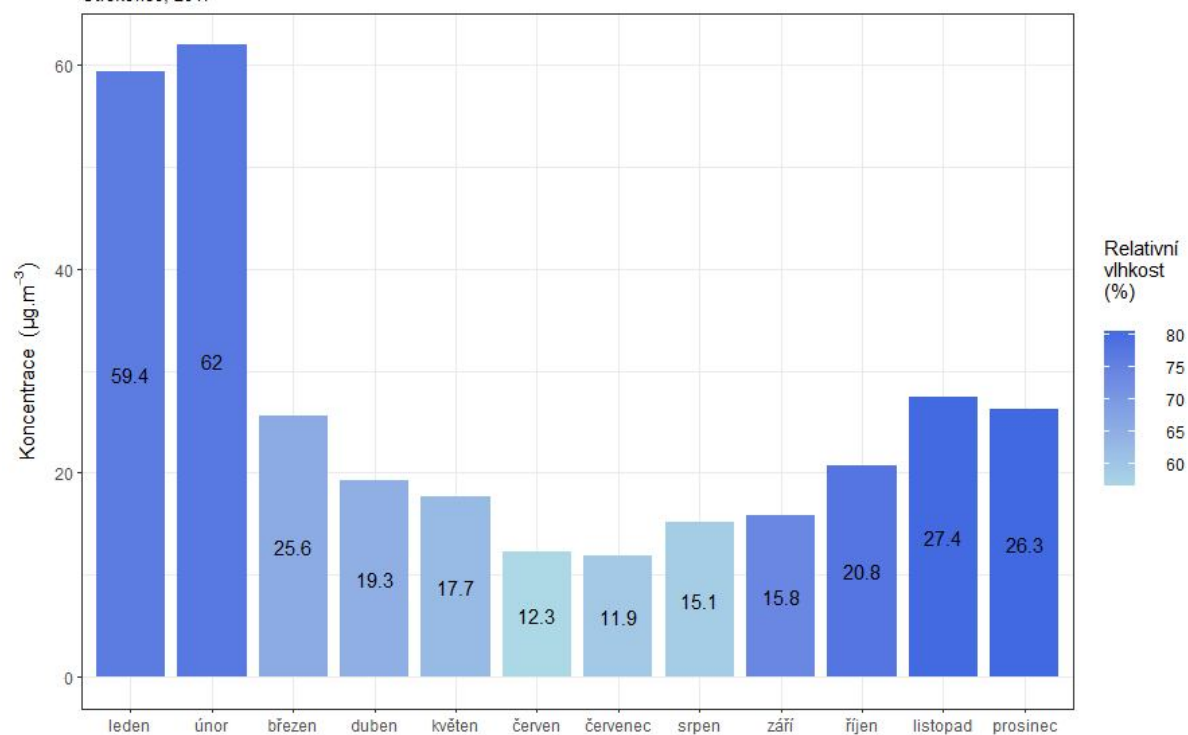
Otrokovice, 2017



Obr. 15 – Průměrné měsíční koncentrace PM v závislosti na úhrnu srážek, Otrokovice, 2017

Vývoj průměrných měsíčních koncentrací PM₁₀ v závislosti na relativní vlhkosti

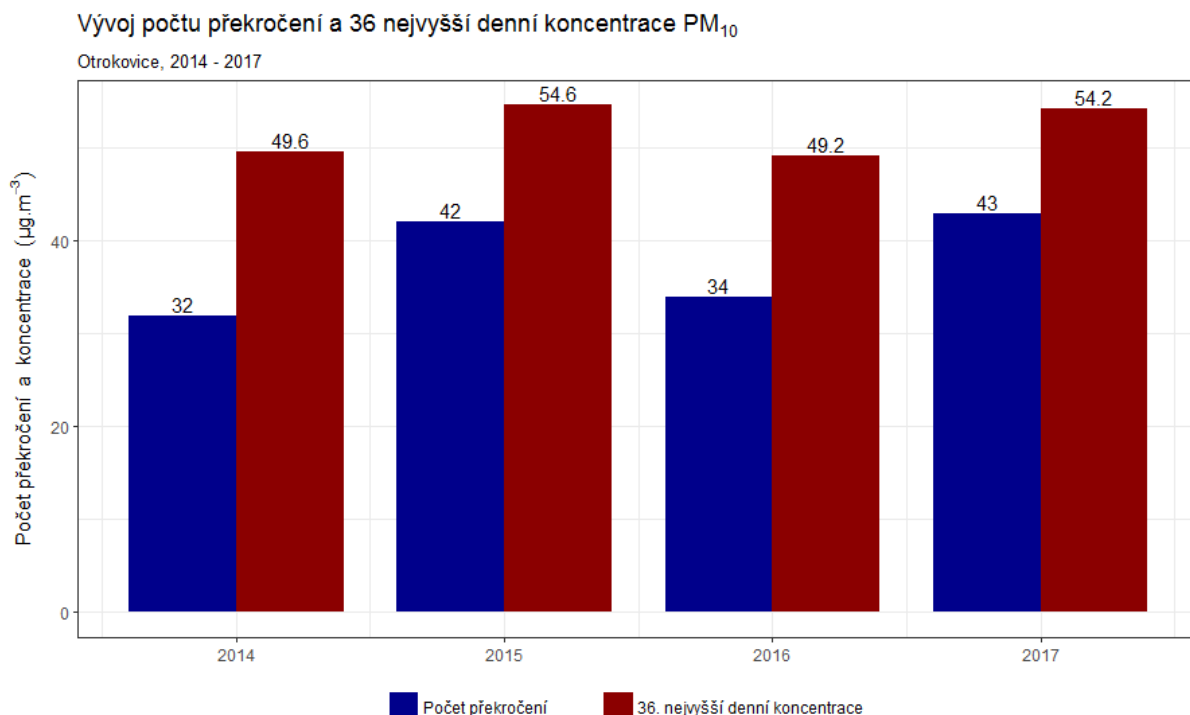
Otrokovice, 2017



Obr. 16 - Průměrné měsíční koncentrace PM₁₀ v závislosti na průměrné relativní vlhkosti vzduchu, Otrokovice, 2017

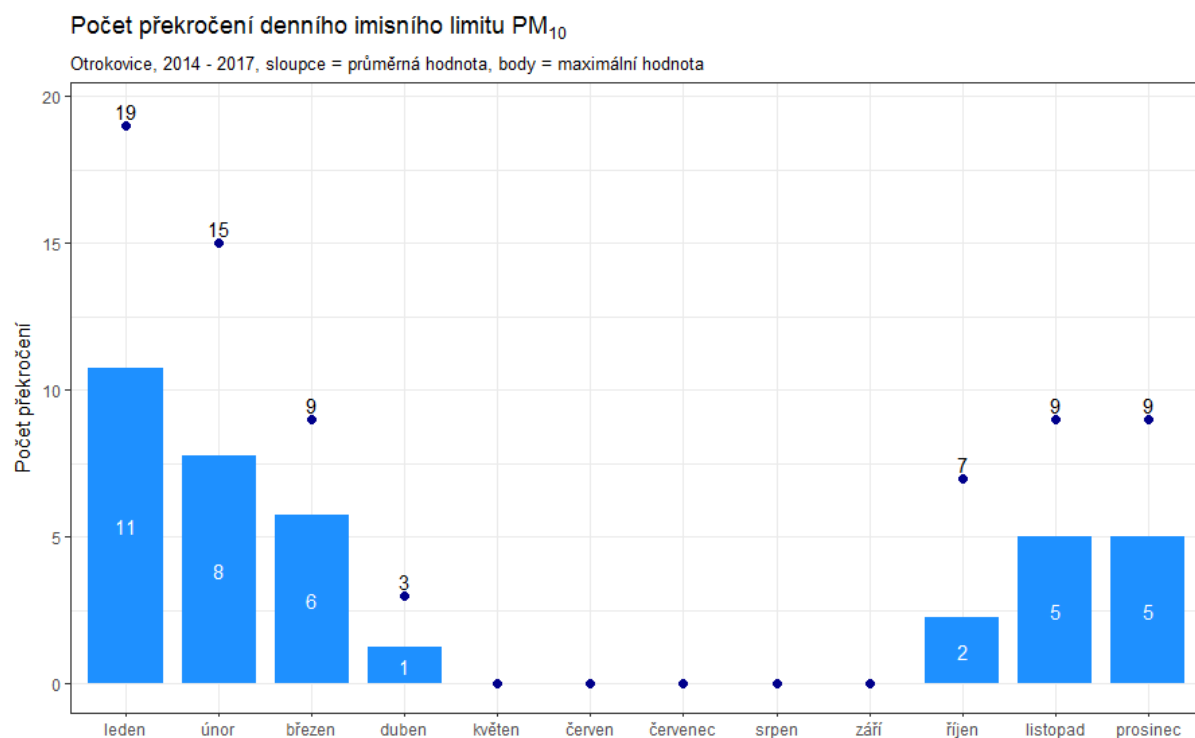
4.1.2 Denní koncentrace PM₁₀

V případě denního imisního limitu pro PM₁₀ je sledována 36. nejvyšší průměrná denní koncentrace nebo počet dní s průměrnými denními koncentracemi PM₁₀ > 50 µg.m⁻³ za kalendářní rok (legislativa povoluje nejvýše 35). Vývoj těchto charakteristik v lokalitě Otrokovice-město zobrazuje následující graf na Obr. 17.



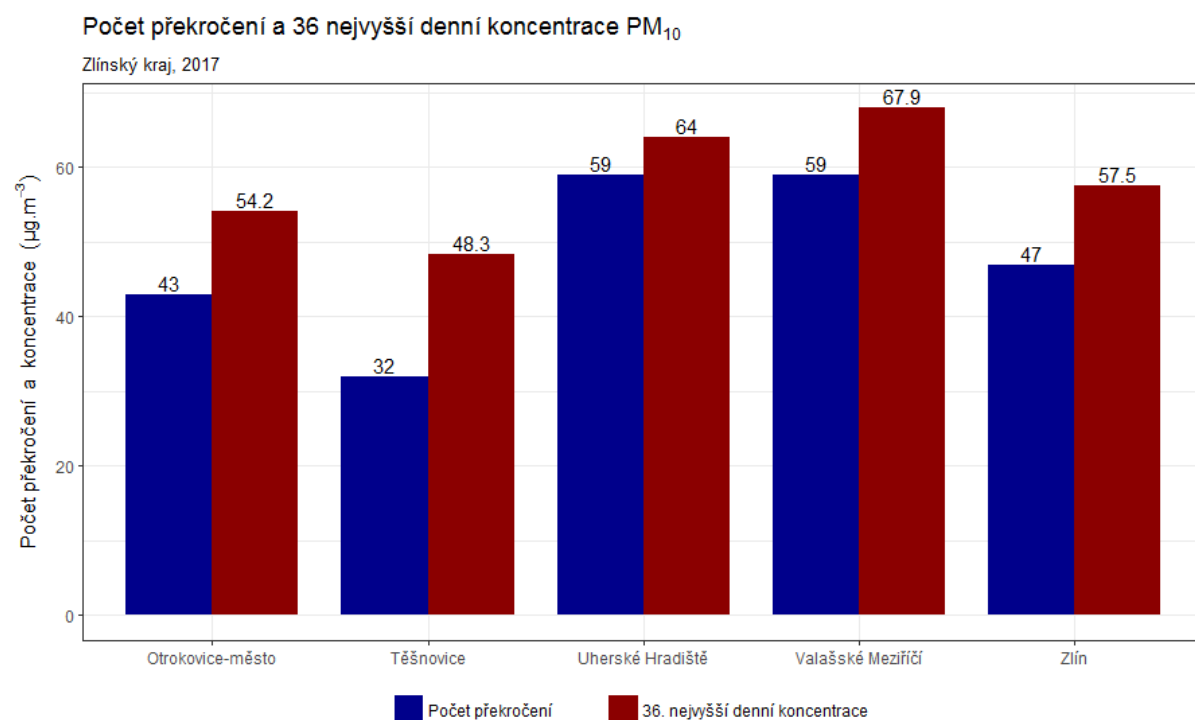
Obr. 17 - 36. nejvyšší průměrná denní koncentrace a počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro denní koncentrace PM₁₀, Otrokovice, 2014 - 2017

Z grafu vyplývá, že v letech 2015 a 2017 došlo v lokalitě Otrokovice-město k překročení denního imisního limitu pro PM₁₀. Naměřené hodnoty jsou v obou zmíněných letech podobné. Tato charakteristika nemá dlouhodobou vypovídací hodnotu (jako v případě průměrné roční koncentrace), spíše charakterizuje zimní období, kdy jsou měřeny nejvyšší koncentrace (Obr. 13) a také téměř výhradně v chladné části roku dochází k překročení hodnoty imisního limitu (50 µg.m⁻³). Následující graf na Obr. 18 pak zobrazuje průměrný počet překročení v jednotlivých měsících (sloupce) za období 2014 – 2017. Body pak zobrazují maximální počty překročení v tomto období. Z grafu je velmi dobře patrné, že od května do září nedošlo ani k jednomu překročení, v dubnu jsou překročení ojedinělá. Avšak zejména v lednu a únoru dochází k překračování často. Maximální hodnoty 19 (leden) a 15 (únor) byly naměřeny právě v roce 2017 z důvodu velmi nepříznivých rozptylových podmínek v celé střední Evropě. I proto byl v roce 2017 naměřen velký počet překročení, přestože průměrná roční koncentrace byla srovnatelná s hodnotou v roce 2016.



Obr. 18 – Průměrné a maximální počty dnů s překročenou hodnotou denního imisního limitu pro PM₁₀ v jednotlivých měsících, Otrokovice-město, 2014 – 2017

A velmi podobně na tom byly i další lokality Zlínského kraje, jak naznačuje Obr. 19.

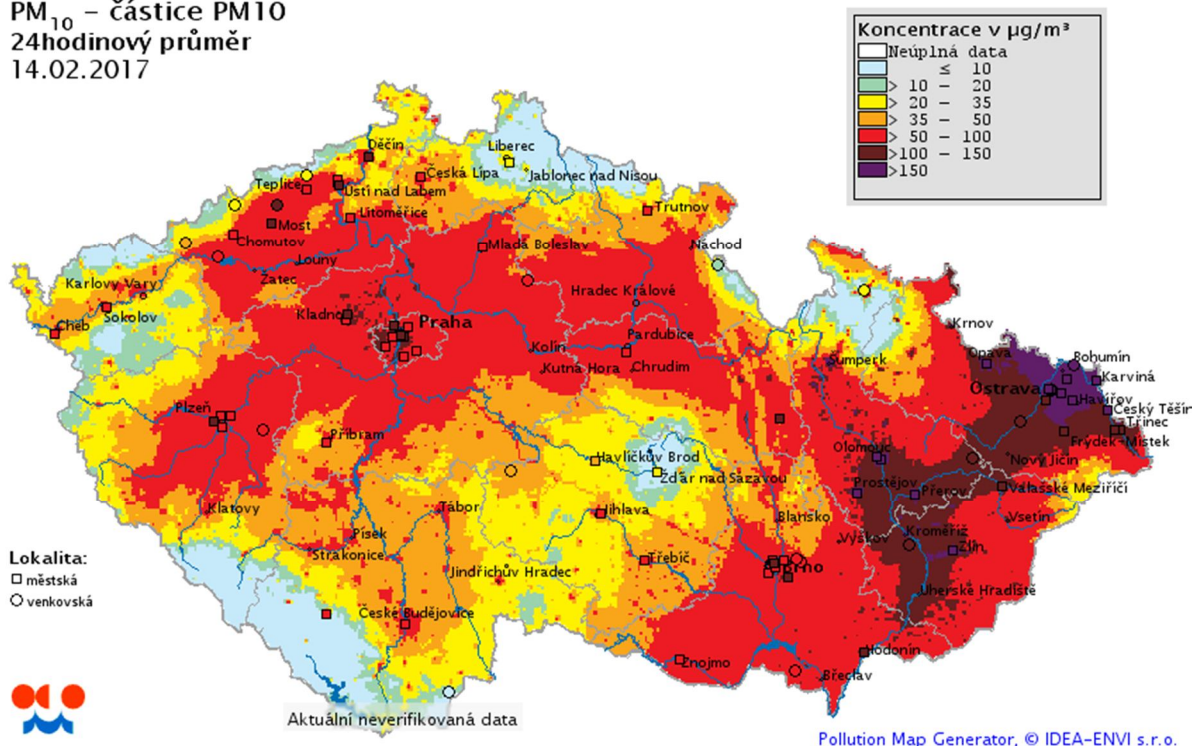


Obr. 19 – 36. nejvyšší průměrná denní koncentrace a počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro denní koncentrace PM₁₀, Zlínský kraj 2017

Z grafu je patrné, že v případě denního imisního limitu pro PM_{10} došlo k překročení imisního limitu na všech lokalitách s výjimkou venkovské pozadové lokality Těšnovice. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v Uherském Hradišti a ve Valašském Meziříčí. Velmi špatné rozptylové podmínky v lednu a únoru měly nadregionální charakter, a projevíly se v nárůstu charakteristik spojených s denním imisním limitem pro PM_{10} na všech lokalitách.

Vývoj denních koncentrací suspendovaných částic v Otrokovicích v roce 2017 zobrazuje Obr. 21. Je patrné, že dlouhodobě se koncentrace pohybovaly do $60 \mu g \cdot m^{-3}$ pouze v lednu a únoru byly naměřeny velmi vysoké koncentrace PM . Maxima bylo dosaženo 14. 2. 2017, hodnota denní průměrné koncentrace PM_{10} činila $166,6 \mu g \cdot m^{-3}$. V těchto dnech však byla vysokými koncentracemi postižena celá Morava, pro zónu Střední Morava byla vyhlášena smogová situace, zvýšené koncentrace byly způsobeny nepříznivými rozptylovými podmínkami a teplotní inverzí a dálkovým transportem z Polska a Moravskoslezského kraje (Obr. 20).

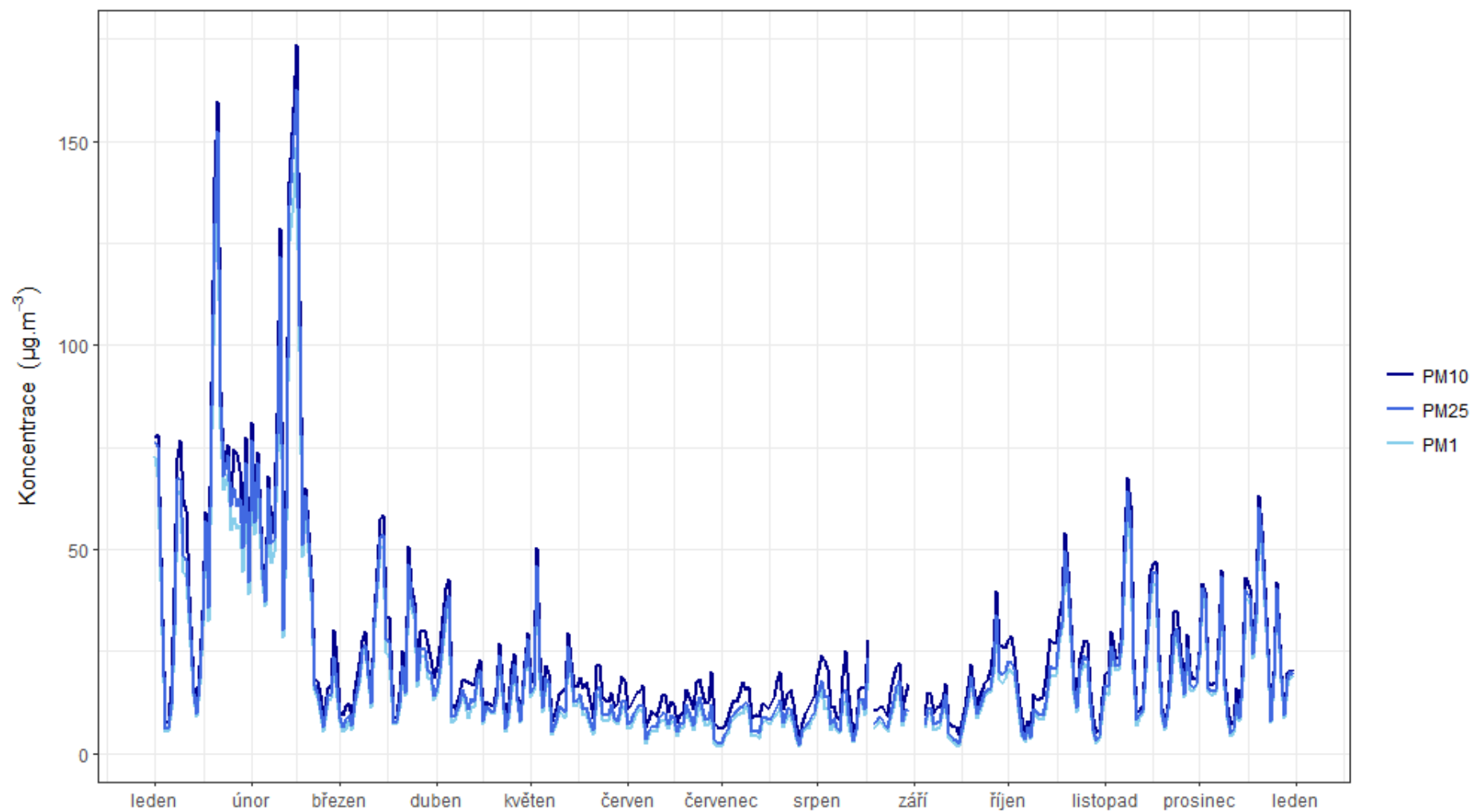
PM_{10} – částice PM_{10}
24hodinový průměr
14.02.2017



Obr. 20 – Pole průměrných denních koncentrací PM_{10} , ČR, 14. 2. 2017 zdroj: www.chmi.cz

Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁₀ PM_{2.5} a PM₁

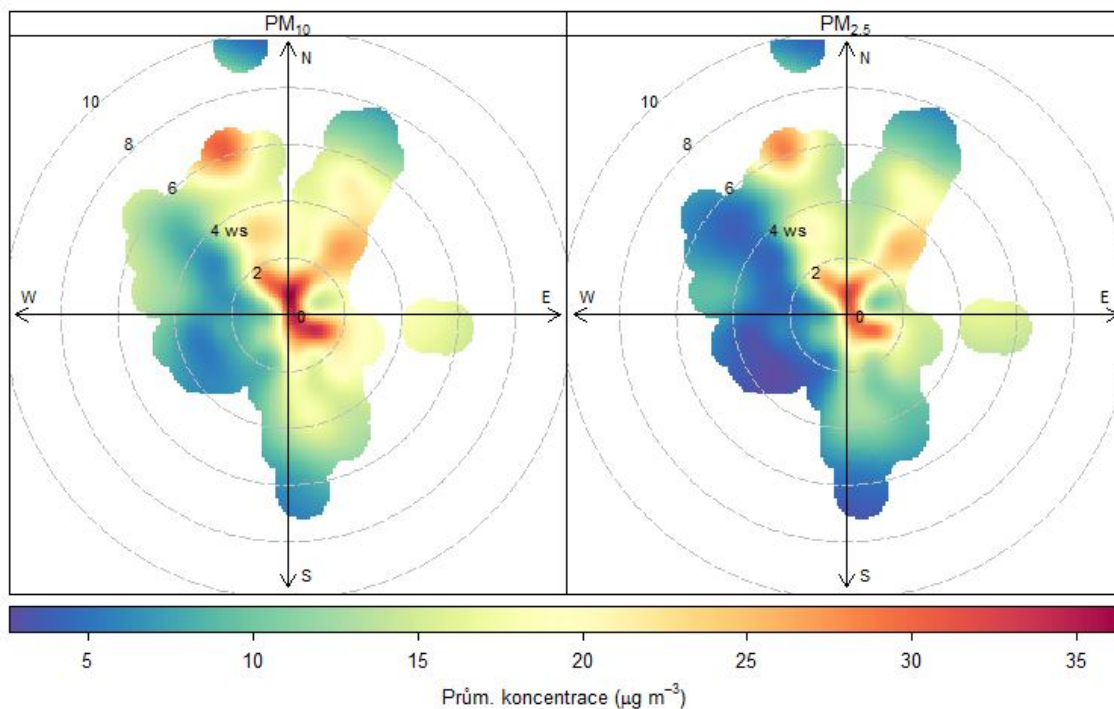
Otrokovice, 2017



Obr. 21 – Průměrné denní koncentrace PM, Otrokovice, 2017

4.1.3 Analýza hodinových koncentrací – koncentrační růžice

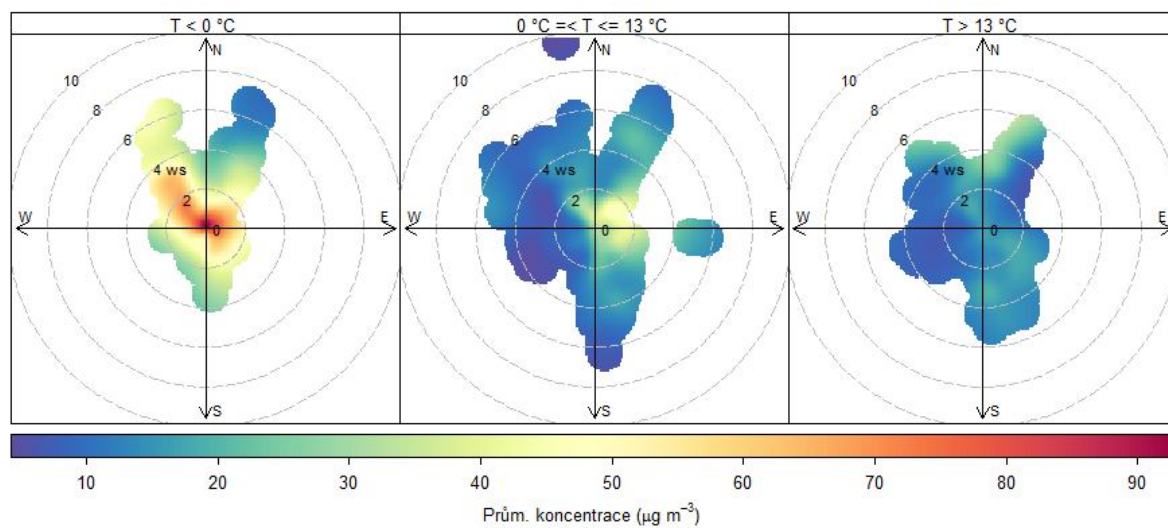
Větrná růžice pro lokalitu Otrokovice je zobrazena v kapitole 3.2 na Obr. 2. Na následujícím Obr. 22 je pak zobrazena koncentrační růžice pro PM_{10} a $PM_{2,5}$. Z koncentrační růžice vyplývá, že pro obě frakce jsou koncentrační růžice velmi podobné. Proto následující růžice v této kapitole budou konstruovány již jen pro PM_{10} s tím, že pro $PM_{2,5}$ platí úplně to samé. Maximální koncentrace jsou měřeny takřka výhradně při nízkých rychlostech větru až bezvětří. Z hlediska směru větru jsou pak maxima měřena při severozápadním resp. východním a jihovýchodním proudění.



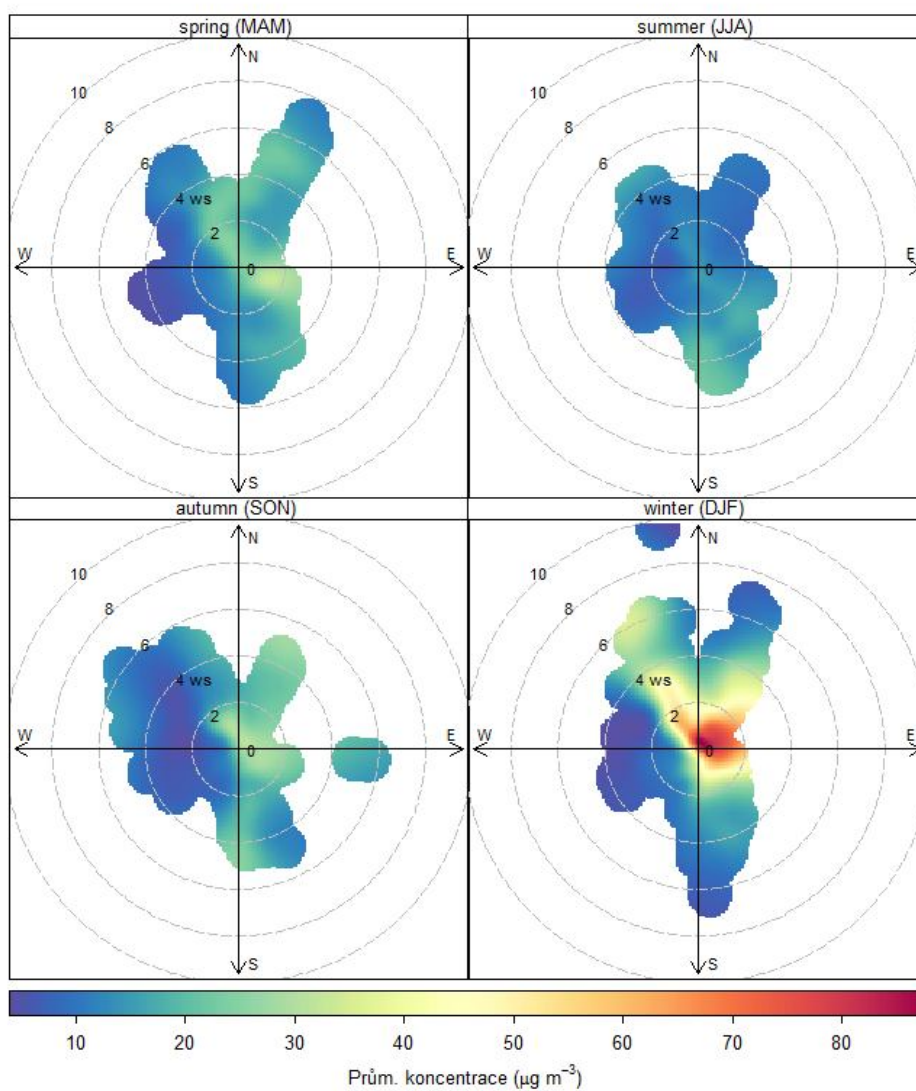
Obr. 22 - Koncentrační růžice pro PM_{10} (vlevo) a $PM_{2,5}$ (vpravo), Otrokovice, rok 2017

Zajímavá data poskytuje rovněž teplotně členěná koncentrační růžice (Obr. 23). Vyplývá z ní, že vysoké koncentrace jsou měřeny pouze při teplotách pod 0 °C. To poukazuje na ovlivnění lokality nejen dopravou, ale velmi výrazně i lokálními topeništi. Z růžice rovněž vyplývá dominance severozápadního, severního a východního proudění a nízkých rychlostí větru. Při proudění ze severních směrů je do Otrokovic rovněž přinášeno dálkovým transportem znečištění z Polska a Moravskoslezského kraje. Při teplotách vyšších než je 0°C jsou již koncentrace podstatně nižší.

Rovněž pokud koncentrační růžici rozdělíme podle ročních období, tak je velmi dobře patrné, že vysoké koncentrace byly v roce 2017 pozorovány pouze v zimním období (winter, Obr. 24). To opět potvrzuje, že topná sezóna spolu s meteorologickými podmínkami se nejvíce podílí na zvýšených koncentracích částic v ovzduší.



Obr. 23 – Teplotně členěná koncentrační růžice pro PM₁₀, lokalita Otrokovice, rok 2017



Obr. 24 - Koncentrační růžice pro PM₁₀, členěná dle ročních období, Otrokovice, rok 2017

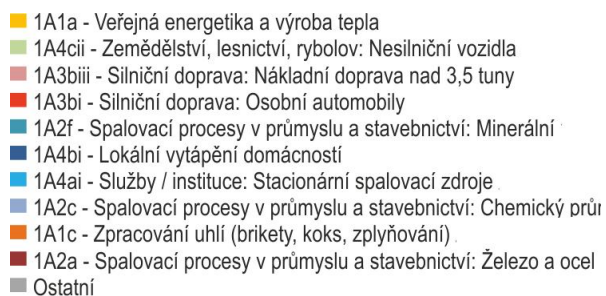
4.2 OXIDY DUSÍKU – NO, NO₂ A NO_x

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 [3] 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].



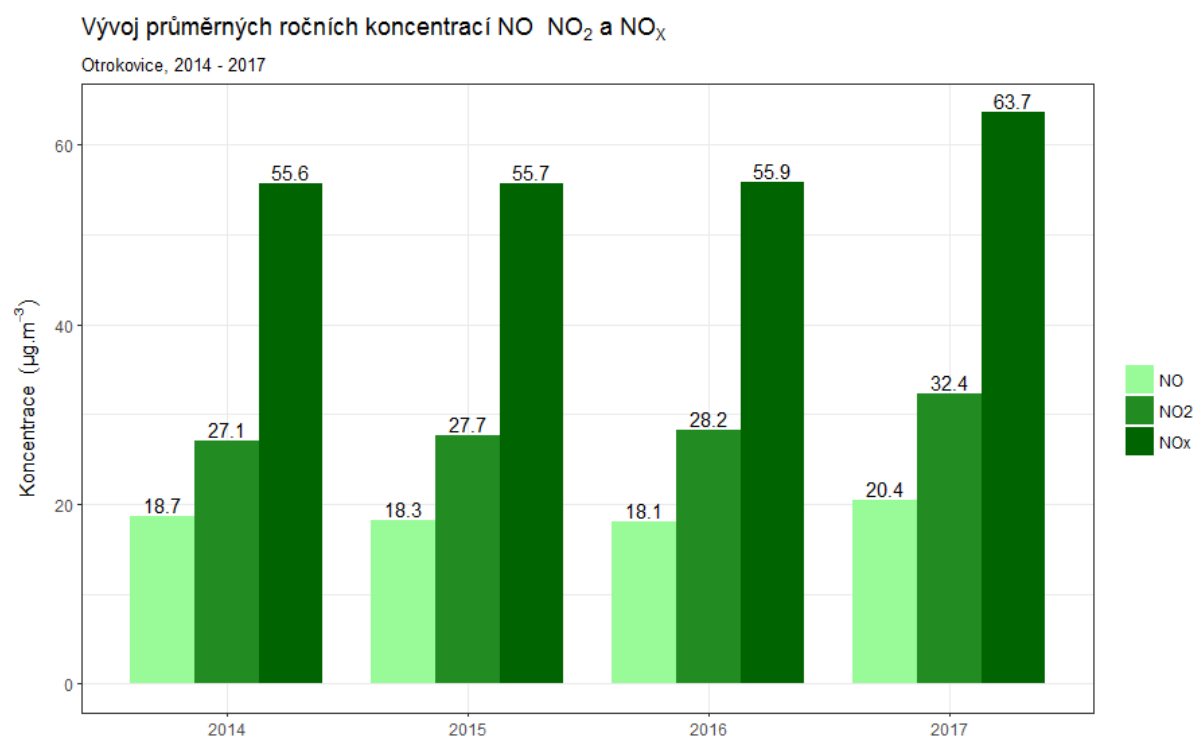
Obr. 25 - Podíl sektorů NFR na celkových emisích NO_x v ČR v roce 2015 [5]

Největší množství emisí NO_x pochází z dopravy. Sektory 1A3biii-Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5 t, 1A3bi-Silniční doprava: Osobní automobily a 1A4cii-Zemědělství, lesnictví, rybolov: Nesilniční vozidla a ostatní stroje se na celorepublikových emisích NO_x v roce 2014 podílely 32 % (Obr. 25). V sektoru 1A1a-Veřejná energetika a výroba tepla bylo do ovzduší vneseno 31,0 % emisí NO_x. Klesající trend emisí NO_x v období let 2007–2015 souvisí především s přirozenou obnovou vozového parku a se zavedením emisních stropů pro emise NO_x ze zdrojů v sektoru 1A1a-Veřejná energetika a výroba tepla [13], [5].

Expozice zvýšeným koncentracím NO₂ ovlivňuje plicní funkce a způsobuje snížení imunity [14].

4.2.1 Průměrná roční koncentrace NO, NO₂ a NO_x

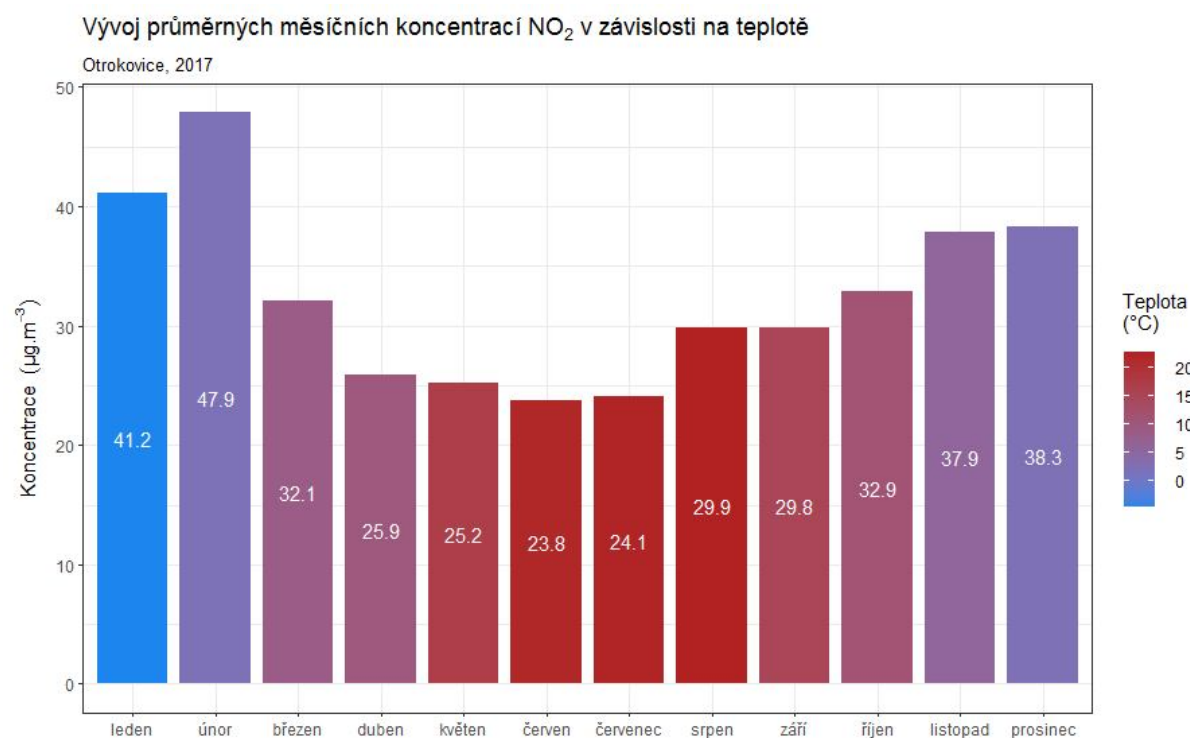
Průměrná roční koncentrace je pro NO₂ ukazatelem ukotveným v legislativě pomocí imisního limitu pro tuto hodnotu. Jedná se o dlouhodobou charakteristiku kvality ovzduší v daném roce a lokalitě. Následující Obr. 26 zobrazuje vývoj průměrných ročních charakteristik jednotlivých oxidů dusíku v lokalitě Otrokovice-město od počátku měření v roce 2014.



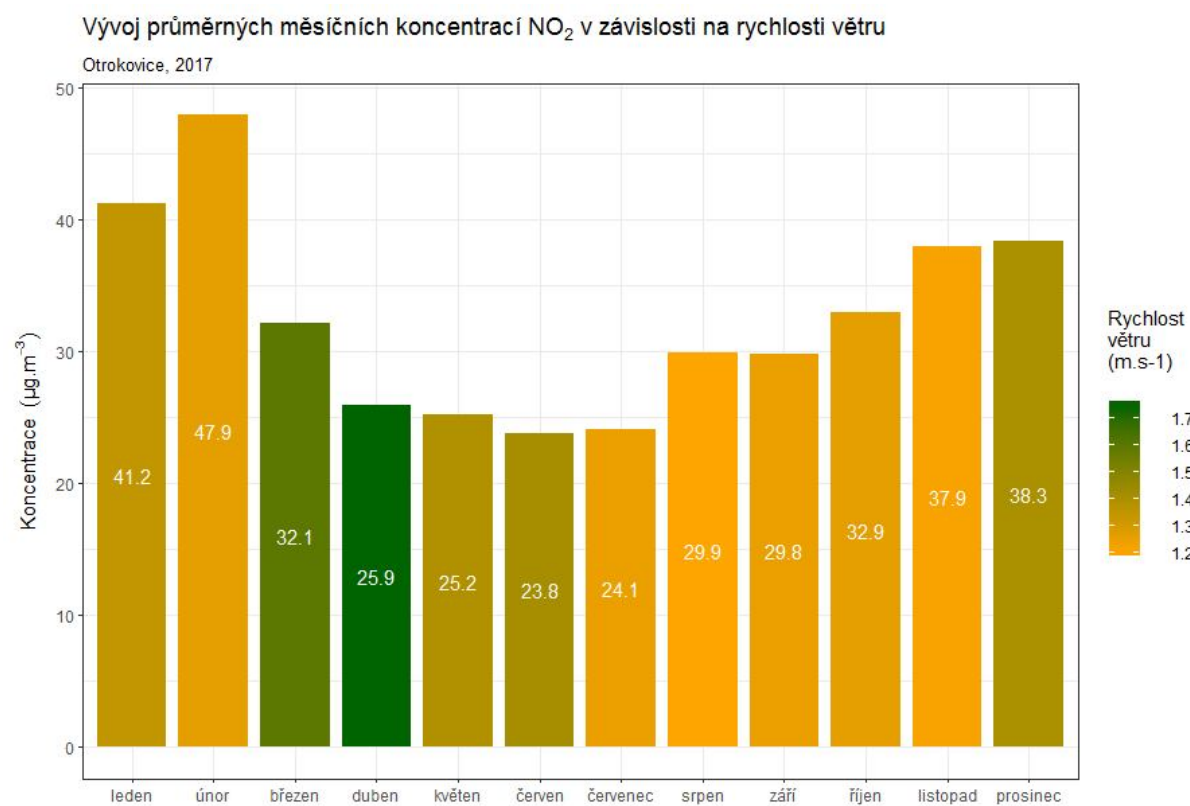
Obr. 26 – Průměrná roční koncentrace NO, NO₂ a NO_x, lokalita Otrokovice-město, 2014-2017

Z grafu je patrné, že mírně vyšších hodnot bylo dosaženo v roce 2017. V ostatních letech jsou koncentrace poměrně vyrovnané. Průměrná roční koncentrace NO₂ se pohybuje mezi 27 a 32 µg·m⁻³, k překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci NO₂ (40 µg·m⁻³) tedy dlouhodobě nedochází.

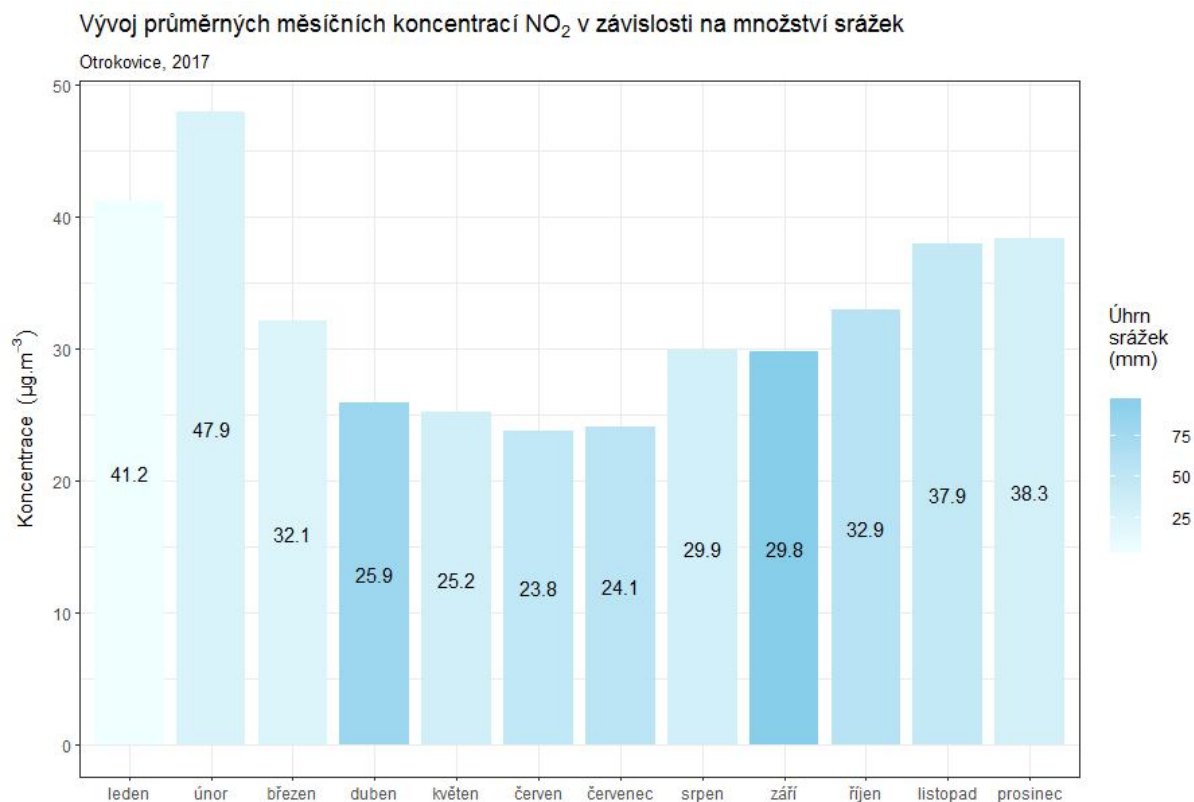
Rovněž koncentrace oxidů dusíku jsou vyšší v zimní sezóně, avšak nejsou tolik ovlivněny meteorologickými podmínkami jako suspendované částice. V zimě se na emisích NO₂ podílí zdroje spojené s vytápěním, v létě pak oxidy dusíku ve větší míře podléhají fotochemickým reakcím, vedoucím k tvorbě přízemního ozónu. To jsou tedy hlavní důvody, proč jsou v chladné části roku koncentrace NO₂ vyšší. Vliv jednotlivých meteorologických prvků pak zobrazují grafy na Obr. 27 - Obr. 30. Významný vliv má teplota spolu se slunečním zářením, které podporují tvorbu troposférického ozónu a tím i pokles koncentrací NO₂ (zejména v letních měsících). Významnou roli hraje také relativní vlhkost vzduchu a rychlost větru. Nejvyšší koncentrace v únoru tak souvisely s nízkými teplotami, velmi nízkými rychlostmi větru a vyšší relativní vlhkostí. V únoru byla Morava rovněž nejvíce ovlivněna dálkovým transportem ze severních a severovýchodních směrů.



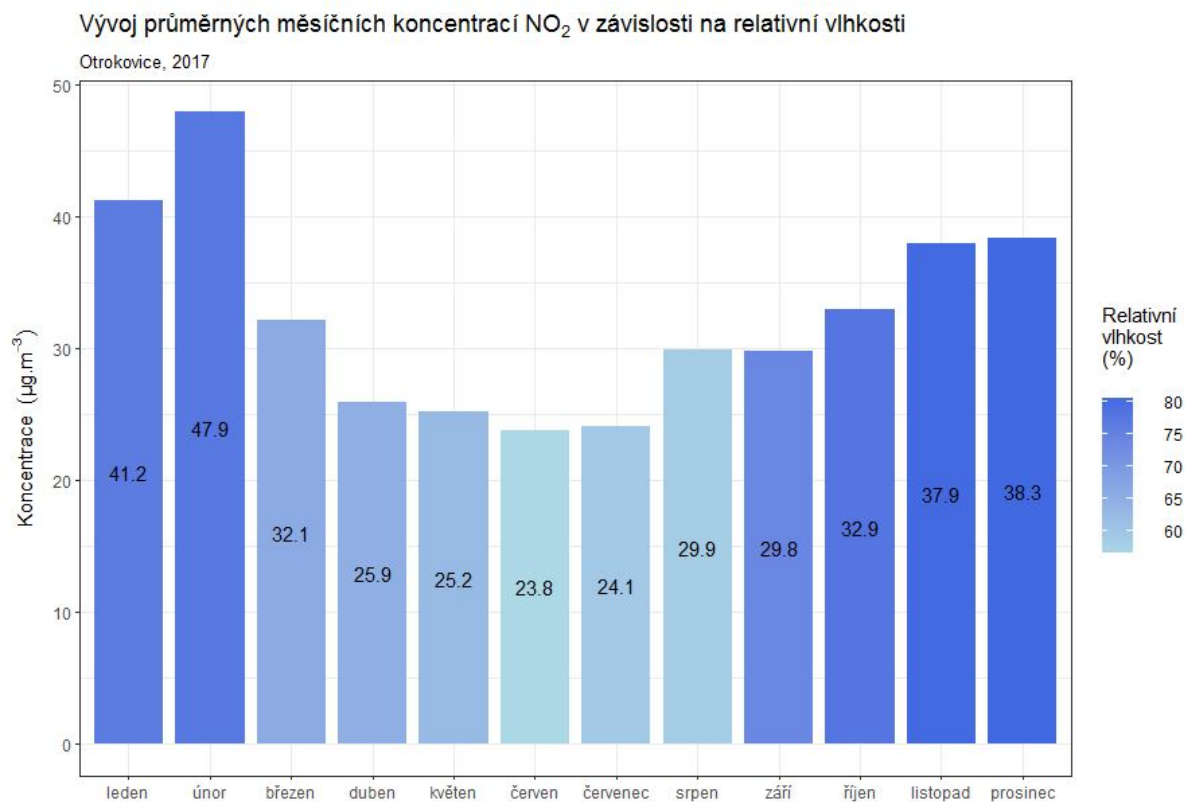
Obr. 27 – Průměrné měsíční koncentrace NO₂ v závislosti na průměrné teplotě vzduchu, Otrokovice, 2017



Obr. 28 - Průměrné měsíční koncentrace NO₂ v závislosti na průměrné rychlosti větru, Otrokovice, 2017



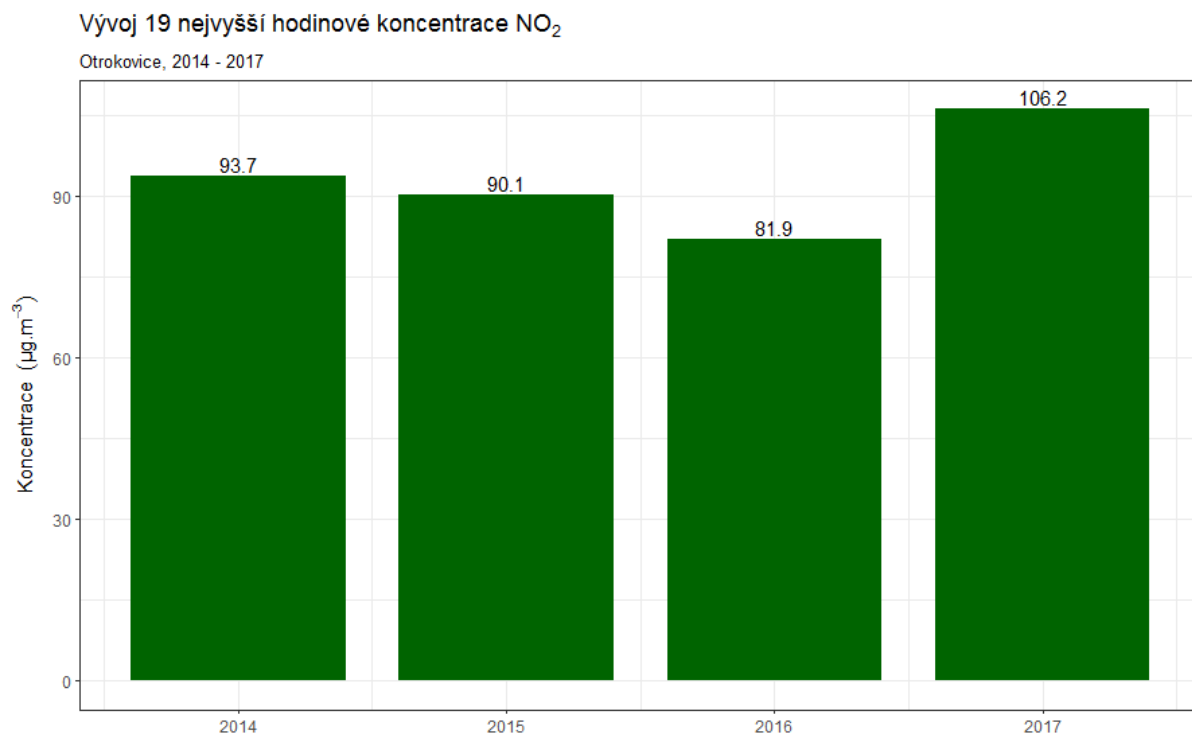
Obr. 29 – Průměrné měsíční koncentrace NO₂ v závislosti na úhrnu srážek, Otrokovice, 2017



Obr. 30 - Průměrné měsíční koncentrace NO₂ v závislosti na průměrné relativní vlhkosti vzduchu, Otrokovice, 2017

4.2.2 Hodinové koncentrace NO₂

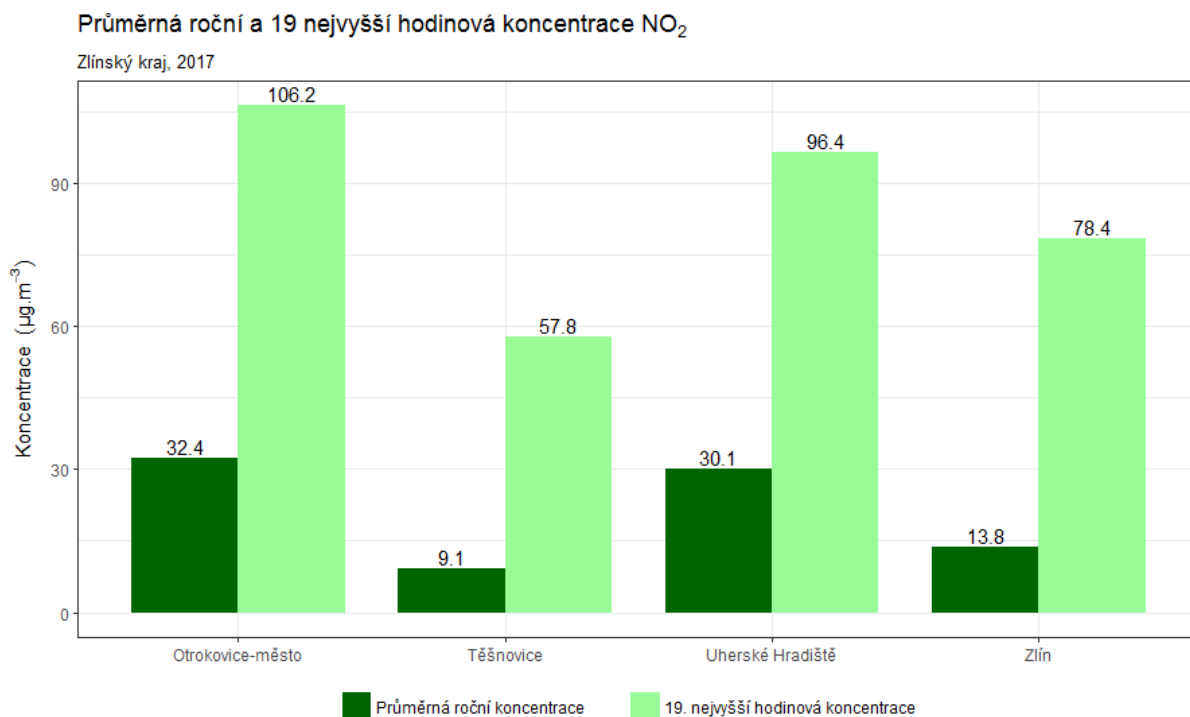
V případě denního imisního limitu pro NO₂ je sledována 19. nejvyšší hodinová koncentrace za kalendářní rok (legislativa povoluje nejvýše 18 hodin s koncentracemi NO₂ vyššími než 200 µg·m⁻³). Vývoj těchto charakteristik v lokalitě Otrokovice-město zobrazuje následující graf na Obr. 31.



Obr. 31 - 19. nejvyšší hodinová koncentrace NO₂, Otrokovice, 2014 - 2017

Z grafu opět vyplývá, že rok 2017 byl z hlediska NO₂ nejhorším ve sledovaném období, výrazně se na tom podílely nepříznivé meteorologické a rozptylové podmínky ze začátku roku. I tak je doposud nejvyšší hodnota z roku 2017 zhruba na úrovni ½ hodnoty imisního limitu.

Následující Obr. 32 zobrazuje hodnoty průměrných ročních koncentrací NO₂ a 19. nejvyšší hodinovou koncentraci NO₂ v roce 2017 v Otrokovicích a dalších lokalitách státní sítě imisního monitoringu (SSIM) ve Zlínském kraji.

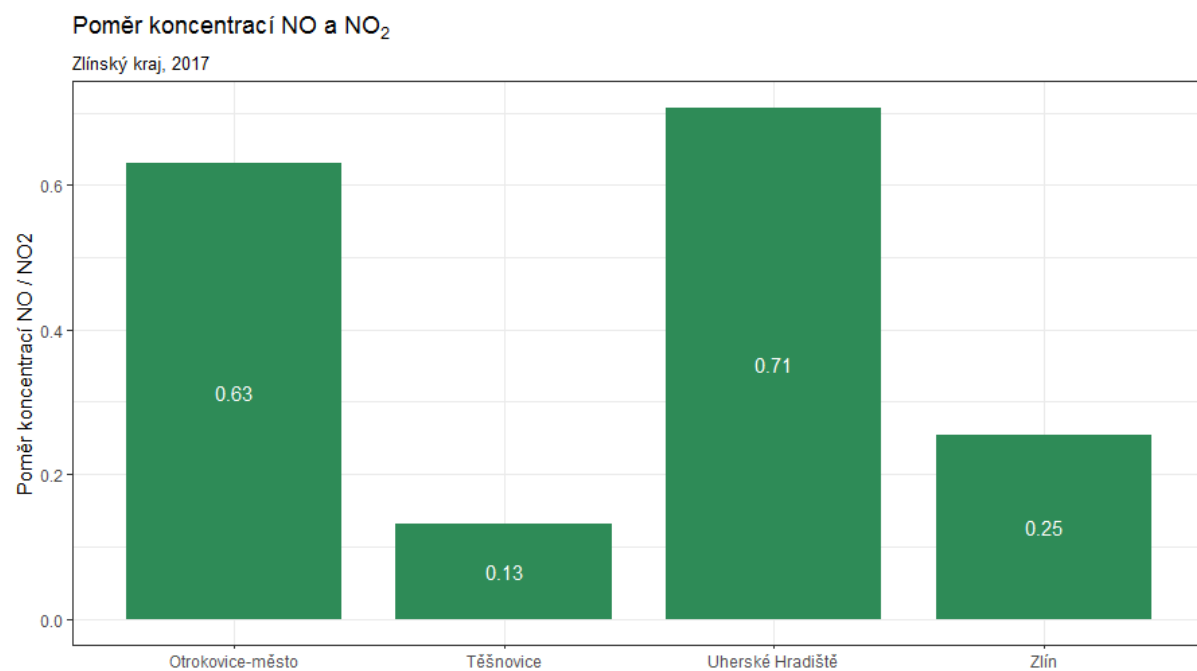


Obr. 32 – Průměrné roční koncentrace NO₂ a 19. nejvyšší hodinová koncentrace NO₂ na stanicích imisního monitoringu ve Zlínském kraji, rok 2017

Z grafu je patrné, že imisní limit pro průměrnou roční koncentraci NO₂ (40 µg·m⁻³) nebyl na žádné lokalitě překročen. Je taky patrné, že dopravní lokality Otrokovice a Uherské Hradiště dosahují z hlediska průměrných ročních koncentrací NO₂ zhruba dvojnásobných koncentrací proti městské pozadové lokalitě Zlín a zhruba trojnásobných koncentrací proti venkovské pozadové lokalitě Těšnovice.

V případě 19. nejvyšší hodinové koncentrace bylo maxima dosaženo právě v Otrokovicích. Nejnižší hodnota byla naměřena na venkovské pozadové lokalitě Těšnovice, proti lokalitě Otrokovice-město se jednalo zhruba o poloviční hodnotu.

Důležitý je rovněž poměr NO / NO₂, který čím je vyšší, tím je lokalita více ovlivněna dopravou. V případě Otrokovic je tento poměr 0,63 což naznačuje zatížení dopravou. Obdobná situace je i v Uherském Hradišti (0,71), naproti tomu městská pozadová lokalita ve Zlíně má poměr pouze 0,25 a venkovská pozadová lokalita Těšnovice pouze 0,13 (Obr. 33).

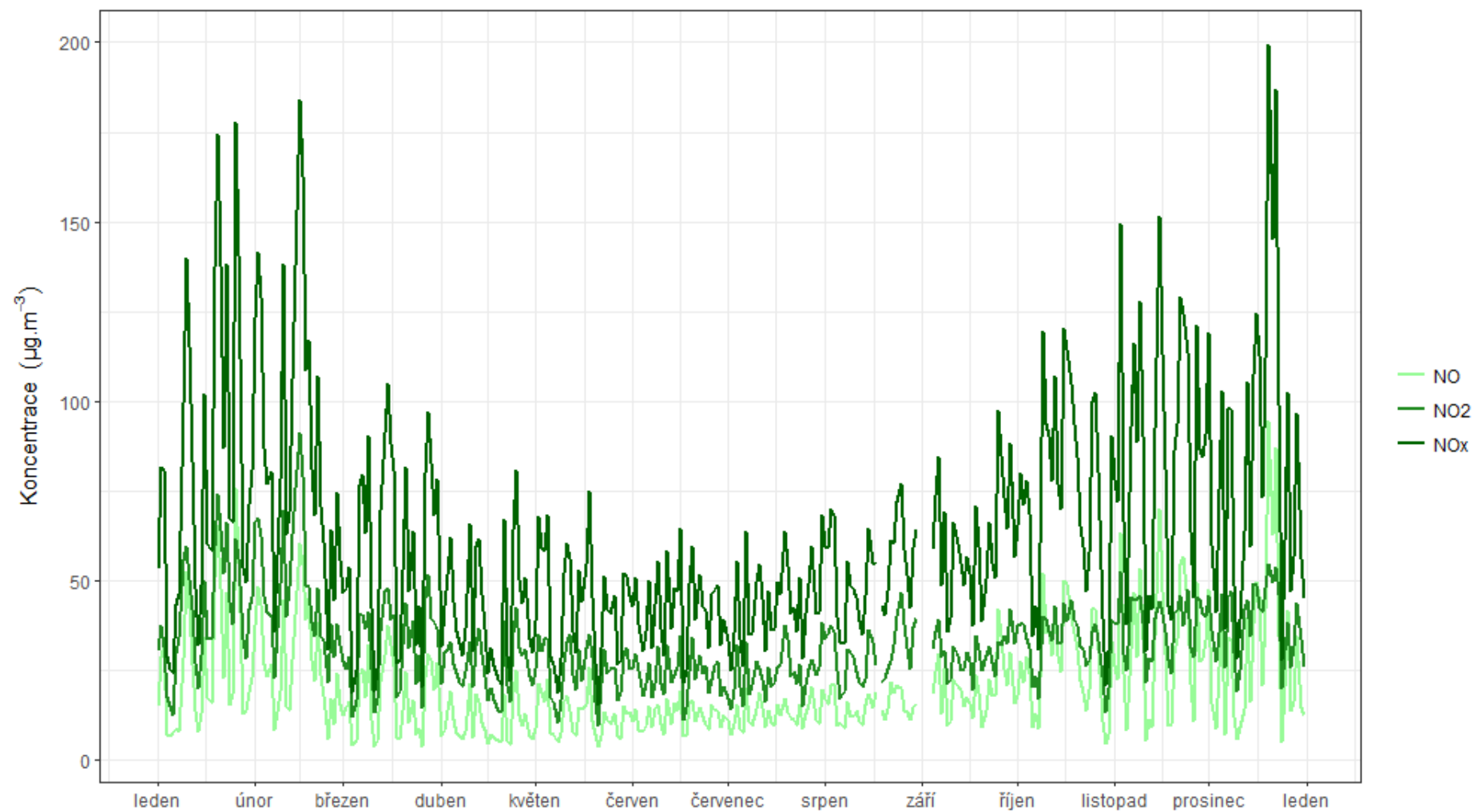


Obr. 33 – Poměr koncentrací $[NO]$ / $[NO_2]$ v jednotlivých lokalitách Zlínského kraje, rok 2017

Vývoj průměrných denních koncentrací NO, NO₂ a NO_x zobrazuje následující Obr. 34. Hodnoty jsou ovlivněny meteorologickými podmínkami a také mírou dopravního ovlivnění.

Vývoj průměrných denních koncentrací NO, NO₂ a NO_x

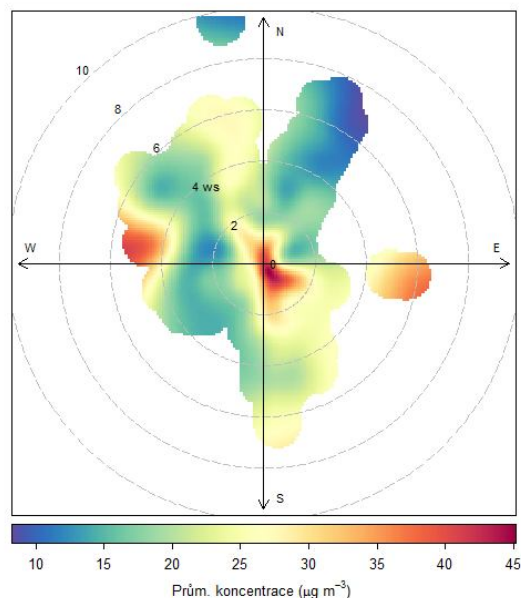
Otrokovice, 2017



Obr. 34 – Průměrné denní koncentrace oxidů dusíku, Otrokovice, 2017

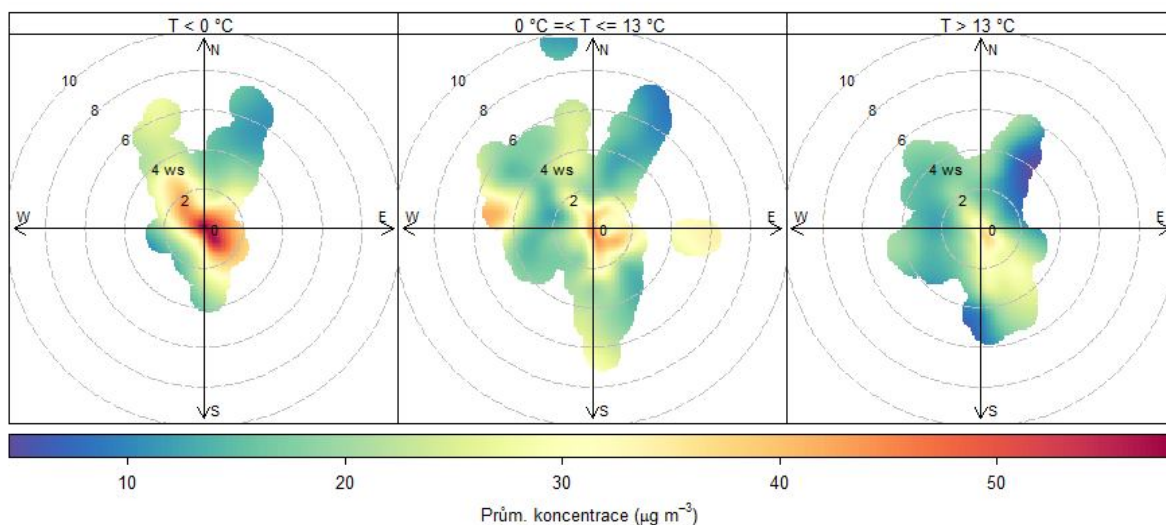
4.2.3 Analýza hodinových koncentrací – koncentrační růžice

Větrná růžice pro lokalitu Otrokovice je zobrazena v kapitole 3.2 na Obr. 2. Na následujícím Obr. 35 je pak zobrazena koncentrační růžice pro NO_2 . Z koncentrační růžice vyplývá, že maximální koncentrace jsou měřeny při nízkých rychlostech větru až bezvětrí. Z hlediska směru větru jsou pak maxima měřena při jihovýchodním proudění. Vážená koncentrační růžice pak zobrazuje relativní příspěvek jednotlivých směrů a rychlostí větru ke koncentracím PM_{10} v této lokalitě. Vyplývá z ní, že nejvíce ke koncentracím přispívají jižní a jihovýchodní směry proudění při nízkých rychlostech větru.



Obr. 35 - Koncentrační růžice pro NO_2 , Otrokovice, rok 2017

Zajímavá data poskytuje rovněž teplotně členěná koncentrační růžice pro NO_2 (Obr. 36). Vyplývá z ní, že vyšší koncentrace jsou měřeny pouze při teplotách pod 0°C . To poukazuje na ovlivnění lokality nejen dopravou, ale částečně i lokálními topeništi. Při teplotách vyšších než je 0°C jsou již koncentrace nižší, převládají zvýšené koncentrace z jihovýchodních směrů.



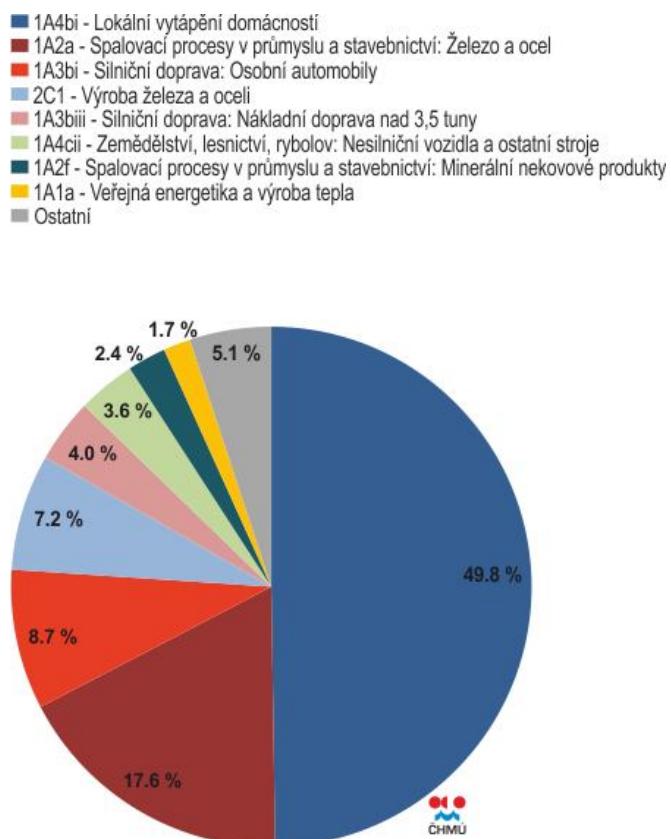
Obr. 36 – Teplotně členěná koncentrační růžice pro NO_2 , lokalita Otrokovice, rok 2017

4.3 OXID UHELNATÝ

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 domácí 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 2015 podílel na celorepublikových emisích 49,8 %** (Obr. 37). Mezi další významné zdroje patřily sektory 1A2a - Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Železo a ocel (17,6 %), 1A3bi - Silniční doprava: Osobní automobily (8,7 %) a 1A3biii - Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5 tuny (4,0 %). Klesající trend emisí CO v letech 2007–2015 byl způsoben především přirozenou obnovou vozového parku a poklesem produkce železa a oceli po roce 2007. Vzhledem k převažujícímu vlivu sektoru 1A4bi je tento trend výrazně ovlivněn teplotním průběhem topných sezon.

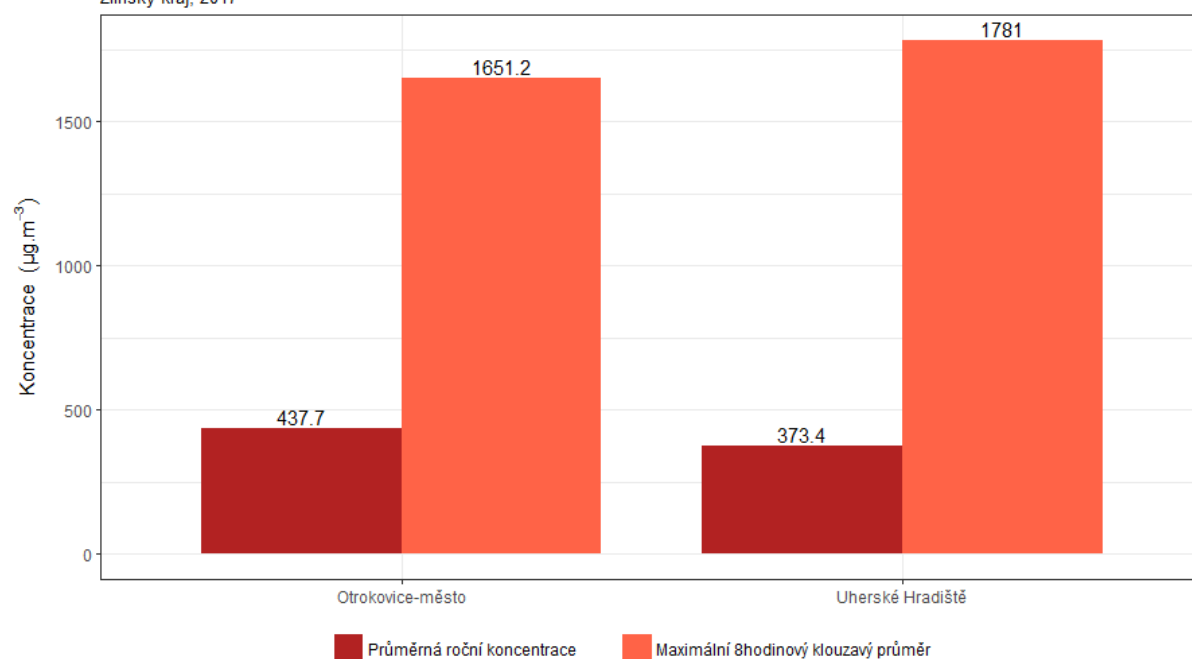


Obr. 37 - Podíl sektorů NFR na celkových emisích CO v ČR v roce 2015 [5]

V případě oxidu uhelnatého se sledují 8-hodinové klouzavé průměry, přičemž ten maximální nesmí překročit $10000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato hodnota nebyla v ČR již dlouho dosažena. Maximální 8-hodinový klouzavý průměr v Otrokovicích v roce 2017 činil $1651,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v Uherském hradišti je pak měřena téměř totožná koncentrace $1781 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Obr. 38). Ze srovnání s imisním limitem pro tuto škodlivinu ($10000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) je patrné, že hodnoty se pohybují mezi jednou desetinou a jednou pětinou této hodnoty.

Průměrná roční koncentrace a maximální 8hodinový klouzavý průměr CO za rok

Zlínský kraj, 2017



Obr. 38 - Průměrné roční koncentrace CO a maximální 8hodinový klouzavý průměr CO za rok na stanicích imisního monitoringu ve Zlínském kraji, rok 2017

5 ZÁVĚR

V Otrokovicích nedošlo v roce 2017 k překročení dlouhodobých imisních limitů pro průměrné roční koncentrace PM_{10} a $PM_{2,5}$. V případě $PM_{2,5}$ však může dojít po roce 2020 k překračování imisního limitu pro $PM_{2,5}$, jelikož dojde ke zpřísnění imisního limitu ze současných $25 \mu g \cdot m^{-3}$ na $20 \mu g \cdot m^{-3}$.

V případě imisního limitu pro denní koncentrace PM_{10} došlo k překročení imisního limitu podobně jako v roce 2015. Obdobně na tom byly i další lokality Zlínského kraje s výjimkou venkovské pozadové lokality Těšnovice. Na vině jsou zejména velmi špatné rozptylové podmínky ze začátku roku 2017, které panovaly v celé střední Evropě.

Proti roku 2016 tak došlo ke zlepšení situace z hlediska průměrných ročních koncentrací PM_{10} (dlouhodobá charakteristika), a naopak ke zhoršení situace z hlediska krátkodobé charakteristiky (kvalita ovzduší v chladné části roku).

Dle dosavadního měření lze konstatovat, že koncentrace v Otrokovicích jsou obdobné jako v další dopravní lokalitě Zlínského kraje – v Uherském Hradišti. Ovlivnění dopravou je zde tedy zřetelné. A to jak v případě koncentrací PM, tak z hlediska oxidů dusíků. Rovněž maximální 8hodinové průměry oxidu uhelnatého za den v těchto dvou lokalitách velmi dobře korelují.

Koncentrace oxidů dusíku imisní limit nepřekračují, přesto jsou dvojnásobné proti městské pozadové lokalitě ve Zlíně. Významné ovlivnění dopravou je zřetelné i z poměru NO/NO_2 , který má hodnotu 0,63, obdobně jako další dopravní lokalita Uherské Hradiště (0,71). Pozadová lokalita ve Zlíně má tento poměr pouze 0,25.

Kvalita ovzduší v Otrokovicích byla tedy v roce 2017 s výjimkou ledna a první poloviny února velmi dobrá. Rozhodující vliv na kvalitu ovzduší měla chladná část roku a topná sezóna. Je nutné poznamenat, že dopravní lokality jsou reprezentativní pouze v blízkosti měřené komunikace. S narůstající vzdáleností od komunikace koncentrace škodlivin poměrně významně klesají, ve vzdálenosti cca 100 m se již příliš neliší od pozadových koncentrací.

6 CITOVANÁ LITERATURA

- [1] *Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší*, 2012.
- [2] L. B. H. Š. Radim Tolasz, „Počasí, podnebí, voda a kvalita ovzduší v ČR v roce 2017 - vybrané události,“ ČHMÚ, 22 1 2018. [Online]. Available: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1516602252>.
- [3] *Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší ve znění pozdějších předpisů, 2012 - 2017*, MŽP, 2012.
- [4] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České Republiky,“ 1996 - 2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html.
- [5] ČHMÚ, „Registr emisí a zdrojů znečištění ovzduší,“ 2010-2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emisnibilance_CZ.html.
- [6] M. VOJTÍŠEK, „O provozu vznětových motorů a aerosolech jimi produkováných v městských aglomeracích,“ *Konference ČAS 2010. Sborník konference.*, č. ISBN: 978-80-86186-25-2, 2010.
- [7] U. EPA, „Particulate Matter (PM) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/pm-pollution>.
- [8] J. Keder, „Rozbor výsledků kontinuálního měření spekter velikostí částic analyzátořy Grimm,“ v *Ovzduší 2007*, Brno, 2007.
- [9] MŽP, „Zákon č. 369/2016 Sb., kterým se mění zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.sbirka.cz/POSL4TYD/NOVE/16-369.htm>.
- [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] 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.
- [14] WHO, „Air quality guidelines for Europe, Second Edition,“ *WHO Regional Publications, European Series*, sv. No. 91, 2000.
- [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] J. Bednář, „Kompedium ochrany kvality ovzduší, část 1: Meteorologie,“ *Ochrana ovzduší 2/2003*, 2003.
- [17] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České Republiky,“ 1996 - 2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html.
- [18] R. Tolasz, L. Školoudová a H. Škáchová, „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>.