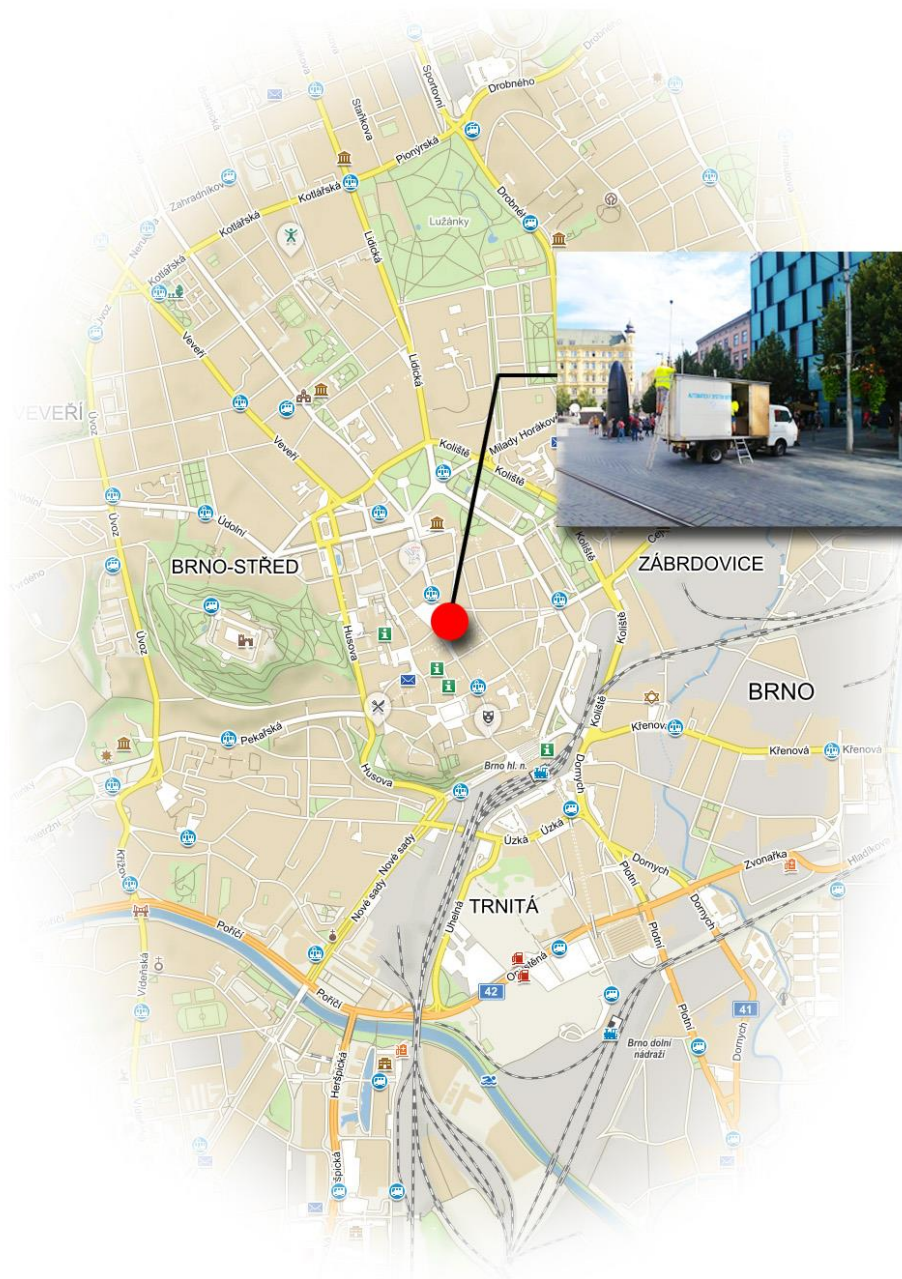


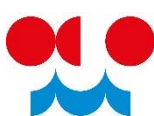
NÁMĚSTÍ SVOBODY

měření kvality ovzduší na náměstí Svobody v Brně v srpnu 2019

ODBORNÁ ZPRÁVA



Mgr. Jáchym Brzezina



ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
ODDĚLENÍ KVALITY OVZDUŠÍ, POBOČKA BRNO



Náměstí Svobody – 08/2019

měření kvality ovzduší na náměstí Svobody v Brně

ZHOTOVITEL

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

zastoupen Mgr. Markem Riederem, ředitelem ČHMÚ

Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4

IČ: 00020699

DIČ: CZ00020699, není plátce DPH

POBOČKA BRNO

Kroftova 43, 616 67 Brno

ve věcech smluvních je oprávněn jednat:

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

ve věcech technických je oprávněn jednat:

Mgr. Jáchym Brzezina, vedoucí oddělení kvality ovzduší

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

OBJEDNATEL

STATUTÁRNÍ MĚSTO BRNO

zastoupen Ing. Martinem Vaněčkem, *vedoucím odboru životního prostředí*

Dominikánského náměstí 1, 601 67 Brno

IČ: 44992785

DIČ: CZ44992785

kontaktní osoba: Bc. Radek Kronovet

ZPRACOVATELÉ

Mgr. Jáchym Brzezina

DATUM PŘEDÁNÍ

3. 9. 2019

POČET STRAN

124



OBSAH

1. ÚVOD	5
2. LOKALITA.....	6
2.1 STANICE IMISNÍHO MONITORINGU NA ÚZEMÍ BRNA.....	6
2.2 LOKALITA NÁMĚSTÍ SVOBODY	8
3. PLÁN MĚŘENÍ	10
3.1 MONITOROVANÉ PARAMETRY	10
3.2 MONITOROVANÉ OBDOBÍ A DOSTUPNOST DAT	10
4. METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY.....	12
4.1 TEPLOTA VZDUCHU.....	12
4.2 VLHKOST VZDUCHU	16
4.3 RYCHLOST VĚTRU	20
4.4 SMĚR VĚTRU	23
5. SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE	25
5.1 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM ₁₀	25
5.2 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM _{2,5}	38
5.3 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM ₄	50
5.4 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE – SROVNÁNÍ	62
6. OXIDY DUSÍKU	68
6.1 OXID DUSIČITÝ (NO ₂)	68
6.2 OXID DUSNATÝ (NO).....	81
6.3 OXIDY DUSÍKU (NO _x).....	90
7. OXID SIŘIČITÝ (SO₂)	101
8. OXID UHELNATÝ (CO)	108
9. IMISNÍ LIMITY.....	113
9.1 HODNOTY IMISNÍCH LIMITŮ.....	113
9.1.1 Imisní limity pro ochranu zdraví	113
9.1.2 Imisní limity pro ochranu ekosystémů a vegetace.....	113
9.2 SROVNÁNÍ HODNOT NAMĚŘENÝCH NA NÁMĚSTÍ SVOBODY S IMISNÍMI LIMITY.....	114
10. ZÁVĚR.....	116

10.1 METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY	116
10.2 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE	117
10.3 OXIDY DUSÍKU	119
10.4 OSTATNÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY	120
10.5 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ.....	120
11. REFERENCE	122
PODĚKOVÁNÍ	124

1. ÚVOD

Měření kvality ovzduší probíhá v Brně na 12 stacionárních stanicích imisního monitoringu. Umístění těchto stanic je neměnné a stav ovzduší se zde monitoruje dlouhodobě. Jedná se jak o stanice dopravní – tedy stanice stojící v těsné blízkosti dopravní tepny, tak stanice pozadřové, které slouží k vyhodnocení kvality ovzduší v rozsáhlejší měřítku (mají větší reprezentativnost).

Stanice jsou rozmístěny po celém Brně – jak blízko centra, tak na jeho periferii. Centru nejbližší jsou pak dopravní stanice Brno - Úvoz (hot spot), pozadřová stanice Brno – Dětská nemocnice a průmyslová stanice Brno – Zvonařka. Srdcem Brna je hlavní brněnské náměstí – náměstí Svobody. Jak to vypadá s kvalitou ovzduší na hlavním brněnském náměstí, je obtížné odhadovat, jelikož se zde nikdy přímo kvalita ovzduší nesledovala. Vzhledem k velmi husté okolní zástavbě a zároveň však zákazu vjezdu automobilům se jen těžko odhaduje nakolik podobné je znečištění ovzduší v této lokalitě ve srovnání s blízkými stanicemi imisního monitoringu.

Za účelem přesného zmapování stavu kvality ovzduší na náměstí Svobody byl do této lokality umístěn mobilní měřicí vůz magistrátu města Brna, který zde po dobu 16 dní v druhé polovině srpna 2019 monitoroval v 10minutových intervalech koncentrace znečišťujících látek, včetně koncentrací prachových částic tří frakcí, oxidů dusíku, oxidu siřičitého a oxidu uhelnatého.

2. LOKALITA

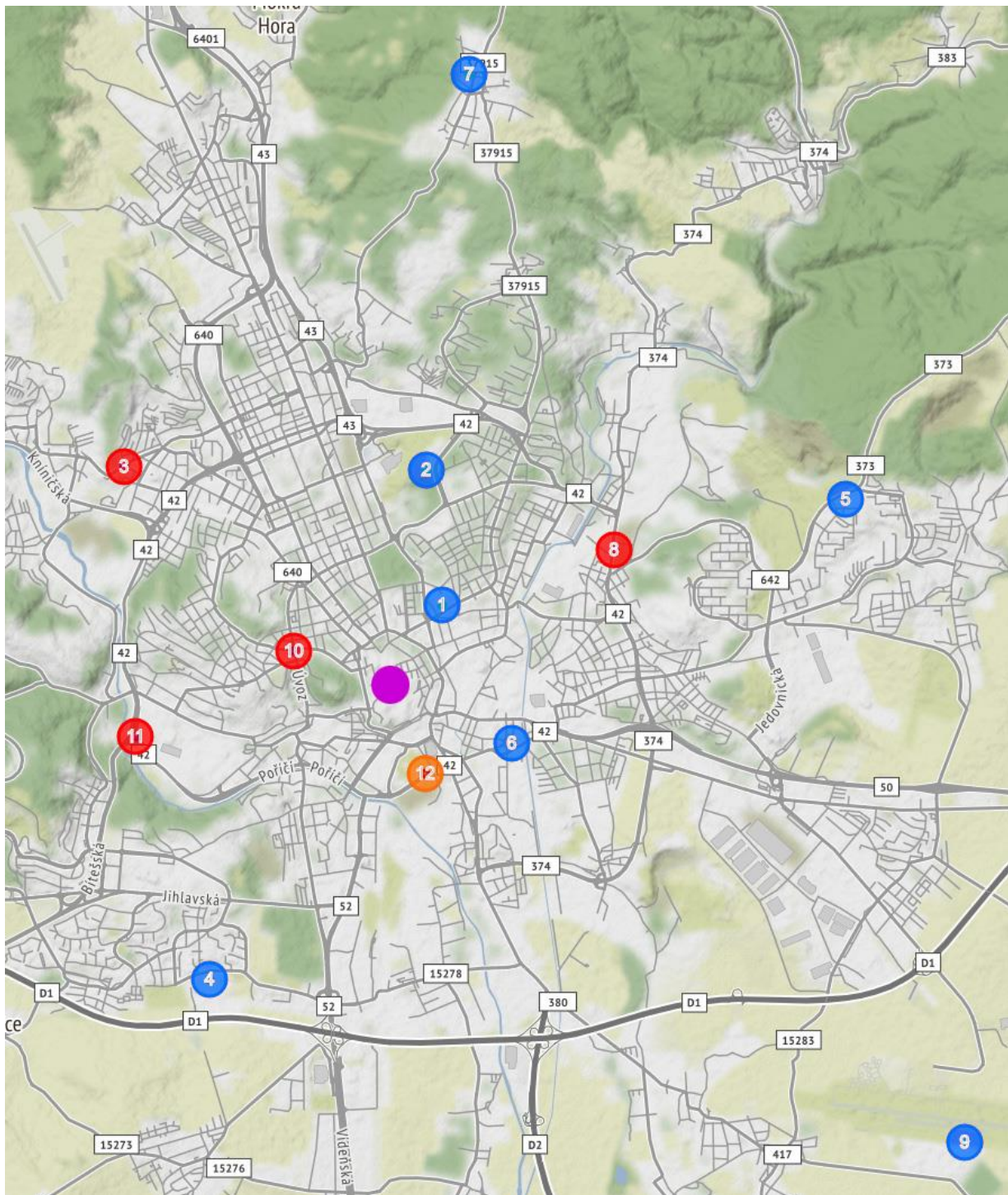
2.1 STANICE IMISNÍHO MONITORINGU NA ÚZEMÍ BRNA

Následující tabulka a mapa ukazuje stacionární stanice imisního monitoringu na území Brna. Červeně vyznačené stanice jsou stanice dopravní, modře jsou zvýrazněny stanice pozadřové, oranžově průmyslová a fialový bod představuje umístění měřícího vozu na náměstí Svobody.

Tabulka 1 – seznam stanic imisního monitoringu na území Brna. Sloupec „Program“ značí, zda se jedná o stanici automatickou (A) nebo manuální (M).

Stanice	ID	Typ	Typ zóny	Charakteristika zóny	Program
Brno – Dětská nemocnice	BBDN	pozadřová	městská	obytná, obchodní	A
Brno – Arboretum	BBMA	pozadřová	městská	obytná, přírodní	A
Brno – Kroftova	BBNF	dopravní	městská	obytná	M
Brno – Lány	BBML	pozadřová	předměstská	obytná, přírodní	A
Brno – Líšeň	BBNI	pozadřová	městská	obytná	A
Brno – Masná	BBNA	pozadřová	městská	obchodní, obytná	A
Brno – Soběšice	BBNE	pozadřová	předměstská	obytná	M
Brno – Svatoplukova	BBMS	dopravní	městská	obytná	A
Brno – Tuřany	BBNY	pozadřová	předměstská	obytná	A
Brno – Úvoz (hot spot)	BBNV	dopravní	městská	obytná	A
Brno – Výstaviště	BBMV	dopravní	městská	obchodní	A
Brno – Zvonařka	BBMK	průmyslová	městská	obchodní	A

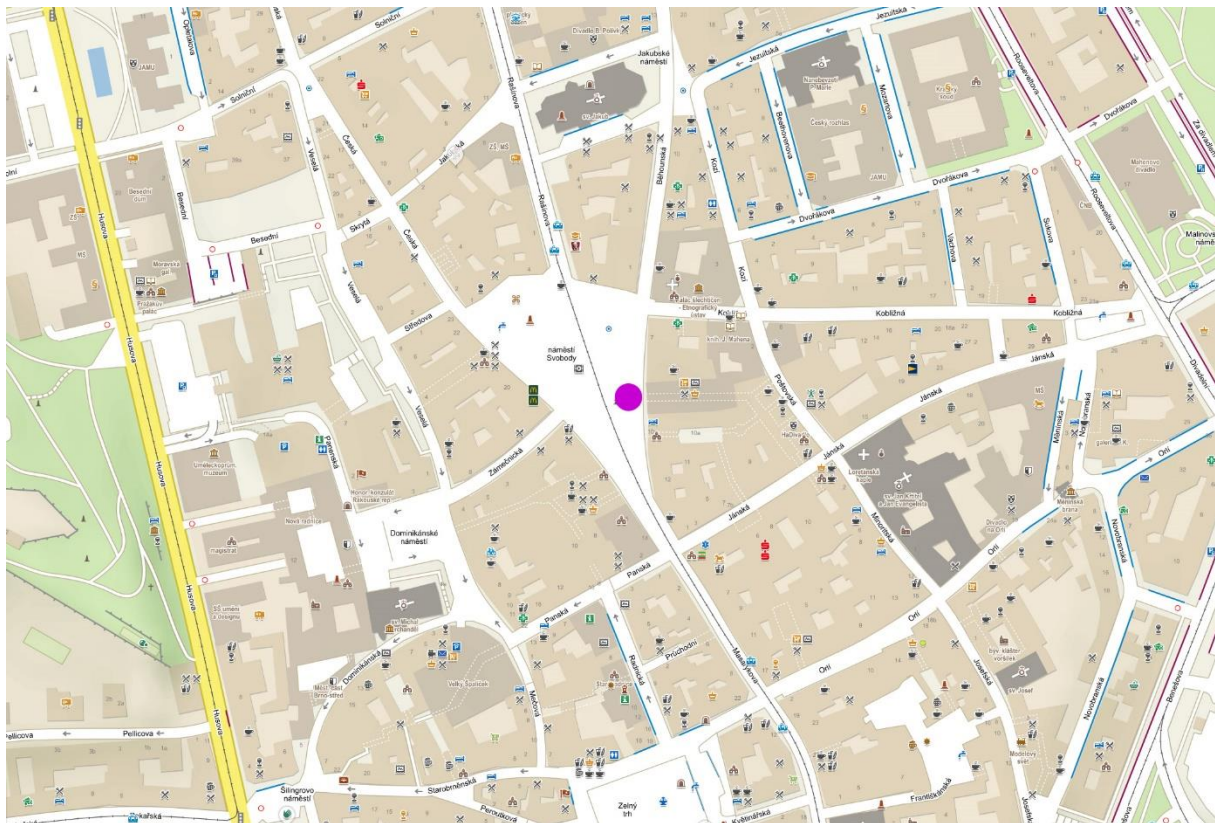
U automatických stanic jsou data k dispozici v hodinovém intervalu, u manuálních stanic v denním.



Obrázek 1 – mapa stanic imisního monitoringu na území Brna. Červené body – dopravní stanice, modré body – požadové stanice, oranžový bod – průmyslová stanice, fialový bod – náměstí Svobody. 1 – Brno – Dětská nemocnice, 2 – Brno – Arboretum, 3 – Brno Kroftova, 4 – Brno – Lány, 5 – Brno – Líšeň, 6 – Brno – Masná, 7 – Brno – Soběšice, 8 – Brno – Svatoplukova, 9 – Brno – Tuřany, 10 – Brno – Úvoz (hot spot), 11 – Brno – Výstaviště, 12 – Brno – Zvonařka. Mapový podklad: Openstreet Maps

2.2 LOKALITA NÁMĚSTÍ SVOBODY

Jak je patrné z mapky, v okolí náměstí Svobody se nachází všechny typy stanic – pozaďová, dopravní i průmyslová. Měřicí vůz na náměstí Svobody byl umístěn před palác Omega a vedle brněnského orloje, jak ukazuje další mapka.



Obrázek 2 – umístění měřicího vozu (fialový bod) na náměstí Svobody. Mapový podklad: mapy.cz

Kolem dokola je ve všech směrech hustá zástavba, měření rychlosti a směru větru je tedy značně omezené, jelikož zde není otevřený prostor, kudy by mohl proudit dominantní směr větru, ale dochází k proudění skrze ulice a různému stáčení podle zdejšího terénu a zástavby.

Samotné náměstí a jeho bezprostřední okolí je pěší zónou se zákazem vjezdu automobilů, s výjimkou zásobování a automobilů se speciálním povolením. Dále zde projíždí tramvaje Dopravního podniku města Brna.



Obrázek 3 – umístění měřicího vozu na náměstí Svobody před palácem Omega vedle brněnského orloje. Foto: Jáchym Brzezina

Měřicí vůz byl umístěn ve východní části náměstí, s odběrovými sondami natočenými směrem do středu náměstí. Přibližně 2 m od zadní části vozu vedly koleje, kudy jezdily tramvaje a po kterých rovněž projíždí automobily s povolením. Před vozem byla zástavba a několik stromů.

Na náměstí Svobody jako takovém je několik restaurací a kaváren s venkovní zahrádkou, dvě fontány a jednotlivé stromy lemující určité části náměstí.

3. PLÁN MĚŘENÍ

Měřicí kampaň byla provedena měřícím vozem Magistrátu města Brna, který kontinuálně v 10minutovém intervalu monitoruje koncentrace řady znečišťujících látek a meteorologické parametry.

3.1 MONITOROVANÉ PARAMETRY

- PM₁₀ – radiometrická metoda [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- PM_{2,5} – radiometrická metoda [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- PM₁ – radiometrická metoda [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- NO, NO₂, NO_x – chemiluminiscence [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- SO₂ – UV fluorescence [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- CO – IR absorpční spektrometrie [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]
- relativní vlhkost vzduchu [%]
- rychlost větru [m/s]
- směr větru [$^{\circ}$]

Zastoupeny jsou tedy takřka všechny plynné znečišťující látky s platným imisním limitem (s výjimkou přízemního ozonu) a prachové částice hned tří frakcí – PM₁₀, PM_{2,5} a nejmenších PM₁.

3.2 MONITOROVANÉ OBDOBÍ A DOSTUPNOST DAT

Vůz byl na náměstí přistaven v pondělí 12. srpna v dopoledních hodinách. Během prvních hodin probíhala kalibrace a stabilizace přístrojů. Odstavení vozu proběhlo v pátek 30. srpna 2019, opět v dopoledních hodinách.

Data použitá v této zprávě tedy odpovídají intervalu:

13. 8. 2019 0:00 až 29. 8. 2019 23:50

Během celého měření nedošlo k žádnému výpadku dat, s výjimkou úplného začátku měření, kdy nebyla k dispozici data ze všech analyzátorů s výjimkou prachoměru během prvního měřeného dopoledne (13. 8.). Denní průměry pro tento den pro dané látky tedy nemohly být spočítány, jelikož by byly zkreslené.

Dostupnost dat kampaně je pro všechny parametry přijatelná¹. Níže uvedená tabulka ukazuje dostupnost dat pro jednotlivé znečišťující látky a meteorologické prvky.

Tabulka 2 – dostupnost dat pro jednotlivé znečišťující látky

PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁	NO ₂	NO	NO _x	SO ₂	CO
100 %	100 %	100 %	97,6 %	97,6 %	97,6 %	96,2 %	97,8 %

Tabulka 3 – dostupnost dat pro jednotlivé meteorologické prvky

Teplota vzduchu	Vlhkost vzduchu	Směr větru	Rychlost větru
100 %	100 %	100 %	100 %

¹ vyšší než 90 %

4. METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY

Kromě samotných koncentrací znečišťujících látek monitoruje měřicí vůz také meteorologické podmínky – konkrétně měří teplotu a vlhkost vzduchu a rychlost a směr větru. Teploměr je umístěn v kvalitním radičním štítu, ultrazvukový senzor rychlosti a směru větru je umístěn v přibližně 6m výšce.

Pro vyhodnocování kvality ovzduší jsou důležité především parametry týkající se větru. Rychlost a směr větru udávají směr šíření znečišťujících látek od jejich zdroje. V případě tohoto měření je ale situace komplikovanější. Směr a rychlost větru by měly být měřeny v otevřeném prostoru, což pro lokalitu náměstí Svobody neplatí ani v jednom směru. Rychlost větru je zde ze všech stran výrazně omezená a směr větru je velmi lokální.

Naopak údaje o teplotě vzduchu jsou potenciálně zajímavé z meteorologického hlediska, kdy je možné provést srovnání s jinými stanicemi ve městě mimo centrum a zhodnotit tak vliv tzv. městského teplotního ostrova (Urban Heat Island, UHI).

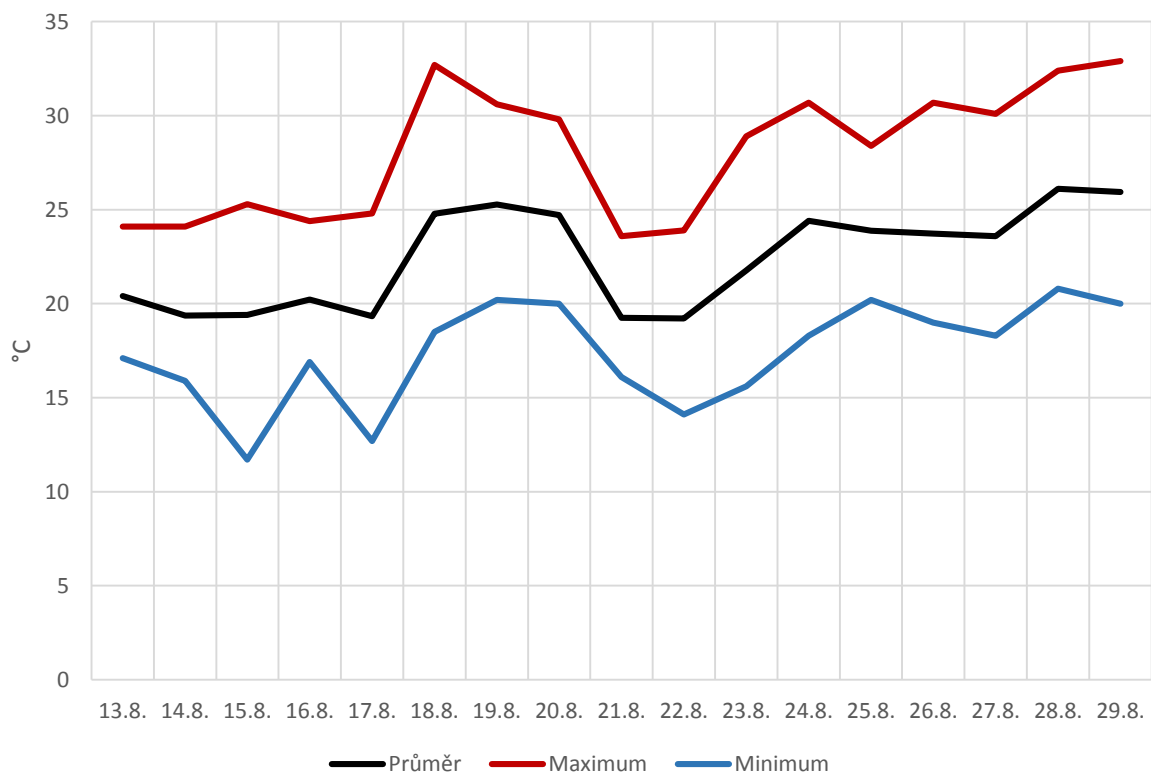
4.1 TEPLOTA VZDUCHU

Průměrná teplota vzduchu za celé sledované období byla 22,44 °C. Průměrné denní teploty se pohybovaly mezi přibližně 20 a 25 °C. Absolutně nejvyšší teplota byla naměřena poslední den měření, tedy 29. 8. 2019 odpoledne v 15:30 a to 32,9 °C. Naopak absolutně nejnižší byla teplota 15. srpna 2019 v brzkých ranních hodinách v intervalu od 6:00 do 6:20 a to 11,7 °C. Maximální denní průměrná teplota vzduchu byla 26,11 °C 28. srpna 2019, naopak nejnižší denní průměr o hodnotě 19,22 °C byl pozorován 22. 8. 2019.

Následující tabulka a graf ukazují průběh průměrných, maximálních a minimálních teplot pro jednotlivé dny měření.

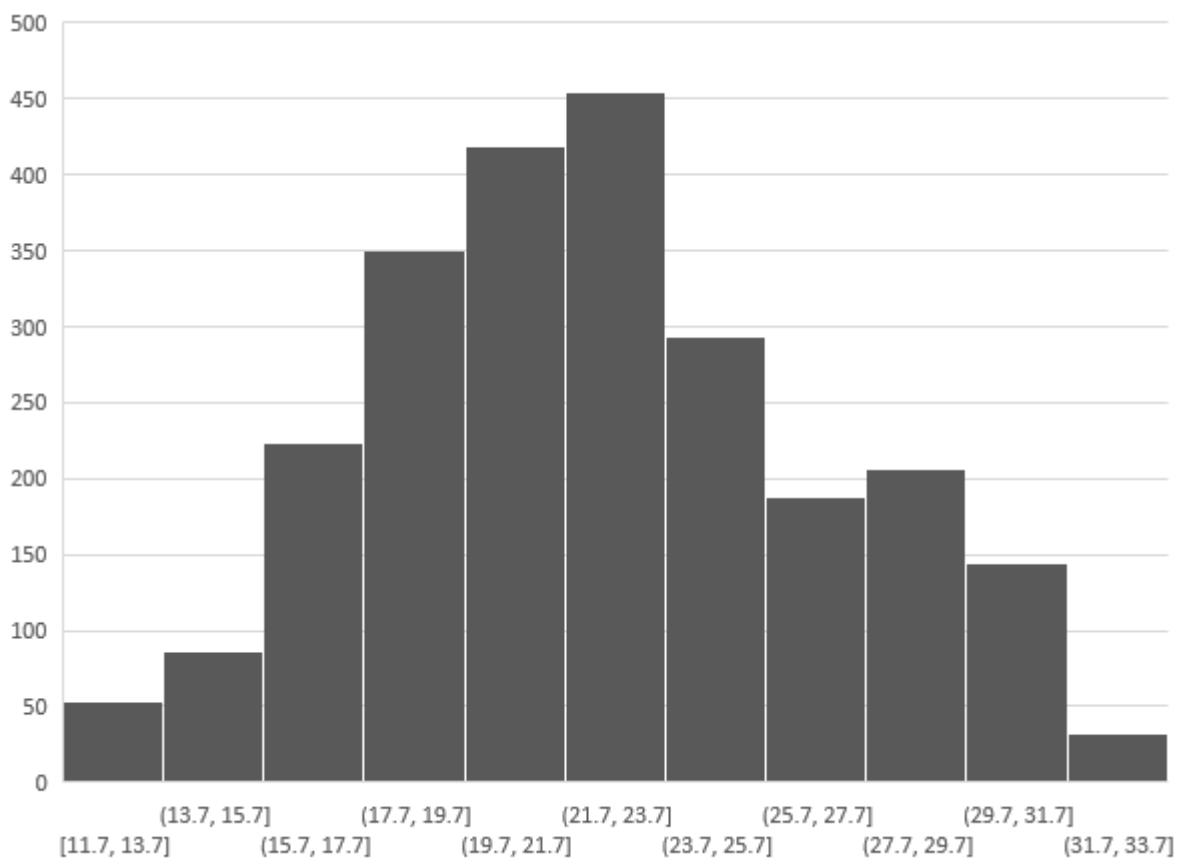
Tabulka 4 – průměrné, maximální a minimální teplota vzduchu v jednotlivé dny měření

Datum	Průměr	Maximum	Minimum
13.8.	20.41	24.1	17.1
14.8.	19.38	24.1	15.9
15.8.	19.40	25.3	11.7
16.8.	20.23	24.4	16.9
17.8.	19.33	24.8	12.7
18.8.	24.79	32.7	18.5
19.8.	25.27	30.6	20.2
20.8.	24.71	29.8	20
21.8.	19.25	23.6	16.1
22.8.	19.22	23.9	14.1
23.8.	21.77	28.9	15.6
24.8.	24.41	30.7	18.3
25.8.	23.88	28.4	20.2
26.8.	23.73	30.7	19
27.8.	23.60	30.1	18.3
28.8.	26.11	32.4	20.8
29.8.	25.95	32.9	20



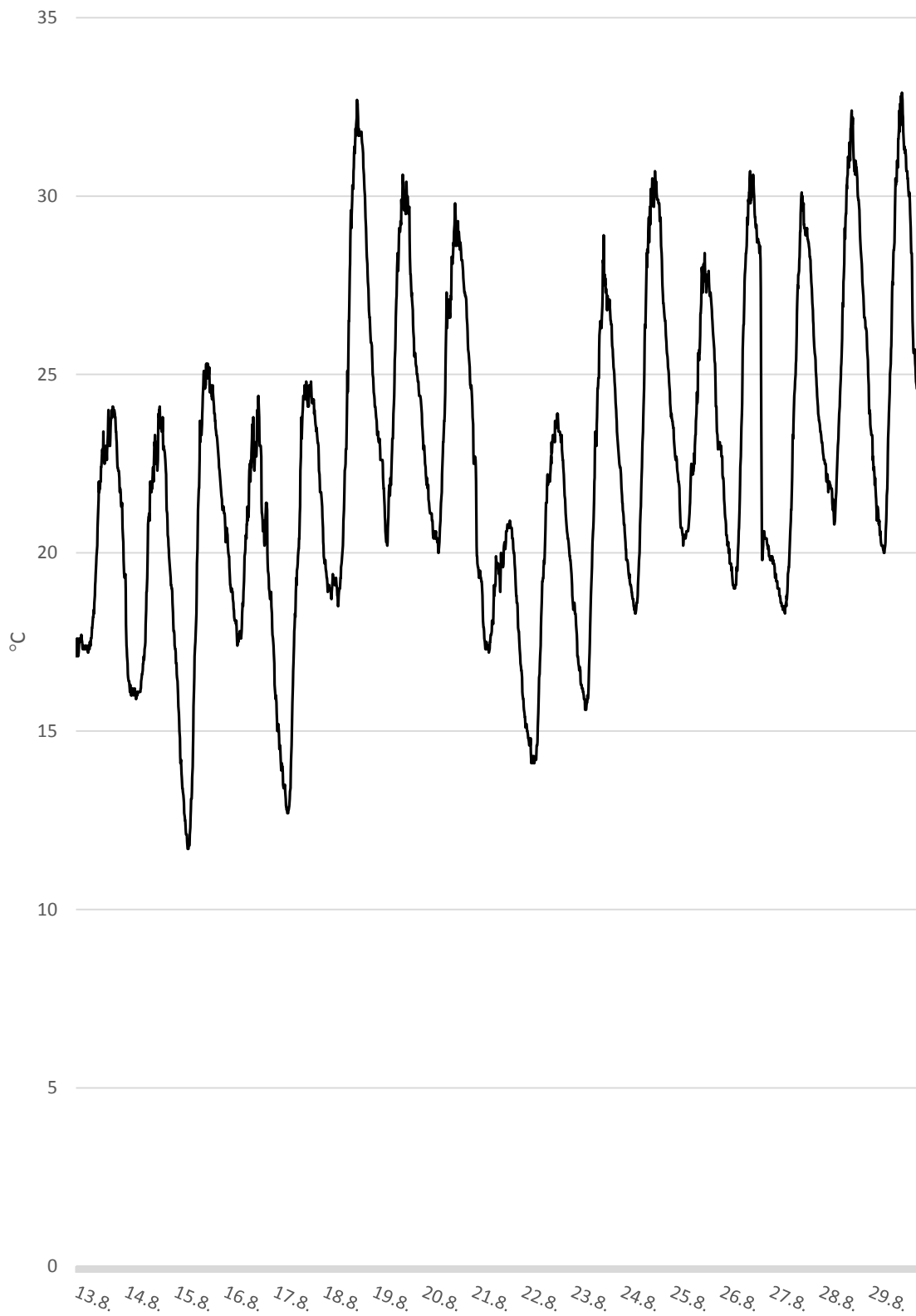
Obrázek 4 - průměrné, maximální a minimální teplota vzduchu v jednotlivé dny měření

Histogram teplot vzduchu zkonstruovaný z celkového počtu 2448 desetiminutových intervalů s rozestupem intervalů 2 °C ukazuje, že nejčastěji se teplota vzduchu pohybovala mezi 21,7 a 23,7 °C.



Obrázek 5 – histogram četnosti teplot vzduchu v jednotlivých intervalech v °C.

Celkový průběh teploty vzduchu je zobrazen na následujícím grafu.



Obrázek 6 – průběh teploty vzduchu v 10minutovém intervalu ve sledované období

Z grafu je dobře patrný typický denní průběh teploty s maximem v odpoledních hodinách a následně postupným poklesem v nočních hodinách, s minimem v brzkých ranních hodinách a opětovným pozvolným růstem po východu Slunce.

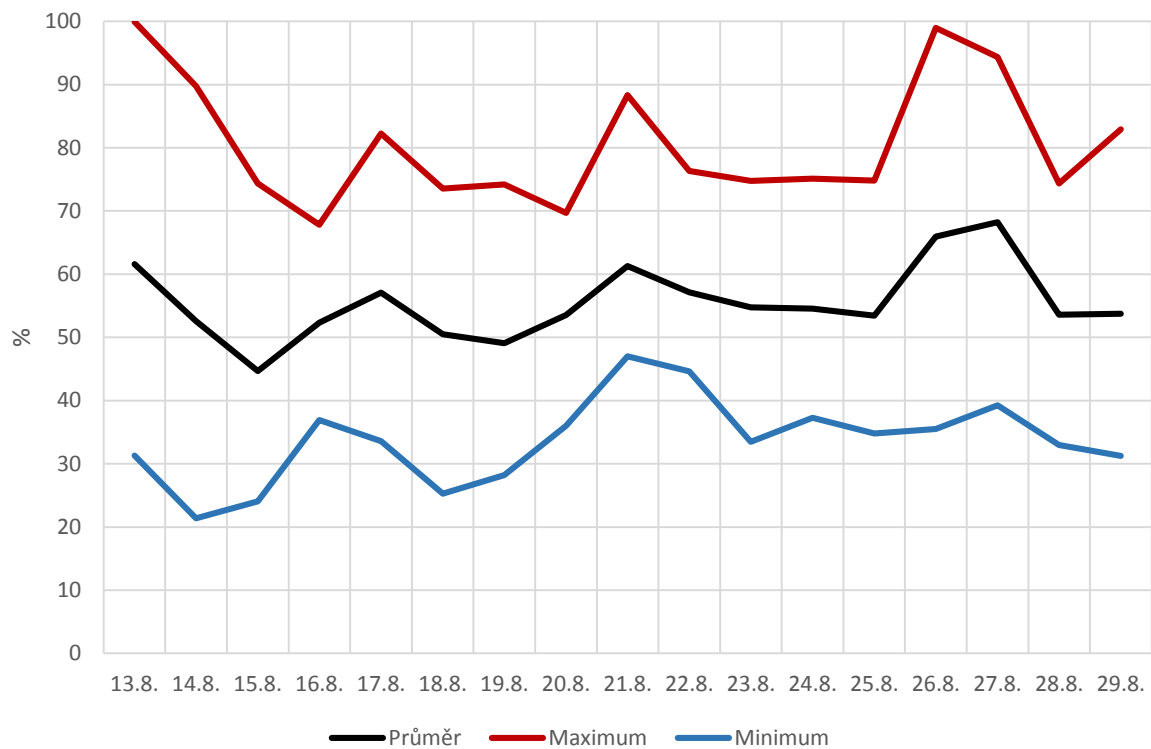
4.2 VLHKOST VZDUCHU

Během sledovaného období byla celková průměrná relativní vlhkost 52,53 %. Interval průměrných denních hodnot byl 44,67 % (15. 8. 2019) až 68,20 % (27. 8. 2019). Co se absolutních hodnot týče, vůbec nejvyšší pozorovaná hodnota byla 100 % a to 13. 8. 2019 přesně o půlnoci. Naopak nejnižší hodnota 21,4 % byla naměřena 14. 8. 2019 v 18:00.

Následující tabulka a graf ukazují průběh průměrných, maximálních a minimálních vlhkostí vzduchu pro jednotlivé dny měření.

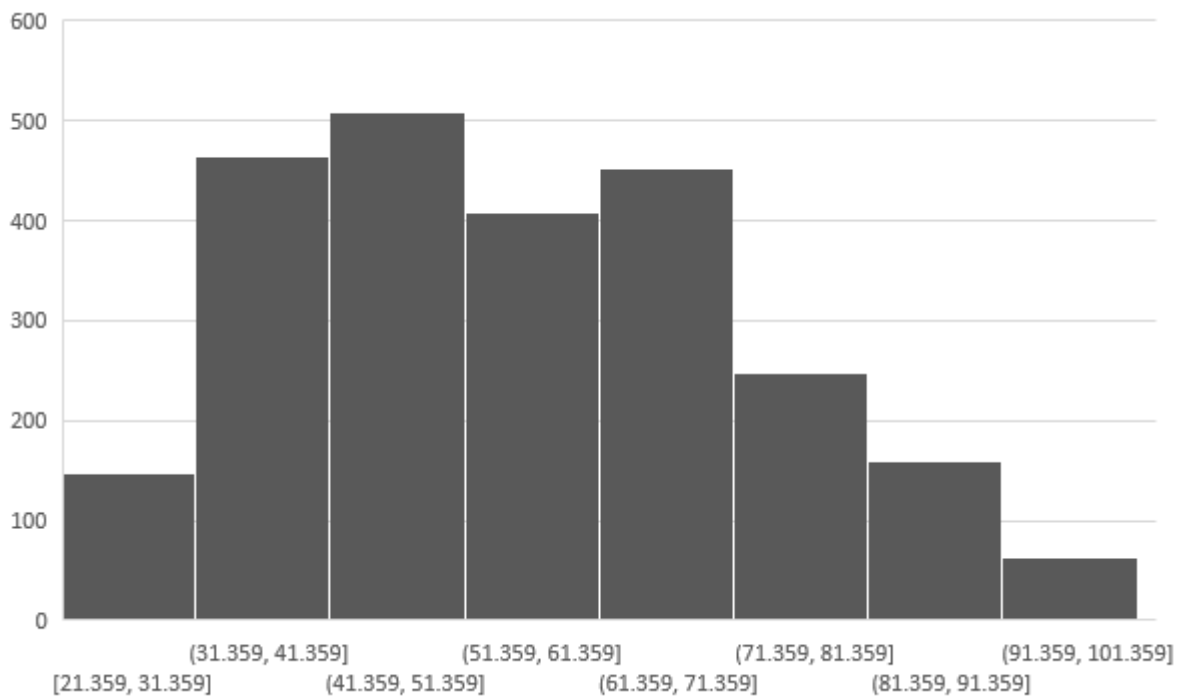
Tabulka 5 - průměrné, maximální a minimální relativní vlhkost vzduchu v jednotlivé dny měření

Datum	Průměr	Maximum	Minimum
13.8.	61.57	99.9	31.3
14.8.	52.59	89.7	21.4
15.8.	44.67	74.3	24.1
16.8.	52.34	67.8	36.9
17.8.	57.10	82.3	33.6
18.8.	50.48	73.5	25.3
19.8.	49.09	74.2	28.2
20.8.	53.54	69.7	36.0
21.8.	61.30	88.3	47.0
22.8.	57.15	76.3	44.6
23.8.	54.76	74.8	33.5
24.8.	54.53	75.1	37.3
25.8.	53.43	74.8	34.8
26.8.	65.96	99.0	35.5
27.8.	68.20	94.3	39.2
28.8.	53.58	74.3	33.0
29.8.	53.72	82.9	31.2



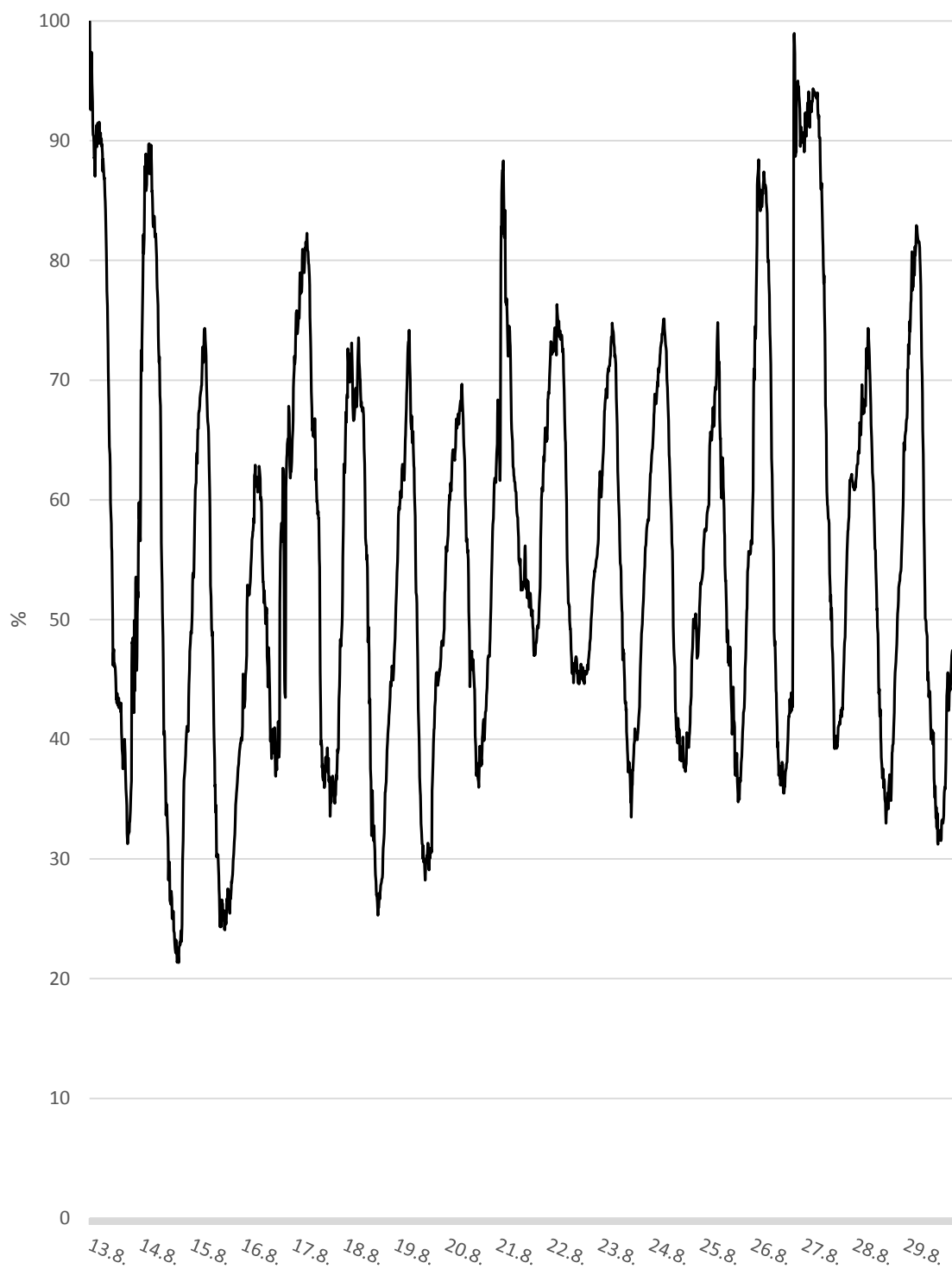
Obrázek 7 - průměrná, maximální a minimální relativní vlhkost vzduchu v jednotlivé dny měření

Histogram četnosti ukazuje, že nejčastěji se relativní vlhkost pohybovala v intervalu 41,4 až 51,4 %, rozdíly ale nejsou velké.



Obrázek 8 - histogram četnosti relativních vlhkostí vzduchu v jednotlivých intervalech v %

Graf celkového průběhu vlhkosti vzduchu má podobný, ale přesně opačný průběh ve srovnání s grafem průběhu teploty vzduchu. Nejvyšších hodnot je dosahováno v brzkých ranních hodinách a v denních hodinách jsou hodnoty nižší.



Obrázek 9 - průběh relativní vlhkosti vzduchu v 10minutovém intervalu ve sledované období

4.3 RYCHLOST VĚTRU

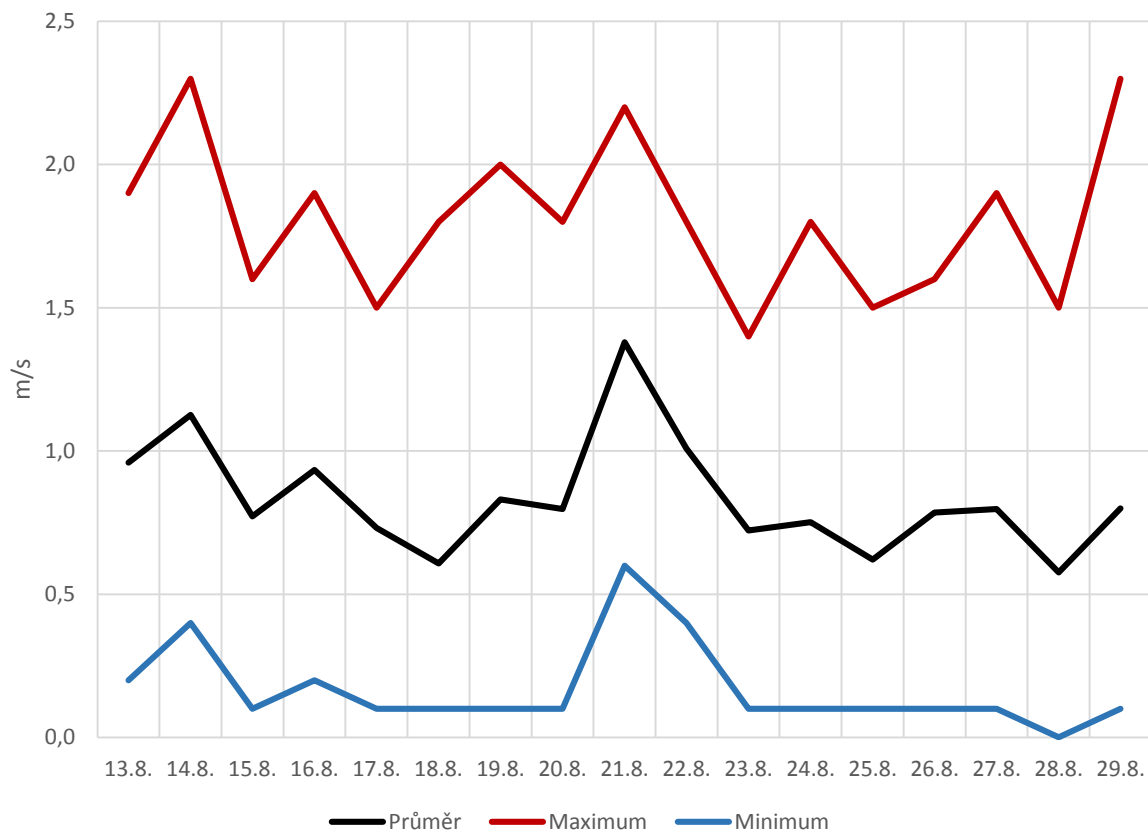
Dle očekávání byla rychlost větru po celou dobu měření velmi nízká. Lokalita měření je ze všech stran uzavřená vysokou zástavbou, která tvoří bariéru v proudění vzduchu. Důkazem toho je velmi nízká hodnota absolutně nejvyšší naměřené rychlosti větru, která byla pouze 2,3 m/s (8,3 km/h) (14. 8. 2019 v 18:00 a 29. 8. 2019 ve 22:00). Naopak nejnižší hodnotou bylo úplné bezvětří (0,0 m/s) pozorované 28. 8. 2019 ve 2:40 a 3:30.

Denní průměrná rychlost větru se pohybovala většinou do 1 m/s, vůbec nejvyšší denní průměr byl pozorován 21. 8. 2019 a to 1,38 m/s (4,97 km/h). Naopak nejnižší denní průměrná rychlost větru byla naměřena 28. 8. 2019, pouhých 0,58 m/s (2,09 km/h). Denní maxima se většinou pohybovala do 2 m/s, denní minima téměř vždy rovna 0,1 m/s.

Následující tabulka a graf ukazují průběh průměrných, maximálních a minimálních rychlostí větru pro jednotlivé dny měření.

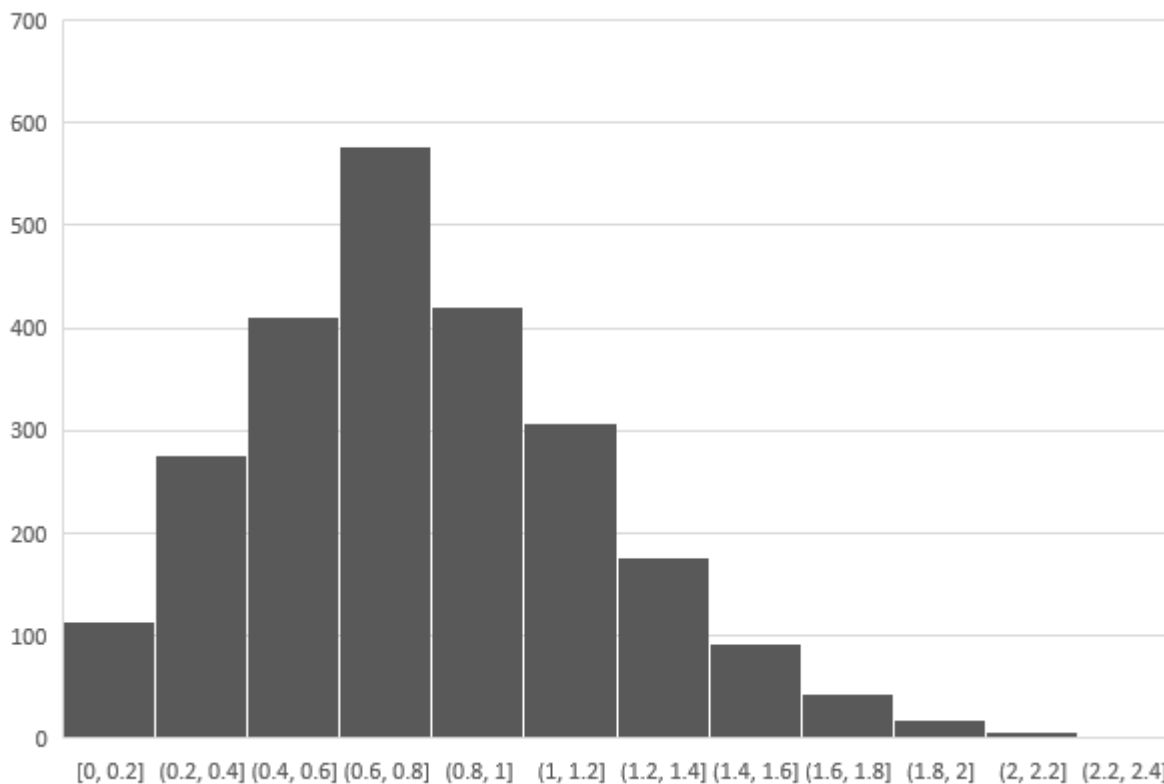
Tabulka 6 - průměrné, maximální a minimální rychlosti větru v jednotlivé dny měření

Datum	Průměr	Maximum	Minimum
13.8.	0.96	1.9	0.2
14.8.	1.13	2.3	0.4
15.8.	0.77	1.6	0.1
16.8.	0.93	1.9	0.2
17.8.	0.73	1.5	0.1
18.8.	0.61	1.8	0.1
19.8.	0.83	2	0.1
20.8.	0.80	1.8	0.1
21.8.	1.38	2.2	0.6
22.8.	1.01	1.8	0.4
23.8.	0.72	1.4	0.1
24.8.	0.75	1.8	0.1
25.8.	0.62	1.5	0.1
26.8.	0.79	1.6	0.1
27.8.	0.80	1.9	0.1
28.8.	0.58	1.5	0
29.8.	0.80	2.3	0.1



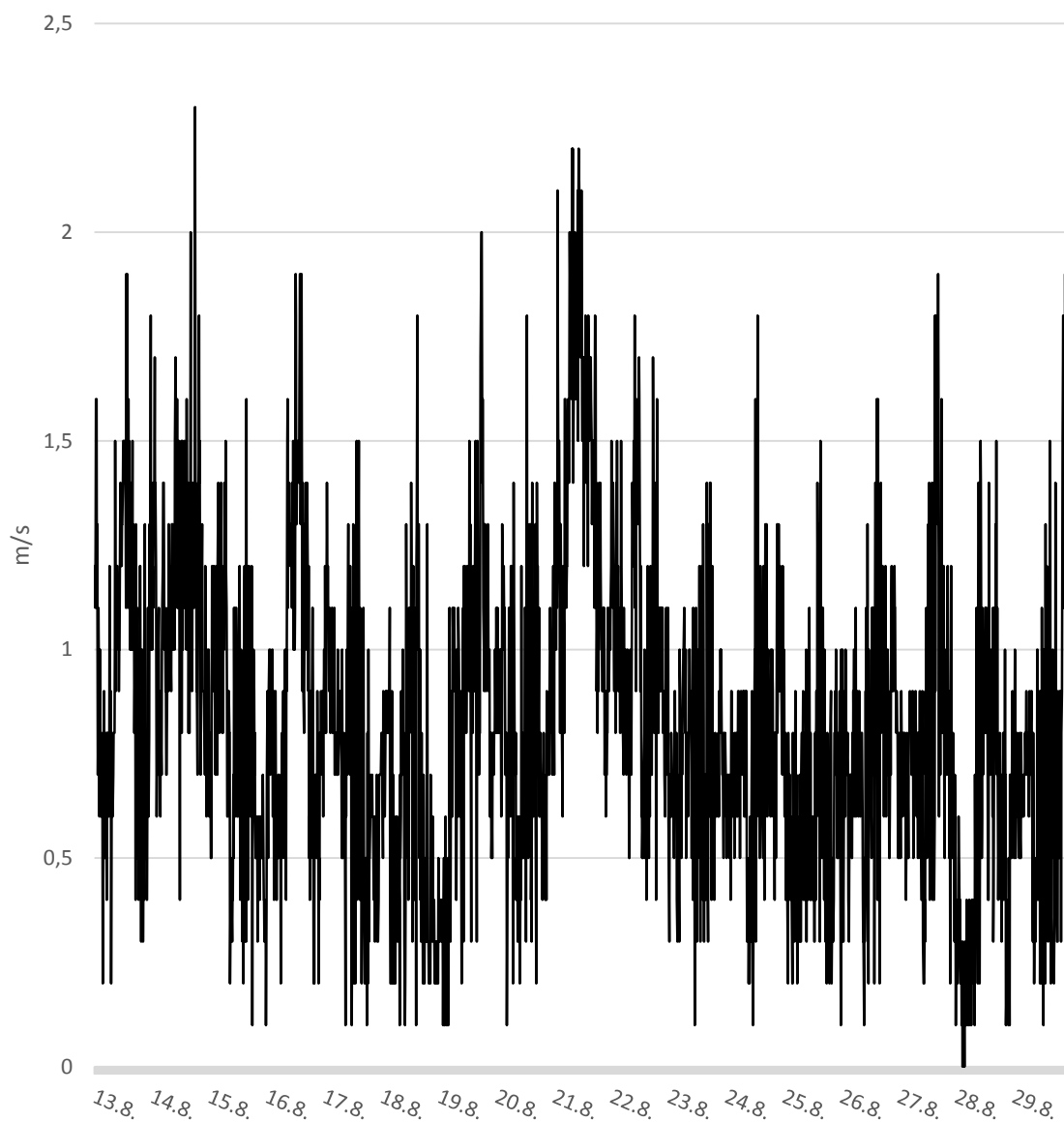
Obrázek 10 - průměrná, maximální a minimální rychlost větru v jednotlivé dny měření

Histogram četnosti ukazuje, že se nejčastěji rychlost větru pohybovala v intervalu 0,6 až 0,8 m/s.



Obrázek 11 - histogram četnosti rychlosti větru v jednotlivých intervalech v m/s

Oproti teplotě a vlhkosti vzduchu má rychlost větru výrazně větší dynamiku a není zde typický jednoznačně daný denní chod. Z grafu průběhu rychlosti větru za celé měřené období je toto dobře patrné.

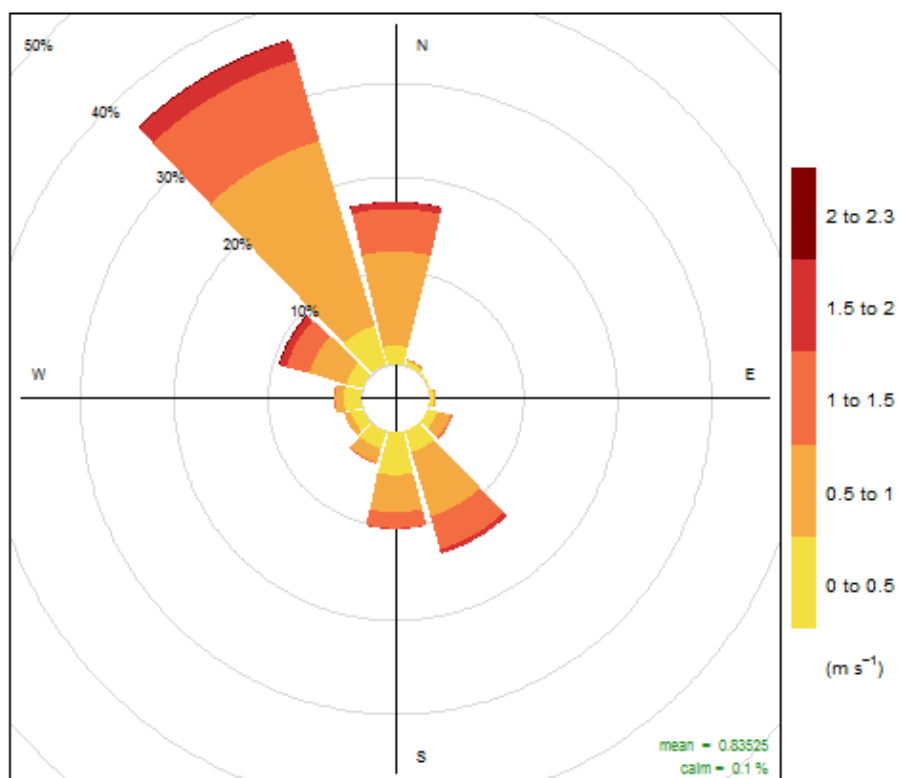


Obrázek 12 - průběh rychlosti větru v 10minutovém intervalu ve sledované období

4.4 SMĚR VĚTRU

Měření směru větru v dané lokalitě je velmi komplikované, vzhledem k velmi husté zástavbě, která je navíc ve všech směrech od měřícího vozu. V daném místě je velmi lokální proudění, které vzniká prouděním vzduchu kaňony ulic a řadou dalších vlivů.

Následující větrná růžice ukazuje frekvenci a rychlost proudění z jednotlivých směrů za celé monitorované období.



Obrázek 13 – větrná růžice pro celé období měření

Z růžice vyplývá, že dominantním směrem větru v daném místě bylo severozápadní proudění. Výrazně méně je pak zastoupen severní směr a následně směr jihovýchodní. Dobře vidět je například úplná absence východního proudění, jelikož je i z mapy umístění v druhé kapitole této zprávy patrné, že v těsné blízkosti na východ stála vysoká budova. Není to tedy absence proudění z tohoto směru, ale spíše nemožnost proudění z tohoto směru.

Větrná růžice z velké míry kopíruje umístění ulic vybíhajících z náměstí. Rovněž bylo při konstrukci této větrné růžice nutné přeškolovat stupnici a nastavit krok na pouze 0,5 m/s vzhledem k velmi nízkým rychlostem větru².

² běžně se při hodnocení kvality ovzduší používá škála s krokem 2 m/s a výše. V tomto případě se však rychlosti nad 2 m/s takřka vůbec nevyskytovaly.

5. SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE

Suspendované částice (particulate matter, PM), někdy také označované jako prachové částice, představují komplexní směs extrémně malých pevných částic a kapiček v ovzduší. Základní dělení PM je založeno na jejich aerodynamickém průměru. Právě jejich velikost je totiž klíčová pro dopady na zdraví (Kim, 2015). Čím menší je velikost částic, tím hlouběji pronikají do dýchacího systému a ultrajemné částice (< 0,1 μm) se mohou dostávat až do krevního oběhu.

Částice PM samy o sobě mohou působit dráždivě. Zároveň však na ně mohou být přichyceny různé další zdraví škodlivé látky, jako například těžké kovy. Kromě velikosti hraje roli také jejich morfologie a chemické složení. Neexistuje bezpečná spodní hranice a negativní zdravotní účinky mohou být zaznamenány i při velmi nízkých koncentracích (Trasande, 2016).

Zdrojem suspendovaných částic v ovzduší jsou jak přírodní procesy, tak antropogenní činnost. Z přirozených procesů je to například větrná eroze nebo vulkanická činnost. Z lidských zdrojů je to celá řada technologických procesů, spalování odpadu, doprava, vytápění atd. (Vierkötter, 2017). Nezanedbatelným zdrojem suspendovaných částic je i víření prachu, tzv. resuspenze (Hetem, 2016). To se týká nejen dopravy, ale například i chodců.

V rámci tohoto měření byly měřeny koncentrace tří frakcí suspendovaných částic – částic označovaných jako PM_{10} (aerodynamický průměr do 10 μm), jemnější frakce $\text{PM}_{2,5}$ (částice s aerodynamickým průměrem do 2,5 μm) a frakce nejmenších částic označovaná jako PM_1 (částice s aerodynamickým průměrem do 1 μm). S ohledem na lidské zdraví jsou potenciálně nebezpečnější částice PM_1 , protože vzhledem ke své menší velikosti pronikají po vdechnutí hlouběji do dýchacího systému (Kim, 2015). Suspendované částice jsou v současnosti jedním z hlavních problémů znečištění ovzduší v České republice, protože v některých místech bývají překračovány imisní limity, v topné sezóně mohou být kvůli PM vyhlášovány smogové situace.

5.1 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{10}

Koncentrace suspendovaných částic PM_{10} byla měřena v 10minutových intervalech měřícím vozem. Legislativa udává pro PM_{10} dva imisní limity. 24h limit má hodnotu 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a smí být překročen maximálně 35x za rok. Roční imisní limit PM_{10} je 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

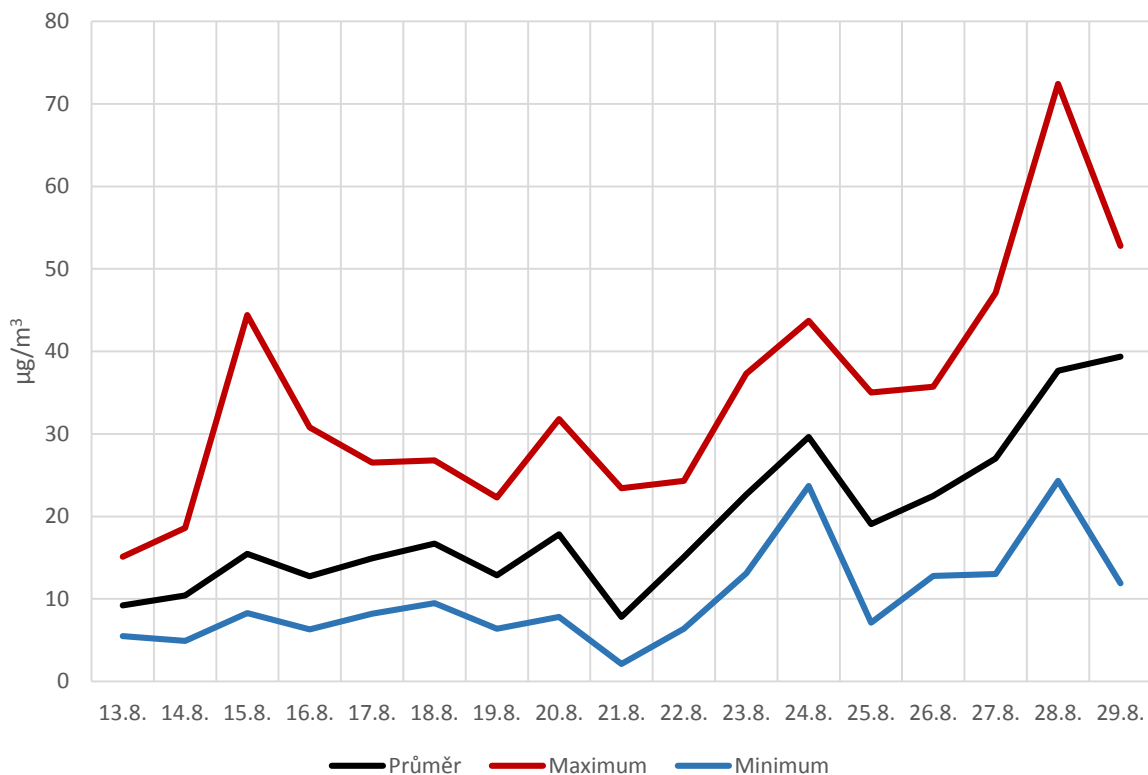
Celková průměrná koncentrace suspendovaných částic PM_{10} za celé období měření činila 19,46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Průměrné denní koncentrace se pohybovaly mezi 9,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (13. 8. 2019) a 39,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

(29. 8. 2019). V absolutních 10minutových hodnotách pak byl rozsah koncentrací od 2,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (21. 8. 2019 ve 3:40 a 3:50) do 72,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (28. 8. 2019 ve 22:50).

Následující tabulka a graf ukazují průběh průměrných, maximálních a minimálních koncentrací suspendovaných částic PM_{10} pro jednotlivé dny měření.

Tabulka 7 - průměrné, maximální a minimální koncentrace suspendovaných částic PM_{10} v jednotlivé dny měření

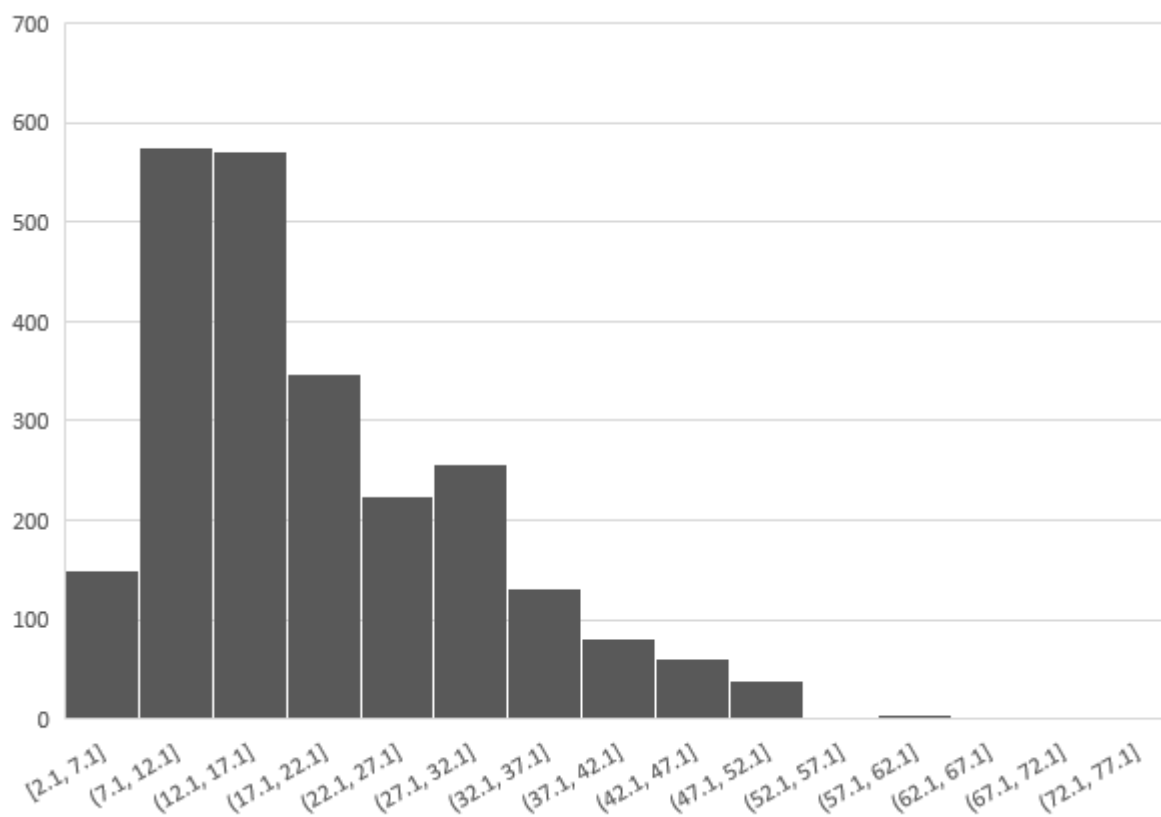
Datum	Průměr	Maximum	Minimum
13.8.	9.22	15.1	5.5
14.8.	10.41	18.6	4.9
15.8.	15.46	44.4	8.3
16.8.	12.73	30.8	6.3
17.8.	14.91	26.5	8.2
18.8.	16.71	26.8	9.5
19.8.	12.87	22.3	6.4
20.8.	17.84	31.8	7.8
21.8.	7.80	23.4	2.1
22.8.	15.08	24.3	6.4
23.8.	22.66	37.3	13.1
24.8.	29.62	43.7	23.7
25.8.	19.07	35	7.1
26.8.	22.47	35.7	12.8
27.8.	27.01	47.1	13
28.8.	37.66	72.4	24.3
29.8.	39.36	52.8	11.9



Obrázek 14 - průměrná, maximální a minimální koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ v jednotlivé dny měření

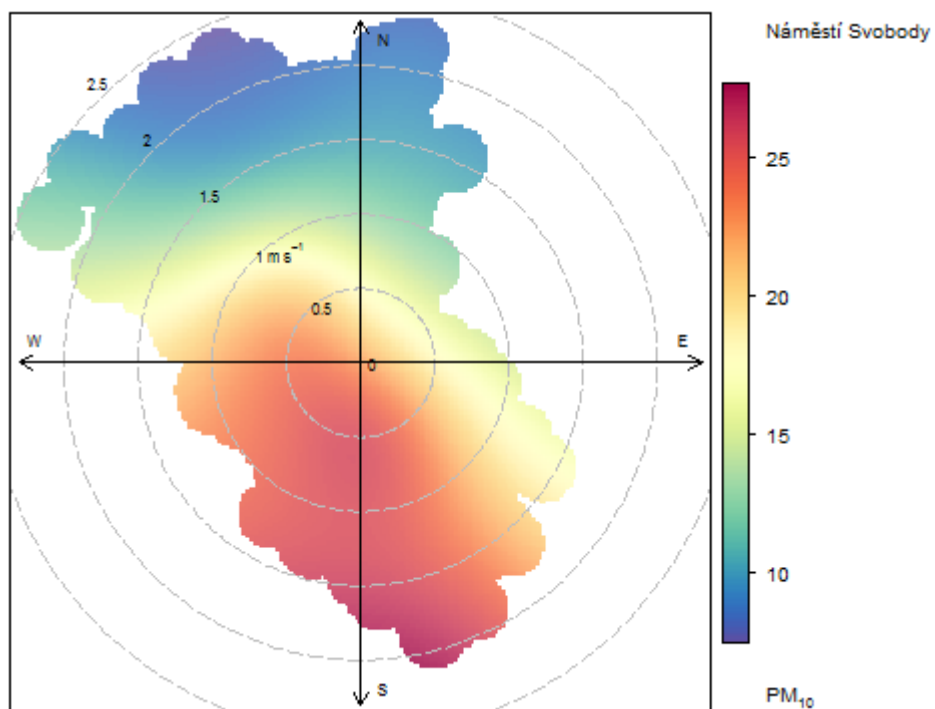
Z grafu průměrných denních hodnot je vidět, že byla po stránce znečištění PM₁₀ první polovina měřicího období příznivější, naopak v druhé polovině měřicí kampaně byly koncentrace PM₁₀ vyšší. Imisní limit pro 24h koncentraci PM₁₀ o hodnotě 50 µg/m³ nebyl překročen ani jednou a všechny pozorované denní průměrné koncentrace jsou i pod hodnotou imisního limitu pro roční koncentraci PM₁₀.

Jak ukazuje následující histogram, nejčastější byly koncentrace v rozmezí 7 až 17 µg/m³.

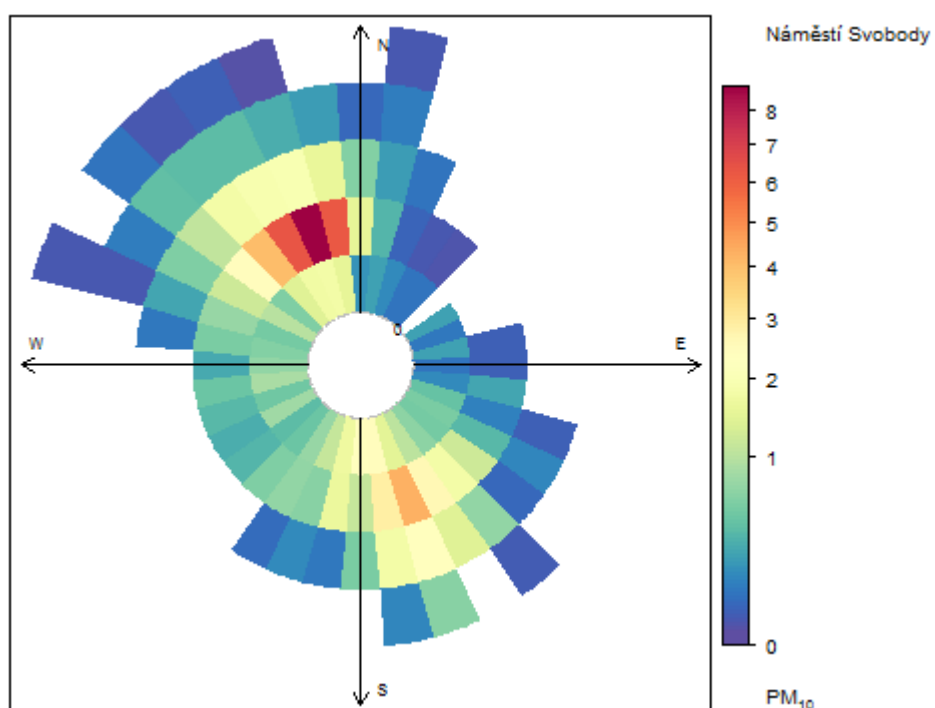


Obrázek 15 – histogram četnosti koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v $\mu g/m^3$

Pro úplnost byly vytvořeny i koncentrační růžice pro PM_{10} , tyto však mohou být částečně zavádějící vzhledem k uzavřenosti zdejšího prostoru a tudíž velmi zkresleném směru větru.



Obrázek 16 – koncentrační růžice pro suspendované částice PM₁₀ za celé sledované období

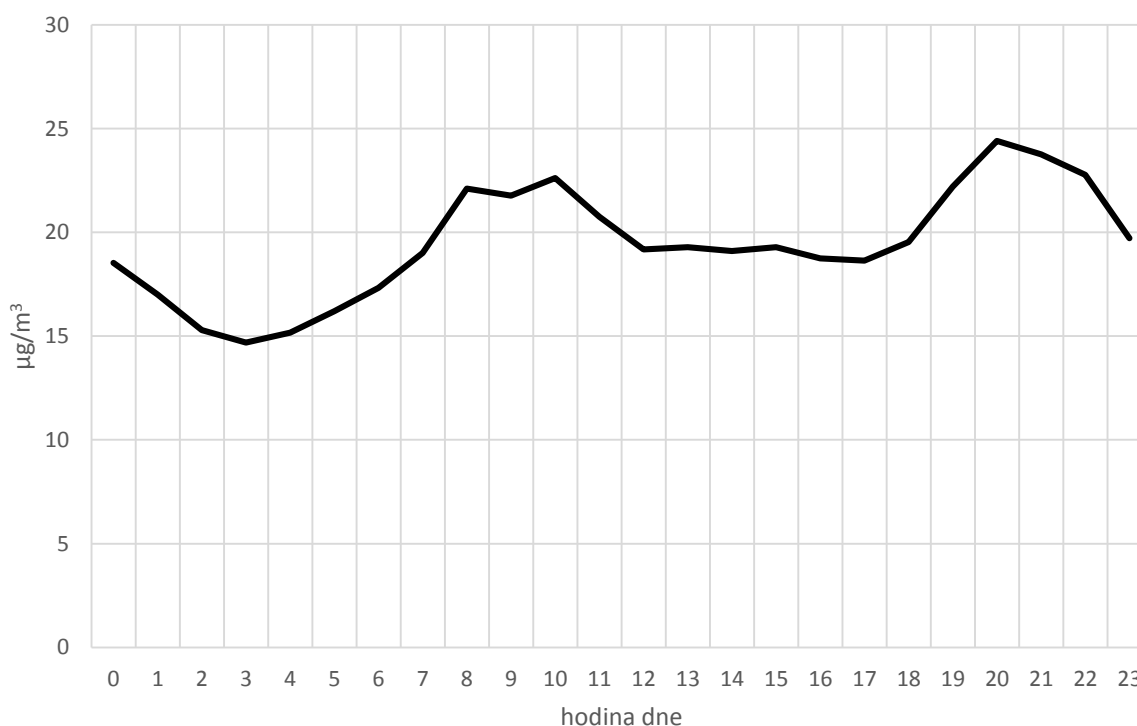


Obrázek 17 - vážená koncentrační růžice pro suspendované částice PM₁₀ za celé sledované období

Koncentrační růžice ukazuje, že nejvyšší hodnoty koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ byly pozorovány při jihozápadním až jihovýchodním proudění a to zejména při vyšších rychlostech větru (relativně vyšších v kontextu hodnot naměřených ve sledovaném období na dané lokalitě). Naopak při severozápadním až severovýchodním směru větru na náměstí byly koncentrace výrazně menší.

Vážená koncentrační růžice ukazuje zcela odlišný stav – největší množství znečištění přišlo ze severozápadu. Tento rozpor je však důsledkem faktu, že vážená růžice bere v potaz celkovou dobu proudění z daného směru. Při pohledu na větrnou růžici je vidět, že právě ze severozápadu foukalo během měřicí kampaně nejčastěji, tudíž i když byly koncentrace z tohoto směru nízké (viz koncentrační růžice), v celkovém součtu se množství znečištění z tohoto směru naakumulovalo vzhledem k četnosti tohoto směru větru a znečištění z tohoto směru se podílelo na celkovém množství nejvíce (viz vážená koncentrační růžice).

Následující graf ukazuje průměry pro jednotlivé hodiny dne. Hodnota každé hodiny je tedy průměrem ze 17 hodnot (17 dní měření).

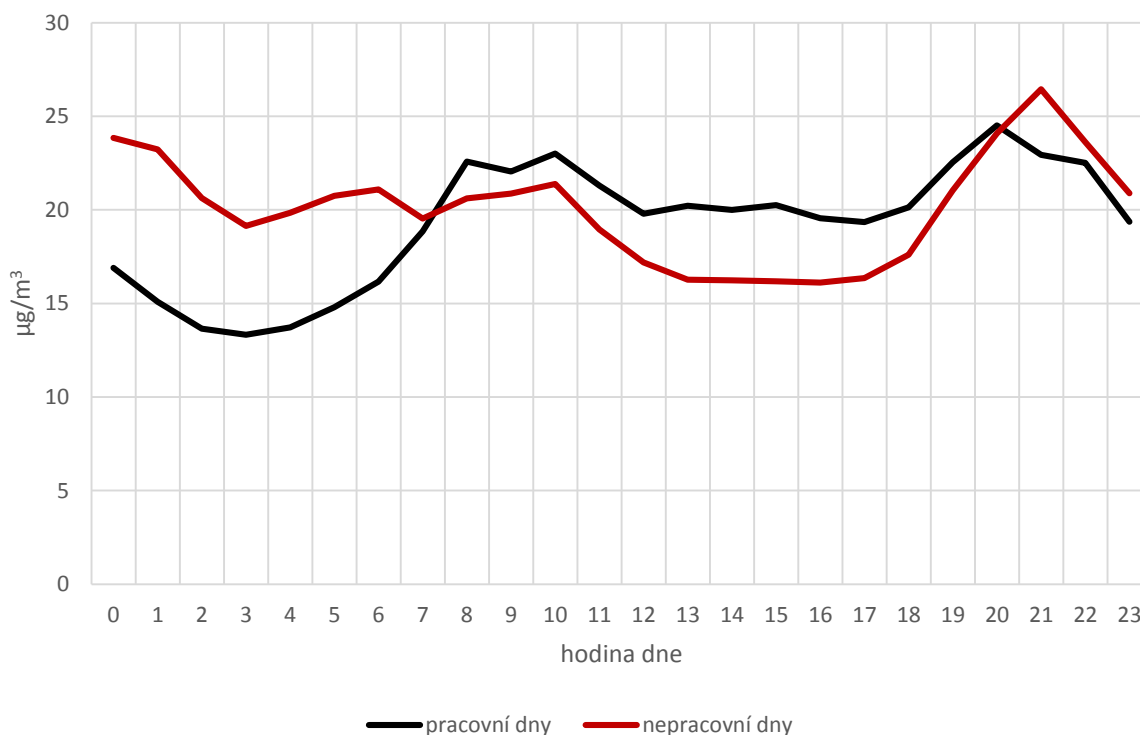


Obrázek 18 – průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ v jednotlivé hodiny dne

Graf ukazuje relativně očekávaný a typický denní chod PM₁₀ ve městě v letním období – koncentrace začínají růst kolem 6 hodiny ranní s narůstající intenzitou dopravy, následně dochází k poklesu kolem poledne a opětovnému nárůstu v pozdních odpoledních hodinách a výraznějšímu

poklesu v noci. Nejvyšší průměr byl zaznamenán mezi 20 a 21 hodinou ($24,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$), naopak nejnižší mezi 3 a 4 hodinou ranní ($14,70 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

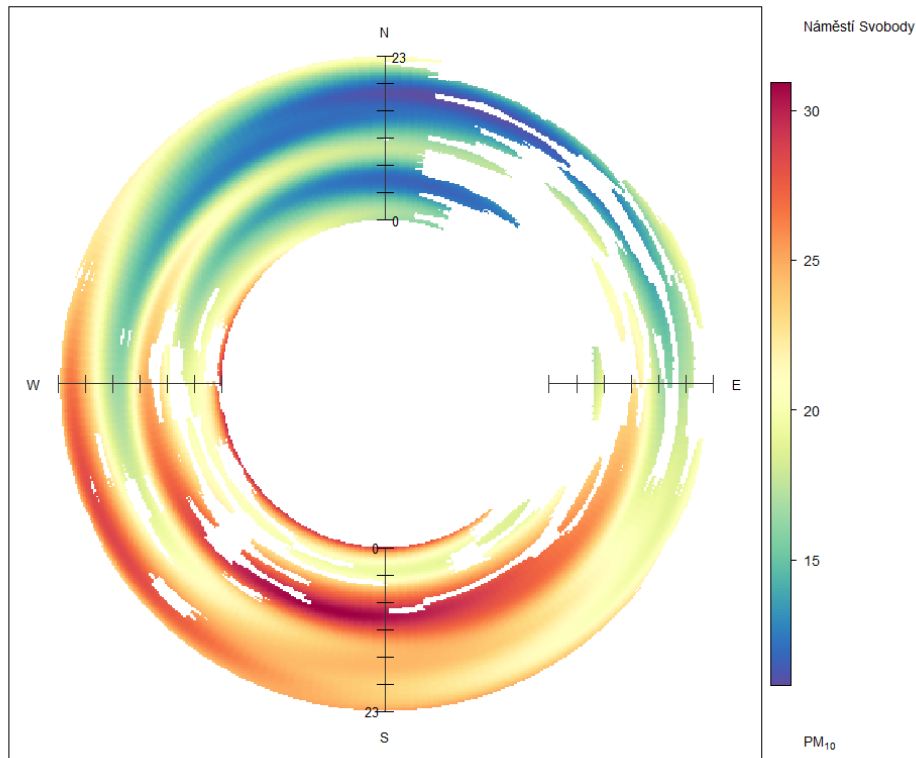
17denní měřicí kampaň zahrnovala i dva víkendy, tedy celkem čtyři nepracovní dny. Následující graf ukazuje průměrný denní chod koncentrací suspendovaných částic PM_{10} zvlášť pro pracovní a nepracovní dny.



Obrázek 19 - průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} v jednotlivé hodiny dne v pracovní a nepracovní dny

Mezi oběma čarami je vidět rozdíl. V pracovní dny jsou patrné dvě špičky – ranní a večerní. Naopak v nepracovní den koncentrace narůstají především večer. Chybí ranní špička, naopak v pozdních večerních hodinách koncentrace stoupají. Lze předpokládat, že je tento nárůst spojený s větším ruchem, který ve městech ve večerních hodinách bývá o víkendy ve srovnání s pracovním dnem. Nárůsty během dopravních špiček v pracovní dny je pravděpodobně dán přenosem z širšího okolí centra Brna. Přímo na náměstí je automobilová doprava minimální, zajíždí sem pouze vozidla s povolením – zásobování, taxi, vozidla záchranných služeb apod.

Následující růžice pak ilustruje vztah mezi koncentracemi suspendovaných částic PM_{10} , směrem větru a hodíně dne.



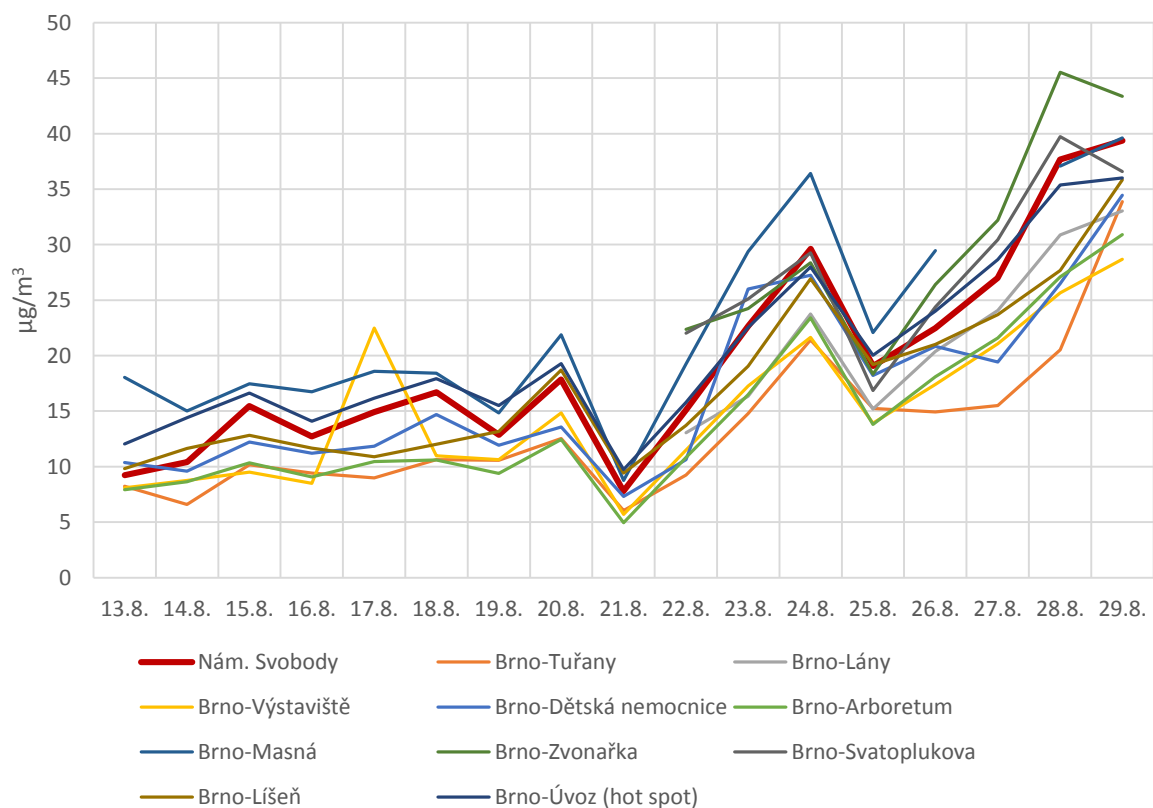
Obrázek 20 – anulární koncentrační růžice zobrazující vztah mezi koncentracemi suspendovaných částic PM₁₀, směrem větru a hodinou dne za celé sledované období.

Anulární růžice ukazuje totéž, co koncentrační růžice co se týče rozložení koncentrací v rámci směru větru – nejvyšší hodnoty byly naměřeny při jihovýchodním až jihozápadním proudění. Nejvyšší pak při jižním proudění v ranních hodinách.

Nyní se podívejme na srovnání koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ na náměstí Svobody s koncentracemi na jiných brněnských stanicích. Pro srovnání nebude použit celkový průměr, jelikož část stanic procházela během začátku měřicí kampaně pravidelnou údržbou a data jsou tudíž k dispozici až z druhé poloviny doby měření a průměr je tudíž zkreslený. Místo toho byly srovnány denní průměry z dostupných dat.

Tabulka 8 - průměrné denní koncentrace na stanicích imisního monitoringu na území Brna ve srovnání s daty naměřenými za shodné období v rámci měřicí kampaně na náměstí Svobody v $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

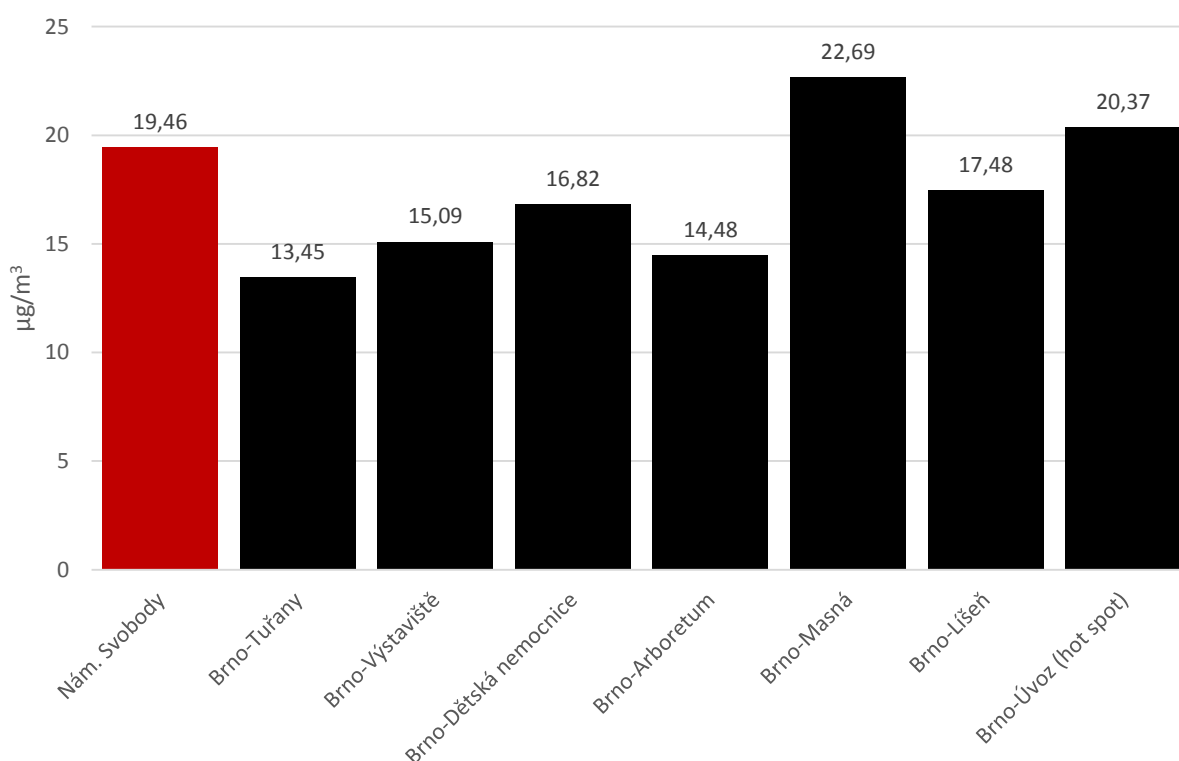
	Nám. Svobody	BBNY	BBML	BBMV	BBDN	BBMA	BBNA	BBMK	BBMS	BBNI	BBNV
13.8.	9.22	8.25		8.08	10.38	7.93	18.04			9.83	12.04
14.8.	10.41	6.58		8.75	9.58	8.65	15.00			11.63	14.42
15.8.	15.46	10.17		9.51	12.21	10.34	17.46			12.83	16.63
16.8.	12.73	9.42		8.48	11.21	9.08	16.75			11.67	14.08
17.8.	14.91	9.00		22.49	11.83	10.45	18.58			10.88	16.17
18.8.	16.71	10.63		10.98	14.71	10.60	18.42			12.00	17.92
19.8.	12.87	10.58		10.62	11.92	9.39	14.83			13.17	15.50
20.8.	17.84	12.54		14.84	13.58	12.44	21.88			18.71	19.29
21.8.	7.80	6.04		5.70	7.30	4.96	8.75			9.42	9.75
22.8.	15.08	9.25	13.04	11.50	10.63	10.83	19.25	22.36	22.03	13.71	15.79
23.8.	22.66	14.79	16.33	17.27	26.00	16.50	29.38	24.23	25.11	19.04	22.54
24.8.	29.62	21.42	23.75	21.65	27.25	23.39	36.42	28.36	29.26	26.92	28.00
25.8.	19.07	15.25	15.20	13.90	18.21	13.81	22.08	18.33	16.87	19.21	20.04
26.8.	22.47	14.92	20.38	17.40	20.83	18.11	29.47	26.40	24.40	21.00	24.00
27.8.	27.01	15.50	24.08	21.07	19.42	21.60		32.21	30.43	23.71	28.67
28.8.	37.66	20.52	30.87	25.64	26.50	27.10	37.08	45.54	39.72	27.67	35.38
29.8.	39.36	33.88	33.03	28.69	34.46	30.91	39.63	43.38	36.58	35.83	36.00



Obrázek 21 – průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na stanicích imisního monitoringu na území Brna ve srovnání s daty naměřenými za shodné období v rámci měřicí kampaně na náměstí Svobody (tučná červená čára).

Z výše uvedeného grafu je vidět několik skutečností. Tou zásadní je fakt, že trend všech stanic na území Brna je velmi podobný – první polovina období je na tom co do koncentrací PM₁₀ výrazně lépe, nejvyšší hodnoty byly pozorovány v poslední dny kampaně. To zároveň ukazuje, že se nejedná o lokální zdroj na náměstí, ale spíše plošněji zhoršenou kvalitu ovzduší na území Brna. Po většinu dní byly koncentrace PM₁₀ na náměstí Svobody ve srovnání s ostatními stanicemi buď průměrné, nebo mírně nadprůměrné. Stanicí s nejvyššími koncentracemi PM₁₀ za dané období byla průmyslová stanice Brno-Zvonařka, což byl očekávaný výsledek (vysoké koncentrace PM₁₀ na této stanici byly předmětem předchozí rozsáhlé studie vydané v březnu 2019, kdy byla jako jednoznačná příčina vyššího znečištění určena rozsáhlá stavební činnost v okolí stanice, v důsledku čehož byla i překlasifikována z původně dopravní na průmyslovou stanici, ačkoliv se fyzicky stanice nachází na stále stejné lokalitě). Naopak nejlepší byla situace opět dle očekávání na pozadové předměstské stanici Brno-Tuřany.

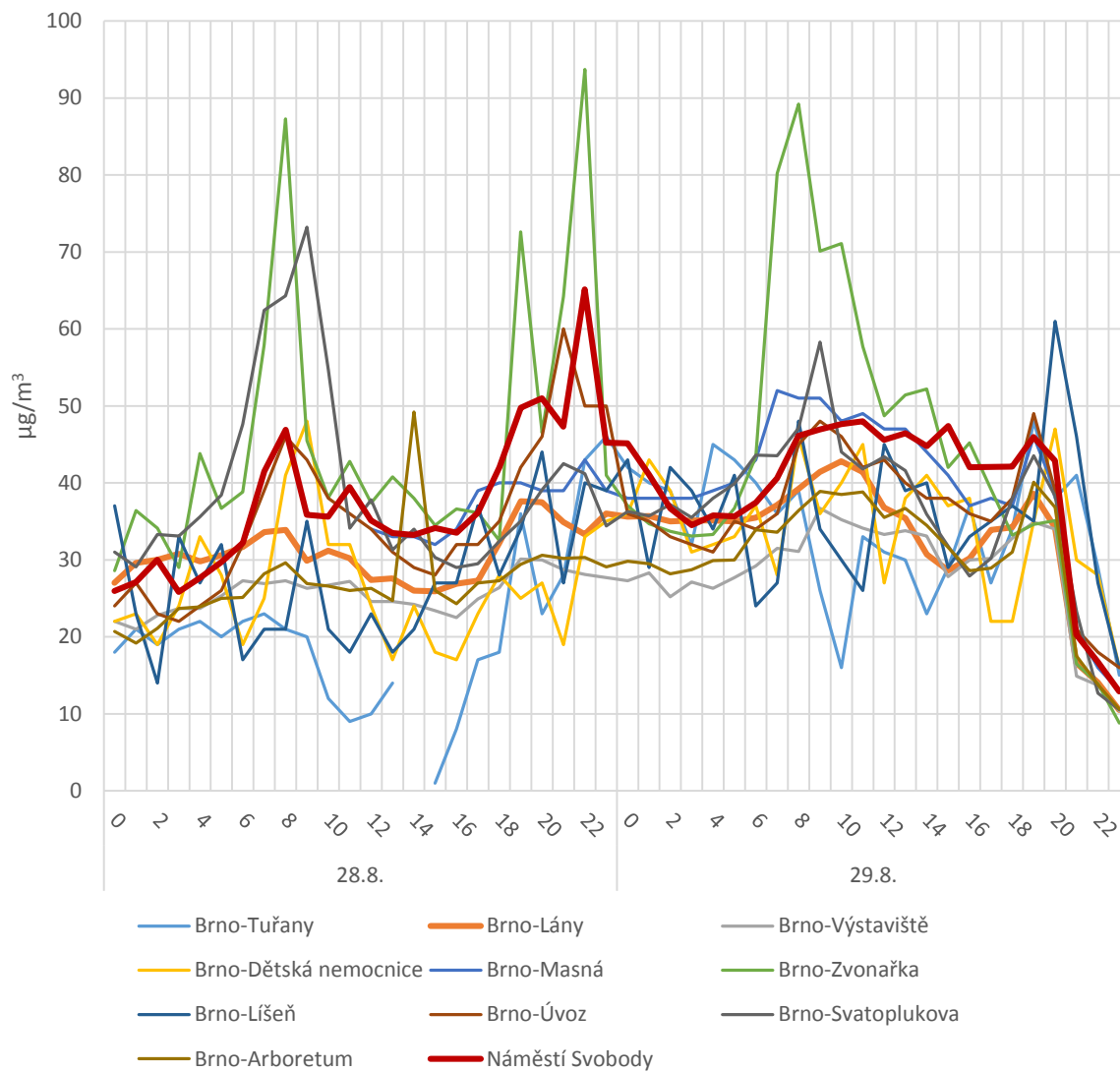
Graf níže ukazuje průměrnou koncentraci PM₁₀ za celé období měřicí kampaně. Vynechány jsou ty stanice, u kterých není k dispozici dostatečné množství dat.



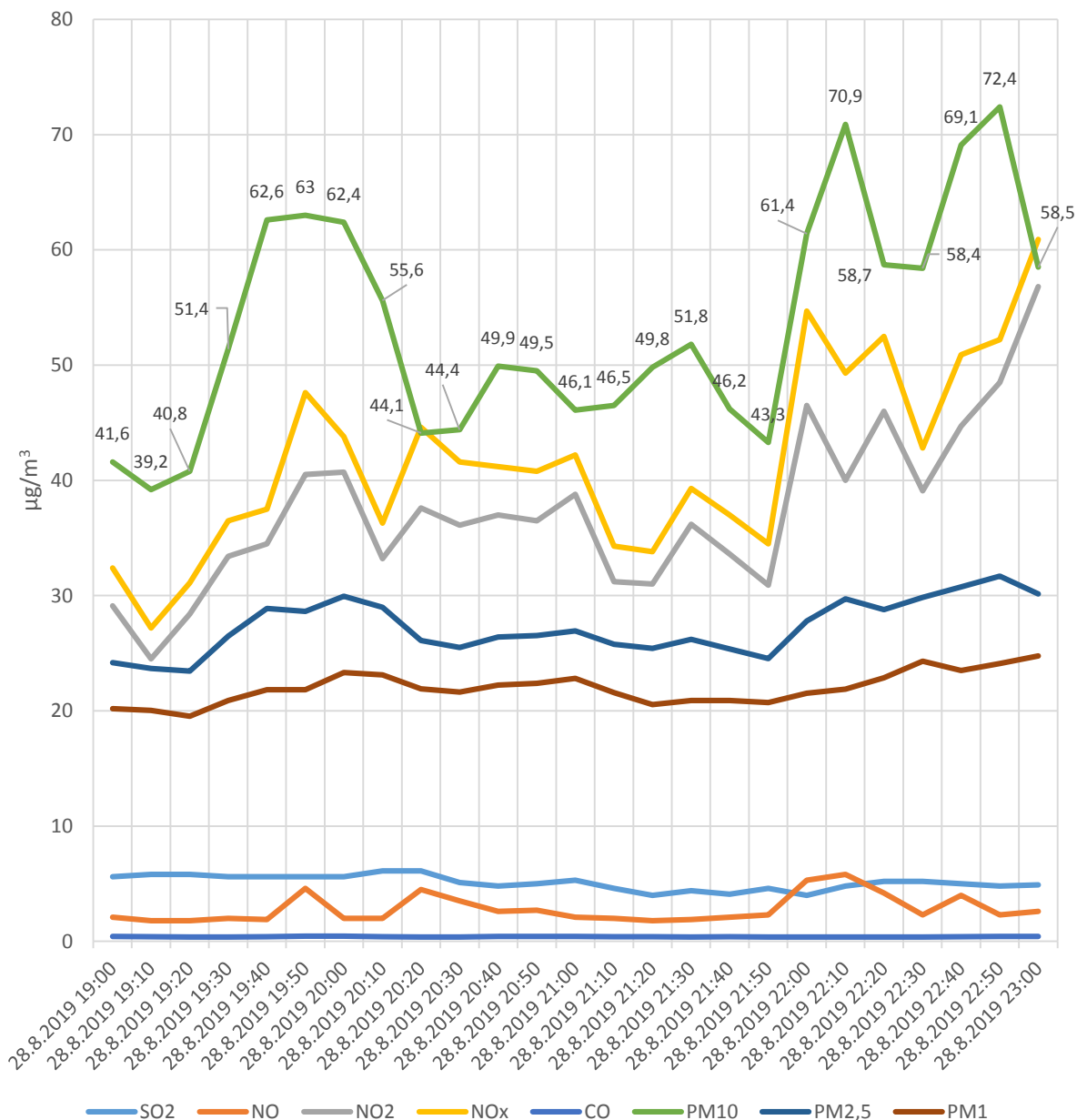
Obrázek 22 – průměrné koncentrace PM₁₀ za celé období měřicí kampaně na vybraných stanicích na území Brna. Data z měřicího vozu na náměstí Svobody jsou zvýrazněna červeně. Zahrnutý jsou pouze stanice s dostatečným množstvím dat.

Graf na první pohled vypadá jakoby koncentrace PM_{10} na náměstí Svobody byly spíše nadprůměrné, je však třeba zmínit, že nezahrnuté stanice, které nesplnily podmínku dostupnosti dat, jsou převážně právě stanice s dlouhodobě nejvyšším průměrem PM_{10} v Brně (např. Brno-Svatoplukova nebo Brno-Zvonařka). Zajímavé je například srovnání s pozadovou stanicí Dětská nemocnice. Tato stanice je velmi blízko centra, významným rozdílem od náměstí Svobody je však fakt, že se nachází na kopci nad městem a není tak uzavřená jako prostor náměstí. Z výše uvedených dat je vidět, že průměrně byly na stanici Dětská nemocnice koncentrace PM_{10} o přibližně 15 % nižší. Dle očekávání byly koncentrace na další blízké stanici Brno-Úvoz (hot spot) vyšší – jedná se o velmi dopravně zatíženou stanici na křižovatce dvou rušných silnic. Koncentrace PM_{10} na vynechaných stanicích Brno-Svatoplukova a Brno-Zvonařka by byly v celkovém průměru pravděpodobně také výrazněji vyšší – odhadovat to lze z grafu průměrných denních koncentrací, kde byly hodnoty pro tyto dvě stanice takřka vždy vyšší.

Maximálních hodnot ve sledovaném období bylo dosaženo v pozdních večerních hodinách 28. 8. Následující graf se zaměřuje právě na toto období. První graf ukazuje paralelní průběh ostatních znečišťujících látek naměřený měřícím vozem a druhý graf ukazuje srovnání stejného období na více stanicích v Brně pro PM_{10} . Oba grafy lépe napoví, zda se jednalo o spíše lokální vliv či plošnější znečištění v centru Brna.



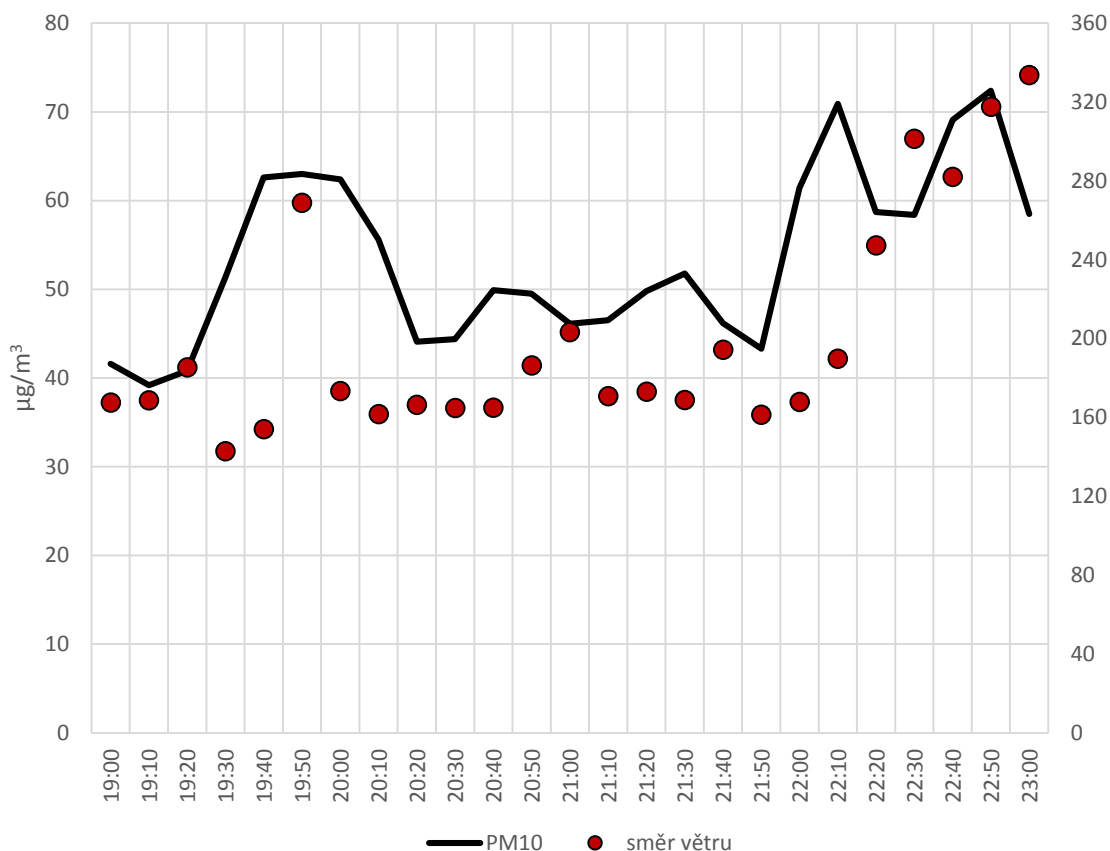
Obrázek 23 – průměrné hodinové koncentrace PM₁₀ na stanicích v Brně včetně náměstí Svobody v období od 28. do 29. 8. 2019



Obrázek 24 – průběh koncentrací znečišťujících látek v období od 19:00 do 23:00, 28. 8. 2019 na náměstí Svobody

Z dat je patrné, že daný den byly pozorovány tři špičky PM₁₀. Nejprve kolem 19:30 vzrostly koncentrace z přibližně 40 na 63 µg/m³. Následně kolem 20:20 opět poklesly ke 44 µg/m³. Druhý nárůst nastal kolem 21:50, tentokrát z přibližně 43 na 71 µg/m³, pak pokles na 58 µg/m³ a nárůst na absolutně nejvyšší naměřenou hodnotu 72,4 µg/m³. Poté v dalším 10minutovém intervalu došlo opět k poklesu na 58 µg/m³. Tmavě modrá a hnědá čára reprezentují koncentrace PM_{2,5} a PM₁. Je vidět, že u těchto frakcí suspendovaných částic tyto krátkodobé nárůsty patrně nejsou, jednalo se tedy o zvýšení koncentrací větších částic frakce PM₁₀, které většinou vznikají především mechanicky, na rozdíl od frakcí menších, které vznikají zejména spalovacími procesy (doprava, cigaretový kouř apod.).

Následující graf srovnává totožné období pro parametry koncentrace suspendovaných částic PM_{10} a směru větru.



Obrázek 25 – srovnání koncentrace PM_{10} a směru větru v období od 19:00 do 23:00, 28. 8. 2019 z dat měřicího vozu na náměstí Svobody

Z výše uvedeného grafu není zřejmé, že by špičky byly dány rychlými změnami směru větru do konkrétního směru, není pozorována ani korelace se změnami rychlosti větru. Na základě všech výše uvedených skutečností lze říci, že uvedené špičky v koncentracích PM_{10} byly pravděpodobně dány lokálním zdrojem větších částic. Určit přesněji co bylo tímto zdrojem, není z dostupných dat možné určit. Pomoci může v takovýchto případech například vzorkování a analýza skenovacím elektronovým mikroskopem, popřípadě například kamerový záznam dění v okolí místa měření.

5.2 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE $PM_{2,5}$

Menší částice frakce $PM_{2,5}$ (částice s aerodynamickým průměrem do 2,5 μm) vznikají především spalovacími procesy. Jedná se o zdravotně potenciálně nebezpečnější částice, protože

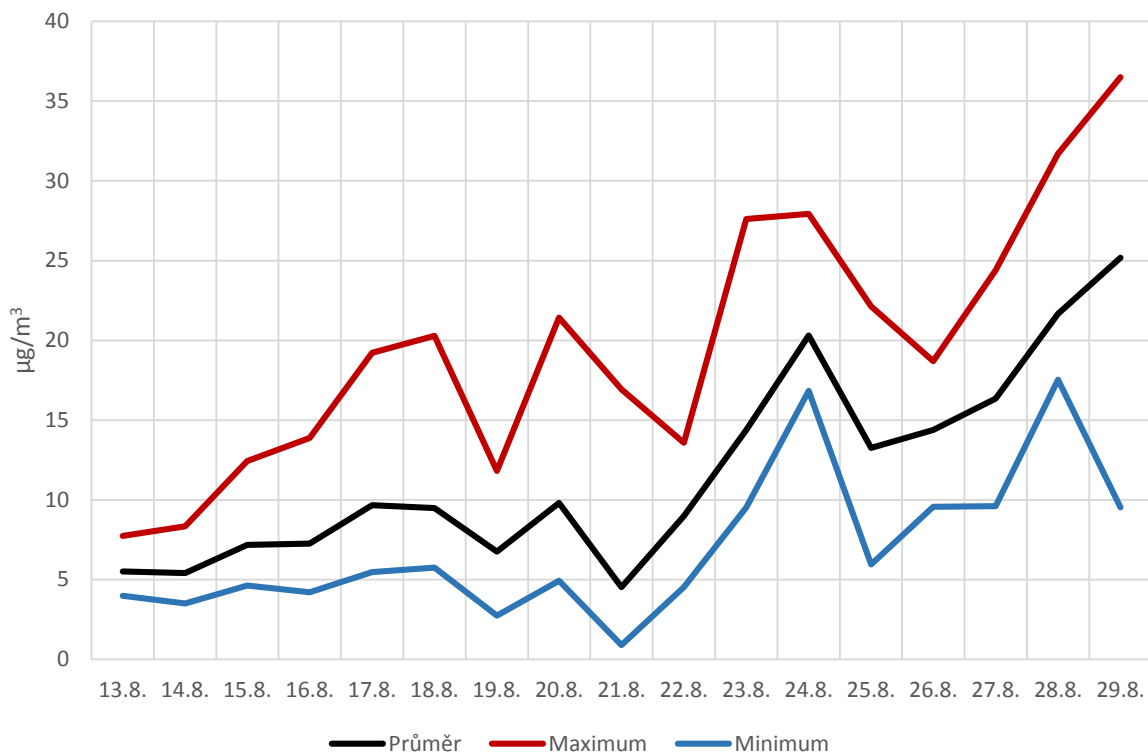
pronikají hlouběji do dýchacího systému. Imisní limit pro PM_{2,5} je stanoven pouze pro roční průměr a má hodnotu 25 µg/m³, od ledna roku 2020 to pak bude hodnota 20 µg/m³.

Za celé sledované období od 13. srpna do 29. srpna 2019 byla průměrná koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} na náměstí Svobody 11,77 µg/m³. Absolutní maximum PM_{2,5} naměřené během měřicí kampaně bylo 36,5 µg/m³, poslední den kampaně 29. 8. ve 20:10.

Denní průměrné koncentrace PM_{2,5} se pohybovaly od 4,53 µg/m³ (21. 8.) do 25,18 µg/m³ (29. 8.). Hodnoty průměrných, maximálních a minimálních koncentrací v jednotlivé dny měřicí kampaně ukazuje následující tabulka a graf.

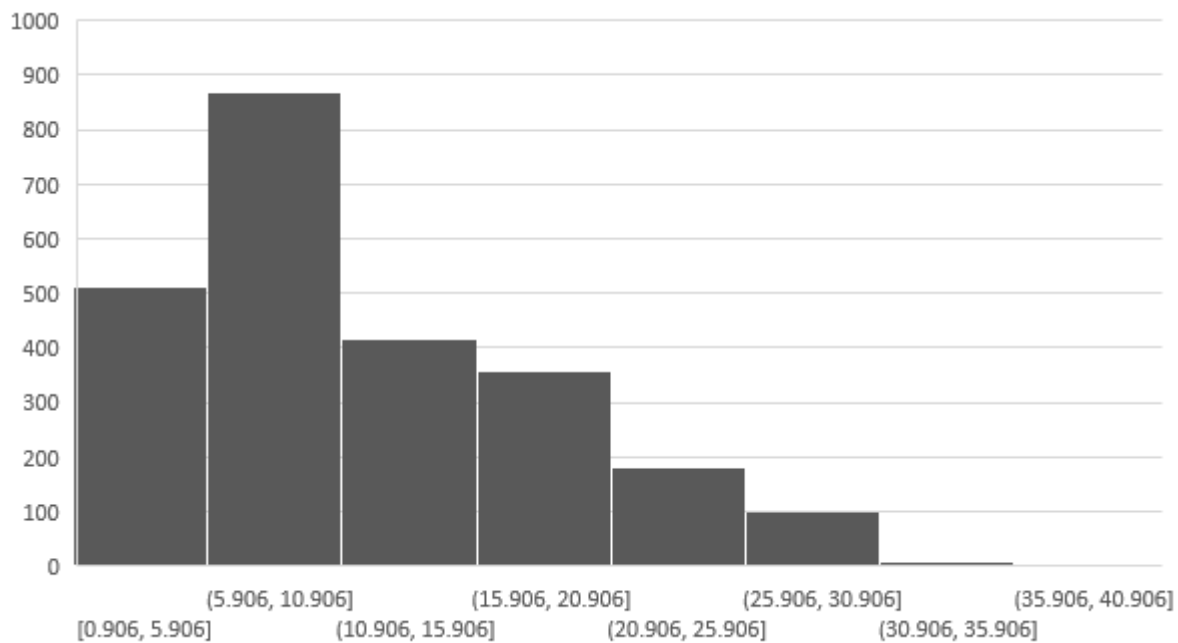
Tabulka 9 - průměrné, maximální a minimální koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} v jednotlivé dny měření

Datum	Průměr	Maximum	Minimum
13.8.	5.51	7.751	3.983
14.8.	5.42	8.335	3.508
15.8.	7.18	12.429	4.623
16.8.	7.27	13.882	4.208
17.8.	9.67	19.223	5.466
18.8.	9.49	20.284	5.749
19.8.	6.77	11.82	2.742
20.8.	9.80	21.438	4.925
21.8.	4.53	16.925	0.906
22.8.	8.99	13.581	4.525
23.8.	14.38	27.606	9.522
24.8.	20.30	27.939	16.833
25.8.	13.27	22.131	5.951
26.8.	14.38	18.692	9.57
27.8.	16.34	24.408	9.612
28.8.	21.66	31.696	17.527
29.8.	25.18	36.498	9.524



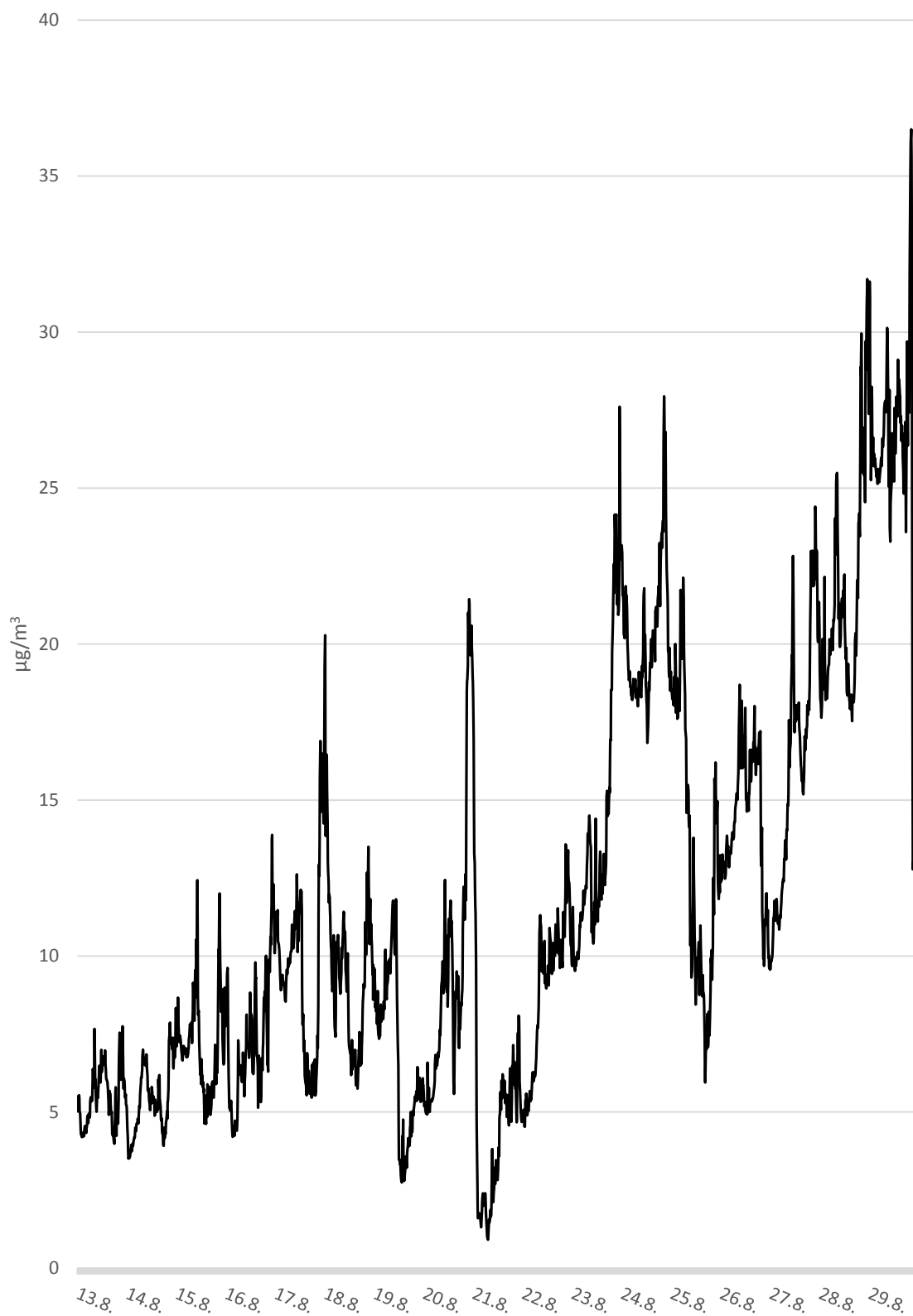
Obrázek 26 - průměrné, maximální a minimální koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} v jednotlivé dny měření

Histogram četnosti koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} ukazuje, že nejčastěji se tyto pohybovaly mezi 6 a 11 µg/m³.



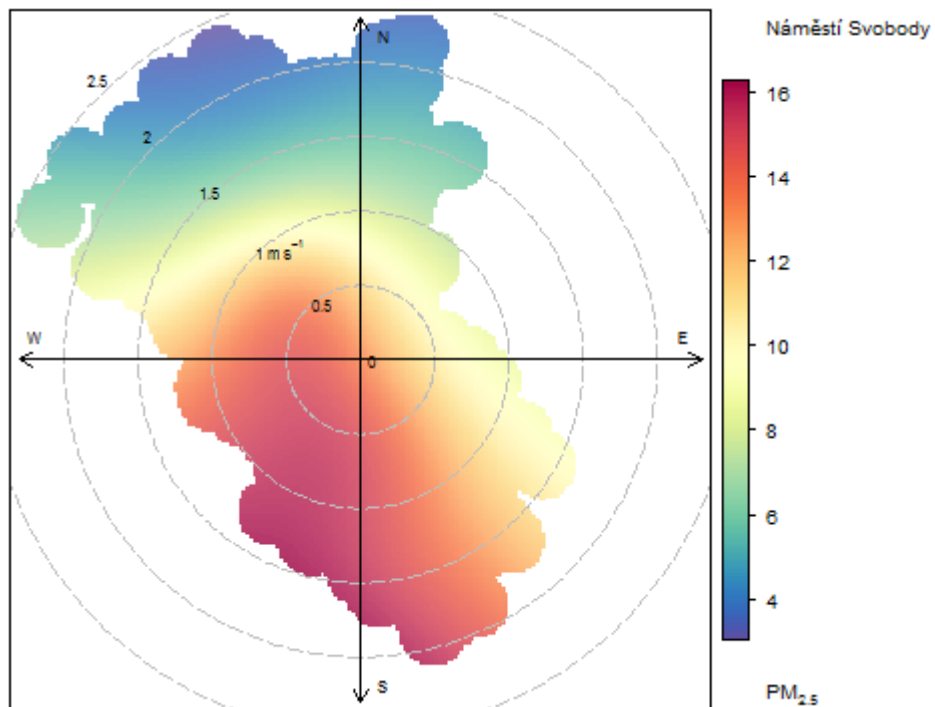
Obrázek 27 - histogram četnosti koncentrací suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ v $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Následující graf ukazuje průběh koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ za celou měřicí kampaň v 10minutových intervalech.

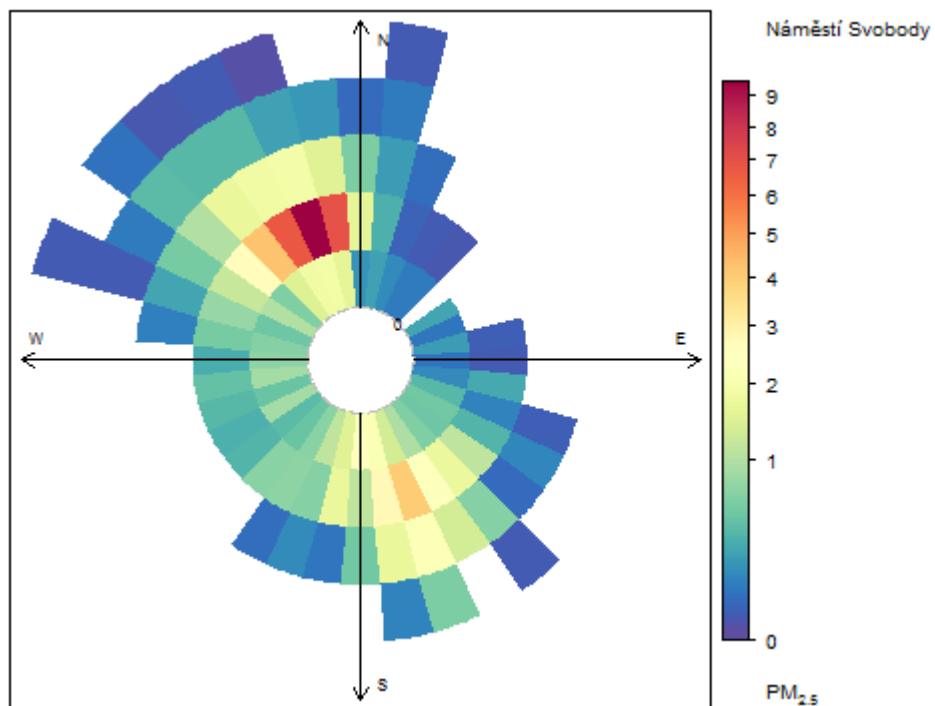


Obrázek 28 – průběh koncentrací suspendovaných částic $\text{PM}_{2.5}$ na náměstí Svobody v období od 13. do 29. 8. 2019 v 10minutovém intervalu.

Pro úplnost byly vytvořeny i koncentrační růžice pro PM_{10} , tyto však mohou být částečně zavádějící vzhledem k uzavřenosti zdejšího prostoru a tudíž velmi zkresleném směru větru.



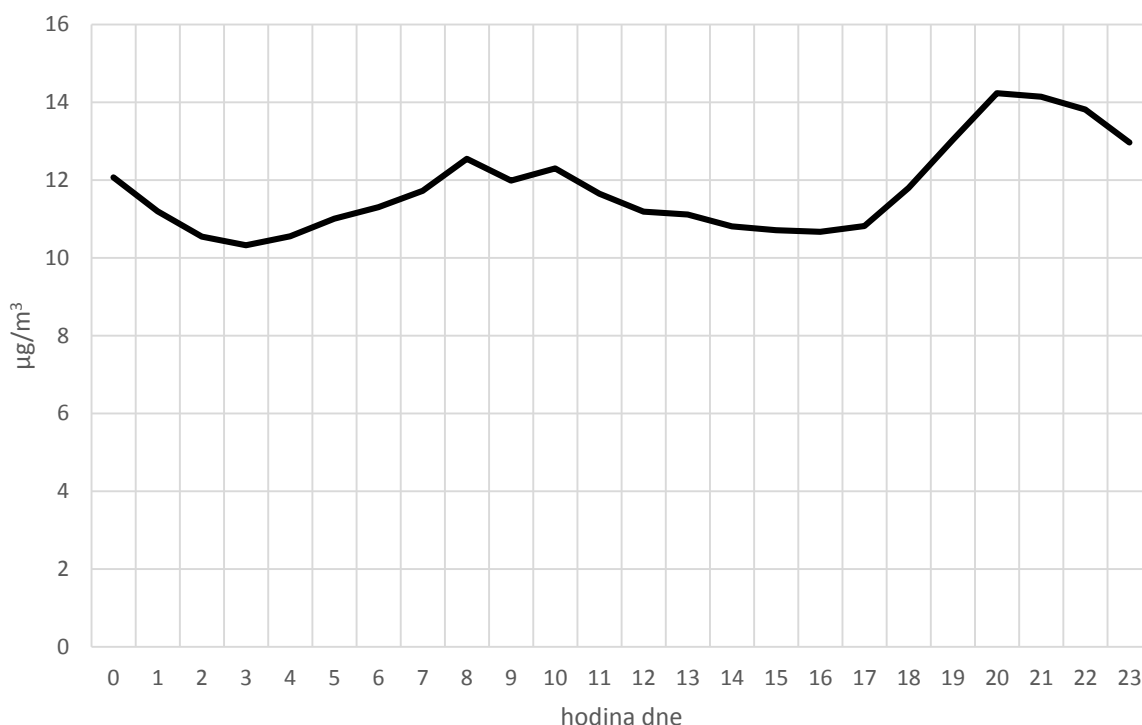
Obrázek 29 - koncentrační růžice pro suspendované částice $PM_{2.5}$ za celé sledované období



Obrázek 30 – vážená koncentrační růžice pro suspendované částice $PM_{2.5}$ za celé sledované období

Obě růžice vypadají takřka totožně s růžicemi pro frakci PM₁₀. Vyšší hodnoty byly zaznamenány při jihovýchodním až jihozápadním proudění. U vážené koncentrační růžice je vidět největší podíl znečištění ze severozápadního směru, což odpovídá informaci z větrné růžice, že právě tento směr byl v době měření dominantní. Z obou růžic lze tedy učinit závěr, že během vyšších hodnot koncentrací PM_{2,5} převažovalo jižnější proudění, největší podíl ale má na celkovém znečištění severozápadní směr, odkud byly koncentrace nižší, ale v celkovém podílu se množství znečištění z tohoto směru naakumulovalo v důsledku převažujícího proudění z tohoto směru.

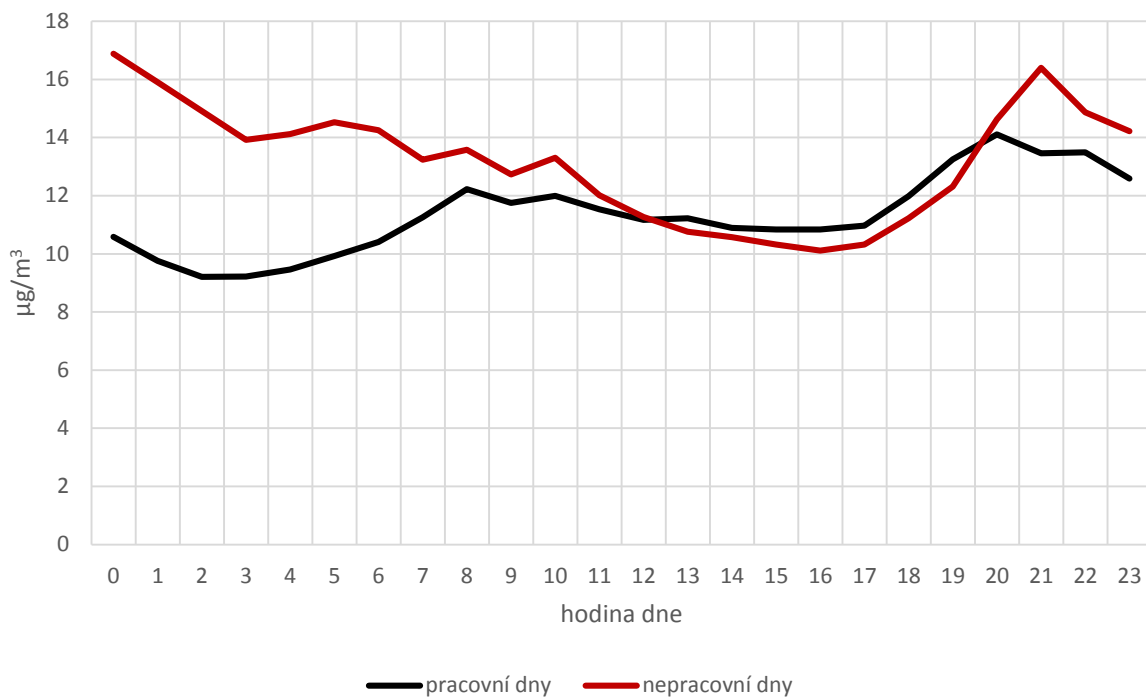
Graf průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} v jednotlivé hodiny dne je velmi podobný grafu pro frakci PM₁₀. Jsou zde opět patrné dvě špičky, jedna ráno a jedna večer, což odpovídá typickému dennímu chodu městské stanice v létě.



Obrázek 31 - průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} v jednotlivé hodiny dne

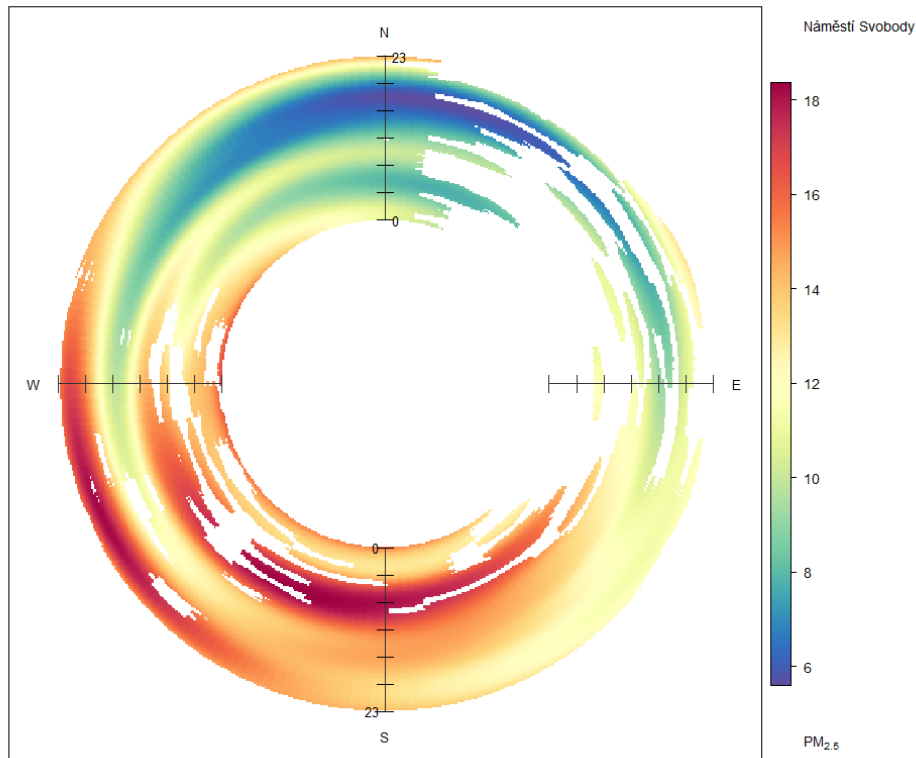
Pokud zkonstruujeme totožný graf, ale rozdělíme jej na pracovní a nepracovní dny, vidíme výraznější rozdíl v denním chodu. O víkendu nejsou vidět ranní špičky a naopak vidíme výraznější nárůst v pozdních večerních hodinách. Lze tedy usuzovat, že za špičkami ve všední dny stojí doprava – což může být jak doprava v širším okolí centra, tak doprava v místě měření, naopak výraznější nárůst

v pozdní večerní hodiny o víkendech mohl být způsoben obecně větším ruchem v centru Brna o víkendových večerech.



Obrázek 32 - průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{2.5} v jednotlivé hodiny dne v pracovní a nepracovní dny

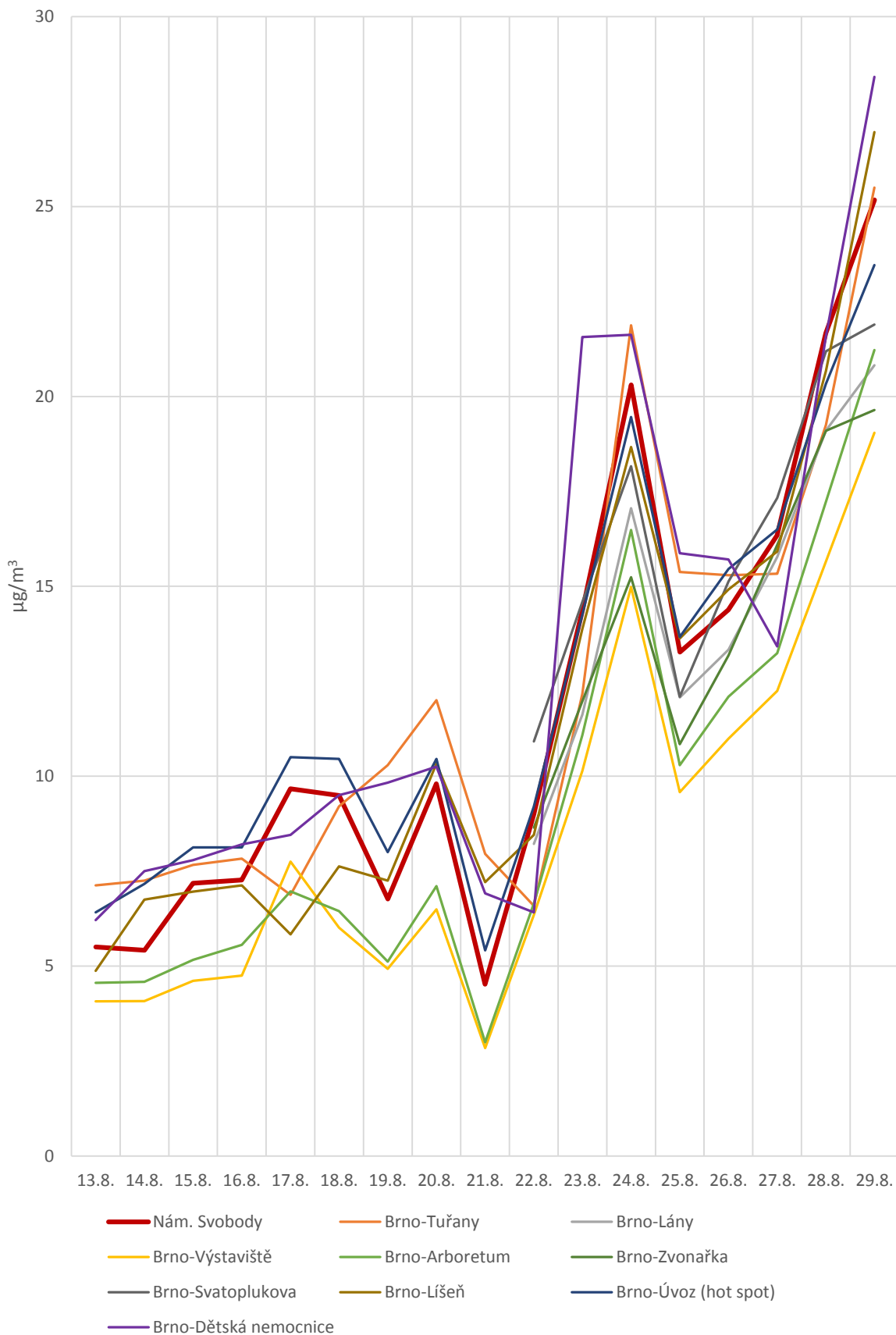
Anulární růžice níže ukazuje vztah mezi směrem větru, koncentracemi suspendovaných částic PM_{2.5} a hodinou dne.



Obrázek 33 – anulární koncentrační růžice zobrazující vztah mezi koncentracemi suspendovaných částic PM_{2,5}, směrem větru a hodinou dne za celé sledované období.

Patrné je výraznější znečištění z jižního a jihozápadního až západního směru. V západním směru (tedy směrem do středu náměstí) jsou vidět vyšší koncentrace především v pozdních večerních hodinách. V jižním a jihozápadním směru zejména v ranních hodinách.

Podívejme se nyní na srovnání průměrných denních koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} na stanicích imisního monitoringu na území Brna včetně dat z měřicího vozu na náměstí Svobody.



Obrázek 34 - průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} na stanicích imisního monitoringu na území Brna ve srovnání s daty naměřenými za shodné období v rámci měřicí kampaně na náměstí Svobody (tučná červená čára).

Tabulka 10 - průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} na stanicích imisního monitoringu na území Brna ve srovnání s daty naměřenými za shodné období v rámci měřicí kampaně na náměstí Svobody

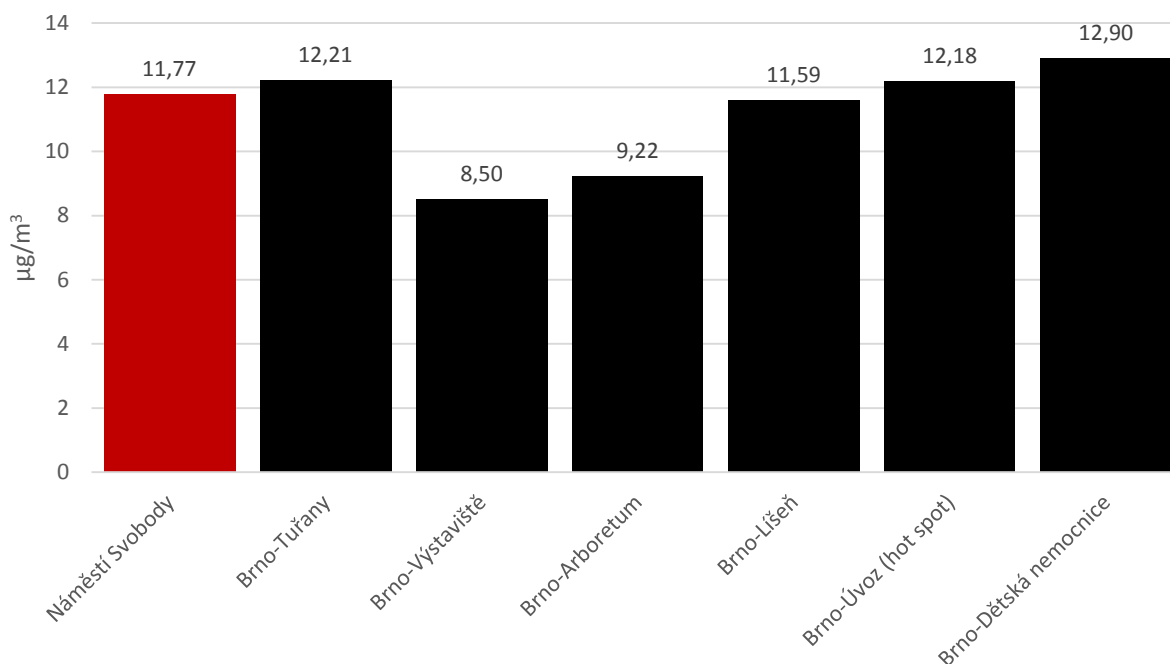
	Nám. Svobody	BBNY	BBMS	BBMV	BBMA	BBML	BBMK	BBNI	BBNV	BBDN
13.8.	5.51	7.13		4.08	4.56			4.88	6.42	6.21
14.8.	5.42	7.25		4.08	4.58			6.75	7.17	7.50
15.8.	7.18	7.67		4.61	5.16			6.96	8.13	7.79
16.8.	7.27	7.83		4.75	5.56			7.13	8.13	8.21
17.8.	9.67	6.88		7.75	6.97			5.83	10.50	8.46
18.8.	9.49	9.21		6.01	6.45			7.63	10.46	9.50
19.8.	6.77	10.29		4.93	5.12			7.25	8.00	9.83
20.8.	9.80	12.00		6.49	7.11			10.33	10.46	10.25
21.8.	4.53	7.96		2.84	3.00			7.21	5.42	6.91
22.8.	8.99	6.58	10.92	6.35	6.65	8.22	8.64	8.46	9.21	6.42
23.8.	14.38	12.17	14.59	10.14	11.08	11.62	11.98	13.88	14.25	21.56
24.8.	20.30	21.88	18.16	14.98	16.48	17.05	15.24	18.67	19.46	21.63
25.8.	13.27	15.38	12.09	9.58	10.29	12.08	10.85	13.63	13.67	15.88
26.8.	14.38	15.29	15.13	10.99	12.10	13.33	13.18	14.92	15.46	15.71
27.8.	16.34	15.33	17.33	12.25	13.24	15.77	16.09	15.92	16.50	13.42
28.8.	21.66	19.25	21.19	15.65	17.23	19.10	19.10	20.67	20.33	21.58
29.8.	25.18	25.50	21.90	19.05	21.23	20.82	19.64	26.96	23.46	28.42

Opět vidíme, že u některých stanic chybí data – jedná se o pravidelnou údržbu stanic Magistrátu města Brna. Pro tyto tři stanice (Brno-Svatoplukova, Brno-Lány a Brno-Zvonařka) tedy není možné počítat celkový průměr za celé období, jelikož měřily pouze v druhé polovině období, kdy očividně byly koncentrace výrazně vyšší než v polovině první a výsledný průměr by byl zavádějící.

Při pohledu na graf průměrných denních hodnot je patrné, že všechny srovnávané stanice a na nich naměřené koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} mají podobný průběh, pouze hladina absolutní hodnoty se liší. Data z měřicího vozu na náměstí Svobody jsou v tomto kontextu průměrná až nadprůměrná. Absolutně nejvyšší denní průměr 26,96 µg/m³ naměřený 29. 8. na stanici Brno-Líšeň je velmi neobvyklý, neboť jsou koncentrace na této pozadové stanici v drtivé většině případů výrazně nižší než na dopravních stanicích v centru Brna.

Z podobného průběhu koncentrací lze usuzovat, že mírně nadprůměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} na náměstí Svobody nejsou dány nějakým významným zdrojem v okolí, ale spíše místními podmínkami – jedná se o lokalitu v husté zástavbě, ze všech stran uzavřenou, tudíž jsou zde velmi nízké rychlosti větru, což je obecně faktor pro kvalitu ovzduší až na výjimečné specifické situace nepříznivý.

Níže uvedený graf ukazuje celkové průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ pro vybrané stanice s dostatečným množstvím dostupných dat.



Obrázek 35 - průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ za celé období měřicí kampaně na vybraných stanicích na území Brna. Data z měřicího vozu na náměstí Svobody jsou zvýrazněna červeně. Zahrnuty jsou pouze stanice s dostatečným množstvím dat.

Výše uvedený graf poskytuje zajímavé informace. Konkrétně je velmi zajímavá hodnota průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ na stanici Brno-Tuřany. Jedná se o pozadovou předměstskou stanici s výrazně vyšší reprezentativností, než má zbytek srovnávaných stanic. Standardně zde jsou koncentrace suspendovaných částic, především těch menších frakcí³, výrazněji nižší než na stanicích v Brně. Tento fakt tedy naznačuje, že za celkově vyššími koncentracemi suspendovaných částic v druhé polovině období měřicí kampaně stojí spíše nějaký plošný vzdálenější zdroj a projevuje se tzv. dálkový transport (transport znečišťujících látek od zdroje na velkou vzdálenost). Z dat výše je patrné, že vyšší průměr koncentrací $PM_{2,5}$ měly stanice na periferii Brna – tedy Brno-Tuřany a Brno-Líšeň. Tomuto faktu se bude věnovat ještě část shrnutí suspendovaných částic dále v této zprávě. Netypické jsou i vysoké koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ na stanici Brno-Dětská nemocnice, která představuje nikoliv dopravní, ale pozadovou stanici v areálu nemocnice.

³ koncentrace větších částic PM_{10} tu někdy bývají výrazněji zvýšené v důsledku zemědělských prací, které probíhají v blízkosti stanice

5.3 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₄

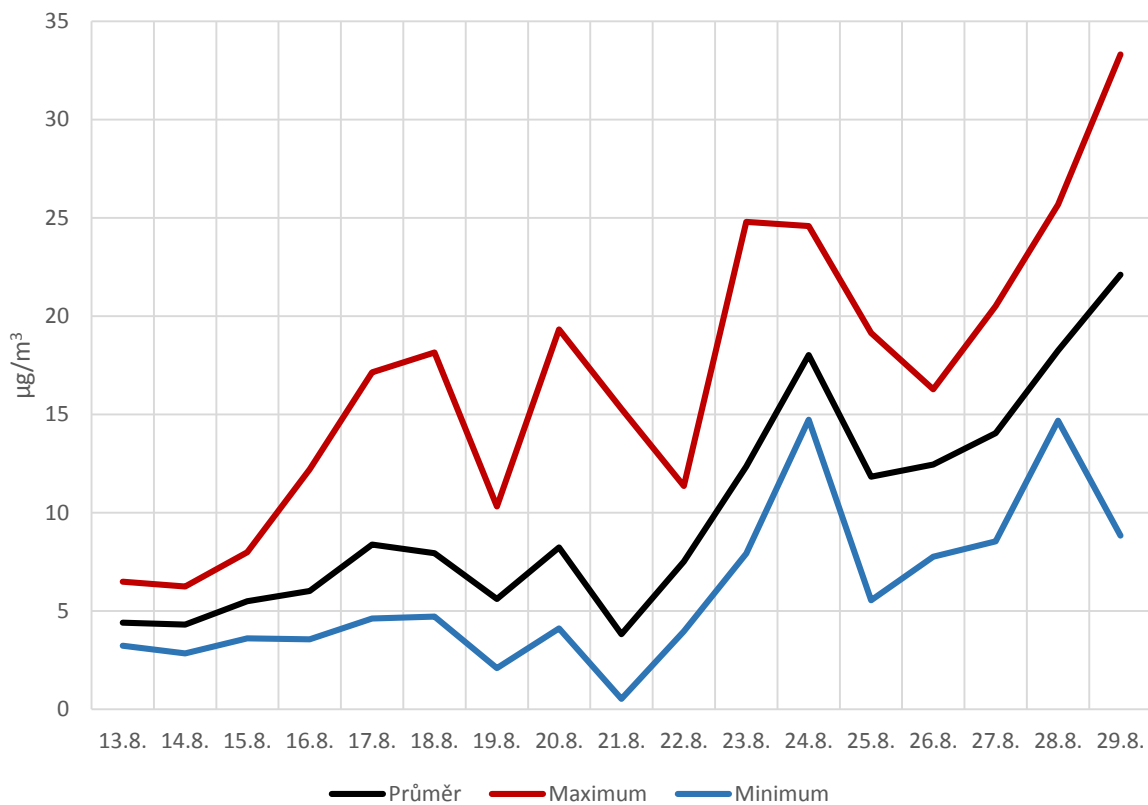
Koncentrace frakce PM₄ jsou velmi důležité, protože platí pravidlo, čím menší částice je, tím potenciálně nebezpečnější je pro lidské zdraví (dostává se hlouběji do dýchacího systému či až přímo do krevního oběhu). V minulosti se tato frakce neměřila, příčinou nebyl fakt, že by nebyla tato měření zajímavá, ale spíše technická a finanční náročnost takového měření. Seznam stanic, které jsou schopny monitorovat koncentraci PM₁ se neustále rozšiřuje a přístrojem schopným tuto frakci sledovat je od letošního roku vybaven i měřicí vůz magistrátu města Brna. Jelikož se však stále jedná o relativně nestandardní měření, probíhající z celkového počtu stanic imisního monitoringu v ČR na velmi malé části, není pro tuto znečišťující látku zatím v legislativě stanoven žádný imisní limit.

Celkový průměr koncentrací suspendovaných částic PM₄ za celou měřicí kampaň na náměstí Svobody je 10,05 µg/m³. Denní průměrné hodnoty se pohybovaly od 3,83 µg/m³ (21. 8.) do 22,11 µg/m³ (29. 8.). Absolutně maximální naměřená hodnota byla 33,3 µg/m³ a to 29. 8. ve 20:10.

Následující graf a tabulka ukazují průměrné, maximální a minimální koncentrace suspendovaných částic PM₄ pro jednotlivé dny měřicí kampaně.

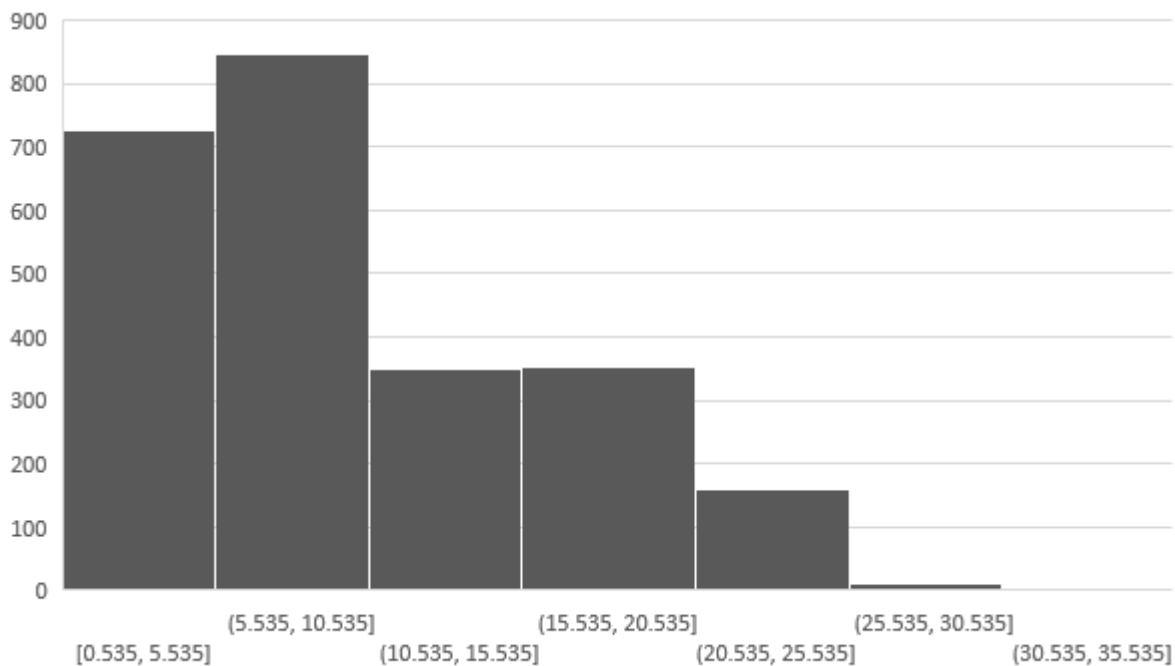
Tabulka 11 - průměrné, maximální a minimální koncentrace suspendovaných částic PM₁ v jednotlivé dny měření

Datum	Průměr	Maximum	Minimum
13.8.	4.42	6.501	3.233
14.8.	4.31	6.253	2.846
15.8.	5.50	7.993	3.609
16.8.	6.02	12.209	3.566
17.8.	8.39	17.15	4.619
18.8.	7.94	18.158	4.725
19.8.	5.62	10.324	2.098
20.8.	8.24	19.325	4.126
21.8.	3.83	15.282	0.535
22.8.	7.52	11.362	3.973
23.8.	12.35	24.806	7.936
24.8.	18.02	24.58	14.74
25.8.	11.84	19.152	5.549
26.8.	12.45	16.286	7.773
27.8.	14.06	20.523	8.556
28.8.	18.26	25.684	14.686
29.8.	22.11	33.31	8.845



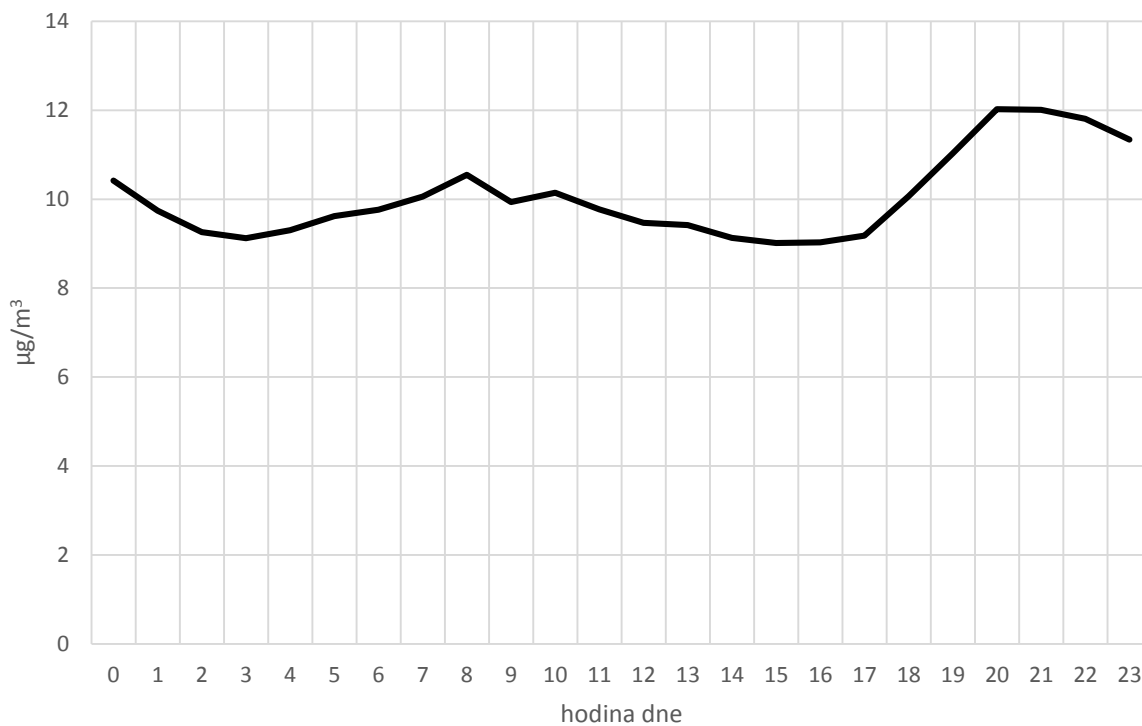
Obrázek 36 - průměrné, maximální a minimální koncentrace suspendovaných částic PM₁ v jednotlivé dny měření

Histogram četnosti koncentrací suspendovaných částic PM₄ ukazuje, že se tyto nejčastěji pohybovaly v intervalu 5,5 až 10,5 µg/m³.



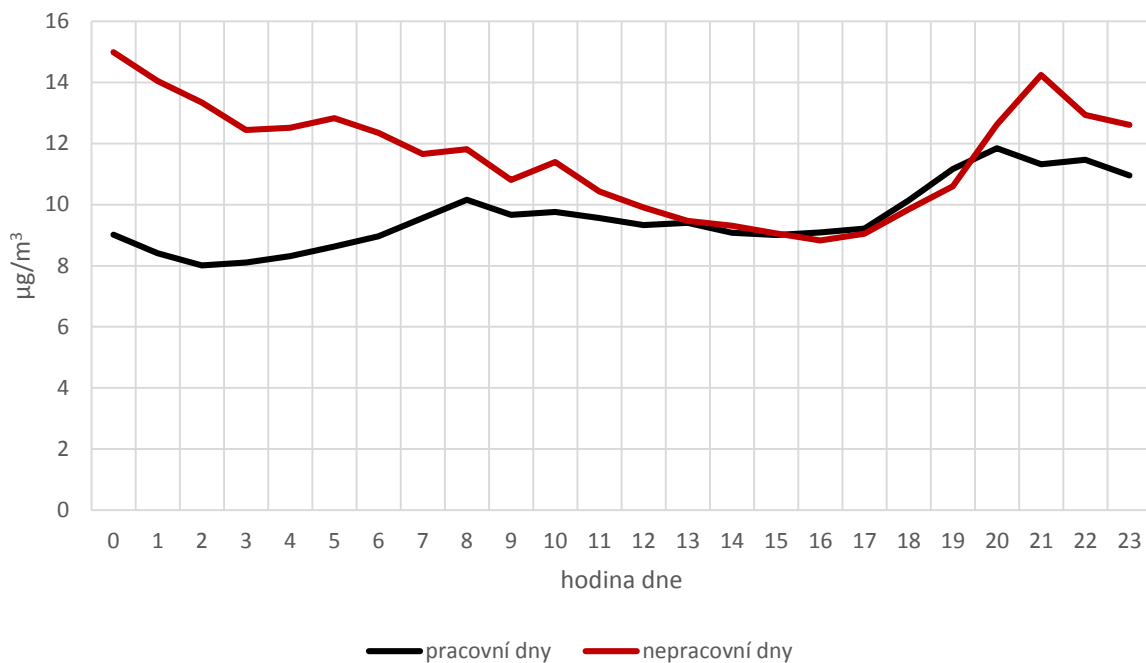
Obrázek 37 - histogram četnosti koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Průměrný denní chod koncentrací suspendovaných částic PM_{10} ukazuje následující graf. Na první pohled je zřejmé, že je takřka totožný s grafy průměrných denních chodů frakcí PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$, pouze v absolutní hodnotách jsou koncentrace nižší. Patrná je ranní a večerní špička a tudíž zřejmě přenos emisí z dopravy z širšího okolí centra či místního dopravy.



Obrázek 38 - průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} v jednotlivé hodiny dne

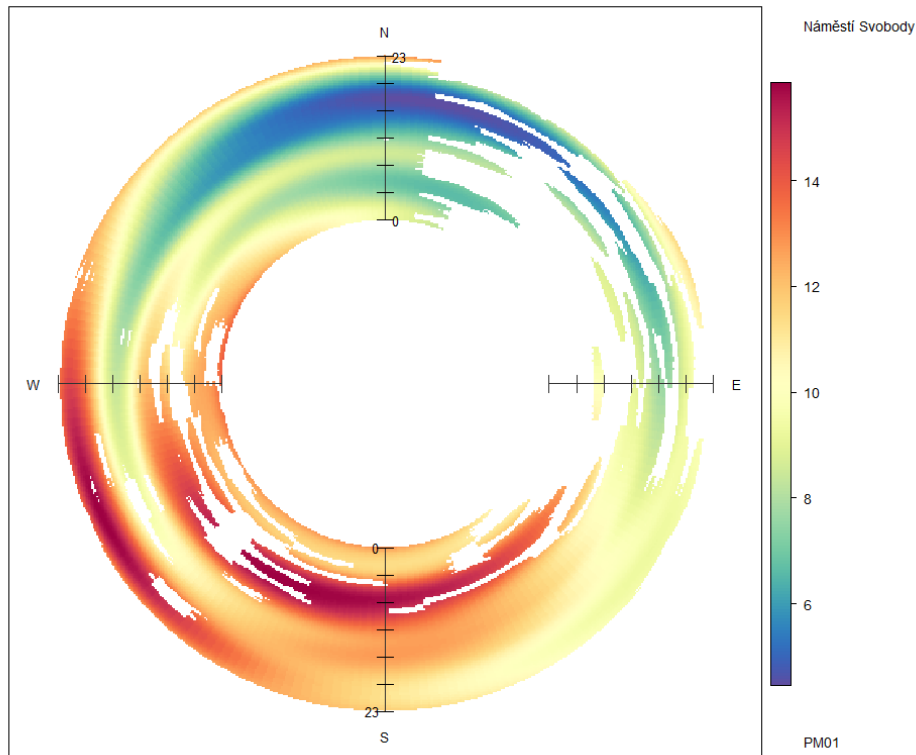
Stejně jako u předchozích dvou frakcí uvádíme také graf průměrných koncentrací pro jednotlivé hodiny dne, rozdělený na pracovní a nepracovní dny.



Obrázek 39 - průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁ v jednotlivé hodiny dne v pracovní a nepracovní dny

Rozdíl v průběhu obou čar pro pracovní a nepracovní dny je shodný s rozdílem u předchozích dvou frakcí, který byl tedy popsán výše v této odborné zprávě.

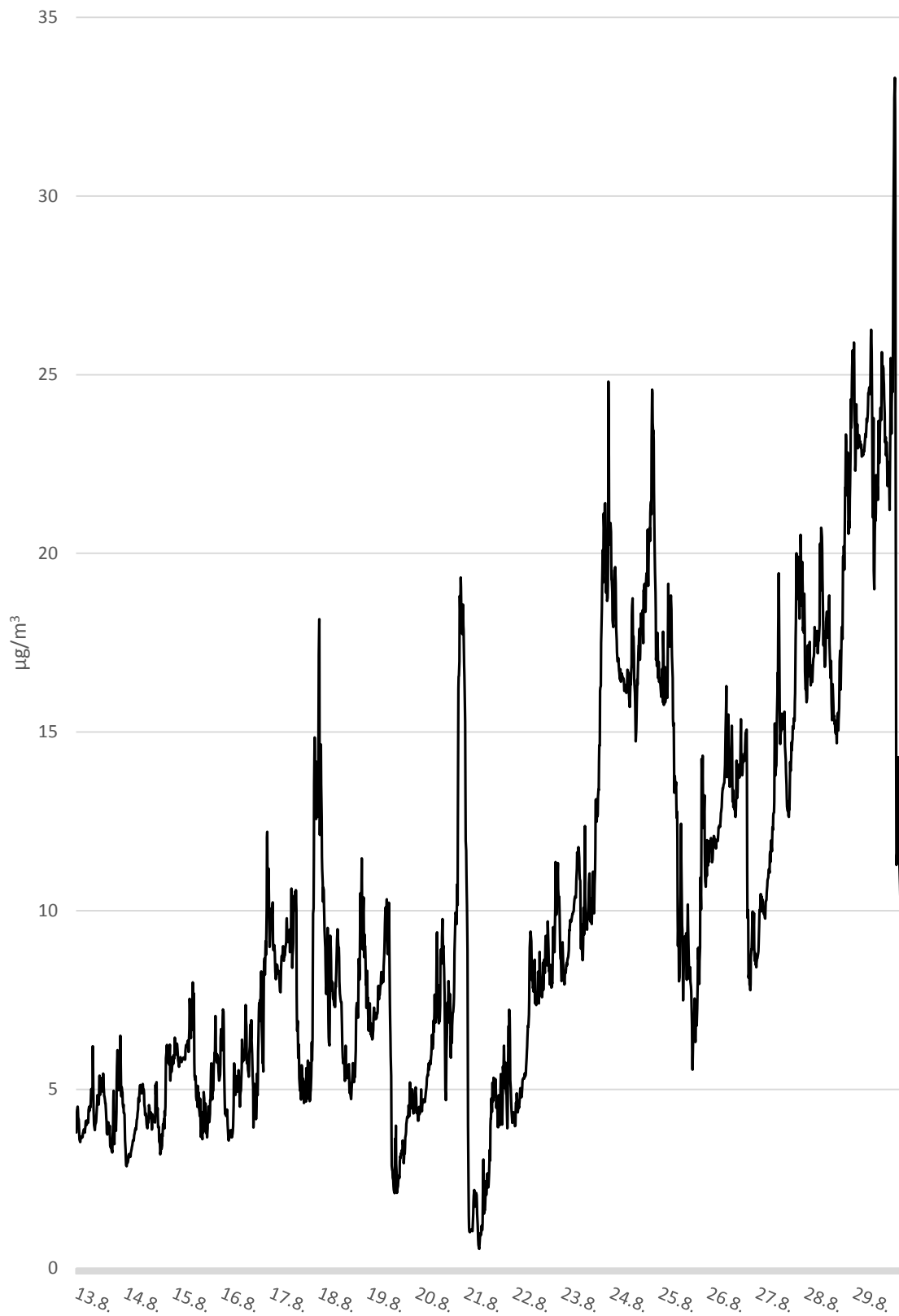
Vývoj v jednotlivé hodiny a vztah ke směru větru ukazuje následující anulární koncentrační růžice.



Obrázek 40 – anulární koncentrační růžice zobrazující vztah mezi koncentracemi suspendovaných částic PM₁₀, směrem větru a hodinou dne za celé sledované období.

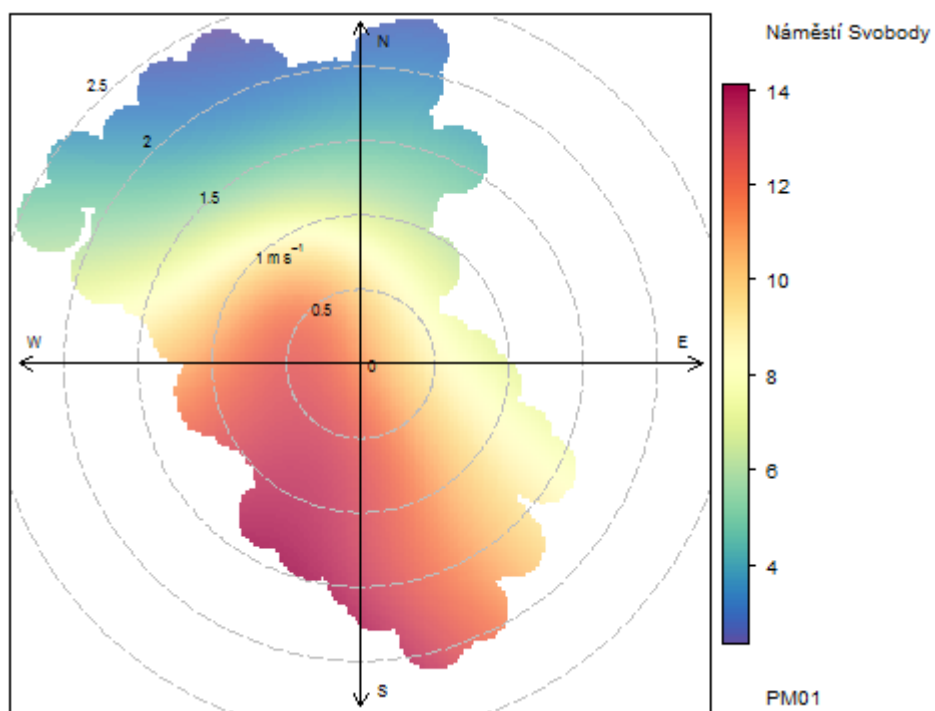
Z růžice je shodně jako v případě PM₁₀ a PM_{2,5} patrné, že v pozdních večerních hodinách byly koncentrace nejvyšší při západním proudění, tedy směrem do středu náměstí. Naopak v ranních hodinách byly vysoké koncentrace především od jihu, tedy ze směru Masarykovy ulice a Hlavního nádraží.

Níže uvedený graf ukazuje průběh koncentrací PM₁₀ v 10minutovém kroku za celou měřicí kampaň. V souladu s ostatními frakcemi je dobře patrný nepoměr mezi první a druhou polovinou měřicí kampaně, kdy během druhé poloviny byly koncentrace suspendovaných částic výrazněji vyšší.

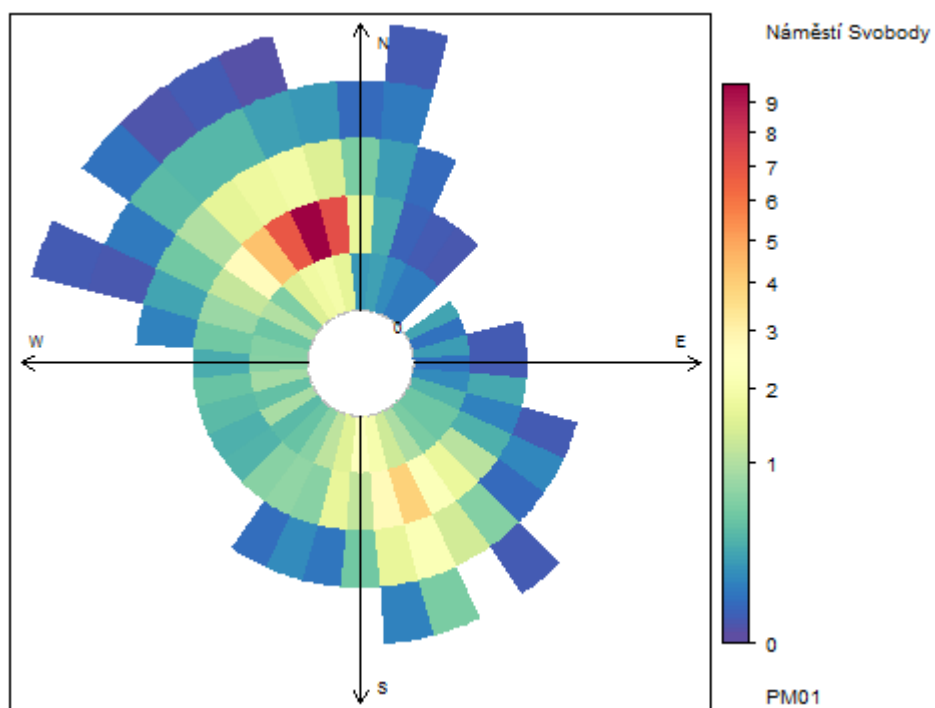


Obrázek 41 – průběh koncentrací suspendovaných částic PM_z za celou měřicí kampaň na náměstí Svobody v 10minutovém kroku za období 13. 8. až 29. 8.

Stejně jako pro zbylé dvě frakce byly i pro tuto frakci zkonstruovány koncentrační růžice a to jak standardní, tak vážená.



Obrázek 42 - koncentrační růžice pro suspendované částice PM_{10} za celé sledované období



Obrázek 43 - koncentrační růžice pro suspendované částice PM_{10} za celé sledované období

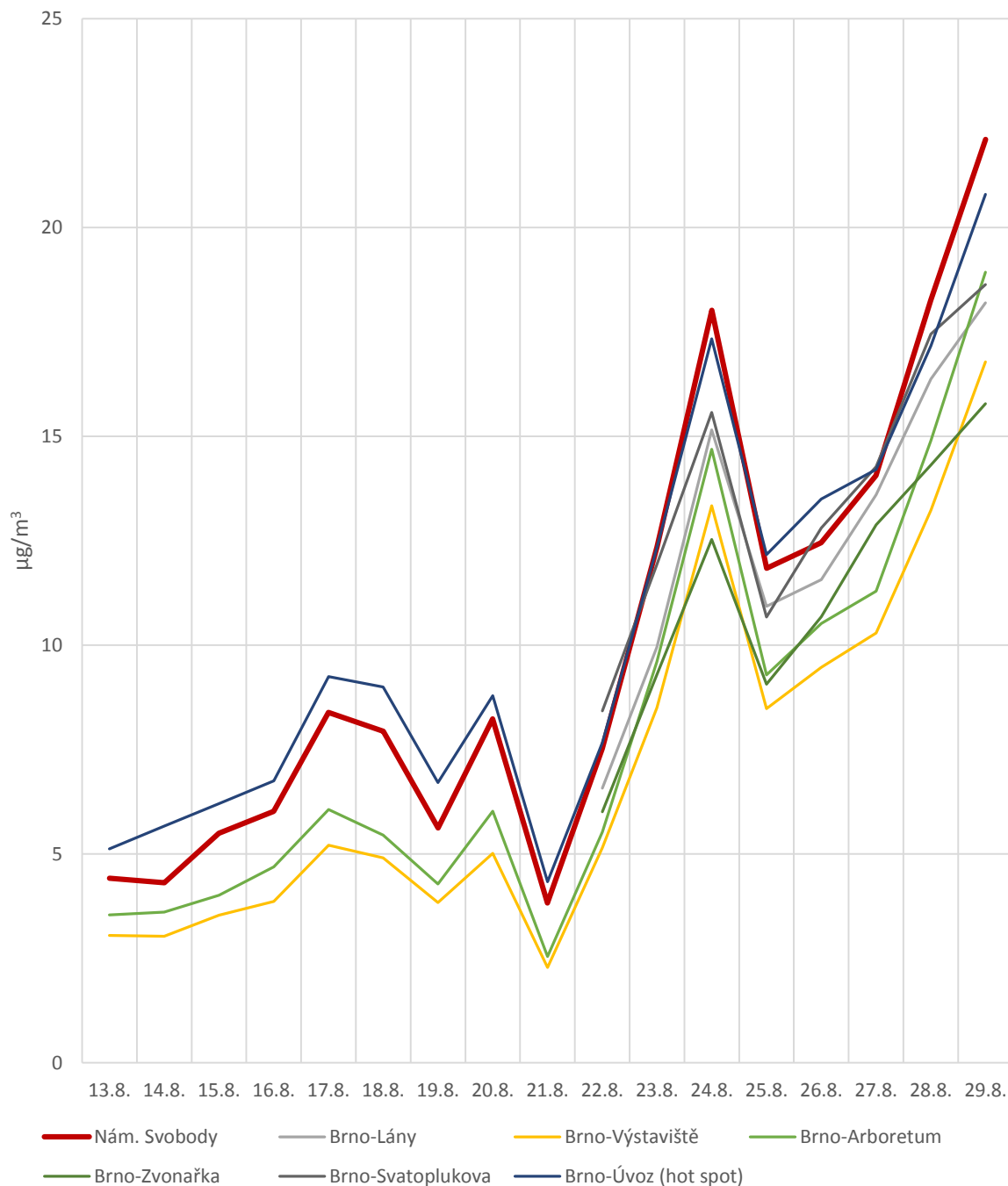
Obě růžice jsou svým charakterem takřka shodné s růžicemi pro suspendované částice PM_{2,5}. Liší se pouze v absolutních hodnotách koncentrací, které jsou z podstaty definice obou frakcí⁴ nižší. Pro vysvětlení obou růžic viz popis růžic pro frakce PM₁₀ a PM_{2,5}.

Srovnání průměrných denních koncentrací suspendovaných částic PM₄ na náměstí Svobody a dalších stanicích imisního monitoringu v Brně ukazuje následující tabulka a graf.

Tabulka 12 - průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM₁ na stanicích imisního monitoringu na území Brna ve srovnání s daty naměřenými za shodné období v rámci měřicí kampaně na náměstí Svobody

	Nám. Svobody	BBNV	BBMK	BBMA	BBML	BBMV	BBMS
13. 8.	4.42	5.13		3.54		3.05	
14. 8.	4.31	5.67		3.61		3.03	
15. 8.	5.50	6.21		4.01		3.53	
16. 8.	6.02	6.75		4.69		3.87	
17. 8.	8.39	9.25		6.07		5.21	
18. 8.	7.94	9.00		5.45		4.91	
19. 8.	5.62	6.71		4.28		3.84	
20. 8.	8.24	8.79		6.03		5.02	
21. 8.	3.83	4.33		2.55		2.28	
22. 8.	7.52	7.67	6.01	5.53	6.57	5.15	8.42
23. 8.	12.35	12.33	9.29	9.60	9.95	8.50	11.93
24. 8.	18.02	17.33	12.53	14.69	15.15	13.34	15.58
25. 8.	11.84	12.17	9.07	9.29	10.93	8.48	10.67
26. 8.	12.45	13.50	10.68	10.52	11.57	9.47	12.80
27. 8.	14.06	14.21	12.88	11.29	13.60	10.29	14.27
28. 8.	18.26	17.17	14.32	14.90	16.37	13.23	17.45
29. 8.	22.11	20.79	15.78	18.93	18.20	16.78	18.63

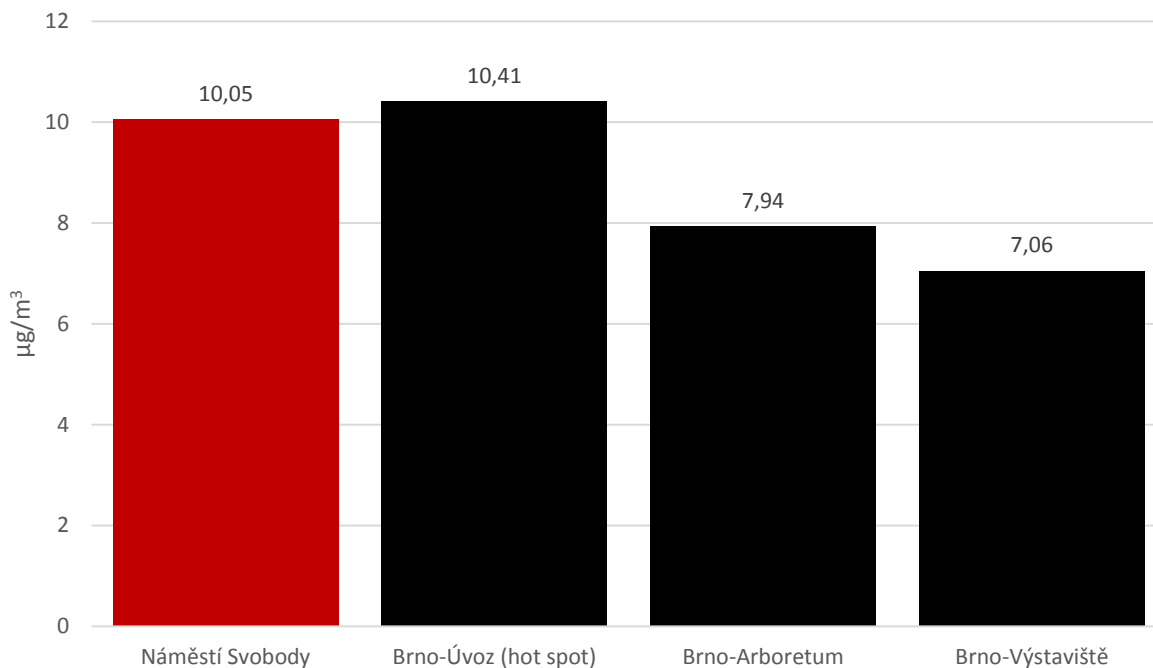
⁴ částice PM₄ představují částice s aerodynamickým průměrem do 1 μm. Částice PM_{2,5} představují částice s aerodynamickým průměrem do 2,5 μm. Z toho tedy plyne, že všechny částice PM₄ musí zároveň být částicemi PM_{2,5} a částice PM_{2,5} musí být vždy více (a analogicky toto platí i pro PM₁₀).



Obrázek 44 - průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM₁ na stanicích imisního monitoringu na území Brna ve srovnání s daty naměřenými za shodné období v rámci měřicí kampaň na náměstí Svobody

Z výše uvedených dat je patrné, že koncentrace suspendovaných částic PM₄ byly na náměstí Svobody jedny z nejvyšších ve srovnání s ostatními stanicemi a to i stanicemi dopravními, jako jsou stanice Brno-Svatoplukova nebo Brno-Úvoz (hot spot).

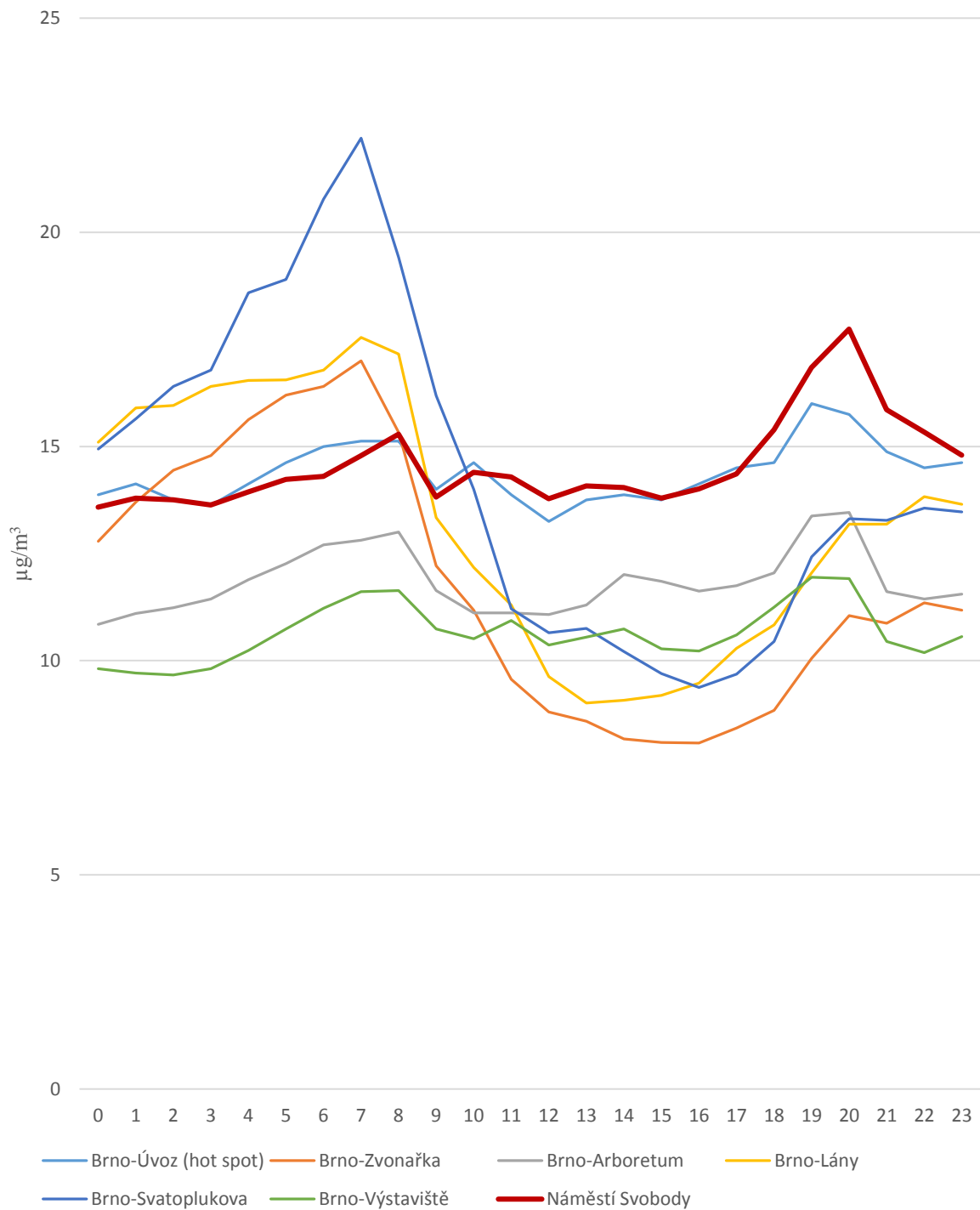
Níže uvedený graf ukazuje průměrné koncentrace PM₄ za celou měřicí kampaň, avšak pouze pro stanice s dostatečným množstvím dat.



Obrázek 45 - průměrné koncentrace PM₁ za celé období měřicí kampaně na vybraných stanicích na území Brna. Data z měřicího vozu na náměstí Svobody jsou zvýrazněna červeně. Zahrnuty jsou pouze stanice s dostatečným množstvím dat.

Částice frakce PM₁ vznikají především spalovacími procesy a důležité jsou v tomto směru také sekundární aerosoly (Lin, 2004). Co přesně je zdrojem relativně vysokých koncentrací PM₁ na náměstí Svobody v kontextu koncentrací na ostatních stanicích v Brně nelze určit bez znalosti složení těchto částic. Může se jednat například o kumulaci emisí z dopravy v tomto uzavřeném prostoru, částice uvolněné z místních stánků s grilovaným občerstvením apod.

Podívejme se ještě nyní na srovnání průměrného denního chodu na stanicích. V tomto grafu byly zahrnuty pouze data v období 22. 8. až 29. 8., tedy období kdy měřily o některé stanice, které byly v první polovině měřicí kampaně mimo provoz.



Obrázek 46 – graf průměrného denního chodu koncentrací PM₁ za období 22. až 29. 8. 2019 na jednotlivých brněnských stanicích imisního monitoringu a na náměstí Svobody

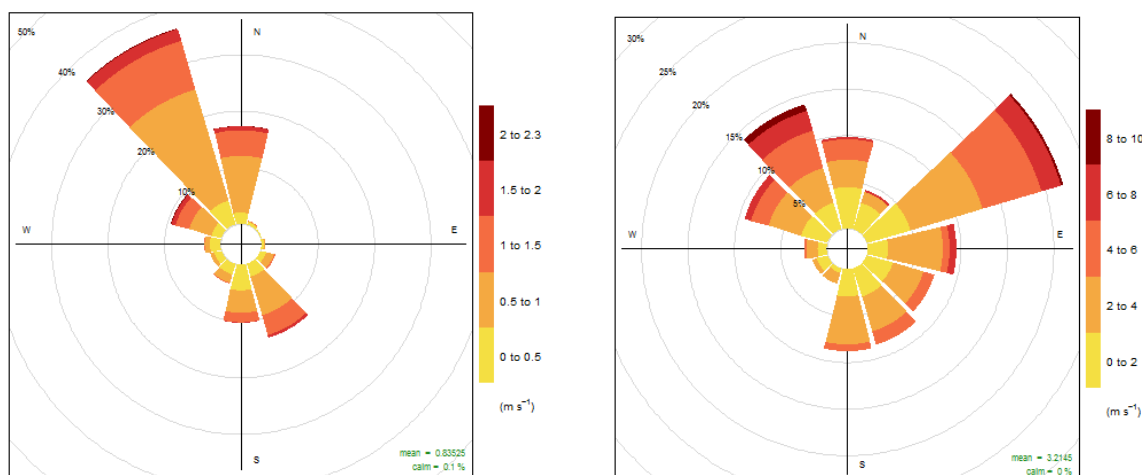
Tento graf je dalším potvrzením hypotézy, že problémem náměstí Svobody jsou nízké rychlosti větru. Z grafu je totiž velmi dobře patrný například nárůst koncentrací PM₁ v ranních hodinách na stanici Brno-Svatoplukova, jasně daný ranní dopravní špičkou. Následně však dochází k rychlému

poklesu. Na náměstí Svobody jsou koncentrace téměř konstantní po celý den. Podobný průběh má ještě stanice Brno-Úvoz (hot spot), která se rovněž nachází v kaňonu a je velmi špatně provětrávána.

5.4 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE – SROVNÁNÍ

V této části provedeme souhrn a srovnání dat o koncentracích suspendovaných částic. U všech frakcí byly pozorovány jisté podobnosti. U všech frakcí je patrné, že během první poloviny měřicí kampaně byly koncentrace částic výrazně nižší ve srovnání s polovinou druhou. Zároveň se potvrdilo, že tento trend nebyl charakteristický pro náměstí Svobody, ale byl pozorovaný na všech brněnských stanicích.

Jak již bylo zmíněno výše, větrnou růžici z dat naměřených měřícím vozem na náměstí Svobody nelze považovat za reprezentativní. Jedná se o lokalitu ze všech stran uzavřenou v husté zástavbě. V tomto směru nejreprezentativnější stanicí v okolí je stanice pozadová předměstská stanice Brno-Tuřany. Zde se jedná o data naměřená profesionální meteorologickou stanicí umístěnou v areálu letiště v otevřeném prostoru na všechny strany na periferii Brna. Níže jsou srovnány právě růžice z Tuřan a náměstí Svobody za období měřicí kampaně. Rovněž je patrný velmi výrazný rozdíl v rychlostech větru. Zatímco u růžice náměstí Svobody odpovídá jeden stupeň škály 0,5 m/s, u růžice z Tuřan je to 2 m/s. Absolutní maximum na náměstí Svobody v době měření byla rychlost 2,3 m/s. Na stanici Brno-Tuřany dosahovaly rychlosti větru i 10 m/s (36 km/h).

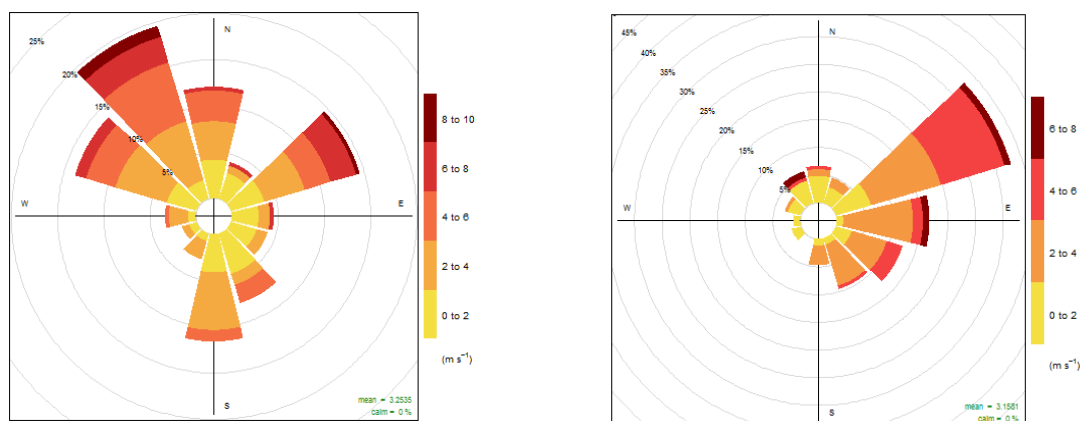


Obrázek 47 – srovnání větrné růžice z náměstí Svobody (vlevo) a stanice Brno-Tuřany (vpravo).

Nejen škála rychlosti větru, ale i charakter větrných růžic je zcela odlišný. Růžice z Brno-Tuřan ukazuje, že v době měřicí kampaně převládalo v širším měřítku severovýchodní proudění. Nejvyšší

rychlosti větru pak byly zaznamenány ze severozápadu. Naopak na růžici z náměstí Svobody je severovýchodní směr zcela zanedbatelný, jelikož právě v tomto směru stál vůz nejbližší zástavbě.

Nyní se podívejme na další velmi zajímavou skutečnost. Z výsledků koncentrací suspendovaných částic vyplynula výrazná změna mezi první a druhou polovinou měřicí kampaně. Tato změna se projevila na všech stanicích v Brně. Hraniční byl v tomto ohledu zlom mezi 22. a 23. 8. Následující větrné růžice ze stanice Brno-Tuřany ukazují separátně růžici z období 13. až 22. 8., tedy první poloviny měřicí kampaně, kdy byly koncentrace výrazně nižší a větrnou růžici z druhé poloviny měřicí kampaně, tedy z 23. až 29. 8., kdy byly koncentrace výrazně vyšší.



Obrázek 48 – větrné růžice ze stanice Brno-Tuřany za období 13. až 22. 8. 2019 (vlevo) a 23. 8. až 29. 8. 2019 (vpravo)

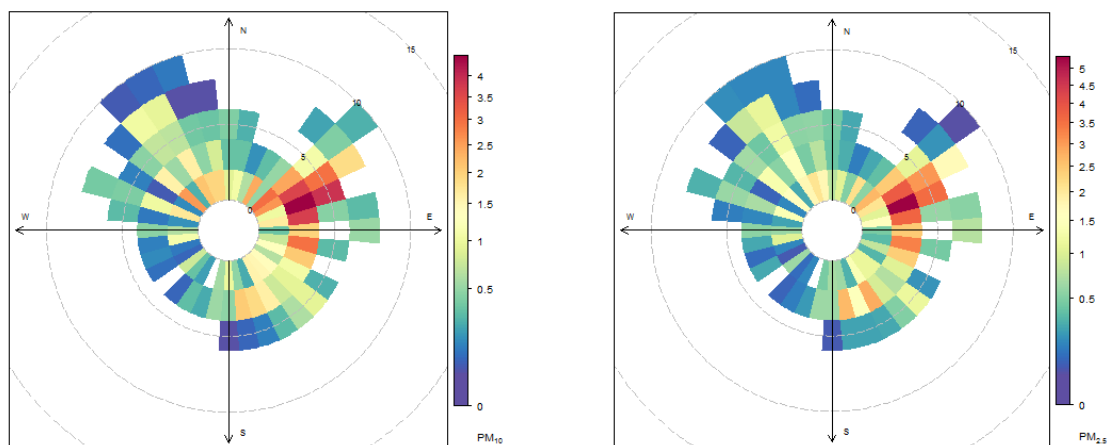
Na první pohled je charakter obou růžic velmi odlišný. Důležitá je v tomto případě změna dominantního proudění. V první polovině měřicí kampaně převládalo v regionu severozápadní proudění vzduchu. Naopak v druhé polovině měřicí kampaně převládalo velmi výrazně severovýchodní proudění a navíc jsou z tohoto směru patrné i vyšší rychlosti větru.

Dlouhodobě nejproblematičtějším regionem v České republice co do znečištění ovzduší je Moravskoslezský kraj. Právě severovýchodní proudění je v tomto směru pro Brno často negativní, jelikož sem proniká znečištění dálkovým transportem až z Moravskoslezského kraje, potažmo až přeshraničním transportem z Polska, kde je kvalita ovzduší velmi problematická v kontextu celé Evropy. Drtivá většina smogových situací v zimním období v Jihomoravském kraji vzniká právě při severovýchodním směru větru a o dálkovém transportu svědčí i fakt, že ve Zlínském kraji, který je severovýchodu republiky blíže, je situace dlouhodobě horší, než v kraji Jihomoravském.

Vzhledem k plošnému charakteru zvýšení koncentrací a vzhledem k zcela zřejmé korelaci se změnou směru větru a obecnými znalostmi a zkušenostmi s vlivem různých směrů větru na kvalitu

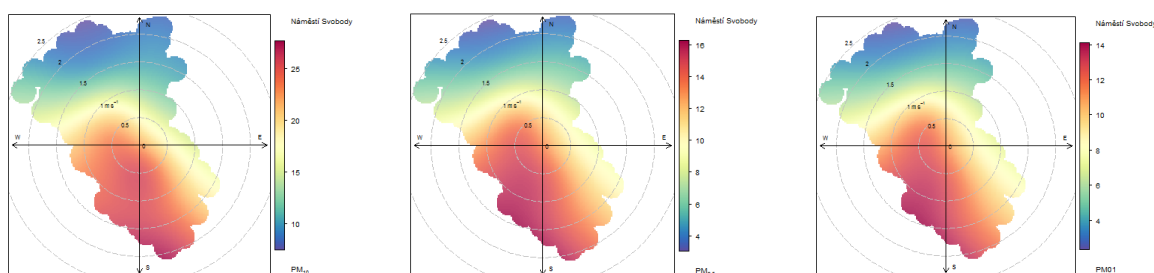
ovzduší v Brně se lze domnívat, že za výrazným rozdílem mezi koncentracemi v první a druhé polovině měřicí kampaně stojí dálkový transport znečištění ze severovýchodu.

Pro doplnění jsou níže uvedeny vážené koncentrační růžice pro suspendované částice PM_{10} a $PM_{2,5}$ ze stanice Brno-Tuřany za období měřicí kampaně.



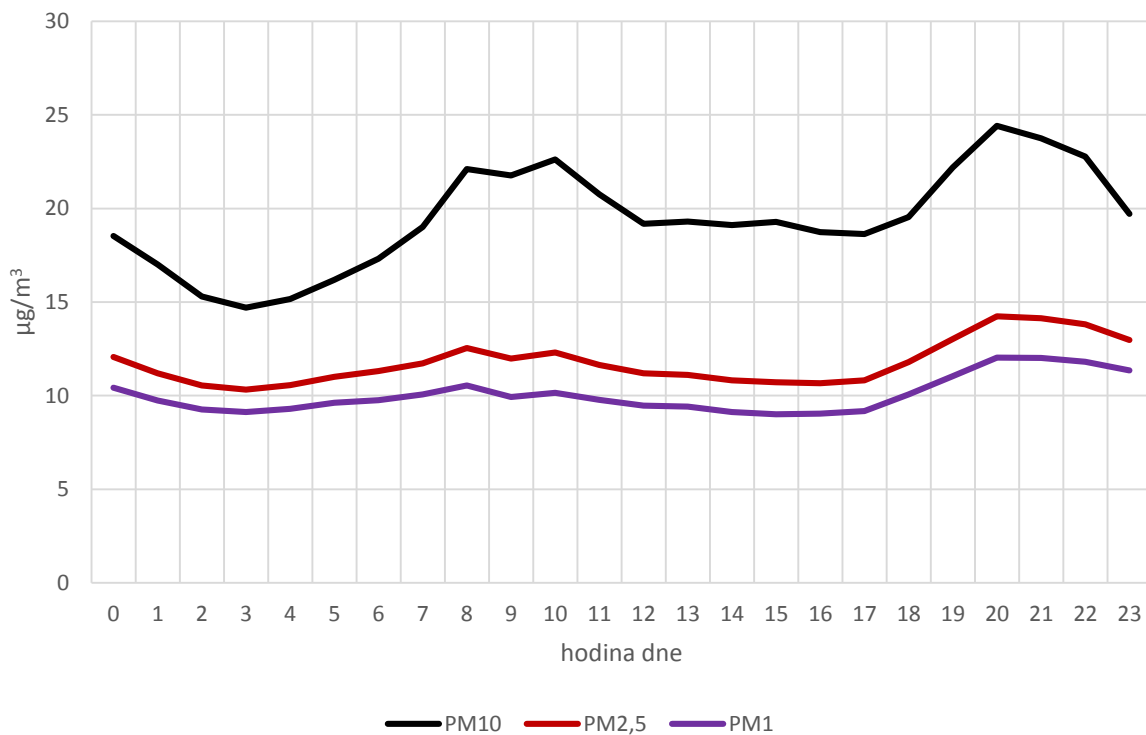
Obrázek 49 – vážené koncentrační růžice ze stanice Brno-Tuřany pro suspendované částice PM_{10} (vlevo) a $PM_{2,5}$ (vpravo) za období měřicí kampaně na náměstí Svobody

Charakter koncentračních růžic pro různé frakce suspendovaných částic na náměstí Svobody se příliš neliší – viz níže. Lišily se pouze absolutní hodnoty koncentrací jednotlivých frakcí.



Obrázek 50 – srovnání koncentračních růžic pro jednotlivé měřené frakce suspendovaných částic na náměstí Svobody. Frakce PM_{10} (vlevo), $PM_{2,5}$ (uprostřed) a PM_1 (vpravo).

Co se průměrného denního chodu koncentrací jednotlivých frakcí suspendovaných částic jsou ve všech případech patrné ranní a večerní špičky, nejvíce u frakce PM_{10} .



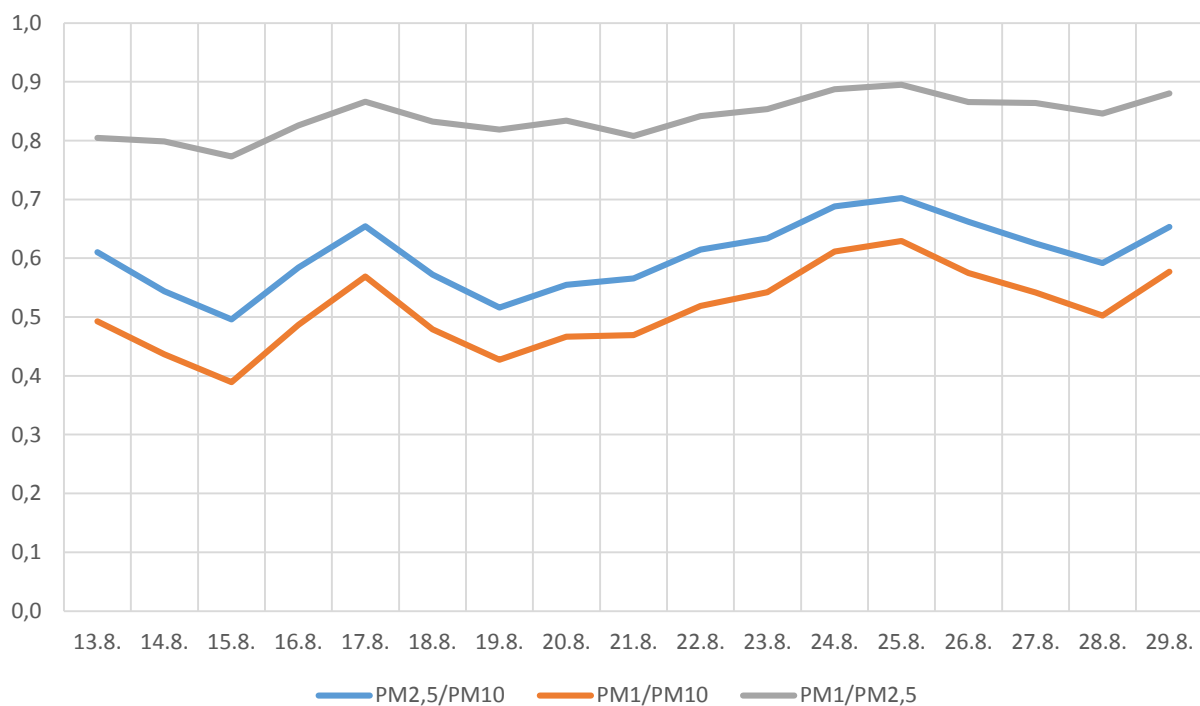
Obrázek 51 – průměrný denní chod koncentrací jednotlivých frakcí suspendovaných částic během celé měřicí kampaně na náměstí Svobody

Kromě samotných hodnot koncentrací je vhodné podívat se i na vzájemný poměr mezi jednotlivými frakcemi.

Níže uvedená tabulka a graf ukazují průměrné denní poměry mezi frakcemi $PM_{2,5}/PM_{10}$, PM_{10}/PM_{10} a $PM_{10}/PM_{2,5}$.

Tabulka 13 – průměrné denní poměry mezi jednotlivými měřenými frakcemi suspendovaných částic

	PM _{2,5} /PM ₁₀	PM ₁ /PM ₁₀	PM ₁ /PM _{2,5}
13.8.	0.61	0.49	0.80
14.8.	0.54	0.44	0.80
15.8.	0.50	0.39	0.77
16.8.	0.58	0.49	0.83
17.8.	0.65	0.57	0.87
18.8.	0.57	0.48	0.83
19.8.	0.52	0.43	0.82
20.8.	0.55	0.47	0.83
21.8.	0.57	0.47	0.81
22.8.	0.61	0.52	0.84
23.8.	0.63	0.54	0.85
24.8.	0.69	0.61	0.89
25.8.	0.70	0.63	0.89
26.8.	0.66	0.57	0.87
27.8.	0.62	0.54	0.86
28.8.	0.59	0.50	0.85
29.8.	0.65	0.58	0.88



Obrázek 52 - průměrné denní poměry mezi jednotlivými měřenými frakcemi suspendovaných částic

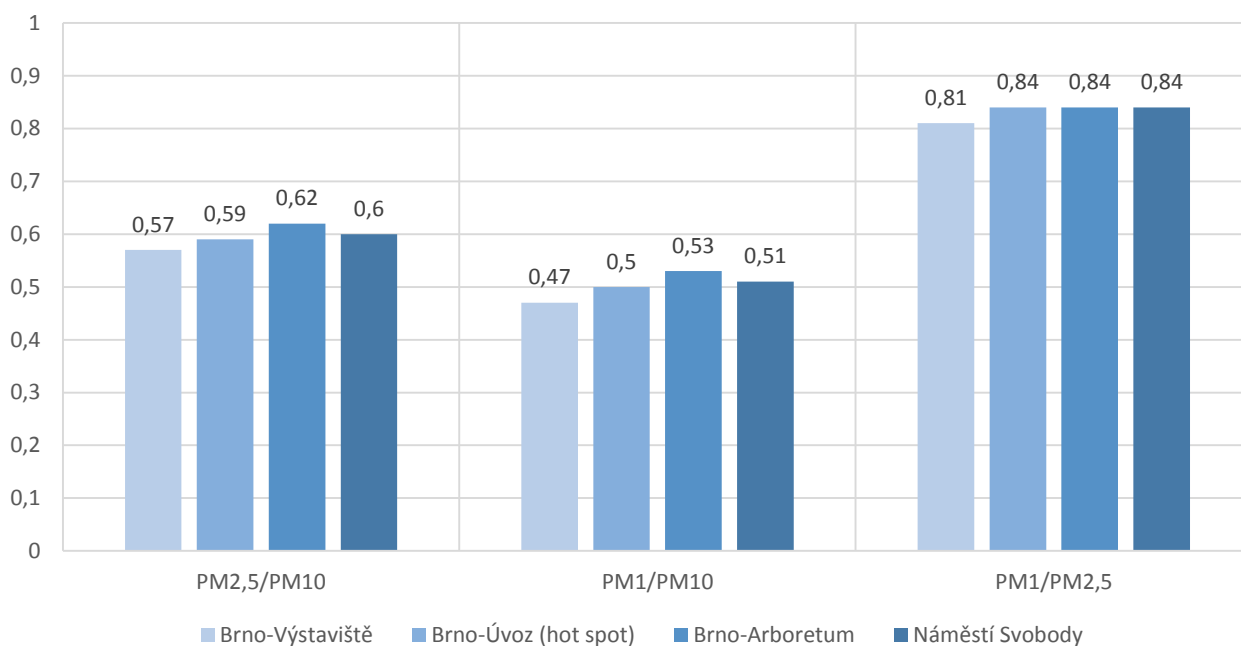
Z výše uvedených dat je patrný relativně vysoký poměr PM₄/PM_{2,5}, tedy fakt, že takřka 90 % částic PM_{2,5} byly zároveň částicemi PM₄. Při srovnání průměrů poměrů první poloviny měřicí kampaně

během celkově nižších koncentrací a druhé poloviny kampaně během celkově vyšších koncentrací je patrný nárůst poměru menších částic o přibližně 10 %.

Pro srovnání byly vybrány další tři brněnské stanice imisního monitoringu, které monitorují všechny tři velikostní frakce suspendovaných částic a zároveň je pro ně k dispozici kompletní řada dat během doby měřicí kampaně na náměstí Svobody. Níže uvedená tabulka a graf ukazuje srovnání průměrných poměrů jednotlivých frakcí na jednotlivých stanicích.

Tabulka 14 – průměrné poměry mezi jednotlivými frakcemi suspendovaných částic na vybraných stanicích imisního monitoringu v Brně a na náměstí Svobody.

	Brno-Výstaviště	Brno-Úvoz (hot spot)	Brno-Arboretum	Náměstí Svobody
PM _{2,5} /PM ₁₀	0.57	0.59	0.62	0.6
PM ₁ /PM ₁₀	0.47	0.5	0.53	0.51
PM ₁ /PM _{2,5}	0.81	0.84	0.84	0.84



Obrázek 53 - průměrné poměry mezi jednotlivými frakcemi suspendovaných částic na vybraných stanicích imisního monitoringu v Brně a na náměstí Svobody.

Z grafu je na první pohled patrné, že poměry se na jednotlivých stanicích příliš neodlišují a data z náměstí Svobody plně korespondují s poměry pozorovanými ve shodné období na dalších stanicích v Brně a to jak pozadových, tak dopravních.

6. OXIDY DUSÍKU

6.1 OXID DUSIČITÝ (NO₂)

Oxid dusičitý je v čisté plynné formě červenohnědý a silně agresivní a jedovatý.

Měření oxidu dusičitého je založeno na chemiluminiscenci. Koncentrace tohoto plynu jsou zjišťovány sekundárně z rozdílu mezi koncentracemi oxidu dusnatého (NO) a oxidů dusíku (NO_x, = NO + NO₂). Hodinový imisní limit pro NO₂ je 200 µg/m³ a může být překročen maximálně 18× za rok. Roční imisní limit NO₂ je 40 µg/m³.

Nejvýznamnějším zdrojem oxidu dusičitého je doprava a v menší míře průmysl a domácnosti (WHO, 2006). Vzniká oxidací vzdušného dusíku za vysokých teplot ve spalovacích motorech. Patří na seznam plynů podílejících se na tvorbě nežádoucích kyselých dešťů (Kumar, S., 2017). Navíc spolu s kyslíkem a těkavými organickými látkami (VOC) reaguje za vzniku přízemního ozonu, polutantu, který může ve vysokých koncentracích vyvolat fotochemický smog. Působení NO₂ bývá spojováno se zvýšením celkové, kardiovaskulární a respirační úmrtnosti (SZÚ, 2016).

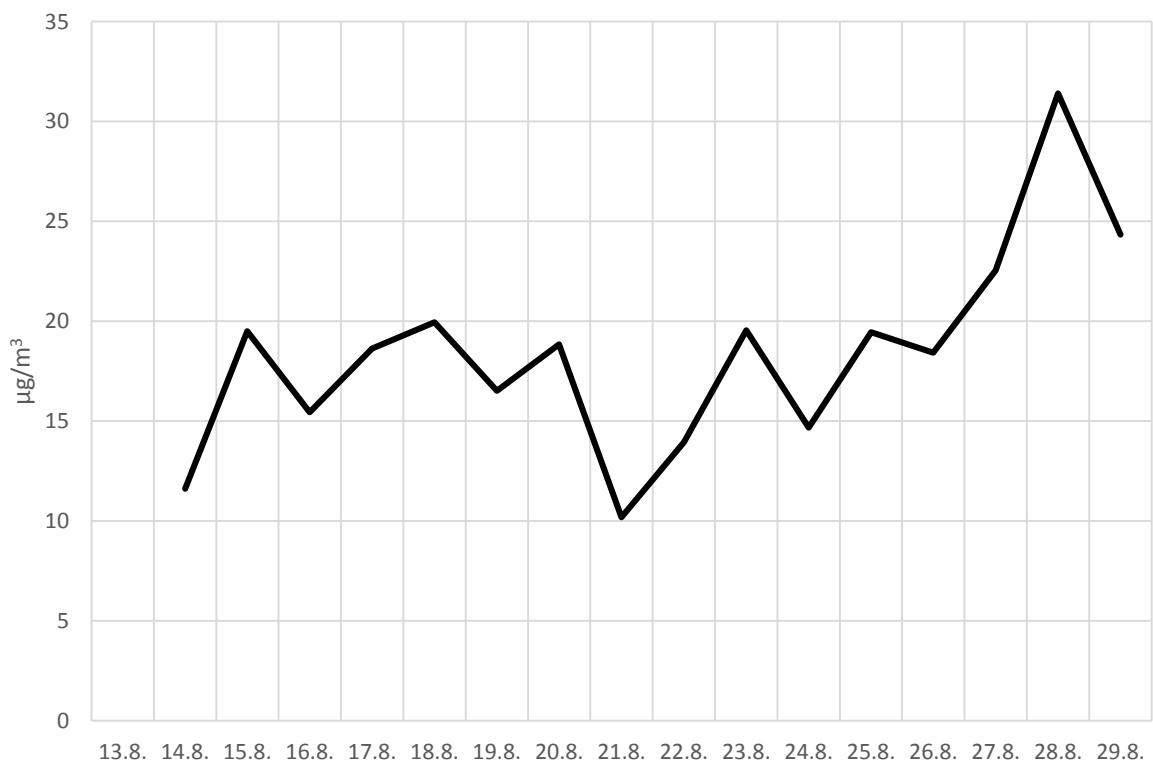
Průměrná koncentrace oxidu dusičitého za celou měřicí kampaň na náměstí Svobody byla 18,07 µg/m³.

V absolutním maximu dosáhla 180,2 µg/m³ (29. 8. 2019 v 9:00). Tato maximální hodnota však byla zcela ojedinělá. Jedná se o hodnotu naměřenou během jednoho z 10minutových intervalů, o 10 minut dříve však byla koncentrace pouze 44,3 µg/m³ a naopak o 10 minut později pouze 48 µg/m³. Existují tedy dvě možnosti – buď zde hrál roli nějaký velmi jednorázový zdroj, který v těsné blízkosti vozu vypustil do ovzduší velké množství NO₂ (například možné zaparkování nákladního vozu poblíž měřicí sondy a následná akcelerace) nebo se jedná o chybu měření. Z dostupných dat nelze vyloučit ani jednu z těchto možností. Takto vysoká hodnota se však vyskytla ještě jednou a to 19. 8. 2019 v 7:50 a opět se jednalo o jednorázový extrémní nárůst a opětovný propad (31,4 µg/m³ → 177,3 µg/m³ → 25,7 µg/m³). Ani v tomto případě nelze vyloučit chybu měření ani velmi lokální a intenzivní zdroj. Pokud bychom tato dvě velmi krátkodobé špičky nebrali v potaz, byla maximální naměřená hodnota 101,2 µg/m³.

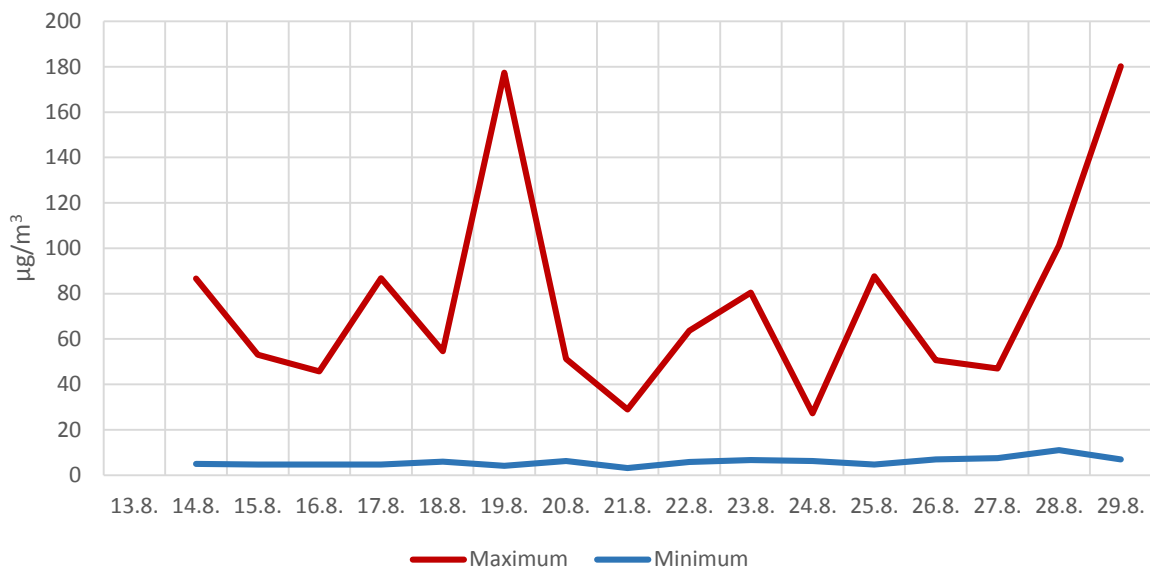
Denní průměrné koncentrace NO₂ se pohybovaly od 10,18 µg/m³ (21. 8.) do 31,40 µg/m³ (28. 8.). Průměrné, maximální a minimální denní hodnoty ukazuje následující tabulka a graf. Data pro první den měřicí kampaně nelze v agregaci hodnotit, jelikož nebyla splněna podmínka minimální dostupnosti dat.

Tabulka 15 – průměrné, maximální a minimální koncentrace NO₂ v jednotlivé dny měřicí kampaně

Datum	Průměr	Maximum	Minimum
13.8.			
14.8.	11.62	86.7	5
15.8.	19.50	53.1	4.7
16.8.	15.44	45.8	4.7
17.8.	18.64	86.8	4.7
18.8.	19.95	54.6	6
19.8.	16.53	177.3	4.2
20.8.	18.84	51.2	6.3
21.8.	10.18	29	3.2
22.8.	13.94	63.6	5.8
23.8.	19.55	80.5	6.7
24.8.	14.67	27.3	6.2
25.8.	19.46	87.7	4.7
26.8.	18.42	50.7	7
27.8.	22.55	47	7.5
28.8.	31.40	101.2	11
29.8.	24.34	180.2	7

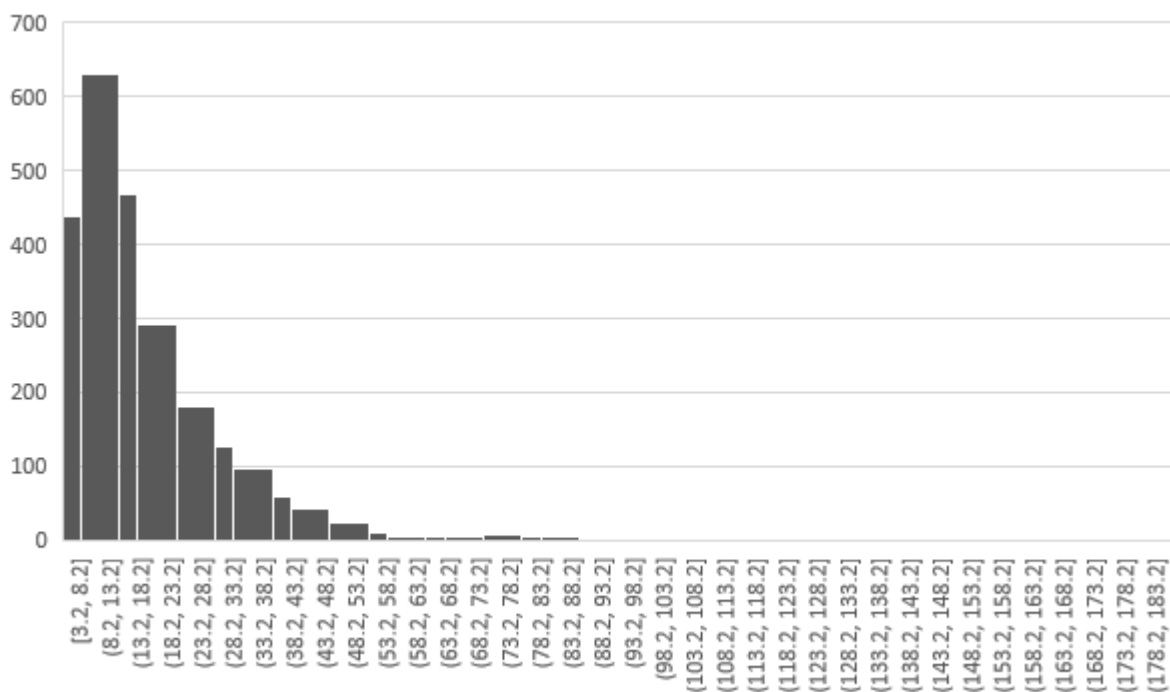


Obrázek 54 – průměrné denní koncentrace NO₂ v jednotlivé dny měřicí kampaně



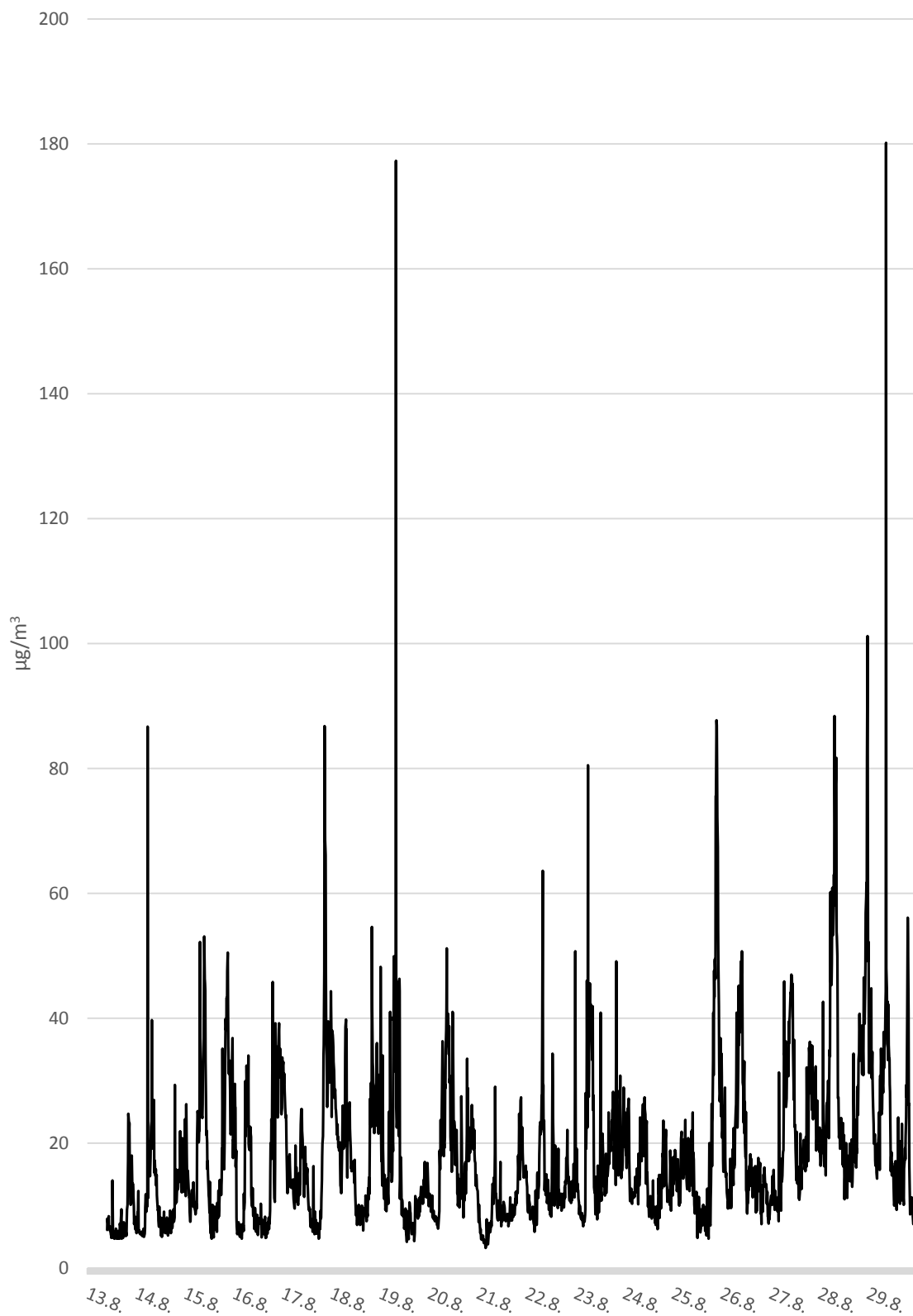
Obrázek 55 – maximální a minimální denní koncentrace NO₂ v jednotlivé dny měřící kampaně

Z histogramu četnosti koncentrací vyplývá, že nejčastěji se pohybovaly v intervalu 8,2 až 13,2 µg/m³.



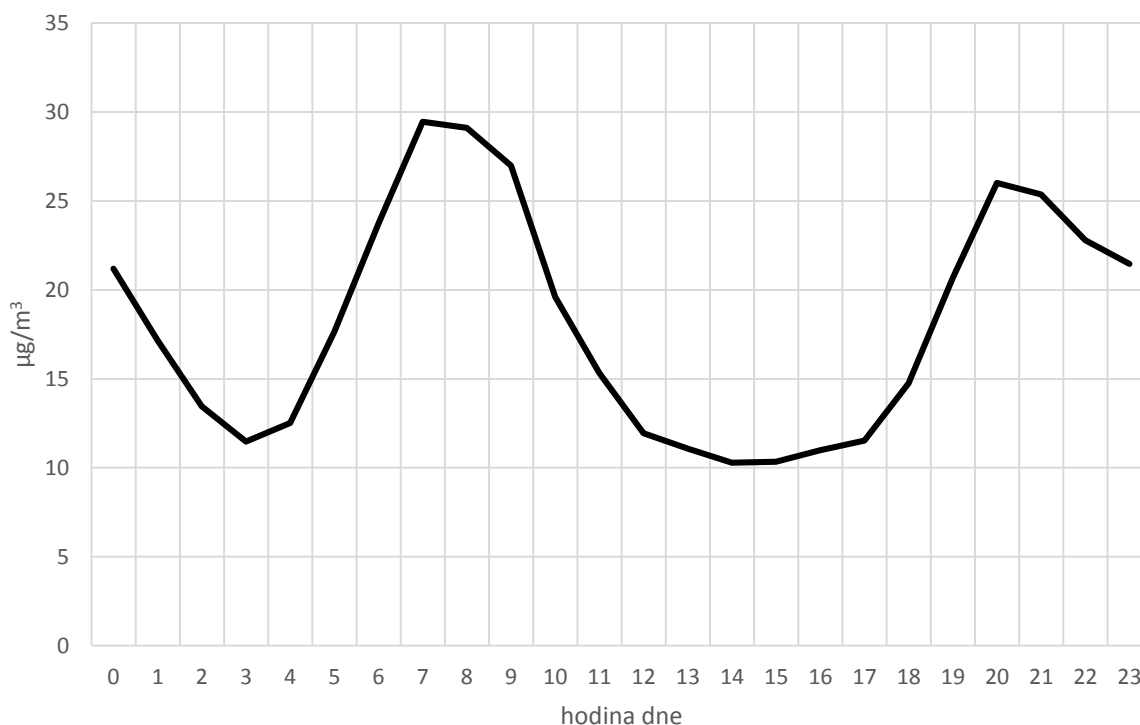
Obrázek 56 - histogram četnosti koncentrací NO₂ v µg/m³

Celkový průběh koncentrací NO₂ za celou měřicí kampaň v 10minutovém kroku ilustruje následující graf.



Obrázek 57 – průběh koncentrací NO₂ v 10minutovém kroku za celou měřicí kampaň

Následující graf ukazuje průměrný denní chod koncentrací NO₂ za celou dobu měření, tedy od 13. 8. do 29. 8. pro jednotlivé hodiny dne.



Obrázek 58 - průměrné koncentrace NO₂ v jednotlivé hodiny dne

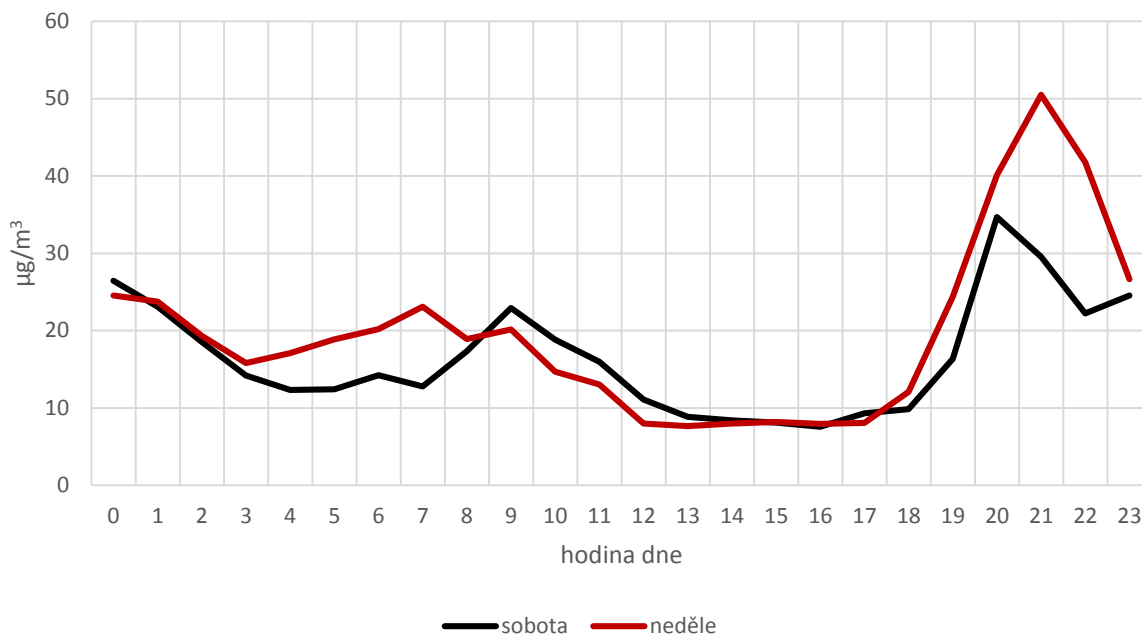
Na první pohled jsou patrné dvě špičky a to ráno a odpoledne, zcela korespondující s dopravními špičkami. Dynamika je zde výrazně viditelnější než v případě suspendovaných částic. Nejvýznamnějším zdrojem NO₂ je právě doprava, proto podobný chod nepřekvapuje – ukazuje však na fakt, že vliv dopravy na náměstí Svobody, přes fakt, že se jedná o pěší zónu s možností průjezdu pouze elektrifikovaných tramvají a vozidel s povolením, je nezanedbatelný – ať už se jedná o přenos z širšího okolí brněnského centra, tak dopravu přímo na náměstí.

Z dalšího grafu je pak patrný velmi výrazný rozdíl mezi pracovním a nepracovním dnem v průměrném denním chodu koncentrací NO₂.



Obrázek 59 - průměrné koncentrace NO₂ v jednotlivé hodiny dne pro pracovní a nepracovní dny

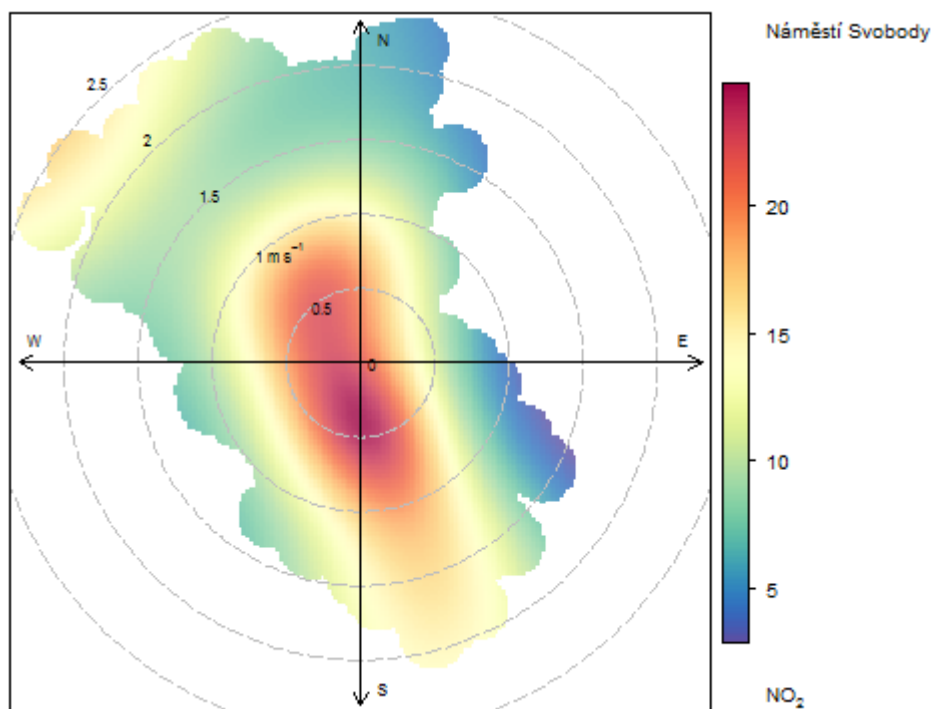
V pracovní dny je výrazně významnější ranní špička, která v nepracovní dny v podstatě zcela chybí. Naopak ve večerních hodinách je večerní špička výrazně intenzivnější v nepracovní den. V tomto případě má ještě význam rozdělit nepracovní dny na soboty a neděle – viz graf níže.



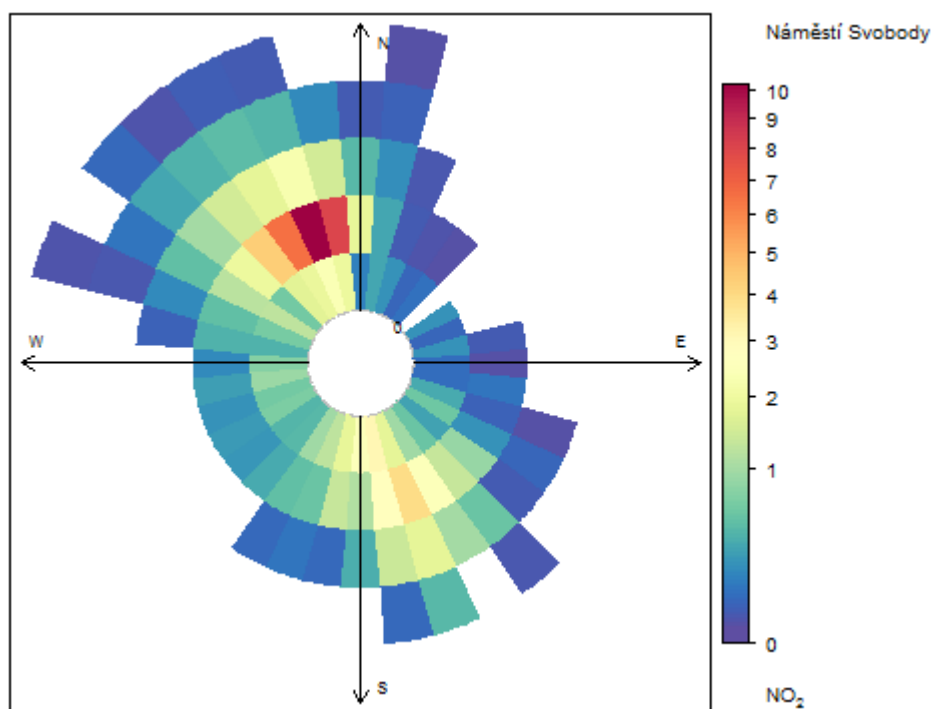
Obrázek 60 - průměrné koncentrace NO₂ v jednotlivé hodiny dne pro soboty a neděle

Grafem výše se vysvětluje významný večerní pík – graf pro nepracovní dny je v tomto případě sestaven pouze ze 4 dní (2 víkendy během měřicí kampaně). Koncentrace NO₂ jsou během víkendu na náměstí jednoznačně nejvyšší v nedělení večerní hodiny, což odpovídá večerní dopravní špičce v neděli, související s návratem osob do města před začátkem pracovního týdne.

Následující koncentrační a vážená koncentrační růžice ukazují vztah mezi koncentracemi NO₂, směrem a rychlostí větru. V případě vážené růžice se pak jedná o podíl celkového množství znečištění z jednotlivých směrů.



Obrázek 61 - koncentrační růžice pro NO₂ za celé sledované období



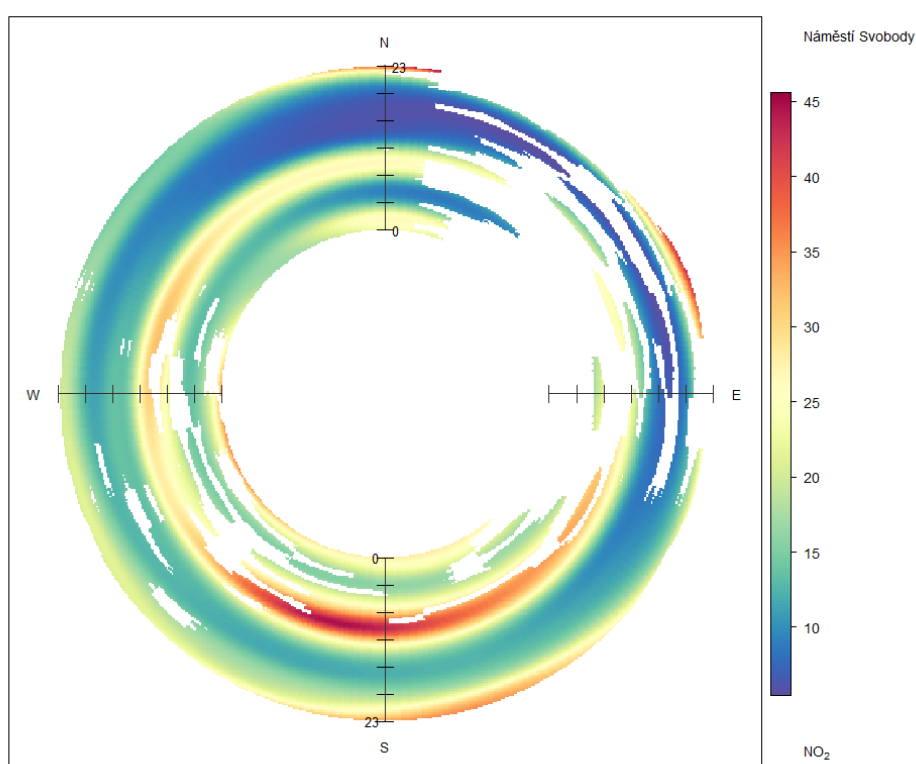
Obrázek 62 – vážená koncentrační růžice pro NO₂ za celé sledované období

U koncentrační růžice je vidět, že vysoké koncentrace NO₂ jsou pozorovány v podstatě ze všech směrů při nízkých rychlostech větru (u středu růžice). Vyšší koncentrace chybí pouze u

severovýchodního směru, což ale souvisí s faktem, že tento směr větru nebyl na náměstí Svobody vůbec pozorován (viz větrná růžice) v důsledku postavení vozu na náměstí a bariéry v podobě budovy v těsné blízkosti na severovýchod.

U vážené koncentrační růžice je situace velmi podobná váženým koncentračním růžicím suspendovaných částic. Největší podíl znečištění pocházel ze severozápadu, což odpovídá větrné růžici – tento směr byl v dané lokalitě v době měření dominantní a proto se množství znečištění z tohoto směru naakumulovalo, ačkoliv nemusely být koncentrace z tohoto směru nejvyšší.

Následující anulární koncentrační růžice pak ukazuje vztah mezi směrem větru, koncentrací NO_2 a hodinou dne.



Obrázek 63 - anulární koncentrační růžice zobrazující vztah mezi koncentracemi NO_2 , směrem větru a hodinou dne za celé sledované období.

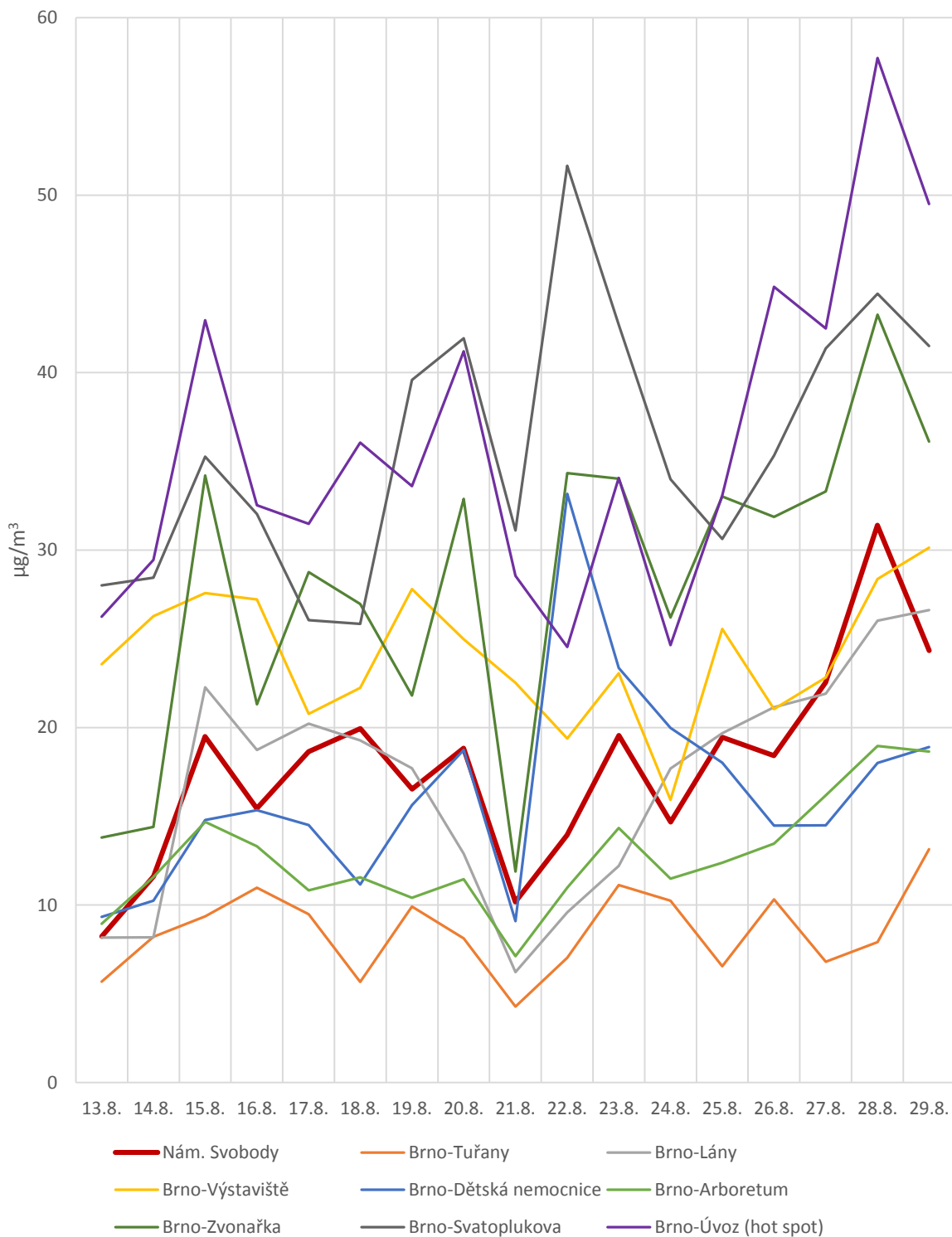
Z růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace NO_2 byly zaznamenány v ranních hodinách při jižním proudění, tedy směrem od Masarykovy ulice a Hlavního nádraží.

Nyní se podívejme na srovnání koncentrací NO_2 z náměstí Svobody s ostatními brněnskými stanicemi imisního monitoringu a to jak stanicemi pozadřovými, tak dopravními.

Následující tabulka a graf ukazují průměrnou denní koncentraci NO₂ na náměstí Svobody a jednotlivých stanicích imisního monitoringu v Brně, které koncentrace NO₂ měří.

Tabulka 16 – tabulka průměrných denních koncentrací NO₂ na vybraných stanicích imisního monitoringu v Brně a z náměstí Svobody v období 13. 8. až 29. 8. 2019

	Nám. Svobody	BBNY	BBMV	BBMA	BBMK	BBDN	BBMS	BBML	BBNV
13.8.	8.24	5.68	23.57	8.95	13.80	9.33	28.01	8.17	26.25
14.8.	11.62	8.21	26.28	11.58	14.41	10.24	28.45	8.18	29.45
15.8.	19.50	9.37	27.58	14.69	34.20	14.79	35.26	22.28	42.96
16.8.	15.44	10.98	27.23	13.30	21.31	15.34	32.03	18.74	32.53
17.8.	18.64	9.47	20.78	10.82	28.76	14.51	26.05	20.21	31.48
18.8.	19.95	5.67	22.24	11.57	26.97	11.16	25.84	19.28	36.06
19.8.	16.53	9.91	27.80	10.41	21.81	15.63	39.59	17.70	33.60
20.8.	18.84	8.13	24.98	11.45	32.88	18.73	41.93	12.90	41.20
21.8.	10.18	4.27	22.53	7.11	11.88	9.10	31.10	6.23	28.54
22.8.	13.94	7.03	19.38	10.98	34.34	33.18	51.65	9.58	24.53
23.8.	19.55	11.12	23.05	14.34	34.03	23.35	42.69	12.20	34.06
24.8.	14.67	10.24	15.93	11.49	26.20	19.98	34.00	17.69	24.65
25.8.	19.46	6.55	25.56	12.38	33.02	18.03	30.63	19.69	33.09
26.8.	18.42	10.31	21.04	13.47	31.88	14.47	35.33	21.15	44.84
27.8.	22.55	6.81	22.83	16.18	33.31	14.50	41.37	21.91	42.49
28.8.	31.40	7.91	28.37	18.97	43.27	18.01	44.45	26.02	57.73
29.8.	24.34	13.15	30.14	18.64	36.12	18.91	41.51	26.62	49.51

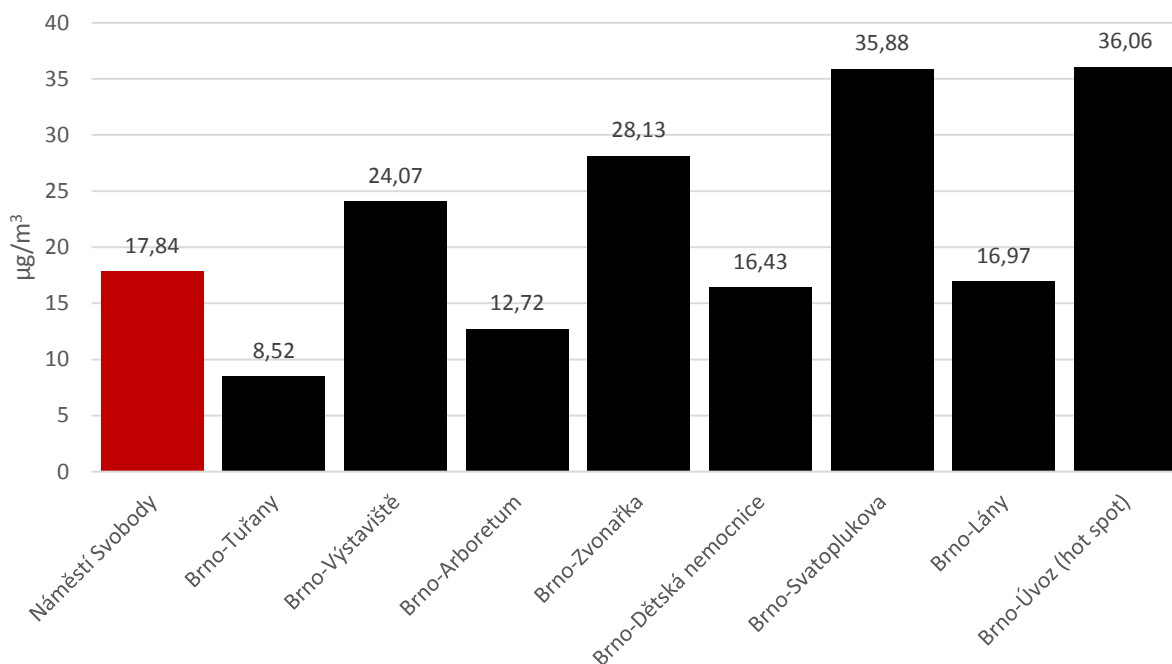


Obrázek 64 - graf průměrných denních koncentrací NO₂ na vybraných stanicích imisního monitoringu v Brně a z náměstí Svobody (tučná červená čára) v období 13. 8. až 29. 8. 2019

Na grafu průběhu koncentrací NO₂ v době kampaně na náměstí Svobody je dobře vidět výrazný rozdíl mezi dopravními a pozadovými stanicemi. Jednoznačně nejnižší byly koncentrace téměř ve všechny dny na předměstské pozadové stanici Brno-Tuřany. Naopak nejvyšší byly na dopravně

nejzatíženějších stanicích v Brně – na stanici Brno-Úvoz (hot spot) a na stanici Brno-Svatoplukova. Obě tyto stanice stojí v bezprostřední blízkosti velmi frekventovaných dopravních komunikací. V tomto směru jsou koncentrace na náměstí Svobody v dané období průměrné.

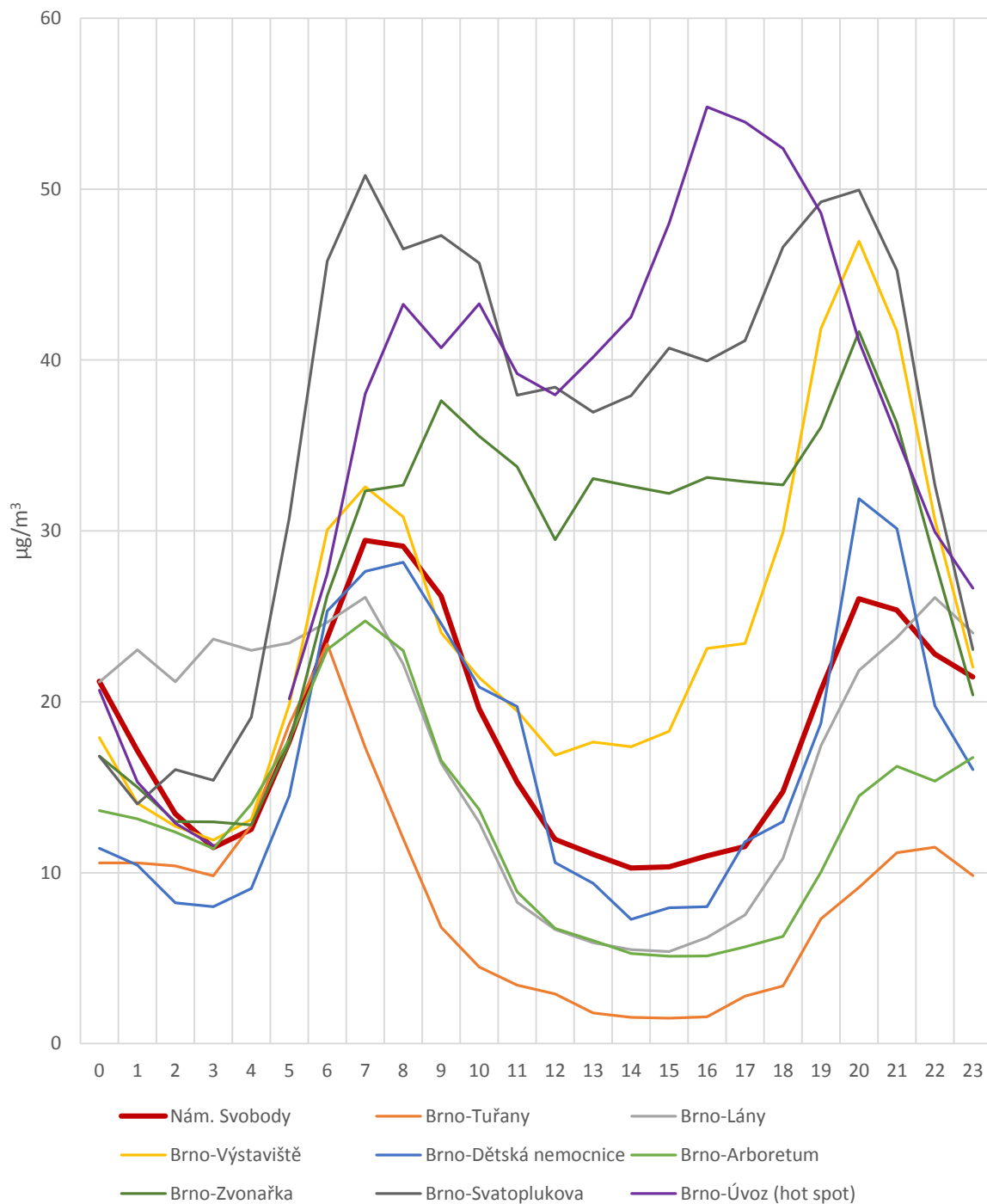
Níže uvedený graf ukazuje průměrné koncentrace NO₂ za celou dobu měřicí kampaně na jednotlivých stanicích a z měřicího vozu na náměstí Svobody.



Obrázek 65 – průměrné koncentrace NO₂ za celé období měřicí kampaně na náměstí Svobody a dalších brněnských stanicích imisního monitoringu

Celkový průměr za období 13. 8. 2019 až 29. 8. 2019 se pohyboval nejvýš kolem 35 µg/m³ na stanicích Brno-Úvoz (hot spot) a Brno-Svatoplukova. Následovala stanice Brno-Zvonařka, kde byla průměrná koncentrace 28,13 µg/m³ – rovněž se jedná o stanici v bezprostřední blízkosti čtyřproudové dopravní tepny. Dále stanice Brno-Výstaviště – dopravní stanice poblíž západní části brněnského výstaviště. Na náměstí Svobody byl celkový průměr za celou dobu kampaně 17,84 µg/m³ – což je výrazně méně, než na výše zmíněných dopravních stanicích, ale více než na pozadové stanici Brno-Dětská nemocnice, Brno-Arboretum, Brno-Tuřany a stanici Brno-Lány. V kontextu koncentrací oxidu dusičitého lze tedy lokalitu náměstí Svobody, na základě této kampaně označit za stanici, nacházející se na úrovni více zatížené pozadové stanice (v pořadí výše uvedených stanic se nachází přesně mezi dopravními a pozadovými, v absolutních hodnotách však má výrazně blíže k hodnotám stanic pozadových).

Následující graf pak ještě ukazuje srovnání průměrného denního chodu koncentrací oxidu dusičitého ve sledovaném období měřící kampaně na náměstí Svobody.



Obrázek 66 – průměrný denní chod koncentrací NO₂ na vybraných stanicích imisního monitoringu a na náměstí Svobody v době měřící kampaně

Z grafu je vidět, že ranní a večerní špička se projevuje na všech stanicích, ať už dopravních, pozadových či průmyslové. Významnost těchto špiček se však značně liší. Ranní špička je jednoznačně nejintenzivnější na stanici Brno-Svatoplukova, naopak večer je nárůst nejmarkantnější na stanici Brno-Úvoz (hot spot).

6.2 OXID DUSNATÝ (NO)

Oxid dusnatý je za normálních podmínek bezbarvý až nahnědlý plyn s velmi výrazným a specifickým zápachem. Jedná se o velmi reaktivní molekulu, která rychle reaguje na NO_2 , tedy představuje dočasný intermediát v řadě chemických reakcí probíhajících jak v troposféře, tak ve stratosféře.

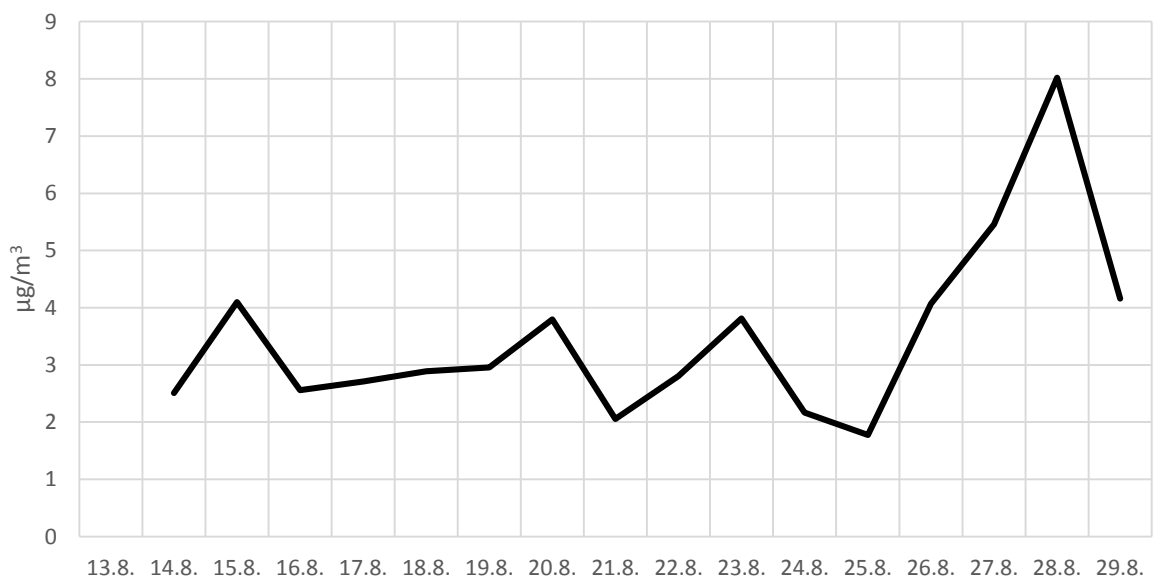
Přímo pro NO není v zákoně o ochraně ovzduší specifikován imisní limit, je však platný imisní limit pro NO_x pro ochranu ekosystémů a vegetace, tedy součet koncentrací oxidů dusičitého a právě dusnatého.

Celkový průměr pro koncentrace NO za celou měřicí kampaň byl $3,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Denní průměry se pohybovaly od $1,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (25. 8.) do $8,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (28. 8.). Absolutní naměření maximum mělo hodnotu $94,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (28. 8. 2019 v 6:50).

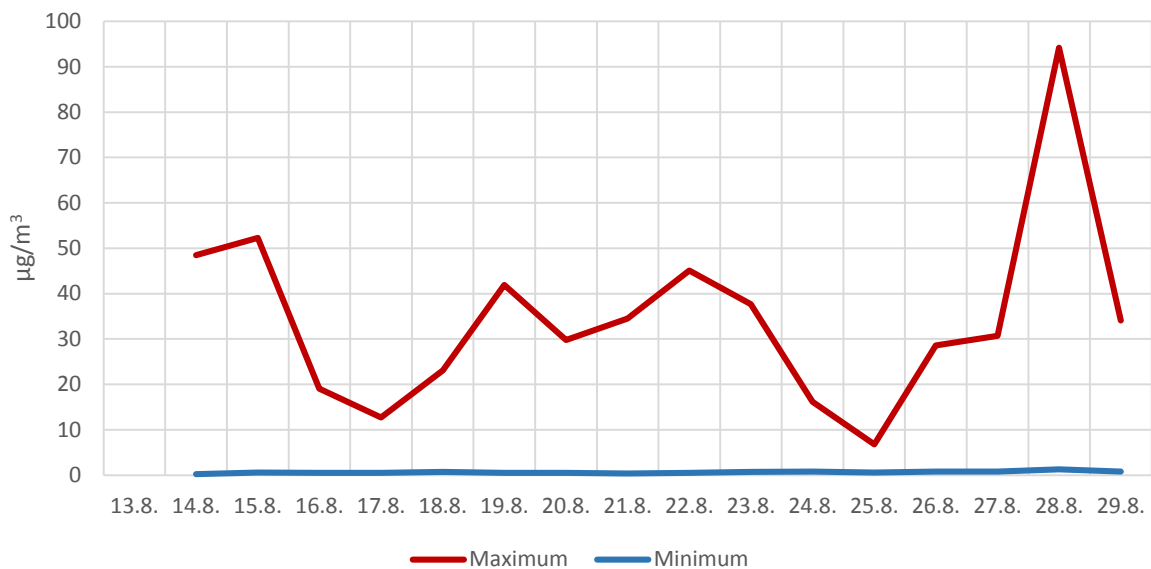
Následující tabulka a graf ukazují průměrné, maximální a minimální denní koncentrace NO během měřicí kampaně.

Tabulka 17 – denní průměrné, maximální a minimální koncentrace NO v jednotlivé dny měřicí kampaně

Datum	Průměr	Maximum	Minimum
13.8.			
14.8.	2.51	48.5	0.2
15.8.	4.10	52.3	0.6
16.8.	2.56	19.1	0.5
17.8.	2.71	12.7	0.5
18.8.	2.89	23.1	0.7
19.8.	2.96	41.9	0.5
20.8.	3.80	29.8	0.5
21.8.	2.05	34.5	0.4
22.8.	2.80	45.1	0.5
23.8.	3.81	37.7	0.7
24.8.	2.17	16.2	0.8
25.8.	1.78	6.8	0.6
26.8.	4.07	28.6	0.8
27.8.	5.46	30.7	0.8
28.8.	8.02	94.2	1.3
29.8.	4.16	34.1	0.8

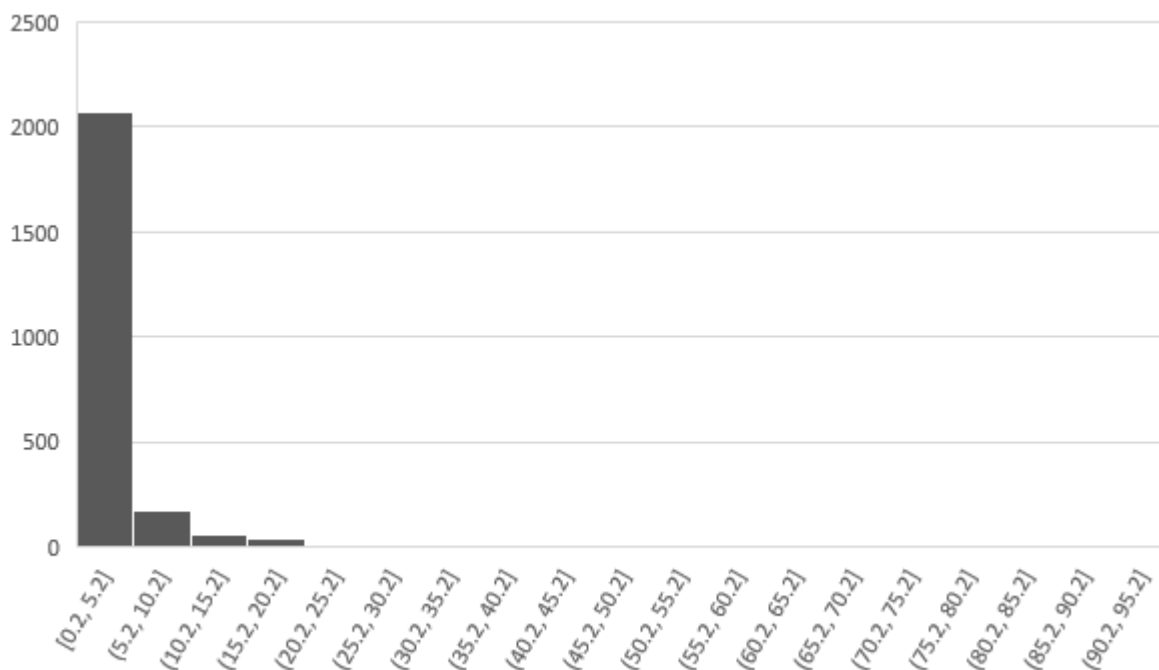


Obrázek 67 - denní průměrné koncentrace NO v jednotlivé dny měřicí kampaně



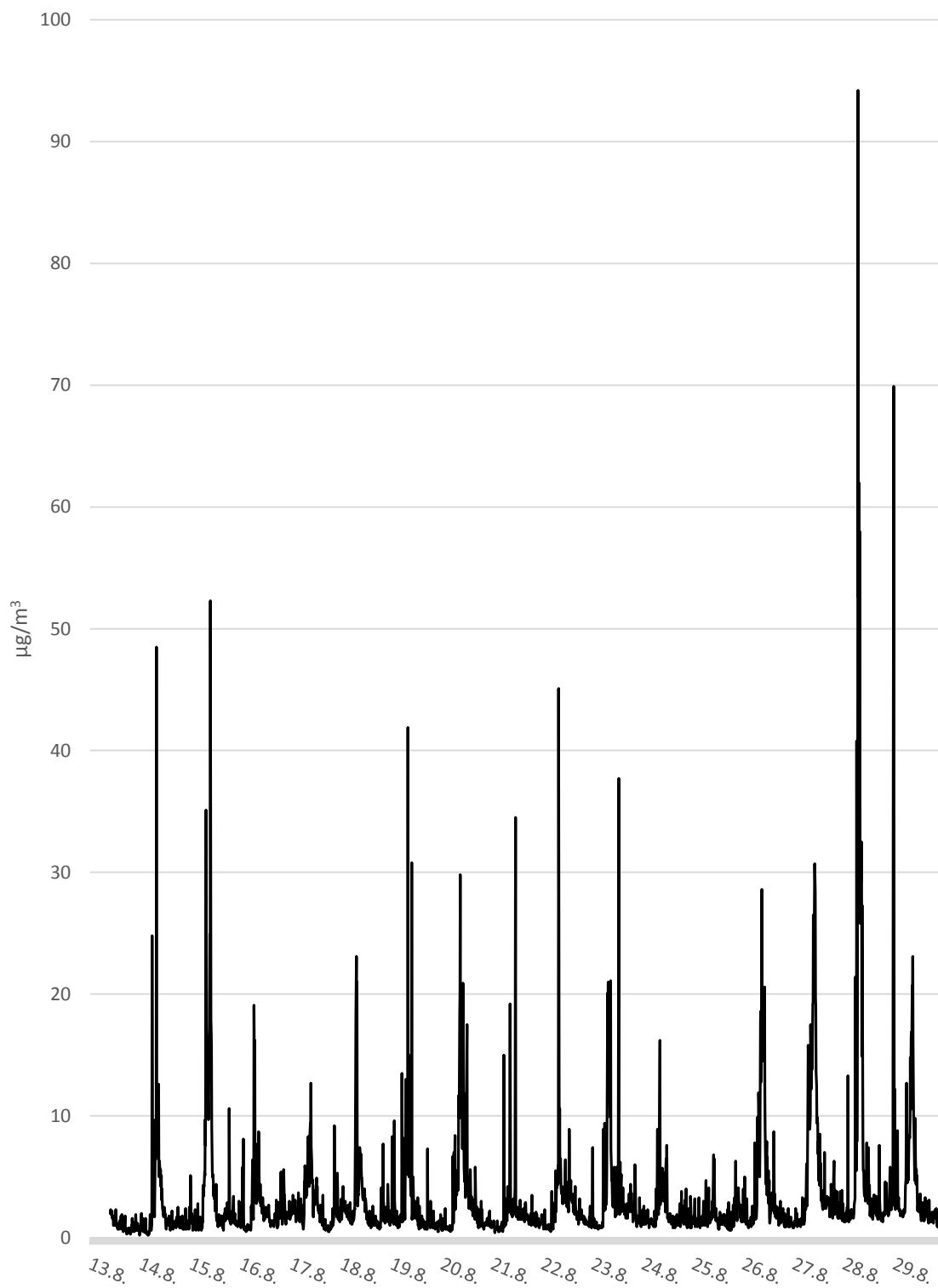
Obrázek 68 - denní maximální a minimální koncentrace NO v jednotlivé dny měřicí kampaně

Na histogramu četnosti koncentrací je jednoznačně patrná dominance intervalu nejnižších hodnot.



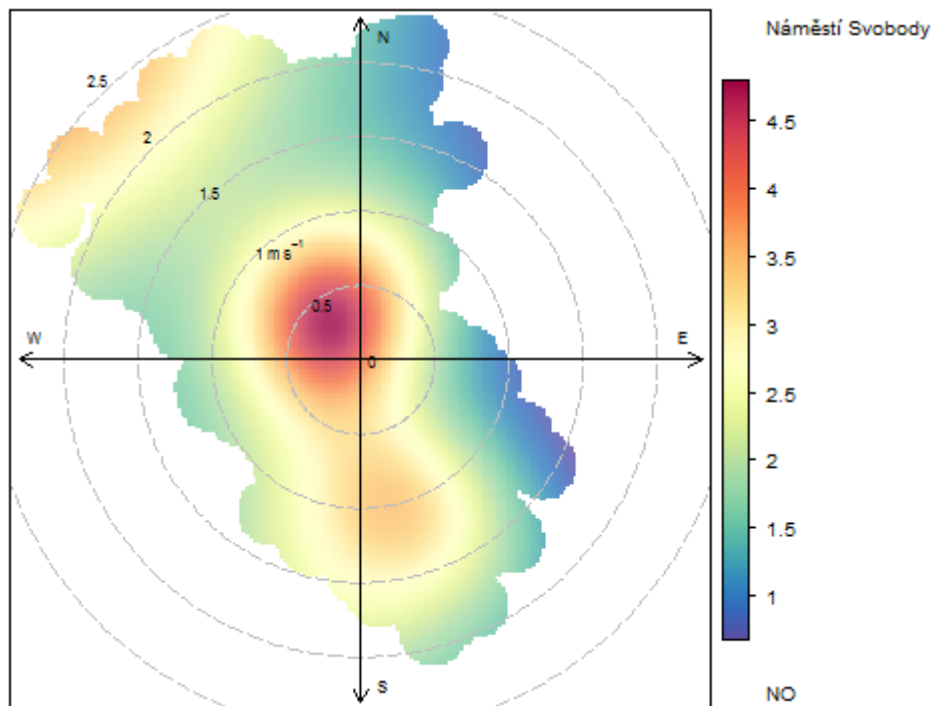
Obrázek 69 - histogram četnosti koncentrací NO v µg/m³

Následující graf ukazuje celkový průběh koncentrací NO během celé měřicí kampaně v 10minutovém kroku.

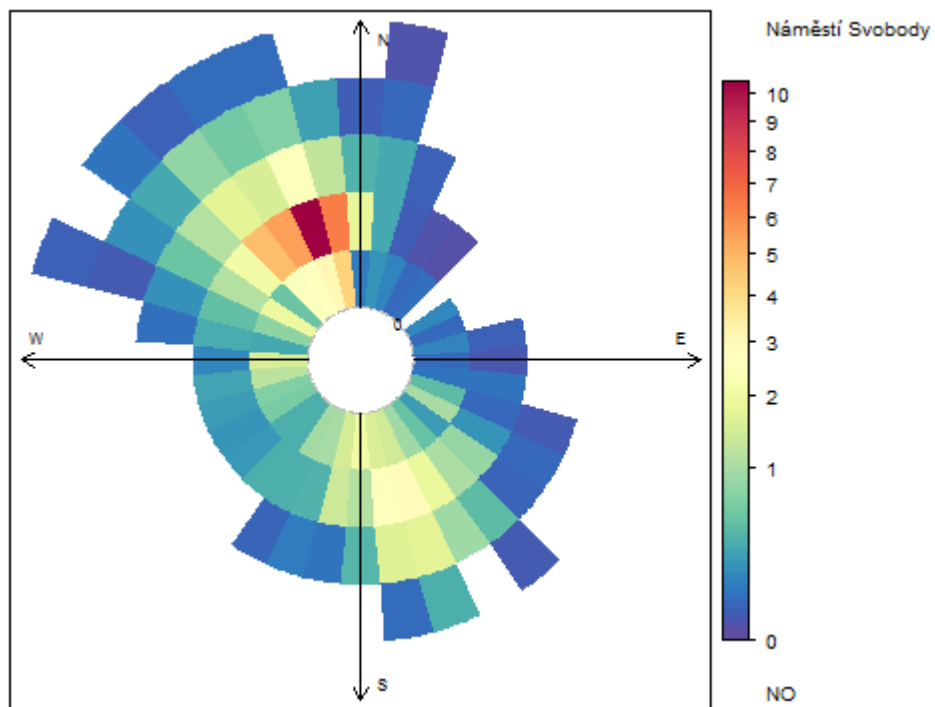


Obrázek 70 – průběh koncentrací NO na náměstí Svobody v 10minutovém kroku

Stejně jako v případě všech dalších znečišťujících látek byla i v tomto zkonstruována koncentrační a vážená koncentrační růžice.



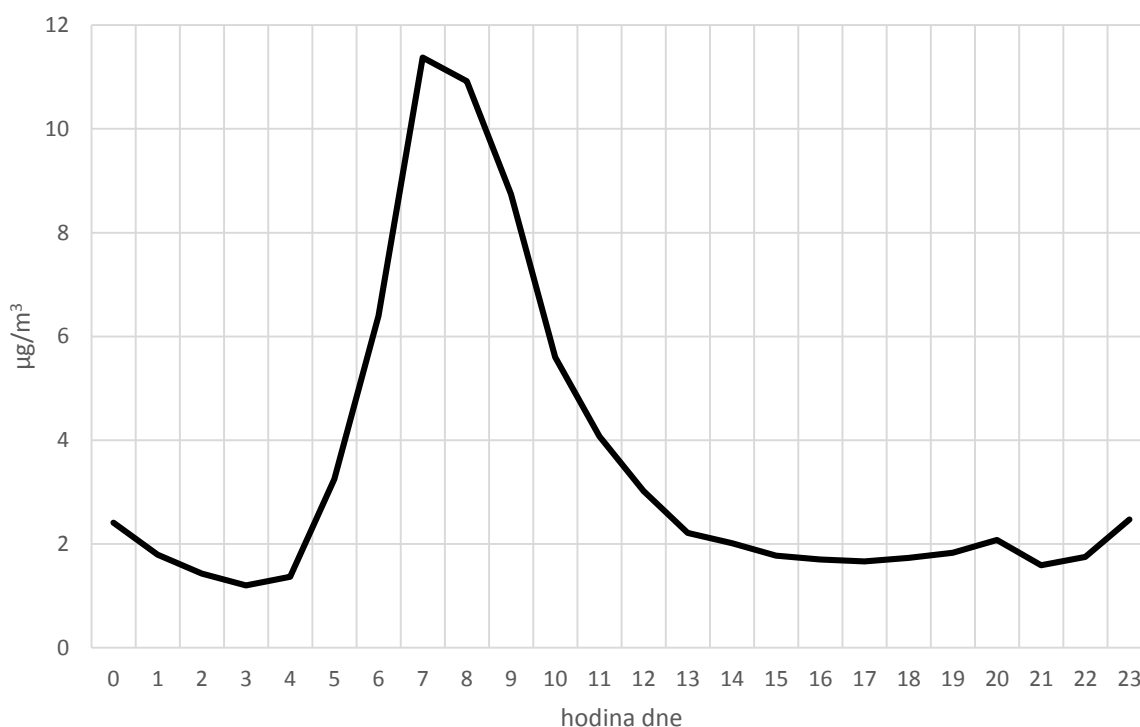
Obrázek 71 - koncentrační růžice pro NO za celé sledované období



Obrázek 72 – vážená koncentrační růžice pro NO za celé sledované období

První růžice ukazuje, že vysoké byly koncentrace NO pouze při rychlostech větru přibližně do 0,5 m/s. Ohnisko pak leží zejména na severozápad od vozu (směrem do centra náměstí). Vážená koncentrační růžice je velmi podobná váženým koncentračním růžicím suspendovaných částic a NO₂ – největší podíl je (v souladu s větrnou růžicí pro tuto lokalitu za dané období) ze severozápadu, což je důsledek dominantního směru větru z této světové strany.

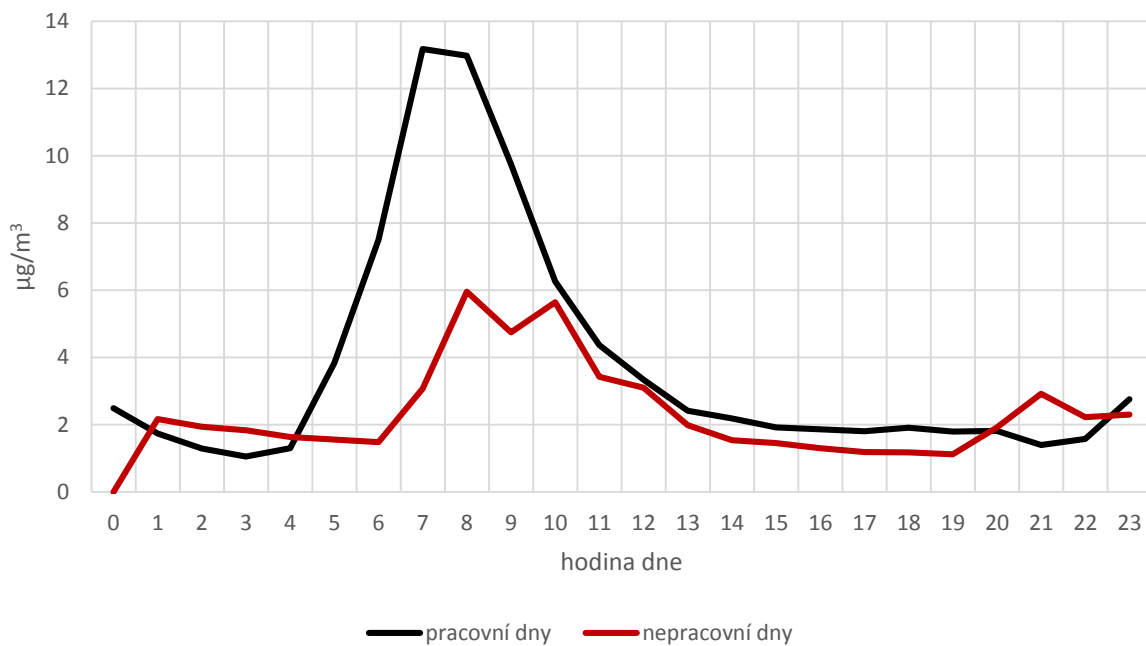
Zajímavý je také graf průměrného denního chodu koncentrací NO na náměstí.



Obrázek 73 - průměrné koncentrace NO v jednotlivé hodiny dne

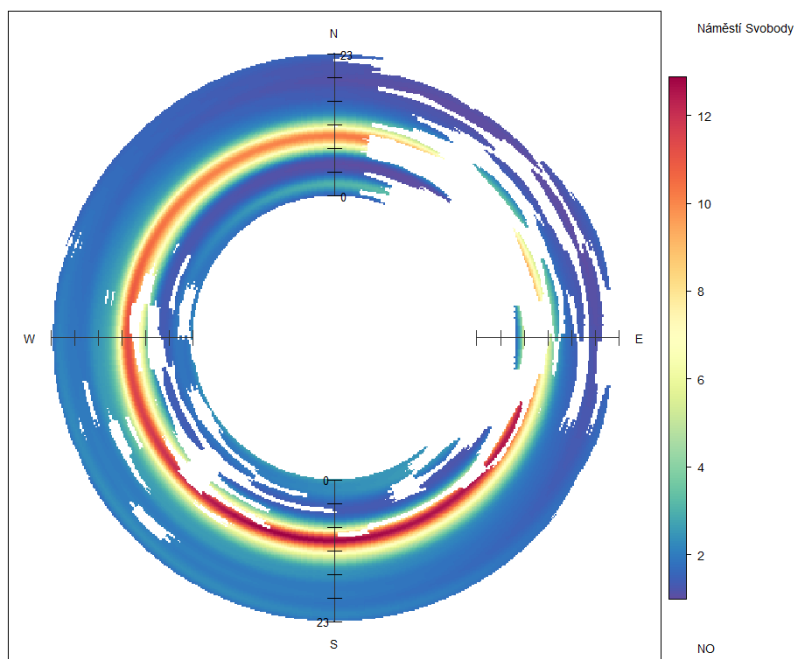
Na první pohled je totiž patrná absence druhé, večerní, špičky. Jak bylo zmíněno výše, NO vzniká při spalovacích procesech, nejčastěji ve městech v souvislosti s výfukovými plyny. Rychle se ale v ovzduší mění oxidací na NO₂. Přenos NO na delší vzdálenosti je zde tudíž velmi omezený. U NO₂ byly patrné špičky obě a podíl zde tedy měl i přenos z širšího okolí. V tomto případě je spíše pravděpodobné, že je nárůst dán nějakým lokálnějším zdrojem v ranních hodinách (mohlo by se jednat například o zásobování či další vozy, které sem v ranních hodinách zajíždí).

Průměrný chod v pracovní a nepracovní den se charakterem průběhu neliší, pouze se liší ve významnosti ranní špičky.



Obrázek 74 - průměrné koncentrace NO v jednotlivé hodiny dne zvláště pro pracovní a nepracovní dny

Blíže situaci denního chodu popisuje i následující anulární koncentrační růžice, která reprezentuje vztah mezi směrem větru, koncentrací NO a hodinou dne.



Obrázek 75 - anulární koncentrační růžice zobrazující vztah mezi koncentracemi NO, směrem větru a hodinou dne za celé sledované období

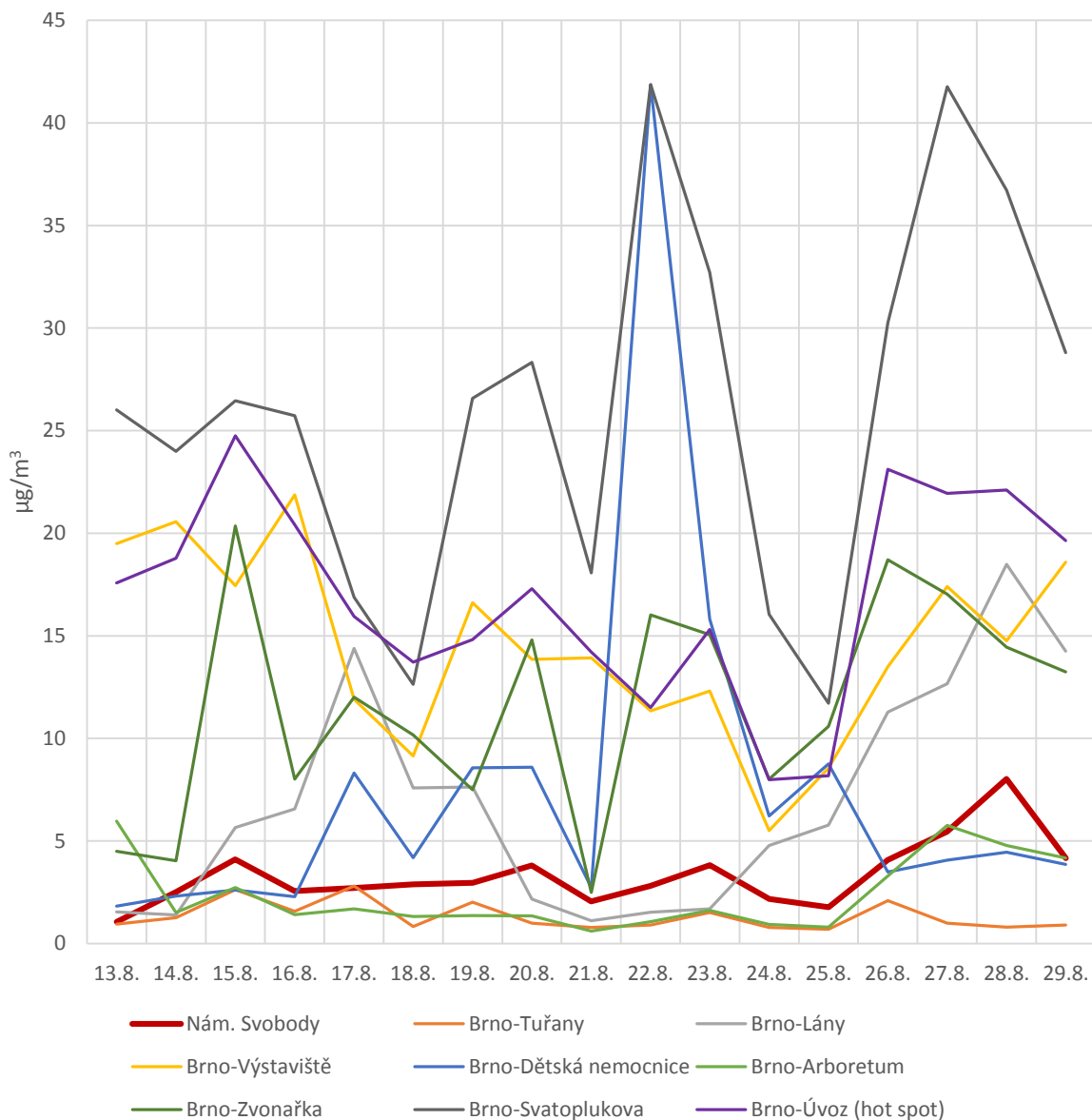
Růžice ukazuje poměrně ostrou hranici zvýšených koncentrací NO, které se projevují takřka výhradně v ranních hodinách a to víceméně ze všech směrů (s výjimkou severovýchodu, odkud ale vzhledem k poloze vozu ani proudit nemohlo). Spíše to tedy odpovídá hypotéze, že se znečištění NO na náměstí akumuluje a vzhledem k obecně velmi nízkým rychlostem větru šíří po náměstí z nějakého zdroje lokálnějším povahy.

Pokud srovnáme koncentrace NO na náměstí Svobody s ostatními stanicemi, je dobře patrný velký rozdíl mezi dopravními a pozadovými stanicemi. Navíc vzhledem k charakteru chování NO v ovzduší a jeho rychlé transformaci oxidací na NO₂ jsou koncentrace NO většinou vysoké pouze na místech blízko zdroje.

Následující tabulka a graf ukazují průměrné denní koncentrace NO na stanicích imisního monitoringu v Brně a náměstí Svobody v době měřicí kampaně.

Tabulka 18 - tabulka průměrných denních koncentrací NO na vybraných stanicích imisního monitoringu v Brně a z náměstí Svobody v období 13. 8. až 29. 8. 2019

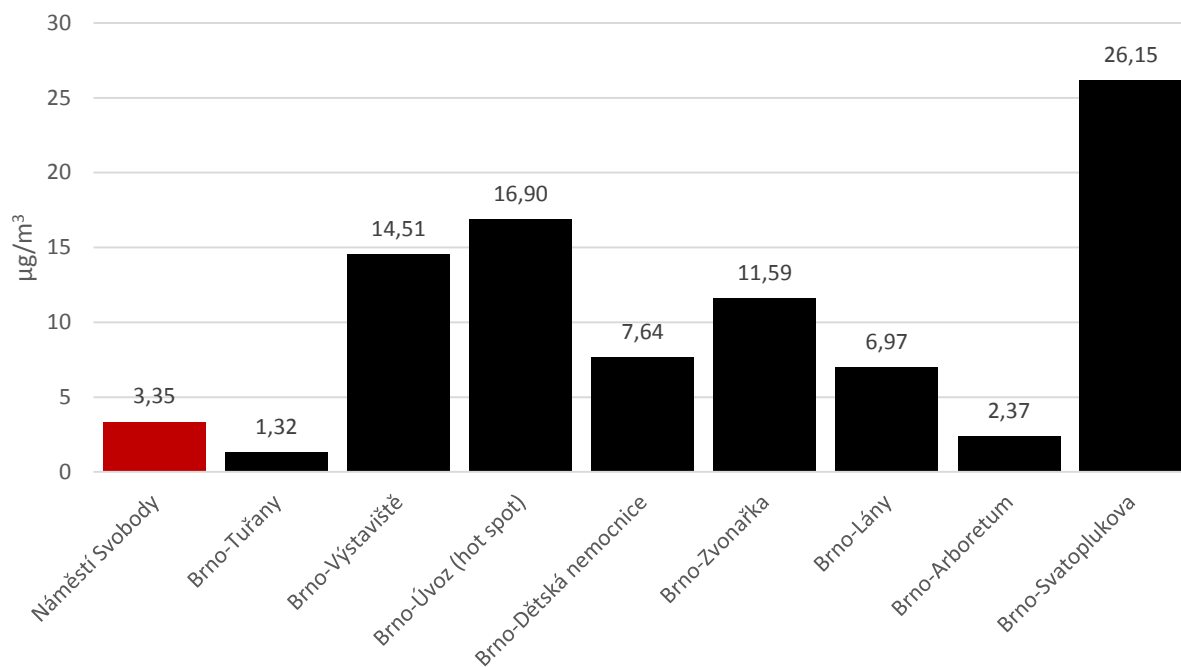
	Nám. Svobody	BBNY	BBMV	BBNV	BBDN	BBMK	BBML	BBMA	BBMS
13.8.	1.06	0.94	19.50	17.58	1.83	4.50	1.55	5.97	26.01
14.8.	2.51	1.26	20.55	18.78	2.31	4.04	1.40	1.50	23.99
15.8.	4.10	2.63	17.44	24.75	2.61	20.35	5.65	2.73	26.45
16.8.	2.56	1.57	21.86	20.42	2.28	8.01	6.56	1.41	25.73
17.8.	2.71	2.80	11.90	15.94	8.30	12.00	14.38	1.68	16.88
18.8.	2.89	0.83	9.15	13.72	4.19	10.17	7.58	1.31	12.63
19.8.	2.96	2.01	16.62	14.81	8.56	7.50	7.63	1.36	26.58
20.8.	3.80	0.99	13.85	17.30	8.60	14.80	2.17	1.34	28.32
21.8.	2.05	0.79	13.93	14.20	2.73	2.50	1.12	0.60	18.07
22.8.	2.80	0.91	11.35	11.51	41.85	16.02	1.53	1.06	41.87
23.8.	3.81	1.51	12.30	15.30	15.81	15.05	1.70	1.62	32.70
24.8.	2.17	0.79	5.50	7.99	6.21	8.02	4.77	0.94	16.05
25.8.	1.78	0.70	8.55	8.18	8.75	10.58	5.77	0.80	11.71
26.8.	4.07	2.09	13.50	23.11	3.48	18.70	11.29	3.30	30.25
27.8.	5.46	1.00	17.40	21.93	4.06	17.03	12.66	5.75	41.77
28.8.	8.02	0.79	14.75	22.11	4.46	14.45	18.48	4.78	36.72
29.8.	4.16	0.90	18.59	19.64	3.86	13.23	14.25	4.17	28.81



Obrázek 76 – graf průměrných denních koncentrací NO na vybraných stanicích imisního monitoringu v Brně a z náměstí Svobody v období 13. 8. až 29. 8. 2019

Na grafu je dobře vidět, že nejhorší stanicí v kontextu koncentrací NO v daném období byla v Brně jednoznačně dopravní stanice Brno-Svatoplukova v Židenicích. Tato stanice stojí v těsné blízkosti čtyřproudové dopravní tepny, která navíc zejména v době dopravních špiček bývá často místem dopravních kolon. Právě plynulost dopravy je přitom velmi významným faktorem v množství produkovaných emisí vozidly. Vyšší koncentrace NO jsou také na stanici Brno-Úvoz (hot spot) v centru Brna, která stojí na křižovatce dvou velkých dopravních komunikací.

Koncentrace NO na náměstí Svobody jsou relativně k jiným stanicím v Brně velmi nízké, což naznačuje, že významnější zdroj NO zde není a že v minulé kapitole zmíněné znečištění NO₂ na náměstí pravděpodobně pochází ze zdroje mimo náměstí z širšího brněnského okolí.



Obrázek 77 - průměrné koncentrace NO za celé období měřicí kampaně na náměstí Svobody a dalších brněnských stanicích imisního monitoringu

Z grafu výše je patrné, že koncentrace NO v časovém měřítku celé kampaně odpovídají pozadovým lokalitám Brno-Arboretum nebo Brno-Tuřany.

6.3 OXIDY DUSÍKU (NO_x)

Jako oxidy dusíku je v oblasti kvality ovzduší považován součet koncentrací oxidu dusičitého a oxidu dusnatého. Vzhledem k faktu, že NO je přechodný meziprodukt a rychle oxiduje mj. na NO₂, jsou koncentrace NO_x závislé především na koncentracích NO₂.

V zákoně o ochraně ovzduší má NO_x stanoven imisní limit pouze pro ochranu ekosystémů a vegetace. Hodnota imisního limitu je v tomto případě 30 µg/m³ v ročním průměru.

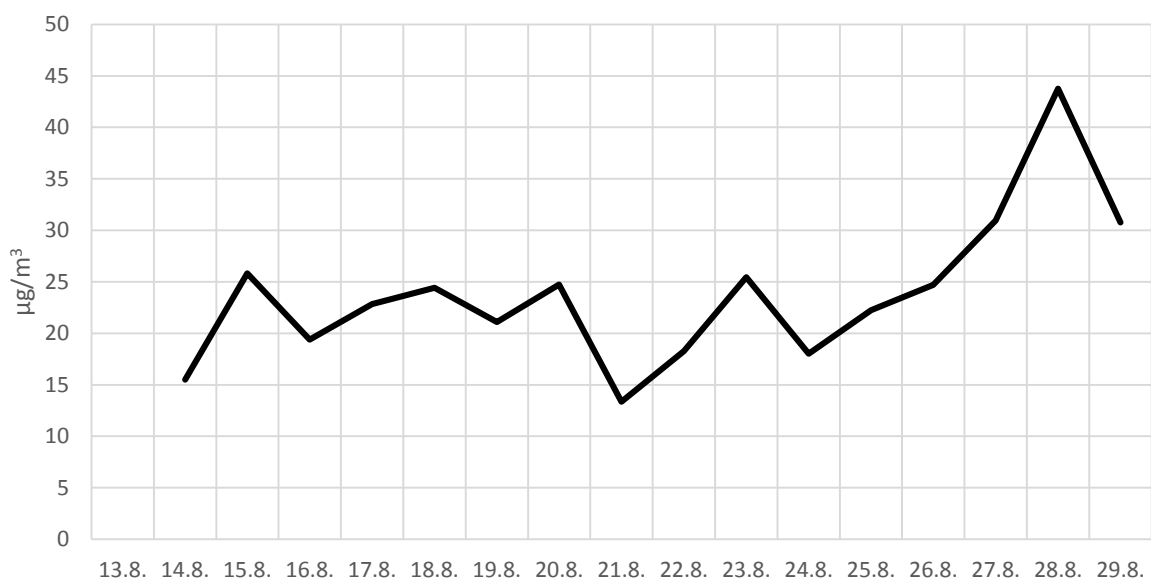
Průměrná koncentrace NO_x za celou měřicí kampaň na náměstí Svobody byla 23,33 µg/m³. Denní průměry se pohybovaly od 13,35 µg/m³ (21. 8.) do 43,76 µg/m³ (28. 8.). Absolutní maximum

bylo 241,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (toto maximum bylo dáno velmi vysokou koncentrací NO_2 – tato krátkodobá špička NO_2 byla popsána v kapitole o NO_2).

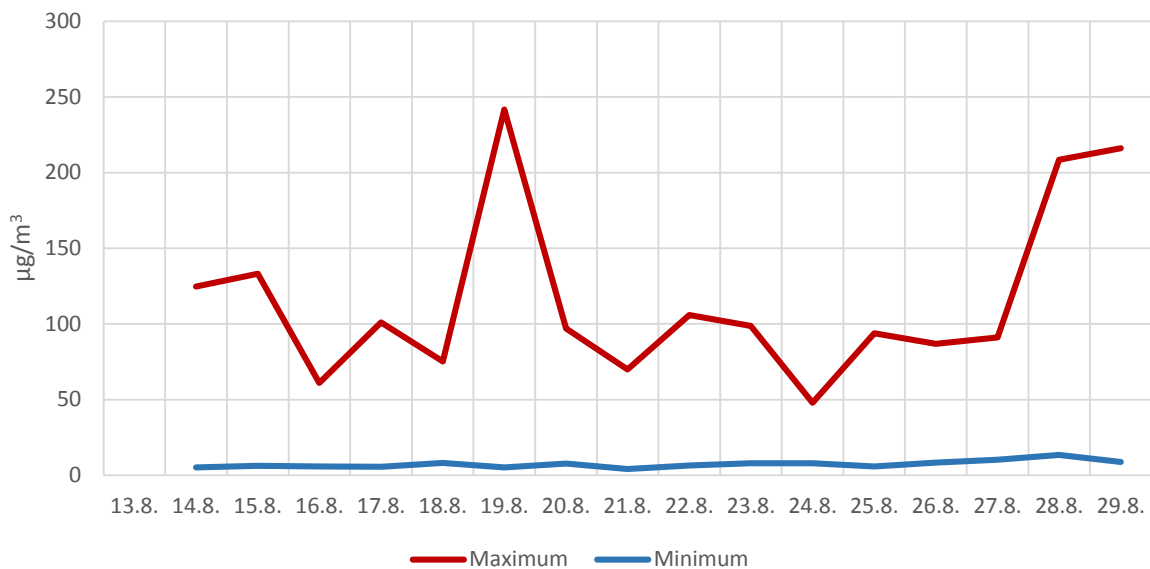
Následující tabulka ukazuje denní průměrné, maximální a minimální koncentrace NO_x v jednotlivé dny měřící kampaně.

Tabulka 19 - denní průměrné, maximální a minimální koncentrace NO_x v jednotlivé dny měřící kampaně

Datum	Průměr	Maximum	Minimum
13.8.			
14.8.	15.49	124.8	5.2
15.8.	25.83	133.2	6.1
16.8.	19.39	61.1	5.7
17.8.	22.84	101.1	5.5
18.8.	24.42	75.2	8.1
19.8.	21.09	241.8	5.2
20.8.	24.72	97	7.6
21.8.	13.35	69.8	4.1
22.8.	18.26	105.9	6.5
23.8.	25.44	98.7	8
24.8.	18.03	47.8	7.9
25.8.	22.23	93.8	5.8
26.8.	24.71	86.8	8.4
27.8.	30.96	91.1	10.2
28.8.	43.76	208.4	13.5
29.8.	30.78	216.2	8.7

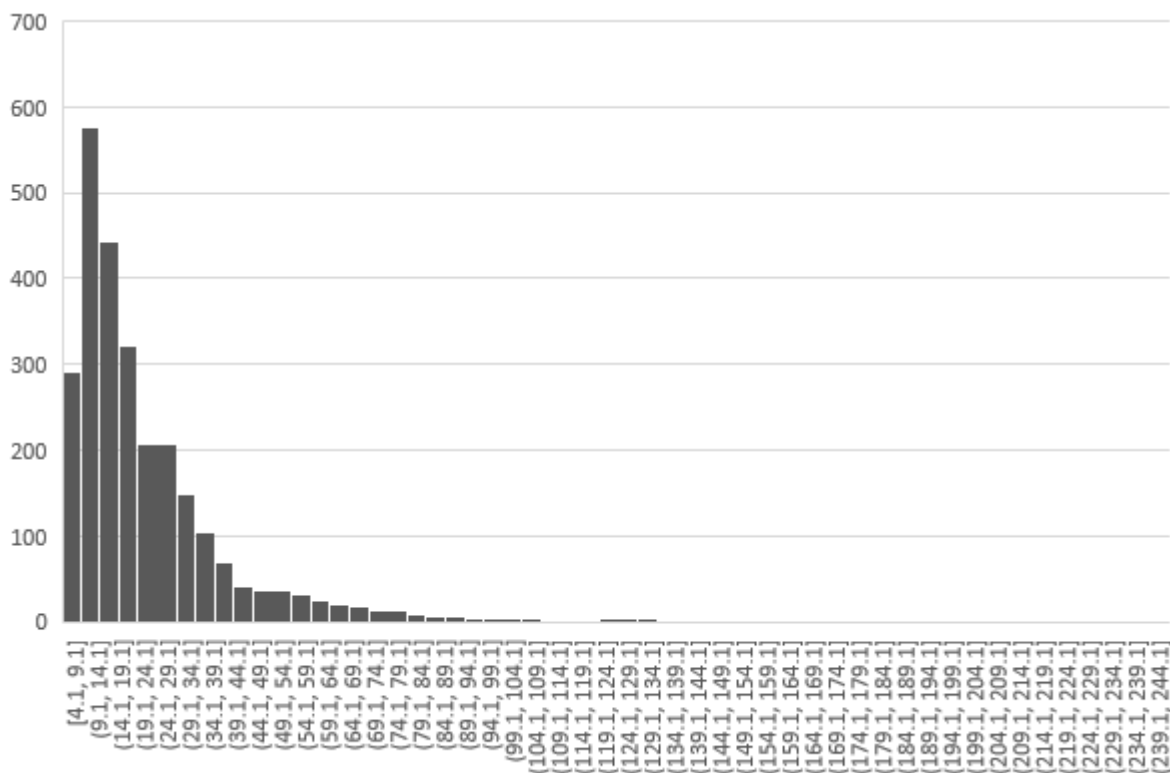


Obrázek 78 - denní průměrné koncentrace NO_x v jednotlivé dny měřící kampaně



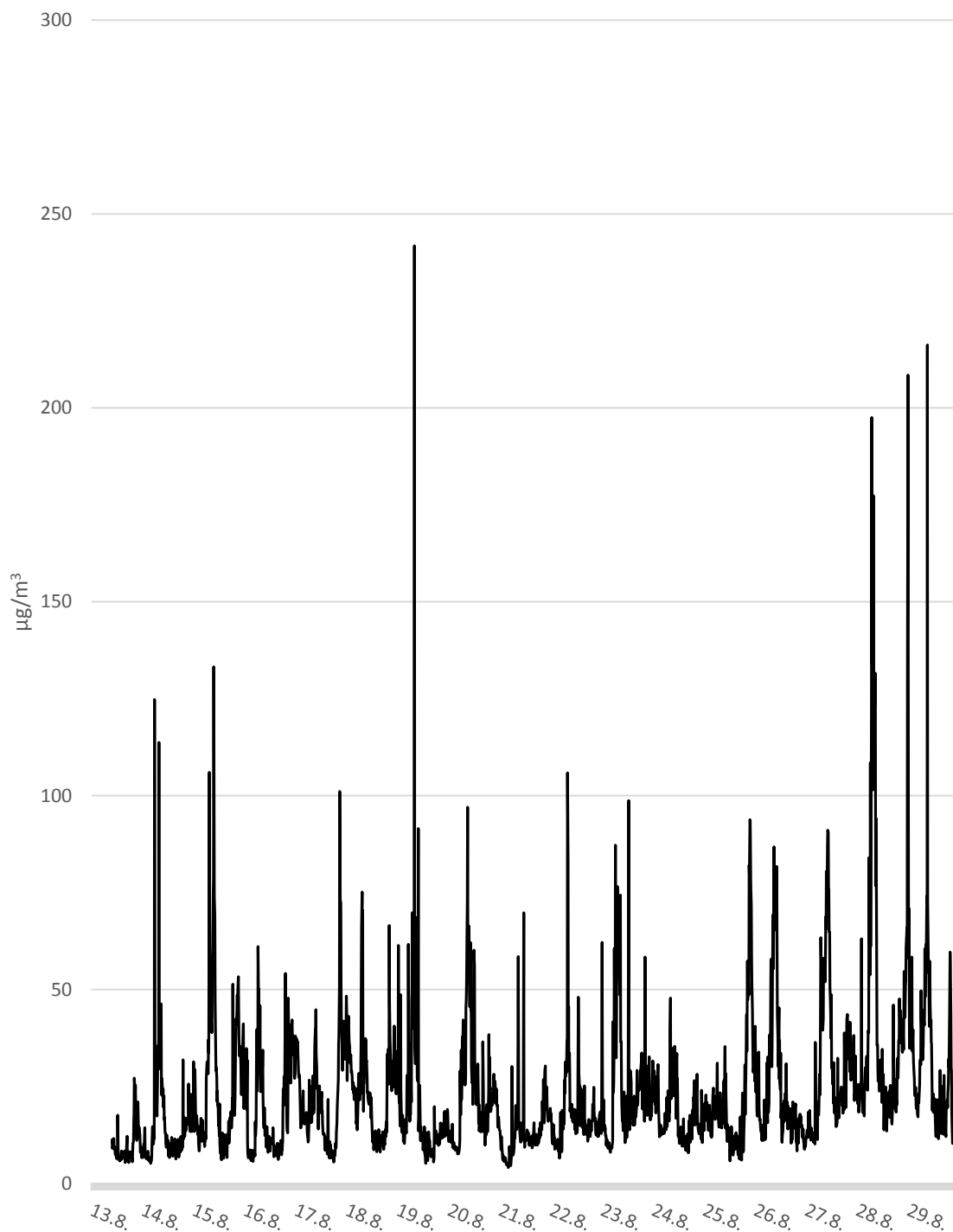
Obrázek 79 - denní maximální a minimální koncentrace NO v jednotlivé dny měřicí kampaně

Histogram četnosti koncentrací ukazuje, že nejčastěji se pohybovaly mezi 9,1 a 14,1 µg/m³.



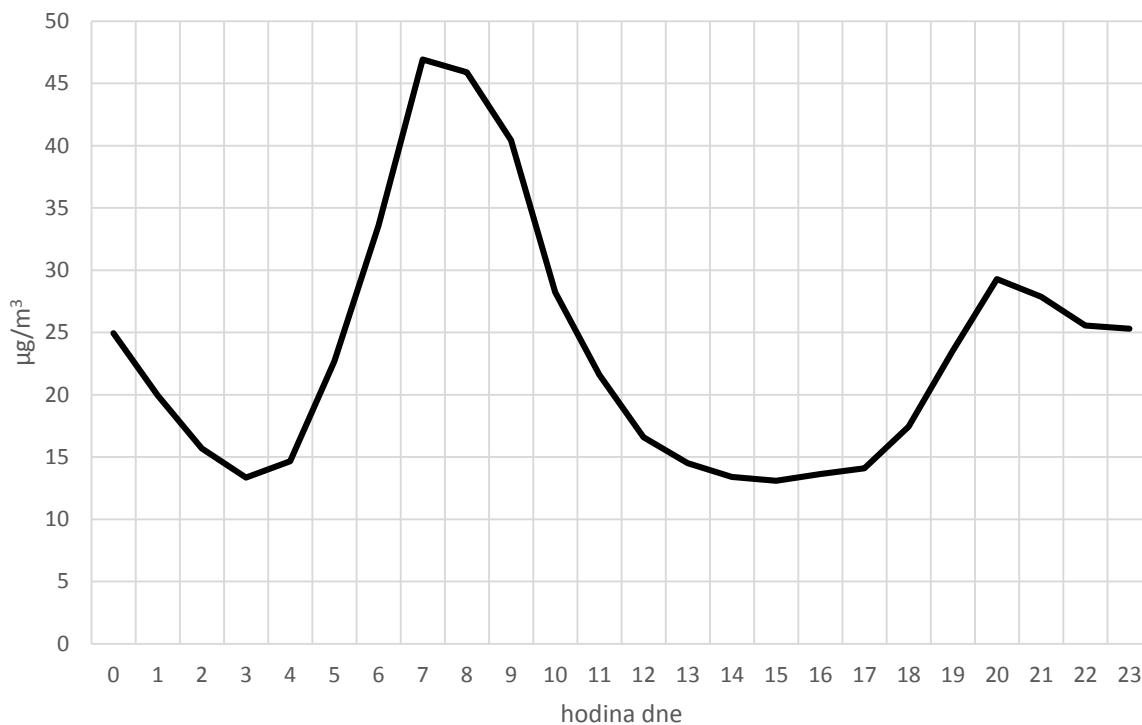
Obrázek 80 - histogram četnosti koncentrací NO_x v µg/m³

Následující graf ukazuje celkový průběh koncentrací NO_x v 10minutovém kroku za celou dobu měřící kampaně na náměstí Svobody.



Obrázek 81 - průběh koncentrací NO_x na náměstí Svobody v 10minutovém kroku

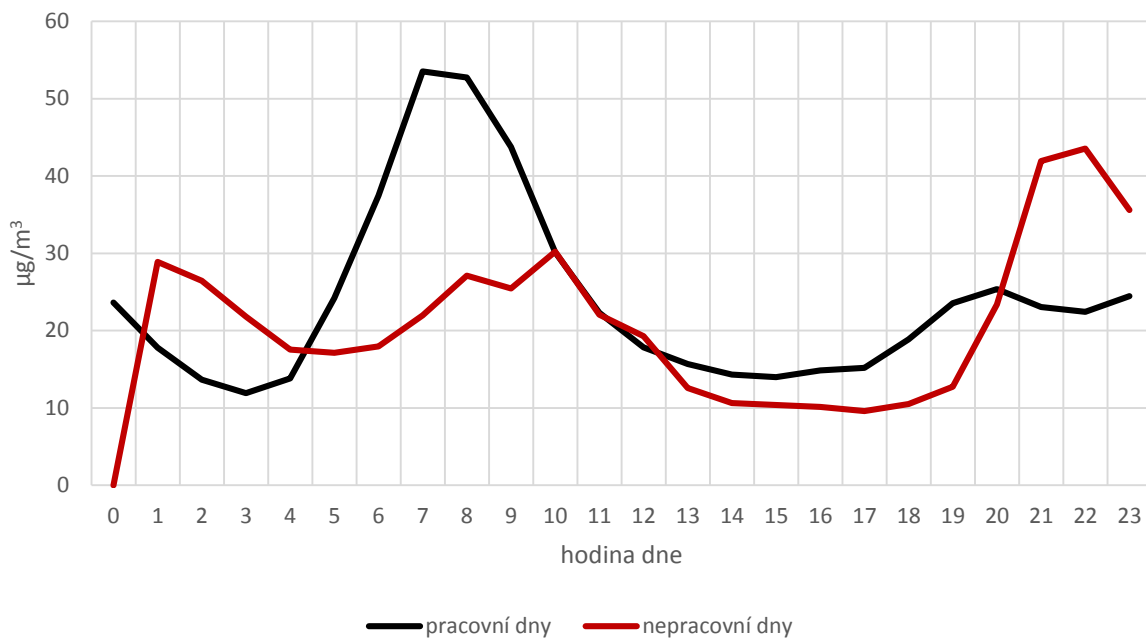
Jelikož je hodnota koncentrace NO_x dána součtem koncentrací NO₂ a NO, představuje graf průměrného chodu NO_x během dne kombinaci grafu chodů těchto dvou znečišťujících látek.



Obrázek 82 - průměrné koncentrace NO_x v jednotlivé hodiny dne

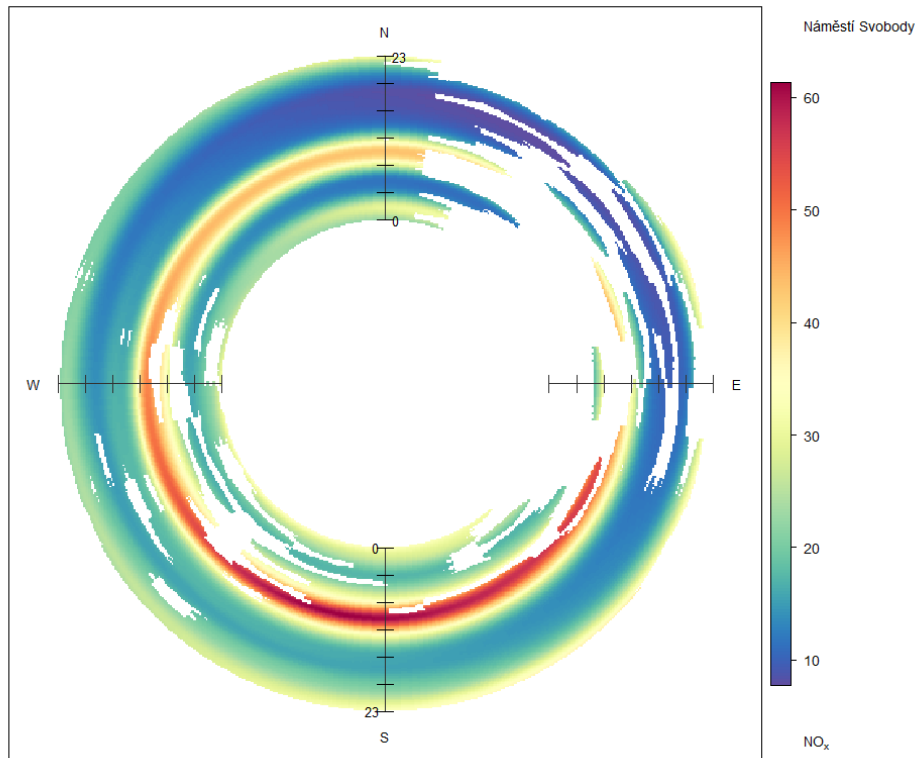
Vidět je významná ranní špička (patrná jak u NO₂, tak u NO) a následně i menší špička večerní (patrná pouze u NO₂).

Analogicky pak vypadá i rozdělení na pracovní a nepracovní dny. Jedná se opět o graf reflektující kombinaci totožných grafů NO a NO₂.



Obrázek 83 - průměrné koncentrace NOx v jednotlivé hodiny dne v pracovní a nepracovní dny

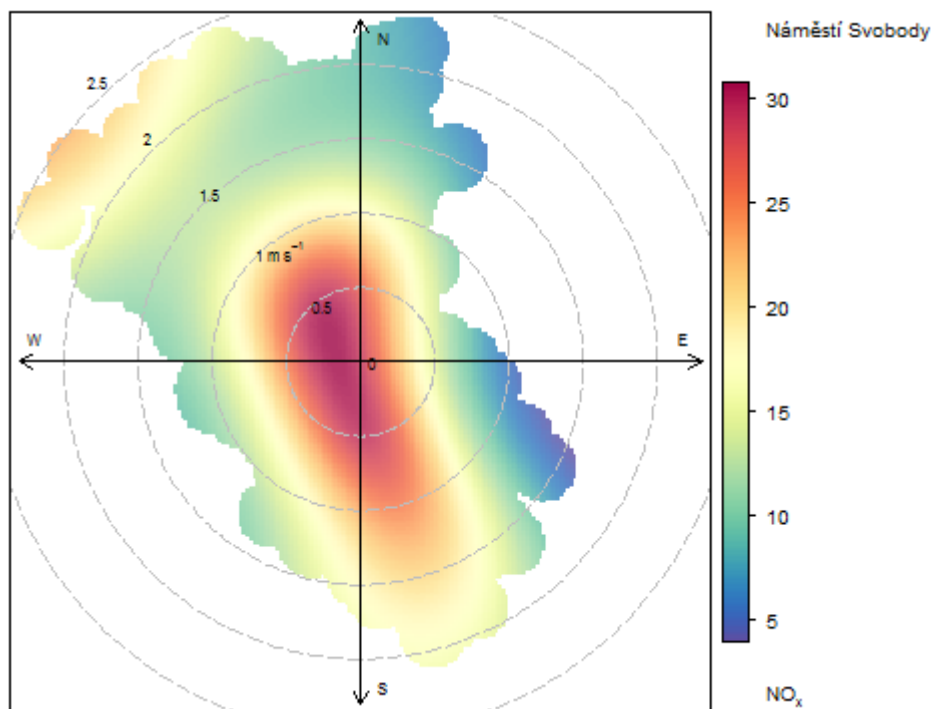
Patrná je výrazně vyšší špička v ranních hodinách v pracovní dny a naopak vyšší špička ve večerních hodinách nepracovních dní – avšak na základě analýzy výše bylo prokázáno, že se jedná nikoliv o večerní špičku v nepracovní dny, ale večerní špičku v neděli.



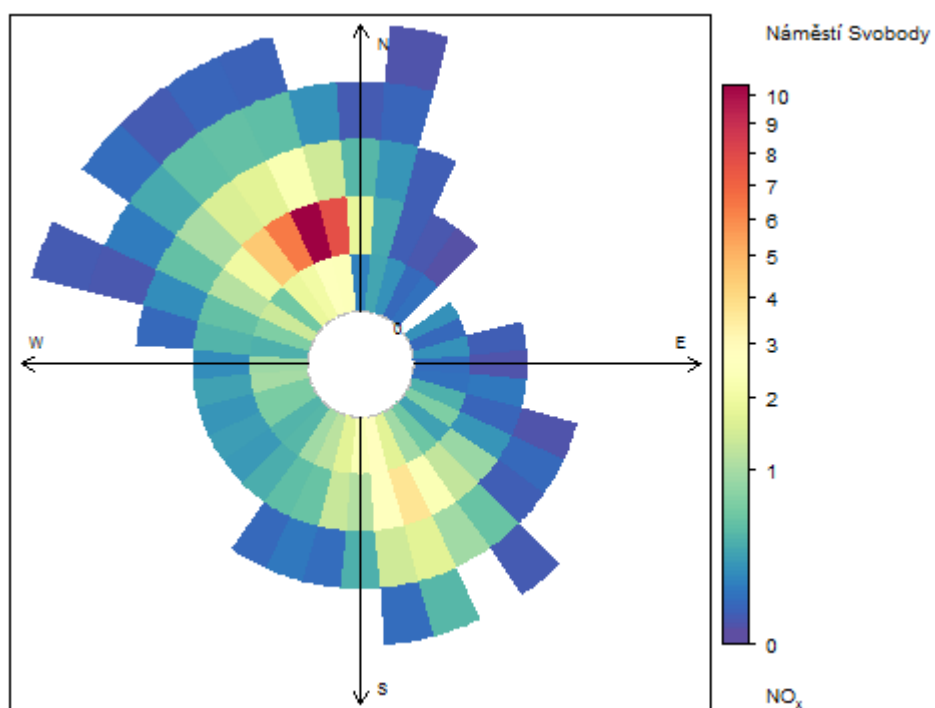
Obrázek 84 - anulární koncentrační růžice zobrazující vztah mezi koncentracemi NO_x, směrem větru a hodinou dne za celé sledované období

Anulární koncentrační růžice ukazuje, že významné jsou koncentrace NO_x v ranních hodinách a to částečně ze všech směrů a nejvíce od jihu.

Vztah mezi směrem větru, koncentracemi NO_x a rychlostí větru pak ukazují následující koncentrační růžice.



Obrázek 85 - koncentrační růžice pro NO_x za celé sledované období



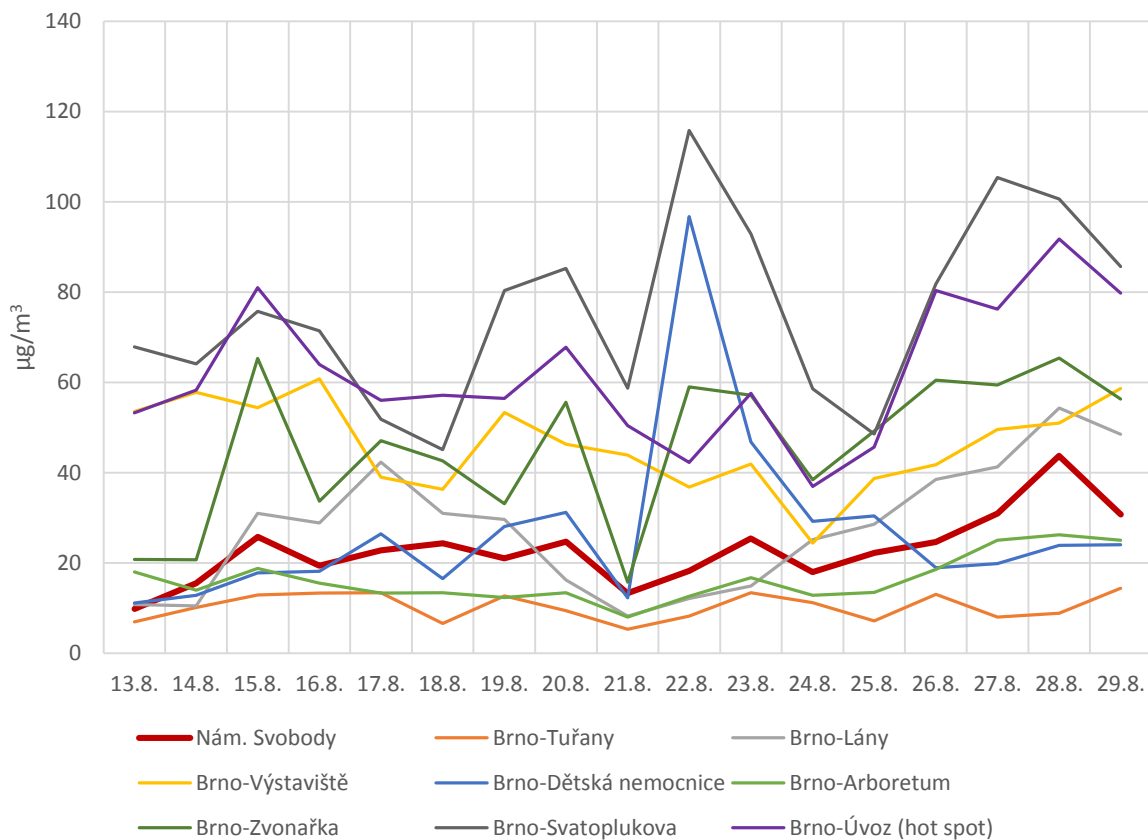
Obrázek 86 – vážená koncentrační růžice pro NO_x za celé sledované období

Z různých vyplývá, že vyšší koncentrace NO_x byly zaznamenány vždy při nejnižších rychlostech větru, v tomto konkrétním případě nejvíce při téměř úplném bezvětří (rychlosti větru do 0,5 m/s). Celkově největší podíl na množství NO_x měl severozápadní směr, což však je důsledek dominance tohoto směru proudění během měřicí kampaně.

Následující tabulka a graf ukazují srovnání koncentrací NO_x v jednotlivé dny na stanicích imisního monitoringu v Brně s daty z náměstí Svobody.

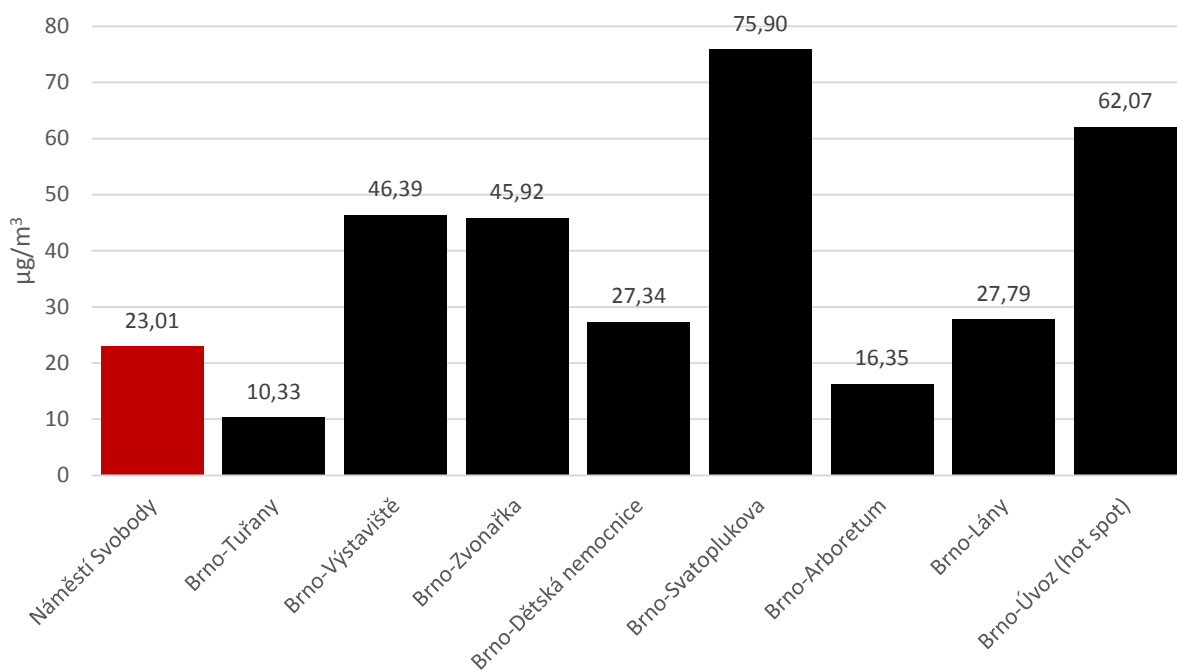
Tabulka 20 - tabulka průměrných denních koncentrací NO_x na vybraných stanicích imisního monitoringu v Brně a z náměstí Svobody v období 13. 8. až 29. 8. 2019

	Náměstí Svobody	BBNY	BBMV	BBMK	BBDN	BBMS	BBMA	BBML	BBNV
13.8.	9.89	6.95	53.55	20.83	11.14	67.89	18.03	10.79	53.28
14.8.	15.49	10.14	57.81	20.71	12.88	64.14	13.98	10.55	58.31
15.8.	25.83	12.96	54.45	65.38	17.81	75.74	18.83	31.04	81.00
16.8.	19.39	13.40	60.80	33.72	18.18	71.46	15.58	28.91	63.96
17.8.	22.84	13.42	39.04	47.14	26.46	51.90	13.37	42.37	56.03
18.8.	24.42	6.65	36.31	42.66	16.58	45.11	13.46	31.03	57.16
19.8.	21.09	12.75	53.37	33.15	28.13	80.39	12.38	29.69	56.45
20.8.	24.72	9.43	46.30	55.62	31.24	85.30	13.47	16.30	67.85
21.8.	13.35	5.36	43.94	15.80	12.28	58.73	8.06	8.23	50.43
22.8.	18.26	8.27	36.86	59.02	96.73	115.85	12.63	12.13	42.26
23.8.	25.44	13.42	41.94	57.19	46.84	92.93	16.75	14.93	57.58
24.8.	18.03	11.23	24.45	38.47	29.22	58.61	12.88	25.22	36.97
25.8.	22.23	7.23	38.72	49.22	30.43	48.60	13.51	28.63	45.73
26.8.	24.71	13.06	41.82	60.49	18.97	81.83	18.60	38.53	80.38
27.8.	30.96	8.02	49.57	59.43	19.91	105.43	25.06	41.30	76.26
28.8.	43.76	8.88	51.05	65.41	23.90	100.68	26.29	54.33	91.76
29.8.	30.78	14.42	58.71	56.37	24.05	85.66	25.10	48.55	79.80



Obrázek 87 - graf průměrných denních koncentrací NO na vybraných stanicích imisního monitoringu v Brně a z náměstí Svobody v období 13. 8. až 29. 8. 2019

Graf srovnávající koncentrace oxidů dusíku na jednotlivých brněnských stanicích ukazuje, že hodnoty naměřené na náměstí Svobody jsou spíše podprůměrné a odpovídají pozadovým stanicím.



Obrázek 88 - průměrné koncentrace NOx za celé období měřicí kampaně na náměstí Svobody a dalších brněnských stanicích imisního monitoringu

Z celkového průměru NOx je vidět, že byla hodnota z náměstí Svobody někde mezi hodnotami stanic Brno-Arboretum a vyšší hodnotou na pozadových stanicích Brno-Lány a Brno-Dětská nemocnice. Celkový průměr byl více než trojnásobně nižší než na stanici Brno-Svatoplukova, která má v tomto ohledu nejvyšší hodnotu z brněnských stanic, následovaná další intenzivně dopravně zatíženou stanicí Brno-Úvoz (hot spot).

7. OXID SIŘIČITÝ (SO₂)

Oxid siřičitý je bezbarvý štiplavě zapáchající jedovatý plyn. V minulosti se jednalo o jeden z nejproblematictějších polutantů, co se týče kvality ovzduší. Přírodním zdrojem oxidu siřičitého v ovzduší je vulkanická činnost (Wallace, 1994), hlavním zdrojem je však lidská činnost (Smith, 2011). Do ovzduší se dostává spalováním fosilních paliv během průmyslových procesů i v domácnostech z lokálních topenišť. Vzniká jako vedlejší produkt spalování hnědého uhlí. Díky využívání kvalitnějších paliv a technologických procesů včetně odsiřování kouře z elektráren již dnes v drtivé většině případů nepřekračují koncentrace SO₂ platné imisní limity.

Pro oxid siřičitý jsou platné imisní limity jak pro ochranu zdraví, tak pro ochranu ekosystémů a vegetace. Hodinový imisní limit pro ochranu zdraví je rovný 350 µg/m³ a může být překročen maximálně 24x za rok. 24h imisní limit pro ochranu zdraví byl stanoven na 125 µg/m³ a může být překročen maximálně 3x za rok. Imisní limit pro ochranu ekosystému a vegetace je platný pro rok a zimní období (říjen-březen) a má hodnotu 20 µg/m³.

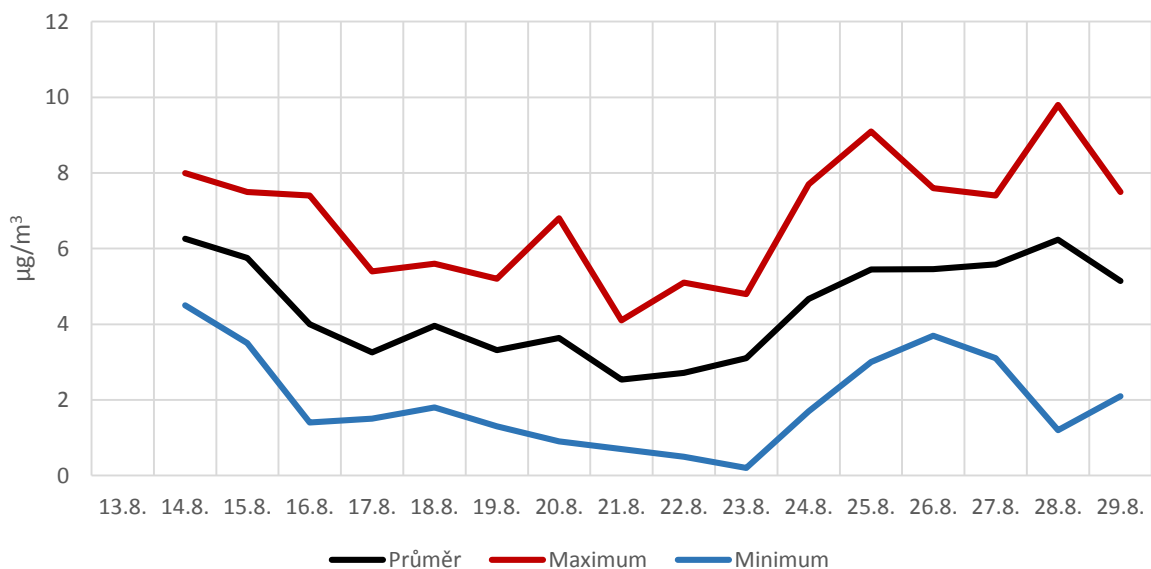
Oxid siřičitý je značně toxický plyn, který představuje velké riziko zejména pro rostliny, protože reakcí s chlorofylem narušuje fotosyntézu (Choi, 2014). U lidí působí dráždivě zejména na horní cesty dýchací, může podporovat vznik astmatu a dlouhodobá expozice vysokým koncentracím může narušovat krevetvorbu a poškozovat srdeční sval (Kermani, 2016; Geravandi, 2015; Lewis, 2016).

Průměrná koncentrace za celou měřicí kampaň byla pouze 4,52 µg/m³. Denní průměry se pohybovaly od 2,54 µg/m³ (21. 8.) po 6,27 µg/m³ (14. 8.). Absolutně maximální naměřená koncentrace byla 9,8 µg/m³ (28. 8. 2019 01:00).

Následující graf a tabulka ukazují průměrné, maximální a minimální denní koncentrace SO₂ během měřicí kampaně na náměstí Svobody.

Tabulka 21 - denní průměrné, maximální a minimální koncentrace SO₂ v jednotlivé dny měřicí kampaně

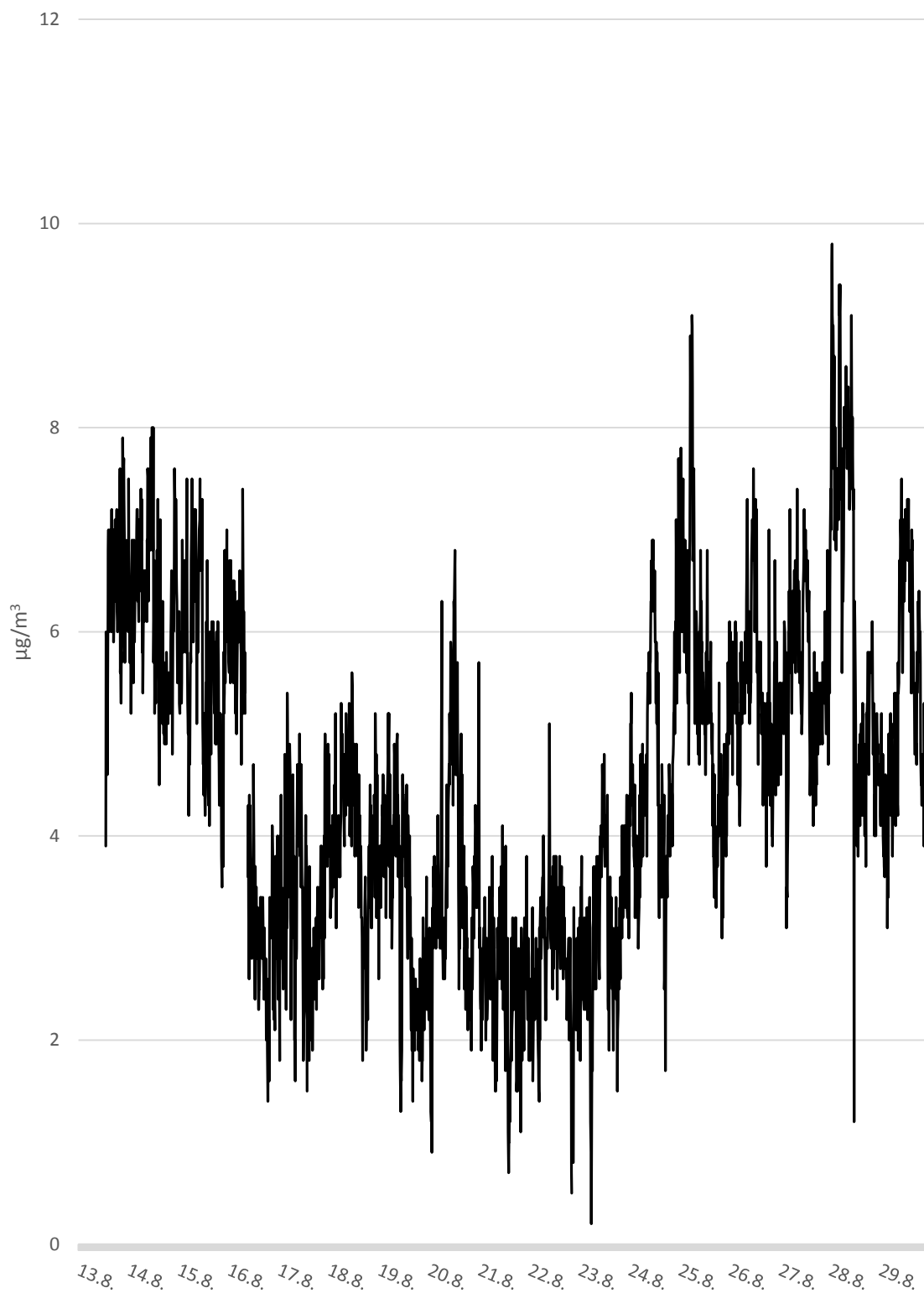
Datum	Průměr	Maximum	Minimum
13.8.			
14.8.	6.27	8	4.5
15.8.	5.75	7.5	3.5
16.8.	4.00	7.4	1.4
17.8.	3.26	5.4	1.5
18.8.	3.96	5.6	1.8
19.8.	3.32	5.2	1.3
20.8.	3.64	6.8	0.9
21.8.	2.54	4.1	0.7
22.8.	2.71	5.1	0.5
23.8.	3.10	4.8	0.2
24.8.	4.67	7.7	1.7
25.8.	5.45	9.1	3
26.8.	5.46	7.6	3.7
27.8.	5.58	7.4	3.1
28.8.	6.24	9.8	1.2
29.8.	5.14	7.5	2.1



Obrázek 89 - denní průměrné, maximální a minimální koncentrace SO₂ v jednotlivé dny měřicí kampaně

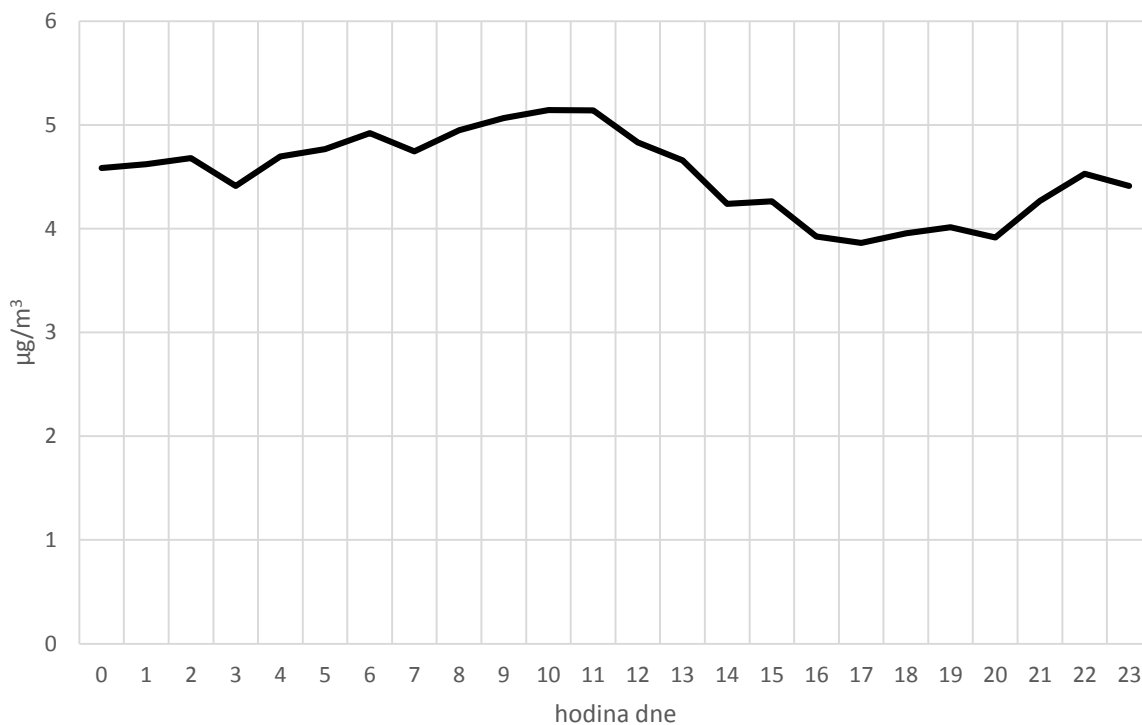
Z výše uvedené tabulky a grafu je patrné, že se koncentrace pohybovaly dle očekávání hluboko pod imisními limitem. Jelikož je toto platné pro až na naprosto výjimečné situace na konkrétních lokalitách v České republice, pro celé naše území, od měření SO₂ se momentálně upouští a koncentrace se monitorují jen na nutném minimu stanic.

Následující graf ukazuje celkový průběh koncentrací SO₂ během celé měřicí kampaně v 10minutovém kroku.



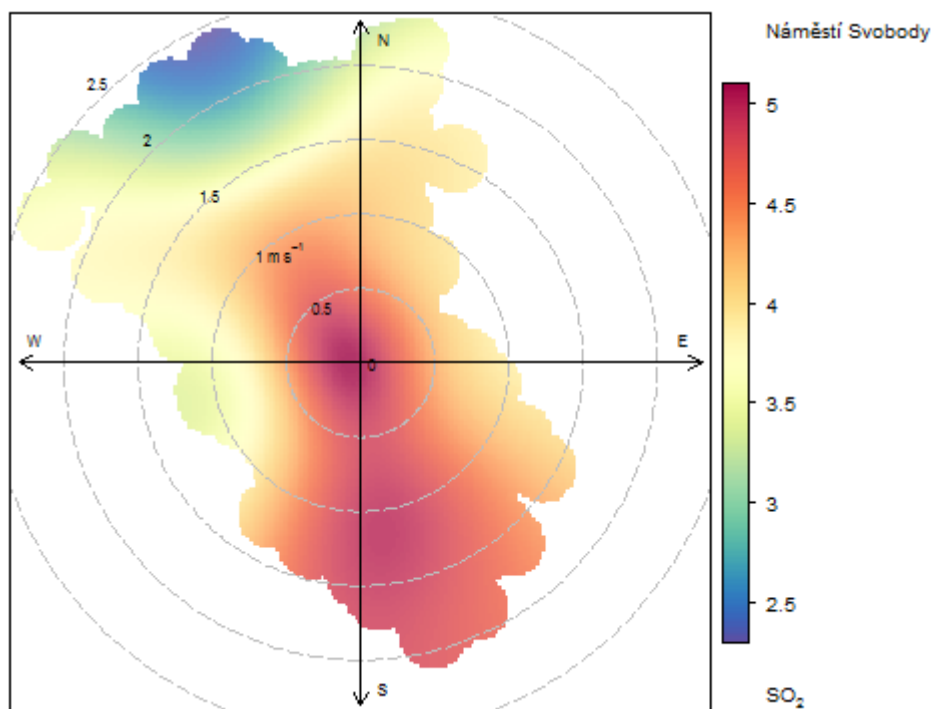
Obrázek 90 - průběh koncentrací SO₂ na náměstí Svobody v 10minutovém kroku

Jak ukazuje následující graf, koncentrace SO_2 nevykazují ani žádný specifický denní chod, nejsou zde patrné žádné výraznější špičky v konkrétní denní dobu.



Obrázek 91 - průměrné koncentrace SO_2 v jednotlivé hodiny dne

Jak ukazuje koncentrační růžice SO_2 níže, vyšší byly koncentrace při jižním směru větru, při velmi nízkých rychlostech větru prakticky ze všech stran. Vzhledem k velmi nízkým hodnotám však nelze tomuto faktu přisuzovat žádnou významnější váhu.

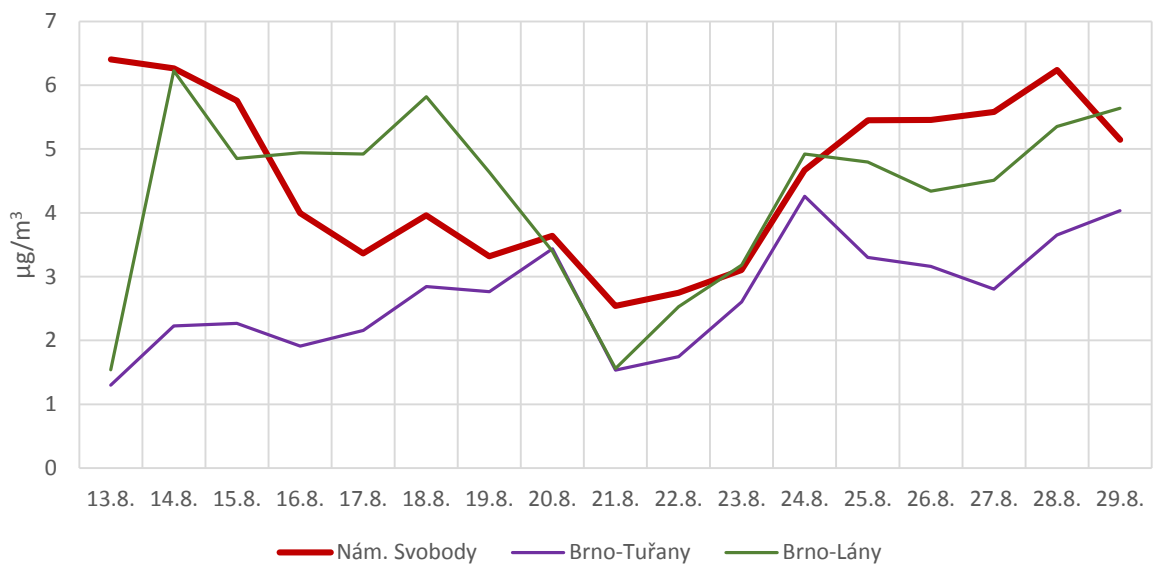


Obrázek 92 - koncentrační růžice pro SO₂ za celé sledované období

Jak již bylo zmíněno, oxid siřičitý se dnes již monitoruje na relativně malém počtu stanic, z brněnských jsou to stanice Brno-Tuřany a stanice Brno-Lány. Následující tabulka a graf ukazují srovnání dat z těchto dvou stanic s daty z náměstí Svobody.

Tabulka 22 – tabulka průměrných denních koncentrací SO₂ na vybraných stanicích imisního monitoringu v Brně a z náměstí Svobody v období 13. 8. až 29. 8. 2019

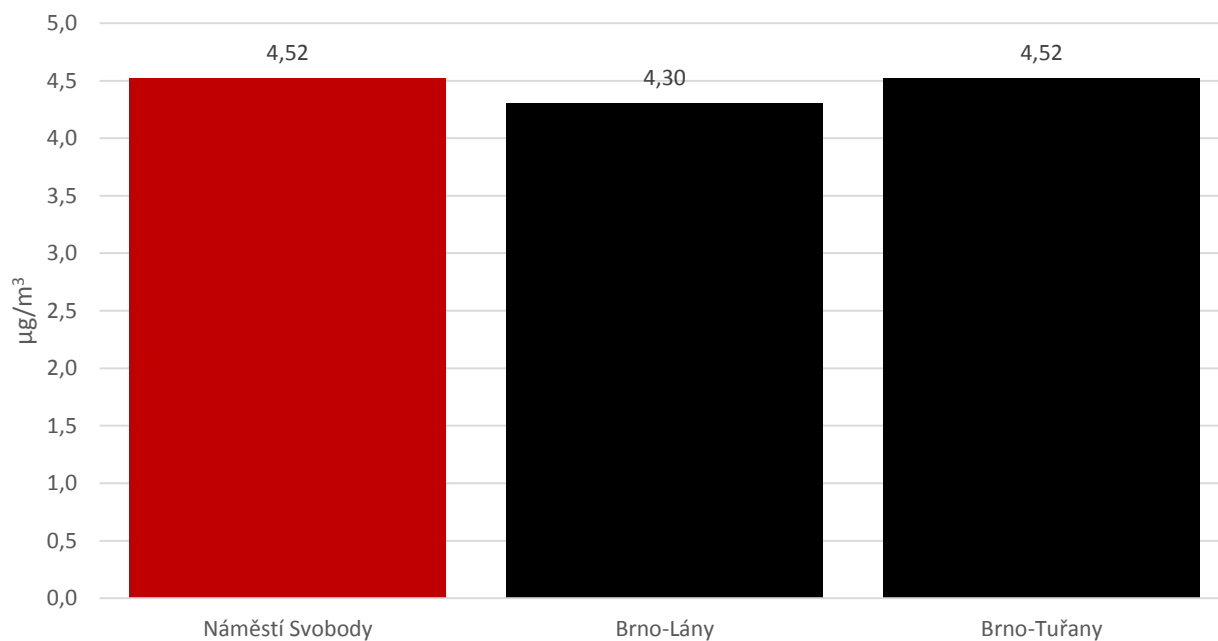
	Brno-Tuřany	Brno-Lány	Náměstí Svobody
13.8.	1.30	1.54	6.41
14.8.	2.23	6.23	6.27
15.8.	2.27	4.85	5.75
16.8.	1.91	4.94	4.00
17.8.	2.16	4.92	3.36
18.8.	2.84	5.82	3.96
19.8.	2.76	4.63	3.32
20.8.	3.43	3.40	3.64
21.8.	1.53	1.56	2.54
22.8.	1.74	2.53	2.75
23.8.	2.60	3.18	3.10
24.8.	4.26	4.92	4.67
25.8.	3.30	4.80	5.45
26.8.	3.16	4.34	5.46
27.8.	2.80	4.51	5.58
28.8.	3.65	5.35	6.24
29.8.	4.03	5.64	5.14



Obrázek 93 - graf průměrných denních koncentrací SO₂ na vybraných stanicích imisního monitoringu v Brně a z náměstí Svobody v období 13. 8. až 29. 8. 2019

Celkový průměr koncentrace SO₂ na všech stanicích je 4,52 µg/m³ (náměstí Svobody), 4,30 µg/m³ (Brno-Lány) a 2,71 µg/m³ (Brno-Tuřany). Ačkoliv je tedy průměr z dat měřícího vozu na

náměstí Svobody nejvyšší, v kontextu absolutních hodnot je rozdíl zcela zanedbatelný a jedná se ve všech případech o řádově nižší hodnoty, než kolik je hodnota imisního limitu.



Obrázek 94 - průměrné koncentrace SO₂ za celé období měřící kampaně na náměstí Svobody a dalších brněnských stanicích imisního monitoringu

8. OXID UHELNATÝ (CO)

Oxid uhelnatý je bezbarvý jedovatý plyn, bez zápachu. Vzhledem ke své toxicitě se jedná o jednu ze sledovaných látek znečišťujících ovzduší. Hlavním antropogenním zdrojem CO je především nedokonalé spalování fosilních paliv, kdy je teplota příliš nízká, není k dispozici dostatečné množství kyslíku nebo není čas hoření dostatečný, a namísto úplné oxidace na CO₂ se uvolňuje právě oxid uhelnatý (Ergin, 2016). Toxicita tohoto plynu spočívá v jeho vazbě na krevní barvivo hemoglobin a následný vznik karboxyhemoglobinu (Rose, 2017). Tato reakce značně omezí přenos kyslíku do buněk.

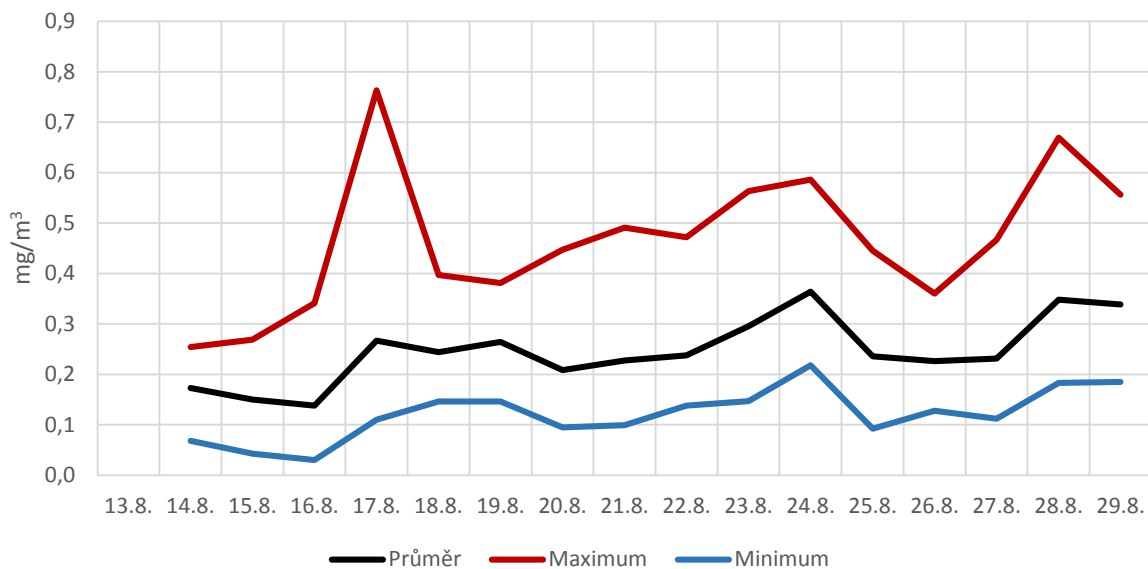
Imisní limit pro oxid uhelnatý je 10 mg/m³ jako maximální denní 8h klouzavý průměr.

Průměrná koncentrace CO za celou měřicí kampaň byla 0,245 mg/m³. Denní průměrné koncentrace se pohybovaly od 0,138 mg/m³ (16. 8.) do 0,364 mg/m³ (24. 8.). Absolutní maximum naměřené během měřicí kampaně bylo 0,763 mg/m³ (17. 8. 2019 ve 22:10).

Následující tabulka a graf ukazují denní průměrné koncentrace, maximální koncentrace a minimální koncentrace za dobu měřicí kampaně.

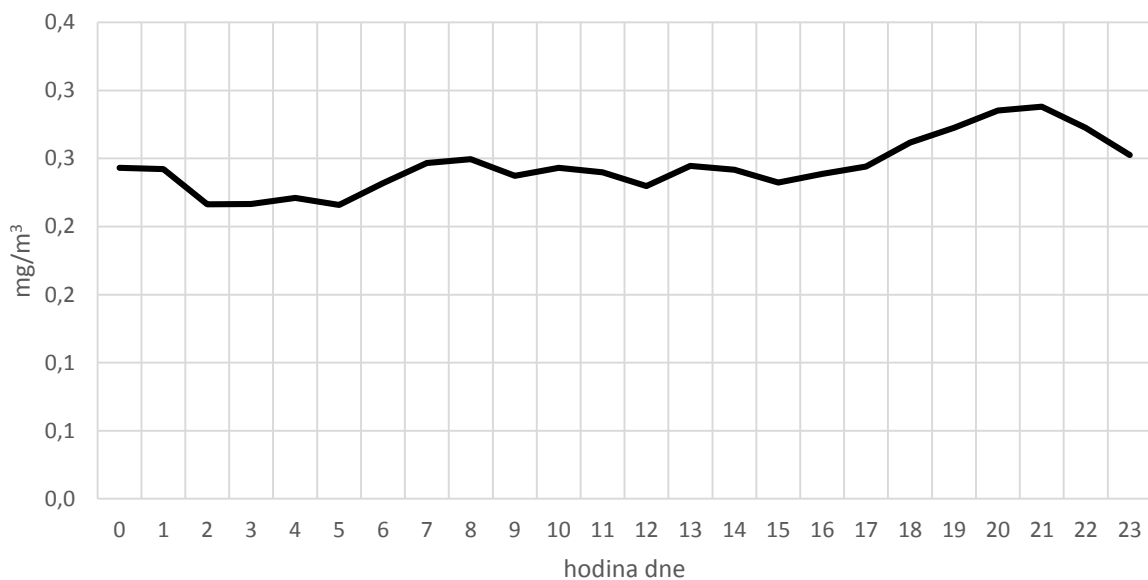
Tabulka 23 - denní průměrné, maximální a minimální koncentrace CO v jednotlivé dny měřicí kampaně

Datum	Průměr	Maximum	Minimum
13.8.			
14.8.	0.173	0.254	0.068
15.8.	0.150	0.269	0.043
16.8.	0.138	0.341	0.03
17.8.	0.267	0.763	0.11
18.8.	0.244	0.397	0.146
19.8.	0.264	0.381	0.146
20.8.	0.209	0.447	0.095
21.8.	0.227	0.491	0.099
22.8.	0.238	0.472	0.138
23.8.	0.296	0.563	0.147
24.8.	0.364	0.586	0.218
25.8.	0.236	0.445	0.092
26.8.	0.226	0.36	0.128
27.8.	0.231	0.467	0.112
28.8.	0.348	0.669	0.183
29.8.	0.339	0.556	0.185



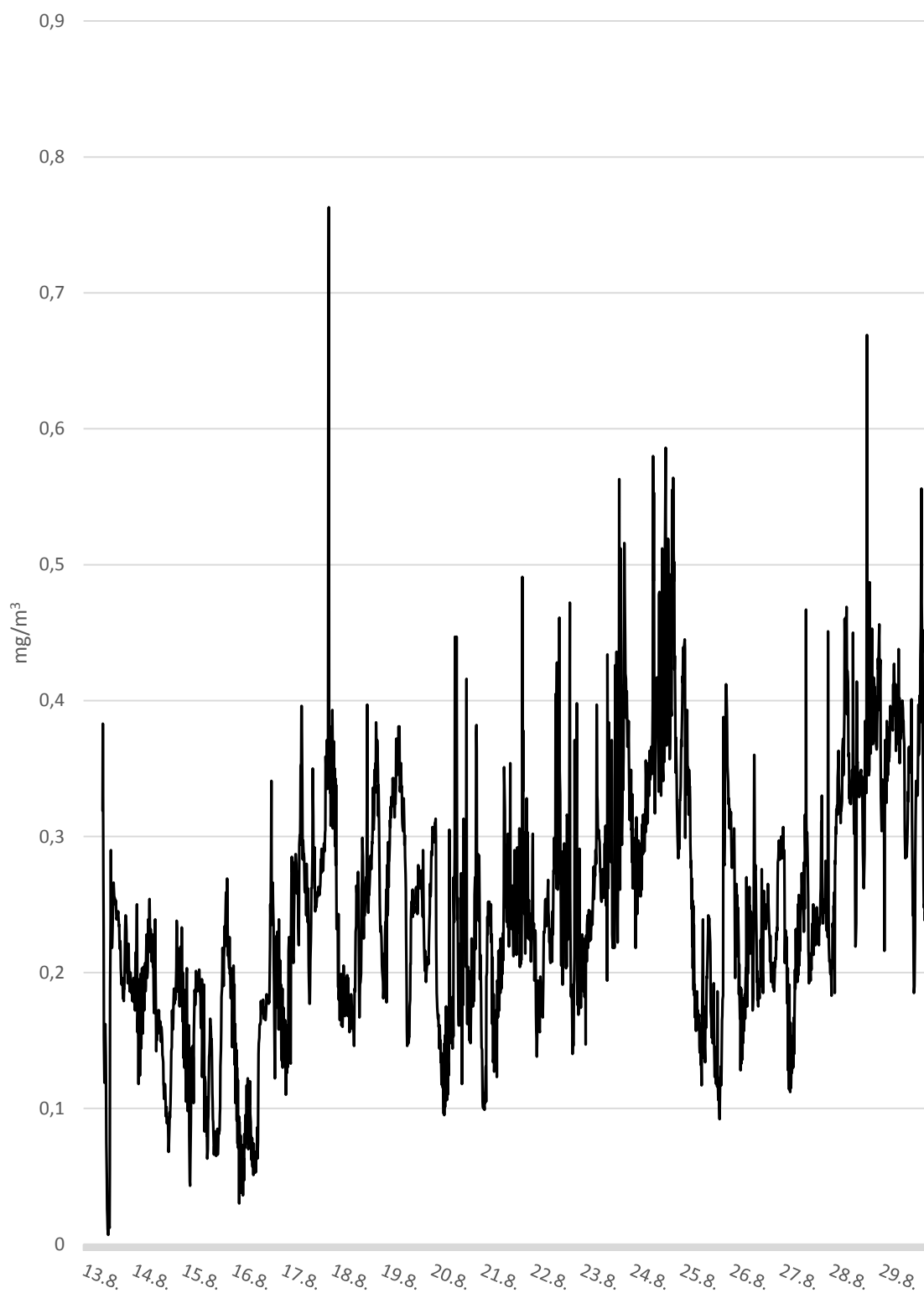
Obrázek 95 - denní průměrné, maximální a minimální koncentrace CO v jednotlivé dny měřící kampaně

Z grafu průměrných hodinových koncentrací je patrné, že nebyl zaznamenán žádný konkrétní denní chod – během dne se nevyskytují žádné špičky, pouze ve večerních hodinách byly koncentrace mírně vyšší.



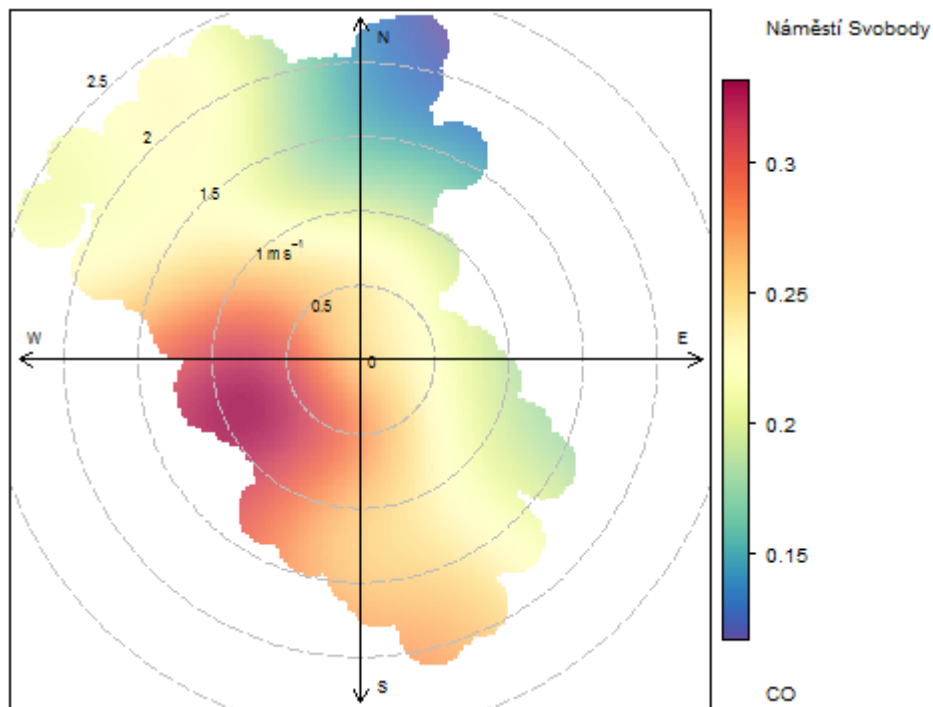
Obrázek 96 - průměrné koncentrace CO v jednotlivé hodiny dne

Následující graf ukazuje celkový chod koncentrací CO během měřicí kampaně v 10minutovém kroku.



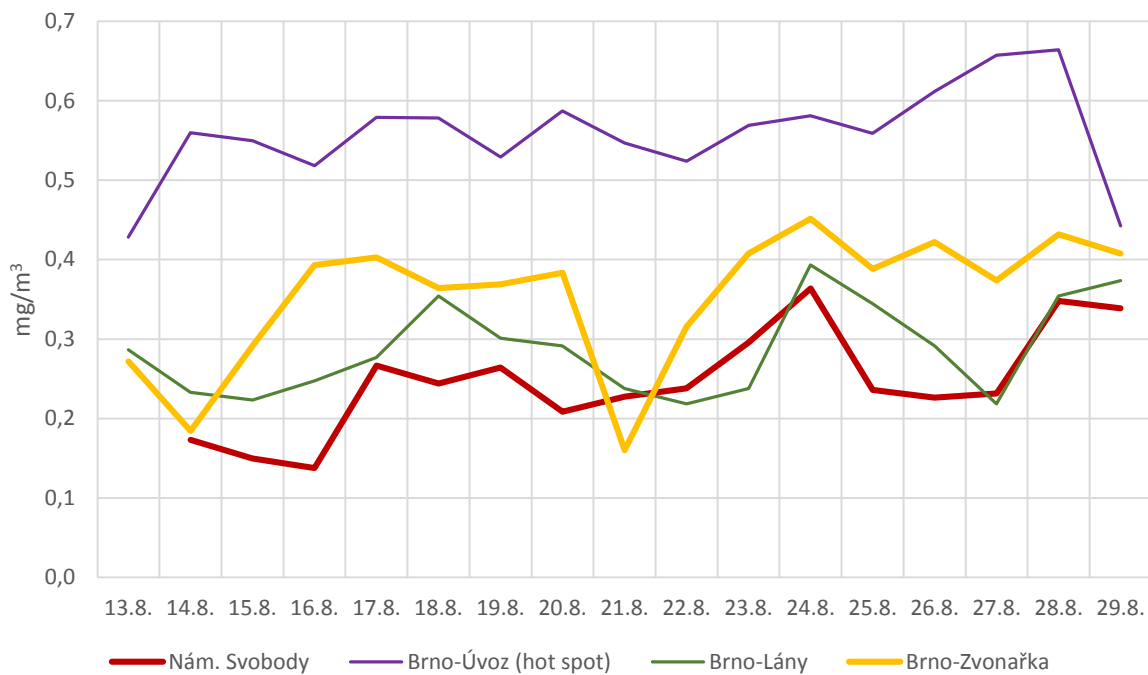
Obrázek 97 – průběh koncentrací CO během měřicí kampaně v 10minutovém kroku

Následující koncentrační růžice ukazuje vztah mezi koncentracemi CO, směrem větru a rychlostí větru,



Obrázek 98 - koncentrační růžice pro CO za celé sledované období

Na srovnání koncentrací napříč dalšími stanicemi imisního monitoringu v Brně je dobře vidět vliv dopravy na koncentrace CO. Právě na dopravních stanicích bývají tyto výrazně vyšší než na stanicích pozadových. V tomto konkrétním příkladu jsou dobře vidět vyšší hodnoty na dopravní stanici Brno-Úvoz (hot spot). I tam se však jedná o hodnoty velmi nízké relativně k imisním limitům pro ochranu zdraví.



Obrázek 99 - graf průměrných denních koncentrací CO na vybraných stanicích imisního monitoringu v Brně a z náměstí Svobody v období 13. 8. až 29. 8. 2019

9. IMISNÍ LIMITY

V této kapitole odborné zprávy se podíváme, zda došlo k překročení imisních limitů, popř. v jaké hladině v kontextu imisních limitů se hodnoty na náměstí Svobody pohybovaly pro všechny znečišťující látky.

9.1 HODNOTY IMISNÍCH LIMITŮ

9.1.1 IMISNÍ LIMITY PRO OCHRANU ZDRAVÍ

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO₂	1 hodina	200 maximálně 18x za rok
	kalendářní rok	40
SO₂	1 hodina	350 maximálně 24x za rok
	24 hodin	125 maximálně 3x za rok
PM₁₀	24 hodin	50 maximálně 35x za rok
	kalendářní rok	40
PM_{2,5}	kalendářní rok	25 ⁵
CO	maximální denní 8h klouzavý průměr	10 000

9.1.2 IMISNÍ LIMITY PRO OCHRANU EKOSYSTÉMŮ A VEGETACE

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO₂	rok a zimní období (1. 10. - 31. 3.)	20
NO_x	rok	30

⁵ od 1. 1. 2020 bude sníženo na 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

9.2 SROVNÁNÍ HODNOT NAMĚŘENÝCH NA NÁMĚSTÍ SVOBODY S IMISNÍMI LIMITY

NO₂
200 µg/m³ – hodinový imisní limit
maximální naměřená hodinová koncentrace NO ₂ na náměstí Svobody: 75,4 µg/m³
Imisní limit pro hodinovou koncentraci NO ₂ nebyl na náměstí Svobody překročen ani jednou.

NO₂
40 µg/m³ – roční imisní limit
průměrná koncentrace NO ₂ během kampaně: 18,1 µg/m³
Nelze stanovit , zda došlo k překročení imisního limitu. Průměrná koncentrace za celé období měření je necelou polovinou ročního imisního limitu, jeho překročení či nepřekročení však lze stanovit pouze z roční časové řady s minimální 90% dostupností dat.

SO₂
350 µg/m³ – hodinový imisní limit
maximální naměřená hodinová koncentrace SO ₂ na náměstí Svobody: 8,9 µg/m³
Imisní limit pro hodinovou koncentraci SO ₂ nebyl na náměstí Svobody překročen ani jednou.

SO₂
125 µg/m³ – 24 hodinový imisní limit
maximální naměřená 24h koncentrace SO ₂ na náměstí Svobody: 6,27 µg/m³
Imisní limit pro 24hodinovou koncentraci SO ₂ nebyl na náměstí Svobody překročen ani jednou.

PM₁₀
50 µg/m³ – 24 hodinový imisní limit
maximální naměřená 24h koncentrace PM ₁₀ na náměstí Svobody: 39,36 µg/m³
Imisní limit pro 24hodinovou koncentraci PM ₁₀ nebyl na náměstí Svobody překročen ani jednou.

PM₁₀
40 µg/m³ – roční imisní limit
průměrná koncentrace PM ₁₀ během kampaně: 19,46 µg/m³
Nelze stanovit , zda došlo k překročení imisního limitu. Průměrná koncentrace za celé období měření je necelou polovinou ročního imisního limitu, jeho překročení či nepřekročení však lze stanovit pouze z roční časové řady s minimální 90% dostupností dat.

PM_{2,5}
25 µg/m³ – roční imisní limit
průměrná koncentrace PM _{2,5} během kampaně: 11,77 µg/m³
Nelze stanovit , zda došlo k překročení imisního limitu. Průměrná koncentrace za celé období měření je necelou polovinou ročního imisního limitu, jeho překročení či nepřekročení však lze stanovit pouze z roční časové řady s minimální 90% dostupností dat.

CO
10 000 µg/m³ – maximální denní 8h klouzavý průměr
maximální denní 8h klouzavý průměr CO během kampaně: 435 µg/m³
Imisní limit pro maximální 8h denní koncentraci CO nebyl na náměstí Svobody překročen ani jednou.

Z výše uvedeného je patrné, že u imisních limitů, u kterých lze z 17denní kampaně zjistit případné překračování imisních limitů **nebyl překročen na náměstí Svobody ani jeden**. U některých imisních limitů (roční limity) nelze překročení či nepřekročení vyhodnotit, jelikož je k takovému hodnocení třeba roční časové řady s minimální 90% dostupností dat.

10. ZÁVĚR

Měřicí kampaň na brněnském náměstí Svobody probíhala **od 13. do 29. 8. 2019**, tedy 17 dní. Měřicí vůz monitoroval v **10minutových** intervalech koncentrace prachových částic frakcí **PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁** a dále **plynné znečišťující látky oxid dusičitý (NO₂), oxid dusnatý (NO), oxid siřičitý (SO₂) a oxid uhelnatý (CO)**. Zároveň byly sledovány i **meteorologické podmínky** – teplota a vlhkost vzduchu a rychlost a směr větru. U všech sledovaných znečišťujících látek a meteorologických parametrů byla splněna podmínka dostupnosti minimálně 90 % dat.

Náměstí Svobody je hlavním brněnským náměstím, situovaným přímo v jeho centru. Projíždí zde tramvaje MHD a vozy s povolením (zásobování apod.). Vjezd ostatním vozidlům je zde zakázaný a okolní ulice jsou pěšími zónami.

10.1 METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY

Kampaň byla provedena v druhé polovině srpna, **teploty vzduchu proto byly relativně vysoké**, celkový průměr za celou kampaň byl 22,44 °C. Denní průměry se pohybovaly mezi 20 a 25 °C, absolutně nejvyšší naměřená hodnota byla 32,9 °C. Ve většině případů jsou vyšší teploty pro kvalitu ovzduší příznivé, výjimkou jsou koncentrace přízemního ozonu, kde je situace přesně opačná – vyšší teploty většinou znamenají vyšší koncentrace přízemního ozonu (ty však měřicí vůz neměří).

Důležitým parametrem pro kvalitu ovzduší je rychlost a směr větru. Rychlost větru je důležitým faktorem rozptylových podmínek. Obecně lze říci, že pro kvalitu ovzduší jsou vhodnější vyšší rychlosti větru, čímž dochází k lepšímu rozptylu znečišťujících látek v ovzduší⁶. Naopak nízké rychlosti větru vedou k akumulaci znečišťujících látek. Směr větru pak udává, kam se budou znečišťující látky šířit od svého zdroje.

Data naměřená na náměstí Svobody jasně ukazují předpokládaný fakt, tedy že **rychlosti větru zde lze označit za velmi nízké**. Téměř ve všechny dny se průměrná rychlost větru pohybovala do 1 m/s, někdy dokonce jen kolem 0,5 m/s. Absolutně nejvyšší naměřená rychlost větru během celé kampaně byla 2,3 m/s (8,3 km/h). Takto nízké rychlosti větru jsou zde dány uzavřeností celého prostoru, kdy všude kolem dokola je hustá zástavba. Jak ukázaly výsledky hodnocení, právě nízká rychlost větru je zde pravděpodobně jedním z klíčových faktorů ovlivňujících kvalitu ovzduší.

⁶ existují výjimky, například v místech s velmi vysokou prašností můžou vyšší rychlosti větru naopak způsobovat významnou resuspenzi či vznosy prachu do ovzduší, což je něco co bylo nedávno pozorováno například na brněnské stanici Zvonařka v důsledku okolních intenzivních stavebních prací.

10.2 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE

Suspendované částice byly **monitorovány** ve třech velikostních frakcích částic – největších částic **PM₁₀**, **menších PM_{2,5}** a **nejmenších PM₁**. Potenciálně nejnebezpečnější pro zdraví jsou nejmenší částice, které se dostávají hlouběji do dýchacího systému. **Neexistuje bezpečná spodní hranice koncentrace částic**, tedy čím méně částic v ovzduší je, tím lépe, ačkoliv je nutné říci, že nulové koncentrace nejsou reálné ani v případě úplné eliminace antropogenních zdrojů, protože existuje i spousta zdrojů přírodních (větrná eroze, lesní požáry, sopečné výbuchy atd.).

Celková průměrná koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ za celé období měření činila 19,46 µg/m³. Průměrné denní koncentrace se pohybovaly mezi 9,22 µg/m³ (13. 8.) a 39,36 µg/m³ (29. 8.). V absolutních 10minutových hodnotách pak byl rozsah koncentrací od 2,1 µg/m³ (21. 8. ve 3:40 a 3:50) do 72,4 µg/m³ (28. 8. ve 22:50).

Z průměrného denního chodu částic PM₁₀ je patrné, že se i zde **projevuje ranní a odpolední/večerní dopravní špička – zdrojem** jsou zde pravděpodobně jak **emise v širším okolí, tak zdroje lokální**, jako například ranní zásobování. Při rozdělení na pracovní a nepracovní dny je vidět, že v nepracovní dny jsou koncentrace v ranních hodinách vyšší než v pracovní dny. To je však způsobeno spíše větším nárůstem koncentrací ve večerních hodinách, kdy je na náměstí o víkendu rušněji, navíc se zde projevuje i nedělní večerní špička v širším okolí brněnského centra. Právě **vzhledem k velmi nízkým rychlostem větru se zde pak vyšší koncentrace látek udržují. 24h imisní limit pro koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ (50 µg/m³) překročen nebyl ani jednou.** Maximální naměřená 24h koncentrace PM₁₀ byla 39,36 µg/m³.

Ve srovnání s ostatními brněnskými stanicemi imisního monitoringu, a to jak dopravními, pozadovými, tak jedinou průmyslovou stanicí v Jihomoravském kraji (Brno-Zvonařka, dočasně překlasifikována z dopravní na průmyslovou z důvodu dlouhodobých stavebních prací v okolí stanice), vychází **koncentrace PM₁₀ na náměstí Svobody jako spíše nadprůměrné.** Vyšší hodnoty než na náměstí Svobody byly pozorovány na intenzivně dopravně zatížených stanicích jako je Brno-Úvoz (hot spot), průmyslové Brno-Zvonařka či Brno-Svatoplukova a Brno-Masná. Průměr PM₁₀ za celé období však byl o přibližně 30 % vyšší než na pozadové stanici Brno-Tuřany a o asi 15 % vyšší než na relativně blízké pozadové stanici Brno-Dětská nemocnice.

U částic frakce PM_{2,5} byla za celou kampaň průměrná koncentrace na náměstí Svobody 11,77 µg/m³. Absolutní maximum PM_{2,5} naměřené během měřicí kampaně bylo 36,5 µg/m³, poslední den kampaně 29. 8. ve 20:10. Denní průměrné koncentrace PM_{2,5} se pohybovaly od 4,53 µg/m³ (21.

8.) do 25,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (29. 8.). Denní průměrné chody koncentrací jsou velmi podobné těm u PM_{10} a to jak v pracovní, tak nepracovní dny.

Ve srovnání s ostatními stanicemi v Brně se jeví koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ opět jako spíše nadprůměrné. Jsou výrazně vyšší než ty naměřené na pozadové stanici Brno-Arboretum, dopravní Brno-Výstaviště či pozadové Brno-Líšeň. Naopak jsou nižší než koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ na dopravní stanici Brno-Úvoz, Brno Svatoplukova, ale i pozadové Brno-Tuřany a Brno-Dětská nemocnice.

U nejmenších částic PM_1 byl celkový průměr koncentrací za celou měřicí kampaň na náměstí Svobody 10,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Denní průměrné hodnoty se pohybovaly od 3,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (21. 8.) do 22,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (29. 8.). Absolutně maximální naměřená hodnota byla 33,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a to 29. 8. ve 20:10.

Zajímavé je zde však srovnání s ostatními brněnskými stanicemi. V tomto kontextu totiž lze **koncentrace suspendovaných částic PM_1 na náměstí Svobody považovat za velmi vysoké, dokonce za téměř nejvyšší ze všech stanic a to včetně vysoce dopravně zatížených stanic** Brno-Svatoplukova nebo Brno-Úvoz (hot spot). Především ve druhé půlce kampaně byly koncentrace PM_1 překvapivě nejvyšší právě v této lokalitě.

O celé kampani lze říci, že zde byla výrazná změna kolem 23. 8. **Koncentrace zejména prachových částic byly v první polovině kampaně výrazně nižší než v druhé.** Pohled na větrnou růžici z nejreprezentativnější stanice co se měření směru větru v Brně týče, stanice Brno-Tuřany, odhalí, že došlo k výrazné změně směru větru. Zatímco v první polovině bylo proudění dominantně ze severozápadu, v druhé polovině období měřicí kampaně se stočilo proudění na severovýchod. Existuje vysoká pravděpodobnost, že **vyšší koncentrace v druhé polovině období jsou dány právě dálkovým, případně až přeshraničním transportem ze severovýchodu.** K nárůstu totiž došlo na všech stanicích, včetně pozadových.

Jednoznačným problémem náměstí Svobody jsou velmi nízké rychlosti větru. Ty umožňují **kumulaci znečišťujících látek.** Nejlepším příkladem tohoto faktu je srovnání se stanicí Brno-Výstaviště. Jedná se o dopravně velmi zatíženou lokalitu, na druhou stranu je to však lokalita velmi otevřená, provětrávaná prakticky ze všech stran a doprava relativně plynulá. Dlouhodobě jsou zde tedy koncentrace výrazně nižší než na jiných podobně dopravně zatížených stanicích jako je například Brno-Úvoz (hot spot) nebo Brno-Svatoplukova. Ačkoliv jsou tedy dopravní podmínky vedle čtyřproudové křižovatky a v pěší zóně na náměstí Svobody na první pohled zcela nesrovnatelné a zvýšené koncentrace prachových částic na náměstí Svobody působí přinejmenším zvláštně, při analýze okolí lokality již tento fakt nelogicky nepůsobí. Provětrávání na náměstí Svobody je minimální a dochází zde ke kumulaci polutantů jak z okolí, tak z lokálních zdrojů, kterými jsou například projíždějící a zastavující

vozy zásobování a další logistiky, stánky s občerstvením, ale i pohyb lidí (resuspenze), případně jejich činnost (kouření apod.).

Koncentrační růžice z náměstí Svobody jsou pro všechny frakce takřka totožné. Ukazují, že **nejvyšší koncentrace přichází z jižních směrů** (JV až JZ). Z náměstí Svobody vede jen několik úzkých koridorů (ulic). Jižně vede na náměstí Masarykova ulice směrem od Hlavního nádraží. Na severozápad vybíhá ulice Česká, která však končí na ulici Joštové, kde je automobilový provoz minimální. Na severoseverovýchod vybíhá ulice Rašínova, která končí na Moravském náměstí, kde je intenzivní pouze provoz tramvají. Z uvedených míst je dopravně nejzatíženější právě okolí Hlavního nádraží.

Poměry mezi koncentracemi jednotlivých frakcí částic jsou velmi podobné poměrům pozorovaným na ostatních stanicích v Brně.

Hypotézu, že problémem jsou především nízké rychlosti větru, pak potvrzují průměrné denní chody frakce PM_{10} na jednotlivých stanicích. Na grafu v sekci o suspendovaných částicích PM_{10} v této zprávě je dobře vidět absence poklesu kolem poledne a v podstatě velmi konstantní denní průběh. Ačkoliv jsou tedy v ranní špičce koncentrace PM_{10} výrazně vyšší na některých jiných stanicích, v denním průměru toto patrné není, protože jsou na těchto stanicích pozorovány také výrazné poklesy během dne.

10.3 OXIDY DUSÍKU

Hlavním zdrojem oxidů dusíku (součet koncentrací oxidu dusičitého (NO_2) a oxidu dusnatého (NO)) je **doprava**. Jsou zde již patrné výrazné rozdíly mezi všemi dopravními stanicemi ve srovnání se stanicemi pozadřovými.

Průměrná koncentrace oxidu dusičitého za celou měřicí kampaň na náměstí Svobody byla $18,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ve dvou případech byla zaznamenána velmi výrazná špička v jednom 10minutovém intervalu. Mohlo se jednat o chybu měření, není ale vyloučen ani nějaký významný zdroj, který se v danou chvíli nacházel ve velmi těsné blízkosti stanice (takovým zdrojem může být například zastavení nákladního vozu s nastartovaným motorem přímo vedle odběrové sondy). **Hodinový imisní limit pro NO_2 překročen nebyl.**

Graf průměrného denního chodu vykazuje typický chod městských stanic se špičkou v ranních a poté ve večerních hodinách.

Koncentrační růžice NO₂ ukazuje, že znečištění v tomto případě přicházelo prakticky ze všech směrů a takřka výhradně při nižších rychlostech větru (v tomto případě vzhledem k celkově velmi nízkým rychlostem znamenají nižší rychlosti stav blízký úplnému bezvětří).

Ve srovnání s ostatními brněnskými stanicemi byly koncentrace NO₂ na náměstí Svobody průměrné, pohybovaly se přesně mezi vyššími koncentracemi na dopravních stanicích (Brno-Úvoz, Brno-Svatoplukova, Brno-Zvonařka, Brno-Výstaviště) a nižšími koncentracemi na stanicích pozadřových (Brno-Tuřany, Brno-Arboretum, Brno-Dětská nemocnice a Brno-Lány).

U oxidu dusnatého (NO) je však situace odlišná. Koncentrace na náměstí Svobody byly ve srovnání s ostatními brněnskými stanicemi nízké. Charakteristikou NO je jeho rychlá oxidace na oxid dusičitý. Vyšší koncentrace jsou tedy především přímo v místě jeho vzniku – na dopravních stanicích. Z toho lze usuzovat, že vzhledem k faktu, že koncentrace NO byly na náměstí velmi nízké, byly **vyšší koncentrace NO₂ dány spíše zdroji mimo náměstí.**

Průměrná koncentrace NO_x za celou měřicí kampaň na náměstí Svobody byla 23,33 µg/m³. Denní průměry se pohybovaly od 13,35 µg/m³ (21. 8.) do 43,76 µg/m³ (28. 8.).

10.4 OSTATNÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY

Koncentrace dalších monitorovaných znečišťujících látek – tedy oxidu siřičitého a oxidu uhelnatého – byly po celou dobu měření velmi nízké a hluboko pod hodnotami imisních limitů, jak je tomu ale dlouhodobě i na všech ostatních stanicích v Brně, potažmo v celé České republice až na naprosté výjimečné situace na konkrétních stanicích v republice.

Průměrná koncentrace SO₂ za celou měřicí kampaň byla pouze 4,52 µg/m³. Denní průměry se pohybovaly od 2,54 µg/m³ (21. 8.) po 6,27 µg/m³ (14. 8.). Absolutně maximální naměřená koncentrace byla 9,8 µg/m³ (28. 8. 01:00).

Průměrná koncentrace CO za celou měřicí kampaň byla 0,245 mg/m³. Denní průměrné koncentrace se pohybovaly od 0,138 mg/m³ (16. 8.) do 0,364 mg/m³ (24. 8.). Absolutní maximum naměřené během měřicí kampaně bylo 0,763 mg/m³ (17. 8. ve 22:10).

10.5 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Z naměřených dat vyplývá, že největším problémem znečištění ovzduší na náměstí Svobody jsou koncentrace suspendovaných částic a to zejména těch menších. Právě u těch jsou koncentrace překvapivě často vyšší než na všech ostatních brněnských stanicích, včetně stanic dopravních.

Příčinou vysokých koncentrací prachových částic je zde jednoznačně špatná rozptylová situace. Hustá okolní zástavba ve všech směrech zapříčiňuje prakticky permanentní velmi nízké rychlosti větru či bezvětří, což vede ke kumulaci znečišťujících látek.

Během celé měřicí kampaně nedošlo k překročení žádného imisního limitu. Na druhou stranu bylo měření provedeno ve velmi příznivou dobu roku, kdy jsou obecně koncentrace znečišťujících látek nízké, neboť nejsou v provozu domácí topeniště. Hlavním zdrojem prachových částic v České republice je jak v případě PM_{10} , tak v případě $PM_{2,5}$ jednoznačně lokální vytápění. V zimním období se navíc na horší kvalitě ovzduší podílí i zhoršené rozptylové a meteorologické podmínky (teplotní inverze, velmi nízké teploty, nižší množství srážek atd.). Vzhledem k faktu, že koncentrace především prachových částic nebyly ani v toto letní období vyloženě nízké, doporučujeme zopakovat měřicí kampaň během topné sezóny, což poskytne lepší obrázek o celoroční situaci na náměstí Svobody.

Zároveň by bylo vhodné za účelem lepší možnosti identifikace zdrojů prachových částic provést částicovou analýzu skenovacím elektronovým mikroskopem, který poskytne informace o chemickém složení i morfologii jednotlivých částic.

11. REFERENCE

Ergin M, Caliskanturk M, Senat A, Akturk O, Erel O. *Disulfide stress in carbon monoxide poisoning. Clinical biochemistry.* 2016 Nov 1;49(16-17):1243-7.

Geravandi S, Goudarzi G, Babaei AA, Akbar A, Takdastan A, Mohammadi MJ, Vosoughi Niri M, Salmanzadeh S, Shirbeigi E. *Health endpoint attributed to sulfur dioxide air pollutants.* Jundishapur Journal of Health Sciences.. 2015;7(3).

Hetem IG, Andrade MD. *Characterization of fine particulate matter emitted from the resuspension of road and pavement dust in the metropolitan area of São Paulo, Brazil.* Atmosphere. 2016 Feb 23;7(3):31.

Choi D, Toda H, Kim Y. *Effect of sulfur dioxide (SO₂) on growth and physiological activity in Alnus sieboldiana at Miyakejima Island in Japan.* Ecological research. 2014 Jan 1;29(1):103-10.

Kermani M, Jokandan SF, Aghaei M, Asl FB, Karimzadeh S, Dowlati M. *Estimation of the number of excess hospitalizations attributed to sulfur dioxide in six major cities of Iran.* Health Scope. 2016;5(4).

Kim JY, Lee EY, Choi I, Kim J, Cho KH. *Effects of the particulate matter 2.5 (PM_{2.5}) on lipoprotein metabolism, uptake and degradation, and embryo toxicity.* Molecules and cells. 2015 Dec 31;38(12):1096.

Kumar S. *Acid Rain-The Major Cause of Pollution: Its Causes, Effects.* International Journal of Applied Chemistry. 2017;13(1):53-8.

Lewis TC, Robins TG, Batterman SA, Mukherjee B, Mentz GB, Parker EA, Israel BA. *Daily 1-hour peak levels of sulfur dioxide are associated with increased respiratory symptoms in detroit children with asthma.* In A16. EPIDEMIOLOGY AND HEALTH CARE COSTS OF PEDIATRIC AND ADULT ASTHMA 2016 May (pp. A1030-A1030). American Thoracic Society.

Lin, J.J. and Lee, L.C., 2004. *Characterization of the concentration and distribution of urban submicron (PM₁) aerosol particles.* Atmospheric Environment, 38(3), pp.469-475.

Rose JJ, Wang L, Azarov I, Xu Q, Huang XN, Corey CG, Guimaraes D, McTiernan CF, O'Donnell CP, Tejero J, Shiva S. *Reversal Of The Toxic Effects Of Carbon Monoxide (CO) Poisoning On Tissue Respiration Through A Co Scavenging Molecule*. InB80-A. MECHANISMS AND MODELS OF ACUTE LUNG INJURY 2017 May (pp. A4394-A4394). American Thoracic Society.

Smith SJ, Aardenne JV, Klimont Z, Andres RJ, Volke A, Delgado Arias S. *Anthropogenic sulfur dioxide emissions: 1850–2005*. Atmospheric Chemistry and Physics. 2011 Feb 9;11(3):1101-16.

SZÚ; *Zdravotní důsledky a rizika znečištění, Odborná zpráva za rok 2015*, Státní zdravotní ústav, Praha, září 2016

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

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

Wallace PJ, Gerlach TM. *Magmatic vapor source for sulfur dioxide released during volcanic eruptions: evidence from Mount Pinatubo*. Science. 1994 Jul 22;265(5171):497-9.

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

PODĚKOVÁNÍ

Autor zprávy by rád poděkoval pracovníkům Magistrátu města Brna a jejich spolupracovníkům za zprostředkování měření.