



ČESKÝ
HYDROMETEOROLOGICKÝ
ÚSTAV

TECHNICKÝ DOKUMENT ČHMÚ

ŠÍŘENÍ LÁTEK ZNEČIŠŤUJÍCÍCH OVZDUŠÍ V OKOLÍ DOPRAVNÍCH KOMUNIKACÍ

ZPRÁVA INTERNÍHO PROJEKTU ČHMÚ

Autoři

*Jan Sládeček, Josef Keder, Jan Horálek, Jana Ďoubalová,
Lea Baláková, Leona Vlasáková, Václav Novák, Lucie
Školoudová, Martin Beran*

Datum vydání: 13. 6. 2017



GRADIENT KONCENTRACÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK OVZDUŠÍ VE VZRŮSTAJÍCÍ VZDÁLENOSTI OD DOPRAVNÍ KOMUNIKACE ("PROJEKT DOPRAVA")

SMLOUVA O DÍLO Č. 245
ČÍSLO Z CENTRÁLNÍ EVIDENCE SMLUV 160031



Datum: 13. 6. 2017
Objednatel: Ministerstvo životního prostředí
Zhotovitel: Český hydrometeorologický ústav
Zpracovali: RNDr. Jan Sládeček, Mgr. Jan Horálek, RNDr. Josef Keder CSc., Mgr.
Robert Skeřil, Ph.D., Ing. Jana Ďoubalová, Mgr. Lea Paličková, Ing.
Václav Novák a kolektiv ISKO

Obsah:

1. VÝSLEDKY 1. - 4. KAMPANĚ MĚŘENÍ IMISÍ V OBCÍCH HERINK, MODLETICE A DOBŘEJOVICE A NA DOPRAVNÍCH LOKALITÁCH U OBCE MODLETICE
2. KONCENTRACE OXIDŮ DUSÍKU NA MĚŘICÍCH MÍSTECH U SOKP V OBCI MODLETICE ZA 1. – 4. KAMPAŇ PŘI RŮZNÝCH INTENZITÁCH MÍSTNÍ DOPRAVY
3. KONCENTRAČNÍ RŮŽICE ZA 1. – 4. KAMPAŇ V MĚŘICÍCH MÍSTECH HERINK, MODLETICE A DOBŘEJOVICE A NA DOPRAVNÍCH LOKALITÁCH U OBCE MODLETICE
4. ANALÝZA GRADIENTU KONCENTRACÍ
5. GRAFY SROVNÁNÍ KONCENTRACÍ

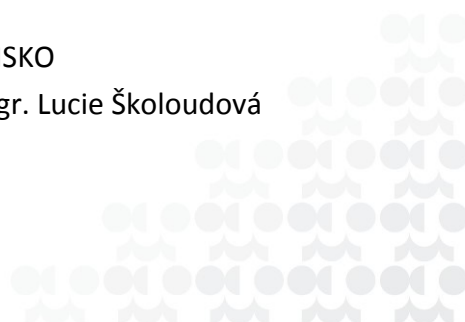


VÝSLEDKY 1. - 4. KAMPANĚ MĚŘENÍ IMISÍ V OBCÍCH HERINK, MODLETICE A DOBŘEJOVICE A NA DOPRAVNÍCH LOKALITÁCH U OBCE MODLETICE

SOUHRN Z PŘEDBĚŽNÝCH ZPRÁV Z PROJEKTU "ŠÍŘENÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK OVZDUŠÍ V OKOLÍ DOPRAVNÍCH KOMUNIKACÍ" (PROJEKT DOPRAVA)



Datum: 27. 4. 2017
Pracoviště: Český hydrometeorologický ústav, ÚOČO, ISKO
Zpracovali: RNDr. Jan Sládeček, Mgr. Lea Paličková, Mgr. Lucie Školoudová
a kolektiv ISKO
Místo: Praha



Všechny čtyři kampaně proběhly za spolupráce obcí Herink, Modletice a Dobřejovice a ČHMÚ Praha. Cílem bylo změřit a posoudit možný vliv silničního okruhu kolem Prahy (zkráceně pražský okruh, nebo SOKP) na kvalitu ovzduší v okolí komunikace a na pozadových lokalitách uvedených obcí.

Měření kvality venkovního ovzduší proběhlo ve všech kampaních na třech pozadových lokalitách v obcích Herink, Modletice a Dobřejovice (obr. 1). V rámci projektu "Šíření znečišťujících látek ovzduší v okolí dopravních komunikací" (projekt Doprava) byly vybrány čtyři lokality u SOKP severně od obce Modletice. První měřicí místo bylo zvoleno přímo u vozovky SOKP, druhé u příjezdu k podchodu ve vzdálenosti asi 30 m od SOKP, třetí a čtvrtá lokalita na vyvýšeném náspu přibližně 40 m a 60 m od SOKP (obr. 2).

Z provozních a technických důvodů nebylo možné začít 1. kampaň dříve než na jaře 2016, takže byl časový harmonogram jednotlivých 15denních měřících kampaní stanoven takto:

1. jarní kampaň 30. 3. - 13. 4. 2016
2. letní kampaň 15. 6. - 29. 6. 2016
3. podzimní kampaň 11. 11. - 25. 11. 2016
4. zimní kampaň 12. 1. - 26. 1. 2017

Kontinuální měření znečišťujících látek PM₁₀, NO₂, NO_x, NO a O₃ bylo zajištěno stacionárními automatizovanými stanicemi a měřícími vozy. Všechny čtyři měřící kampaně proběhly podle časového harmonogramu. Měření probíhalo kontinuálně každou hodinu (ve světovém čase - UTC), současně na všech sedmi vytipovaných lokalitách (tab. 1). Na automatizovaných stanicích byl určitý přesah měření, začalo se měřit o několik dní dříve a končilo později.

Pro manuální měření znečišťujících látek PM_{2,5} (každý den) a PAH (jednou za tři dny) bylo využito vzorkovačů, které byly umístěny vedle stacionárních stanic a měřících vozů. Na manuálních stanicích proběhlo měření podle časového harmonogramu současně na všech sedmi vytipovaných lokalitách (tab. 2).

Výsledné koncentrace znečišťujících látek naměřené během čtyř kampaní jsou porovnány v tab. 1 a 2 s imisními limity pro ochranu zdraví lidí (v případě NO_x i pro ochranu ekosystémů a vegetace) dle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. Vzhledem ke skutečnosti, že tyto limity jsou stanoveny k celému roku, by bylo pro přesné porovnání potřebné provést měření v každé lokalitě celoročně. Jelikož je však celoroční měření finančně nákladné, byla zvolena varianta indikativního měření v minimálním rozsahu, které ještě legislativa považuje za postačující. Průměrné koncentrace znečišťujících látek za všechna čtyři měřená období jsou porovnány s ročním imisním limitem.

Při porovnání všech čtyřech měřících kampaní došlo pouze v průběhu té čtvrté, na pozadových lokalitách obcí Herink, Modletice a Dobřejovice, k překročení limitní hodnoty pro ochranu zdraví lidí u znečišťující látky PM₁₀. K překročení hodnoty 24hodinového imisního limitu PM₁₀ došlo na těchto lokalitách vícekrát za měřená období čtvrté kampaně (tab. 1, obr. 3). Na těchto lokalitách nebyla překročena hodnota ročního imisního limitu PM₁₀ vztažená k průměru za všechna měřená období (tab. 1).

Maximální hodinová koncentrace NO₂ dosahovala nejvyšších hodnot během čtvrté kampaně a přesahovala na lokalitách Dobřejovice (112,1 µg.m⁻³) a Modletice (108,8 µg.m⁻³) polovinu hodnoty imisního limitu 200 µg.m⁻³ (tab. 1, obr. 9).

Pouze v průběhu druhé kampaně došlo na pozadových lokalitách obcí Herink, Modletice a Dobřejovice k překročení hodnoty imisního limitu O_3 (tab. 1). Překročení této limitní hodnoty je v letních měsících na pozadových lokalitách běžné.

Na čtyřech dopravních lokalitách u SOKP: Modletice hot spot, Modletice dopravní 30m, Modletice mobilní vůz Praha-Libuš 40m a Modletice mobilní vůz Ústí n.L. 60m došlo v průběhu čtvrté kampaně k vícenásobnému překročení hodnoty 24hodinového imisního limitu PM_{10} (tab. 1, obr. 3). K tomuto překročení limitní hodnoty PM_{10} došlo u všech lokalit během čtvrté kampaně (obr. 3) za nepříznivých meteorologických a rozptylových podmínek. Během první kampaně byla tato limitní hodnota PM_{10} překročena pouze u třech stanic: Modletice hot spot, Modletice mobilní vůz Praha-Libuš 40m a Modletice mobilní vůz Ústí n. L. 60m (obr. 3). Na všech čtyřech lokalitách u SOKP nebyla překročena hodnota ročního imisního limitu PM_{10} a NO_2 vztažená k průměru za všechna měřená období (tab. 1).

Nejvyšší hodnoty znečišťujících látek PM_{10} , NO_2 , NO_x a NO byly v průběhu všech čtyř kampaní naměřeny na lokalitě Modletice hot spot, která je umístěna přímo u SOKP. Na tomto místě došlo k nejvyššímu počtu překročení hodnoty 24hod. imisního limitu PM_{10} , a to třináctkrát za měřené období všech čtyř kampaní (jedenáctkrát za čtvrtou kampaň). Nejvyšší maximální 24hod. koncentrace PM_{10} ($147,3 \mu g.m^{-3}$) ze všech čtyř měřících kampaní byla zaznamenána na lokalitě Modletice hot spot dne 20. 1. (tab. 1, obr. 3). V tomto dni byla naměřena 24hod. maxima PM_{10} na všech lokalitách.

Maximální hodinová koncentrace NO_2 za všechna období dosahovala na lokalitě Modletice hot spot hodnoty $141,9 \mu g.m^{-3}$, tj. téměř tři čtvrtiny hodnoty imisního limitu $200 \mu g.m^{-3}$ (tab. 1, obr. 5).

Vysoké koncentrace NO_x a NO na lokalitě Modletice hot spot odpovídají dopravnímu zatížení. Koncentrace NO_x přesahovaly na této stanici hodnotu imisního limitu pro ochranu ekosystémů a vegetace ve všech čtyřech kampaních. Na ostatních třech lokalitách u SOKP došlo k překročení této limitní hodnoty NO_x v první, třetí a čtvrté kampani. Také na lokalitách v obcích Dobřejovice, Herink a Modletice došlo v průběhu některých kampaní k překročení této limitní hodnoty NO_x . Na všech lokalitách u SOKP, a také na pozadových lokalitách obcí Modletice a Dobřejovice, byl překročen imisní limit NO_x pro ochranu ekosystémů a vegetace vztažený k průměru za všechna měřená období (tab. 1).

Dvěma mobilními měřícími vozy byla během čtyř kampaní měřena také doprovodná meteorologická data. Průměrná denní teplota na měřících lokalitách byla během období čtyř kampaní cca $7^\circ C$. Teplotní rozpětí bylo $34^\circ C$ (kolem 24. června 2016) až $-14^\circ C$ (kolem 19. ledna 2017). Během všech kampaní převažoval mírný vítr, s maximálními nárazy v lednu 2017 cca $11 m.s^{-1}$. Průměrná rychlost větru za všechny čtyři kampaně byla $3 m.s^{-1}$. Směr proudění byl proměnlivý, nicméně převažovaly spíše západní směry větru.

Zhoršené meteorologické a rozptylové podmínky byly příčinou vysokých koncentrací PM_{10} v druhé polovině ledna, během čtvrté kampaně, a vedly až k vyhlášení smogové situace a regulace.

Průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ za všechny čtyři měřící kampaně nepřesáhly hodnotu ročního imisního limitu na všech sledovaných lokalitách. Nejvyšší hodnota $20,3 \mu g.m^{-3}$ byla naměřena přímo u SOKP, na lokalitě Modletice hot spot, druhá nejvyšší ($20,1 \mu g.m^{-3}$) pak v obci Modletice (tab. 2). Od roku 2020 bude platit zpřísněný imisní limit pro $PM_{2,5}$ - $20 \mu g.m^{-3}$.

Výsledky měření ze všech lokalit se pohybují v jeho těsné blízkosti, takže by pak mohlo docházet k překročení nově zavedeného imisního limitu.

Koncentrace benzo[a]pyrenu v průměru za čtyři kampaně překročily roční imisní limit na všech těchto lokalitách (tab. 2).

Tab. 1 Kontinuální měření

Lokalita/znečišť. látka	PM ₁₀			NO ₂		NO _x	NO	O ₃	
	m24h	pp	x	m1h	x	x	x	m1h	m8hk
Herink	122,9	10	28,5	93,2	16,8	24	5,1	125,7	121,1
Modletice obec	108,6	7	24,4	108,8	20,1	32,2	7,9	125,7	120,5
Dobřejovice	105,9	7	22,3	112,1	22,9	39,2	10,7	131,5	126,1
Modletice hot spot	147,3	13	32,3	141,9	36,5	100,1	43,3	113,7	101,2
Modletice dopr._30m	123	8	25,7	116,7	27,4	57,1	19,4	112,9	106,5
Modletice_mL_40m	116,9	8	25,4	127,6	26,7	56,9	19,7	121,3	113,4
Modletice_mU_60m	136,4	7	28,5	123	26,9	52,8	16,9	117,9	112
Imisní limit pro zdraví	(24h) 50		(r) 40	(1h) 200	(r) 40	(r ^e) 30	-	(1h*)180	m8hk-120
Max. počet překročení	35			18					25 v prům. za 3 roky

Hodnoty koncentrací látek v $\mu\text{g.m}^{-3}$

PM₁₀ – částice o velikosti do 10 μm

m24h – maximální 24 hodinová koncentrace PM₁₀ během 1. - 4. kampaně

m1h – maximální hodinová koncentrace NO₂ a O₃ během 1.- 4. kampaně

m8hk – maximální denní 8h. klouzavý průměr O₃, také během 1.- 4. kampaně

x – průměr za měřená období 1.- 4. kampaně

pp – počet překročení hodnoty 24hod. limitu PM₁₀ v průběhu 1. - 4. kampaně

e – imisní limit pro ochranu ekosystémů a vegetace

24h – 24hodinový imisní limit

1h – hodinový imisní limit

r – roční imisní limit

* – informativní prahová hodnota

mL – mobilní měřicí vůz CLI Praha-Libuš

mU – mobilní měřicí vůz pobočky ČHMÚ-Ústí n.L

Tab. 2 Manuální měření

Kód, lokalita / znečišťující látka	PM _{2,5}	benzo[a]pyren
1. – 4. kampaň (56 dní)	x	x
AHER Herink	19	1,41
AMOE Modletice obec	20,1	1,04
ADOB Dobřejovice	19,9	2,07
AMOA Modletice hot spot	20,3	1,35
AMOB Modletice dopravní_30m	19,1	1,28
AMOC Modletice_mL_40m	18,9	1,05
AMOD Modletice_mU_60m	19,3	1,06
Imisní limit pro ochranu zdraví	(r) 25	(r) 1

Hodnoty koncentrací PM_{2,5} v $\mu\text{g.m}^{-3}$, benzo[a]pyren v ng.m^{-3}

PM_{2,5} – částice o velikosti do 2,5 μm

x – průměr za měřená období 1. - 4. kampaně

r – roční imisní limit

Překročení ročního imisního limitu u benzo[a]pyrenu bývá poměrně běžné ve velkých i malých sídlech ČR. Nejvyšší hodnota benzo[a]pyrenu během čtvrté kampaně byla naměřena

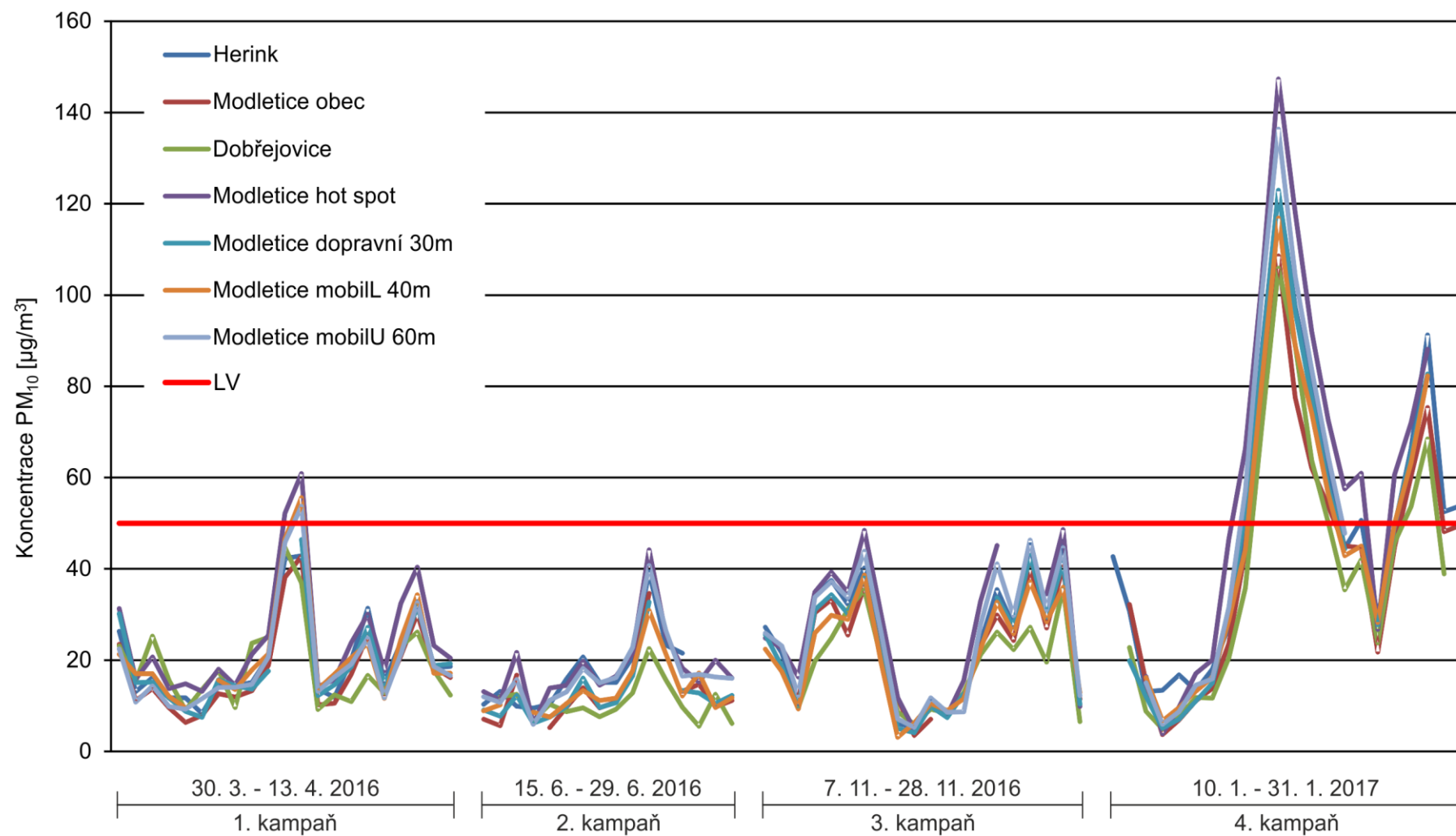
v obci Dobřejovice 11,6 ng.m⁻³. V této obci byla nejvyšší koncentrace této látky také naměřena během první a třetí kampaně. Tyto zvýšené hodnoty benzo[a]pyrenu signalizují možný lokální zdroj nedokonalého spalování v blízkém okolí stanice. Ukazuje se, že tento lokální zdroj má v obci Dobřejovice větší vliv na naměřené koncentrace benzo[a]pyrenu než doprava.



Obr. 1 Lokality obcí Herink, Modletice a Dobřejovice a lokality projektu Doprava

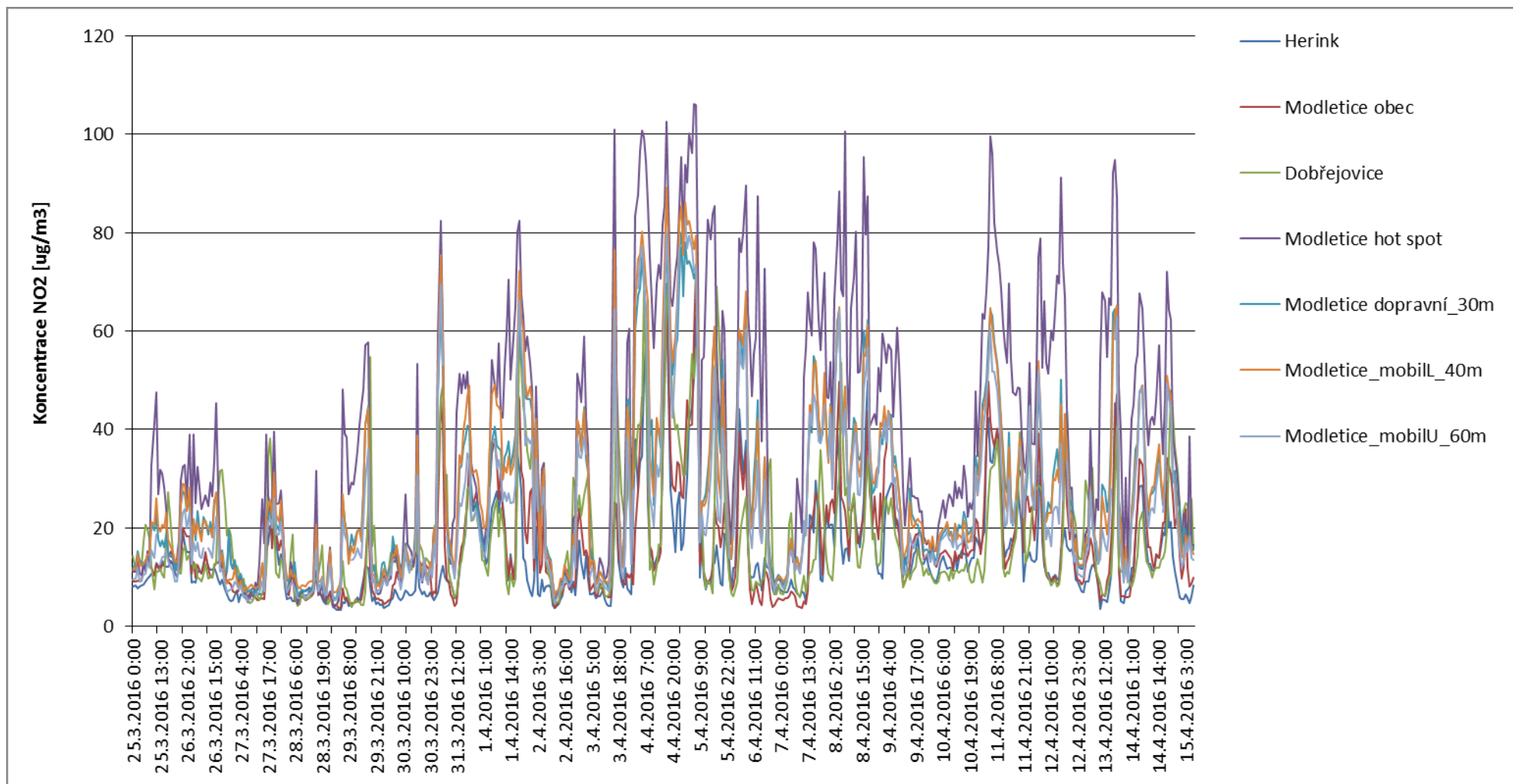


Obr. 2 Modletice – lokality u pražského okruhu (SOKP) v rámci projektu Doprava



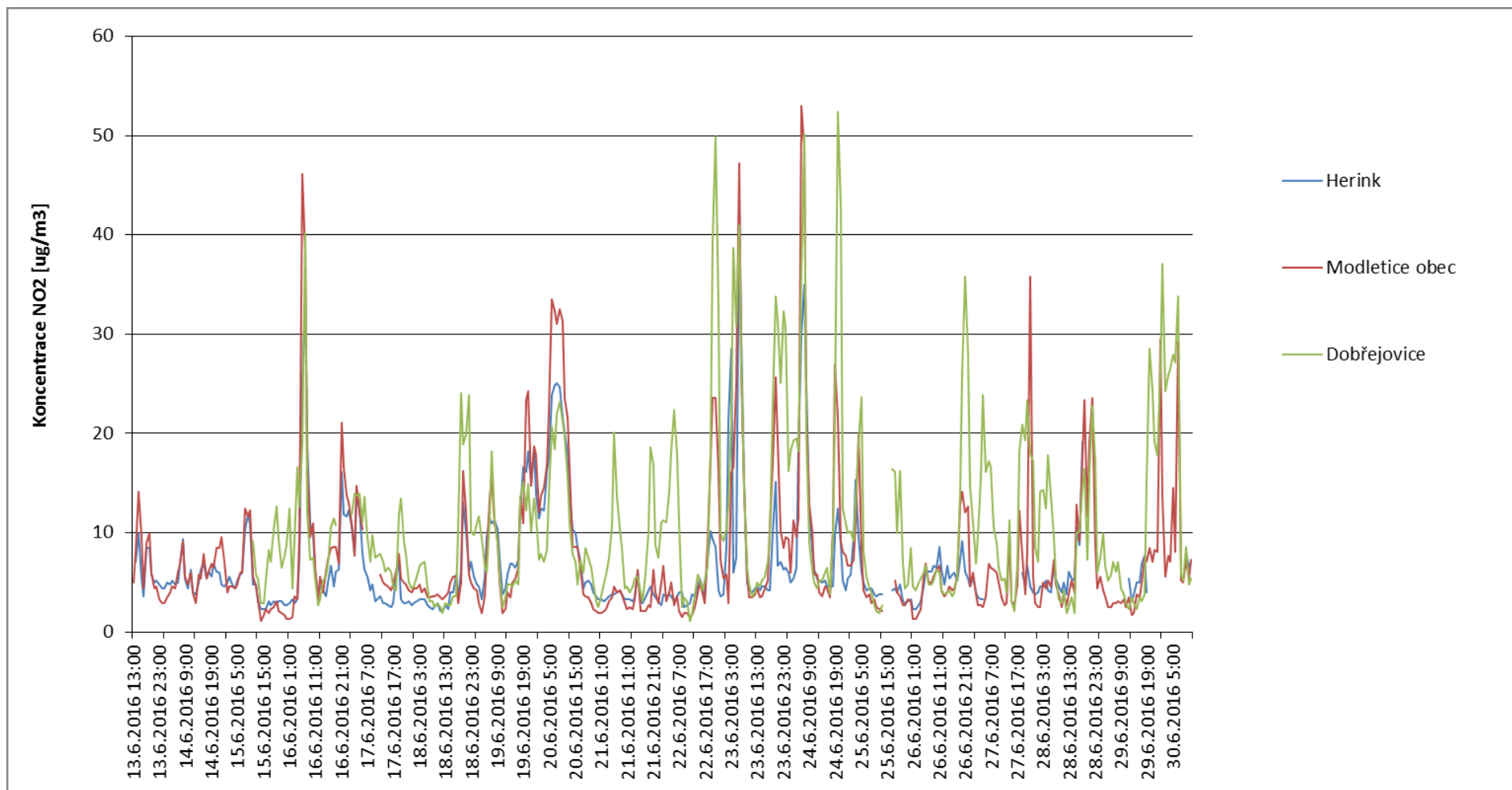
Poznámka k obr. 3: LV = hodnota 24hodinového imisního limitu PM_{10} $50 \mu g.m^{-3}$.

Obr. 3 Průměrné 24hodinové koncentrace PM_{10} , 1. - 4. kampaň



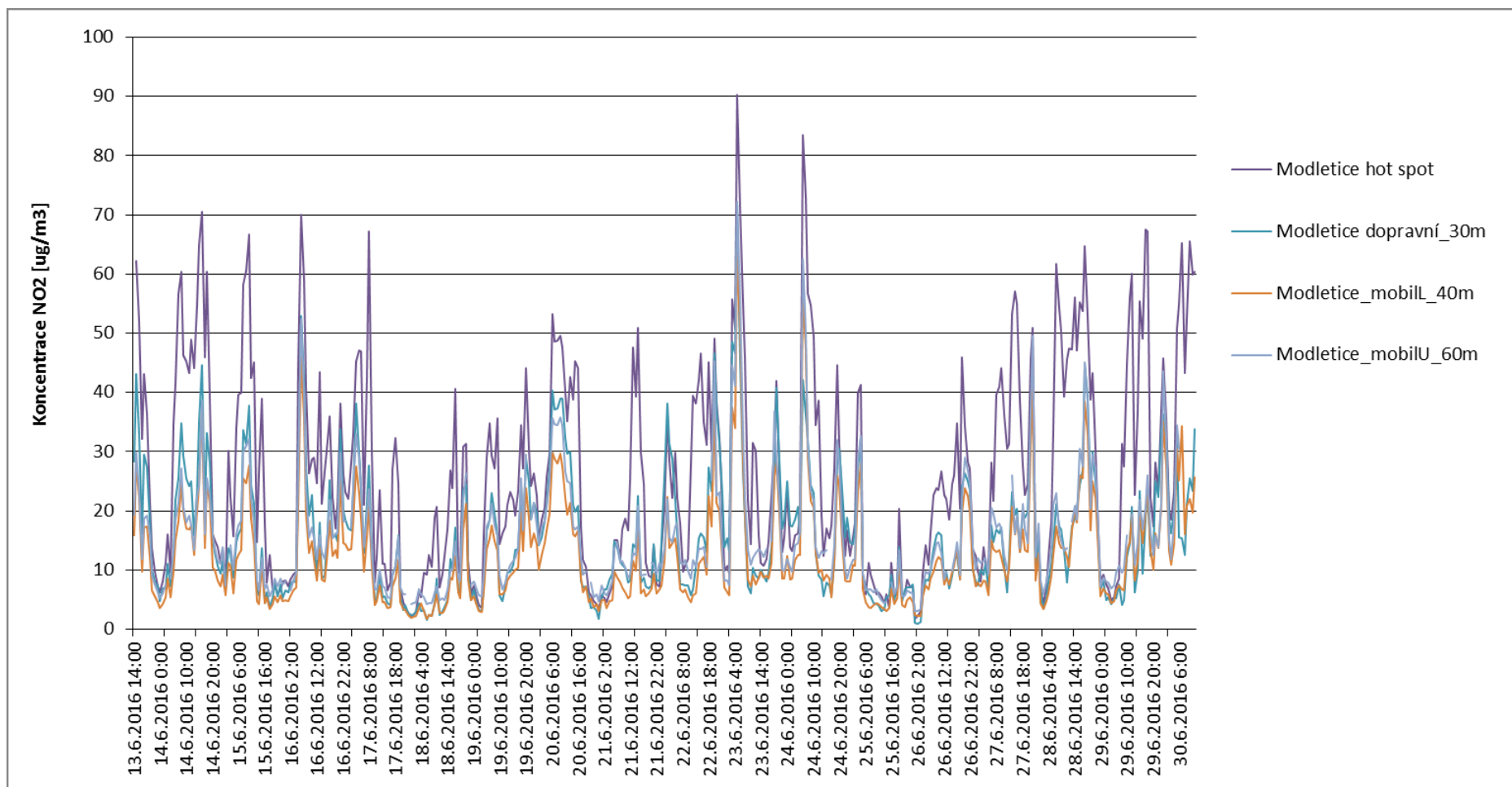
Poznámka k obr. 4: Hodnota hodinového imisního limitu NO₂ = 200 µg.m⁻³.

Obr. 4 Hodinové koncentrace NO₂, 1. kampaň 25. 3. – 15. 4. 2016



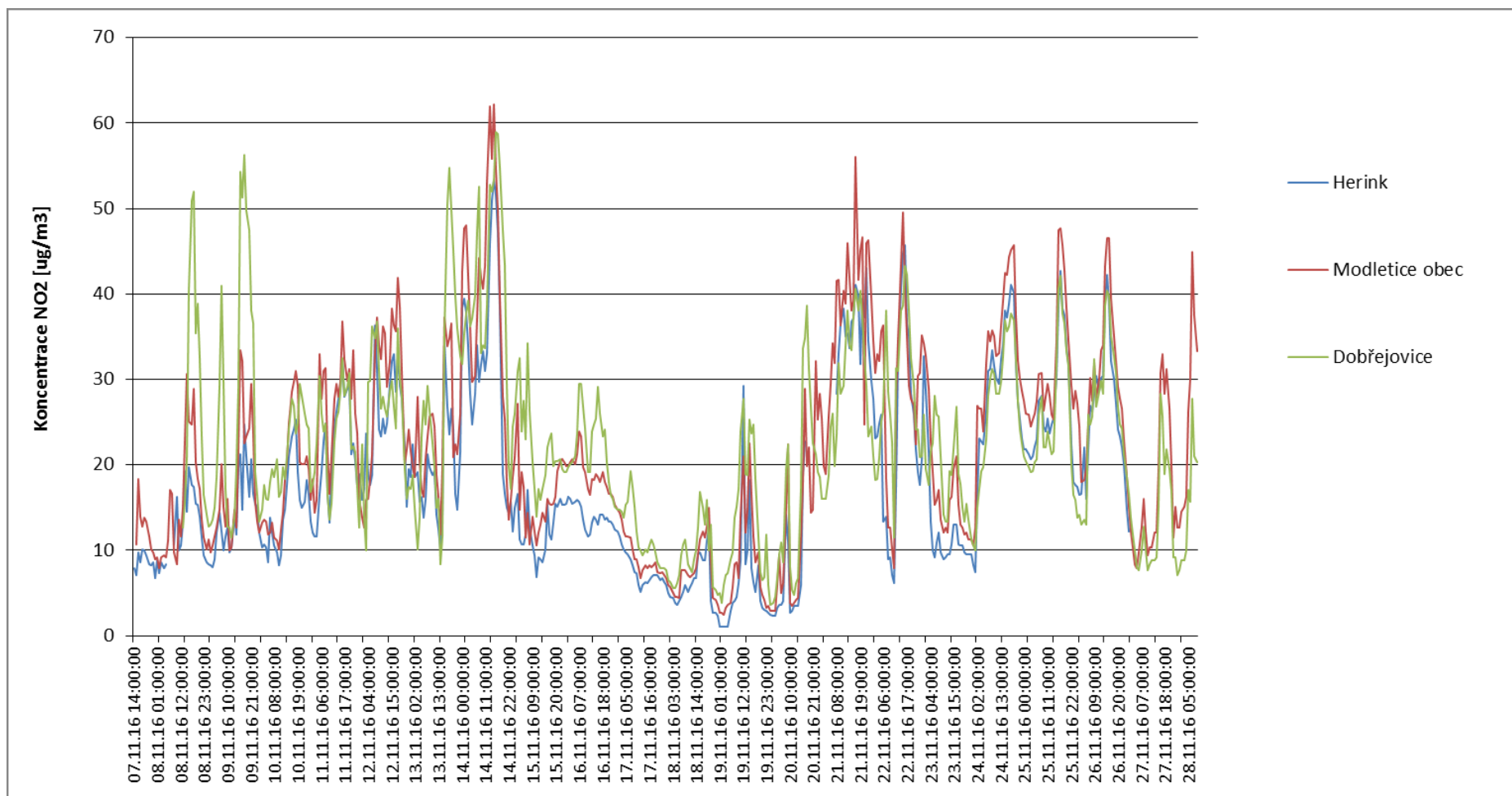
Poznámka k obr. 5: Hodnota hodinového imisního limitu NO₂ = 200 µg.m⁻³.

Obr. 5 Hodinové koncentrace NO₂ naměřené na pozadíových lokalitách, 2. kampaň 13. 6. – 30. 6. 2016



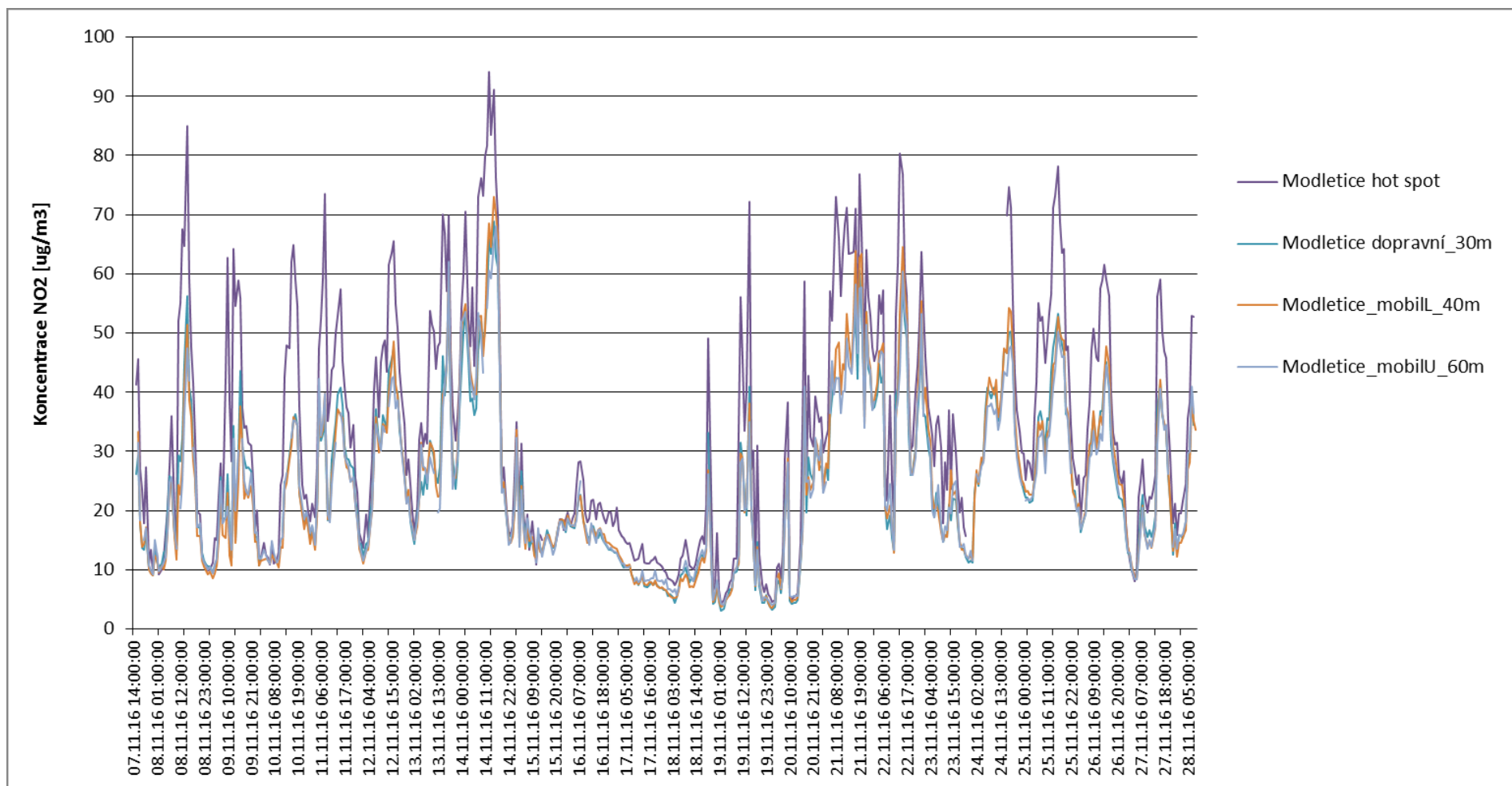
Poznámka k obr. 6: Hodnota hodinového imisního limitu NO₂ = 200 µg.m⁻³.

Obr. 6 Hodinové koncentrace NO₂ naměřené na lokalitách projektu Doprava, 2. kampaň 13. 6. – 30. 6. 2016



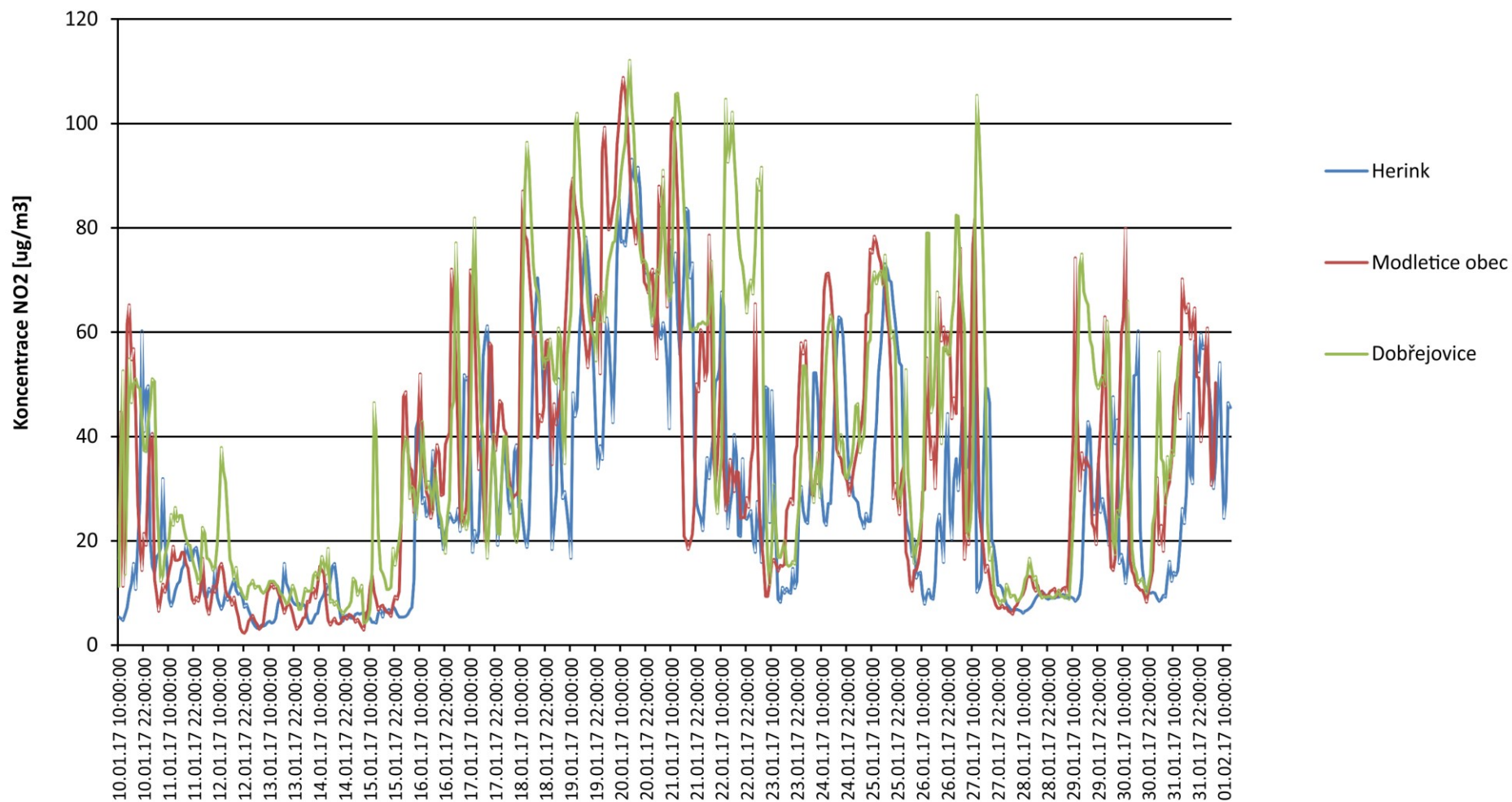
Poznámka k obr. 7: Hodnota hodinového imisního limitu NO₂ = 200 µg.m⁻³.

Obr. 7 Hodinové koncentrace NO₂ naměřené na pozadíových lokalitách, 3. kampaň 7. 11. – 28. 11. 2016



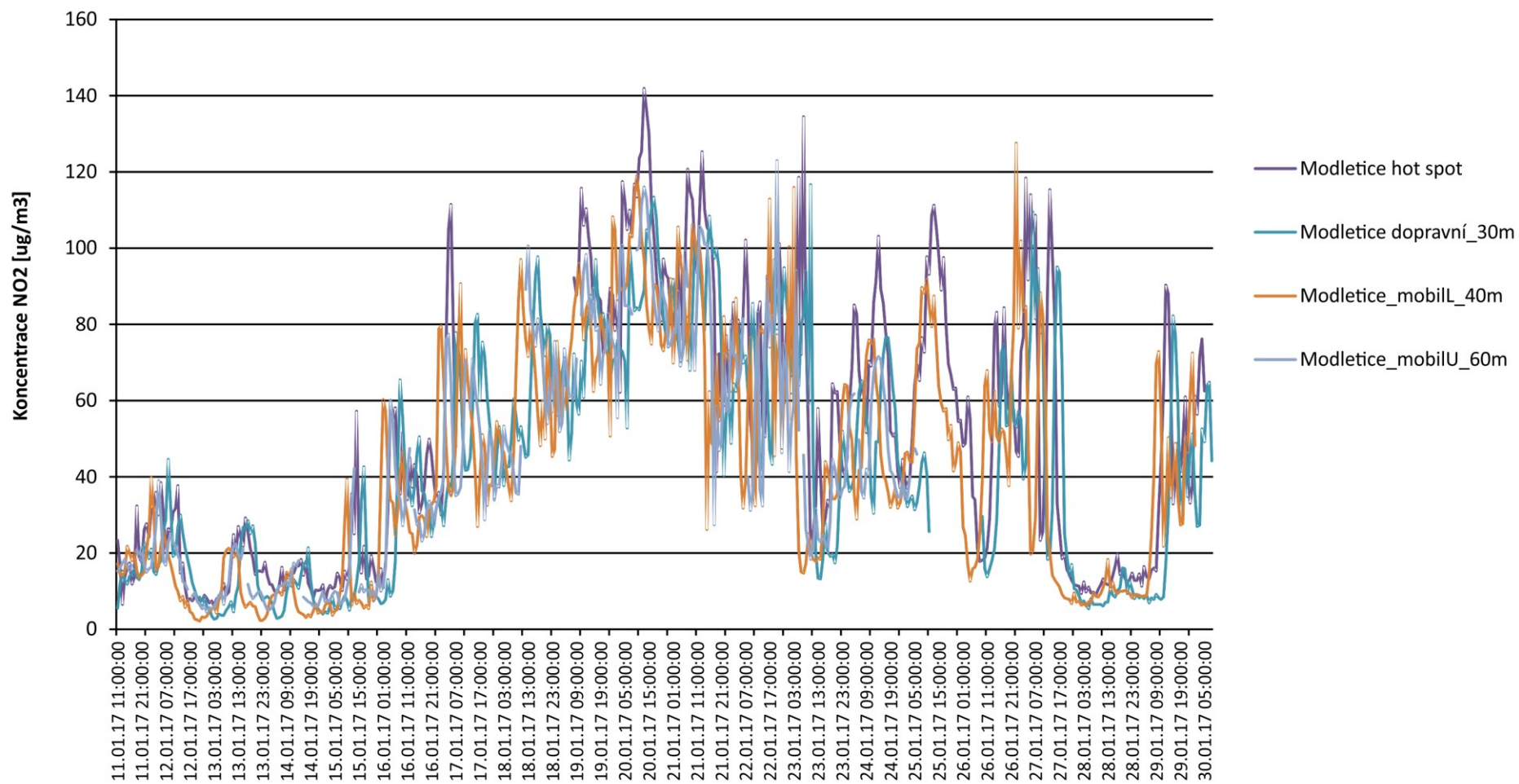
Poznámka k obr. 8: Hodnota hodinového imisního limitu NO₂ = 200 µg.m⁻³.

Obr. 8 Hodinové koncentrace NO₂ naměřené na lokalitách projektu Doprava, 3. kampaň 7. 11. – 28. 11. 2016



Poznámka k obr. 9: Hodnota hodinového imisního limitu $\text{NO}_2 = 200 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Obr. 9 Hodinové koncentrace NO_2 naměřené na pozadíových lokalitách, 4. kampaň 10. 1. – 1. 2. 2017



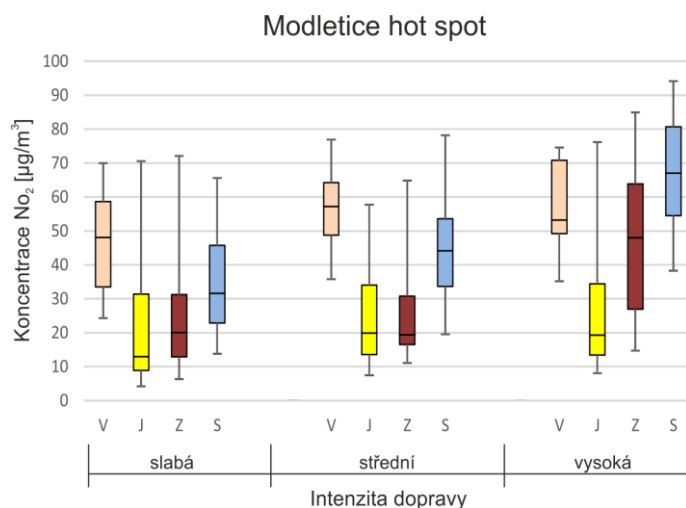
Poznámka k obr. 10: Hodnota hodinového imisního limitu NO₂ = 200 µg.m⁻³.

Obr. 10 Hodinové koncentrace NO₂ naměřené na lokalitách projektu Doprava, 4. kampaň 11. 1. – 31. 1. 2017



KONCENTRACE OXIDŮ DUSÍKU NA MĚŘICÍCH MÍSTECH U SOKP V OBCI MODLETICE ZA 1. – 4. KAMPAŇ PŘI RŮZNÝCH INTENZITÁCH MÍSTNÍ DOPRAVY

ZPRÁVA Z PROJEKTU "ŠÍŘENÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK OVZDUŠÍ V OKOLÍ DOPRAVNÍCH KOMUNIKACÍ" (PROJEKT DOPRAVA)



Datum: 27. 4. 2017

Pracoviště: Český hydrometeorologický ústav, ÚOČO, ISKO

Zpracovali: Mgr. Lea Paličková a kolektiv ISKO

Místo: Praha



Krabicové diagramy byly v rámci projektu Doprava konstruovány pro lokality Modletice hot spot a Modletice dopravní 30 m (obr. 1), tedy pro stanice položené nejbližší vozovce SOKP. Na obou stanicích se měřilo kontinuálně každou hodinu. Meteorologická data byla použita z mobilního měřicího vozu pobočky ČHMÚ Ústí n. L., který byl umístěn přibližně 40 m od SOKP. Cílem bylo posoudit kvalitu ovzduší v nejbližším okolí komunikace při různém směru větru a rozdílné intenzitě dopravy na SOKP. Ve studii bylo pracováno s koncentracemi oxidů dusíku (NO_x , NO a NO_2) z důvodu úzkého vztahu a dobré korelace se znečištěním ovzduší způsobeném dopravou.



Obr. 1 Lokality obcí Herink, Modletice a Dobřejovice a lokality projektu Doprava

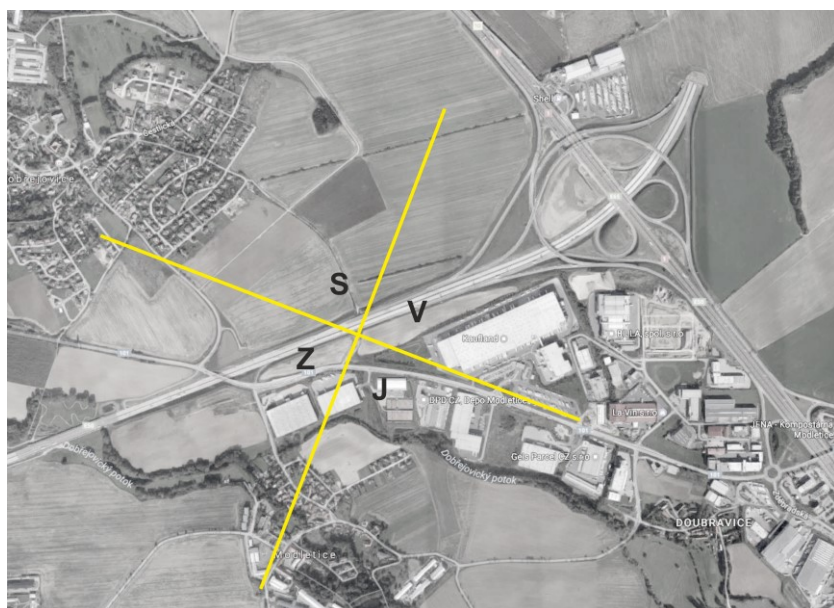
Pro kvantifikaci intenzity dopravy posloužily hodinové údaje o množství průjezdů vozidel nad 3,5 t mýtnou branou v úseku komunikace Jesenice-Modletice. Údaje pro všechny 4 kampaně poskytl Ředitelství silnic a dálnic ČR (ŘSD). Maximální hodinové intenzity dopravy získané z mýtných bran pro všechny 4 kampaně jsou uvedeny níže v tab. 1.

Tab. 1 Maximální hodinové intenzity dopravy, 1. – 4. kampaň

	počet průjezdů	den	hodina
1. kampaň	945	29. 3. 2016	13:00
2. kampaň	899	30. 6. 2016	14:00
3. kampaň	943	22. 11. 2016	11:00
4. kampaň	886	19. 1. 2017	10:00

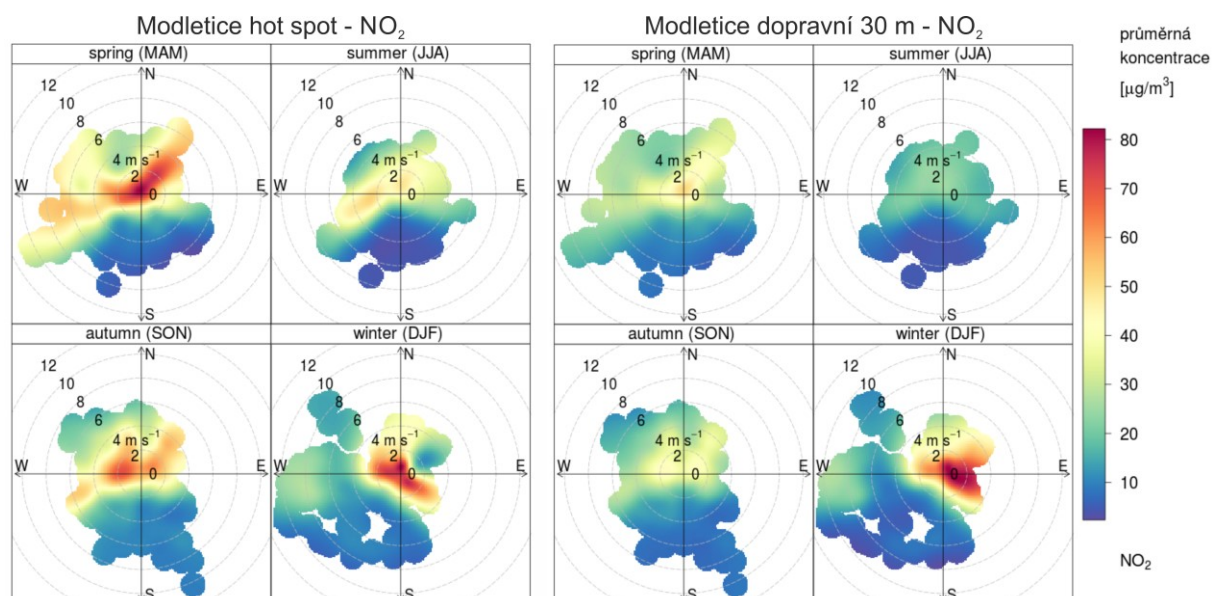
Krabicové diagramy byly konstruovány zvlášť pro každou měřicí kampaň. Na hodnocených stanicích Modletice hot spot a Modletice dopravní 30 m byly posuzovány koncentrace oxidů dusíku (NO_2 , NO , NO_x).

Naměřená data byla v první fázi rozčleněna podle intenzity dopravy registrované v hodinu měření do tří intervalů (slabá, střední a vysoká intenzita dopravy). Jednotlivé stupně pak byly samostatně rozčleněny podle převládajícího směru proudění na čtyři sektory (obr. 2). Obr. 3–14 znázorňují charakteristiky naměřených koncentrací oxidů dusíku podle výše zmíněného postupu pro všechny čtyři měřicí kampaně.



Obr. 2 Rozdělení sektorů směru větru, dopravní stanice Modletice

U všech lokalit převažovaly v průběhu jarní, letní a zimní kampaně jihozápadní a západní směry větru. V podzimní kampani dominoval spíše jižní a jihovýchodní směr větru. Naopak nejméně četný byl severovýchodní směr proudění (obr. 3).



Obr. 3 Sezónní koncentrační růžice NO₂, dopravní stanice Modletice

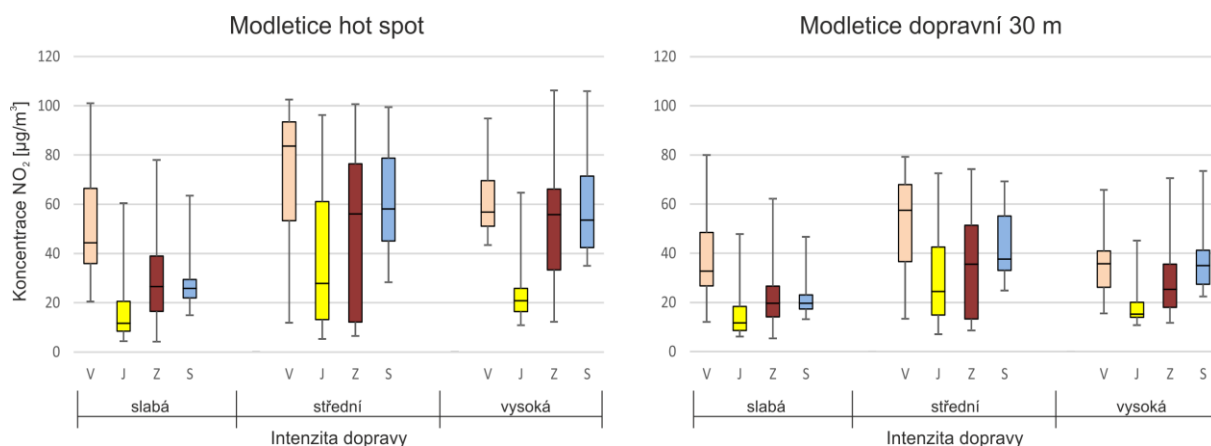
Pokud se zaměříme na prezentované výsledky, z velké části se v určitých rysech shodují. Níže komentované budou primárně grafy NO₂ (obr. 4, 7 a 10), protože koncentrace NO₂ jsou jako jediné z oxidů dusíku posuzované podle imisních limitů pro ochranu zdraví dle zákona č. 201/2012 Sb., v platném znění. Souhrnně jsou komentovány výsledky z 1. – 3. kampaně, výsledky 4. kampaně jsou hodnoceny zvlášť z důvodu odlišných podmínek při vyhlášené smogové situaci.

Jak je z obrázků 4–15 patrné, při nízké intenzitě dopravy jsou nejvyšší koncentrace naměřeny ze sektoru východního. S přibývajícím intenzitou dopravy se tento trend mění a vyšší koncentrace oxidů dusíku jsou detekovány při proudění větru ze severního sektoru. Jižní sektor naopak přináší nejnižší koncentrace. Z toho lze usuzovat, že při nižším stupni dopravy je hlavním problémem dálnice D1, která se nachází východním směrem od měřících míst. V dopravní špičce, kdy stoupá počet projíždějících automobilů na SOKP i dálnici D1, se pořadí těchto komunikací mění a vyšší koncentrace jsou měřeny ze směru přilehlého měření u SOKP. Nejnižší koncentrace jsou vždy měřeny při směru větru od obce Modletice (jižní sektor).

Výrazně odlišná situace je vidět při zhodnocení dat za 4. měřící kampaň. V období měření 12. 1. – 26. 1. 2017 se nad většinou území České republiky vyskytovaly zhoršené meteorologické a rozptylové podmínky, které v druhé polovině ledna vedly k vyhlášení smogové situace a regulace pro suspendované částice PM₁₀. Smogová situace v Zóně Střední Čechy byla vyhlášena od 19. 1. 2017 14:34 do 24. 1. 2017 10:29 (celkem 116 hodin). K tomu regulace od 21. 1. 2017 04:40 do 24. 1. 2017 04:09 (celkem 71 hodin).

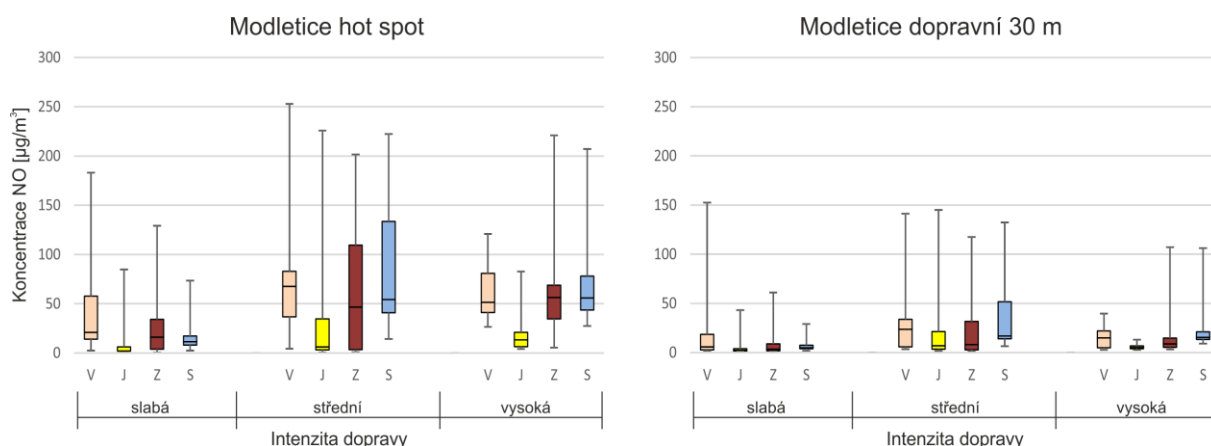
Na obr. 13–15 je vidět, jak se zhoršené rozptylové podmínky promítly do rozložení oxidů dusíku. Jak je patrné, během 4. měřící kampaně neměla intenzita dopravy tak výrazný vliv na naměřené koncentrace jako v přechozích obdobích. Nikterak výrazně se ani neliší koncentrace naměřené v závislosti na sektoru větru. Na lokalitách Modletice hot spot a Modletice dopravní 30 m byly při 4. kampani naměřeny nejvyšší koncentrace ze všech kampaní.

Je zde patrné, že nejvyšších koncentrací bylo naměřeno při směru východním, nejnižších pak nejčastěji při západním směru větru. Lze tak předpokládat, že i během smogových situací se na znečištění nejvíce podílela přilehlá dálnice D1, znečištění ze SOKP pak bylo spíše doplňkové a převažovalo pouze při nejvyšších intenzitách dopravy. Zároveň zde lze pozorovat i poměrně vysoké koncentrace z jižního sektoru, které lze přisuzovat pozadovému znečištění v obci Modletice a probíhající smogové situaci. V předchozích kampaních nebylo znečištění z jižního sektoru v takové míře detekováno.

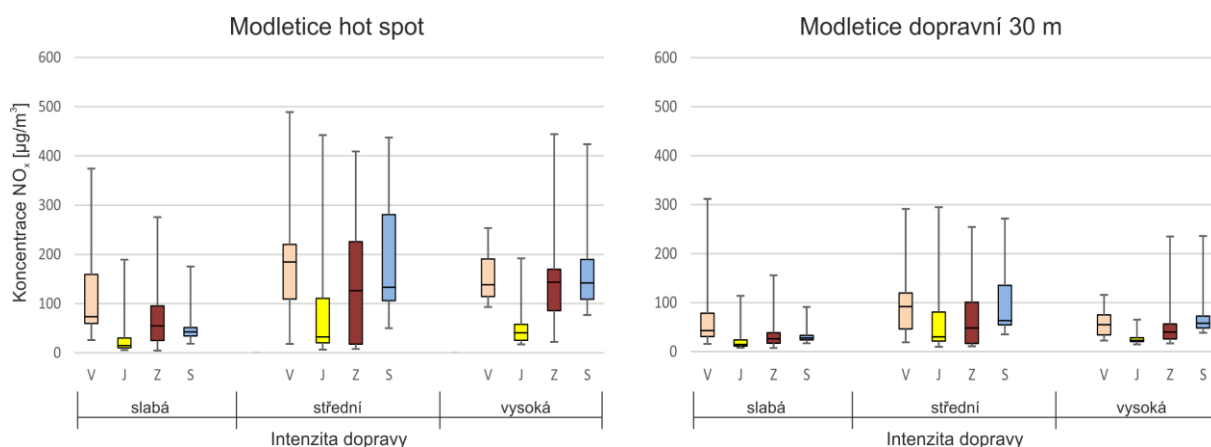


Poznámka k obr. 4: Hodnota hodinového imisního limitu NO_2 je $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

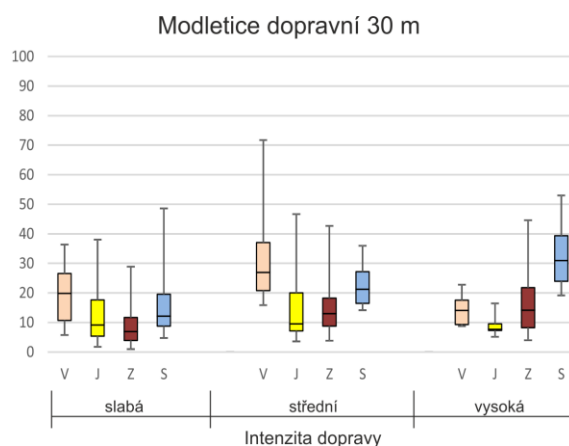
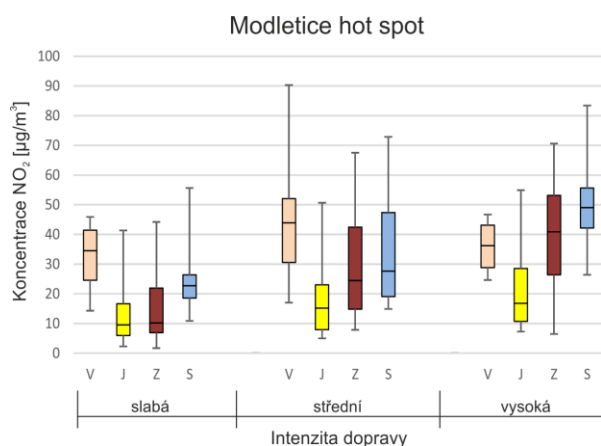
Obr. 4 Hodinové koncentrace NO_2 v závislosti na směru větru a intenzitě dopravy na SOKP, 1. kampaň



Obr. 5 Hodinové koncentrace NO v závislosti na směru větru a intenzitě dopravy na SOKP, 1. kampaň

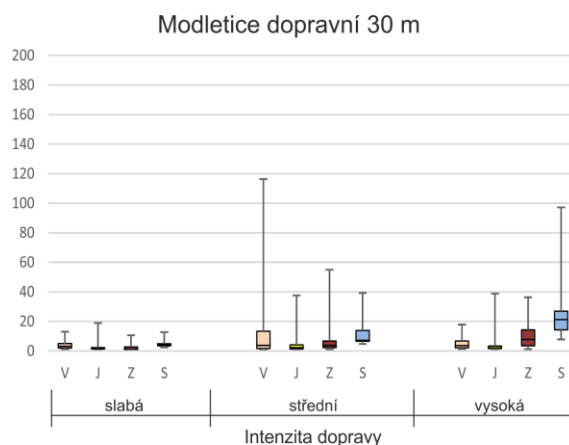
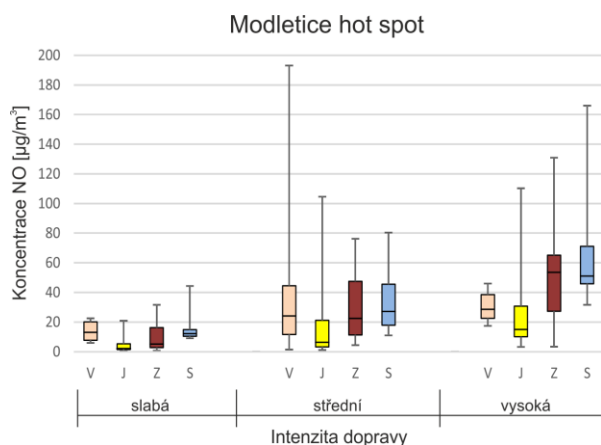


Obr. 6 Hodinové koncentrace NO_x v závislosti na směru větru a intenzitě dopravy na SOKP, 1. kampaň

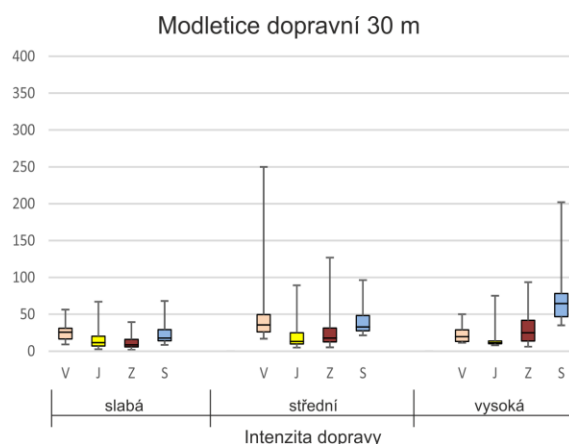
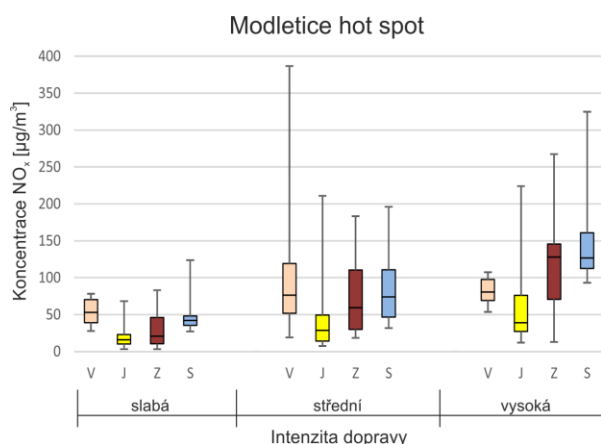


Poznámka k obr. 7: Hodnota hodinového imisního limitu NO_2 je $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

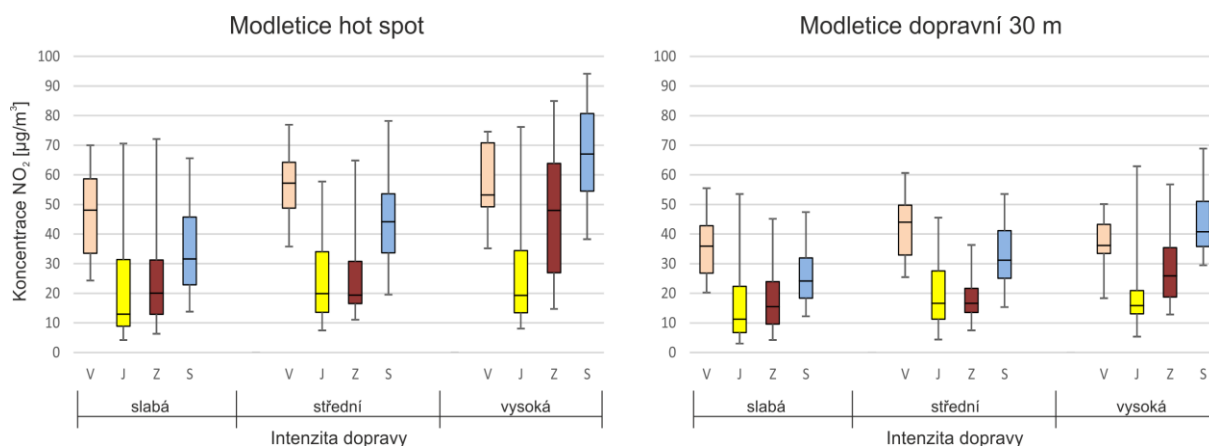
Obr. 7 Hodinové koncentrace NO_2 v závislosti na směru větru a intenzitě dopravy na SOKP, 2. kampaň



Obr. 8 Hodinové koncentrace NO v závislosti na směru větru a intenzitě dopravy na SOKP, 2. kampaň

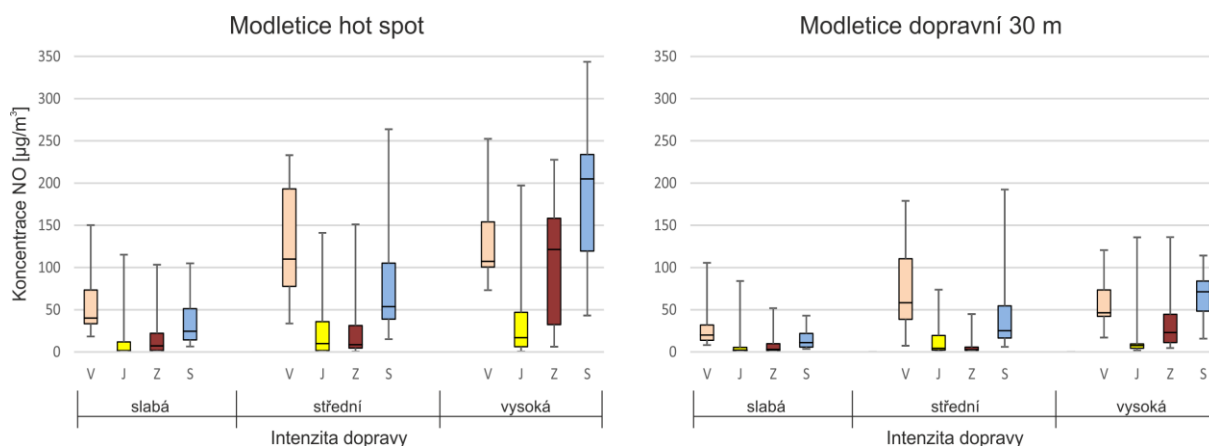


Obr. 9 Hodinové koncentrace NO_x v závislosti na směru větru a intenzitě dopravy na SOKP, 2. kampaň

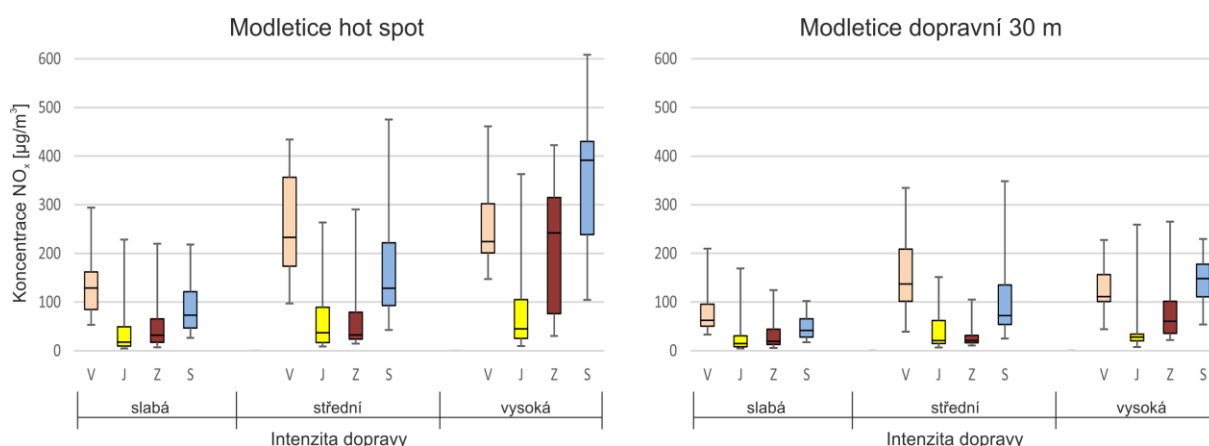


Poznámka k obr. 10: Hodnota hodinového imisního limitu NO_2 je $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

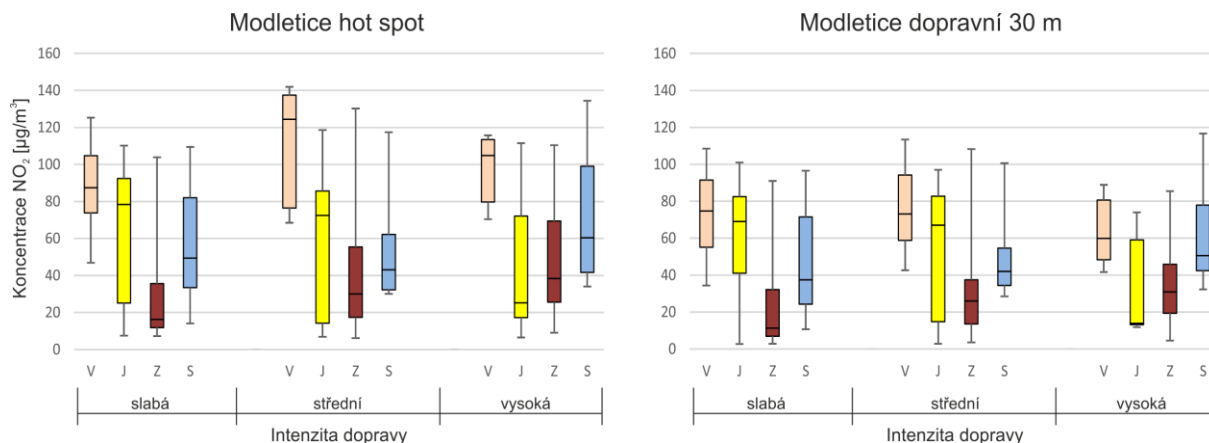
Obr. 10 Hodinové koncentrace NO_2 v závislosti na směru větru a intenzitě dopravy na SOKP, 3. kampaň



Obr. 11 Hodinové koncentrace NO v závislosti na směru větru a intenzitě dopravy na SOKP, 3. kampaň

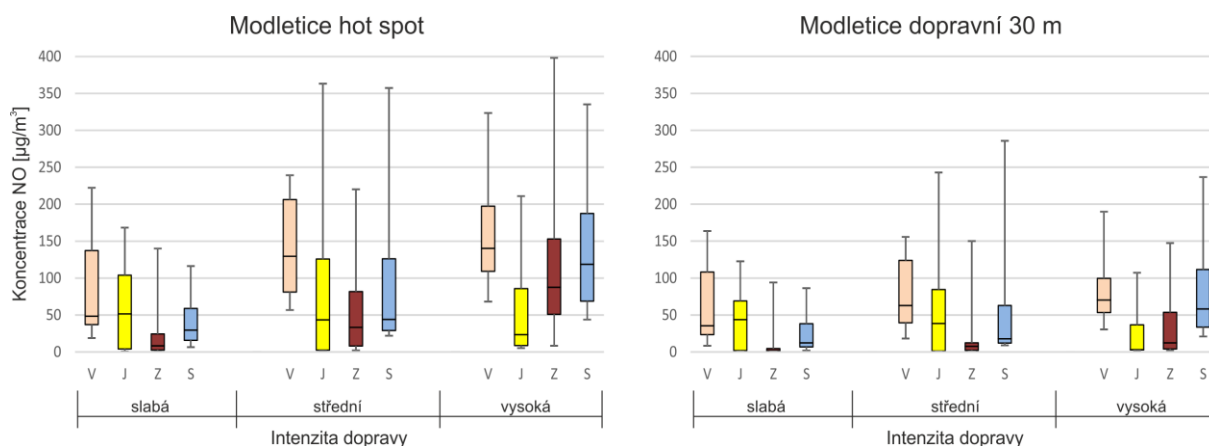


Obr. 12 Hodinové koncentrace NO_x v závislosti na směru větru a intenzitě dopravy na SOKP, 3. kampaň

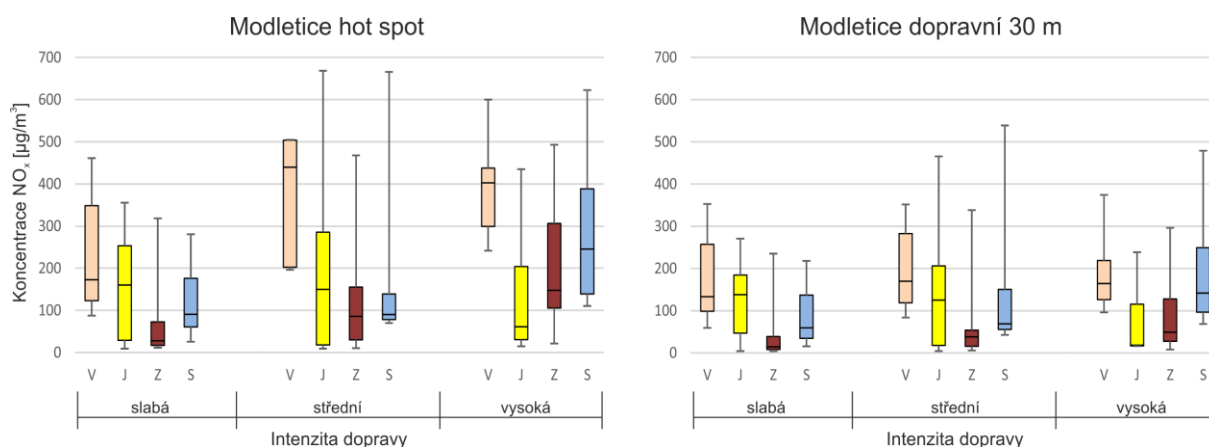


Poznámka k obr. 13: Hodnota hodinového imisního limitu NO_2 je $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Obr. 13 Hodinové koncentrace NO_2 v závislosti na směru větru a intenzitě dopravy na SOKP, 4. kampaň



Obr. 14 Hodinové koncentrace NO v závislosti na směru větru a intenzitě dopravy na SOKP, 4. kampaň

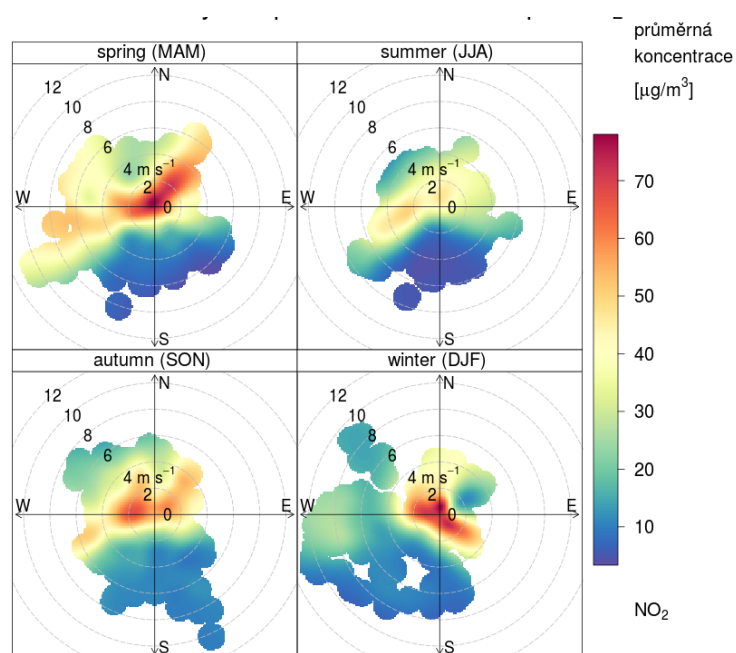


Obr. 15 Hodinové koncentrace NO_x v závislosti na směru větru a intenzitě dopravy na SOKP, 4. kampaň



KONCENTRAČNÍ RŮŽICE ZA 1. – 4. KAMPAŇ V MĚŘICÍCH MÍSTECH HERINK, MODLETICE A DOBŘEJOVICE A NA DOPRAVNÍCH LOKALITÁCH U OBCE MODLETICE

ZPRÁVA Z PROJEKTU "ŠÍŘENÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK OVZDUŠÍ V OKOLÍ DOPRAVNÍCH KOMUNIKACÍ" (PROJEKT DOPRAVA)



Datum: 27. 4. 2017

Pracoviště: Český hydrometeorologický ústav, ÚOČO, ISKO

Zpracovali: RNDr. Jan Sládeček, Ing. Jana Ďoubalová a kolektiv ISKO

Místo: Praha

Všechny čtyři kampaně proběhly za spolupráce obcí Herink, Modletice a Dobřejovice a ČHMÚ Praha. Cílem bylo posoudit také pomocí koncentračních růžic možný vliv silničního okruhu kolem Prahy (zkráceně pražský okruh, nebo SOKP) na kvalitu ovzduší v okolí komunikace a na pozadových lokalitách uvedených obcí.

Měření kvality venkovního ovzduší proběhlo ve všech kampaních na třech pozadových lokalitách v obcích Herink, Modletice a Dobřejovice (obr. 1). V rámci projektu "Šíření znečišťujících látek ovzduší v okolí dopravních komunikací" (projekt Doprava) byly vybrány čtyři lokality u SOKP severně od obce Modletice. První měřicí místo bylo zvoleno přímo u vozovky SOKP, druhé u příjezdu k podchodu ve vzdálenosti asi 30 m od SOKP, třetí a čtvrtá lokalita na vyvýšeném náspu přibližně 40 m a 60 m od SOKP (obr. 2).

V případě této zprávy, týkající se koncentračních růžic, byly pro určité porovnání použity výsledky měření ze stanice AIM Praha - Libuš (obr. 3), která je vzdálená od lokalit u SOKP asi 12 km. Stanice je umístěná na okraji sídelní zóny v areálu observatoře ČHMÚ. Asi 50 m jižně od stanice prochází poměrně frekventovaná komunikace Gen. Šišky.

Z provozních a technických důvodů nebylo možné začít 1. kampaň dříve než na jaře 2016, takže byl časový harmonogram jednotlivých 15denních měřicích kampaní stanoven takto:

1. jarní kampaň 30. 3. - 13. 4. 2016
2. letní kampaň 15. 6. - 29. 6. 2016
3. podzimní kampaň 11. 11. - 25. 11. 2016
4. zimní kampaň 12. 1. - 26. 1. 2017

Kontinuální měření znečišťujících látek PM_{10} , NO_2 , NO_x , NO a O_3 bylo zajištěno stacionárními automatizovanými stanicemi a měřicími vozy.

Dvěma mobilními měřicími vozy byla během čtyř kampaní měřena také doprovodná meteorologická data. Průměrná denní teplota na měřicích lokalitách byla během období čtyř kampaní cca 7 °C. Teplotní rozpětí bylo 34 °C (kolem 24. června 2016) až -14 °C (kolem 19. ledna 2017). Během všech kampaní převažoval mírný vítr, s maximálními nárazy v lednu 2017 cca 11 $m.s^{-1}$. Průměrná rychlost větru za všechny čtyři kampaně byla 3 $m.s^{-1}$. Směr proudění byl proměnlivý, nicméně převažovaly spíše západní směry větru.

Zhoršené meteorologické a rozptylové podmínky byly příčinou vysokých koncentrací PM_{10} v druhé polovině ledna, během čtvrté kampaně, a vedly až k vyhlášení smogové situace a regulace.

Koncentrační růžice byly v rámci projektu Doprava konstruovány pro všech sedm lokalit, kde se měřilo kontinuálně každou hodinu. Meteorologická data byla použita z mobilního měřicího vozu pobočky ČHMÚ Ústí n. L., který byl umístěn asi 40 m od SOKP. Cílem bylo posoudit vliv SOKP na kvalitu ovzduší v okolí komunikace při různém směru a rychlosti větru. Koncentrační růžice byly konstruovány dohromady za všechny měřicí kampaně (sezónní koncentrační růžice) a jsou uvedeny na obr. 4–38. Pro porovnání jsou zařazeny i koncentrační růžice stanice AIM Praha 4-Libuš (obr. 39–43). Vždy je pro každou lokalitu uvedena koncentrační růžice pro znečišťující látky PM_{10} , NO_2 , NO_x , NO a O_3 .

U všech lokalit převažovaly v průběhu jarní, letní a zimní kampaně jihozápadní a západní směry větru. V podzimní kampani dominoval spíše jižní a jihovýchodní směr větru. Naopak nejméně četné byly severovýchodní směry proudění.

Koncentrační růžice názorně potvrzují sezónní trend v průběhu roku ve znečišťujících látkách v ovzduší. Zvýšené koncentrace látek PM₁₀, NO₂, NO_x, NO dominují hlavně ve 4. - zimní kampani při zhoršených meteorologických a rozptylových podmínkách. Naopak zvýšené koncentrace O₃ jsou typické při letní kampani při vysoké teplotě a slunečním záření.

Nejvyšší průměrné koncentrace znečišťujících látek PM₁₀, NO₂, NO_x a NO byly v průběhu všech čtyř kampaní naměřeny na lokalitě Modletice hot spot, která je umístěna přímo u SOKP (obr. 2). Vysoké hodnoty znečištění jsou podle koncentračních růžic jednak přímo v místě měření - v lokalitě Modletice hot spot (obr. 19–22), což odpovídá liniovému zdroji znečištění - SOKP, ale také při západním a severovýchodním směru větru. Při tomto severovýchodním proudění se kumuluje vliv dopravy z SOKP a dálnice D1. Tato skutečnost se projevuje i u ostatních dopravních lokalit znečištěním přicházejícím z východního sektoru, které je patrné zejména u NO₂ (obr. 25, 30 a 35).

U pozadových lokalit Herink, Modletice a Dobřejovice se znečištění PM₁₀, NO₂, NO_x a NO projevuje v samotných obcích. V případě Dobřejovic přichází znečištění podle koncentračních růžic hlavně od jihovýchodu v průběhu zimní kampaně (obr. 14-17). V tomto směru je zdvihačící se svah, znečištění lze více předpokládat z této části obce než od SOKP.

V případě stanice AIM Praha-Libuš nastává největší znečištění podle koncentračních růžic z jihovýchodního směru větru v průběhu zimní kampaně (obr. 39-42). Pravděpodobnou příčinou by mohly být domky ve staré zástavbě Libuše, asi 1km na jihovýchod od stanice AIM, případně i vzdálenější zástavba v části Praha-Písnice, asi 2km ve stejném směru.

Specifický charakter mají koncentrační růžice přízemního ozonu. Zejména u dopravních lokalit jsou koncentrace O₃ v místě měření nízké. Je to způsobeno dopravou, kde dochází k odbourávání O₃ chemickou reakcí s NO. Nejvíce je to patrné u lokality Modletice hot spot, kde jsou koncentrace O₃ nejnižší (obr. 23).



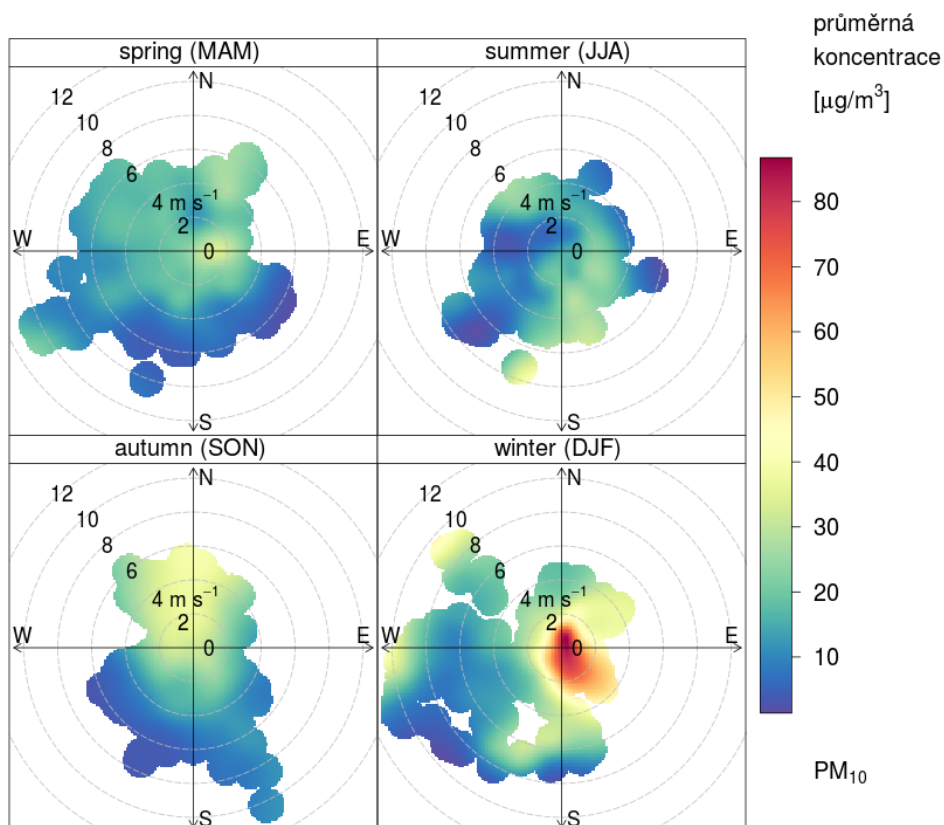
Obr. 1 Lokality obcí Herink, Modletice a Dobřejovice a lokality projektu Doprava



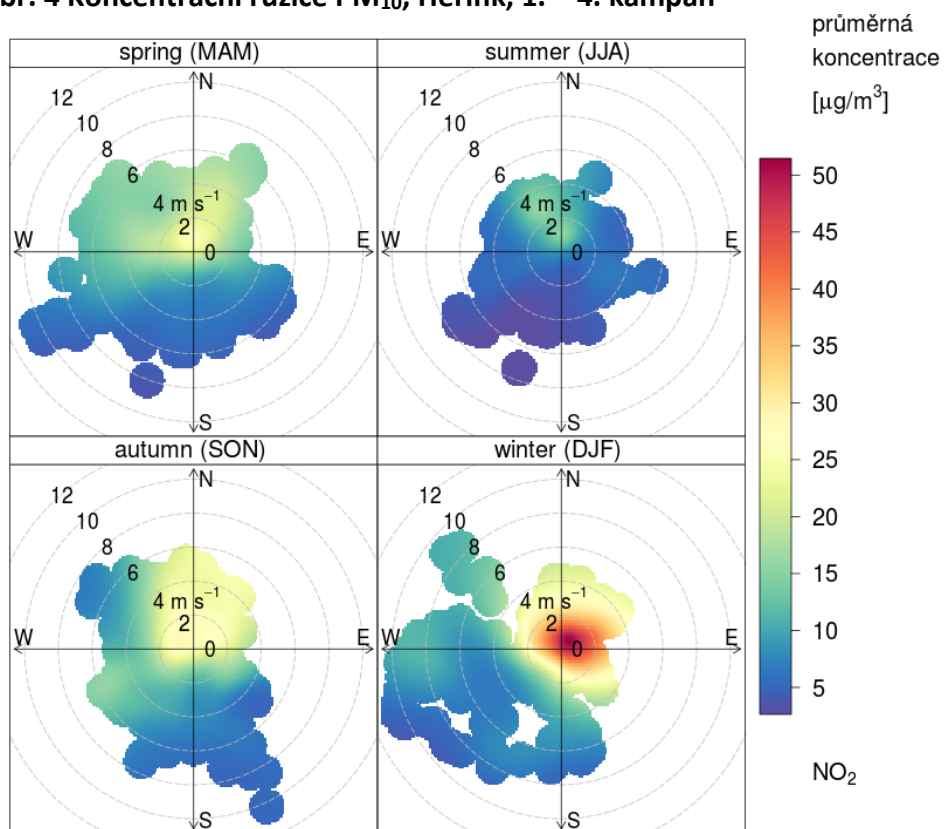
Obr. 2 Modletice – lokality u pražského okruhu (SOKP) v rámci projektu Doprava



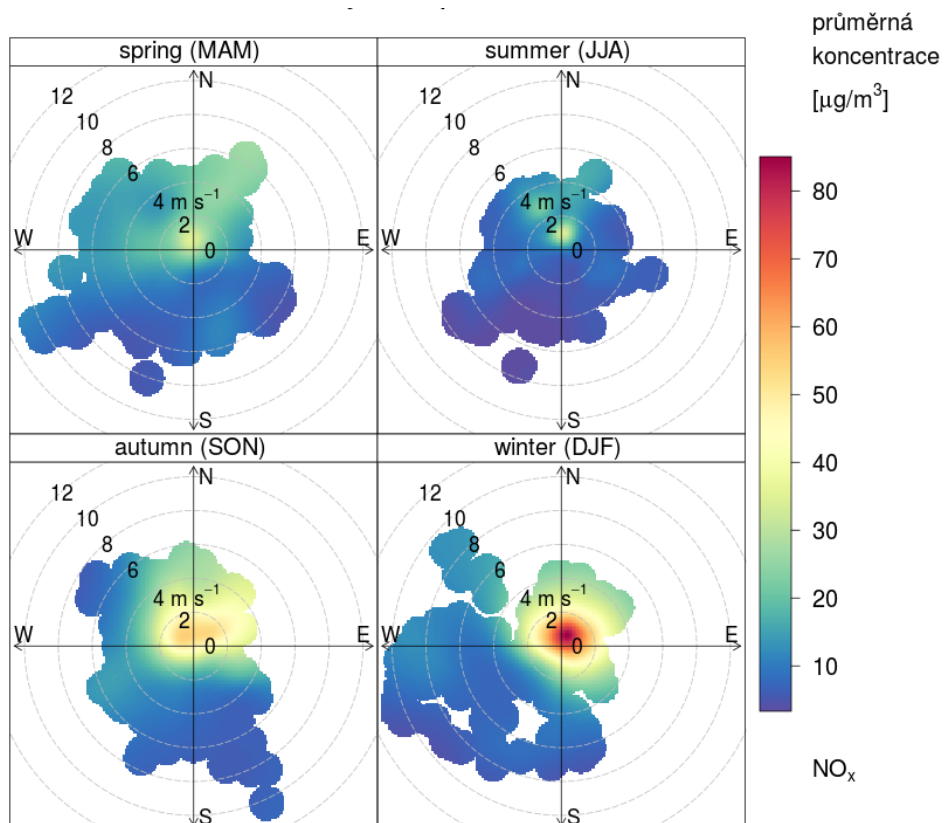
Obr.3 Stanice AIM Praha 4 - Libuš



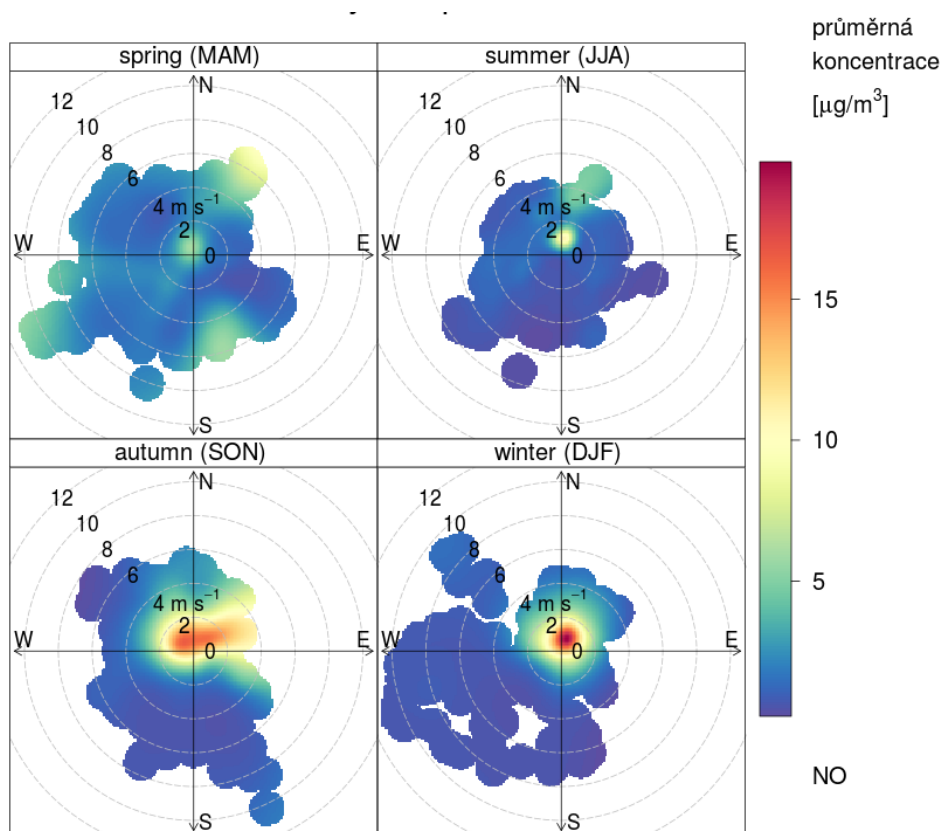
Obr. 4 Koncentrační růžice PM₁₀, Herink, 1. – 4. kampaň



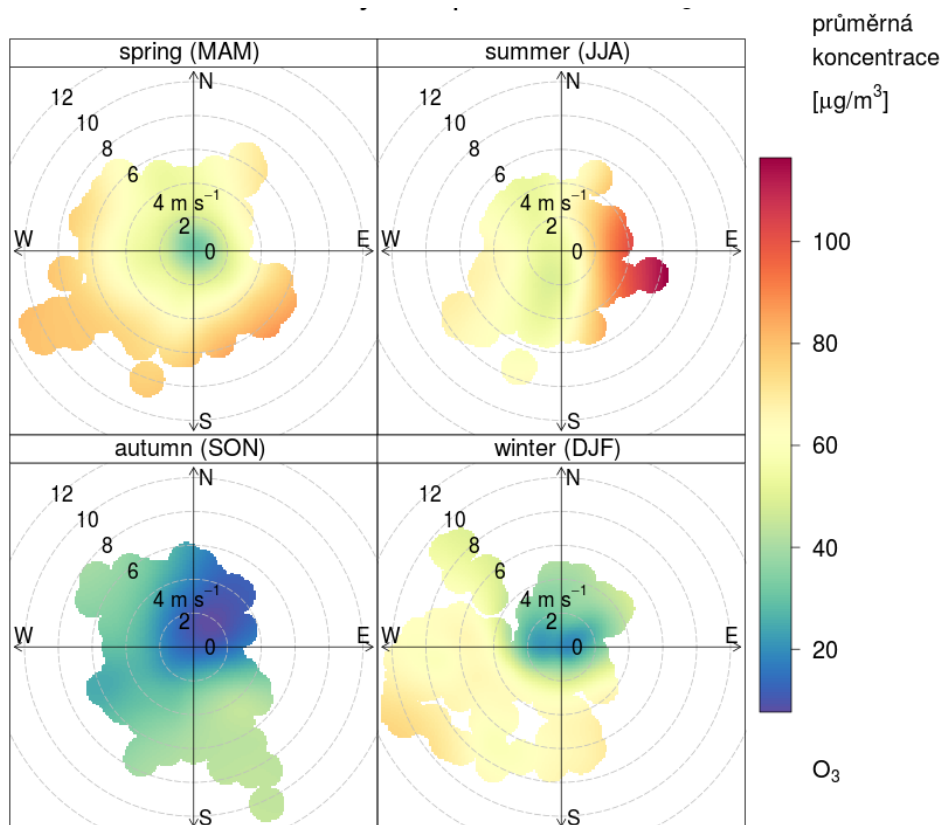
Obr. 5 Koncentrační růžice NO₂, Herink, 1. – 4. kampaň



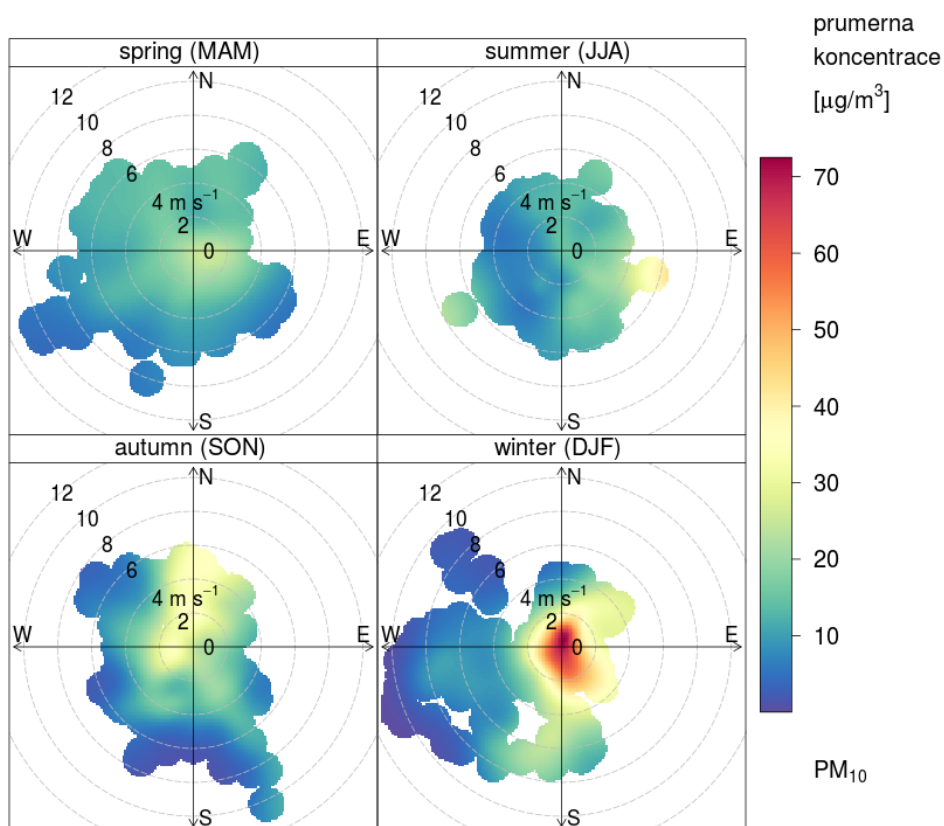
Obr. 6 Koncentrační růžice NO_x, Herink, 1. – 4. kampaň



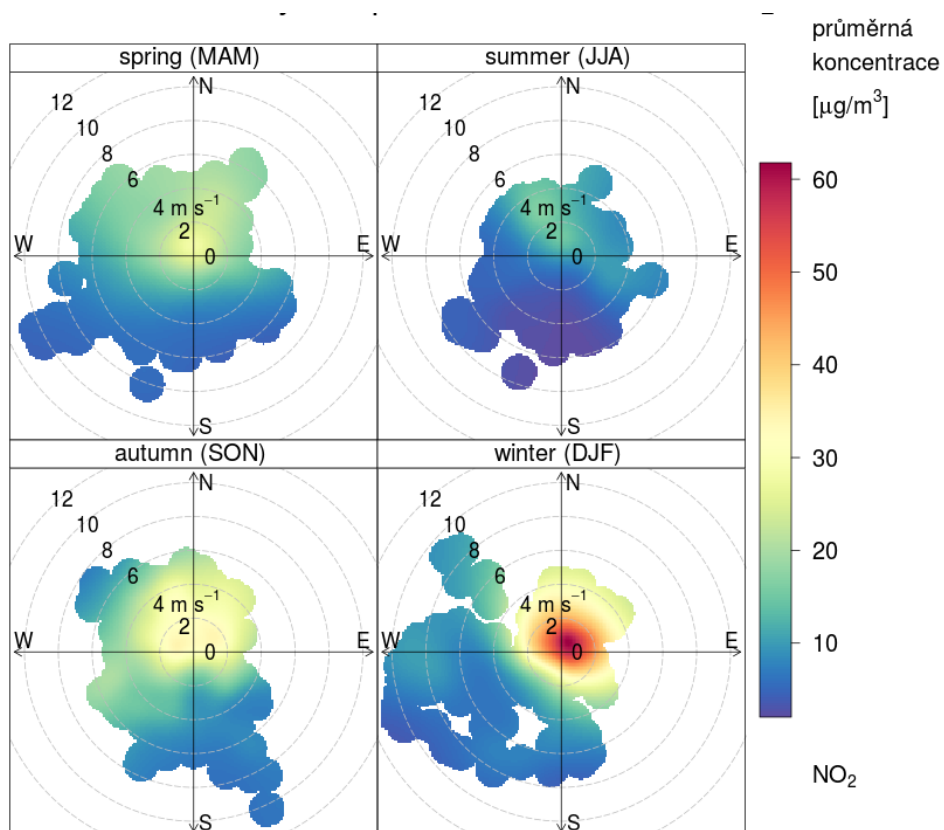
Obr. 7 Koncentrační růžice NO, Herink, 1. – 4. kampaň



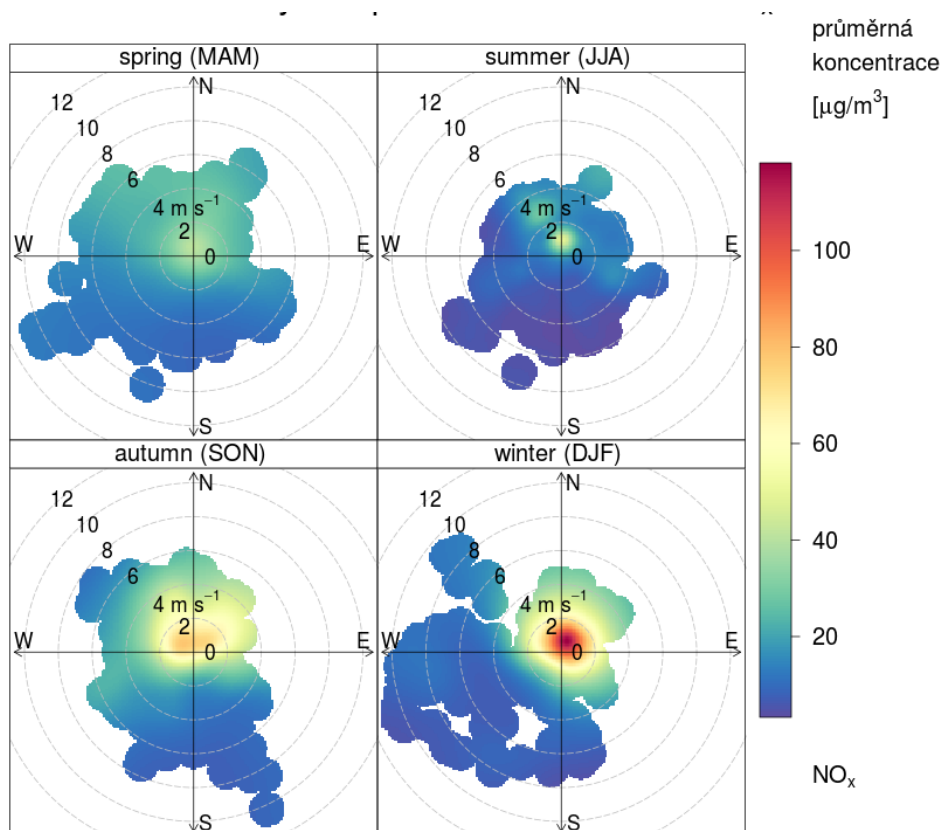
Obr. 8 Koncentrační růžice O₃, Herink, 1. – 4. kampaň



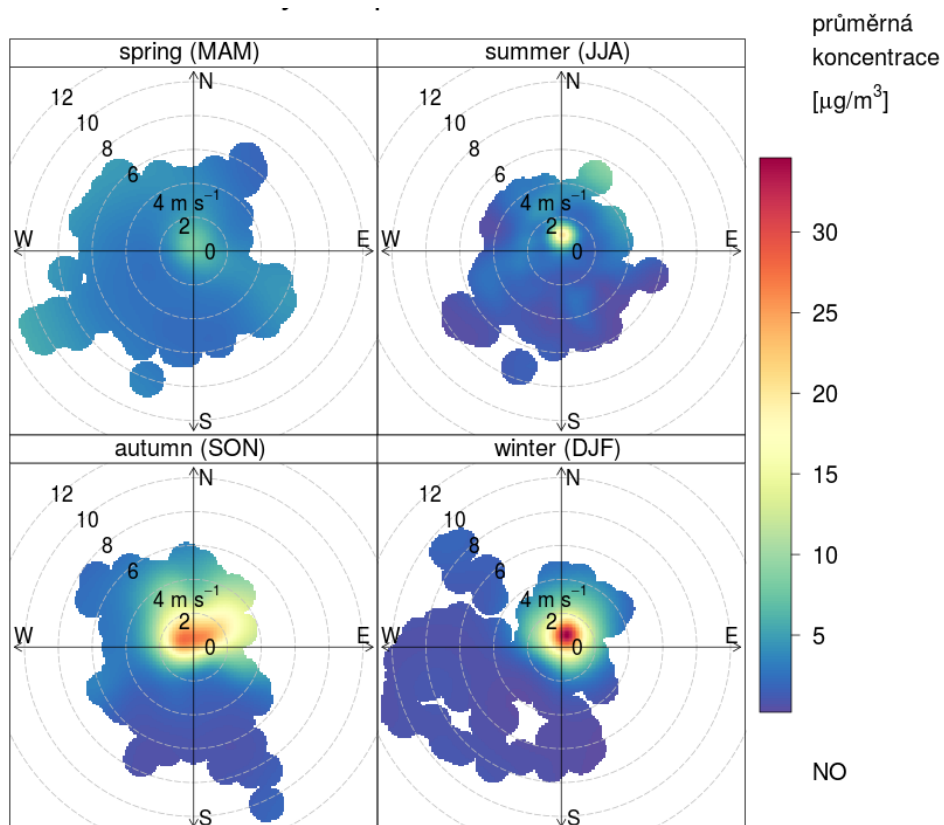
Obr. 9 Koncentrační růžice PM₁₀, Modletice obec, 1. – 4. kampaň



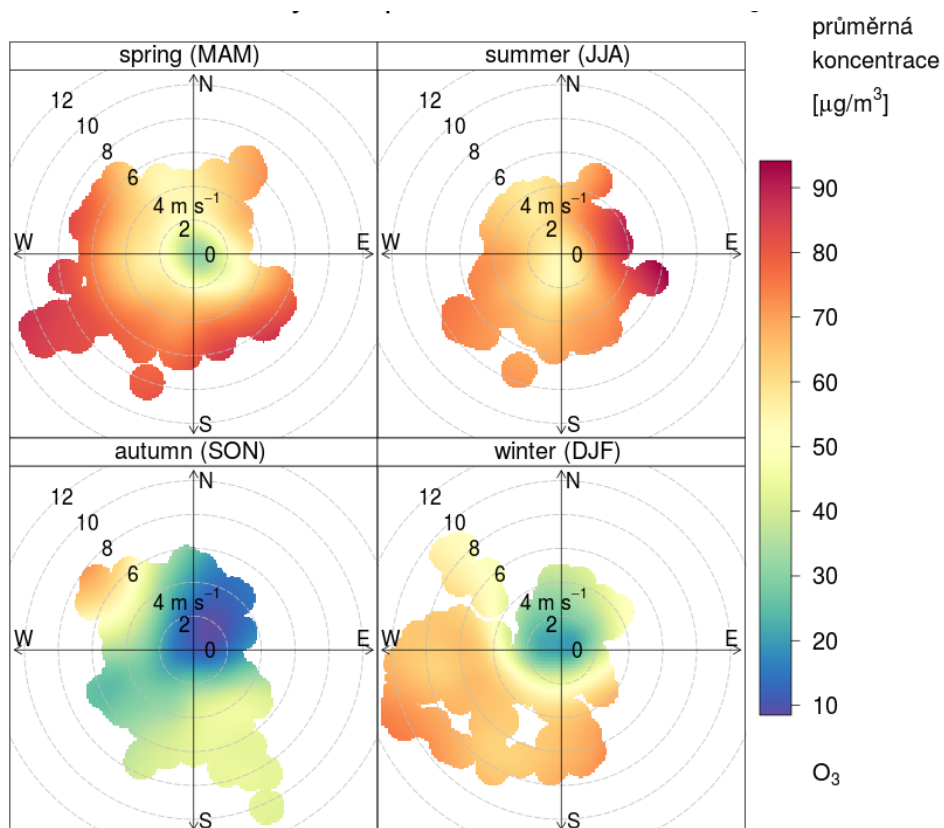
Obr. 10 Koncentrační růžice NO₂, Modletice obec, 1. – 4. kampaň



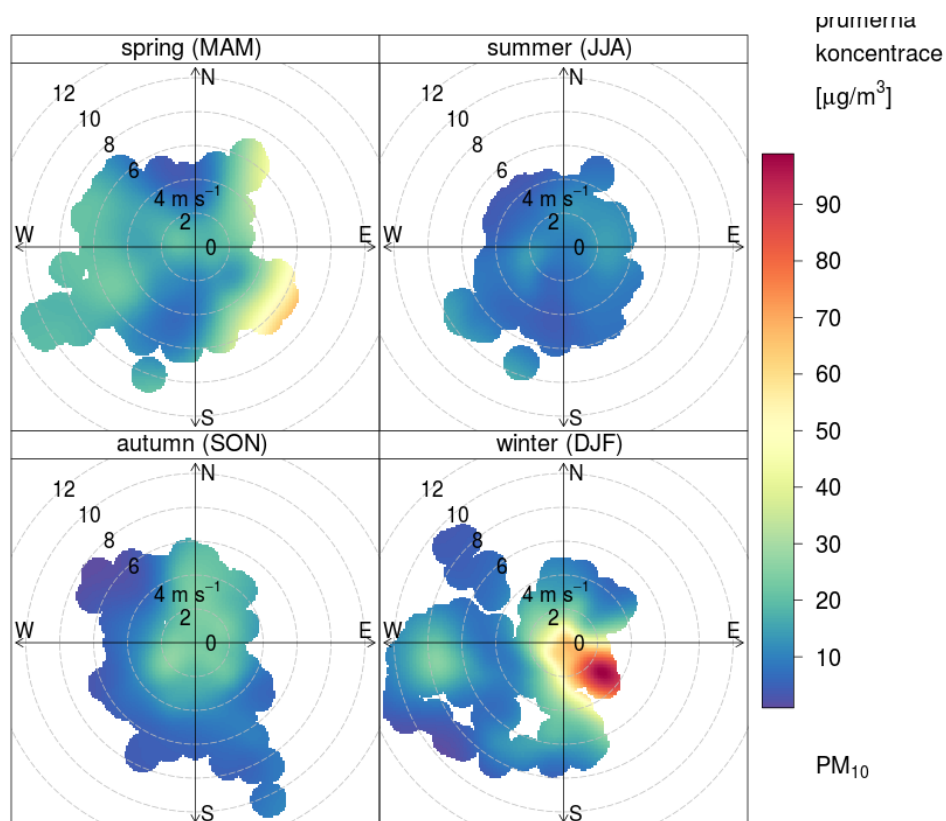
Obr. 11 Koncentrační růžice NO_x, Modletice obec, 1. – 4. kampaň



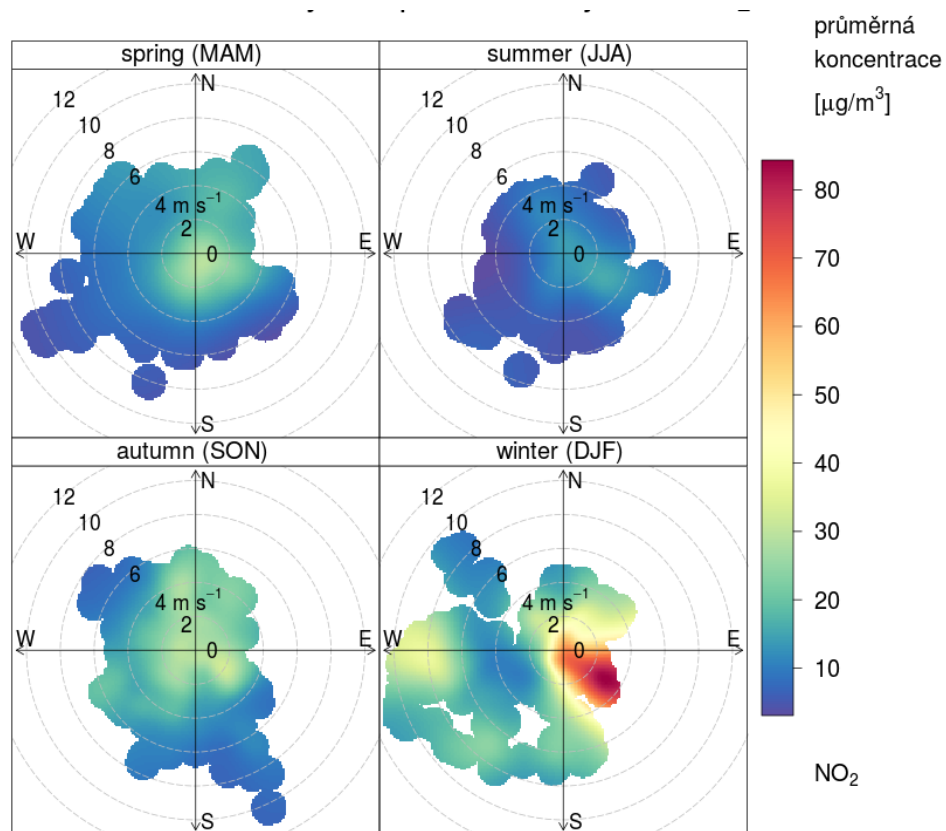
Obr. 12 Koncentrační růžice NO, Modletice obec, 1. – 4. kampaň



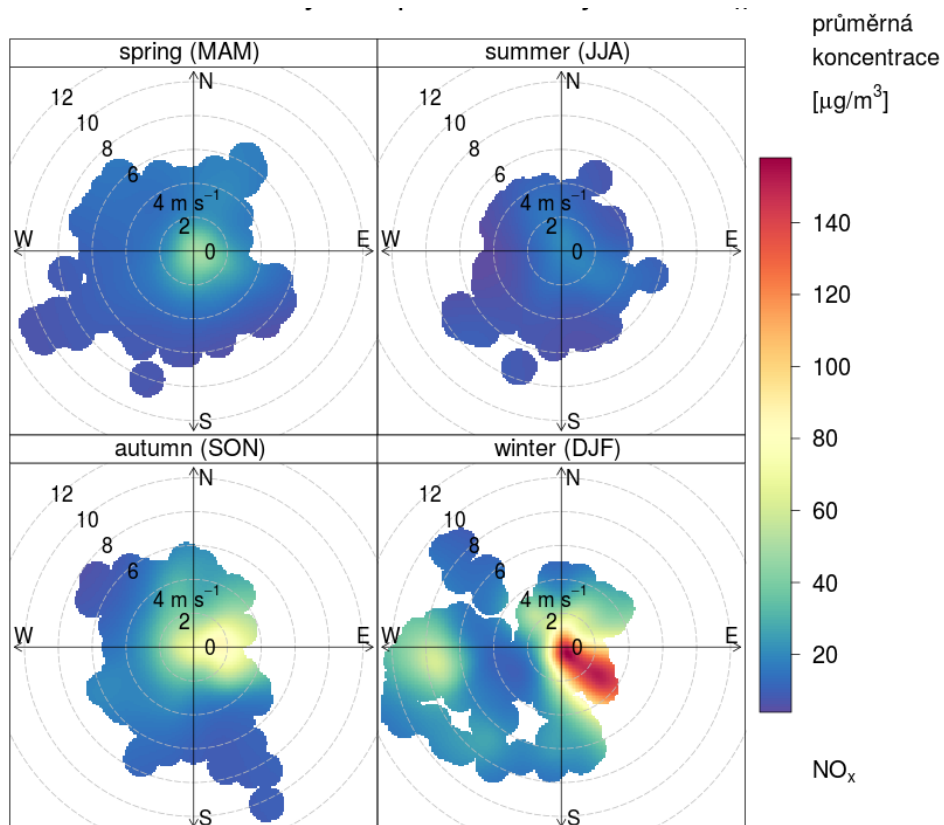
Obr. 13 Koncentrační růžice O₃, Modletice obec, 1. – 4. kampaň



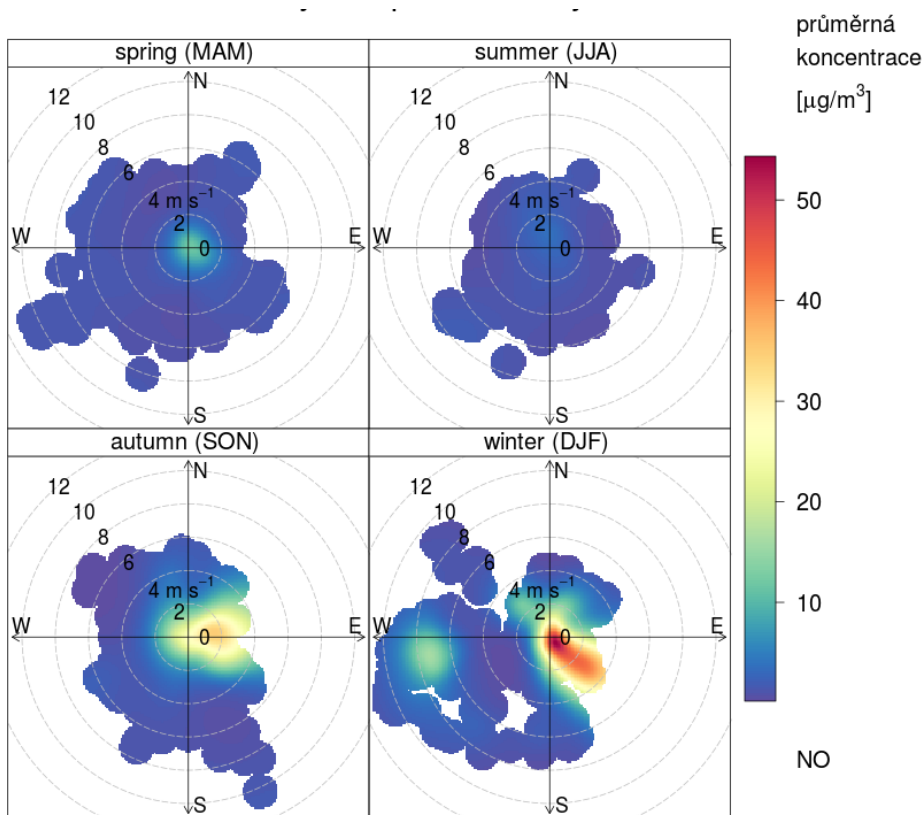
Obr. 14 Koncentrační růžice PM₁₀, Dobřejovice, 1. – 4. kampaň



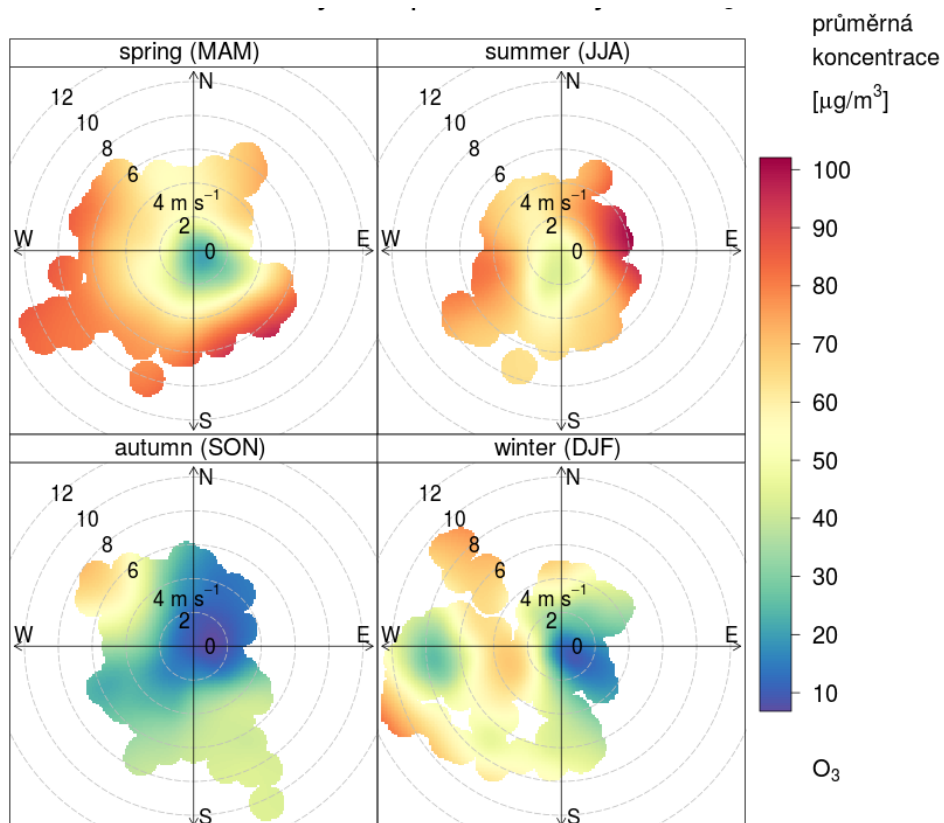
Obr. 15 Koncentrační růžice NO₂, Dobřejovice, 1. – 4. kampaň



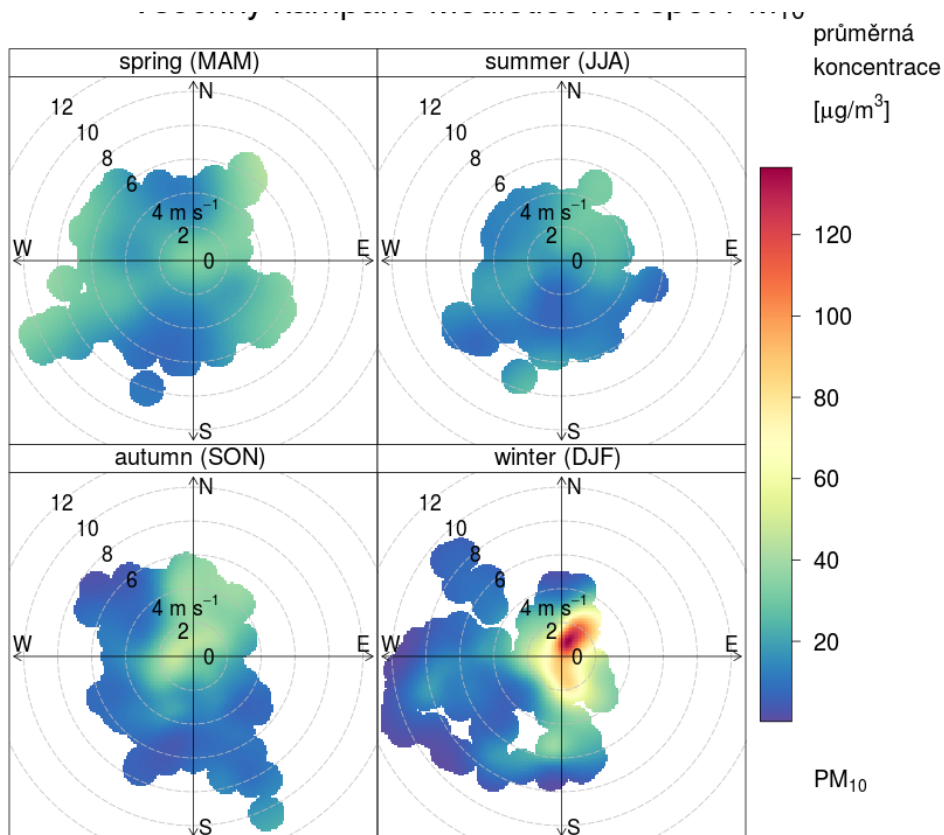
Obr. 16 Koncentrační růžice NO_x , Dobřejovice, 1. – 4. kampaň



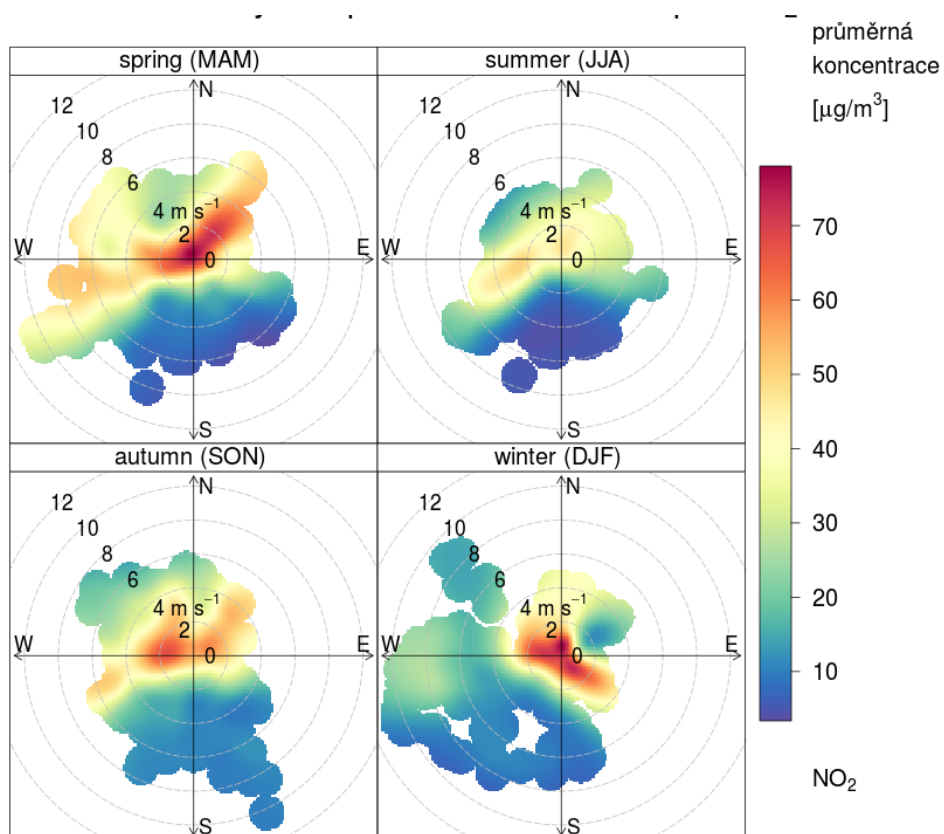
Obr. 17 Koncentrační růžice NO , Dobřejovice, 1. – 4. kampaň



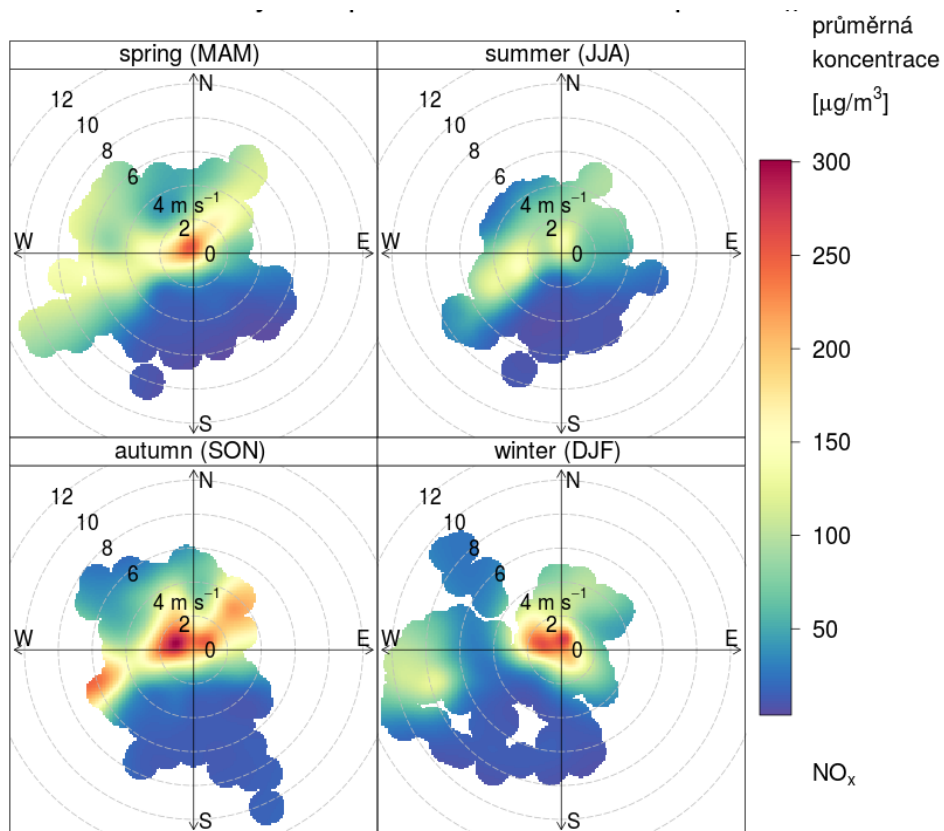
Obr. 18 Koncentrační růžice O₃, Dobřejovice, 1. – 4. kampaň



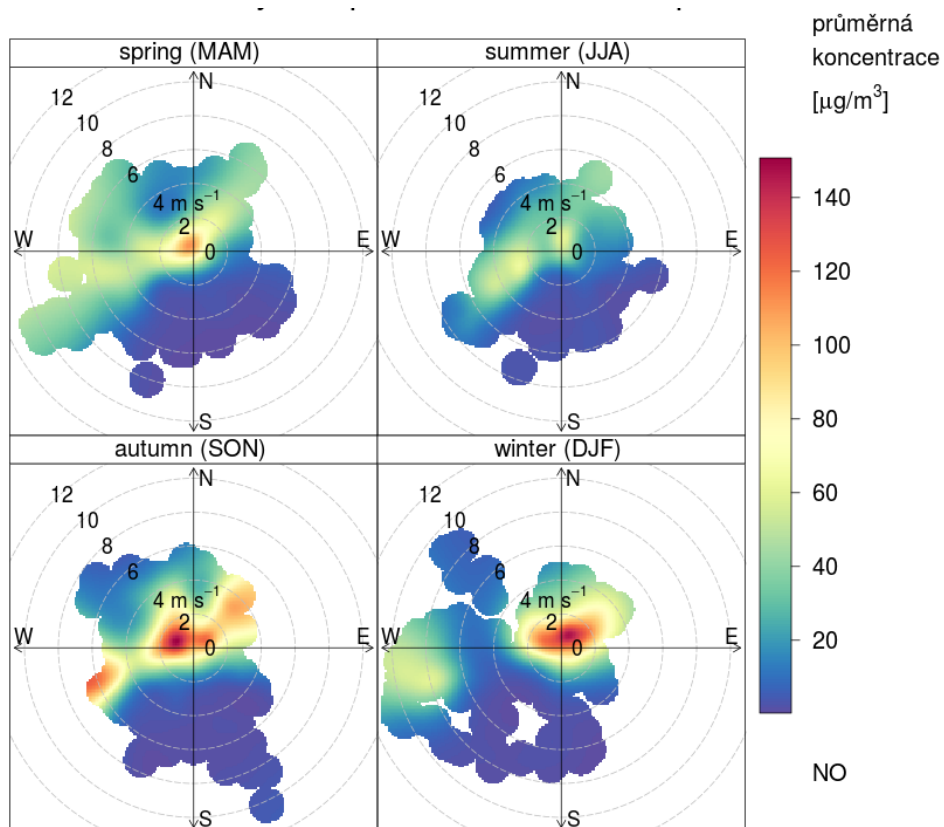
Obr. 19 Koncentrační růžice PM₁₀, Modletice hot spot, 1. – 4. kampaň



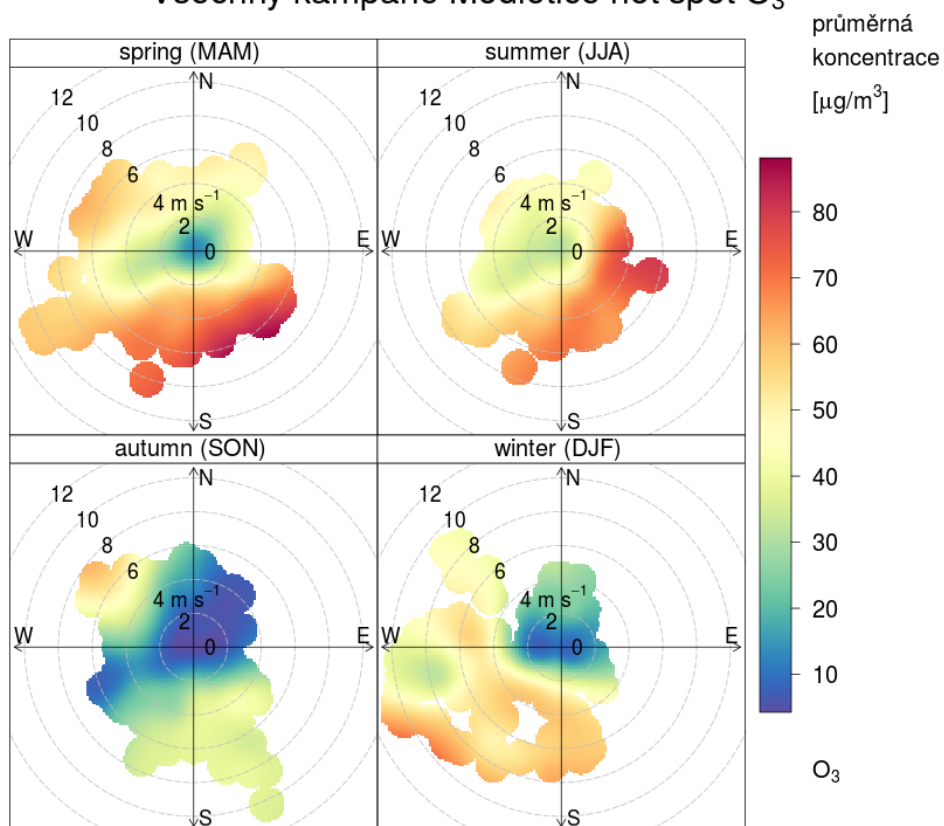
Obr. 20 Koncentrační růžice NO_2 , Modletice hot spot, 1. – 4. kampaň



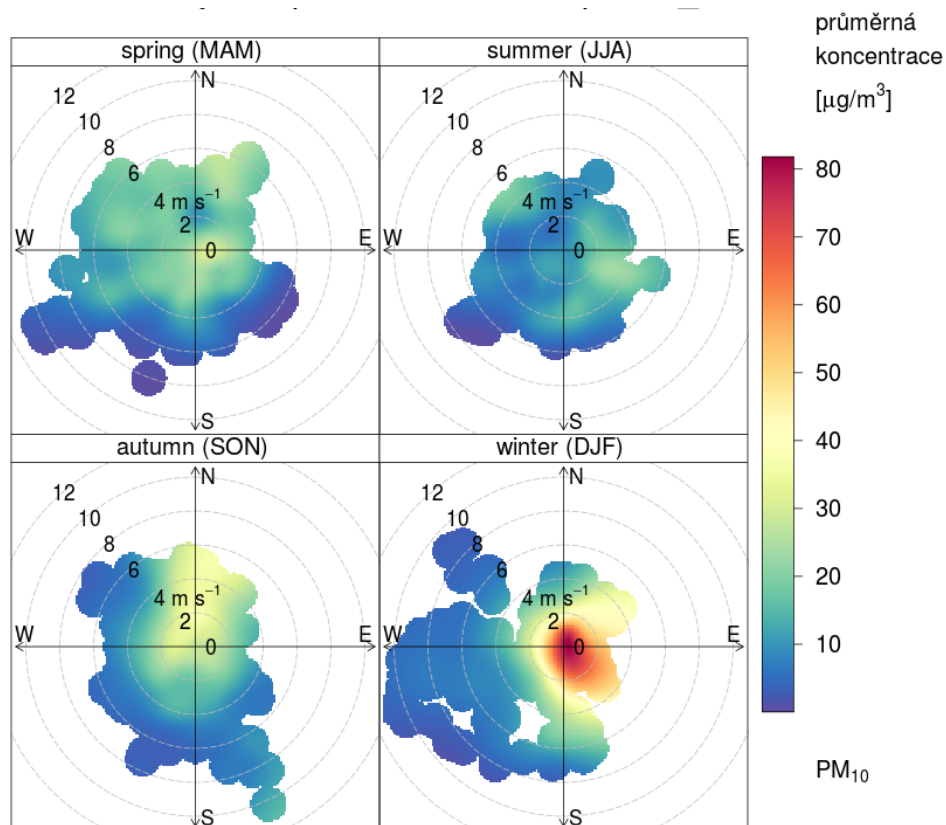
Obr. 21 Koncentrační růžice NO_x , Modletice hot spot, 1. – 4. kampaň



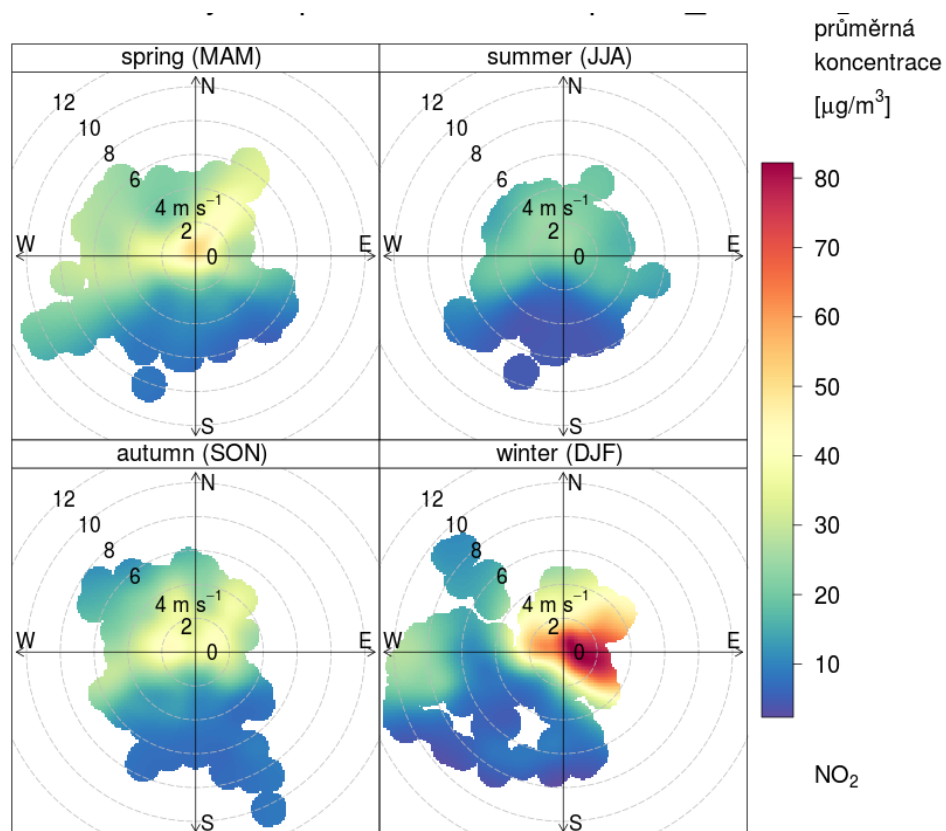
Obr. 22 Koncentrační růžice NO, Modletice hot spot, 1. – 4. kampaň



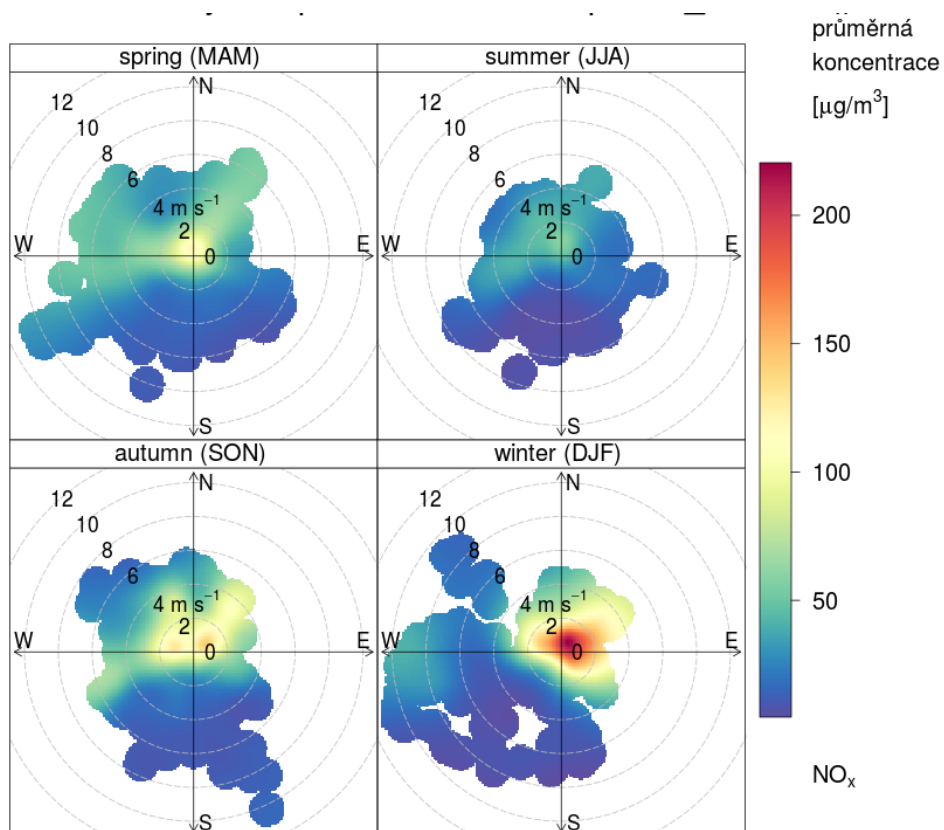
Obr. 23 Koncentrační růžice O₃, Modletice hot spot, 1. – 4. kampaň



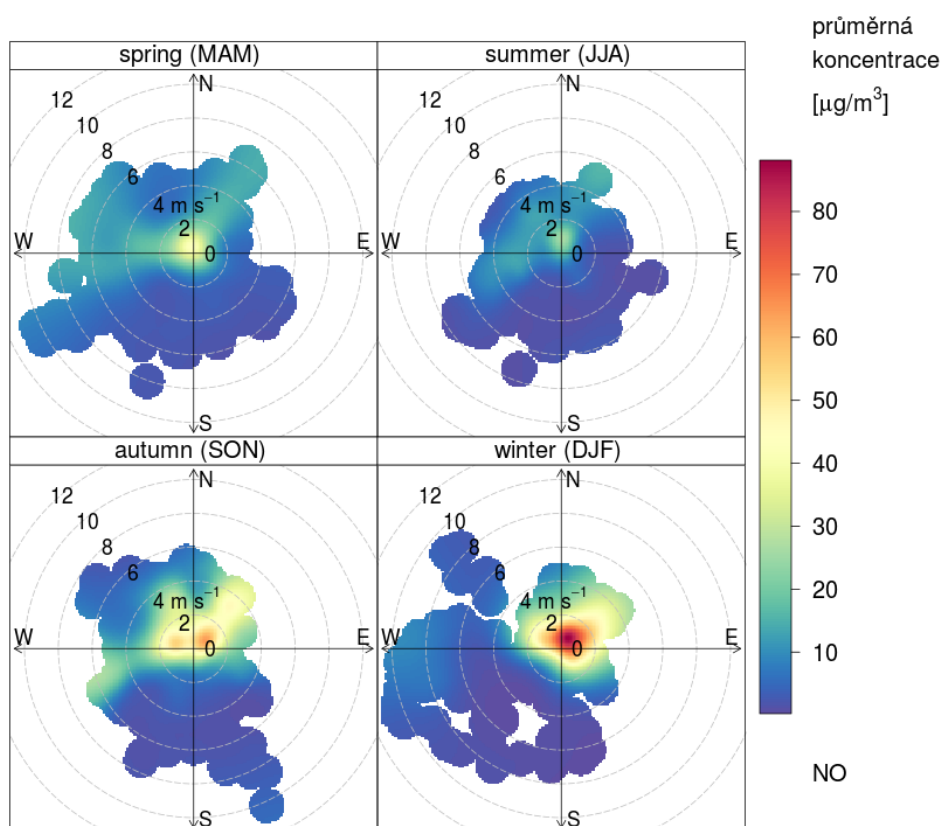
Obr. 24 Koncentrační růžice PM₁₀, Modletice dopravní_30m, 1. – 4. kampaň



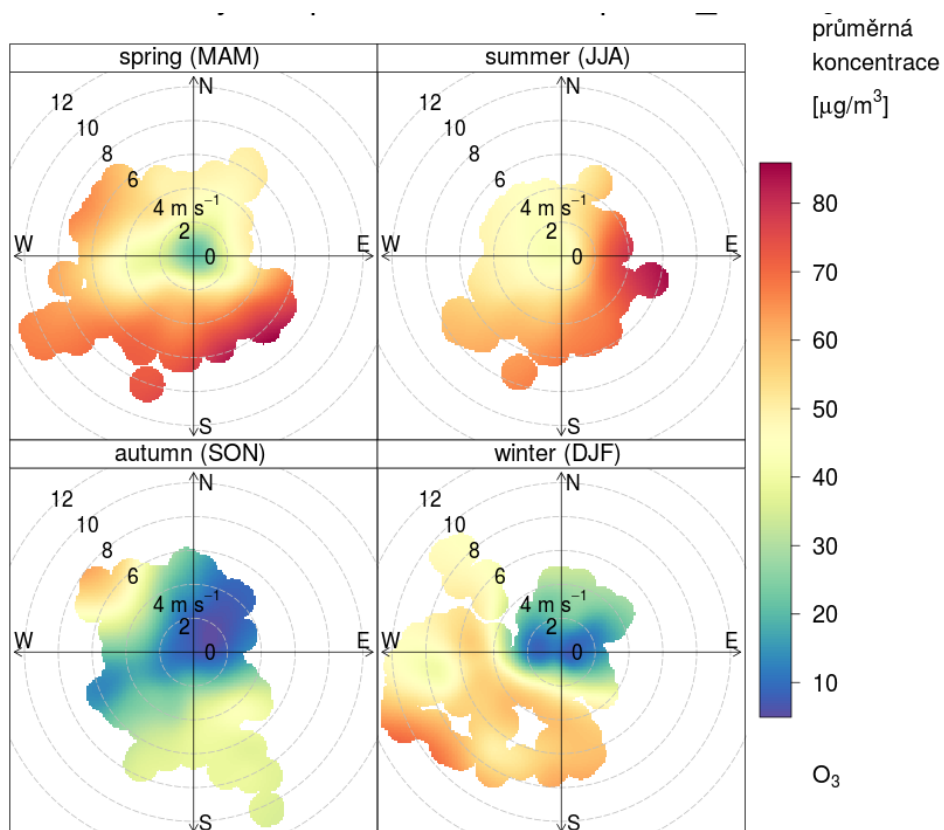
Obr. 25 Koncentrační růžice NO₂, Modletice dopravní_30m, 1. – 4. kampaň



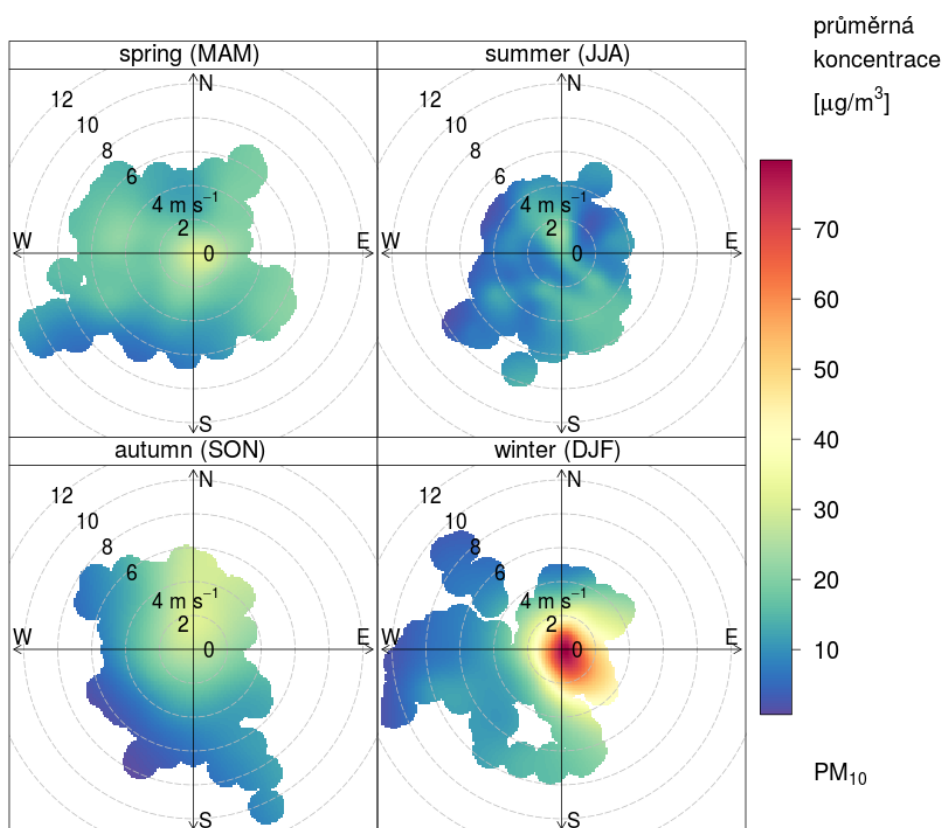
Obr. 26 Koncentrační růžice NO_x , Modletice dopravní_30m, 1. – 4. kampaň



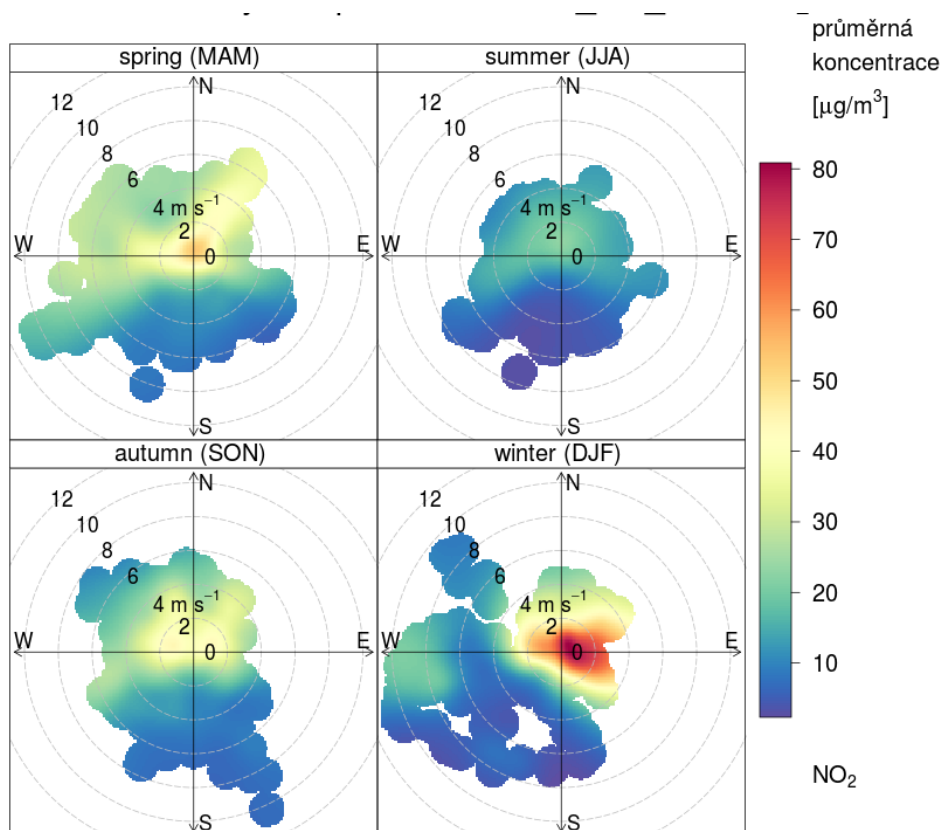
Obr. 27 Koncentrační růžice NO, Modletice dopravní_30m, 1. – 4. kampaň



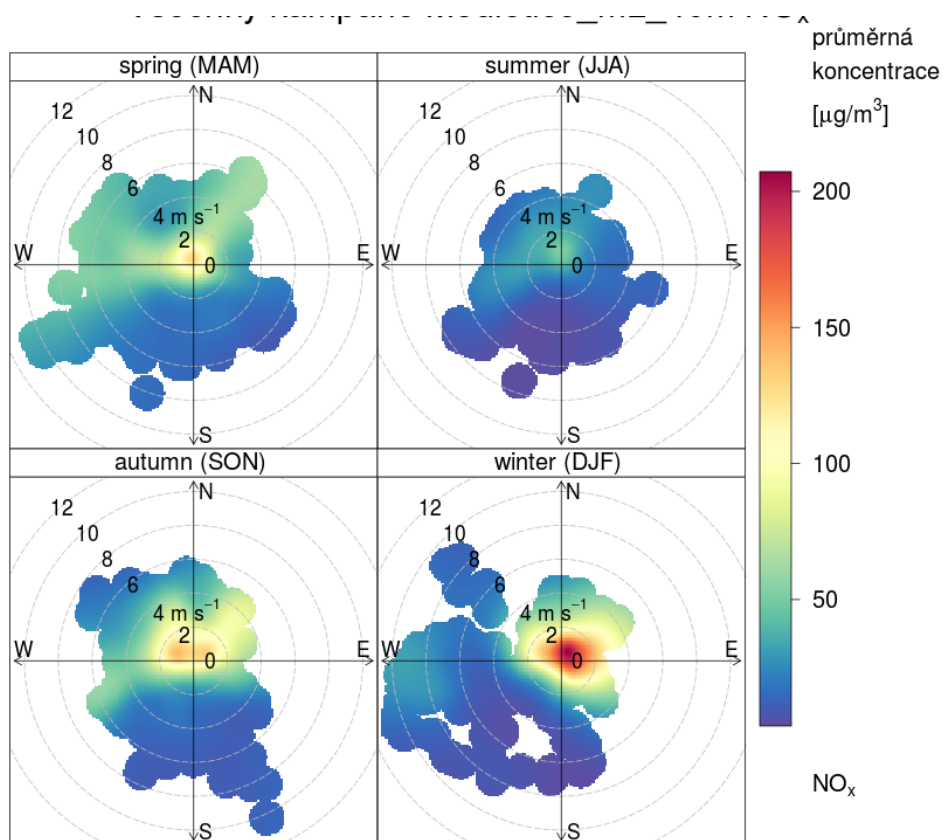
Obr. 28 Koncentrační růžice O_3 , Modletice dopravní_30m, 1. – 4. kampaň



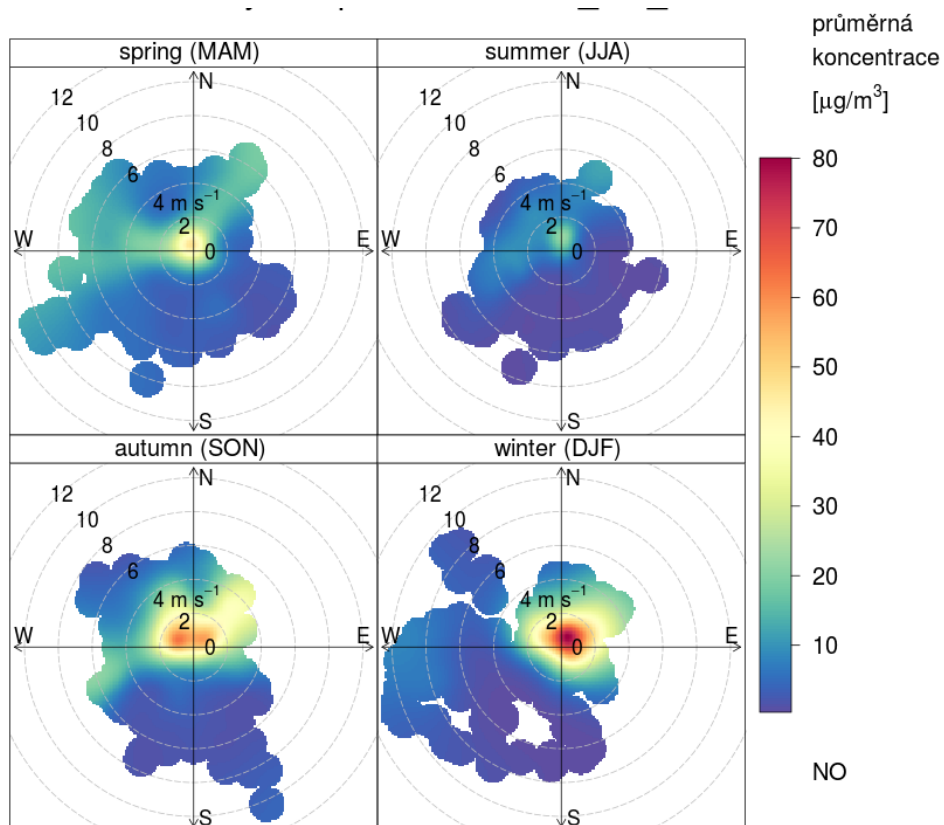
Obr. 29 Koncentrační růžice PM_{10} , Modletice mobilní vůz CLI Praha-Libuš_40m, 1. – 4. kampaň



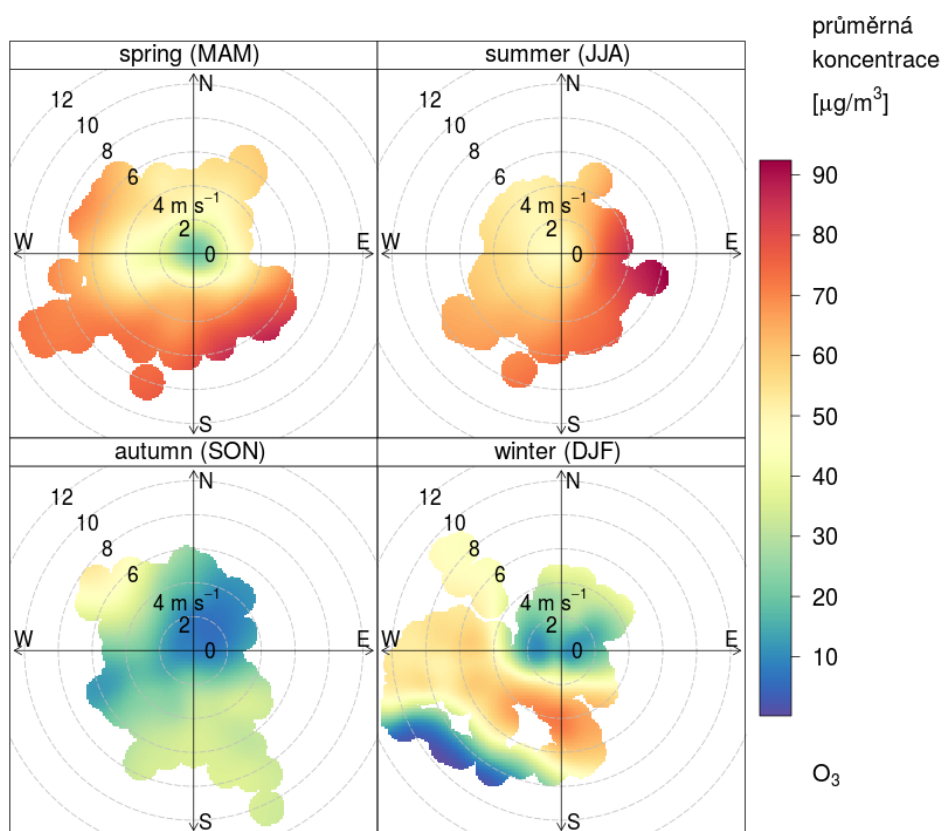
Obr. 30 Koncentrační růžice NO_2 , Modletice mobilní vůz CLI Praha-Libuš_40m, 1. – 4. kampaň



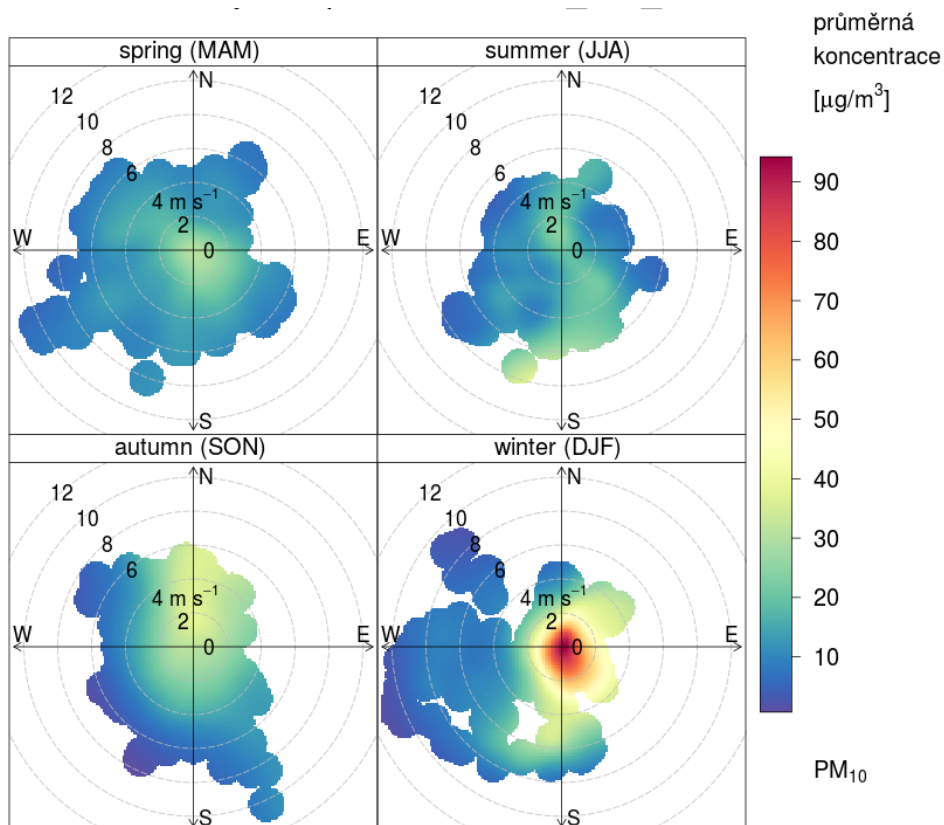
Obr. 31 Koncentrační růžice NO_x , Modletice mobilní vůz CLI Praha-Libuš_40m, 1. – 4. kampaň



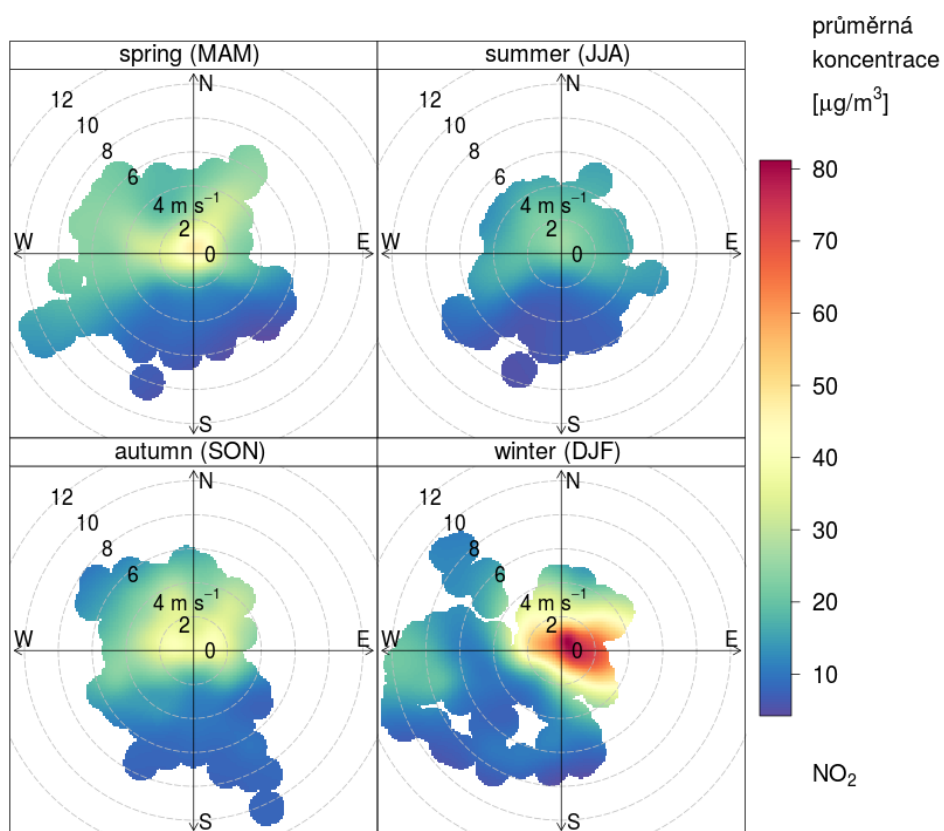
Obr. 32 Koncentrační růžice NO, Modletice mobilní vůz CLI Praha-Libuš_40m, 1. – 4. kampaň



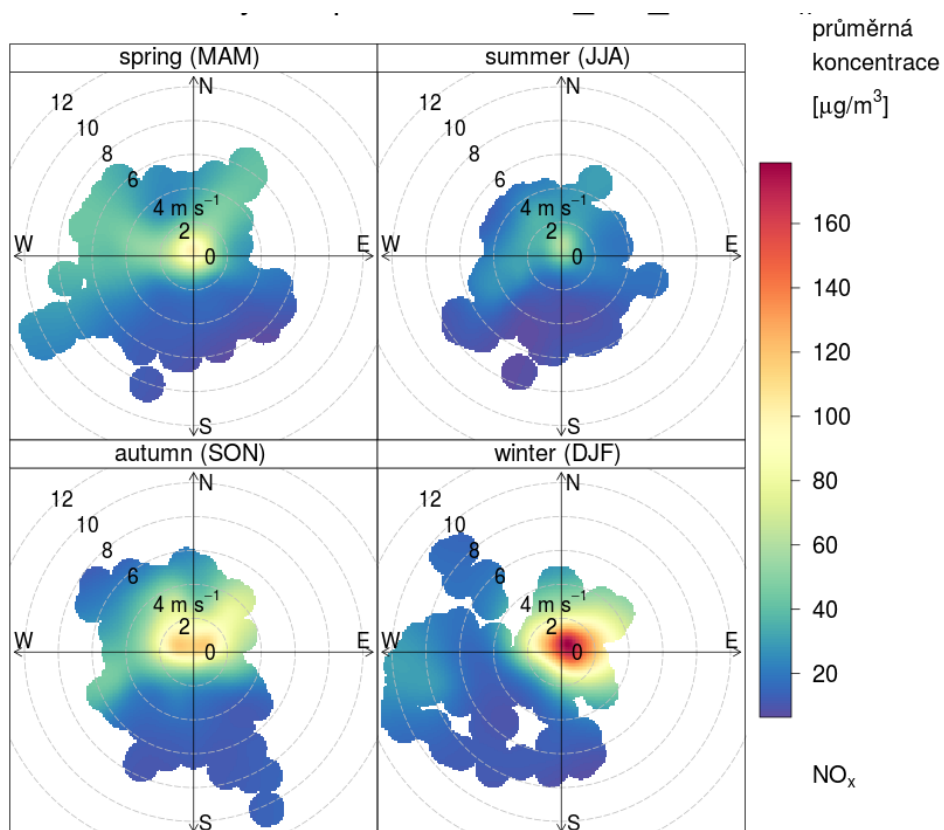
Obr. 33 Koncentrační růžice O₃, Modletice mobilní vůz CLI Praha-Libuš_40m, 1. – 4. kampaň



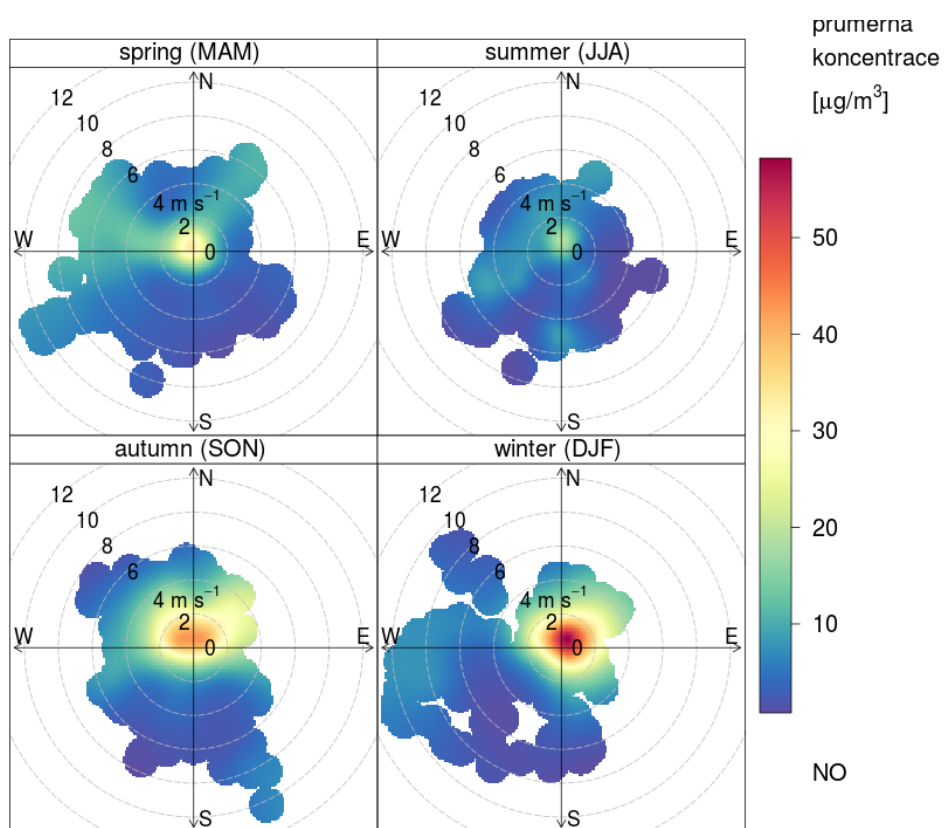
Obr. 34 Koncentrační růžice PM₁₀, Modletice mobilní vůz pob. ČHMÚ-Ústí n.L. 60m, 1. – 4. kampaň



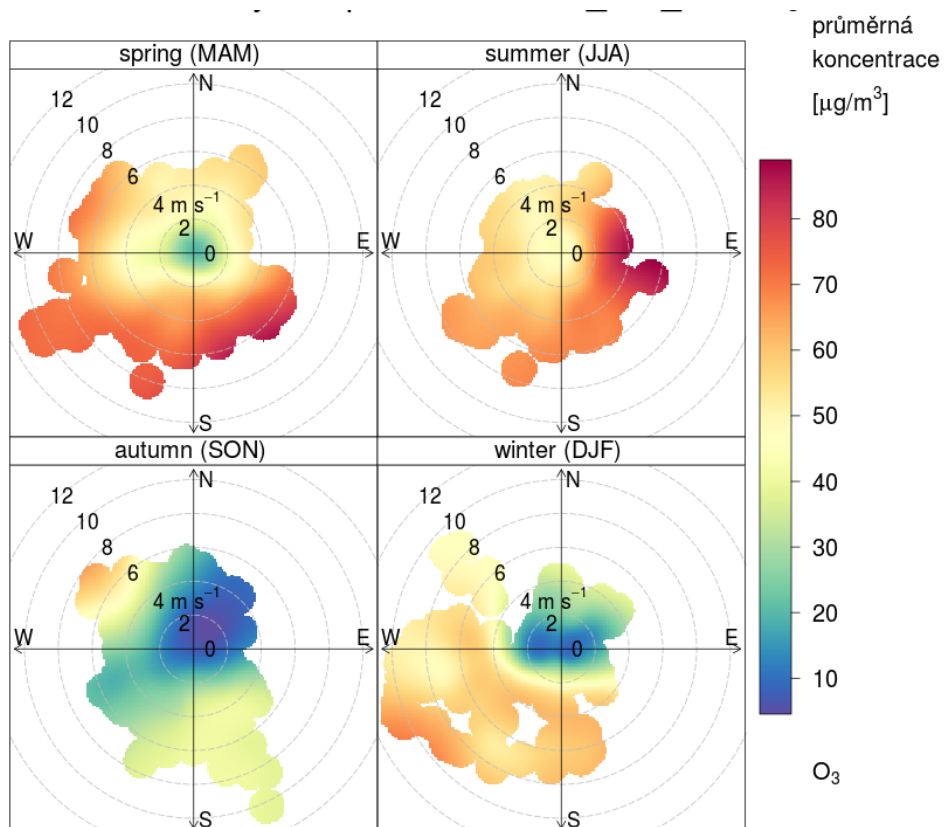
Obr. 35 Koncentrační růžice NO₂, Modletice mobilní vůz pob. ČHMÚ-Ústí n.L. 60m, 1. – 4. kampaň



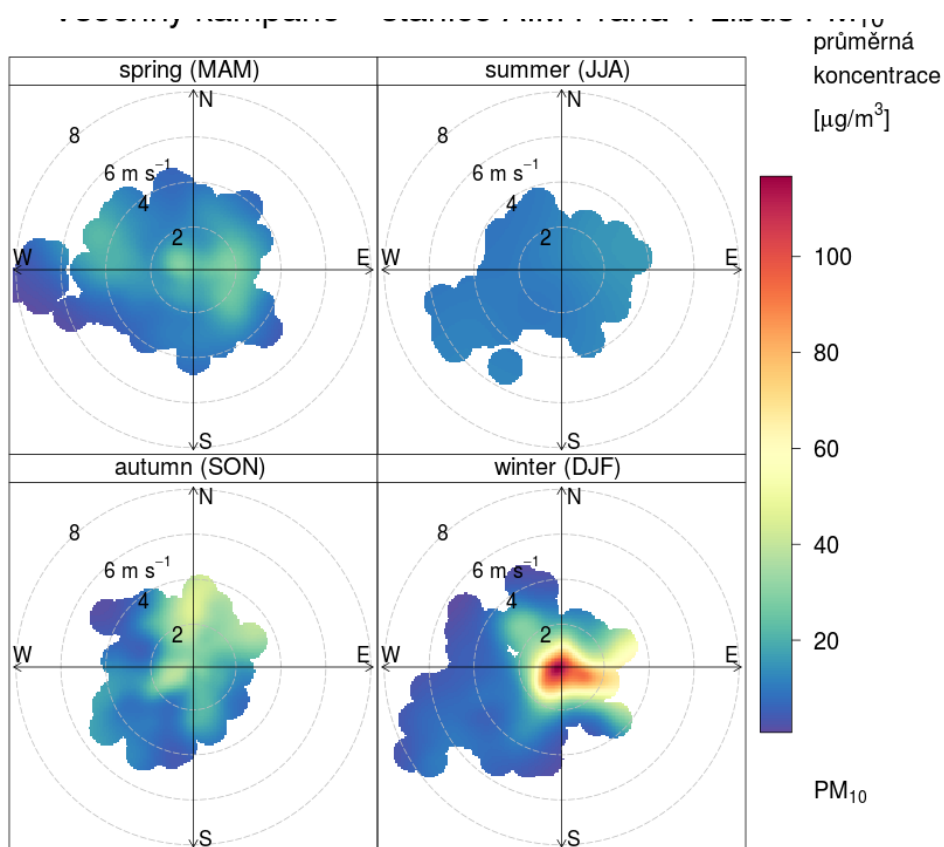
Obr. 36 Koncentrační růžice NO_x , Modletice mobilní vůz pob. ČHMÚ-Ústí n.L. 60m, 1. – 4. kampaň



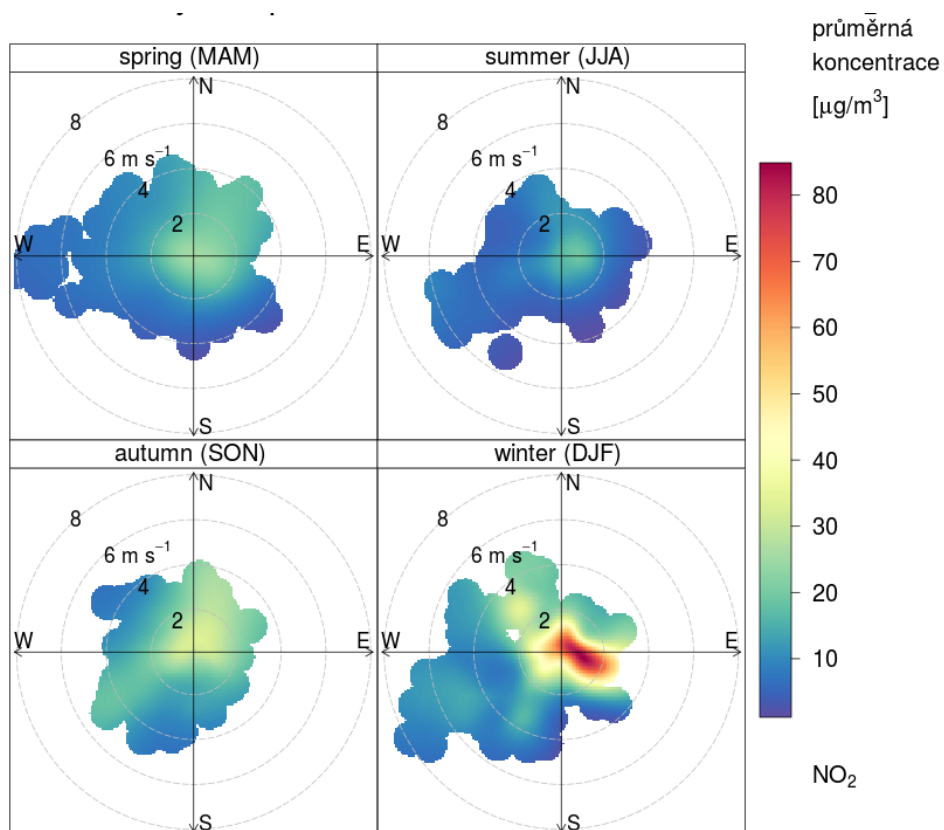
Obr. 37 Koncentrační růžice NO , Modletice mobilní vůz pob. ČHMÚ-Ústí n.L. 60m, 1. – 4. kampaň



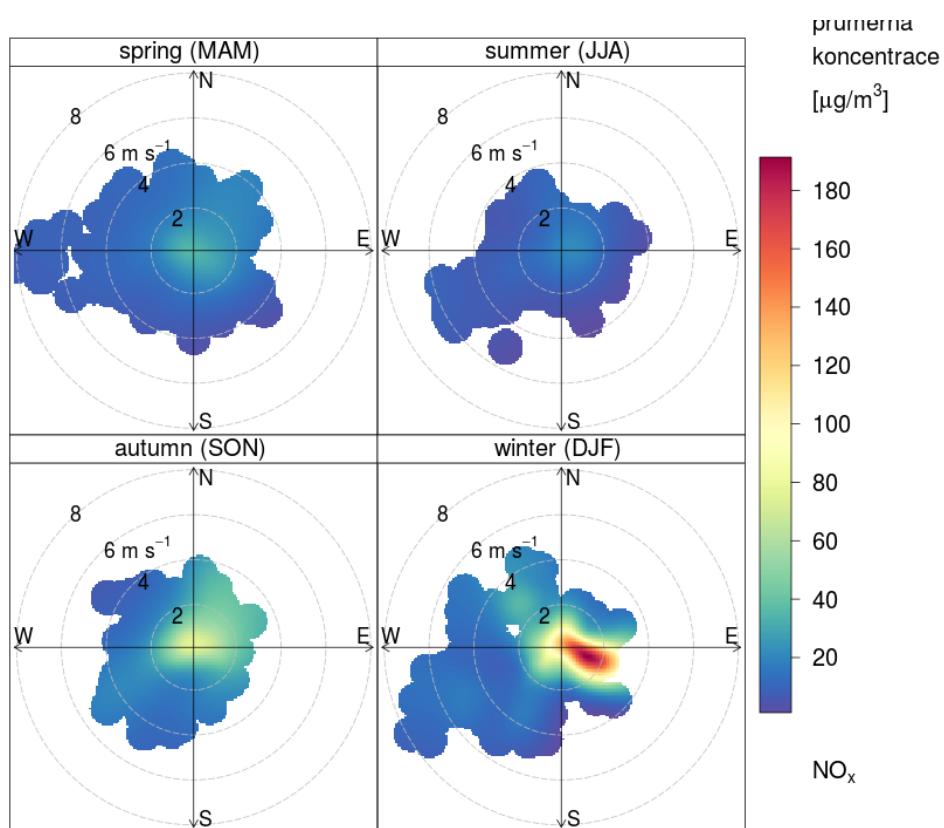
Obr. 38 Koncentrační růžice O_3 , Modletice mobilní vůz pob. ČHMÚ-Ústí n.L. 60m, 1. – 4. kampaň



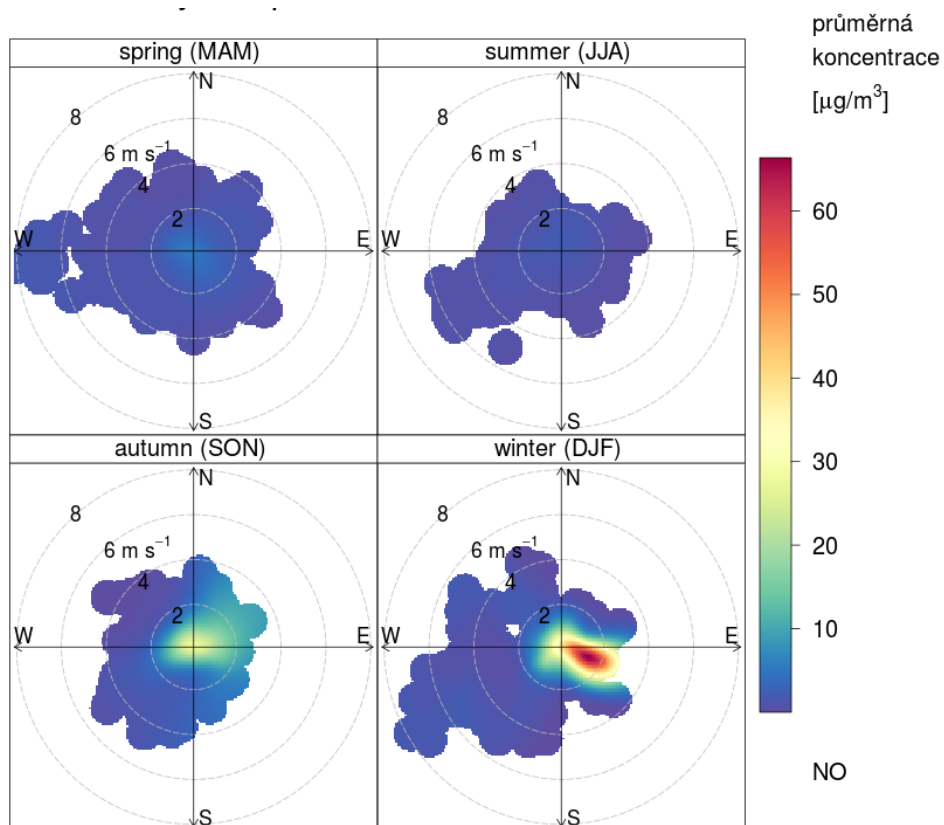
Obr. 39 Koncentrační růžice PM_{10} , stanice AIM Praha 4-Libuš



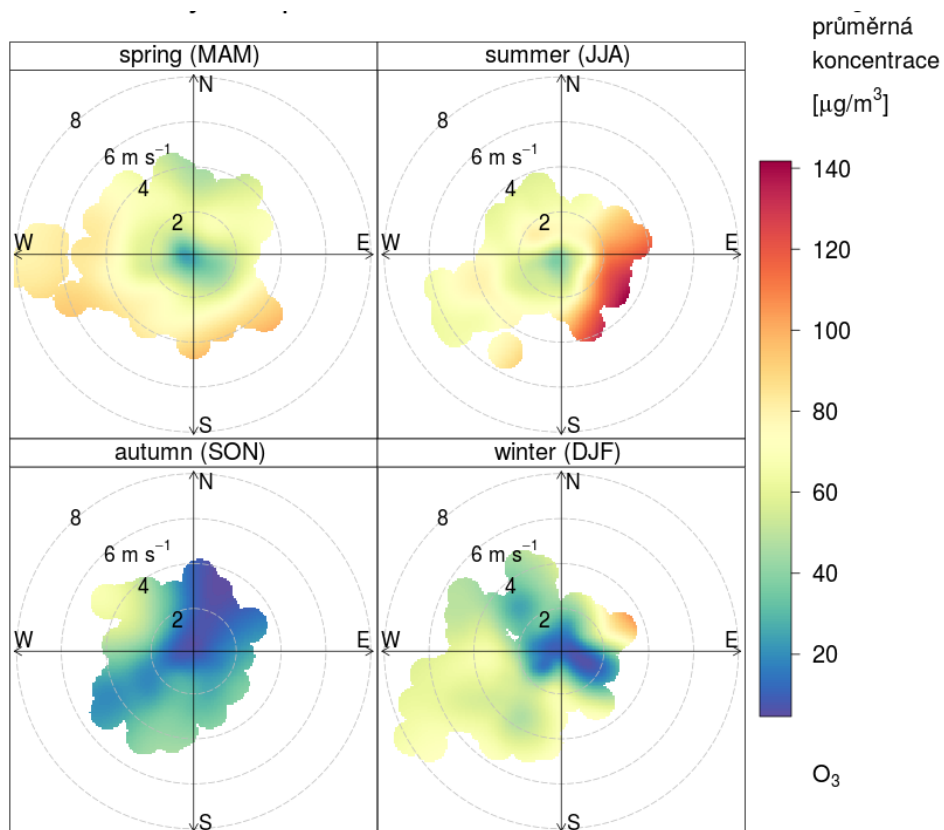
Obr. 40 Koncentrační růžice NO₂, stanice AIM Praha 4-Libuš



Obr. 41 Koncentrační růžice NO_x, stanice AIM Praha 4-Libuš



Obr. 42 Koncentrační růžice NO, stanice AIM Praha 4-Libuš



Obr. 43 Koncentrační růžice O₃, stanice AIM Praha 4-Libuš



ČESKÝ
HYDROMETEOROLOGICKÝ
ÚSTAV

PROJEKT DOPRAVA ANALÝZA GRADIENTU KONCENTRACÍ

ODBORNÁ ZPRÁVA

Datum: 31. 5. 2017
Pracoviště: ISKO, OBT
Zpracovali: Mgr. Jan Horálek, RNDr. Josef Keder CSc.
Místo: Praha



Analýza gradientu koncentrací znečišťujících látek v ovzduší v závislosti na vzdálenosti od komunikace

1. Úvod

Jedním z cílů projektu „Šíření látek znečišťujících ovzduší v okolí dopravních komunikací“ bylo proměření gradientu koncentrací znečišťujících látek ve vzrůstající vzdálenosti od dopravní komunikace a následná charakterizace tohoto gradientu matematickým vztahem. Jednotlivými sledovanými znečišťujícími látkami byly oxidy dusíku (NO_x , NO_2 , NO), benzo[*a*]pyren (BaP), suspendované částice frakce PM_{10} a $\text{PM}_{2.5}$ a přízemní ozon (O_3). Podle původního záměru bylo plánováno měření na sedmi lokalitách ve vzrůstající vzdálenosti od dopravní komunikace až do vzdálenosti cca 1 km. Během realizace došlo k určitému posunu od původního záměru, když mezi proměřované lokality byly zařazeny tři obce Herink, Modletice a Dobřejovice – za spolupráce s těmito obcemi – bez přímé návaznosti na původní záměr. Skutečná realizace projektu se poněkud odchýlila od původního projektu. Původnímu záměru odpovídají proměřované lokality ve vzdálenosti 0-1 m (hot spot), 30 m, 40 m a 60 m od sledované dopravní komunikace (jíž je pražský okruh SOKP), viz Obr. 1.



Obr. 1 Proměřované lokality u pražského okruhu (SOKP) v rámci projektu Doprava

Další tři realizované lokality v obcích Herink, Modletice a Dobřejovice (Obr. 2) již původnímu záměru neodpovídají. Hlavním rozdílem je, že na těchto lokalitách mnohdy dochází k místnímu ovlivnění z emisních zdrojů v těchto obcích – tato skutečnost platí zejména pro suspendované částice PM_{10} a $\text{PM}_{2.5}$ a pro benzo[*a*]pyren. Dalším rozdílem oproti původnímu záměru je, že tyto tři lokality nezapadají do řady se vzrůstající vzdáleností od dopravní komunikace. (Lokality Modletice a Herink jsou ve vzdálenosti cca 500 m od komunikace, lokalita Dobřejovice ve vzdálenosti cca 900 m.) Kromě toho dvě z těchto tří lokalit (Herink a Dobřejovice) nejsou umístěny na téže kolmici od sledované dopravní komunikace jako výše uvedené čtyři lokality. Všechny tyto skutečnosti hrají limitující roli při analýze gradientu koncentrací znečišťujících látek v závislosti na vzdálenosti od komunikace. Jak bude dále ukázáno, pro analýzu gradientu oxidů dusíku (NO , NO_2 a NO_x) a přízemního ozonu je možné využít měření v obci Modletice a částečně i měření v obci Herink, zatímco

měření v obci Dobřejšovice přímo použít nelze. Pro analýzu gradientu suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ a benzo[a]pyrenu nelze přímo využít měření v žádné z těchto tří obcí.



Obr. 2 Proměřované lokality u pražského okruhu (SOKP) v rámci projektu Doprava

2. Naměřené koncentrace znečišťujících látek na jednotlivých lokalitách

Měření na výše uvedených sedmi lokalitách bylo realizováno ve čtyřech měřicích kampaních ve dnech 30. 3. - 13. 4. 2016, 15. 6. - 29. 6. 2016, 11. 11. - 25. 11. 2016 a 12. 1. - 26. 1. 2017. V případě znečišťujících látek NO , NO_2 , NO_x , O_3 a PM_{10} byly měřeny průměrné 10-minutové a průměrné hodinové koncentrace, zatímco v případě znečišťujících látek $PM_{2,5}$ a B[a]P byly měřeny průměrné denní koncentrace. Souhrnné výsledky za všechny čtyři měřicí kampaně dohromady jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1 Průměrné koncentrace NO , NO_2 , NO_x , O_3 , PM_{10} a $PM_{2,5}$ [$\mu g \cdot m^{-3}$] a benzo[a]pyrenu ($ng \cdot m^{-3}$) a příslušné počty měření na jednotlivých lokalitách za celé období

lokalita	NO		NO ₂		NO _x		O ₃		PM ₁₀		PM _{2,5}		B[a]P	
	pr.	N	pr.	N	pr.	N	pr.	N	pr.	N	pr.	N	pr.	N
Modletice hot spot	44.2	1844	36.9	1796	101.2	1796	35.1	1840	32.4	1815	20.4	60	1.36	20
Modletice dopr._30m	19.4	1834	27.4	1834	57.2	1834	38.3	1833	25.9	1766	19.2	60	1.28	20
Modletice_mL_40m	19.8	1865	27.0	1865	57.4	1865	40.5	1822	25.9	1831	18.9	60	1.05	20
Modletice_mU_60m	16.1	1665	25.9	1665	50.5	1665	40.7	1742	26.8	1736	19.3	60	1.06	20
Modletice obec	8.3	1932	20.9	1932	33.5	1932	46.4	1934	25.4	1862	18.3	60	1.03	20
Herink	5.3	1854	17.7	1854	25.2	1854	45.2	1854	29.8	1826	19.0	60	1.41	20
Dobřejšovice	11.3	1851	23.8	1851	41.1	1850	41.8	1849	23.3	1847	20.1	60	2.07	20

V případě většiny znečišťujících látek lze očekávat pokles koncentrací v závislosti na vzdálenosti od dopravní komunikace, výjimkou je ozon, kde lze očekávat příslušný nárůst koncentrací, vzhledem k vzájemné závislosti mezi koncentracemi oxidů dusíku a ozonu. V případě větších odlišností od předpokládaného poklesu resp. nárůstu koncentrací lze předpokládat existenci dalších emisních zdrojů kromě příslušné dopravní komunikace.

V případě oxidů dusíku (NO , NO_2 a NO_x) lze konstatovat, že koncentrace naměřené v lokalitě Dobřejovice (vzdálené cca 800 m od dopravní komunikace) jsou výrazně vyšší než koncentrace naměřené v lokalitách Modletice-obec a Herink (které jsou obě vzdálené cca 500 m od dopravní komunikace). Důvodem je pravděpodobně lokální doprava v obci Dobřejovice. Odlišná hladina koncentrací naměřených v lokalitách Modletice-obec a Herink, které jsou obě vzdáleny cca 500 m od dopravní komunikace, může být způsobena dvěma různými důvody. Jedním důvodem může být lokální doprava v obci Modletice. Druhý důvod může být odlišná hladina koncentrací na dopravní komunikaci, na kolmici k příslušné lokalitě: obec Herink leží dále od křižovatky pražského okruhu (SOKP) s dálnicí D1, příslušné koncentrace na průsečíku kolmice od lokality Herink s dopravní komunikací mohou být proto nižší než na obdobném průsečíku kolmice od lokality Modletice-obec.

V případě ozonu lze nahlédnout obdobné (byť opačné) chování koncentrací v případě obce Dobřejovice: Hladina ozonu v této obci je nižší, než by odpovídalo její vzdálenosti od dopravní komunikace, což ukazuje na lokální zdroj emisí oxidů dusíku (pravděpodobně z místní dopravy). Oproti tomu koncentrace ozonu nevykazují obdobný rozdíl mezi obcemi Herink a Modletice.

Na základě výše uvedených skutečností nejsou v další analýze brány v úvahu koncentrace oxidů dusíku a ozonu naměřené v obci Dobřejovice.

V případě suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ a BaP lze nahlédnout nárůst koncentrací v obci Dobřejovice, který neodpovídá vzdálenosti od dopravní komunikace. Důvodem je očividně lokální zdroj emisí z lokálního vytápění, případně z dopravy. Lokální zdroje emisí (zejména z lokálního vytápění) je možno předpokládat i v případě některých dalších lokalit (i v případě PM_{10}). Vzhledem k sezónnímu charakteru lokálního vytápění se jeví jako vhodná oddělená analýza pro jednotlivé kampaně.

Skupiny znečišťujících látek bez předpokládaného vlivu lokálního vytápění (oxidy dusíky a ozon) a s předpokládaným vlivem lokálního vytápění (suspendované částice PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ a BaP) jsou v další analýze pojednávány zvlášť.

3. Analýza gradientu

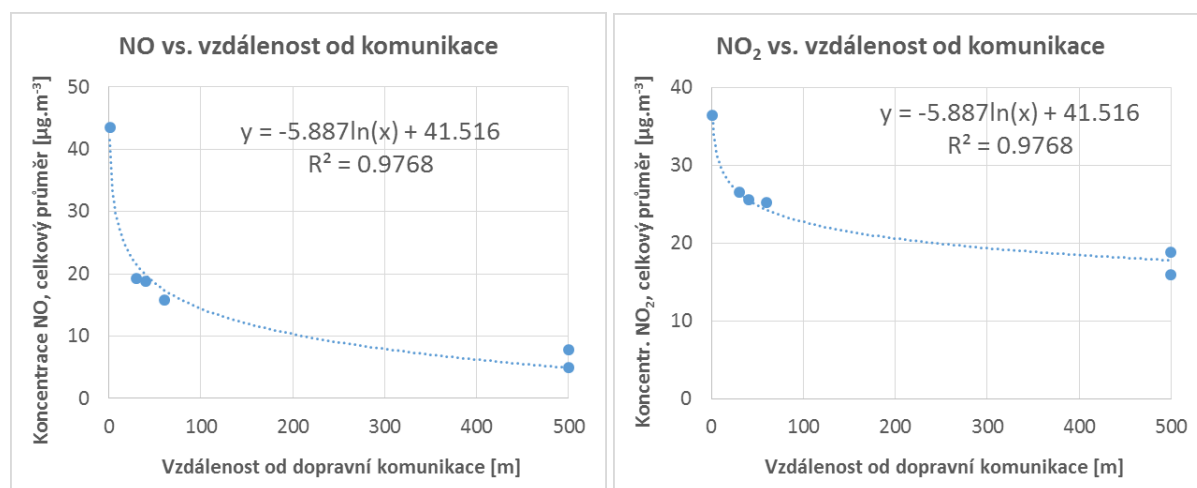
3.1 Oxidy dusíku (NO , NO_2 a NO_x) a ozon

Z důvodu srovnatelnosti jsou použity jen hodnoty koncentrací naměřené v takových hodinách, kdy jsou k dispozici měření příslušné znečišťující látky na všech lokalitách. Analýza je provedena jednak pro průměrné hodnoty za jednotlivé kampaně, jednak pro průměrné hodnoty za celé období. V případě oxidů dusíku jsou analyzovány průměrné hodnoty hodinových koncentrací, v případě ozonu to jsou průměrné hodnoty maximálních osmihodinových koncentrací. Příslušné hodnoty – viz Tab. 2.

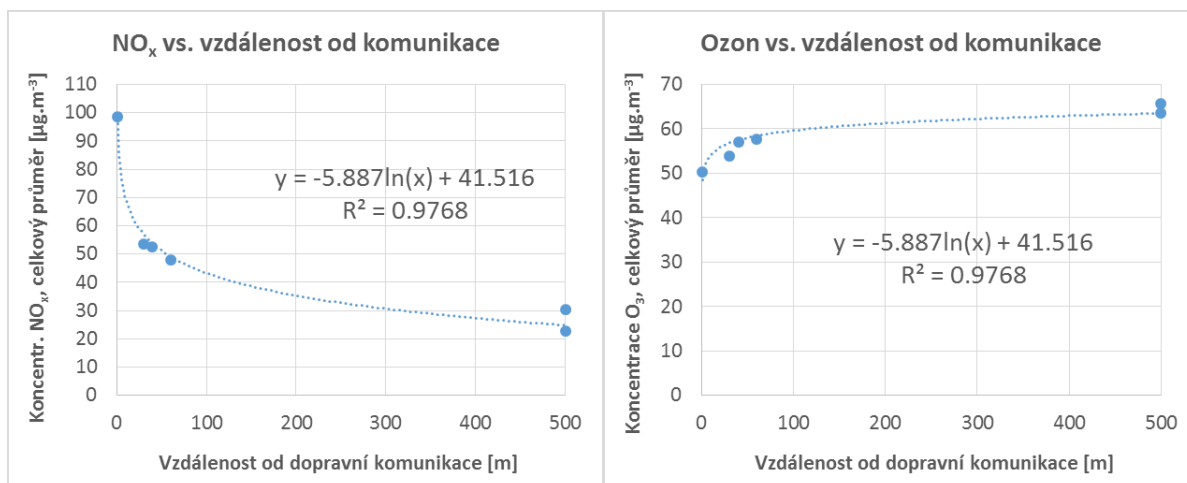
Tab. 2 Průměrné koncentrace NO, NO₂, NO_x a ozonu [μg.m⁻³] a počty měření na jednotlivých lokalitách za jednotlivé kampaně a za celé období

lokalita	vzdálenost od komunikace	v ose	NO					NO ₂				
			1K	2K	3K	4K	vše	1K	2K	3K	4K	vše
Modletice hot spot	1 m	ano	35.6	25.2	47.5	67.6	44.2	38.2	26.0	32.8	51.7	36.5
Modletice dopr._30m	30 m	ano	13.1	7.0	21.9	35.7	19.4	26.8	15.8	24.0	43.1	26.5
Modletice_mL_40m	40 m	ano	14.5	5.4	22.8	35.8	19.8	27.3	12.5	24.1	41.4	25.7
Modletice_mU_60m	60 m	ano	10.9	5.4	19.8	31.3	16.1	23.8	15.5	23.7	42.4	25.3
Modletice obec	500 m	ano	4.3	2.7	11.3	13.3	8.3	16.2	7.8	21.4	34.0	18.9
Herink	500 m	ne	3.0	1.4	8.0	7.9	5.3	13.9	6.9	17.7	28.9	16.0
N (počet měřených hodnot)			488	334	389	314	1525	488	334	389	268	1479
lokalita	vzdálenost od komunikace	v ose	NO _x					ozon				
			1K	2K	3K	4K	vše	1K	2K	3K	4K	vše
Modletice hot spot	1 m	ano	92.1	63.6	101.9	149.6	98.7	60.3	68.9	28.4	38.1	50.3
Modletice dopr._30m	30 m	ano	46.3	26.3	56.4	96.8	53.6	65.0	73.9	29.6	40.5	53.9
Modletice_mL_40m	40 m	ano	48.7	20.9	56.3	93.0	52.4	68.5	81.7	28.2	43.8	57.1
Modletice_mU_60m	60 m	ano	40.1	23.7	51.8	86.4	47.9	68.5	80.6	31.4	43.9	57.6
Modletice obec	500 m	ano	23.0	12.2	37.1	56.8	30.4	77.1	89.7	35.8	54.3	65.7
Herink	500 m	ne	16.1	9.1	28.8	43.0	22.7	73.3	86.4	35.2	54.4	63.6
N (počet měřených hodnot)			488	334	389	268	1479	21	12	13	12	58

Obdobně jako Gilbert a spol. (2003) prokládáme logaritmickou regresní křivku. Vzhledem ke skutečnosti, že není zřejmé, které z měření ve vzdálenosti 500 m od komunikace je méně ovlivněno jinými vlivy (viz kapitola 2), používáme vždy obě hodnoty (tj. jak měření z lokality Modletice-obec, tak z lokality Herink). Obr. 3 ukazuje proložení logaritmickou křivkou pro průměrné hodnoty NO a NO₂ za celé období, na Obr. 4 je prezentováno obdobné proložení pro průměrné hodnoty NO_x a ozonu, přičemž v případě ozonu jde o průměrné hodnoty z maximálních osmihodinových koncentrací.



Obr. 3 Gradient koncentrací NO a NO₂ v závislosti na vzdálenosti od dopravní komunikace



Obr. 4 Gradient koncentrací NO_x a ozonu v závislosti na vzdálenosti od dopravní komunikace

V Tab. 3 jsou prezentovány rovnice příslušných křivek pro jednotlivé znečišťující látky pro průměrné hodnoty z jednotlivých měřicích kampaní i z celého období.

Tab. 3 Logaritmická křivka proložená koncentracemi znečišťujících látek NO, NO₂, NO_x a BaP v závislosti na vzdálenosti d pro jednotlivé kampaně a pro celé období

	NO		NO ₂	
	rovnice	R ²	rovnice	R ²
1. kampaň (30. 3. - 13. 4. 2016)	$y = -4.974\ln(d) + 32.86$	0.962	$y = -3.764\ln(d) + 39.18$	0.976
2. kampaň (15. 6. - 29. 6. 2016)	$y = -3.462\ln(d) + 21.38$	0.881	$y = -2.972\ln(d) + 25.79$	0.961
3. kampaň (11. 11. - 25. 11. 2016)	$y = -5.952\ln(d) + 44.46$	0.974	$y = -2.096\ln(d) + 32.18$	0.929
4. kampaň (12. 1. - 26. 1. 2017)	$y = -9.803\ln(d) + 72.75$	0.991	$y = -3.296\ln(d) + 53.21$	0.915
celé období	$y = -5.887\ln(d) + 41.52$	0.977	$y = -3.062\ln(d) + 36.86$	0.978
	NO _x		ozon	
	rovnice	R ²	rovnice	R ²
1. kampaň (30. 3. - 13. 4. 2016)	$y = -11.57\ln(d) + 89.92$	0.983	$y = 2.4628\ln(d) + 59.09$	0.907
2. kampaň (15. 6. - 29. 6. 2016)	$y = -8.277\ln(d) + 58.56$	0.935	$y = 3.1804\ln(d) + 67.68$	0.887
3. kampaň (11. 11. - 25. 11. 2016)	$y = -10.93\ln(d) + 98.39$	0.972	$y = 1.2358\ln(d) + 26.57$	0.702
4. kampaň (12. 1. - 26. 1. 2017)	$y = -16.09\ln(d) + 150.94$	0.985	$y = 2.7571\ln(d) + 35.00$	0.826
celé období	$y = -11.48\ln(d) + 96.12$	0.984	$y = 2.3972\ln(d) + 48.60$	0.897

Porovnáním hodnot koeficientu determinace R² pro jednotlivé znečišťující látky lze nahlédnout, že těsnost závislosti koncentrací na vzdálenosti od vozovky je v případě oxidů dusíku výrazně vyšší než v případě ozonu. Pro oxidy dusíku byla dále provedena analýza s cílem závislost mezi koncentrací a vzdáleností zobecnit bez ohledu na hodnotu naměřené koncentrace. Tato analýza byla provedena pro oxidy dusíku NO a NO₂ s tím, že koncentraci NO_x je možno z hodnot koncentrací NO a NO₂ spočítat.

Byly analyzovány 10-minutové průměry koncentrace oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO₂), získané v průběhu měřicích kampaní. Cílem bylo stanovení matematického vztahu pro závislost koncentrace uvedených znečišťujících látek na kolmé vzdálenosti od středu vozovky.

Pro analýzu byly využity pouze případy, kdy byl směr proudění přibližně kolmý na vozovku, a proměřované lokality ležely v závětrí komunikace. Směr kolmý ke komunikaci odpovídá azimutu 340°. Kolem tohoto směru byl vymezen třicetistupňový sektor, vyhodnocována byla tudíž data pro případy, kdy směr větru byl mezi hodnotami 325° a 355°.

Dále bylo vzato v úvahu, že koncentrace, zjišťované v měřicích bodech, jsou superpozicí pozadových koncentrací, transportovaných z návětrné strany komunikace, a koncentrací, majících původ v liniovém zdroji.

Pozad'ové koncentrace je nutno od hodnot, ujišřených v závěřři komunikace, odečříst. Pro odhad pozad'ových koncentracř byla pouřřita lokalita Dobřeřovice, která pro vybraný sektor směrů věřřu leřří na návěřřrné straně silnice.

Koncentrace NO a NO₂ na závěřřrné byl měřřeny na lokalitách

Modletice-hot spot 10 m od osy komunikace

Modletice-dopravřř 40 m

Modletice-mobilnřř vřřz L 50 m

Modletice-mobilnřř vřřz U 70 m

Herink 510 m od osy komunikace

Pro případy, kdy na vřřech pětř měřřicřř bodech byly k dispozici platně hodnoty koncentracř NO a NO₂, byly vyčřřsleny poměřř

$$\frac{C(d) - C_b}{C(10) - C_b}$$

kde d je kolmá vzdálenost od osy vozovky, $C(d)$ je koncentrace, měřřená ve vzdálenosti d a C_b je pozad'ová koncentrace, zde reprezentovaná lokalitou Dobřeřovice. Tyto poměřř byly vyčřřsleny pro vřřechny výřře uvedené vzdálenosti od komunikace, pro vřřechny měřřicřř kampaně. Ze zřříkaného souboru hodnot byl pro každou vzdálenost zřřířřřen medián hodnot poměřřů. Zřřířřřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 4.

Tab. 4 Hodnoty mediánů koncentracemi znečiřřřujřřících látek NO a NO₂ v závislosti na vzdálenosti d od osy komunikace pro celě období

Oxid dusnatý (NO)					
Vzdálenost d	10	40	50	70	510
Medián poměřřů	1	0.34896	0.31322	0.23295	0.05

Oxid dusičitý (NO ₂)					
Vzdálenost d	10	40	50	70	510
Medián poměřřů	1	0.39655	0.38947	0.32609	0.1

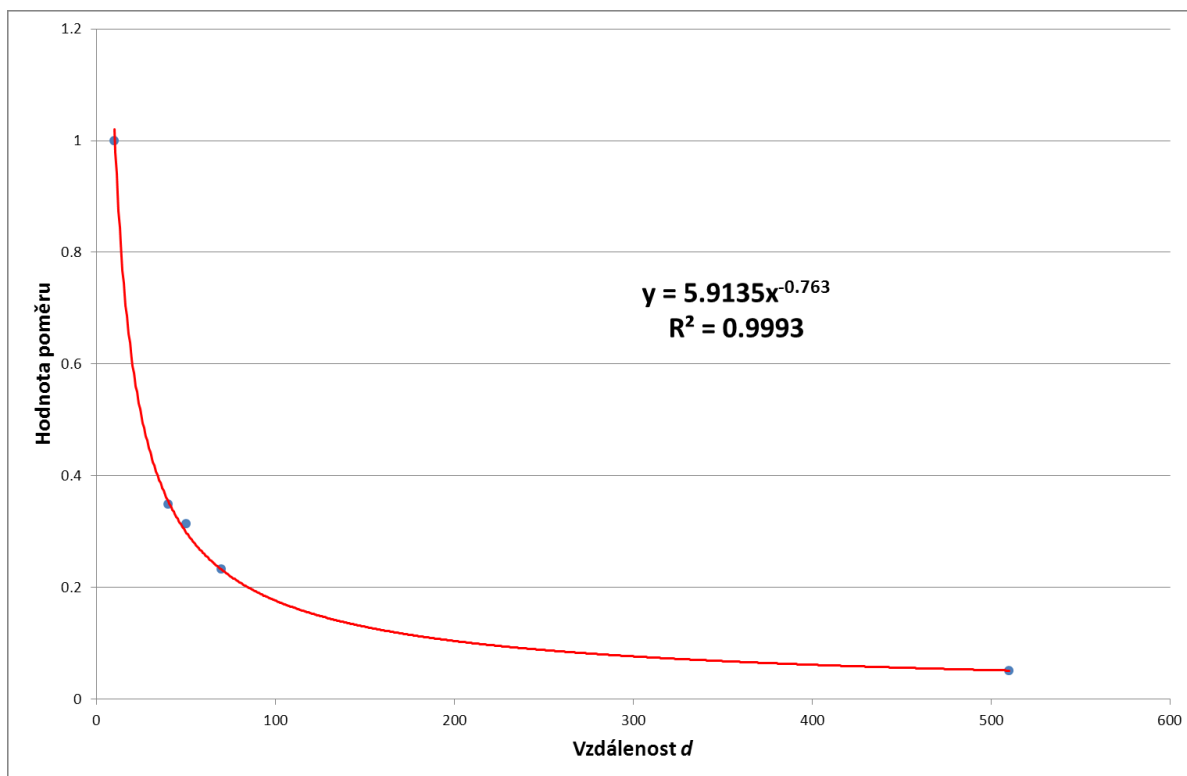
Pro dvojice hodnot, uvedených v tabulkách, byly zkonstruovány bodové grafy a metodou nejmenřřích čřřtverců prolořřeny mocninně regresnřř křřivky. Grafy s prolořřenými křřivkami, přřřslušnými rovnicemi a koeficienty determinace jsou prezentovány na Obr. 5 a6.

Závislost koncentrace na kolmé vzdálenosti od silnice lze tedy vyjádřřit následujícími vztahy:

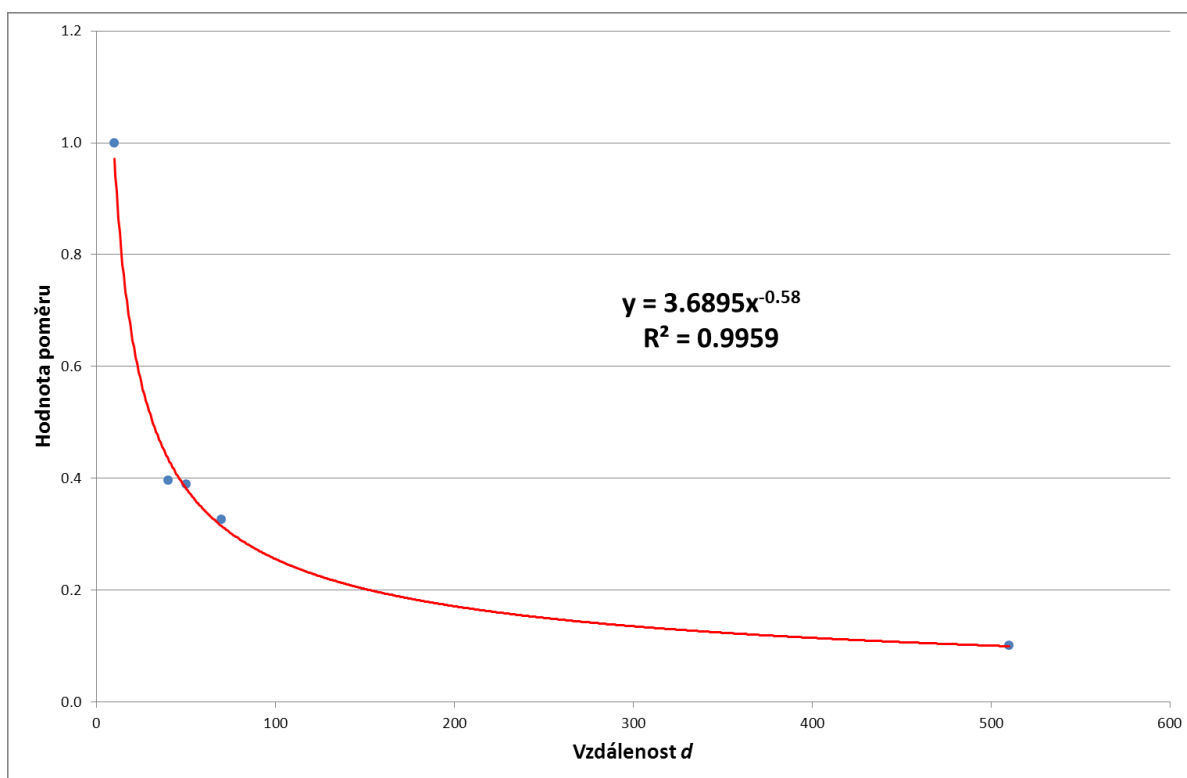
Oxid dusnatý (NO)
$$C(d) = C_b + 5.9135 \cdot (C(10) - C_b) \cdot d^{-0.763}$$

Oxid dusičitý (NO₂)
$$C(d) = C_b + 3.6895 \cdot (C(10) - C_b) \cdot d^{-0.58}$$

Je zřřejmě, řře s rostoucí vzdáleností od střředu vozovky druhý člen rovnice konverguje k nule a koncentrace $C(d)$ se blřřží hodnotě pozad'ové koncentrace C_b .



Obr. 5 Gradient koncentrací NO v závislosti na vzdálenosti od osy dopravní komunikace, zobecnění



Obr. 6 Gradient koncentrací NO₂ v závislosti na vzdálenosti od osy dopravní komunikace, zobecnění

3.2 Suspendované částice (PM₁₀ a PM_{2,5}) a benzo[a]pyren

V případě PM₁₀ jsou z důvodu srovnatelnosti – podobně jako v případě oxidů dusíku a ozonu – použity jen hodnoty koncentrací naměřené v takových hodinách, kdy jsou k dispozici příslušná data na všech lokalitách. Naměřené denní hodnoty PM_{2,5} a BaP mohou být použity všechny, protože jsou kompletní. Příslušné hodnoty – viz Tab. 4.

Koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5} i benzo[a]pyrenu naměřené v lokalitách Modletice-obec, Herink a Dobřejovice jsou obecně ovlivněny lokálními emisemi (zejména z lokálního vytápění), a tudíž nemohou být použity pro odhad gradientu. Hodnoty zjevně ovlivněné místními zdroji jsou v Tab. 5 označeny šedě a nejsou použity v další analýze.

Kromě toho je třeba konstatovat, že lokalita ve vzdálenosti 60 m od dopravní komunikace vykazuje v případě PM₁₀ i PM_{2,5} v průměru vyšší koncentrace než lokality ve vzdálenosti 30 m a 40 m.

Tab. 5 Průměrné koncentrace PM₁₀ a PM_{2,5} [μg.m⁻³] a benzo[a]pyrenu [ng.m⁻³] a počty měření na jednotlivých lokalitách za jednotlivé kampaně a za celé období

lokalita	vzdálenost od komunikace	v ose	PM ₁₀					PM _{2,5}				
			1K	2K	3K	4K	vše	1K	2K	3K	4K	vše
Modletice hot spot	1 m	ano	24.5	17.9	30.0	58.1	32.4	15.2	7.6	19.4	39.2	20.4
Modletice dopr. 30m	30 m	ano	20.0	12.0	24.3	46.4	25.7	14.4	7.1	18.1	37.4	19.2
Modletice mL 40m	40 m	ano	20.6	12.2	22.7	44.6	25.1	13.9	7.1	17.4	37.2	18.9
Modletice mU 60m	60 m	ano	19.4	15.8	27.6	51.7	28.2	14.2	7.7	18.5	36.9	19.3
Modletice obec	500 m	ano	17.5	11.4	23.0	40.6	23.1	13.8	6.7	17.7	34.8	18.3
Herink	500 m	ne	20.1	17.3	25.7	48.7	27.5	13.3	6.2	20.9	35.5	19.0
Dobřejovice	800 m	ne	18.9	10.2	20.8	39.1	22.5	14.6	7.2	17.9	40.6	20.1
N (počet měřených hodnot)			487	252	360	325	1424	15	15	15	15	60
lokalita	vzdálenost od komunikace	v ose	BaP									
			1K	2K	3K	4K	vše					
Modletice hot spot	1 m	ano	0.45	0.02	1.42	3.53	1.36					
Modletice dopr. 30m	30 m	ano	0.48	0.01	1.42	3.22	1.28					
Modletice mL 40m	40 m	ano	0.48	0.01	1.41	2.31	1.05					
Modletice mU 60m	60 m	ano	0.54	0.01	1.48	2.19	1.06					
Modletice obec	500 m	ano	0.48	0.01	1.64	2.01	1.03					
Herink	500 m	ne	0.49	0.01	1.59	3.55	1.41					
Dobřejovice	800 m	ne	0.63	0.01	2.22	5.41	2.07					
N (počet měřených hodnot)			5	5	5	5	20					

S vědomím velkých limitů byly průměrnými hodnotami PM₁₀ a PM_{2,5} za jednotlivé kampaně i za celé období proloženy logaritmické křivky v závislosti na vzdálenosti, viz Tab. 6. Hodnoty vyznačené v Tab. 5 šedě nejsou (z důvodu zjevného lokálního ovlivnění) zahrnuty. Porovnáním koeficientu determinace R² s příslušnými hodnotami pro oxidy dusíku (viz Tab. 3) lze konstatovat, že odhad gradientu pro PM₁₀ a PM_{2,5} je méně spolehlivý. V některých případech není závislost statisticky významná.

Tab. 6 Logaritmická křivka proložená koncentracemi znečišťujících látek PM₁₀ a PM_{2,5} v závislosti na vzdálenosti *d* pro jednotlivé kampaně a pro celé období

	PM ₁₀		PM _{2,5}	
	rovnice	R ²	rovnice	R ²
1. kampaň (30. 3. - 13. 4. 2016)	$y = -0.931\ln(d) + 23.89$	0.889	$y = -0.272\ln(d) + 15.21$	0.886
2. kampaň (15. 6. - 29. 6. 2016)	$y = -1.02\ln(d) + 17.37$	0.696	<i>nevýznamná závislost</i>	
3. kampaň (11. 11. - 25. 11. 2016)	$y = -1.203\ln(d) + 29.57$	0.701	<i>nevýznamná závislost</i>	
4. kampaň (12. 1. - 26. 1. 2017)	$y = -2.733\ln(d) + 57.72$	0.842	$y = -0.67\ln(d) + 39.45$	0.962
celé období	$y = -1.427\ln(d) + 31.89$	0.866	$y = -0.274\ln(d) + 20.25$	0.825

V případě benzo[*a*]pyrenu lze nahlédnout, že po většinu roku nelze mluvit o jakémkoli gradientu. Oproti původnímu očekávání se ukazuje, že doprava je v měřené lokalitě jen minoritním zdrojem benzo[*a*]pyrenu. Pouze ve 4. kampani lze uvažovat o určitém gradientu BaP. Otázkou je, co je toho příčinou. I tento gradient je však statisticky nevýznamný.

Z důvodu slabší závislosti koncentrací na vzdálenosti od vozovky v případě znečišťujících látek PM a BaP ve srovnání s oxidy dusíku nebyla prováděna detailnější analýza s cílem příslušné rovnice zobecnit.

Literatura

Gilbert N. L., Woodhouse S., Stieb D. M., Brook J. R. (2003). Ambient nitrogen dioxide and distance from a major highway. *The Science of the Total Environment* 312, pp. 43–46.



ČESKÝ
HYDROMETEOROLOGICKÝ
ÚSTAV

PROJEKT DOPRAVA ANALÝZA GRADIENTU KONCENTRACÍ

ODBORNÁ ZPRÁVA

Datum: 31. 5. 2017
Pracoviště: ISKO, OBT
Zpracovali: Mgr. Jan Horálek, RNDr. Josef Keder CSc.
Místo: Praha



Analýza gradientu koncentrací znečišťujících látek v ovzduší v závislosti na vzdálenosti od komunikace

4. Úvod

Jedním z cílů projektu „Šíření látek znečišťujících ovzduší v okolí dopravních komunikací“ bylo proměření gradientu koncentrací znečišťujících látek ve vzrůstající vzdálenosti od dopravní komunikace a následná charakterizace tohoto gradientu matematickým vztahem. Jednotlivými sledovanými znečišťujícími látkami byly oxidy dusíku (NO_x , NO_2 , NO), benzo[a]pyren (BaP), suspendované částice frakce PM_{10} a $\text{PM}_{2.5}$ a přízemní ozon (O_3). Podle původního záměru bylo plánováno měření na sedmi lokalitách ve vzrůstající vzdálenosti od dopravní komunikace až do vzdálenosti cca 1 km. Během realizace došlo k určitému posunu od původního záměru, když mezi proměřované lokality byly zařazeny tři obce Herink, Modletice a Dobřejovice – za spolupráce s těmito obcemi – bez přímé návaznosti na původní záměr. Skutečná realizace projektu se poněkud odchýlila od původního projektu. Původnímu záměru odpovídají proměřované lokality ve vzdálenosti 0-1 m (hot spot), 30 m, 40 m a 60 m od sledované dopravní komunikace (již je pražský okruh SOKP), viz Obr. 1.



Obr. 1 Proměřované lokality u pražského okruhu (SOKP) v rámci projektu Doprava

Další tři realizované lokality v obcích Herink, Modletice a Dobřejovice (Obr. 2) již původnímu záměru neodpovídají. Hlavním rozdílem je, že na těchto lokalitách mnohdy dochází k místnímu ovlivnění z emisních zdrojů v těchto obcích – tato skutečnost platí zejména pro suspendované částice PM_{10} a $\text{PM}_{2.5}$ a pro benzo[a]pyren. Dalším rozdílem oproti původnímu záměru je, že tyto tři lokality nezapadají do řady se vzrůstající vzdáleností od dopravní komunikace. (Lokality Modletice a Herink jsou ve vzdálenosti cca 500 m od komunikace, lokalita Dobřejovice ve vzdálenosti cca 900 m.) Kromě toho dvě z těchto tří lokalit (Herink a Dobřejovice) nejsou umístěny na téže kolmici od sledované dopravní komunikace jako výše uvedené čtyři lokality. Všechny tyto skutečnosti hrají limitující roli při analýze gradientu koncentrací znečišťujících látek v závislosti na vzdálenosti od komunikace. Jak bude dále ukázáno, pro analýzu gradientu oxidů dusíku (NO , NO_2 a NO_x) a přízemního ozonu je možné využít měření v obci Modletice a částečně i měření v obci Herink, zatímco měření v obci Dobřejovice přímo použít nelze. Pro analýzu gradientu suspendovaných částic PM_{10} a $\text{PM}_{2.5}$ a benzo[a]pyrenu nelze přímo využít měření v žádné z těchto tří obcí.



Obr. 2 Proměřované lokality u pražského okruhu (SOKP) v rámci projektu Doprava

5. Naměřené koncentrace znečišťujících látek na jednotlivých lokalitách

Měření na výše uvedených sedmi lokalitách bylo realizováno ve čtyřech měřicích kampaních ve dnech 30. 3. - 13. 4. 2016, 15. 6. - 29. 6. 2016, 11. 11. - 25. 11. 2016 a 12. 1. - 26. 1. 2017. V případě znečišťujících látek NO, NO₂, NO_x, O₃ a PM₁₀ byly měřeny průměrné 10-minutové a průměrné hodinové koncentrace, zatímco v případě znečišťujících látek PM_{2,5} a B[a]P byly měřeny průměrné denní koncentrace. Souhrnné výsledky za všechny čtyři měřicí kampaně dohromady jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1 Průměrné koncentrace NO, NO₂, NO_x, O₃, PM₁₀ a PM_{2,5} [μg.m⁻³] a benzo[a]pyrenu (ng.m⁻³) a příslušné počty měření na jednotlivých lokalitách za celé období

lokalita	NO		NO ₂		NO _x		O ₃		PM ₁₀		PM _{2,5}		B[a]P	
	pr.	N	pr.	N	pr.	N	pr.	N	pr.	N	pr.	N	pr.	N
Modletice hot spot	44.2	1844	36.9	1796	101.2	1796	35.1	1840	32.4	1815	20.4	60	1.36	20
Modletice dopr._30m	19.4	1834	27.4	1834	57.2	1834	38.3	1833	25.9	1766	19.2	60	1.28	20
Modletice_mL_40m	19.8	1865	27.0	1865	57.4	1865	40.5	1822	25.9	1831	18.9	60	1.05	20
Modletice_mU_60m	16.1	1665	25.9	1665	50.5	1665	40.7	1742	26.8	1736	19.3	60	1.06	20
Modletice obec	8.3	1932	20.9	1932	33.5	1932	46.4	1934	25.4	1862	18.3	60	1.03	20
Herink	5.3	1854	17.7	1854	25.2	1854	45.2	1854	29.8	1826	19.0	60	1.41	20
Dobřejovice	11.3	1851	23.8	1851	41.1	1850	41.8	1849	23.3	1847	20.1	60	2.07	20

V případě většiny znečišťujících látek lze očekávat pokles koncentrací v závislosti na vzdálenosti od dopravní komunikace, výjimkou je ozon, kde lze očekávat příslušný nárůst koncentrací, vzhledem k vzájemné závislosti mezi koncentracemi oxidů dusíku a ozonu. V případě větších odlišností od předpokládaného poklesu resp. nárůstu koncentrací lze předpokládat existenci dalších emisních zdrojů kromě příslušné dopravní komunikace.

V případě oxidů dusíku (NO, NO₂ a NO_x) lze konstatovat, že koncentrace naměřené v lokalitě Dobřejovice (vzdálené cca 800 m od dopravní komunikace) jsou výrazně vyšší než koncentrace naměřené v lokalitách Modletice-obec a Herink (které jsou obě vzdálené cca 500 m od dopravní komunikace). Důvodem je pravděpodobně lokální doprava v obci Dobřejovice. Odlišná hladina koncentrací naměřených v lokalitách

Modletice-obec a Herink, které jsou obě vzdáleny cca 500 m od dopravní komunikace, může být způsobena dvěma různými důvody. Jedním důvodem může být lokální doprava v obci Modletice. Druhý důvod může být odlišná hladina koncentrací na dopravní komunikaci, na kolmici k příslušné lokalitě: obec Herink leží dále od křižovatky pražského okruhu (SOKP) s dálnicí D1, příslušné koncentrace na průsečíku kolmice od lokality Herink s dopravní komunikací mohou být proto nižší než na obdobném průsečíku kolmice od lokality Modletice-obec.

V případě ozonu lze nahlédnout obdobné (byť opačné) chování koncentrací v případě obce Dobřejovice: Hladina ozonu v této obci je nižší, než by odpovídalo její vzdálenosti od dopravní komunikace, což ukazuje na lokální zdroj emisí oxidů dusíku (pravděpodobně z místní dopravy). Oproti tomu koncentrace ozonu nevykazují obdobný rozdíl mezi obcemi Herink a Modletice.

Na základě výše uvedených skutečností nejsou v další analýze brány v úvahu koncentrace oxidů dusíku a ozonu naměřené v obci Dobřejovice.

V případě suspendovaných částic $PM_{2,5}$ a BaP lze nahlédnout nárůst koncentrací v obci Dobřejovice, který neodpovídá vzdálenosti od dopravní komunikaci. Důvodem je očividně lokální zdroj emisí z lokálního vytápění, případně z dopravy. Lokální zdroje emisí (zejména z lokálního vytápění) je možno předpokládat i v případě některých dalších lokalit (i v případě PM_{10}). Vzhledem k sezónnímu charakteru lokálního vytápění se jeví jako vhodná oddělená analýza pro jednotlivé kampaně.

Skupiny znečišťujících látek bez předpokládaného vlivu lokálního vytápění (oxidy dusíky a ozon) a s předpokládaným vlivem lokálního vytápění (suspendované částice PM_{10} a $PM_{2,5}$ a BaP) jsou v další analýze pojednávány zvlášť.

6. Analýza gradientu

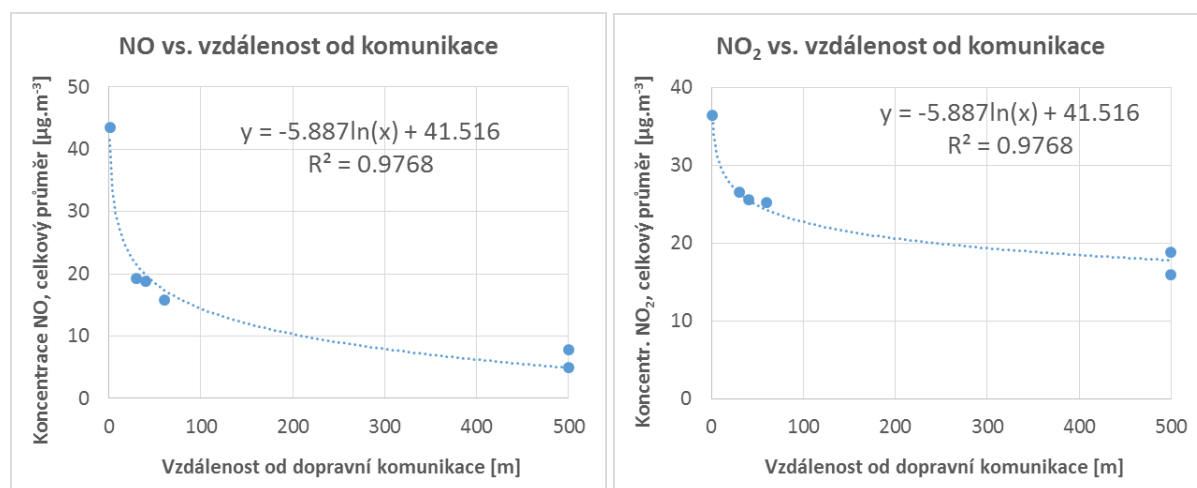
3.1 Oxidy dusíku (NO , NO_2 a NO_x) a ozon

Z důvodu srovnatelnosti jsou použity jen hodnoty koncentrací naměřené v takových hodinách, kdy jsou k dispozici měření příslušné znečišťující látky na všech lokalitách. Analýza je provedena jednak pro průměrné hodnoty za jednotlivé kampaně, jednak pro průměrné hodnoty za celé období. V případě oxidů dusíku jsou analyzovány průměrné hodnoty hodinových koncentrací, v případě ozonu to jsou průměrné hodnoty maximálních osmihodinových koncentrací. Příslušné hodnoty – viz Tab. 2.

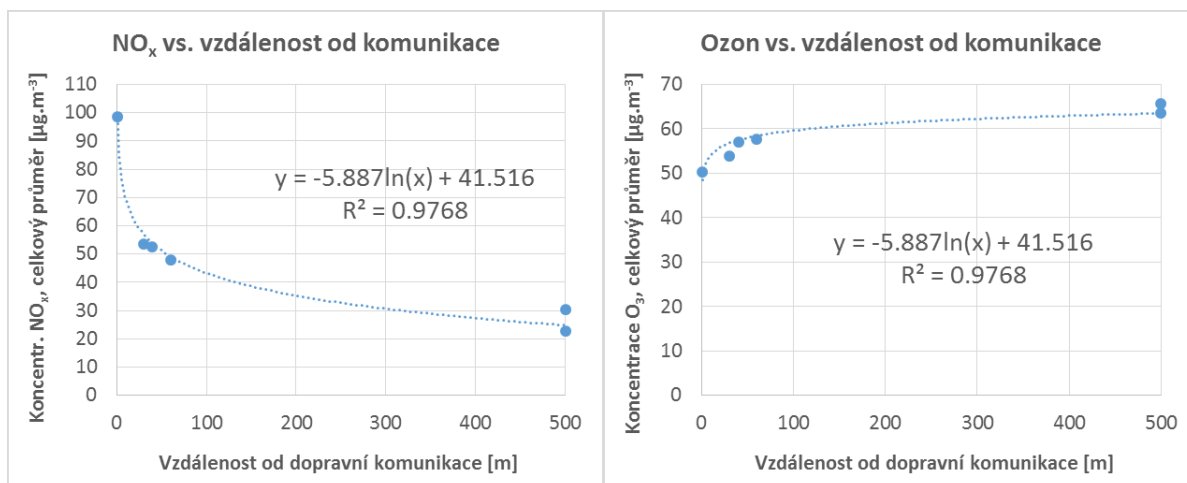
Tab. 2 Průměrné koncentrace NO, NO₂, NO_x a ozonu [μg.m⁻³] a počty měření na jednotlivých lokalitách za jednotlivé kampaně a za celé období

lokalita	vzdálenost od komunikace	v ose	NO					NO ₂				
			1K	2K	3K	4K	vše	1K	2K	3K	4K	vše
Modletice hot spot	1 m	ano	35.6	25.2	47.5	67.6	44.2	38.2	26.0	32.8	51.7	36.5
Modletice dopr._30m	30 m	ano	13.1	7.0	21.9	35.7	19.4	26.8	15.8	24.0	43.1	26.5
Modletice_mL_40m	40 m	ano	14.5	5.4	22.8	35.8	19.8	27.3	12.5	24.1	41.4	25.7
Modletice_mU_60m	60 m	ano	10.9	5.4	19.8	31.3	16.1	23.8	15.5	23.7	42.4	25.3
Modletice obec	500 m	ano	4.3	2.7	11.3	13.3	8.3	16.2	7.8	21.4	34.0	18.9
Herink	500 m	ne	3.0	1.4	8.0	7.9	5.3	13.9	6.9	17.7	28.9	16.0
N (počet měřených hodnot)			488	334	389	314	1525	488	334	389	268	1479
lokalita	vzdálenost od komunikace	v ose	NO _x					ozon				
			1K	2K	3K	4K	vše	1K	2K	3K	4K	vše
Modletice hot spot	1 m	ano	92.1	63.6	101.9	149.6	98.7	60.3	68.9	28.4	38.1	50.3
Modletice dopr._30m	30 m	ano	46.3	26.3	56.4	96.8	53.6	65.0	73.9	29.6	40.5	53.9
Modletice_mL_40m	40 m	ano	48.7	20.9	56.3	93.0	52.4	68.5	81.7	28.2	43.8	57.1
Modletice_mU_60m	60 m	ano	40.1	23.7	51.8	86.4	47.9	68.5	80.6	31.4	43.9	57.6
Modletice obec	500 m	ano	23.0	12.2	37.1	56.8	30.4	77.1	89.7	35.8	54.3	65.7
Herink	500 m	ne	16.1	9.1	28.8	43.0	22.7	73.3	86.4	35.2	54.4	63.6
N (počet měřených hodnot)			488	334	389	268	1479	21	12	13	12	58

Obdobně jako Gilbert a spol. (2003) prokládáme logaritmickou regresní křivku. Vzhledem ke skutečnosti, že není zřejmé, které z měření ve vzdálenosti 500 m od komunikace je méně ovlivněno jinými vlivy (viz kapitola 2), používáme vždy obě hodnoty (tj. jak měření z lokality Modletice-obec, tak z lokality Herink). Obr. 3 ukazuje proložení logaritmickou křivkou pro průměrné hodnoty NO a NO₂ za celé období, na Obr. 4 je prezentováno obdobné proložení pro průměrné hodnoty NO_x a ozonu, přičemž v případě ozonu jde o průměrné hodnoty z maximálních osmihodinových koncentrací.



Obr. 3 Gradient koncentrací NO a NO₂ v závislosti na vzdálenosti od dopravní komunikace



Obr. 4 Gradient koncentrací NO_x a ozonu v závislosti na vzdálenosti od dopravní komunikace

V Tab. 3 jsou prezentovány rovnice příslušných křivek pro jednotlivé znečišťující látky pro průměrné hodnoty z jednotlivých měřicích kampaní i z celého období.

Tab. 3 Logaritmická křivka proložená koncentracemi znečišťujících látek NO, NO₂, NO_x a BaP v závislosti na vzdálenosti d pro jednotlivé kampaně a pro celé období

	NO		NO ₂	
	rovnice	R ²	rovnice	R ²
1. kampaň (30. 3. - 13. 4. 2016)	$y = -4.974\ln(d) + 32.86$	0.962	$y = -3.764\ln(d) + 39.18$	0.976
2. kampaň (15. 6. - 29. 6. 2016)	$y = -3.462\ln(d) + 21.38$	0.881	$y = -2.972\ln(d) + 25.79$	0.961
3. kampaň (11. 11. - 25. 11. 2016)	$y = -5.952\ln(d) + 44.46$	0.974	$y = -2.096\ln(d) + 32.18$	0.929
4. kampaň (12. 1. - 26. 1. 2017)	$y = -9.803\ln(d) + 72.75$	0.991	$y = -3.296\ln(d) + 53.21$	0.915
celé období	$y = -5.887\ln(d) + 41.52$	0.977	$y = -3.062\ln(d) + 36.86$	0.978
	NO _x		ozon	
	rovnice	R ²	rovnice	R ²
1. kampaň (30. 3. - 13. 4. 2016)	$y = -11.57\ln(d) + 89.92$	0.983	$y = 2.4628\ln(d) + 59.09$	0.907
2. kampaň (15. 6. - 29. 6. 2016)	$y = -8.277\ln(d) + 58.56$	0.935	$y = 3.1804\ln(d) + 67.68$	0.887
3. kampaň (11. 11. - 25. 11. 2016)	$y = -10.93\ln(d) + 98.39$	0.972	$y = 1.2358\ln(d) + 26.57$	0.702
4. kampaň (12. 1. - 26. 1. 2017)	$y = -16.09\ln(d) + 150.94$	0.985	$y = 2.7571\ln(d) + 35.00$	0.826
celé období	$y = -11.48\ln(d) + 96.12$	0.984	$y = 2.3972\ln(d) + 48.60$	0.897

Porovnáním hodnot koeficientu determinace R² pro jednotlivé znečišťující látky lze nahlédnout, že těsnost závislosti koncentrací na vzdálenosti od vozovky je v případě oxidů dusíku výrazně vyšší než v případě ozonu. Pro oxidy dusíku byla dále provedena analýza s cílem závislost mezi koncentrací a vzdáleností zobecnit bez ohledu na hodnotu naměřené koncentrace. Tato analýza byla provedena pro oxidy dusíku NO a NO₂ s tím, že koncentrací NO_x je možno z hodnot koncentrací NO a NO₂ spočítat.

Byly analyzovány 10-minutové průměry koncentrace oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO₂), získané v průběhu měřicích kampaní. Cílem bylo stanovení matematického vztahu pro závislost koncentrace uvedených znečišťujících látek na kolmé vzdálenosti od středu vozovky.

Pro analýzu byly využity pouze případy, kdy byl směr proudění přibližně kolmý na vozovku, a proměřované lokality ležely v závětrí komunikace. Směr kolmý ke komunikaci odpovídá azimutu 340°. Kolem tohoto směru byl vymezen třicetistupňový sektor, vyhodnocována byla tudíž data pro případy, kdy směr větru byl mezi hodnotami 325° a 355°.

Dále bylo vzato v úvahu, že koncentrace, zjišťované v měřicích bodech, jsou superpozicí pozadových koncentrací, transportovaných z návětrné strany komunikace, a koncentrací, majících původ v liniovém zdroji.

Pozad'ové koncentrace je nutno od hodnot, ujiš'těných v závě'tří komunikace, odečíst. Pro odhad pozad'ových koncentrací byla použita lokalita Dobřejovice, která pro vybraný sektor směrů větru leží na návě'trné straně silnice.

Koncentrace NO a NO₂ na závě'trné byl měřeny na lokalitách
 Modletice-hot spot 10 m od osy komunikace
 Modletice-dopraví 40 m
 Modletice-mobilní vůz L 50 m
 Modletice-mobilní vůz U 70 m
 Herink 510 m od osy komunikace

Pro případy, kdy na všech pěti měřicích bodech byly k dispozici platné hodnoty koncentrací NO a NO₂, byly vyčísleny poměry

$$\frac{C(d) - C_b}{C(10) - C_b}$$

kde d je kolmá vzdálenost od osy vozovky, $C(d)$ je koncentrace, měřená ve vzdálenosti d a C_b je pozad'ová koncentrace, zde reprezentovaná lokalitou Dobřejovice. Tyto poměry byly vyčísleny pro všechny výše uvedené vzdálenosti od komunikace, pro všechny měřicí kampaně. Ze získaného souboru hodnot byl pro každou vzdálenost zjiš'těn medián hodnot poměrů. Zjiš'těné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 4.

Tab. 4 Hodnoty mediánů koncentracemi znečiš'tujících látek NO a NO₂ v závislosti na vzdálenosti d od osy komunikace pro celé období

Oxid dusnatý (NO)					
Vzdálenost d	10	40	50	70	510
Medián poměrů	1	0.34896	0.31322	0.23295	0.05

Oxid dusičitý (NO ₂)					
Vzdálenost d	10	40	50	70	510
Medián poměrů	1	0.39655	0.38947	0.32609	0.1

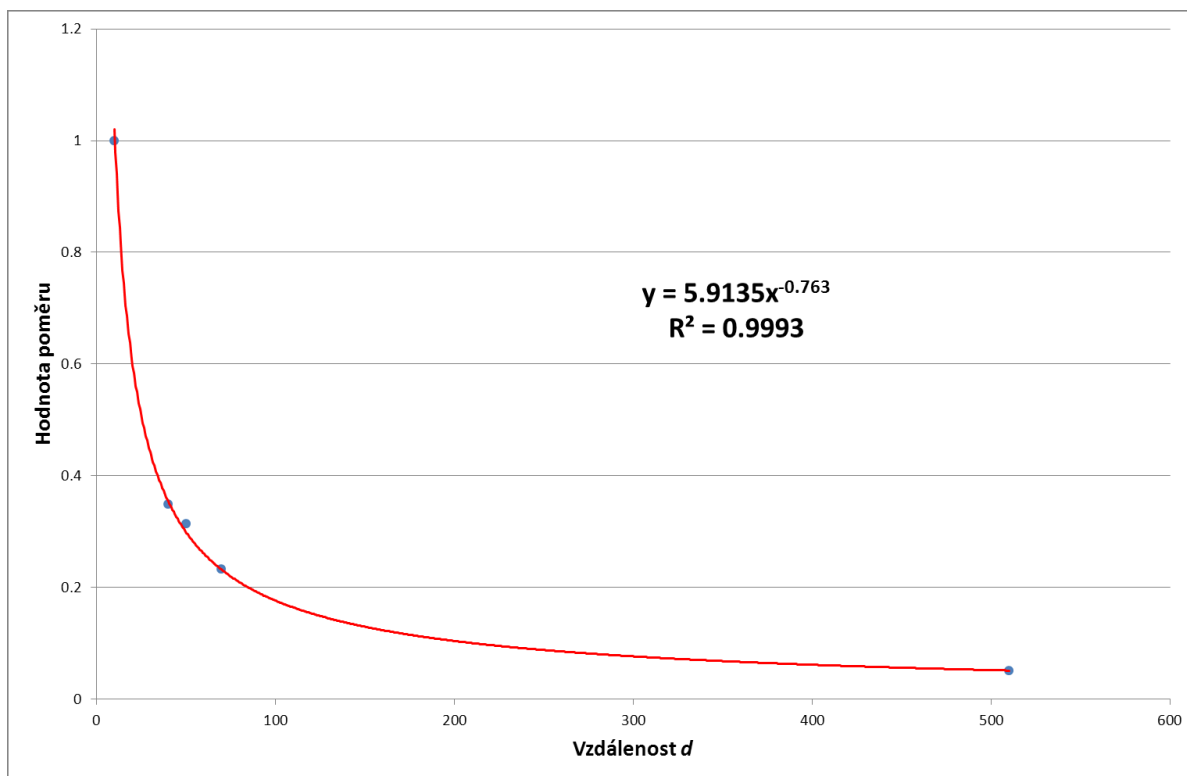
Pro dvojice hodnot, uvedených v tabulkách, byly zkonstruovány bodové grafy a metodou nejmenších čtverců proloženy mocninné regresní křivky. Grafy s proloženými křivkami, příslušnými rovnicemi a koeficienty determinace jsou prezentovány na Obr. 5 a6.

Závislost koncentrace na kolmé vzdálenosti od silnice lze tedy vyjádřit následujícími vztahy:

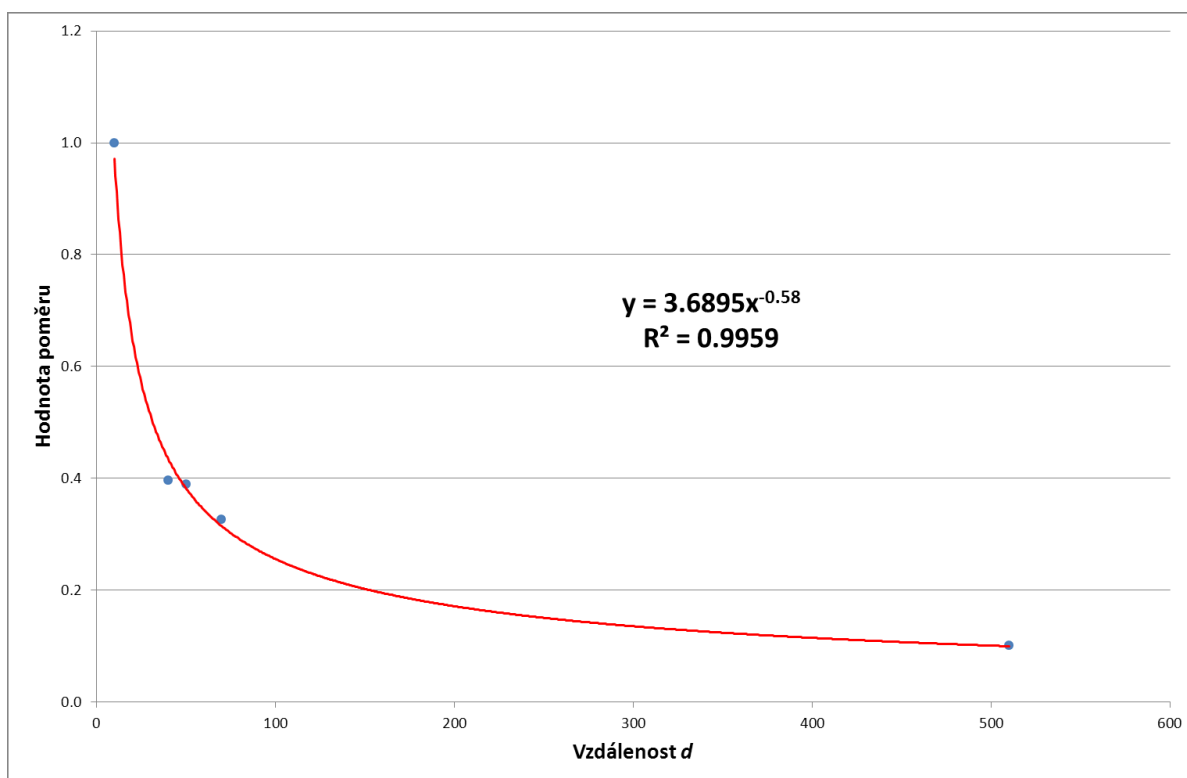
Oxid dusnatý (NO) $C(d) = C_b + 5.9135 \cdot (C(10) - C_b) \cdot d^{-0.763}$

Oxid dusičitý (NO₂) $C(d) = C_b + 3.6895 \cdot (C(10) - C_b) \cdot d^{-0.58}$

Je zřejmé, že s rostoucí vzdáleností od středu vozovky druhý člen rovnice konverguje k nule a koncentrace $C(d)$ se blíží hodnotě pozad'ové koncentrace C_b .



Obr. 5 Gradient koncentrací NO v závislosti na vzdálenosti od osy dopravní komunikace, zobecnění



Obr. 6 Gradient koncentrací NO₂ v závislosti na vzdálenosti od osy dopravní komunikace, zobecnění

3.2 Suspendované částice (PM₁₀ a PM_{2,5}) a benzo[a]pyren

V případě PM₁₀ jsou z důvodu srovnatelnosti – podobně jako v případě oxidů dusíku a ozonu – použity jen hodnoty koncentrací naměřené v takových hodinách, kdy jsou k dispozici příslušná data na všech lokalitách. Naměřené denní hodnoty PM_{2,5} a BaP mohou být použity všechny, protože jsou kompletní. Příslušné hodnoty – viz Tab. 4.

Koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5} i benzo[a]pyrenu naměřené v lokalitách Modletice-obec, Herink a Dobřejovice jsou obecně ovlivněny lokálními emisemi (zejména z lokálního vytápění), a tudíž nemohou být použity pro odhad gradientu. Hodnoty zjevně ovlivněné místními zdroji jsou v Tab. 5 označeny šedě a nejsou použity v další analýze.

Kromě toho je třeba konstatovat, že lokalita ave vzdálenosti 60 m od dopravní komunikace vykazuje v případě PM₁₀ i PM_{2,5} v průměru vyšší koncentrace než lokality ve vzdálenosti 30 m a 40 m.

Tab. 5 Průměrné koncentrace PM₁₀ a PM_{2,5} [μg.m⁻³] a benzo[a]pyrenu [ng.m⁻³] a počty měření na jednotlivých lokalitách za jednotlivé kampaně a za celé období

lokalita	vzdálenost od komunikace	v ose	PM ₁₀					PM _{2,5}				
			1K	2K	3K	4K	vše	1K	2K	3K	4K	vše
Modletice hot spot	1 m	ano	24.5	17.9	30.0	58.1	32.4	15.2	7.6	19.4	39.2	20.4
Modletice dopr. 30m	30 m	ano	20.0	12.0	24.3	46.4	25.7	14.4	7.1	18.1	37.4	19.2
Modletice mL 40m	40 m	ano	20.6	12.2	22.7	44.6	25.1	13.9	7.1	17.4	37.2	18.9
Modletice mU 60m	60 m	ano	19.4	15.8	27.6	51.7	28.2	14.2	7.7	18.5	36.9	19.3
Modletice obec	500 m	ano	17.5	11.4	23.0	40.6	23.1	13.8	6.7	17.7	34.8	18.3
Herink	500 m	ne	20.1	17.3	25.7	48.7	27.5	13.3	6.2	20.9	35.5	19.0
Dobřejovice	800 m	ne	18.9	10.2	20.8	39.1	22.5	14.6	7.2	17.9	40.6	20.1
N (počet měřených hodnot)			487	252	360	325	1424	15	15	15	15	60
lokalita	vzdálenost od komunikace	v ose	BaP									
			1K	2K	3K	4K	vše					
Modletice hot spot	1 m	ano	0.45	0.02	1.42	3.53	1.36					
Modletice dopr. 30m	30 m	ano	0.48	0.01	1.42	3.22	1.28					
Modletice mL 40m	40 m	ano	0.48	0.01	1.41	2.31	1.05					
Modletice mU 60m	60 m	ano	0.54	0.01	1.48	2.19	1.06					
Modletice obec	500 m	ano	0.48	0.01	1.64	2.01	1.03					
Herink	500 m	ne	0.49	0.01	1.59	3.55	1.41					
Dobřejovice	800 m	ne	0.63	0.01	2.22	5.41	2.07					
N (počet měřených hodnot)			5	5	5	5	20					

S vědomím velkých limitů byly průměrnými hodnotami PM₁₀ a PM_{2,5} za jednotlivé kampaně i za celé období proloženy logaritmické křivky v závislosti na vzdálenosti, viz Tab. 6. Hodnoty vyznačené v Tab. 5 šedě nejsou (z důvodu zjevného lokálního ovlivnění) zahrnuty. Porovnáním koeficientu determinace R² s příslušnými hodnotami pro oxidy dusíku (viz Tab. 3) lze konstatovat, že odhad gradientu pro PM₁₀ a PM_{2,5} je méně spolehlivý. V některých případech není závislost statisticky významná.

Tab. 6 Logaritmická křivka proložená koncentracemi znečišťujících látek PM₁₀ a PM_{2,5} v závislosti na vzdálenosti *d* pro jednotlivé kampaně a pro celé období

	PM ₁₀		PM _{2,5}	
	rovnice	R ²	rovnice	R ²
1. kampaň (30. 3. - 13. 4. 2016)	$y = -0.931\ln(d) + 23.89$	0.889	$y = -0.272\ln(d) + 15.21$	0.886
2. kampaň (15. 6. - 29. 6. 2016)	$y = -1.02\ln(d) + 17.37$	0.696	<i>nevýznamná závislost</i>	
3. kampaň (11. 11. - 25. 11. 2016)	$y = -1.203\ln(d) + 29.57$	0.701	<i>nevýznamná závislost</i>	
4. kampaň (12. 1. - 26. 1. 2017)	$y = -2.733\ln(d) + 57.72$	0.842	$y = -0.67\ln(d) + 39.45$	0.962
celé období	$y = -1.427\ln(d) + 31.89$	0.866	$y = -0.274\ln(d) + 20.25$	0.825

V případě benzo[a]pyrenu lze nahlédnout, že po většinu roku nelze mluvit o jakémkoli gradientu. Oproti původnímu očekávání se ukazuje, že doprava je v měřené lokalitě jen minoritním zdrojem benzo[a]pyrenu. Pouze ve 4. kampani lze uvažovat o určitém gradientu BaP. Otázkou je, co je toho příčinou. I tento gradient je však statisticky nevýznamný.

Z důvodu slabší závislosti koncentrací na vzdálenosti od vozovky v případě znečišťujících látek PM a BaP ve srovnání s oxidy dusíku nebyla prováděna detailnější analýza s cílem příslušné rovnice zobecnit.

Literatura

Gilbert N. L., Woodhouse S., Stieb D. M., Brook J. R. (2003). Ambient nitrogen dioxide and distance from a major highway. The Science of the Total Environment 312, pp. 43–46.



ČESKÝ
HYDROMETEOROLOGICKÝ
ÚSTAV

PROJEKT DOPRAVA GRAFY SROVNÁNÍ KONCENTRACÍ

Stanice imisního monitoringu

Pro hodnocení byly využity následující stanice projektu doprava a státní sítě imisního monitoringu (SSIM):

Dopravní stanice (T)

hot spot projekt doprava – D0 Modletice

doprava projekt doprava – průměr stanic 30 m, 40 m a 60 m od dálnice D0 poblíž Modletic

Praha	průměr stanic SSIM ALEGA, ASMIA, AKALA, AVYNA
Brno	průměr stanic SSIM BBMSA, BBMVA, BBMZA, BBNVA
Ostrava	průměr stanic SSIM TOCBA, TONVA, TOPDA
Plzeň	průměr stanic SSIM PPLAA, PPLEA

Pozad'ové stanice (B)

obce projekt doprava – průměr Modletice, Dobřejovice, Herink

Praha	průměr stanic SSIM ALIBA, AKOBA
Brno	průměr stanic SSIM BBMLA, BBNYA
Ostrava	stanice SSIM TOROK
Plzeň	stanice SSIM PPLVA

Košetice stanice SSIM JKOSA – lokalita charakterizující nejméně znečištěné území ČR

V následujících grafech a tabulkách bude v případě lokalit Prahy, Brna, Ostravy a Plzně písmenko v závorce označovat typ stanice – dopravní stanice budou mít označení (T) a pozad'ové stanice (B).

Časový harmonogram jednotlivých měřicích kampaní projektu doprava byl stanoven takto:

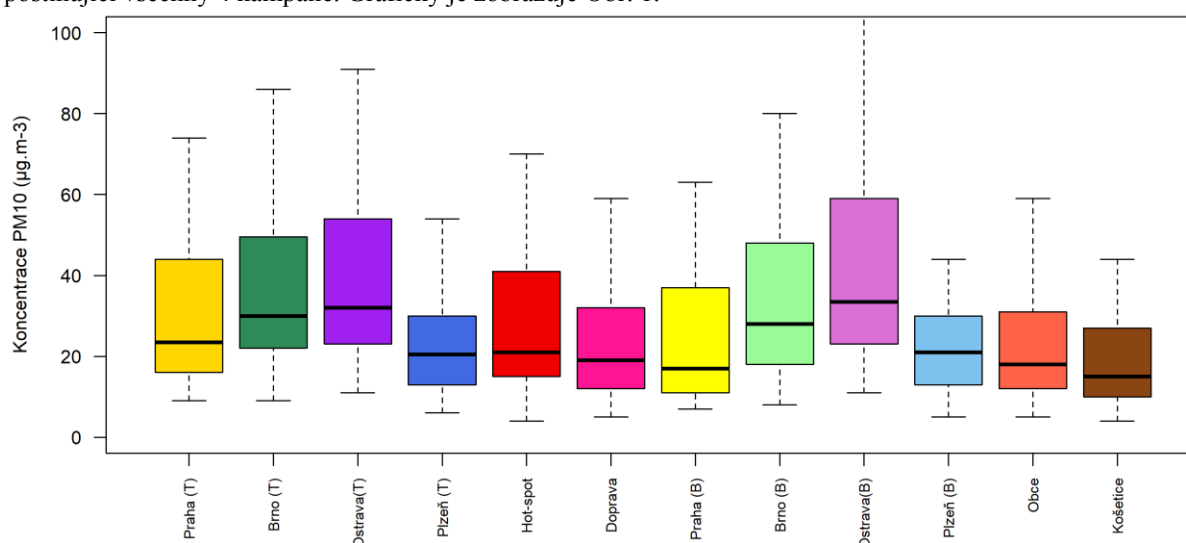
1. jarní kampaň 30. 3. - 13. 4. 2016
2. letní kampaň 15. 6. - 29. 6. 2016
3. podzimní kampaň 11. 11. - 25. 11. 2016
4. zimní kampaň 12. 1. - 26. 1. 2017

Pro níže uvedené srovnání byla i u ostatních stanic SSIM brána data za stejné období

Srovnání koncentrací PM₁₀ a PM_{2,5} je provedeno na základě průměrných 24hodinových koncentrací měřených jak v rámci projektu, tak v rámci pravidelného monitoringu SSIM. Stanice použité do hodnocení a průměrování dle oblastí uvádí první kapitola.

Koncentrace PM₁₀

Ze všech dat (80 dní) bylo připraveno základní statistické vyhodnocení naměřených koncentrací PM₁₀, postihující všechny 4 kampaně. Graficky je zobrazuje Obr. 1.



Obr. 1 – Statistické zpracování koncentrací PM₁₀ měřených během všech 4 kampaní projektu doprava, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)

Z grafu je patrné, že nižší hodnoty měří pozadové lokality (s výjimkou Ostravy), nejnižší medián pak byl naměřen v lokalitě Košetice (15 µg·m⁻³). Jen o něco málo vyšší medián byl zaznamenán na pražských pozadových lokalitách (17 µg·m⁻³) a **Obcích** v blízkosti dálnice D0 (18 µg·m⁻³). Lokalita **Hot-Spot** naměřila medián 24hodinových koncentrací PM₁₀ 21 µg·m⁻³, lokality **Doprava** naměřily medián 19 µg·m⁻³. Tyto hodnoty se koncentračně pohybují v rozmezí mezi pražskými pozadovými lokalitami a pražskými dopravními lokalitami (medián = 23,5 µg·m⁻³). Pouze plzeňské dopravní lokality mají obdobné hodnoty mediánu 24hodinových koncentrací PM₁₀ jako pozadové lokality. Výrazně vyšší medián 24hodinových koncentrací měří brněnské pozadové (28 µg·m⁻³) i dopravní lokality (30 µg·m⁻³), nejvyšší hodnoty jsou pak dosahovány na Ostravsku, přičemž pozadové lokality dosahují vyšších hodnot mediánu než dopravní. Více viz následující Tab. 1.

Z toho plyne, že doprava výrazně ovlivňuje koncentrace PM₁₀ v těsné blízkosti komunikace, kde se pravděpodobně kromě samotných emisí více prosazuje i resuspenze. S rostoucí vzdáleností koncentrace klesají, již po 30 m je znatelný pokles koncentrací. Obce vzdálené zhruba 500 m od dálnice D0 již měří koncentrace srovnatelné s městským pozadím Prahy.

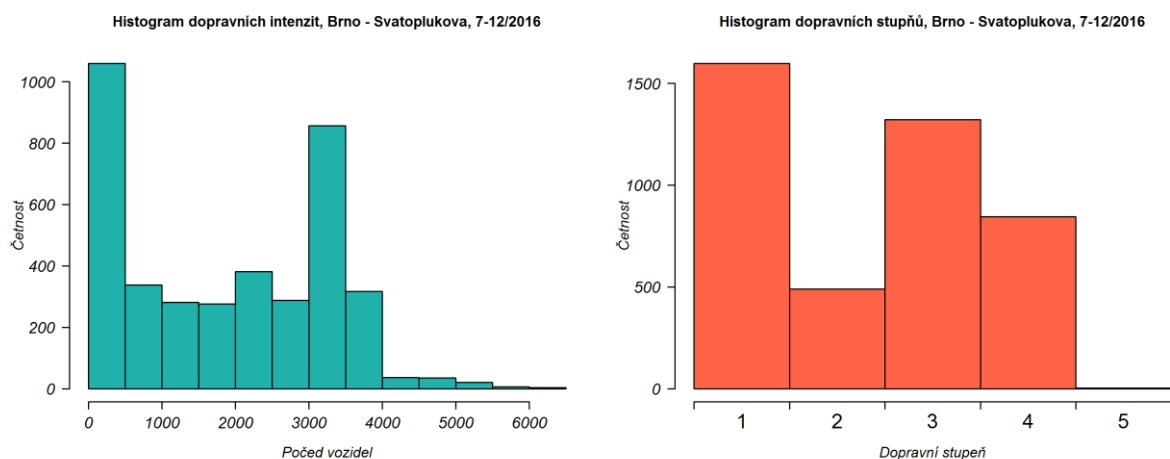
Tab. 1 - Statistické zpracování koncentrací PM₁₀ (µg·m⁻³) měřených během všech 4 kampaní projektu doprava

Praha (T)	Brno (T)	Ostrava (T)	Plzeň (T)	Hot spot	Doprava	Praha (B)	Brno (B)	Ostrava (B)	Plzeň (B)	Obce	Košetice

Počet	80	80	80	80	76	78	80	80	78	78	79	74
5. perc.	9	9	11	6	4	5	7	8	11	5	5	4
25. perc.	16	22	23	13	15	12	11	18	23	13	12	10
Medián	23,5	30	32	20,5	21	19	17	28	33,5	21	18	15
Průměr	35,4	36,9	39,8	30,4	33,4	27,4	29,8	34,5	46,1	31,4	25,6	20,9
75. perc.	44	49,5	54	30	41	32	37	48	59	30	31	27
95. perc.	74	86	91	54	70	59	63	80	113	44	59	44

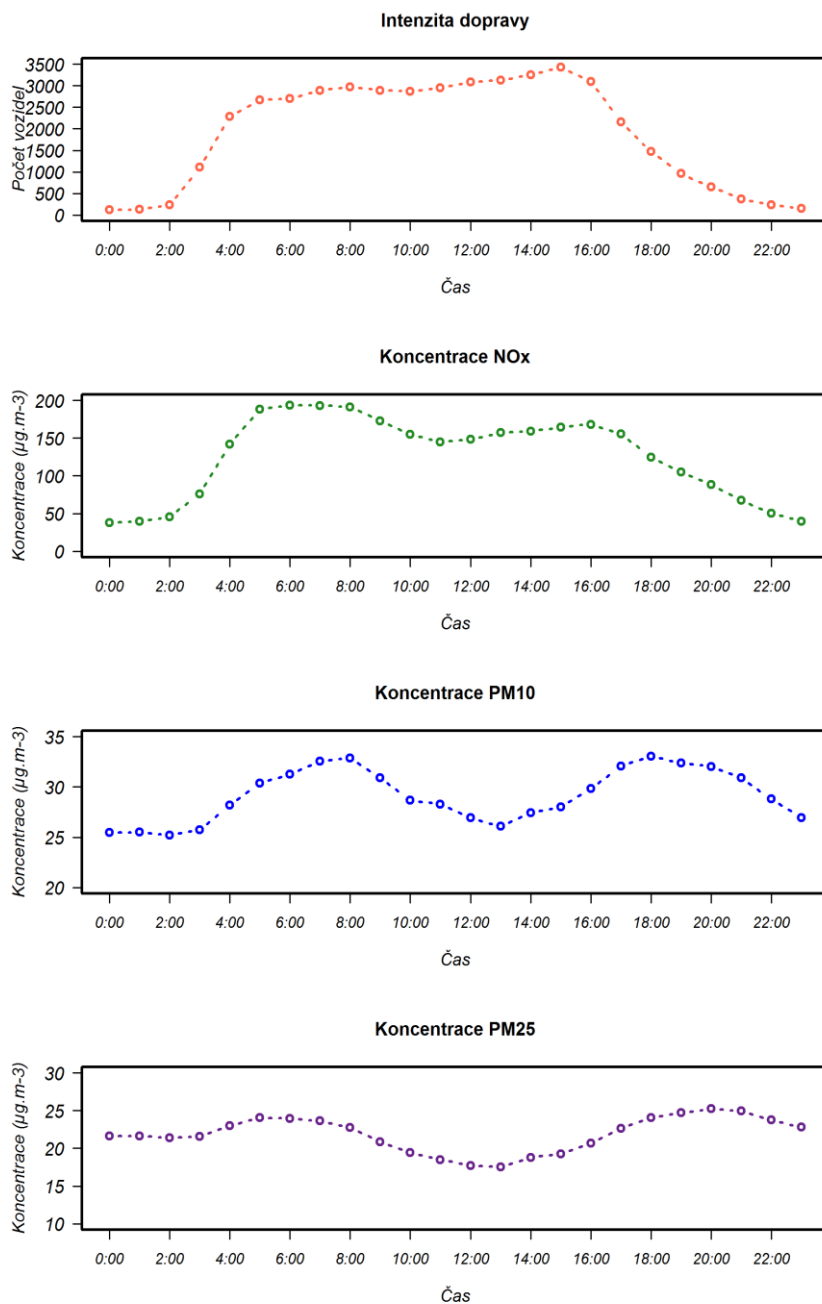
Z uvedeného také vyplývá, že v případě, že je doprava plynulá, nemusí nutně výrazněji navyšovat koncentrace PM_{10} v ovzduší proti pozadovým lokalitám. Naopak v městech, kde je plynulost omezena (křižovatky, kolony), jsou na dopravních lokalitách měřeny vyšší koncentrace PM_{10} , než na dálnici či pozadových lokalitách. Zvláštní situací je pak Ostravsko, kde jsou pozadové koncentrace natolik vysoké, že je doprava již nenavyšuje.

Pro dokreslení vlivu intenzity dopravy na koncentrace škodlivin byla využita data z brněnské stanice Brno – Svatoplukova (BBMSA), která do této studie vstupuje jako jedna z brněnských dopravních stanic. Ta leží v zastavěné oblasti (kaňon) v blízkosti velkého městského okruhu. Nedaleko je rovněž křižovatka, v dopravních špičkách jsou zde pravidelně kolony vozidel. Pro hodnocení byla použita data za červenec – prosinec 2016, vždy byla použita celková intenzita, tedy součet intenzit v obou směrech. Při hodnocení dle dopravních stupňů byl vždy použit vyšší z obou směrů. Histogram intenzity dopravy a výskytu dopravních stupňů zobrazuje Obr. 2.



Obr. 2 – Histogram dopravních intenzit a histogram četností dopravních stupňů, lokalita Brno – Svatoplukova, červenec – prosinec 2016

Z histogramu intenzity dopravy je patrné, že velmi často se vyskytují situace s počtem vozidel nižším než 500 (zejména v nočních hodinách) a dále s počtem vozidel v intervalu 3000 – 3500 (denní hodiny). Tato situace se tak odráží i v histogramu dopravních stupňů. Nejvyšší stupeň 5 se v této lokalitě téměř nevyskytuje, méně výskytů zaznamenává i stupeň č. 2. Stupeň 1 je častý v nočních hodinách, stupeň 3 a 4 v denních hodinách. Srovnání denního chodu intenzity dopravy a koncentrací NO_X , PM_{10} a $PM_{2,5}$ zobrazuje Obr. 3.



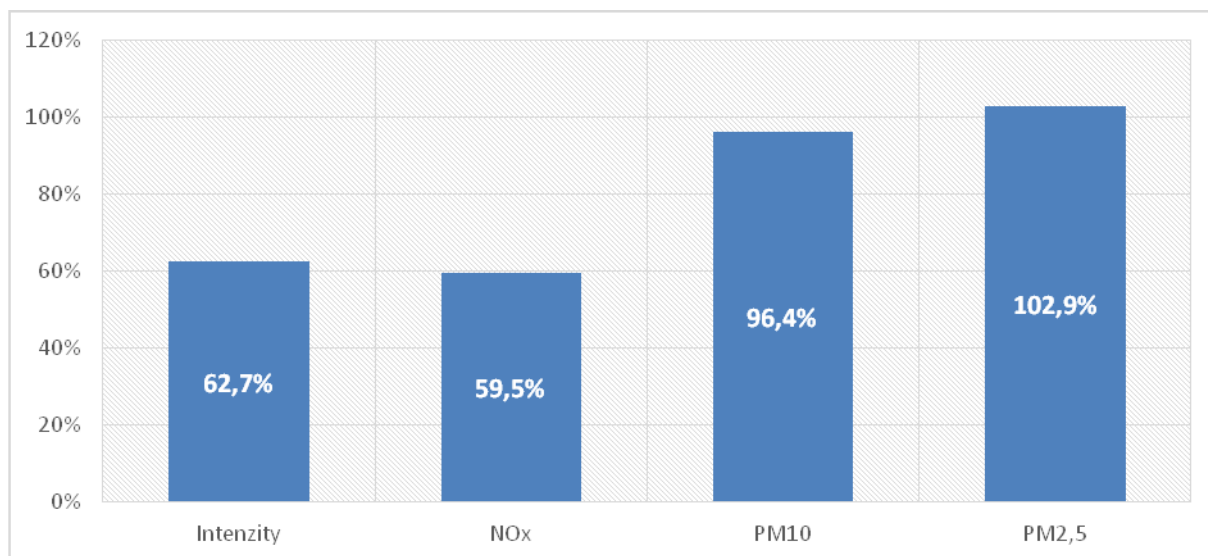
Obr. 3 – Průměrný denní chod intenzity dopravy, koncentrací NO_x, koncentrací PM₁₀ a koncentrací PM_{2,5}, Brno – Svatoplukova, červenec – prosinec 2016

Z Obr. 3 je zřetelný nárůst intenzity dopravy kolem 3. hodiny UTC. Z velmi nízkých intenzit v nočních hodinách (zhruba 100 – 400 vozidel za hodinu) narostou intenzity na hodnoty kolem 3000 vozidel za hodinu. Tento výrazný nárůst se odrazí ve velmi obdobném nárůstu koncentrací NO_x, které stoupnou z nočních hodnot do 50 μg·m⁻³ na denní hodnoty blízké se 200 μg·m⁻³.

V případě koncentrací PM₁₀ nedochází k tak zřetelnému nárůstu koncentrací, jako v případě NO_x. K růstu začne docházet ve stejném čase jako intenzita dopravy či koncentrace NO_x, růst však není tak razantní, je pouze postupný a k nejvyšší koncentraci dochází později než v případě NO_x. Poté dochází v případě PM₁₀ na koncentrace podobné nočním hodinám, a to až do cca 13. hodiny UTC. Pak dochází k opětovnému růstu koncentrací, odpolední špička je na rozdíl od koncentrací NO_x hodnotově shodná s tou ranní a opět je posunuta do pozdějších hodin. Tento posuv může souviset se setrváním částic v ovzduší a postupné kumulace vlivem resuspenze, v odpoledních a večerních hodinách se v topné sezóně může na koncentracích podílet i sektor vytápění.

V případě jemnější frakce suspendovaných částic $PM_{2,5}$ je situace ještě odlišnější. Ranní nárůst koncentrací je pouze minimální (z $22 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v 2:00 UTC na $24 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v 5:00 UTC). Poté dojde k výraznějšímu poklesu koncentrací na hodnoty nižší, než jsou noční hodnoty ($17,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v 13:00 UTC). Poté dochází opět k postupnému růstu koncentrací až ke kulminaci v 20:00 UTC ($25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Z uvedeného vyplývá, že koncentrace $PM_{2,5}$ nejsou dopravou tolik ovlivněny. Souvisí to i s emisní bilancí – koncentrace PM_{10} významněji ovlivňují otěry a abraze, v případě $PM_{2,5}$ jsou podstatnější exhalace. Jemnější částice jsou rovněž lépe transportovány na delší vzdálenosti, plošný vliv lokálních topenišť tak může jemnými částicemi výrazně ovlivňovat i tuto dopravní lokalitu tak, že nejvyšší koncentrace jsou měřeny ve večerních a nočních hodinách. Svůj vliv mohou mít i meteorologické podmínky – přes den zpravidla panují lepší rozptylové podmínky, což může být zásadní moment v poklesu koncentrací $PM_{2,5}$ v denních hodinách. V případě vyšší otevřenosti lokality (pokud by nebyla umístěna v kaňonu zástavby) lze očekávat, že by koncentrace zejména $PM_{2,5}$ mohly být nižší díky lepšímu rozptylu.

Následující Obr. 4 znázorňuje víkendové charakteristiky relativně vztažené k hodnotám dosaženým v pracovních dnech (100 %). Z grafu je patrné, že pokles v intenzitách dopravy přibližně odpovídá poklesu koncentrací NO_x . Jak intenzity dopravy, tak koncentrace NO_x poklesly o víkendu na zhruba 60 % hodnot v pracovní dny. Avšak koncentrace PM_{10} při poklesu dopravy na 60 % klesly pouze nepatrně, koncentrace $PM_{2,5}$ se prakticky nezměnily. Na této situaci se zřejmě podílí fakt, že na koncentracích PM_{10} se významně podílí i další zdroje a velkou část tvoří regionální pozadí. Vliv dopravy se na koncentracích odráží v menší míře, pouze je lokálně navyšuje. Ani výrazný pokles intenzity dopravy se tedy významně neodrazí v koncentracích PM.



Obr. 4 – Relativní vztah intenzity dopravy a koncentrací NO_x , PM_{10} a $PM_{2,5}$ o víkendu k pracovním dnům (100 %)

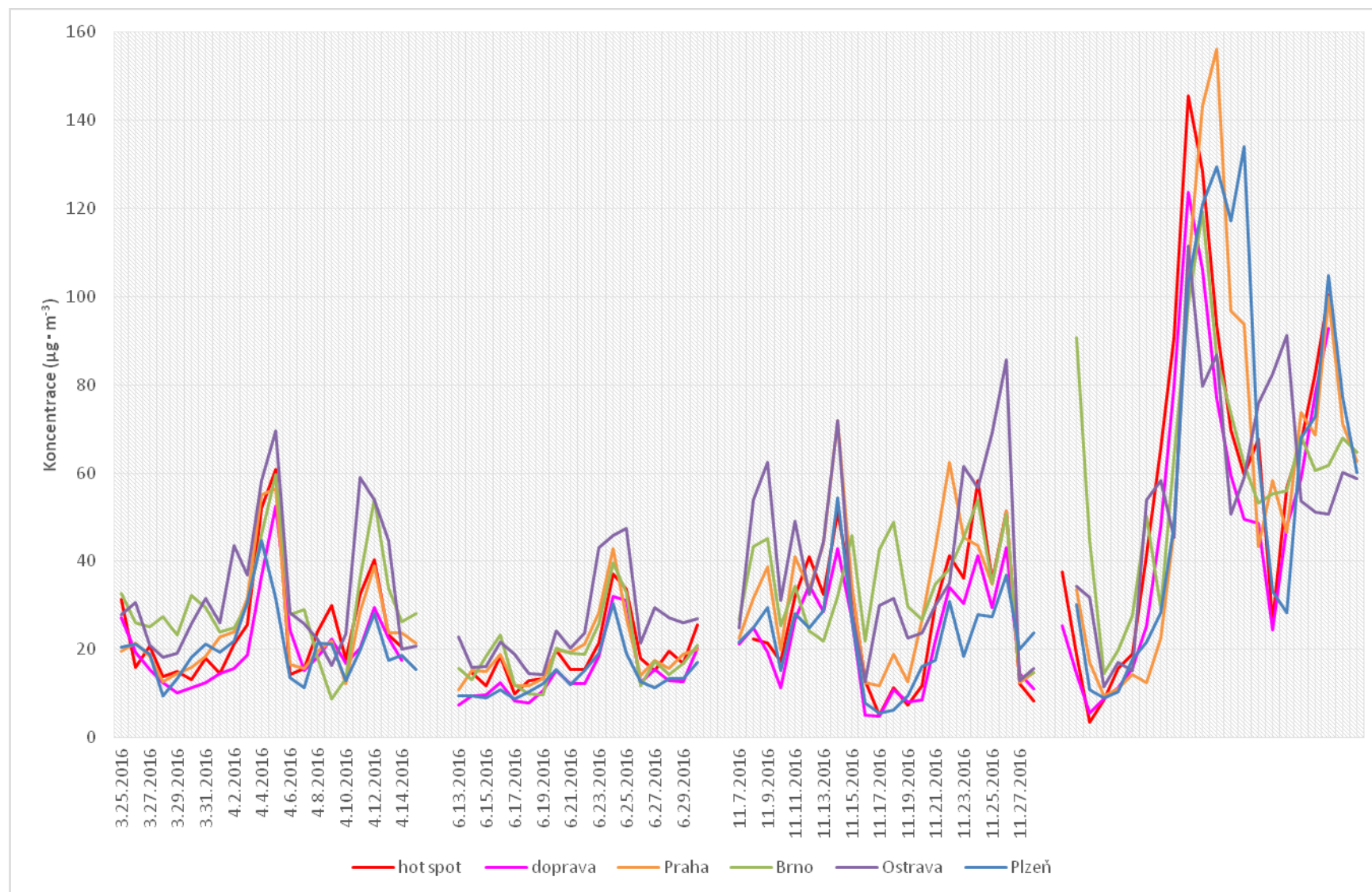
Graf na následujících Obr. 5 a Obr. 6 zobrazuje vývoj průměrných 24hodinových koncentrací PM_{10} během jednotlivých kampaní. Z grafů je zřetelný obdobný vývoj koncentrací na všech lokalitách, rozhodující vliv na vývoj koncentrací mají zejména meteorologické podmínky. Jejich vliv velmi dobře dokumentuje čtvrtá „zimní“ kampaň v lednu 2017, kdy v celé ČR panovaly nepříznivé rozptylové podmínky a ty se odrazily ve vysokých koncentracích PM_{10} a $PM_{2,5}$. Zhruba v polovině čtvrté kampaně byly měřeny nejvyšší koncentrace na všech lokalitách. V denním průměru byly i na pozadových lokalitách měřeny koncentrace vyšší než $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ve většině regionů byla vyhlášena smogová situace. Již ze srovnání měřítek obou grafů vyplývá, že nejvyšší koncentrace měřily v tomto období pozadové lokality. Nejméně zatížená byla lokalita Košetice.

V ostatních kampaních nedošlo k tak výraznému ovlivnění koncentrací PM_{10} meteorologickými podmínkami. Koncentrace jsou podstatně nižší, nejvyšších hodnot dosahují ostravské lokality. Lokality v blízkosti D0 patří ke stanicím měřícím nejnižší koncentrace PM_{10} .

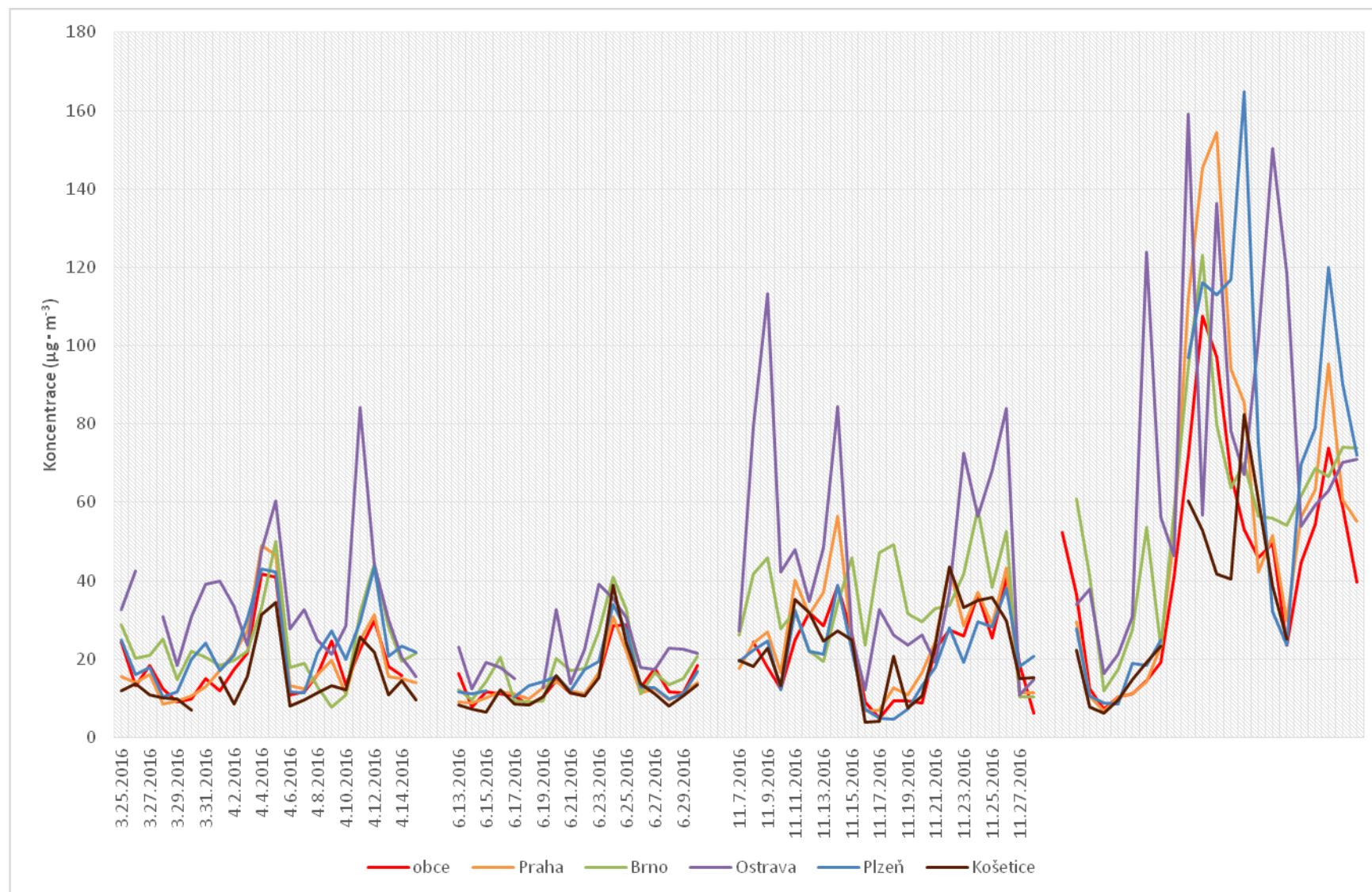
Trendům na stanicích hot spot a doprava se nejvíce podobají trendy stanic Prahy a o něco méně Plzně.

Statistické zhodnocení všech lokalit dle jednotlivých kampaní pak zobrazuje Obr. 7. V prvních třech kampaních jsou patrné nejvyšší hodnoty na ostravských lokalitách. Během čtvrté kampaně se zhoršenými rozptylovými podmínkami se ostravským lokalitám vyrovnají i pražské či plzeňské lokality. Během této čtvrté kampaně měřily **Hot-spot** a **Dopravní** lokality v blízkosti D0 srovnatelné koncentrace, jako pozadové pražské stanice. Lokality v **Obcích** poblíž D0 ještě mírně nižší. Nejnižších hodnot pak dosahovala lokalita Košetice. Medián koncentrací

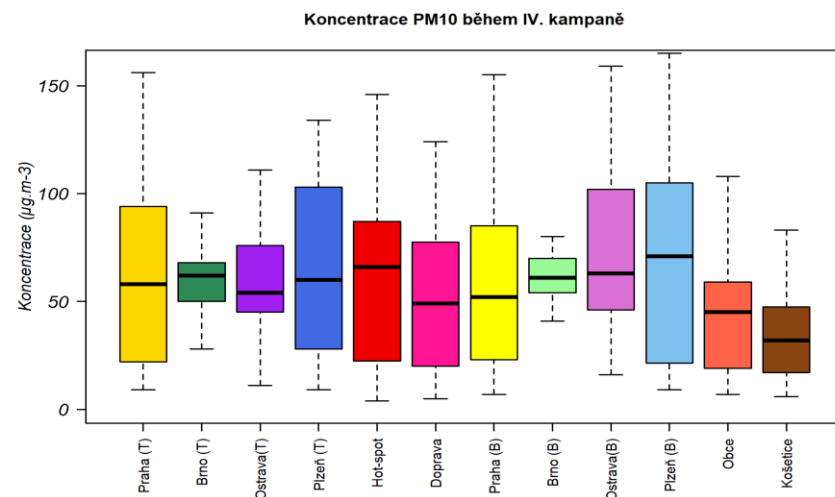
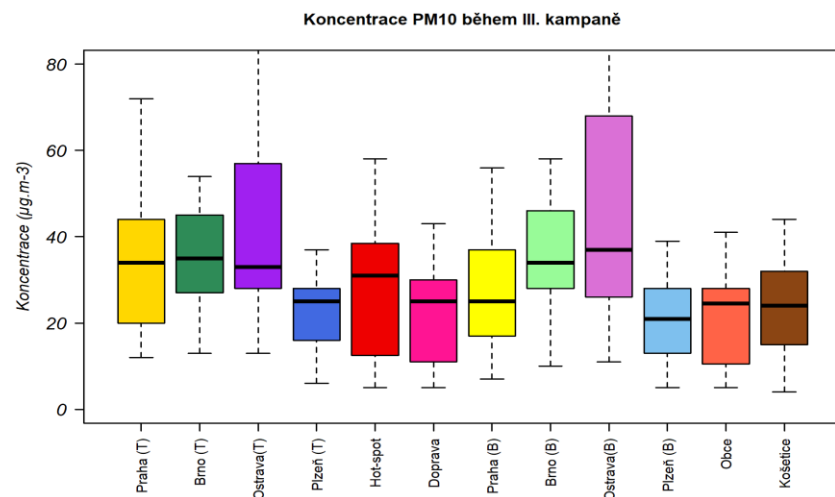
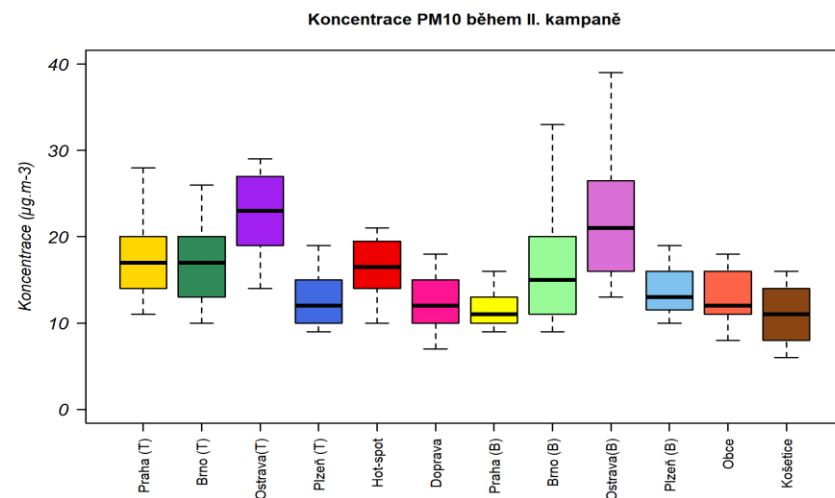
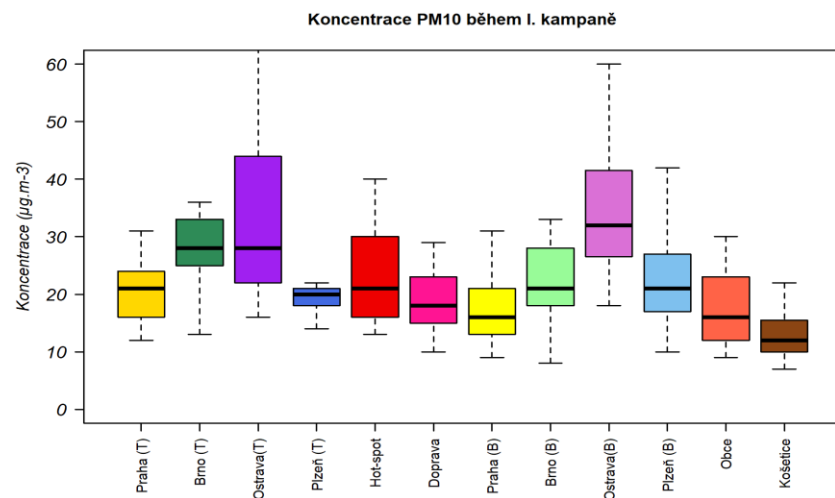
v lokalitě **Hot-spot** je vždy mírně vyšší než v lokalitách **Doprava**, obdobně je tomu i v případě 75. a 95. percentilu. Již při 30 – 60 m od komunikace tak klesají všechny statistické ukazatele koncentrací PM_{10} . Celkově nejnížší koncentrace byly měřeny v druhé „letní“ epizodě. Medián 24hodinových koncentrací PM_{10} na stanici **Hot-spot** ($11 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byl spolu s pražskými pozadovými lokalitami a Košeticemi nejnížší ze všech lokalit. Jen mírně vyšší hodnotu měřily **Obce** v blízkosti D0 ($12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a lokality **Doprava** v blízkosti D0 ($14 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Výrazněji se svými hodnotami liší pouze ostravské lokality.



Obr. 5 – Vývoj průměrných 24hodinových koncentrací PM_{10} na dopravních lokalitách v rámci 4 kampaní projektu Doprava



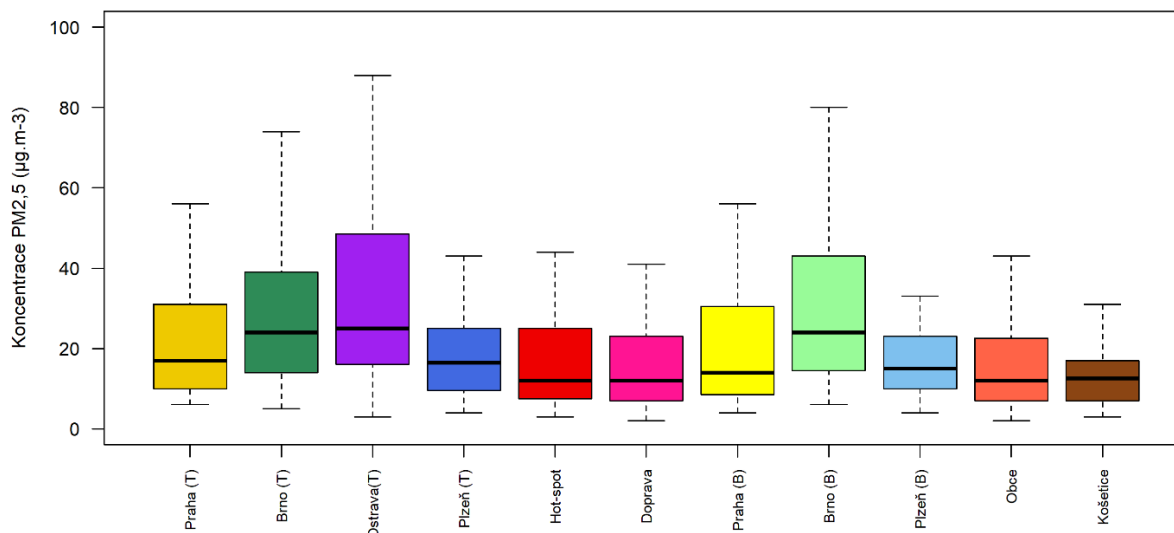
Obr. 6 - Vývoj průměrných 24hodinových koncentrací PM₁₀ na pozadových lokalitách v rámci 4 kampaní projektu Doprava



Obr. 7 - Statistické zpracování koncentrací PM₁₀ měřených během jednotlivých kampaní projektu doprava, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 95%)

Koncentrace $PM_{2,5}$

Ze všech dat (80 dní) bylo připraveno základní statistické vyhodnocení naměřených koncentrací $PM_{2,5}$, postihující všechny 4 kampaně. Graficky je zobrazuje Obr. 8.



Obr. 8 – Statistické zpracování koncentrací $PM_{2,5}$ měřených během všech 4 kampaní projektu doprava, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)

Z grafu je patrné, že nižší hodnoty měří pozadové lokality, vyšší koncentrace měří pozadové lokality v Brně, ostravské pozadové stanice nejsou ve vyhodnocení zastoupeny. Nejnižší medián průměrných 24hodinových koncentrací $PM_{2,5}$ ($12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byl naměřen v lokalitách **Hot-spot**, **Doprava** a **Obce**. Jen o něco málo vyšší medián naměřila lokalita Košetice ($12,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a také pozadové lokality Prahy ($14 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Tab. 2 - Statistické zpracování koncentrací $PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) měřených během všech 4 kampaní projektu doprava

	Praha (T)	Brno (T)	Ostrava (T)	Plzeň (T)	Hot spot	Doprava	Praha (B)	Brno (B)	Plzeň (B)	Obce	Košetice
Počet	80	80	80	80	60	60	80	80	78	60	74
5. perc.	6	5	3	4	3	2	4	6	4	2	3
25. perc.	10	14	16	9,5	7,5	7	8,5	14,5	10	7	7
Medián	17	24	25	16,5	12	12	14	24	15	12	12,5
Průměr	27	28	35	24	20	19	24	29	23	19	14
75. perc.	31	39	48,5	25	25	23	30,5	43	23	22,5	17
95. perc.	56	74	88	43	44	41	56	80	33	43	31

Nejvyšší hodnoty byly během kampaní měřeny na ostravských dopravních lokalitách, avšak medián jejich koncentrací ($25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) je téměř totožný s brněnskými dopravními i pozadovými lokalitami ($24 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Více viz Tab. 2.

Z uvedeného vyplývá, že koncentrace $PM_{2,5}$ jsou ještě méně ovlivněny dopravou a v rámci blízkého okolí jsou homogenní. Vyplývá to jak ze stanic měřících v blízkosti D0 a pražských pozadových lokalit, tak z brněnských či plzeňských stanic, kde jsou rozdíly mezi dopravními a pozadovými lokalitami z hlediska mediánu 24hodinových koncentrací pouze minimální. Dopravní lokality dosahují vyšších hodnot v rámci 95. percentilu.

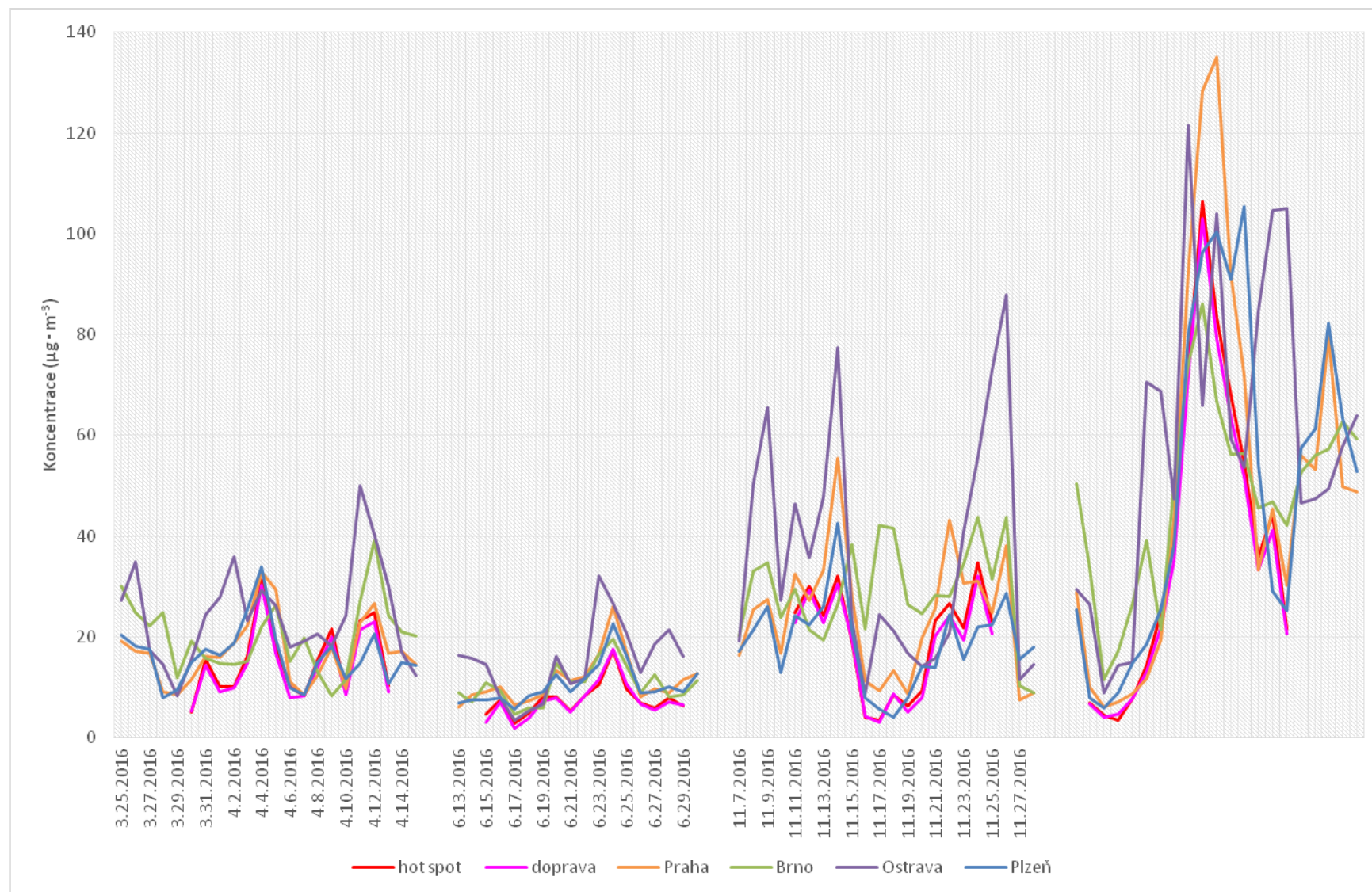
Toto platí pro hmotnostní koncentraci, která je sledována legislativou. Z pohledu počtu částic, zejména těch ultra jemných, by pravděpodobně lokalita **Hot-Spot** měřila mnohem vyšší hodnoty než lokality **Doprava**, popř. **Obce**. Tyto ultra jemné částice však mají velmi nízkou hmotnost a v hmotnostní koncentraci se tedy téměř neprojeví. Graf na následujících Obr. 9 a Obr. 10 zobrazuje vývoj průměrných 24hodinových koncentrací $PM_{2,5}$ během jednotlivých kampaní. Z grafů je zřetelný obdobný vývoj koncentrací na všech lokalitách, rozhodující vliv na vývoj koncentrací mají zejména meteorologické podmínky. Jejich vliv velmi dobře dokumentuje čtvrtá „zimní“ kampaň v lednu 2017, kdy v celé ČR panovaly nepříznivé rozptylové podmínky a ty se odrazily ve vysokých koncentracích PM_{10} a $PM_{2,5}$. Zhruba v polovině čtvrté kampaně byly měřeny nejvyšší koncentrace na všech lokalitách. V denním průměru byly i na pozadových lokalitách měřeny koncentrace vyšší než $100 \mu g \cdot m^{-3}$, ve většině regionů byla vyhlášena smogová situace pro suspendované částice PM_{10} . Během této epizody měřily vyšší koncentrace dopravní lokality, zejména pak pražské (včetně lokalit v blízkosti D0) a plzeňské. Obdobně i pozadové lokality Prahy a Plzně dosahovaly nejvyšších koncentrací, obce v blízkosti D0 měřily obdobné hodnoty jako brněnské pozadové lokality. Nejméně zatížená byla lokalita Košetice.

V ostatních kampaních nedošlo k tak výraznému ovlivnění koncentrací $PM_{2,5}$ meteorologickými podmínkami. Koncentrace jsou výrazně nižší zejména na pozadových lokalitách, nejvyšších hodnot dosahují ostravské lokality. Lokality v blízkosti D0 patří ke stanicím měřícím nejnižší koncentrace $PM_{2,5}$.

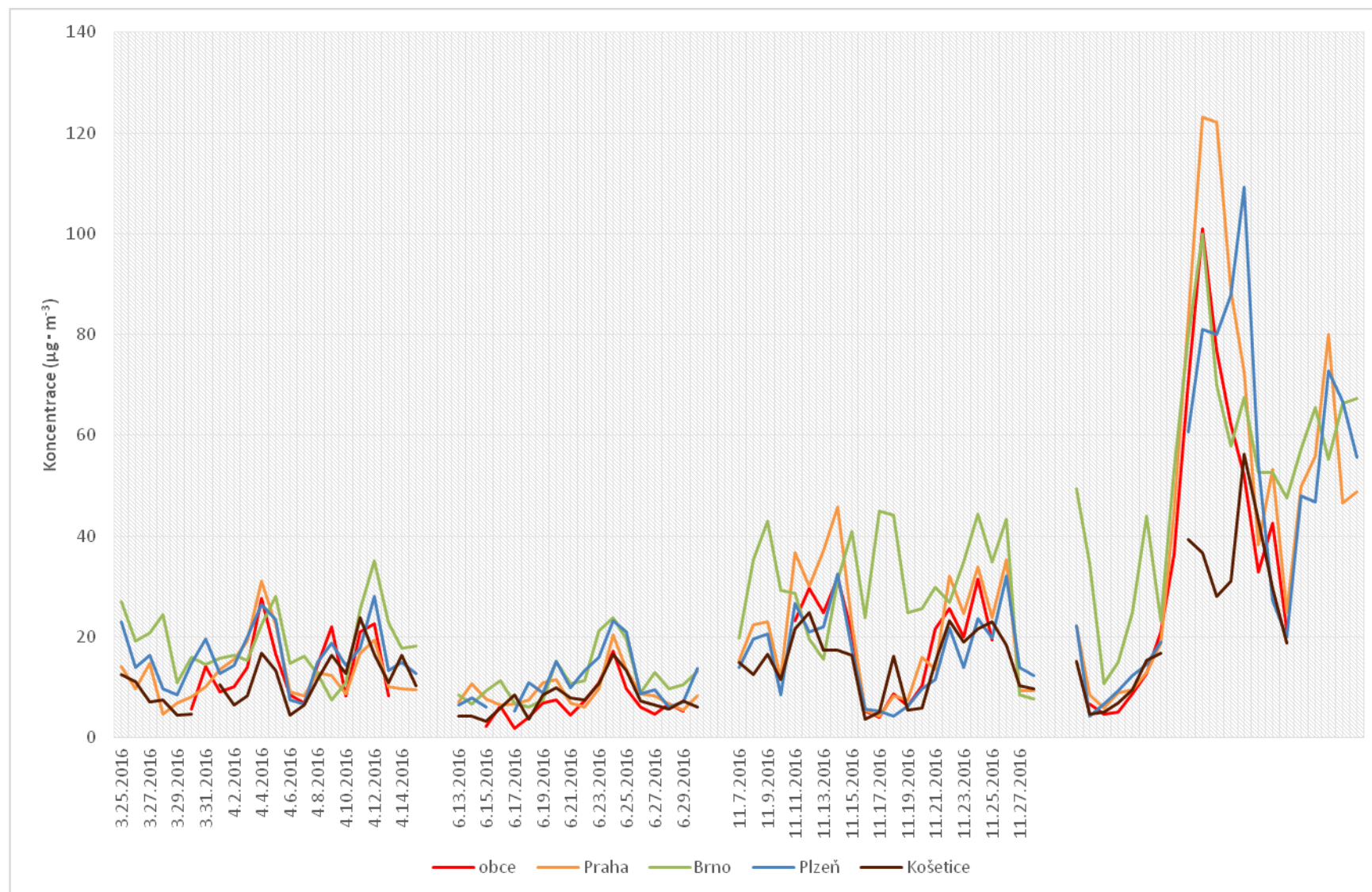
Trendům na stanicích hot spot a doprava se nejvíce podobají trendy stanic Prahy a o něco méně Plzně. Statistické zhodnocení všech lokalit dle jednotlivých kampaní pak zobrazuje Obr. 11. V prvních třech kampaních jsou patrné nejvyšší hodnoty na ostravských lokalitách, v první a třetí kampani jim sekundují brněnské lokality. Během čtvrté kampaně se zhoršenými rozptylovými podmínkami se ostravským lokalitám vyrovnají i pražské či plzeňské lokality. Během této čtvrté kampaně měřily

Hot-spot, **Dopravní** lokality v blízkosti D0 i **Obce** v blízkosti D0 nižší koncentrace než pozadové pražské stanice. Nejnižších hodnot pak dosahovala lokalita Košetice.

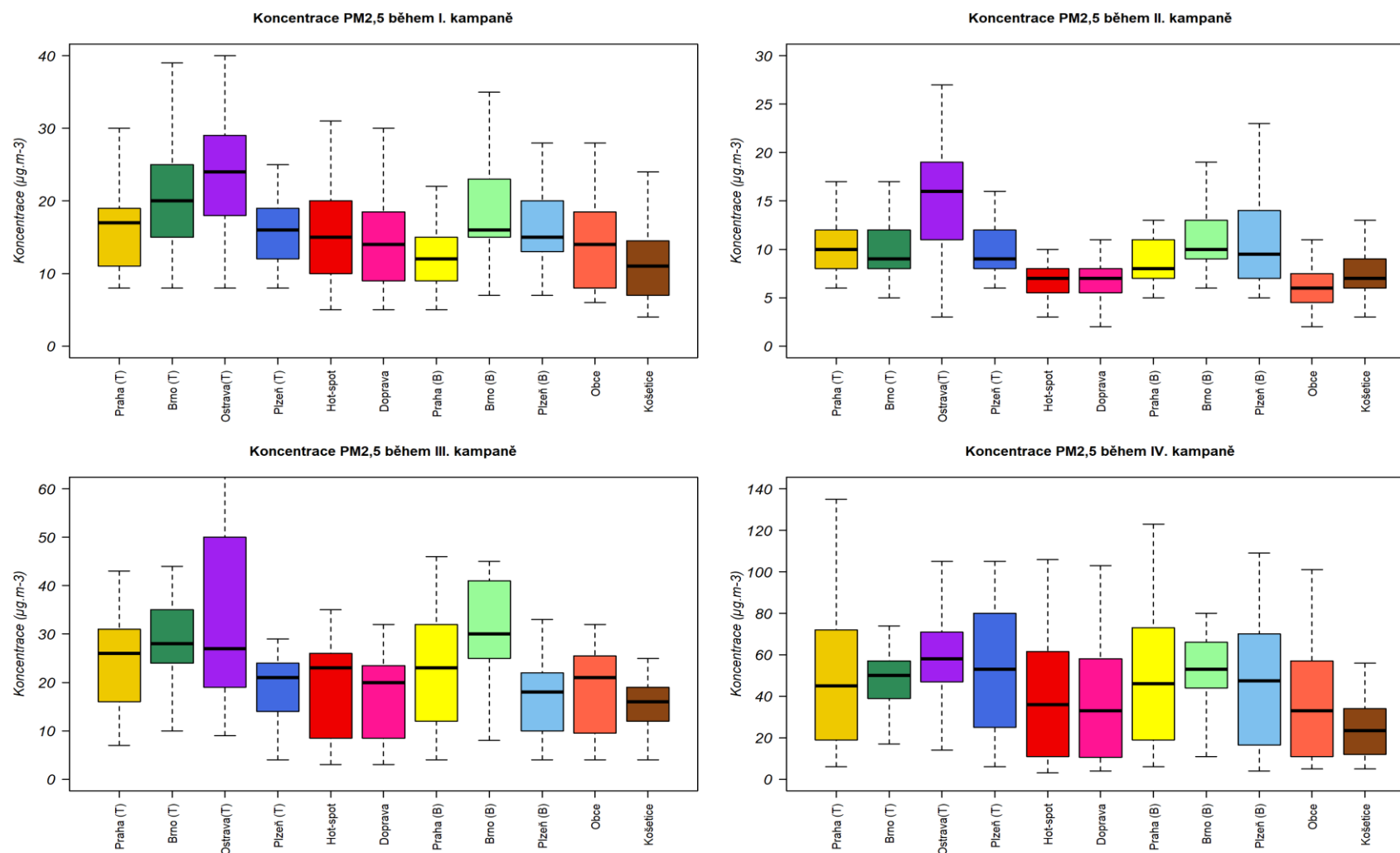
Celkově nejnižší koncentrace byly měřeny v druhé „letní“ epizodě. Medián 24hodinových koncentrací $PM_{2,5}$ na stanicích **Obce** ($6 \mu g \cdot m^{-3}$) byl nejnižší z měřených lokalit, jen mírně vyšší hodnotu ($7 \mu g \cdot m^{-3}$) pak naměřily lokality **Hot-spot**, **Doprava** a Košetice. Pražské, brněnské a plzeňské dopravní lokality měly během druhé kampaně téměř totožné všechny statistické charakteristiky. Na brněnských a plzeňských pozadových lokalitách jsou pak měřeny vyšší koncentrace než na dopravních lokalitách. Výrazněji se svými hodnotami liší pouze ostravské lokality.



Obr. 9 – Vývoj průměrných 24hodinových koncentrací $PM_{2.5}$ na dopravních lokalitách v rámci 4 kampaní projektu Doprava



Obr. 10 - Vývoj průměrných 24hodinových koncentrací $PM_{2.5}$ na pozadových lokalitách v rámci 4 kampaní projektu Doprava



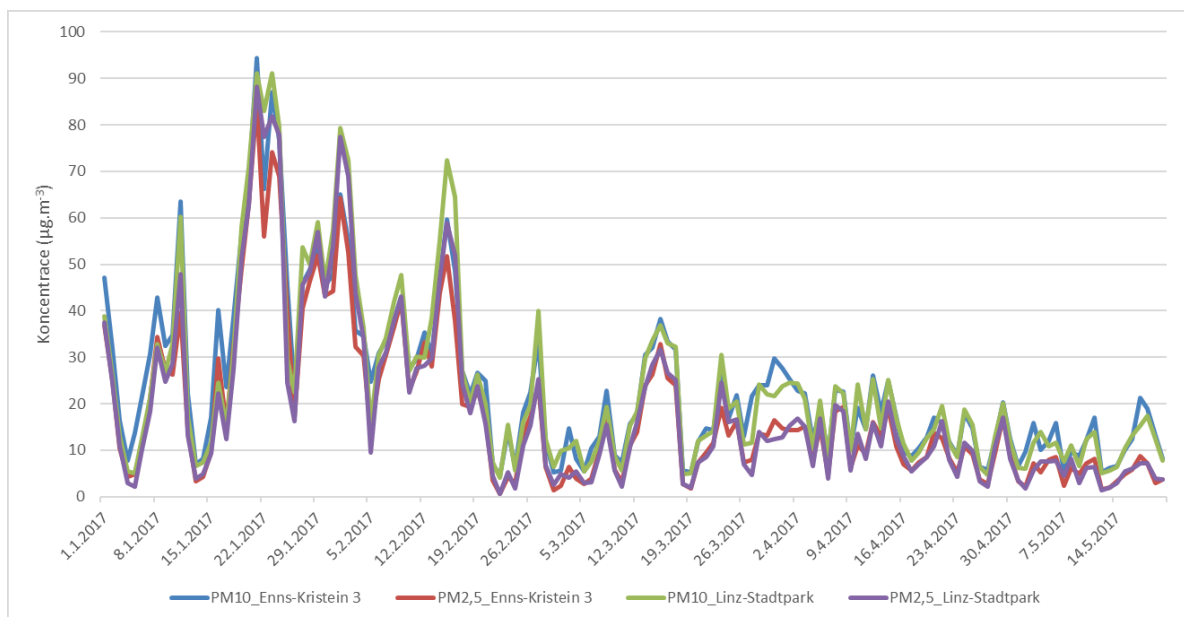
Obr. 11 - Statistické zpracování koncentrací PM_{2,5} měřených během jednotlivých kampaní projektu doprava, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)

Měření v blízkosti rakouské dálnice A1

V současnosti je možné na stránkách ČHMÚ sledovat i některé vybrané zahraniční stanice, z nichž za zmínku stojí hornorakouská stanice Enns-Kristein 3. Ta leží v těsné blízkosti rakouské dálnice A1 nedaleko Lince, v blízkosti dálničního sjezdu (Obr. 12). Hodnoty koncentrací škodlivin je možné srovnat s hodnotami městských pozadových lokalit v cca 15 km vzdáleném Linci (např. Linz-Stadtpark). Hodinově jsou online dostupná data na portálu ČHMÚ, přehled 24hodinových koncentrací PM_{10} , $PM_{2,5}$ a NO_2 uvádí Obr. 13 a Obr. 14. Z grafu na Obr. 13 je patrné, že koncentrace PM_{10} a $PM_{2,5}$ jsou na obou lokalitách téměř shodné a situace v blízkosti velmi rušné dálnice **s plynulým provozem** se téměř od pozadových koncentrací v Linci neliší. Rovněž v Rakousku, stejně jako v Jihomoravském kraji, je patrná epizoda zvýšených koncentrací začátkem roku 2017, koncentrace však byly také na obou lokalitách totožné.

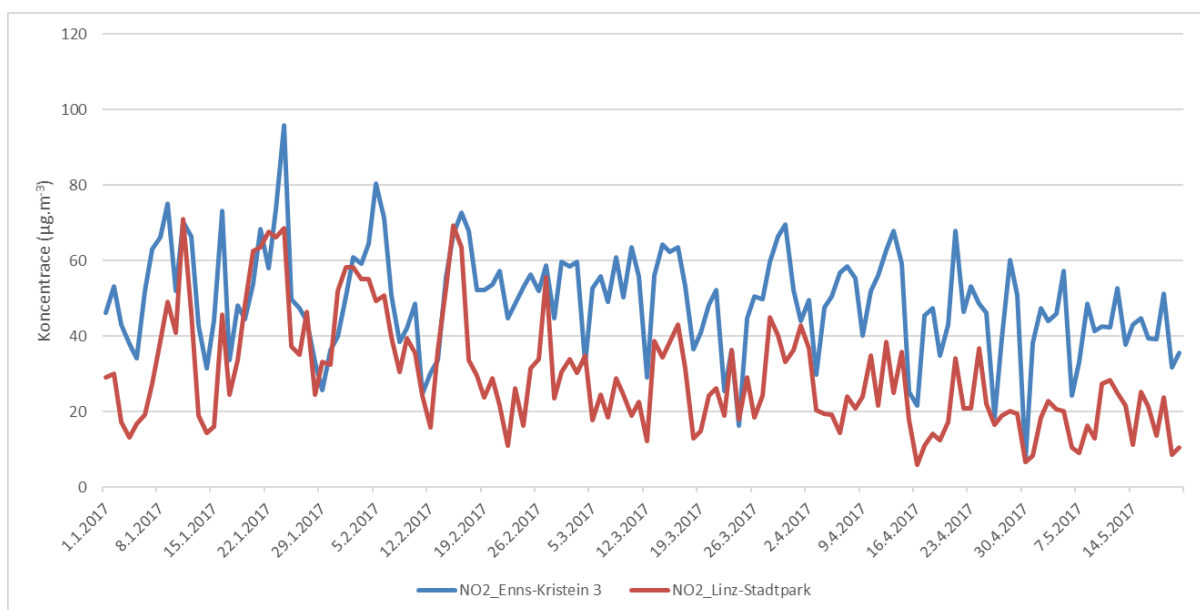


Obr. 12 – Dálniční stanice Enns-Kristein 3 nedaleko Linze, Hornorakousko



Obr. 13 – Srovnání koncentrací PM₁₀ a PM_{2,5} na dopravní stanici v blízkosti dálnice A1 Enns-Kristein 3 a městskou pozadovou lokalitou Linz-Stadtpark, 1. 1. 2017 – 20. 5. 2017

Naproti tomu v případě koncentrací NO₂, které jsou výrazně spjaty s dopravou (exhalacemi), jsou již patrné vyšší koncentrace na dálniční stanici.

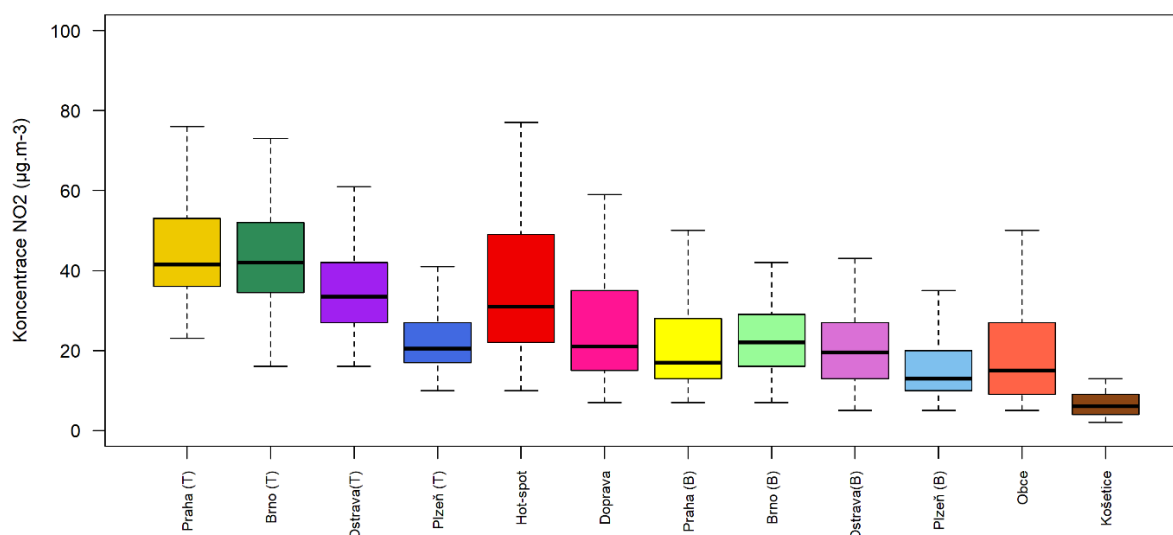


Obr. 14 – Srovnání koncentrací NO₂ na dopravní stanici v blízkosti dálnice A1 Enns-Kristein 3 a městskou pozadovou lokalitou Linz-Stadtpark, 1. 1. 2017 – 20. 5. 2017

Oxid dusičitý NO₂

Srovnání koncentrací NO₂ je provedeno na základě průměrných 24hodinových koncentrací měřených jak v rámci projektu, tak v rámci pravidelného monitoringu SSIM. Stanice použité do hodnocení a průměrování dle oblastí uvádí první kapitola. Ze všech dat (80 dní) bylo připraveno základní statistické vyhodnocení naměřených koncentrací NO₂, postihující všechny 4 kampaně. Graficky je zobrazuje

Obr. 15.



Obr. 15 – Statistické zpracování koncentrací NO₂ měřených během všech 4 kampaní projektu doprava, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)

Graf na Obr. 15 se liší od totožného zpracování koncentrací PM₁₀ a PM_{2,5}. V případě NO₂ hraje významnou roli intenzita dopravy a otevřenost lokality. Nejvyšší koncentrace jsou tak měřeny na pražských a brněnských dopravních lokalitách, kde jsou nejvyšší hodnoty měřeny u lokalit uzavřených zástavbou do „kaňonu“ (Praha – Legerova, Brno – Svatoplukova, Brno – Úvoz). Tyto lokality měří dlouhodobě nejvyšší koncentrace NO₂ (viz. ročenky ČHMÚ). Mírně nižší koncentrace NO₂ měří ostravská dopravní lokalita. Pokud je však dopravní lokalita v dostatečně provětrávaném a otevřeném prostoru, jsou koncentrace NO₂ i přes totožné dopravní intenzity nižší. Tato skutečnost se projevila i v případě lokalit **Hot-spot** a **Doprava** v blízkosti D0. Medián 24hodinových koncentrací NO₂ v lokalitě **Hot-Spot** (31 µg·m⁻³) má hodnotu zhruba 75 % hodnoty mediánu měřeného na pražských a brněnských dopravních stanicích, hodnota mediánu v lokalitách **Doprava** (21 µg·m⁻³) je téměř poloviční, než v případě pražských či brněnských dopravních lokalit (41,5 resp. 42 µg·m⁻³). Tyto hodnoty jsou srovnatelné s brněnskými pozadovými lokalitami (medián = 22 µg·m⁻³). Hodnota mediánu měřená na pražských pozadových lokalitách je 17 µg·m⁻³, v **Obcích** v blízkosti D0 jsou koncentrace NO₂ ještě nižší, medián 24hodinových koncentrací má hodnotu 15 µg·m⁻³. Nejnižší koncentrace jsou pak měřeny v lokalitě Košetice, medián koncentrací má hodnotu 6 µg·m⁻³ (Tab. 3). Nutno však dodat, že 75. i 95. percentil lokality **Hot-spot** je již srovnatelný s hodnotami měřeními na dopravních lokalitách v Praze a Brně. Tyto vysoké hodnoty byly měřeny během čtvrté kampaně, kdy panovaly špatné rozptylové podmínky a ke zhoršenému rozptylu tak docházelo i v otevřeném prostoru podobně jako v kaňonu zástavby.

Z uvedeného vyplývá, že v případě, že je doprava plynulá mimo zástavbu v dostatečně otevřeném a provětrávaném terénu, nemusí nutně výrazněji navyšovat koncentrace NO₂ v ovzduší proti pozadovým lokalitám. Naopak v městech, kde je doprava svedena do kaňonů tvořených zástavbou, jsou na dopravních lokalitách měřeny vyšší koncentrace NO₂, než na dálnici či pozadových lokalitách.

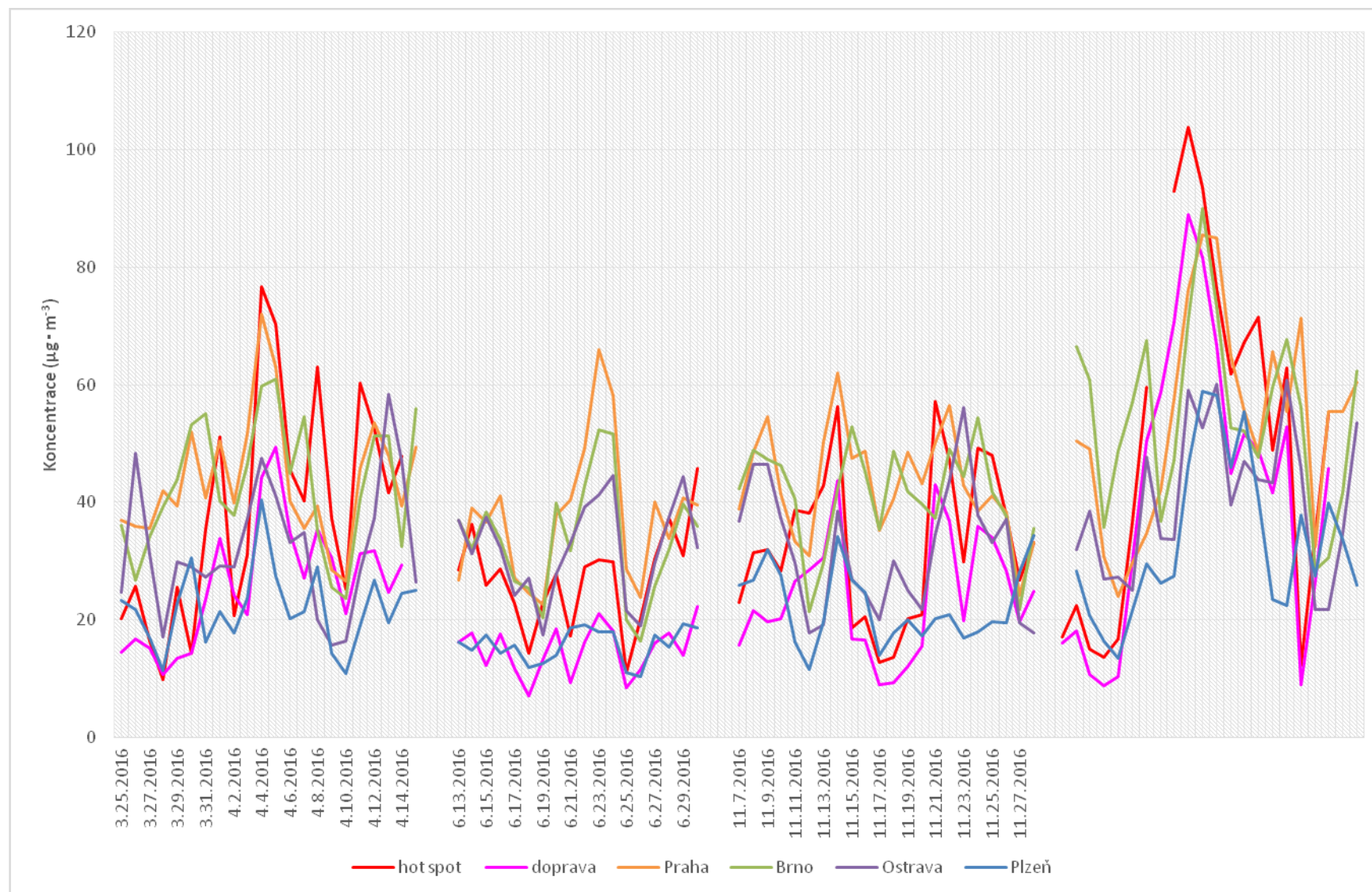
Tab. 3 - Statistické zpracování koncentrací NO₂ (µg·m⁻³) měřených během všech 4 kampaní projektu doprava

	Praha (T)	Brno (T)	Ostrava (T)	Plzeň (T)	Hot spot	Doprava	Praha (B)	Brno (B)	Ostrava (B)	Plzeň (B)	Obce	Košetice
Počet	80	80	80	80	77	78	80	80	78	78	80	73
5. perc.	23	16	16	10	10	7	7	7	5	5	5	2
25. perc.	36	34,5	27	17	22	15	13	16	13	10	9	4
Medián	41,5	42	33,5	20,5	31	21	17	22	19,5	13	15	6
Průměr	45	44	34	24	38	27	23	24	21	16	20	7
75. perc.	53	52	42	27	49	35	28	29	27	20	27	9
95. perc.	76	73	61	41	77	59	50	42	43	35	50	13

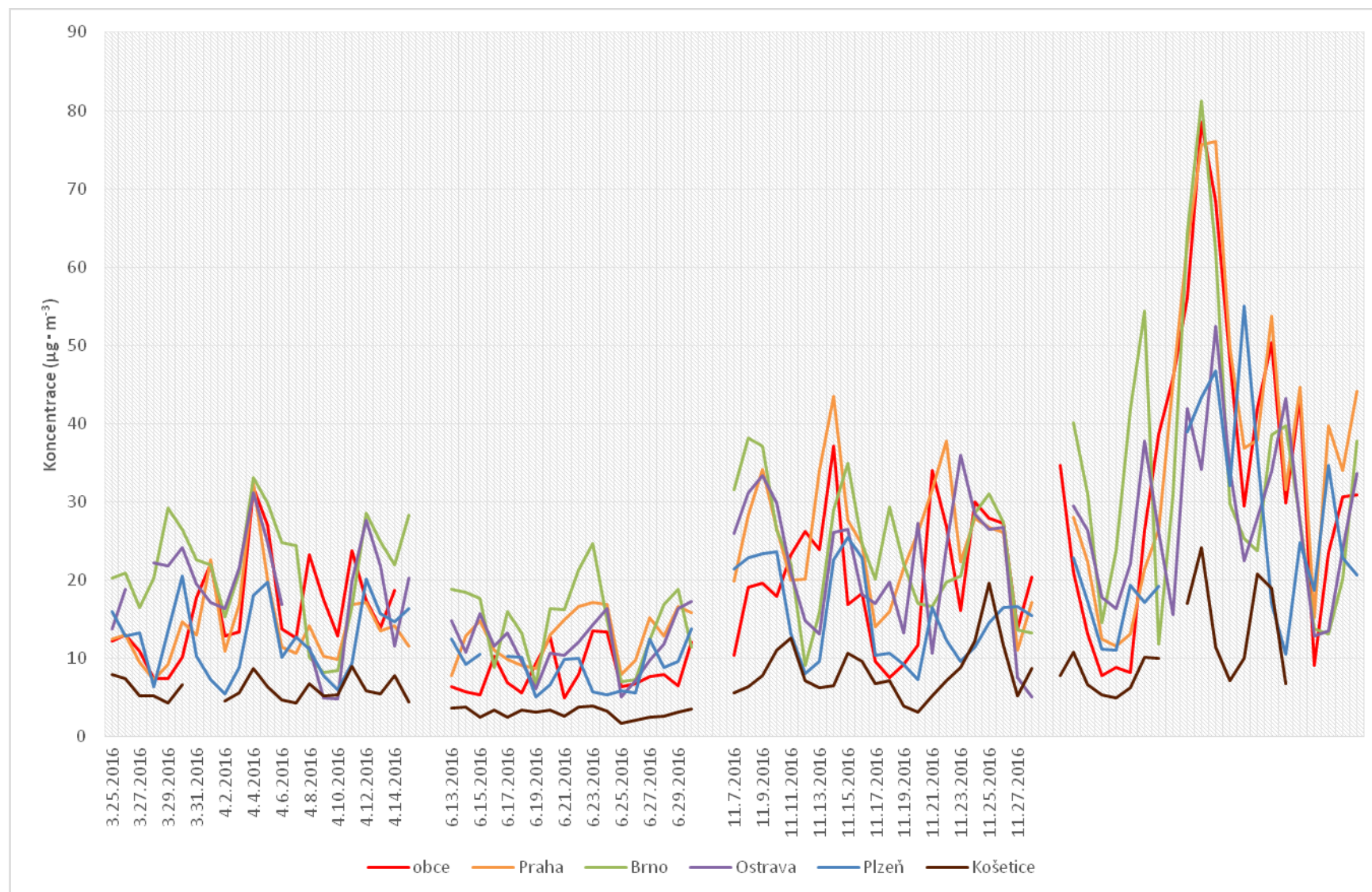
Graf na následujících Obr. 16 a Obr. 17 zobrazuje vývoj průměrných 24hodinových koncentrací NO₂ během jednotlivých kampaní. Z grafu na Obr. 16 není zřetelný obdobný trend na jednotlivých lokalitách. Jedná se o dopravní lokality a koncentrace jsou podstatně více ovlivněny dopravní situací než meteorologickými podmínkami. I při situaci se zhoršenými rozptylovými podmínkami během čtvrté kampaně dochází u dopravních lokalit pouze k mírnému nárůstu koncentrací. Naproti tomu u pozadových lokalit je nárůst mnohem výraznější (Obr. 17). V rámci dopravních lokalit patří lokalita **Doprava** ke stanicím s nejnižšími koncentracemi NO₂. Pouze během epizody se zhoršenými rozptylovými podmínkami se koncentrace vyrovnaly koncentracím měřeným na dopravních stanicích v Praze či Brně – funkci kaňonu zde suplovaly velmi nízké rychlosti větru během teplotní inverze. Avšak během této epizody se na téměř totožnou úroveň koncentrací dostaly i pozadové lokality. Mimo čtvrtou kampaň byly koncentrace na jednotlivých lokalitách poměrně vyrovnané. Nejnižší hodnoty pak byly měřeny na pozadových lokalitách v letním období, kdy je část koncentrací NO₂ spotřebována při tvorbě troposférického ozónu.

Statistické zhodnocení všech lokalit dle jednotlivých kampaní pak zobrazuje Obr. 18. V prvních třech kampaních se hodnoty příliš neliší a v závislosti na umístění lokality a ovlivnění dopravou klesají od pražských a brněnských dopravních lokalit až k regionální pozadové lokalitě Košetice. Během čtvrté kampaně se hodnoty měřené na **Hot-spot** a **Dopravních** lokalitách v blízkosti D0 vyrovnaly pražským a brněnským dopravním lokalitám, výrazný nárůst zaznamenaly také všechny pozadové lokality. Kromě horšího rozptylu škodlivin během teplotní inverze se na zvýšených koncentracích mohly podílet také lokální topeniště a zdroje určené k vytápění. Výrazně nižší koncentrace měřila pouze lokalita Košetice.

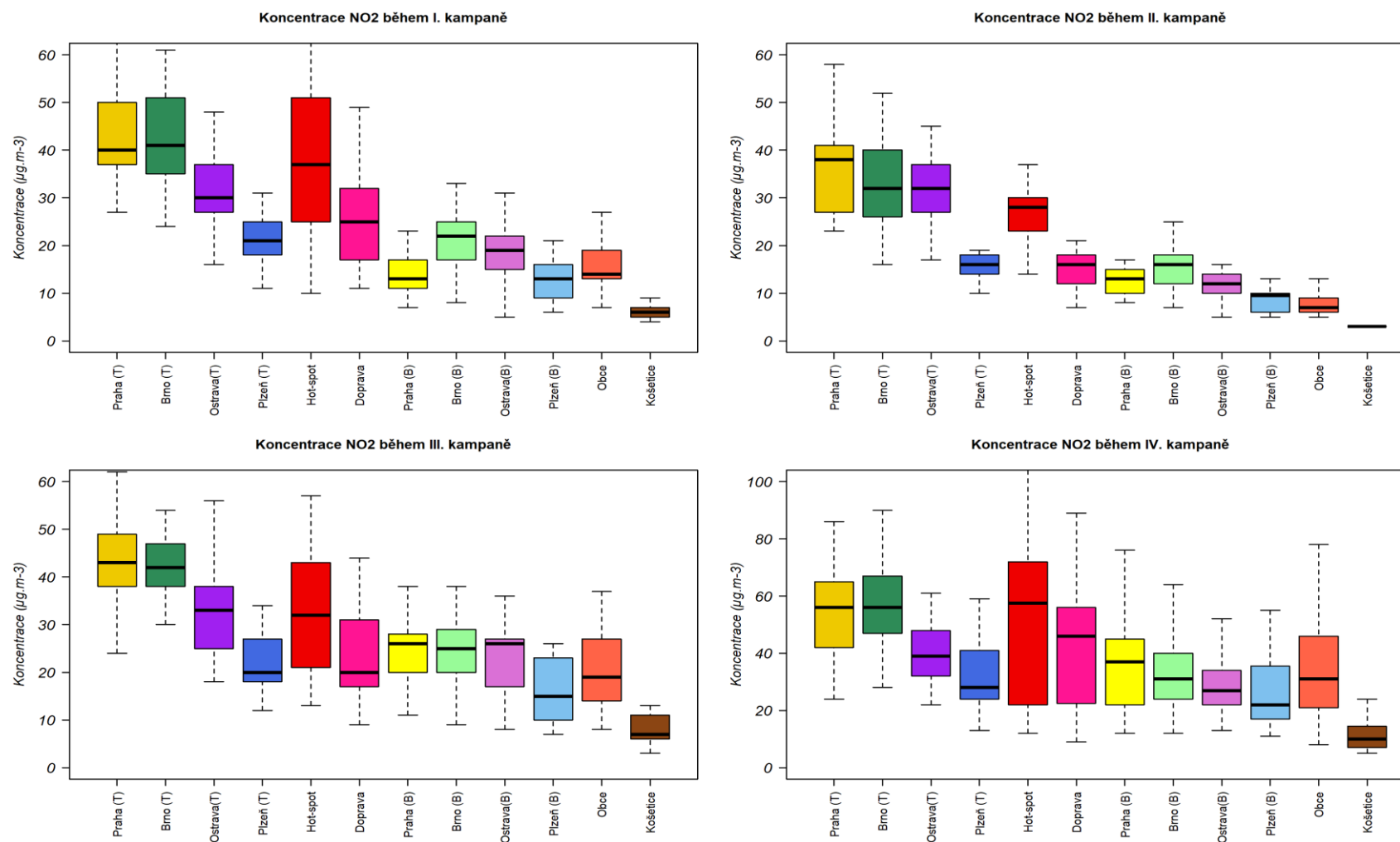
Celkově nejnižší koncentrace byly měřeny v druhé „letní“ epizodě. Zejména na pozadových lokalitách je patrný pokles koncentrací spojený s tvorbou troposférického ozónu. V teplé části roku rovněž nejsou v provozu sezónní zdroje (lokální topeniště, kotelny). Zvýšené koncentrace NO₂ tak zůstávají pouze na dopravních lokalitách v Praze, Brně a Ostravě a lokalitě **Hot-spot**.



Obr. 16 – Vývoj průměrných 24hodinových koncentrací NO₂ na dopravních lokalitách v rámci 4 kampaní projektu Doprava



Obr. 17 - Vývoj průměrných 24hodinových koncentrací NO₂ na pozadových lokalitách v rámci 4 kampaní projektu Doprava

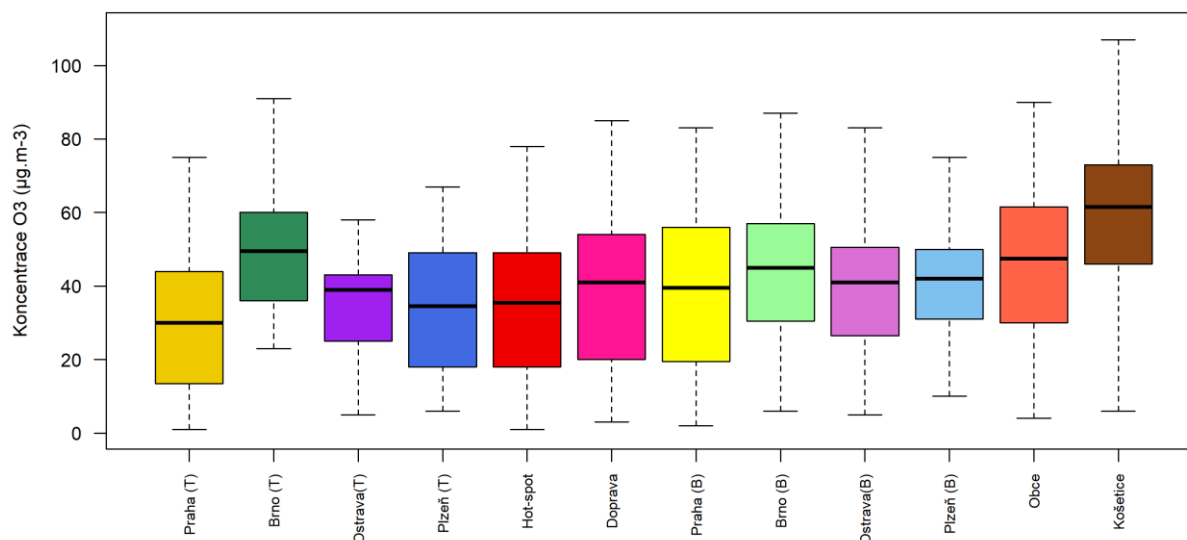


Obr. 18 - Statistické zpracování koncentrací NO₂ měřených během jednotlivých kampaní projektu doprava, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)

Troposférický ozón O₃

Srovnání koncentrací troposférického ozónu je provedeno na základě průměrných 24hodinových koncentrací měřených jak v rámci projektu, tak v rámci pravidelného monitoringu SSIM. Stanice použité do hodnocení a průměrování dle oblastí uvádí první kapitola.

Ze všech dat (80 dní) bylo připraveno základní statistické vyhodnocení naměřených koncentrací O₃, postihující všechny 4 kampaně. Graficky je zobrazuje Obr. 19.



Obr. 19 – Statistické zpracování koncentrací O₃ měřených během všech 4 kampaní projektu doprava, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)

Graf na Obr. 19 se liší od všech ostatních grafů už z důvodu charakteru znečištění troposférickým ozónem. Troposférický ozón nemá významný antropogenní zdroj, vzniká až v atmosféře sérií fotochemických reakcí z prekursorů – oxidů dusíku a nemetanických těkavých organických látek. Sluneční záření je tak pro vznik ozónu zcela zásadní, zvýšené koncentrace jsou tedy měřeny ve dnech s dostatečným slunečním svitem, nejvyšší koncentrace pak za vysokých teplot a intenzivního slunečního záření v letních dnech. Z uvedených lokalit měřila během jednotlivých kampaní nejvyšší koncentrace regionální pozad'ová lokalita Košetice, medián 24hodinových koncentrací O₃ měl za celé období hodnotu 61,5 µg·m⁻³, avšak z hlediska troposférického ozónu je potřeba hodnotit spíše maximální hodnoty. Hodnota 95. percentilu 24hodinových koncentrací byla v lokalitě Košetice 107 µg·m⁻³. Vysokou hodnotu 95. percentilu troposférického ozónu naměřily rovněž brněnské dopravní lokality (91 µg·m⁻³) a **Obce** v blízkosti D0 (90 µg·m⁻³). Jen o něco nižší hodnotu naměřily brněnské pozad'ové lokality (87 µg·m⁻³) následované dalšími pozad'ovými lokalitami. Nejnížší hodnoty 95. percentilu 24hodinových koncentrací O₃ pak byly zaznamenány na ostravských dopravních lokalitách, zde však probíhalo měření pouze ve čtvrté kampani a výsledky jsou tedy značně zkreslené. Ze stanic, které měřily ve všech čtyřech kampaních, byly nejnížší hodnoty O₃ pražské dopravní lokality. Lokality **Hot-spot** a **Doprava** mají za celé období velmi podobnou charakteristiku, jako pražské pozad'ové lokality.

Tab. 4 - Statistické zpracování koncentrací O₃ (µg·m⁻³) měřených během všech 4 kampaní projektu doprava

	Praha (T)	Brno (T)	Ostrava (T)	Plzeň (T)	Hot spot	Doprava	Praha (B)	Brno (B)	Ostrava (B)	Plzeň (B)	Obce	Košetice
Počet	80	72	21	80	78	78	80	80	79	67	80	74

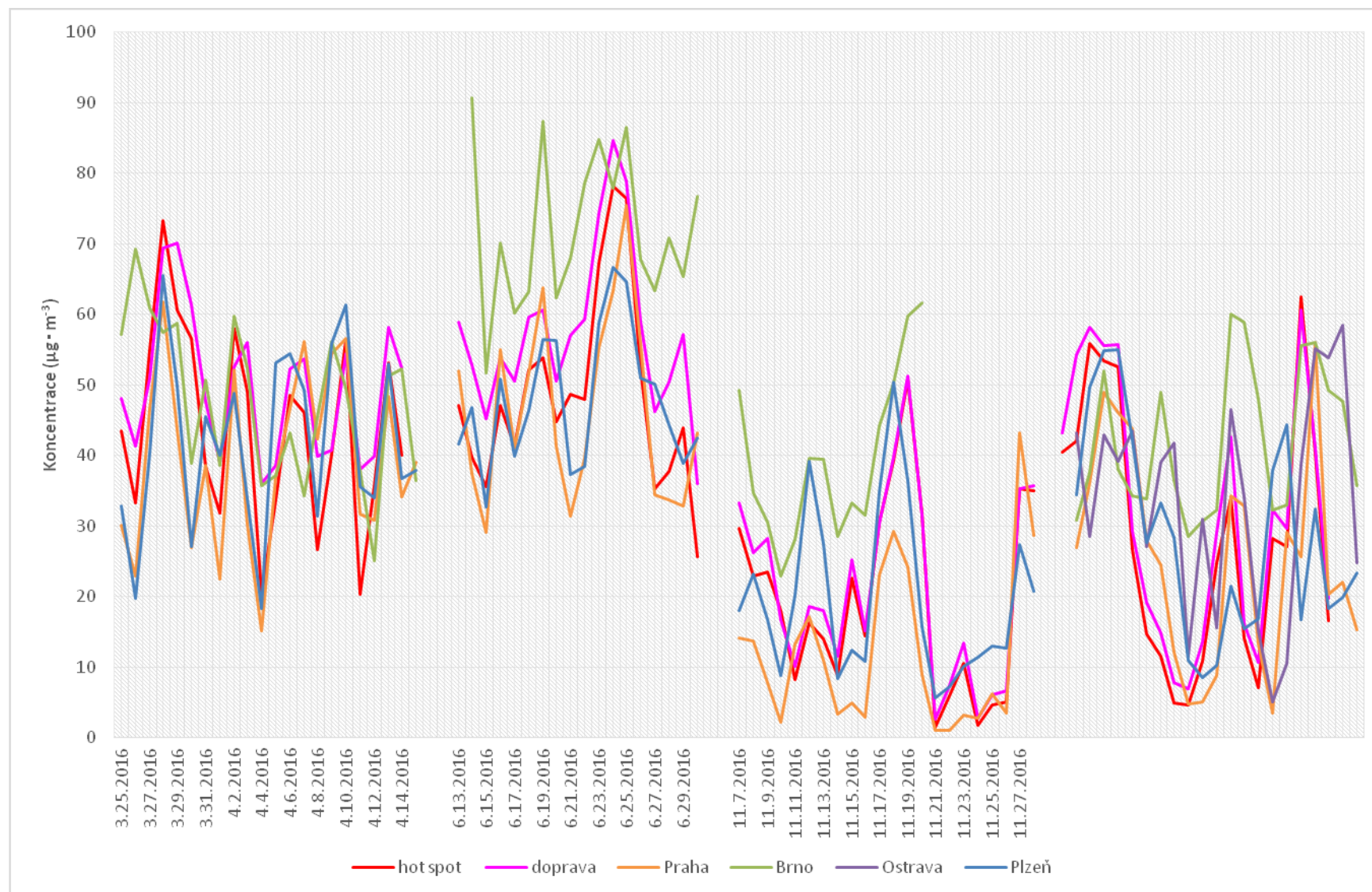
5. perc.	1	23	5	6	1	3	2	6	5	10	4	6
25. perc.	13,5	36	25	18	18	20	19,5	30,5	26,5	31	30	46
Medián	30	49,5	39	34,5	35,5	41	39,5	45	41	42	47,5	61,5
Průměr	30	50	34	34	35	39	39	45	40	41	45	59
75. perc.	44	60	43	49	49	54	56	57	50,5	50	61,5	73
95. perc.	75	91	58	67	78	85	83	87	83	75	90	107

Graf na následujících Obr. 20 a Obr. 21 zobrazuje vývoj průměrných 24hodinových koncentrací O₃ během jednotlivých kampaní. Z obou grafů je patrný obdobný vývoj, který je závislý zejména na meteorologických podmínkách. Nejvyšší koncentrace byly logicky měřeny během druhé „letní“ kampaně, mírně vyšší jsou i hodnoty v první kampani. Naopak během třetí a čtvrté kampaně již byly měřeny nižší hodnoty vzhledem k tomu, že měření probíhalo v listopadu a lednu.

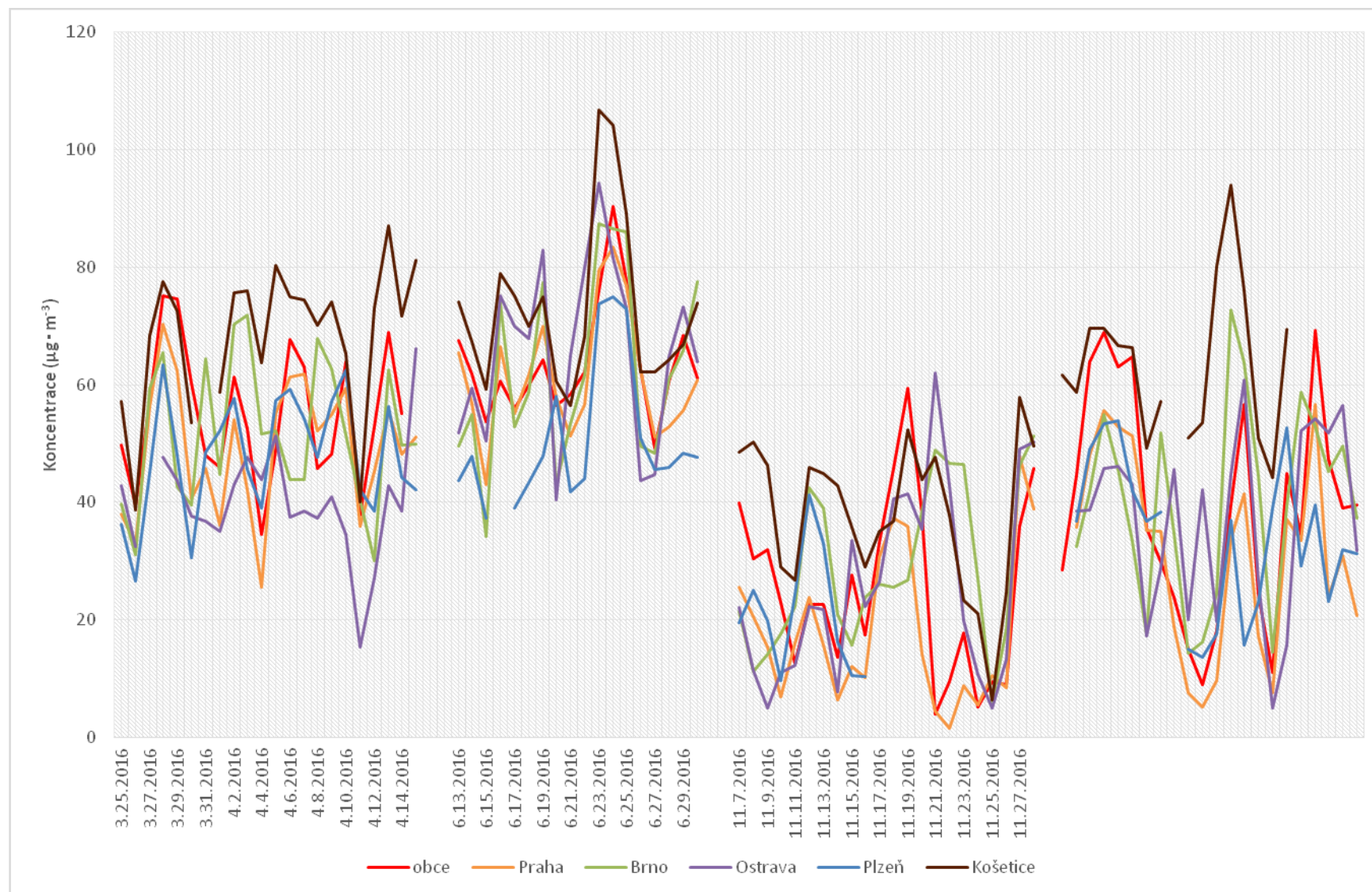
Mezi dopravními lokalitami dosahovaly nejvyšších hodnot brněnské dopravní lokality následované stanicemi **Hot-spot** a **Doprava**, které měřily velmi podobné koncentrace. Z hlediska pozadových lokalit se nižšími koncentracemi vyznačovaly plzeňské lokality. Koncentrace měřené v **Obcích** poblíž D0 byly po regionální pozadové lokalitě v Košeticích nejvyšší.

Statistické zhodnocení všech lokalit dle jednotlivých kampaní pak zobrazuje Obr. 22. Koncentrace v druhé a první kampani měly vyšší hodnoty než ve třetí a čtvrté kampani. Nejvyšší hodnoty 95. percentilu v druhé kampani dosahovaly ostravské pozadové lokality následované Košeticemi a brněnskými dopravními i pozadovými koncentracemi. Stanice **Hot-spot** v druhé kampani měřily pouze velmi nízké koncentrace O₃, srovnatelné s plzeňskými dopravními a pozadovými stanicemi. Lokality **Doprava** měřily medián koncentrací O₃ na úrovni pražských pozadových lokalit, avšak 95. percentil byl velmi nízký, na úrovni plzeňských pozadových stanic. **Obce** v blízkosti D0 pak měřily koncentrace O₃ na úrovni pražských pozadových stanic.

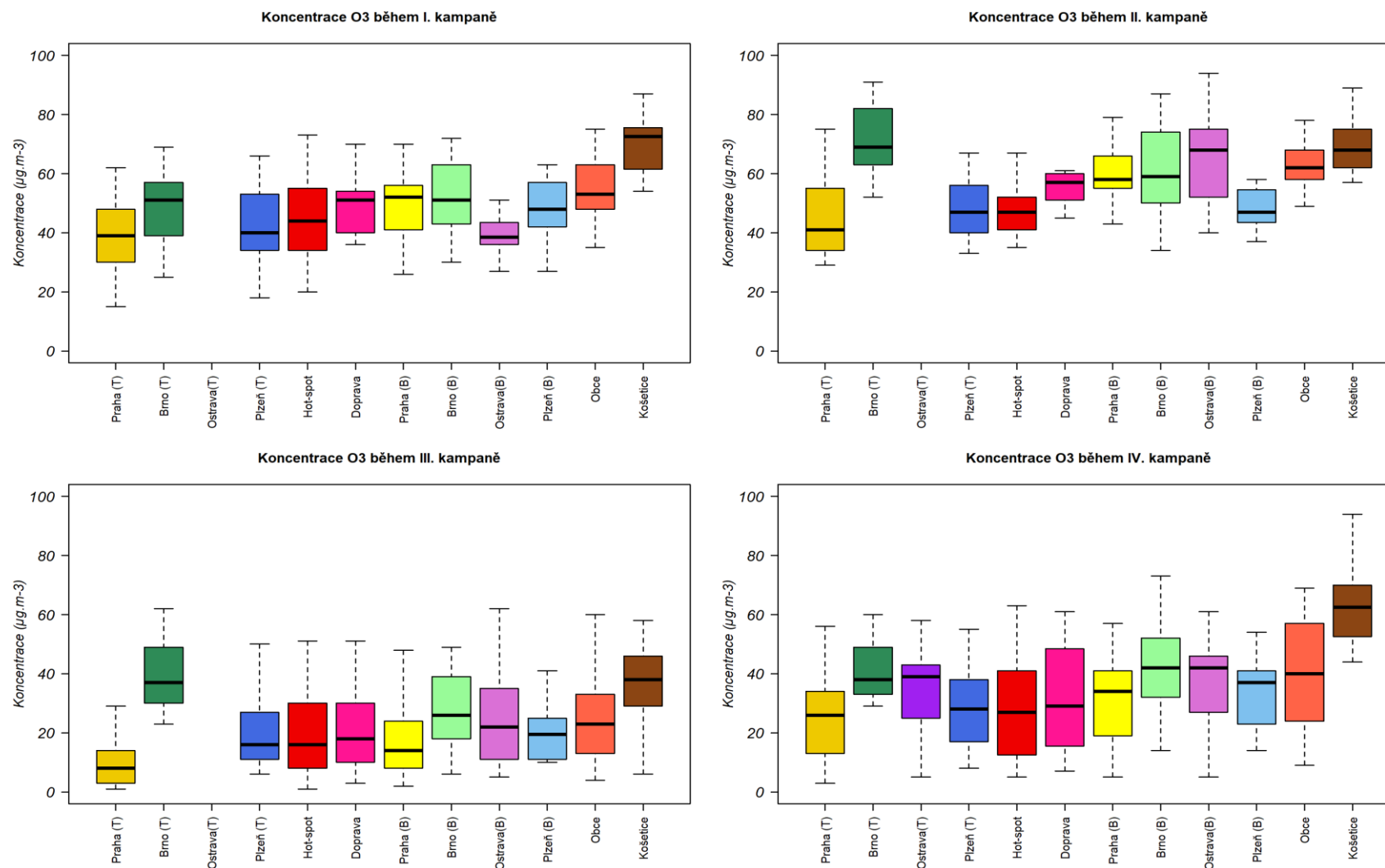
Ve zbylých kampaních se 95. percentil koncentrací v lokalitách **Hot-spot** a **Doprava** pohyboval na úrovni hodnot měřených na pražských pozadových lokalitách, medián byl v první a čtvrté kampani nejnižší v lokalitě Hot-spot, ve třetí kampani pak na pražských pozadových lokalitách. Podobné hodnoty měřily i **Obce** v blízkosti D0, vyšších hodnot dosáhly ve čtvrté kampani.



Obr. 20 – Vývoj průměrných 24hodinových koncentrací O_3 na dopravních lokalitách v rámci 4 kampaní projektu Doprava



Obr. 21 - Vývoj průměrných 24hodinových koncentrací O_3 na pozadíových lokalitách v rámci 4 kampaní projektu Doprava



Obr. 22 - Statistické zpracování koncentrací O₃ měřených během jednotlivých kampaní projektu doprava, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)

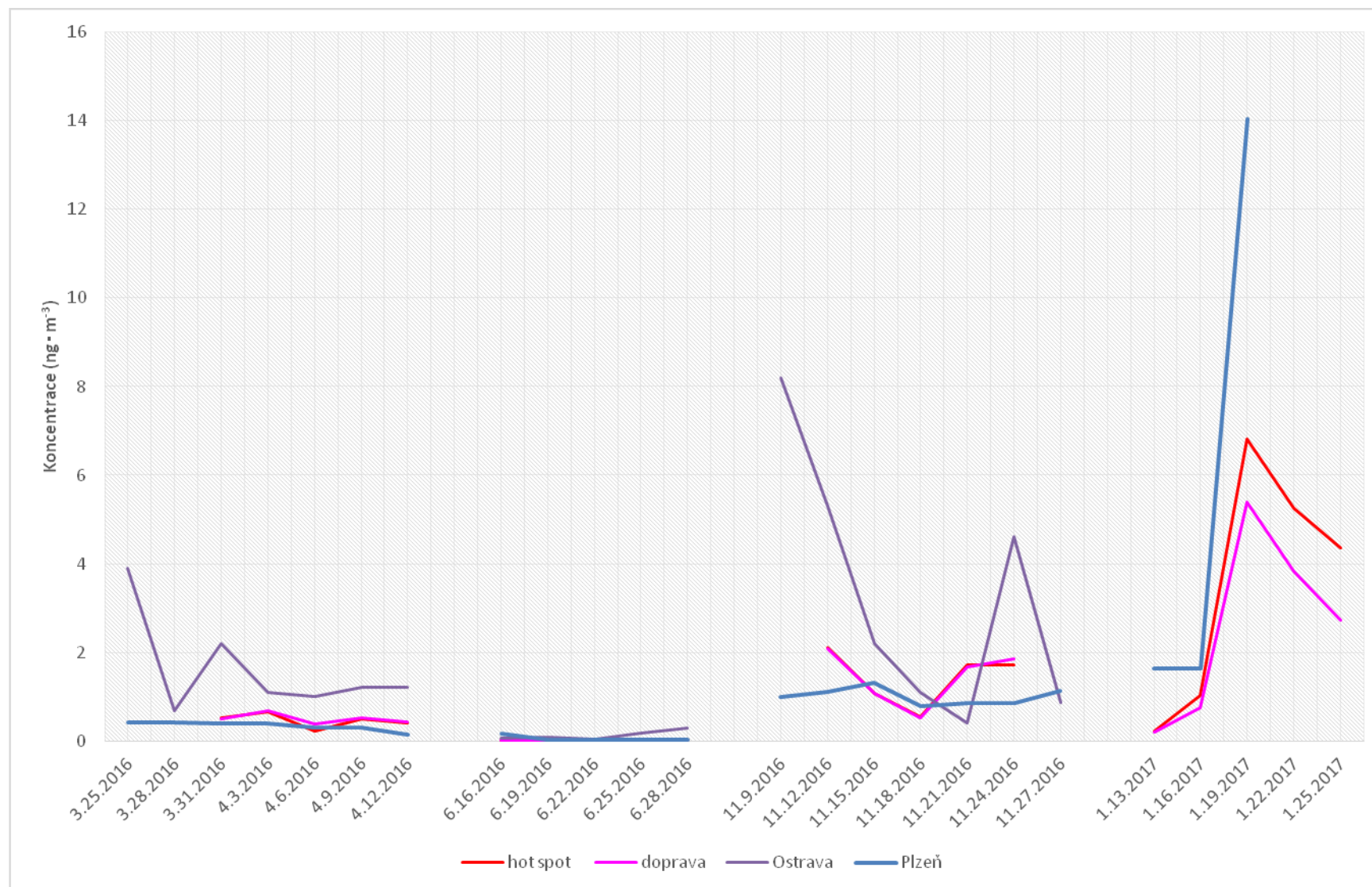
Benzo[a]pyren

Benzo[a]pyren je měřen v celé SSIM jednou za 3 dny, ve stejném intervalu byly odebírány vzorky benzo[a]pyrenu i v rámci projektu doprava.

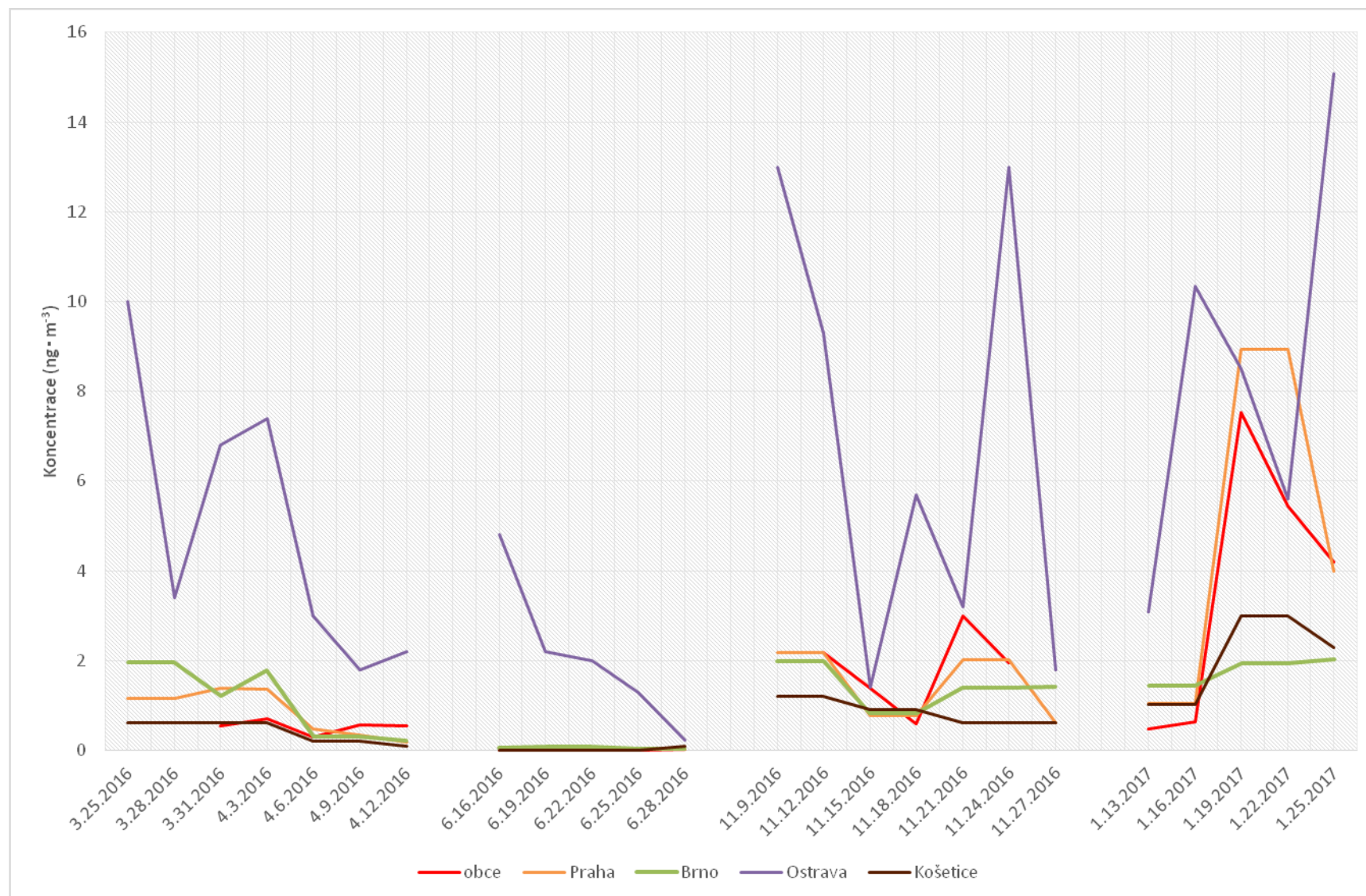
Pro hodnocení byla dostupná data z dopravních stanic pouze pro **Hot-spot**, **Doprava** a Ostrava. V případě pozadových lokalit byla dostupná data z **Obce**, Praha, Ostrava a Košetice. Aby mohly být srovnány i lokality v Brně a Plzni, byly pouze pro benzo[a]pyren do analýzy zahrnuty další dvě stanice, a to **Brno – Líšeň (BBNIP)**, reprezentující brněnské pozadové lokality a **Plzeň – Slovany (PPLXP)**, reprezentující dopravní lokality v Plzni.

Graf na následujících Obr. 23 a Obr. 24 zobrazuje vývoj průměrných 24hodinových koncentrací benzo[a]pyrenu během jednotlivých kampaní na dopravních a pozadových lokalitách. Z obou grafů jsou zřetelné velmi vysoké koncentrace měřené na ostravských stanicích, vyšší na pozadových. Ostatní lokality zdaleka tak vysokých hodnot nedosahují. V první a druhé kampani jsou koncentrace v lokalitách **Hot-spot**, **Doprava** i **Obce** velmi nízké, v létě prakticky nulové. To je ve shodě s pražskými pozadovými lokalitami i s lokalitou Košetice.

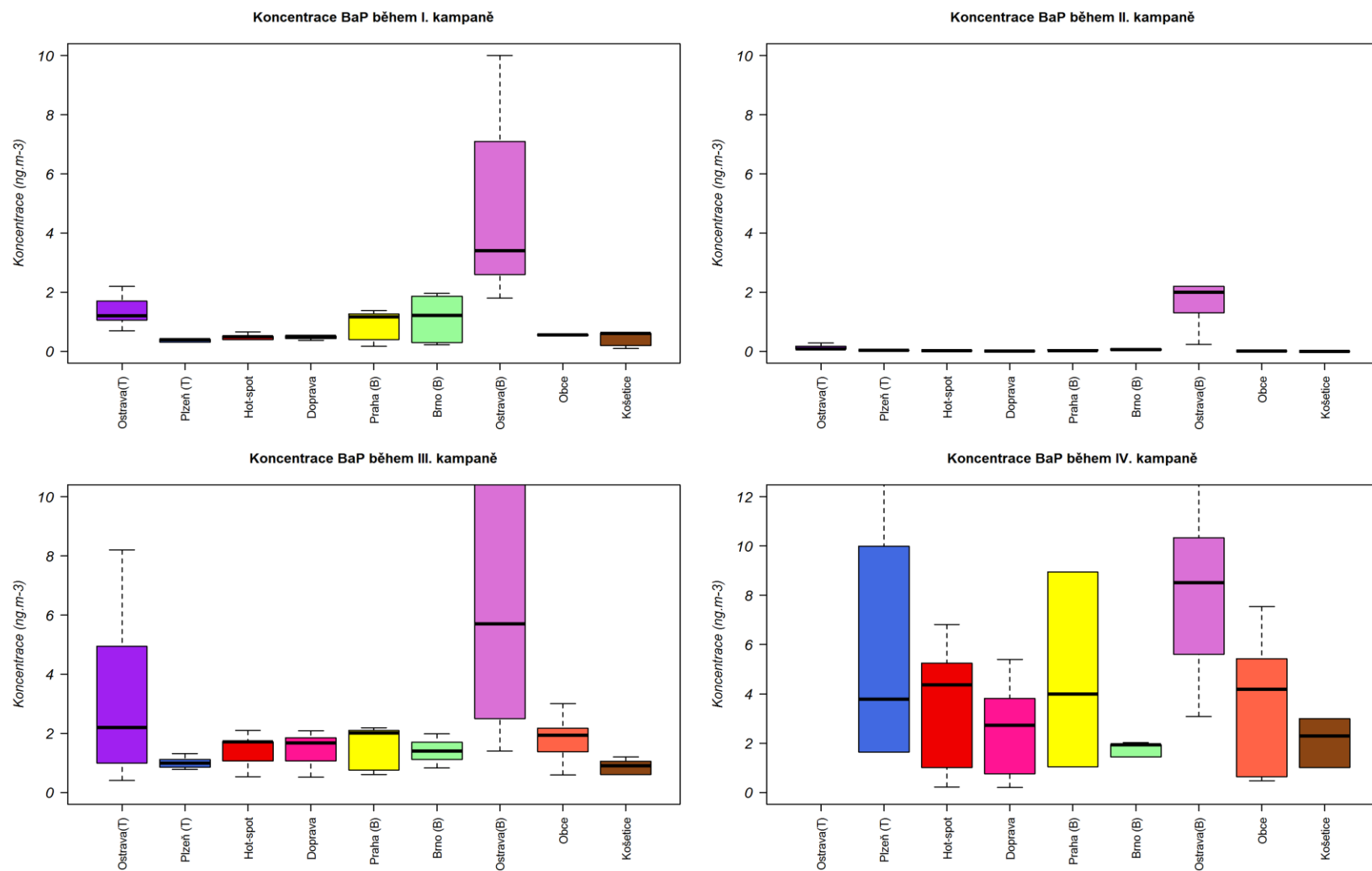
V případě čtvrté kampaně nejsou k dispozici data měřená na ostravské dopravní stanici. Patrný je nárůst koncentrací, který je ve shodě s vysokými koncentracemi PM₁₀ a PM_{2,5}. Koncentrace se podstatně zvýšily na pražských pozadových lokalitách a dosáhly vyšších hodnot, než lokality proměřované v rámci kampaně. Velmi vysoké hodnoty byly naměřeny také na plzeňských dopravních lokalitách. Hodnoty se dostaly ve vybraných dnech na úroveň ostravských pozadových lokalit. Tento nárůst byl způsoben zejména nepříznivými rozptylovými podmínkami během ledna 2017. Nízké koncentrace byly během této epizody měřeny v Brně, v části kampaně byly koncentrace benzo[a]pyrenu na brněnských pozadových lokalitách nižší, než v Košeticích. Statistické zhodnocení všech lokalit dle jednotlivých kampaní pak zobrazuje Obr. 25. Koncentrace v druhé kampani byly prakticky nulové s výjimkou ostravských pozadových lokalit. Obdobně je tomu i v první kampani, kromě benzo[a]pyrenem velmi zatíženého Ostravska měřily všechny lokality velmi nízké koncentrace. Třetí kampaň již spadá do topné sezóny, v provozu již byly lokální topeniště, co by nejvýznamnější zdroj benzo[a]pyrenu v ČR. Mírně zvýšené koncentrace měřily lokality **Hot-spot** a **Doprava**, o něco vyšší hodnoty pak pražské pozadové lokality a **Obce**. Ostravské lokality již měřily velmi vysoké koncentrace benzo[a]pyrenu. V lednu 2017 během čtvrté kampaně došlo k nárůstu koncentrací na všech lokalitách z důvodu nepříznivých rozptylových podmínek. Významný nárůst koncentrací zaznamenaly plzeňské dopravní lokality. Hodnoty pražských pozadových stanic dosáhly vyšších hodnot, než lokality **Hot-spot**, **Doprava** či **Obce**. Zvýšené koncentrace měřila také regionální pozadová lokalita Košetice, nižší hodnoty zaznamenaly brněnské pozadové lokality. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo na ostravských pozadových stanicích, rozdíl v koncentracích však již není tak markantní, jako v případech předchozích tří kampaní.



Obr. 23 – Vývoj průměrných 24hodinových koncentrací benzo[a]pyrenu na dopravních lokalitách v rámci 4 kampaní projektu Doprava



Obr. 24 - Vývoj průměrných 24hodinových koncentrací benzo[a]pyrenu na požadových lokalitách v rámci 4 kampaní projektu Doprava



Obr. 25 - Statistické zpracování koncentrací benzo[a]pyrenu měřených během jednotlivých kampaní projektu doprava, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)

Závěry

Ze srovnání měřicích lokalit kampaně doprava s lokalitami SSIM vyplývá následující:

- Z hlediska suspendovaných částic je nejzatíženější lokalitou Ostravsko. Lokalita **Hot-spot** měří vyšší koncentrace než lokality **Doprava** a **Obce**, které měří koncentrace suspendovaných částic mírně vyšší, resp. na úrovni pražských pozadových lokalit. Koncentrace dopravních lokalit v centrech měst jsou vyšší než koncentrace měřené v blízkosti dálnice.
- Z uvedeného vyplývá, že v případě, že je doprava plynulá, nemusí nutně výrazněji navyšovat koncentrace PM₁₀ v ovzduší proti pozadovým lokalitám. Naopak v městech, kde je plynulost omezena (křižovatky, kolony), jsou na dopravních lokalitách měřeny vyšší koncentrace PM₁₀, než na dálnici či pozadových lokalitách. Zvláštní situací je pak Ostravsko, kde jsou pozadové koncentrace natolik vysoké, že je doprava již nenavyšuje.
- Koncentrace PM_{2,5} jsou dopravou méně ovlivněny než koncentrace PM₁₀. V rámci blízkého okolí jsou homogenní. Vyplývá to jak ze stanic měřicích v blízkosti D0 a pražských pozadových lokalit, tak z brněnských či plzeňských stanic, kde jsou rozdíly mezi dopravními a pozadovými lokalitami z hlediska mediánu 24hodinových koncentrací pouze minimální. Dopravní lokality dosahují vyšších hodnot v rámci 95. percentilu.
- V případě koncentrací NO₂ je zásadní ovlivnění měřicí lokality dopravou a otevřenost, resp. provětrávatelností lokality. Vysoké koncentrace NO₂ jsou měřeny na městských dopravních lokalitách, kde je provětrávatelnost omezena zástavbou (kaňony). Koncentrace na dopravní lokalitě **Hot-spot** dosahuje 75 % a lokality **Doprava** 50 % hodnoty mediánu koncentrací měřených na pražských či brněnských dopravních lokalitách, přesto jsou vyšší, než měří pražské pozadové lokality. **Obce** v blízkosti D0 pak měří srovnatelné koncentrace jako pražské pozadové lokality.
- Z měřených koncentrací NO₂ vyplývá, že v případě, že je doprava plynulá mimo zástavbu v dostatečně otevřeném a provětrávaném terénu, nemusí nutně výrazněji navyšovat koncentrace NO₂ v ovzduší proti pozadovým lokalitám. Naopak v městech, kde je doprava svedena do kaňonů tvořených zástavbou, jsou na dopravních lokalitách měřeny téměř dvakrát vyšší koncentrace NO₂, než na dálnici či pozadových lokalitách.
- Koncentrace ozónu jsou zejména ovlivněny meteorologickými podmínkami. Koncentrace v lokalitě **Hot-spot** jsou mírně nižší než lokality **Doprava**, měřící obdobné hodnoty jako pražské pozadové lokality, koncentrace v **Obcích** v blízkosti D0 jsou mírně vyšší.
- Koncentrace benzo[a]pyrenu mají výrazný sezónní chod. V létě jsou téměř nulové, v chladné části roku, kdy jsou v provozu lokální topeniště, jsou koncentrace vyšší. Velmi zatíženou oblastí je Ostravsko, kde jsou i v letních měsících měřeny zvýšené koncentrace benzo[a]pyrenu. Zvýšené koncentrace v lokalitách **Hot-spot**, **Doprava** a **Obce** byly měřeny v třetí kampani (listopad 2016, topná sezóna) a vysoké koncentrace pak ve čtvrté kampani (leden 2017, topná sezóna, zhoršené rozptylové podmínky). Ve čtvrté kampani však vysoké koncentrace měřily prakticky všechny lokality s výjimkou Košetic a brněnských pozadových stanic.