



Bucek s.r.o.



Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016

Zpracoval: Mgr. Jakub Bucek

Brno, červen 2017



ÚDAJE O ZAKÁZCE

Zhotovitel:

Bucek s.r.o.

zastoupen: Mgr. Jakubem Buckem, jednatelem

sídlo: Libušino údolí 497/118 Brno 623 00

IČ: 28266111

DIČ: CZ 28266111

kontaktní osoba: Mgr. Jakub Bucek, tel.: 723 495 422, e-mail: jakub.bucek@buceksro.cz

Objednatel:

Jihomoravský kraj

sídlo: Žerotínovo nám. 3, 601 82 Brno

IČ: 70888337

DIČ: CZ70888337, je plátcem DPH

vyřizuje: Ing. Tomáš Helán, tel.: 54165 2626, e-mail: HELAN.TOMAS@kr-jihomoravsky.cz

Datum předání zprávy: 27. června 2017

Počet výtisků: 1

Výtisk číslo: 1

OBSAH

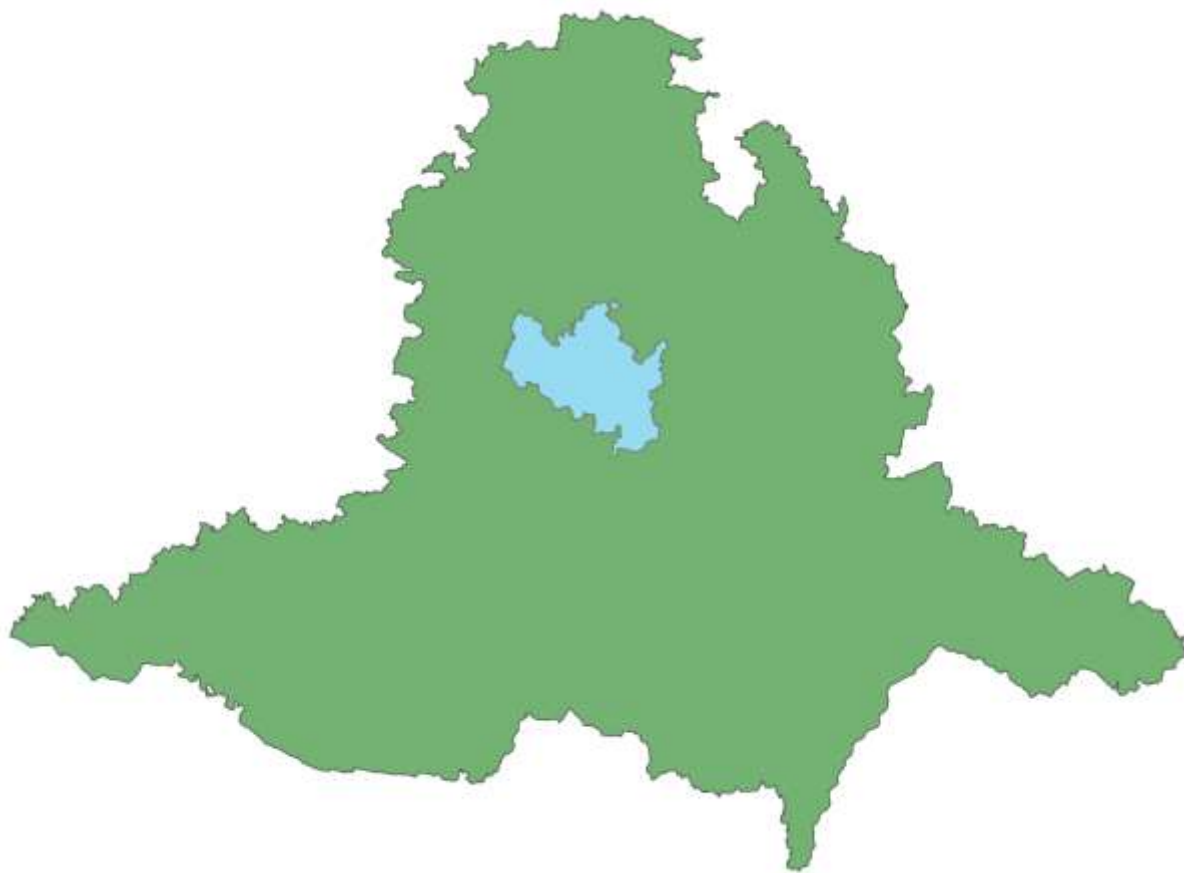
1	Úvod	6
2	Suspendované částice	8
2.1	Průměrné charakteristiky suspendovaných částic, pětiletí 2011 – 2015	9
2.1.1	Situace v ČR	9
2.1.2	Situace v Jihomoravském kraji	11
2.2	Vývoj koncentrací suspendovaných částic, 2010 – 2016	13
2.2.1	Průměrné roční koncentrace PM ₁₀	13
2.2.2	24hodinové koncentrace PM ₁₀ a vztah k imisnímu limitu	18
2.2.3	Průměrná roční koncentrace PM _{2,5}	28
2.3	Detailní analýza hodinových koncentrací PM na vybraných stanicích	32
2.3.1	Brno – Svatoplukova	32
2.3.2	Brno – Lány	49
2.3.3	Brno – Tuřany	68
2.3.4	Mikulov – Sedlec	84
2.4	Emise suspendovaných částic	100
2.4.1	Emise suspendovaných částic v ČR [2]	100
2.4.2	Emise suspendovaných částic v Jihomoravském kraji	103
2.5	Smogový varovný a regulační systém	105
3	Oxid dusičitý NO ₂	108
3.1	Průměrné charakteristiky oxidu dusičitého, pětiletí 2011 – 2015	108
3.1.1	Situace v ČR	109
3.1.2	Situace v Jihomoravském kraji	109
3.2	Vývoj koncentrací oxidu dusičitého, 2010 – 2016	110
3.2.1	Průměrné roční koncentrace NO ₂	110
3.2.2	Hodinové koncentrace NO ₂ a vztah k imisnímu limitu	112
3.3	Detailní analýza hodinových koncentrací NO ₂ na vybraných stanicích	121
3.3.1	Brno – Svatoplukova	121
3.3.2	Brno – Lány	130
3.3.3	Brno – Tuřany	138
3.3.4	Mikulov – Sedlec	146
3.4	Emise oxidů dusíku	154
3.4.1	Emise oxidů dusíku v ČR [2]	154

3.4.2	Emise oxidů dusíku v Jihomoravském kraji	155
4	Troposférický ozón O ₃	157
4.1	8hodinové klouzavé průměry O ₃	157
4.1.1	Vztah k imisnímu limitu	162
4.2	Index AOT40	163
4.3	Detailní analýza hodinových koncentrací O ₃ na vybraných stanicích	165
4.3.1	Brno – Zvonařka	165
4.3.2	Brno – Lány	174
4.3.3	Brno – Tuřany	182
4.3.4	Mikulov – Sedlec.....	190
4.4	Smogový varovný a regulační systém	198
5	Benzo[a]pyren	199
5.1	Průměrné charakteristiky benzo[a]pyrenu, pětiletí 2011 – 2015	200
5.1.1	Situace v ČR	200
5.1.2	Situace v Jihomoravském kraji	201
5.2	Vývoj koncentrací benzo[a]pyrenu, 2010 – 2016.....	203
5.3	Emise PAH.....	207
5.3.1	Emise PAH a benzo[a]pyrenu v ČR	207
5.3.2	Emise PAH a benzo[a]pyrenu v Jihomoravském kraji	208
6	Závěry	209
7	Seznam zkratk použitých v dokumentu.....	211
8	Citovaná literatura.....	212
9	Přílohy.....	216
9.1	Příloha 1 – Seznam stanic imisního monitoringu a prováděných měření	216
9.2	Příloha 2 – Seznam zkratk Eol.....	217
9.3	Příloha 3 – Celkový přehled vybraných stanic.....	218

1 ÚVOD

Tato zpráva hodnotí kvalitu ovzduší v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016 z dat státní sítě imisního monitoringu. Zpráva je zaměřena na škodliviny, které ve výše uvedeném období překročily na území kraje imisní limity dle platné legislativy [1]. Jedná se o frakce suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$, dále pak oxid dusičitý NO_2 , benzo[a]pyren a troposférický ozón O_3 . Ostatní škodliviny uvedené v zákoně o ochraně ovzduší [1] dlouhodobě nepřekračují své imisní limity (Tab. 1, Tab. 2).

Z hlediska zákona o ochraně ovzduší [1] je území Jihomoravského kraje rozděleno na **aglomeraci Brno** a Jihomoravský kraj bez Brna pak spolu s krajem Vysočina tvoří **zónu Jihovýchod** (Obr. 1).



Obr. 1 – Rozdělení území Jihomoravského kraje v rámci zákona o ochraně ovzduší [1] na aglomeraci Brno (*modrá výplň*) a Jihomoravský kraj bez Brna tvořící s krajem Vysočina zónu Jihovýchod (*zelená výplň*).

V rámci hodnocení kvality ovzduší jsou pak tyto oblasti hodnoceny zvlášť (např. vyhodnocení plochy zóny / aglomerace s překročením imisního limitu atp.) a rovněž jsou pro tato území zvlášť zpracovávány strategické dokumenty z hlediska zákona o ochraně ovzduší [1] (jako např. programy zlepšování kvality ovzduší dle §9 zmíněného zákona).

V následujících tabulkách (Tab. 1, Tab. 2) je tedy shrnuta plocha území s překročenými imisními limity pro aglomeraci Brno zvlášť a pro Jihomoravský kraj bez Brna (nikoliv celou zónu Jihovýchod) také

zvláště. Hodnoty jsou převzaty z ročenek Českého hydrometeorologického ústavu, který každoročně připravuje hodnocení znečištění ovzduší na území České republiky [2].

Tab. 1 – Překročení imisních limitů pro jednotlivé škodliviny vyjádřené jako % území plochy aglomerace Brno

Rok	PM ₁₀ rp	PM ₁₀ 24h_36MAX	PM _{2,5} rp	NO ₂ rp	benzo[a]pyren rp	O ₃ 8hkp_MAX26
2010	–	59,74 %	NA	3,32 %	65,02 %	0,08 %
2011	–	39,19 %	NA	2,45 %	34,86 %	58,66 %
2012	–	27,07 %	3,04 %	2,45 %	45,03 %	4,02 %
2013	–	2,49 %	0,00 %	2,02 %	28,89 %	46,94 %
2014	–	0,54 %	0,43 %	–	0,43 %	–
2015	–	–	–	–	–	12,20 %

Vysvětlivky: rp = průměrná roční koncentrace, 24h_36MAX = 36. nejvyšší 24hodinová koncentrace za kalendářní rok, 8hkp_MAX = maximální 8h klouzavý průměr. Rok 2016 bude k dispozici na stánkách ČHMÚ v druhé polovině roku 2017 [2].

Tab. 2 – Překročení imisních limitů pro jednotlivé škodliviny vyjádřené jako % území plochy Jihomoravského kraje bez aglomerace Brno

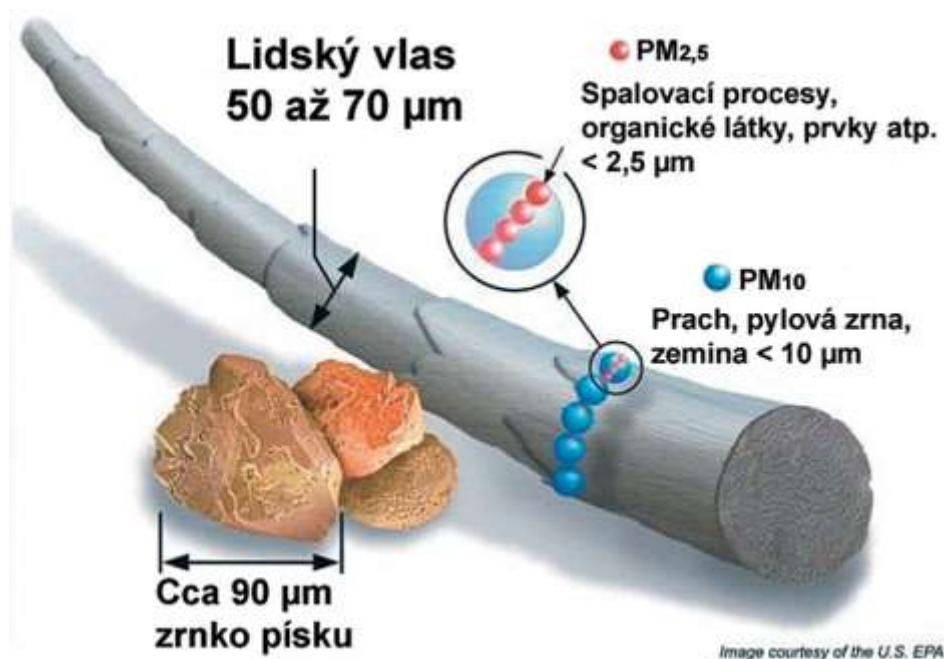
Rok	PM ₁₀ rp	PM ₁₀ 24h_36MAX	PM _{2,5} rp	NO ₂ rp	benzo[a]pyren rp	O ₃ 8hkp_MAX26
2010	-	30,10 %	NA	-	7,00 %	11,50 %
2011	-	14,74 %	NA	-	6,70 %	84,08 %
2012	-	1,80 %	1,80 %	-	31,18 %	30,52 %
2013	-	0,10 %	-	0,07 %	12,94 %	81,99 %
2014	-	0,19 %	0,01 %	-	2,27 %	2,43 %
2015	-	-	-	-	2,50 %	55,13 %

Vysvětlivky: rp = průměrná roční koncentrace, 24h_36MAX = 36. nejvyšší 24hodinová koncentrace za kalendářní rok, 8hkp_MAX = maximální 8h klouzavý průměr. Rok 2016 bude k dispozici na stánkách ČHMÚ v druhé polovině roku 2017 [2].

Pro potřeby této studie však bude v následujících kapitolách probíhat hodnocení koncentrací společně pro aglomeraci Brno i „Jihomoravský kraj bez aglomerace Brno“.

2 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE

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



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

Pro výše uvedené frakce suspendovaných částic jsou v příloze 1 zákona o ochraně ovzduší [1] uvedeny imisní limity. Pro hrubší frakci PM_{10} platí imisní limit pro průměrnou roční koncentraci a dále pro denní koncentraci s tím, že tato může být 35x za kalendářní rok překročena. V případě $PM_{2,5}$ platí imisní limit pouze pro průměrnou roční koncentraci.

Tab. 3 – Imisní limity platné pro suspendované částice [1]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální povolený počet překročení
Suspendované částice PM_{10}	24 hodin	50 $\mu g \cdot m^{-3}$	35 za kalendářní rok
Suspendované částice PM_{10}	1 kalendářní rok	40 $\mu g \cdot m^{-3}$	
Suspendované částice $PM_{2,5}$	1 kalendářní rok	25 $\mu g \cdot m^{-3}$	

Pozn. S účinností od 01. 01. 2020 bude imisní limit pro průměrnou roční koncentraci $PM_{2,5}$ zpřísněn na hodnotu 20 $\mu g \cdot m^{-3}$.

Částice obsažené ve vzduchu lze rozdělit na primární a sekundární. Primární částice jsou emitovány přímo do atmosféry, ať již z přírodních (např. sopečná činnost, pyl nebo mořský aerosol) nebo z antropogenních zdrojů (např. spalování paliv ve stacionárních i mobilních zdrojích, otěry pneumatik, brzd a vozovek). Sekundární částice jsou převážně antropogenního původu a vznikají v atmosféře ze svých plynných prekurzorů SO_2 , NO_x , NH_3 a VOC procesem nazývaným konverze plyn-částice. Z důvodu různorodosti emisních zdrojů (viz. Příloha 1 – emisní analýza) mají suspendované částice různé chemické složení a různou velikost.

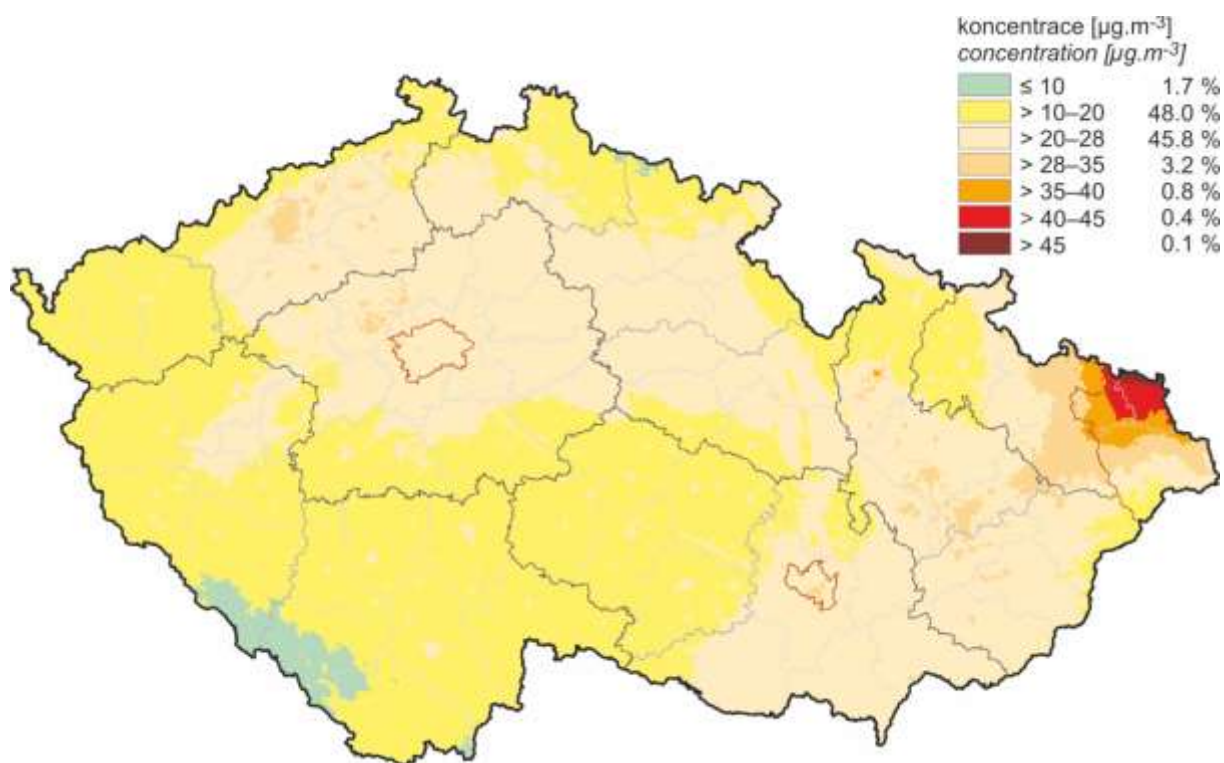
Suspendované částice mají významné zdravotní důsledky, které se projevují již při velmi nízkých koncentracích bez zřejmé spodní hranice bezpečné koncentrace. Zdravotní rizika částic ovlivňuje jejich koncentrace, velikost, tvar a chemické složení. Při akutním působení částic může dojít k podráždění sliznic dýchací soustavy, zvýšené produkci hlenu apod. Tyto změny mohou způsobit snížení imunity a zvýšení náchylnosti k onemocnění dýchací soustavy. Opakující se onemocnění mohou vést ke vzniku chronické bronchitidy a kardiovaskulárním potížím. Při akutním působení částic může dojít k zvýraznění symptomů u astmatiků a navýšení celkové nemocnosti a úmrtnosti populace. Dlouhodobé vystavení působení částic může vést ke vzniku onemocnění respiračního a kardiovaskulárního systému. Míra zdravotních důsledků je ovlivněna řadou faktorů, jako je například aktuální zdravotní stav jedince, alergická dispozice nebo kouření. Citlivou skupinou jsou děti, starší lidé a lidé trpící onemocněním dýchací a oběhové soustavy. Nejzávažnější zdravotní dopady, tj. kardiovaskulární a respirační účinky a navýšení úmrtnosti, mají jemné a ultra jemné částice s velikostí aerodynamického průměru pod $1\ \mu\text{m}$ [3], [4].

2.1 PRŮMĚRNÉ CHARAKTERISTIKY SUSPENDOVANÝCH ČÁSTIC, PĚTILETÍ 2011 – 2015

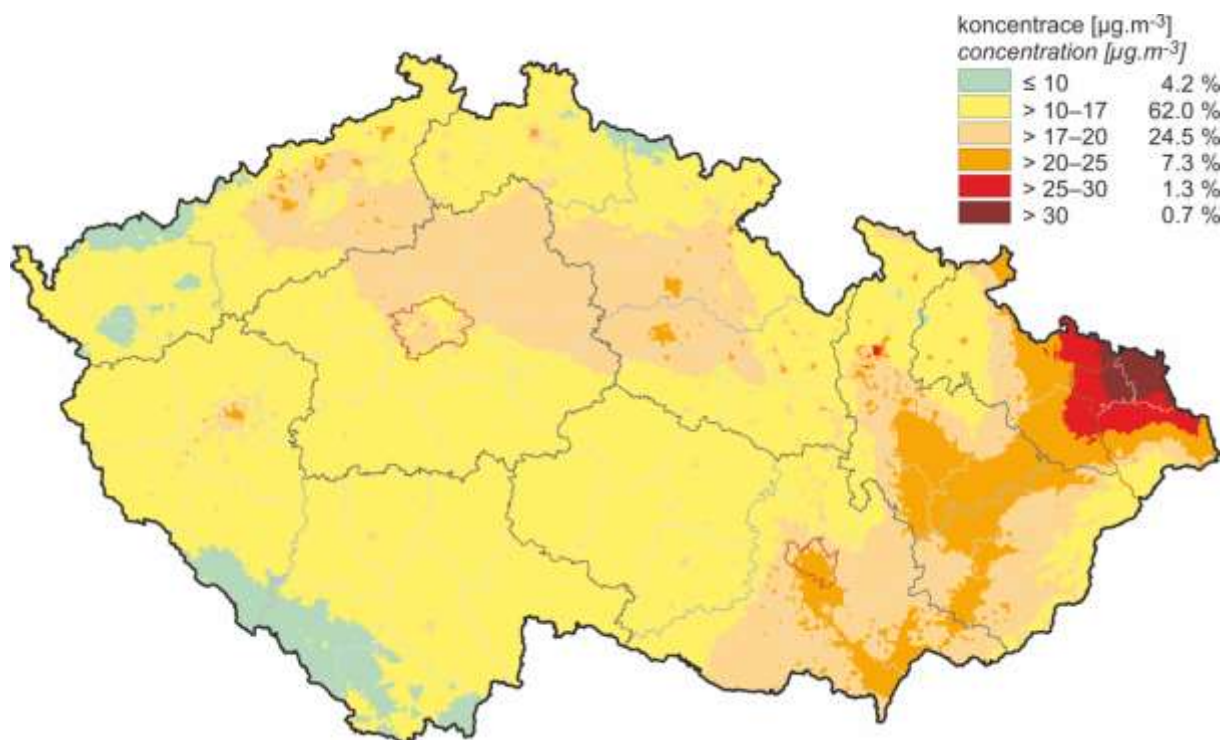
Z důvodu zejména meteorologické odlišnosti jednotlivých let mohou být naměřené koncentrace škodlivin v jednotlivých létech odlišné. Proto dle zákona o ochraně ovzduší [1], §11, odst. 5 a 6 připravuje ČHMÚ každoročně pětileté průměry jednotlivých charakteristik a výsledky zveřejňuje na svém portálu [5]. Poslední dostupné pětiletí je 2011 – 2015, proto budou využity výsledky v této studii právě z tohoto pětiletí. Pětiletí 2012 – 2016 bude dostupné na portálu ČHMÚ v druhé polovině roku 2017.

2.1.1 Situace v ČR

Roční nadlimitní koncentrace PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ zasahují dlouhodobě 0,5 %, resp. 2 % území ČR (Obr. 3 resp. Obr. 4). Jedná se především o území aglomerace O/K/F-M a části zóny Moravskoslezsko. Nadlimitní roční koncentrace PM_{10} se vyskytly téměř výhradně v aglomeraci O/K/F-M a nadlimitní roční koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ pouze ojediněle.



Obr. 3 – Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací PM_{10} , ČR, 2011 – 2015

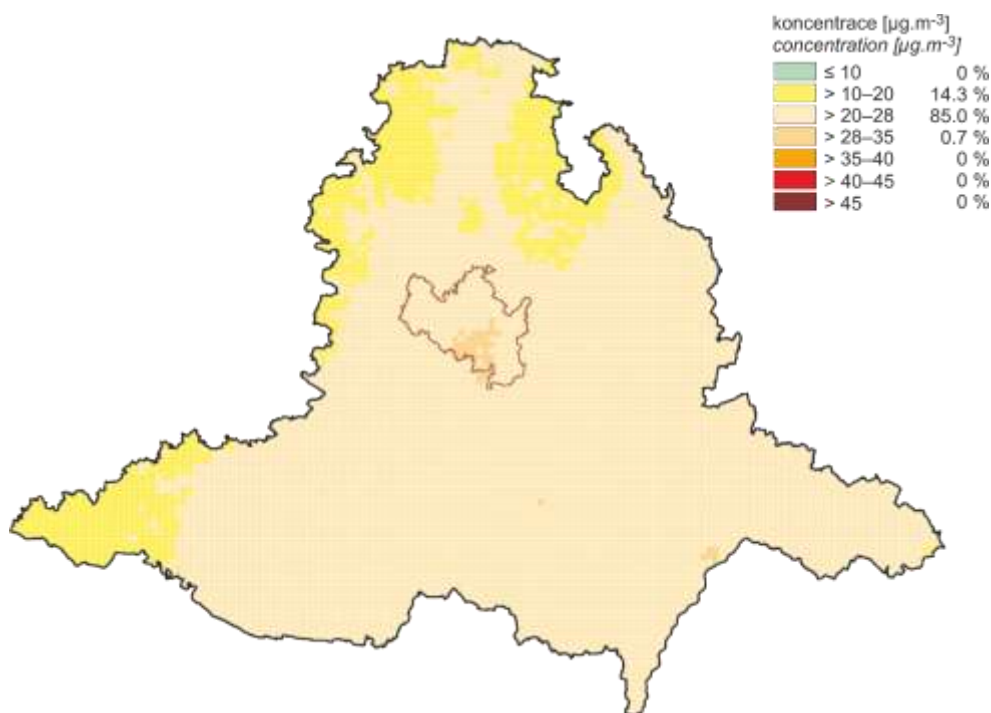


Obr. 4 – Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací $\text{PM}_{2.5}$, ČR, 2011 – 2015

2.1.2 Situace v Jihomoravském kraji

Již z map celé ČR je patrné, že z hlediska dlouhodobých koncentrací suspendovaných částic nejsou v Jihomoravském kraji závažnější problémy.

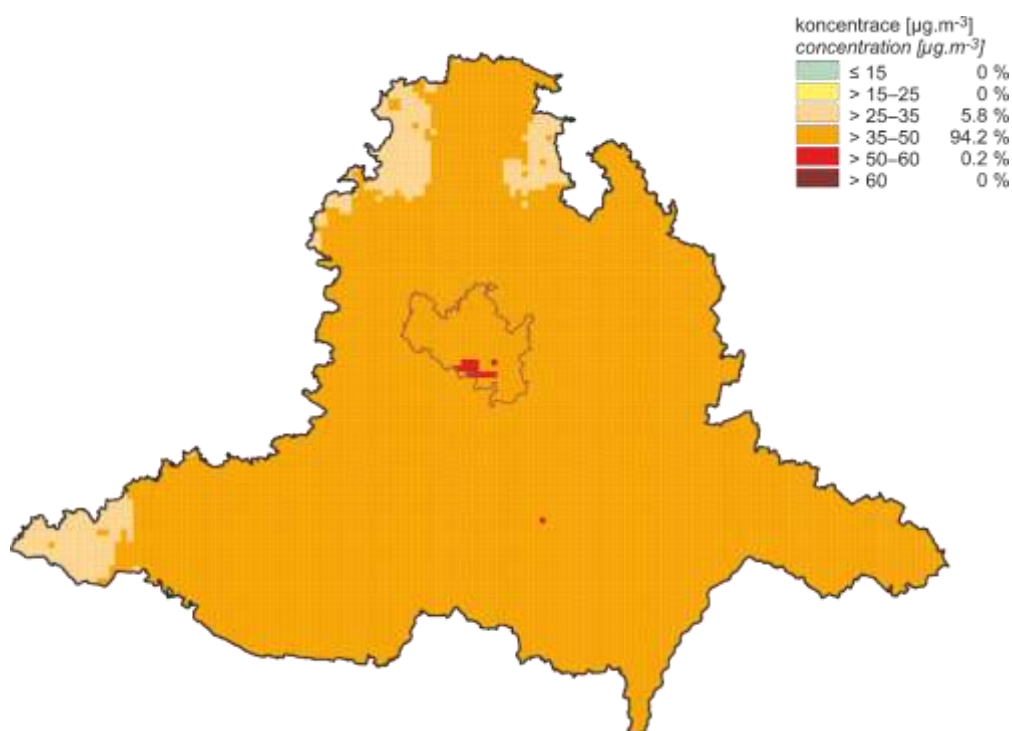
Z hlediska průměrných ročních koncentrací PM_{10} za období 2011 – 2015 vyplývá, že téměř veškeré území Jihomoravského kraje (99,3 %) leží pod horní mezí pro posuzování ($28 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), z toho necelých 15 % leží i pod dolní mezí pro posuzování ($20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Meze pro posuzování vychází z legislativy a určují, zda je nutné v daném regionu škodlivinu měřit, nebo postačuje modelování [6]. Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM_{10} není dlouhodobě v Jihomoravském kraji překračován (Obr. 5).



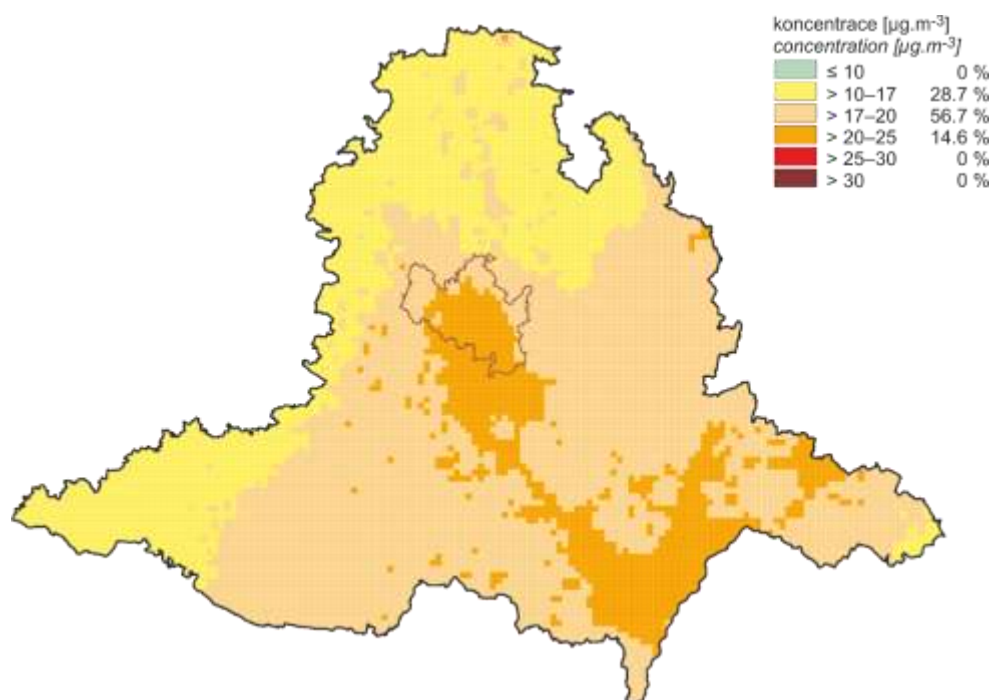
Obr. 5 – Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací PM_{10} , Jihomoravský kraj, 2011 – 2015

V případě 36. nejvyšší 24hodinové koncentrace leží prakticky celé území kraje nad horní mezí pro posuzování ($35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) ale pod hodnotou imisního limitu ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Necelých 6 % území kraje leží pod hodnotou horní meze pro posuzování, pouze 0,2 % území překračuje imisní limit (Obr. 6).

Mapa průměrných ročních koncentrací $PM_{2,5}$ zobrazuje, že necelých 30 % území Jihomoravského kraje leží pod hodnotou horní meze pro posuzování, zbytek kraje leží nad ní. Imisní limit však překročen není (Obr. 7). V roce 2020 však dojde ke změně imisního limitu pro $PM_{2,5}$ [7] na hodnotu $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. V mapě pětiletí uvedené na Obr. 7 je proto vyznačena i tato hranice. Pokud by byly v roce 2020 měřeny obdobné koncentrace, jako v pětiletí 2011 – 2015, docházelo by na 14,6 % území k překročení tohoto imisního limitu. V rámci ČR by pak plocha narostla z dosavadních 2 % na zhruba 9,5 %, přičemž největší nárůst území s překročením tohoto limitu by zaznamenalo celé území Moravy (Obr. 4).



Obr. 6 – Pětiletý průměr 36. nejvyšších 24hodinových koncentrací PM_{10} , Jihomoravský kraj, 2011 – 2015



Obr. 7 – Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací $\text{PM}_{2.5}$, Jihomoravský kraj, 2011 – 2015

2.2 VÝVOJ KONCENTRACÍ SUSPENDOVANÝCH ČÁSTIC, 2010 – 2016

V této kapitole budou vyhodnoceny koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5} ve vztahu k jednotlivým imisním limitům. Zahrnuty budou stanice státní sítě imisního monitoringu, které v období 2010 – 2016 naměřily dostatečný počet dat pro výpočet imisního limitu dle platné legislativy [1], [6].

2.2.1 Průměrné roční koncentrace PM₁₀

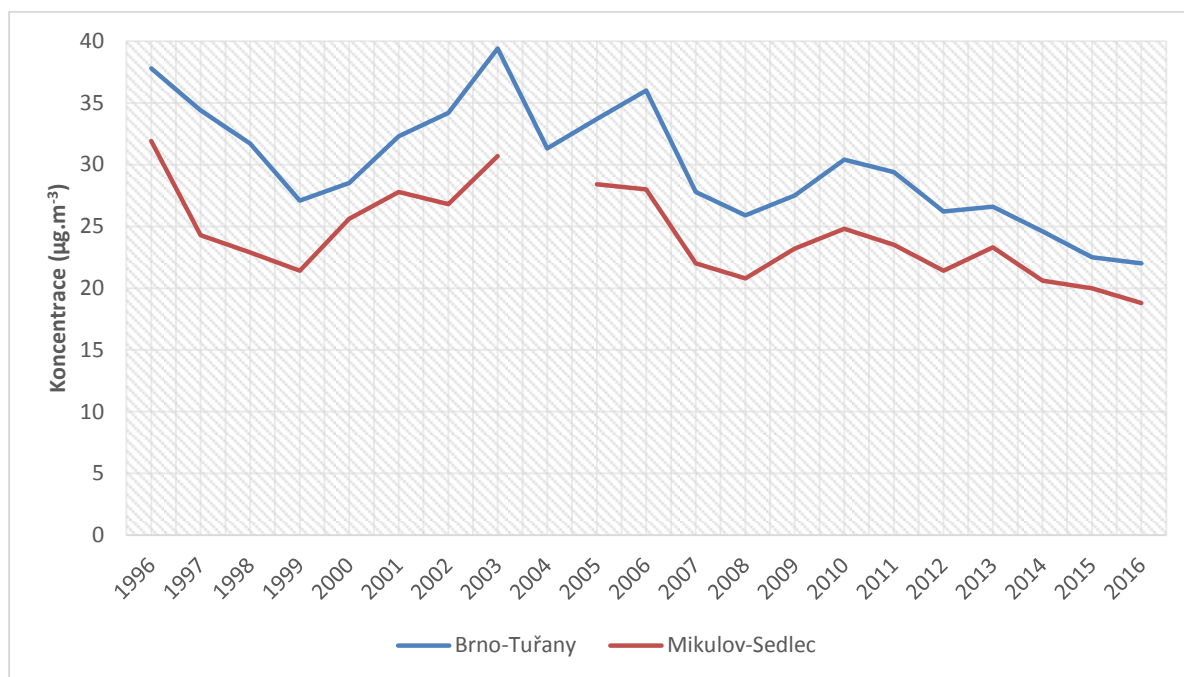
V následující Tab. 4 jsou uvedeny průměrné roční koncentrace na stanicích SSIM Jihomoravského kraje, které v daném roce naměřily dostatečný počet dat pro výpočet ročního průměru dle platné legislativy [1], [6].

Tab. 4 – Průměrné roční koncentrace PM₁₀ (μg·m⁻³), Jihomoravský kraj, 2010 – 2016

Lokalita	Eol	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Brno – Dětská nemocnice	B/U/RC					27,1	25,4	24,5
Brno-Arboretum	B/U/RN				30,6	24,4	26,8	24,6
Brno-Lány	B/S/RN	33	35,1	31,2		31,6	26,1	27,1
Brno-Svatoplukova	T/U/R	43,7	39,1	34,7		32,3	30,2	29,1
Brno-Výstaviště	T/U/C	36,2	38,1		29,7	28,8	27,4	24,8
Brno-Zvonařka	T/U/C	35,6	31,3	28,7		32,1	32,1	30,5
Brno-Masná	B/U/CR						24,4	23,3
Brno-Soběšice	B/S/R	22,9	24,1	21,2	21,6	20,5	21,8	21,2
Brno-Kroftova	T/U/R	27,7	29,6		25,3	23,9	25,6	23,9
Brno-Líšeň	B/U/R	27,1	27,3	24,2	22,4	27,7	24,5	21
Brno-Úvoz (hot spot)	T/U/R	34,5	30,7	30,3	27,2	29,1	27,1	23,8
Brno-Tuřany	B/S/R	30,4	29,4	26,2	26,6	24,6	22,5	22
Kuchařovice	B/U/R	24,7	23,6	22,1	22,5	22,6	21,4	19,8
Lovčice	B/R/A-NCI		24,7		25,3		24,5	22,2
Mikulov-Sedlec	B/R/A-REG	24,8	23,5	21,4	23,3	20,6	20	18,8
Sivice	B/R/I-NCI							23,1
Mokrá	B/R/R-NCI							23,2
Vyškov	B/S/RA	24,4	23,1	22			23,2	21
Znojmo	B/S/RN	27,7	26,6	23,8	23,1	23,6	22,4	19,9

Vysvětlivky: Pokud je hodnota vyvedena červeným písmem, došlo v daném roce a na dané lokalitě k překročení imisního limitu. Význam zkratk Eol je uveden v příloze 2 této studie.

Z Tab. 4 je patrné, že k překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci PM₁₀ došlo pouze jednou v lokalitě Brno – Svatoplukova. U všech lokalit je rovněž v roce 2016 patrný poměrně významný pokles proti roku 2010. Významný vliv na koncentrace mají meteorologické podmínky a dále pak postupné snižování emisí. Dobře je to patrné u stanic, které měří suspendované částice PM₁₀ již 20 let – Brno – Tuřany a Mikulov-Sedlec (Obr. 8).



Obr. 8 – Vývoj průměrných ročních koncentrací PM_{10} na stanicích SSIM Brno-Tuřany a Mikulov-Sedlec, 1996 – 2016

Z grafu na Obr. 8 je patrné, že až do roku 2000 koncentrace výrazněji klesaly. Bylo to období velkých investic v průmyslu a ekologizace největších zdrojů znečišťování ovzduší. Po roce 2000 došlo vlivem významného nárůstu ceny zemního plynu k návratu velké části domácností od tohoto ušlechtilého paliva zpět k pevným palivům. Rok 2003 se pak vyznačoval velmi suchým létem a zimou s nepříznivými rozptylovými podmínkami, koncentrace PM_{10} dosáhly v tomto roce v lokalitě Brno – Tuřany svého maxima, jen těsně nebyla překročena hodnota imisního limitu. Poté se již situace z hlediska lokálních topenišť stabilizovala, průměrné koncentrace PM_{10} nejvíce ovlivňovaly meteorologické podmínky, které nejvíce ovlivňují koncentrace PM_{10} v chladné části roku. Zima 2005/2006 s dlouhými epizodami počasí s teplotními inverzemi a nepříznivými rozptylovými podmínkami se podepsala na zvýšených koncentracích PM_{10} . Podobně tomu bylo i v roce 2010, kdy byla nejdelší topná sezóna po roce 2000. Průměrné roční koncentrace však mají neustále klesající trend. V případě lokality Brno – Tuřany tak došlo za posledních 20 let k poklesu průměrných ročních koncentrací z $37,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na $22 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, hodnoty se tedy pohybují zhruba na 58 % hodnot před 20 lety.

Pokles lze sledovat i posledních 7 letech uvedených v Tab. 4. Průměrné roční koncentrace PM_{10} na stanici Brno – Svatoplukova se v roce 2016 pohybuje na zhruba 67 % hodnot v roce 2010, Brno – Úvoz na zhruba 69 %. Brno – Zvonařka poklesla koncentracemi PM_{10} na zhruba 86 % hodnot v roce 2010, a to přesto, že je v současnosti významně ovlivněna okolními stavebními pracemi. Lokalita Brno-Soběšice, která je z hlediska Brna nejčistší poklesla pouze na cca 93 % hodnot v roce 2010. Regionální pozadová lokalita Mikulov – Sedlec, která je brána jako neovlivněná stanice popisující neovlivněné pozadí koncentrací v Jihomoravském kraji pak proti roku 2010 poklesla na 76 % hodnot koncentrací PM_{10} .

Neovlivněná stanice Mikulov – Sedlec naměřila v roce 2016 průměrnou roční koncentraci PM_{10} $18,8 \mu g \cdot m^{-3}$. Lze tedy konstatovat, že se jedná o hodnotu lokálně neovlivněného pozadí Jihomoravského kraje. Nejzatíženější dopravní lokality Brno – Zvonařka a Brno – Svatoplukova naměřily v roce 2016 hodnoty $29,1 \mu g \cdot m^{-3}$ resp. $30,5 \mu g \cdot m^{-3}$. **Hodnota regionálního pozadí v těchto nejzatíženějších lokalitách tvoří 62 resp. 64 % průměrné roční koncentrace PM_{10} .** Veškeré městské zatížení (život obyvatel, doprava, průmysl, lokální topeniště) tak tvoří 10 – 11 $\mu g \cdot m^{-3}$, což je zhruba 36 – 38 %.

I v průměrných ročních koncentracích se může odrazit vliv lokálních topenišť, která jsou „v provozu“ pouze v chladné části roku. V roce 2016 naměřila stanice v obci Lovčice (800 obyvatel, lokální topeniště) vyšší průměrnou roční koncentraci PM_{10} , než např. lokalita Brno – Líšeň, která leží v areálu ZŠ Horníkova s výhledem na Brno, zhruba 60 m od stanice vede ulice Jedovnická (cca 10 tis vozidel denně). Nižší hodnotu, než stanice Lovčice, naměřily i další brněnské lokality (Brno-Soběšice, Brno-Tuřany), jen mírně vyšší hodnoty (do $3 \mu g \cdot m^{-3}$) pak měřily i lokality v centru Brna (Brno-Masná, Brno-Úvoz, Brno – Kroftova, Brno – Dětská nemocnice, Brno – Arboretum a Brno – Výstaviště).

Z dopravních stanic postavených v blízkosti městského okruhu (Brno – Výstaviště, Brno – Zvonařka a Brno – Svatoplukova) jsou v případě lokality Brno-Výstaviště měřeny výrazně nižší průměrné roční koncentrace PM_{10} než v případě zbylých dvou lokalit, a to přesto, že všechny stojí v rovném terénu a v jejich blízkosti po VMO projíždí přibližně stejný počet vozidel. Významný rozdíl je v tom, že v blízkosti lokality Výstaviště je mimoúrovňové křížení, které zajišťuje poměrně plynulý provoz v lokalitě. Kolony kvůli snížení počtu pruhů do Pisárecké ulice zpravidla až ke stanici nedosahují. Naproti tomu v případě zbylých lokalit jsou v blízkosti rušné křižovatky. Provoz v blízkosti není plynulý, výrazně tak rostou emise z otěrů (vozovky, brzdového obložení, pneumatik). Rovněž stání na volnoběh a neustálé rozjíždění zvyšuje emise z výfuků vozidel [8].

Vzhledem k tomu, že by grafické znázornění všech stanic nebylo přehledné, byly stanice seskupeny podle typu stanice (dopravní / pozadová) a pozadové stanice byly dále rozděleny podle typu zóny na městské, předměstské a venkovské (Tab. 5).

Tab. 5 – Rozdělení stanic státní sítě imisního monitoringu dle typu lokality

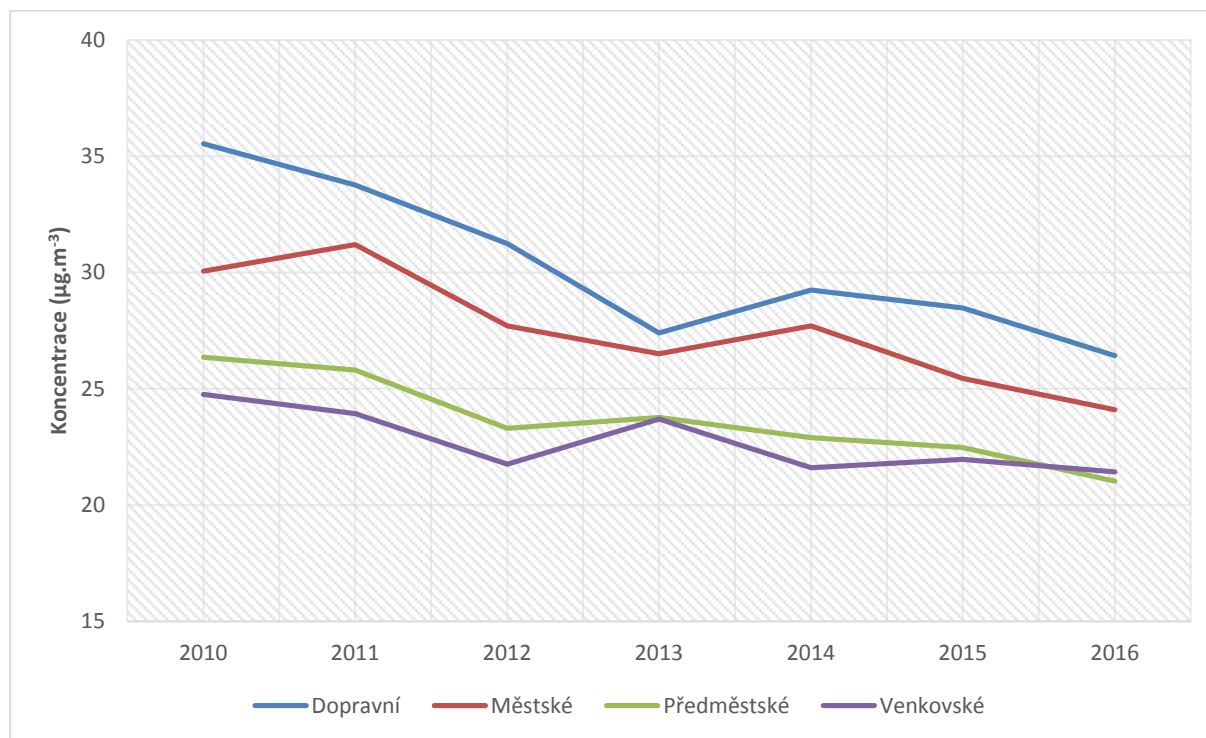
Typ lokality	Stanice
Dopravní lokality	Brno-Svatoplukova, Brno-Výstaviště, Brno-Zvonařka, Brno-Kroftova, Brno-Úvoz (hot-spot)
Městské pozadové lokality	Brno-Dětská nemocnice, Brno-Arboretum, Brno-Lány, Brno-Masná, Brno-Líšeň
Předměstské pozadové lokality	Brno-Soběšice, Brno-Tuřany, Vyškov, Znojmo
Venkovské lokality	Kuchařovice, Lovčice, Mikulov-Sedlec, Sívce, Mokrá

V dalším textu a zejména v grafech bude používáno pro jednotlivé typy lokalit zkráceného termínu „dopravní“, „městské“, „předměstské“ a „venkovské“.

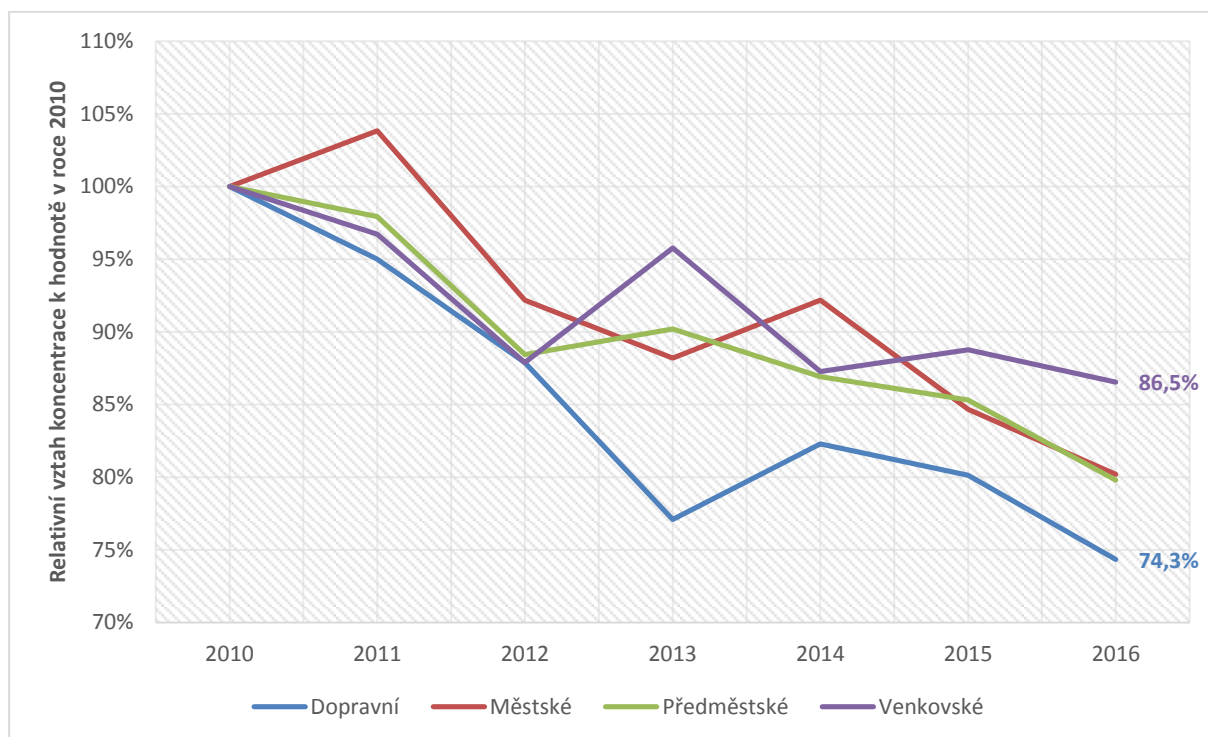
Pro tyto typy lokalit pak byly vypočteny průměrné hodnoty za uvedený rok (Tab. 6 a Obr. 9).

Tab. 6 – Průměrné roční koncentrace PM_{10} na jednotlivých typech lokalit (průměr)

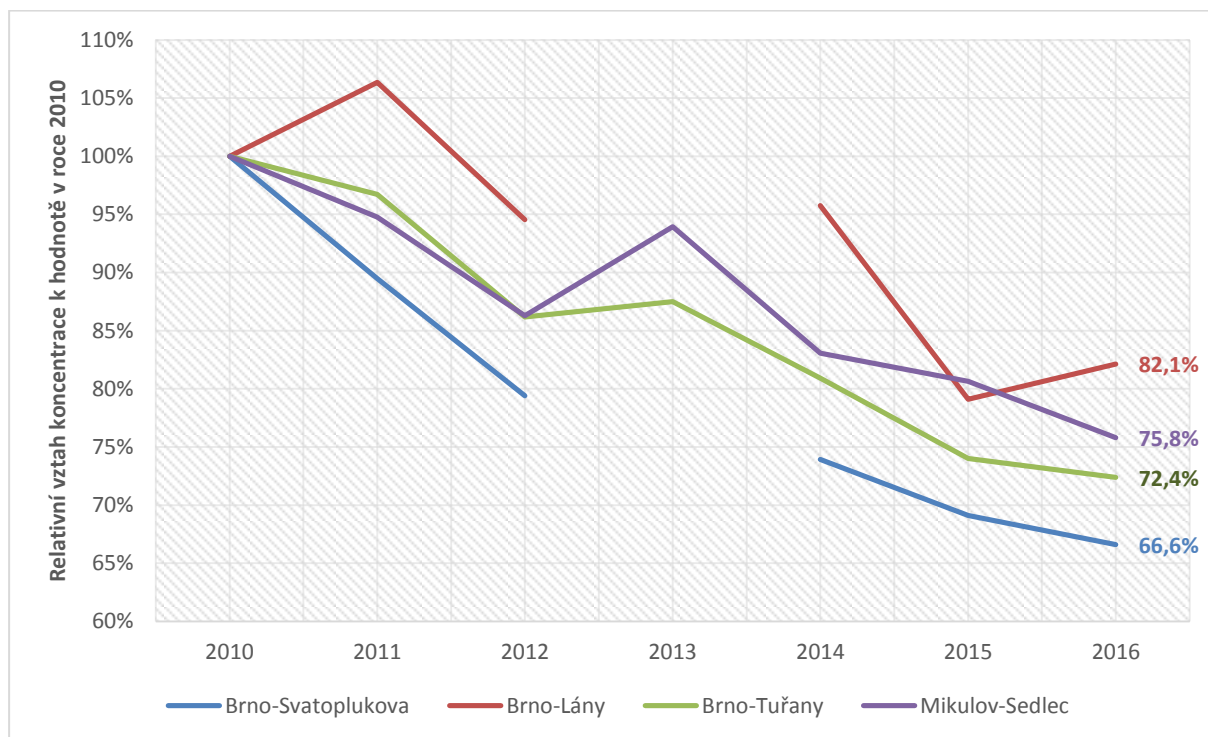
Typ lokality	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Dopravní lokality	35,5	33,8	31,2	27,4	29,2	28,5	26,4
Městské lokality	30,1	31,2	27,7	26,5	27,7	25,4	24,1
Předměstské lokality	26,4	25,8	23,3	23,8	22,9	22,5	21,0
Venkovské lokality	24,8	23,9	21,8	23,7	21,6	22,0	21,4

Obr. 9 – Průměrné roční koncentrace PM_{10} na jednotlivých typech lokalit (průměr)

Z grafu na Obr. 9 je patrné, že všechny typy lokalit mají klesající trend. Nejvýraznější pokles zaznamenaly dopravní lokality, když se v roce 2016 pohybovaly na zhruba 74 % koncentrací v roce 2010. Naopak nejnižší pokles zaznamenaly venkovské lokality (Obr. 10). Avšak vzhledem k tomu, že ne všechny lokality dosáhly ve všech letech ročního průměru, mohly být zprůměrované hodnoty dle typů lokalit ovlivněny počtem hodnot vstupujícím do průměrování. Proto byly vybrány 4 lokality (od každého typu lokality jeden zástupce), který bude daný typ zastupovat. Z dopravních lokalit byla vybrána lokalita s dlouhodobě nejvyššími koncentracemi škodlivin **Brno-Svatoplukova**, z městských pozadových lokalit **Brno – Lány**, z předměstských lokalit **Brno – Tuřany** a z venkovských pak regionální pozadová stanice **Mikulov – Sedlec**. Celkový přehled měřených charakteristik u vybraných lokalit je uveden v příloze 3. Relativní srovnání průměrných ročních koncentrací těchto čtyř stanic ve vztahu k hodnotám naměřeným v roce 2010 uvádí graf na Obr. 11.



Obr. 10 – Relativní vyjádření průměrných ročních koncentrací PM_{10} ve vztahu k roku 2010 na jednotlivých typech stanic, rok 2010 = 100 %



Obr. 11 – Relativní vyjádření průměrných ročních koncentrací PM_{10} ve vztahu k roku 2010 na vybraných stanicích SSIM, rok 2010 = 100 %

Z grafu na Obr. 11 je patrné, že nejvyšší pokles koncentrací byl zaznamenán na dopravní lokalitě Brno – Svatoplukova. Velmi podobný trend mají venkovská lokalita Mikulov – Sedlec a předměstská lokalita Brno – Tuřany. Trochu nevypočítavý chod pak má lokalita Brno – Lány, kde dochází asi k největší oscilaci koncentrací. Stanice Brno – Svatoplukova a Brno – Lány nemají v roce 2013 platný roční průměr – prachoměry byly poslány na kalibraci k výrobci do Německa, což znamenalo výpadek dat delší, než povoluje platná legislativa [1], [6].

2.2.2 24hodinové koncentrace PM_{10} a vztah k imisnímu limitu

2.2.2.1 24hodinové koncentrace PM_{10}

Do hodnocení denních koncentrací byl použit i rok 2013 ze stanic Brno – Svatoplukova a Brno – Lány, přestože nebylo dosaženo dostatečného počtu dat pro výpočet průměrné roční koncentrace PM_{10} dle platné legislativy [1], [6]. Důvodem nedostatku dat byly kalibrace přístroje u výrobce v Německu. Ta probíhala správně v letních měsících (viz. výtěžnost dat v celkovém přehledu vybraných stanic znázorněné červenou barvou na modré časové ose, příloha 3), tudíž charakteristika dnů s nejvyššími koncentracemi nebyla ovlivněna – dny s překročenou hodnotou imisního limitu pro 24hodinovou koncentraci PM_{10} se vyskytují takřka výhradně v chladné části roku.

Statistické zpracování 24hodinových koncentrací PM_{10} na jednotlivých lokalitách zobrazuje krabicový graf na Obr. 12. Je na něm zobrazen medián, 25. až 75. percentil (box neboli krabice) a 5. až 95. percentil (whisker neboli vous). Zpracování je provedeno pro celé období 2010 – 2016 (až 2557 hodnot).

Z grafu je patrné, že z hlediska mediánu 24hodinových koncentrací dosahuje nejvyšších hodnot lokalita Brno – Svatoplukova ($31 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Hodnoty mediánu v lokalitách Brno – Zvonařka a Brno – Výstaviště jsou již významně nižší ($28 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Nejnižší hodnoty pak dosahuje medián v lokalitě Mikulov – Sedlec ($17,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Velmi nízké hodnoty mediánu 24hodinových koncentrací PM_{10} dále vykazují lokality Brno-Soběšice ($18 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), Vyškov ($18 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), či lokalita Sivice umístěná v areálu Cementárny Mokrá ($18,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, pouze 2 roky dat).

Ze srovnání mediánů 24hodinových koncentrací PM_{10} také vyplývá, že medián koncentrací neovlivněné stanice Mikulov – Sedlec, reprezentující regionální pozadí Jihomoravského kraje, tvoří necelých 60 % mediánu denních koncentrací stanice Brno – Svatoplukova, v případě stanic Brno – Zvonařka či Brno – Výstaviště je to ještě více. Veškeré městské zatížení (život obyvatel, doprava, průmysl, lokální topeniště) tak tvoří z hlediska mediánu 24hodinových koncentrací PM_{10} 10 – 13 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což je zhruba 36 – 42 %.

Z grafu je rovněž patrné, že 75. percentil 24hodinových koncentrací PM_{10} v období 2010 – 2016 (75 % všech naměřených dat) se pohybuje do $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Brno – Svatoplukova), resp. $42,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Brno – Zvonařka). V případě ostatních lokalit je již 75. percentil 24hodinových koncentrací nižší než $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejnižší hodnota 75. percentilu je měřeno opět v regionální pozadové lokalitě Mikulov – Sedlec a má hodnotu $27,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (60 % hodnoty stanice Brno – Svatoplukova).

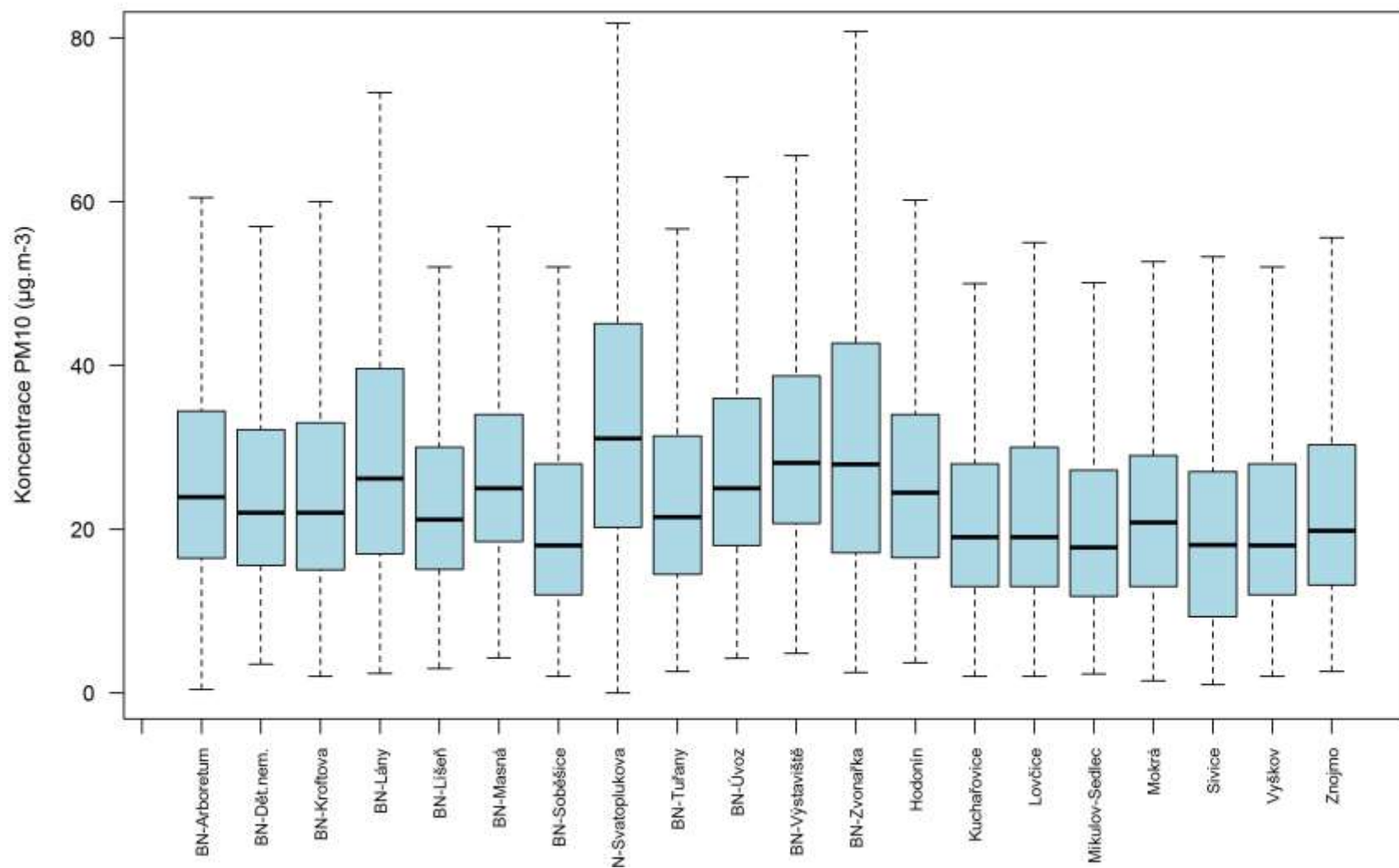
Whisker (vous), reprezentující 95. percentil (95 % naměřených 24hodinových průměrů za období 2010 – 2016) mírně přesahuje $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pouze v lokalitách Brno – Svatoplukova a Brno – Zvonařka ($81,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ resp. $80,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Z uvedeného vyplývá, že v těchto lokalitách bylo za období 2010 –

2016 naměřeno 5 % dní s koncentracemi vyššími než $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Vyšší 95. percentil je měřen ještě v lokalitě Brno – Lány ($73,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), u všech ostatních lokalit je již tato charakteristika výrazně nižší, pohybující se v okolí $60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejnižší hodnota ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) je měřena v lokalitách Mikulov – Sedlec a Kuchařovice.

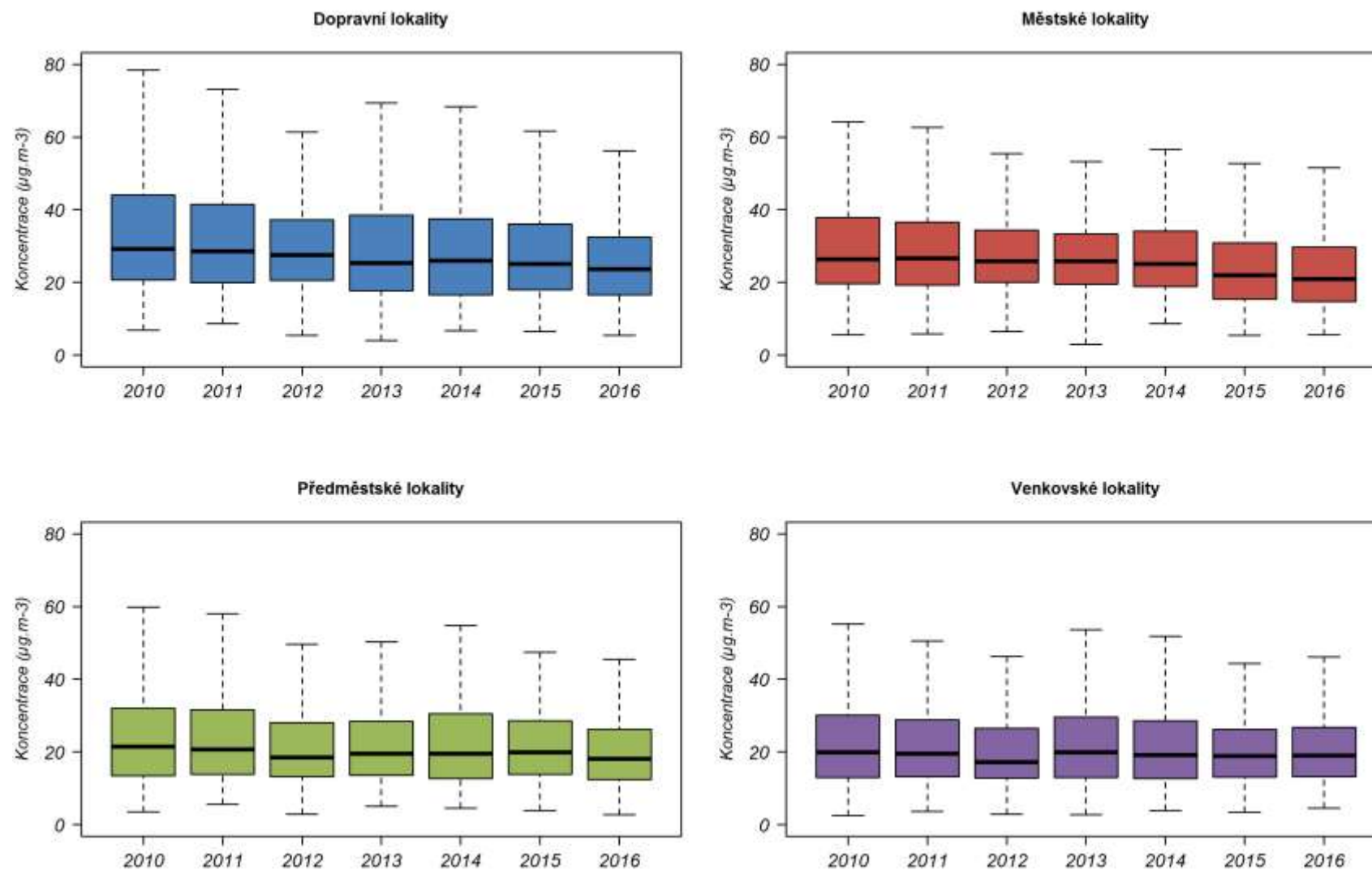
Krabicové grafy se statistickým zpracováním 24hodinových koncentrací PM_{10} byly zpracovány i pro jednotlivé typy lokalit (dopravní, městské, předměstské a venkovské, viz. předchozí kapitola) a dále také pro vybrané lokality (Brno-Svatoplukova, Brno-Lány, Brno-Tuřany, Mikulov-Sedlec – viz. předchozí kapitola). Grafy byly navíc rozděleny dle kalendářních roků (Obr. 13, Obr. 14).

Ze všech grafů je patrný klesající trend koncentrací ve všech statistických ukazatelích, souvislý trend je mírně narušen rokem 2013, ve kterém proti roku 2012 koncentrace mírně vzrostly. Zřetelnější sestupný trend je u dopravních a městských lokalit (Obr. 13), nejlépe je vidět na stanici Brno – Svatoplukova (Obr. 14), kde došlo k poklesu mediánu hodnot 24hodinových koncentrací PM_{10} z $38 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na $26,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (pokles na 70 % hodnot v roce 2010). Obdobně v Brně – Tuřanech došlo k poklesu z $24 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na $17,65 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (pokles na 74 %). V případě lokality Mikulov – Sedlec došlo k poklesu z $19,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na $15,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (pokles na 80 %). K nejnižšímu poklesu došlo v lokalitě Brno – Lány, z $27,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na $23,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (pokles na 87 %).

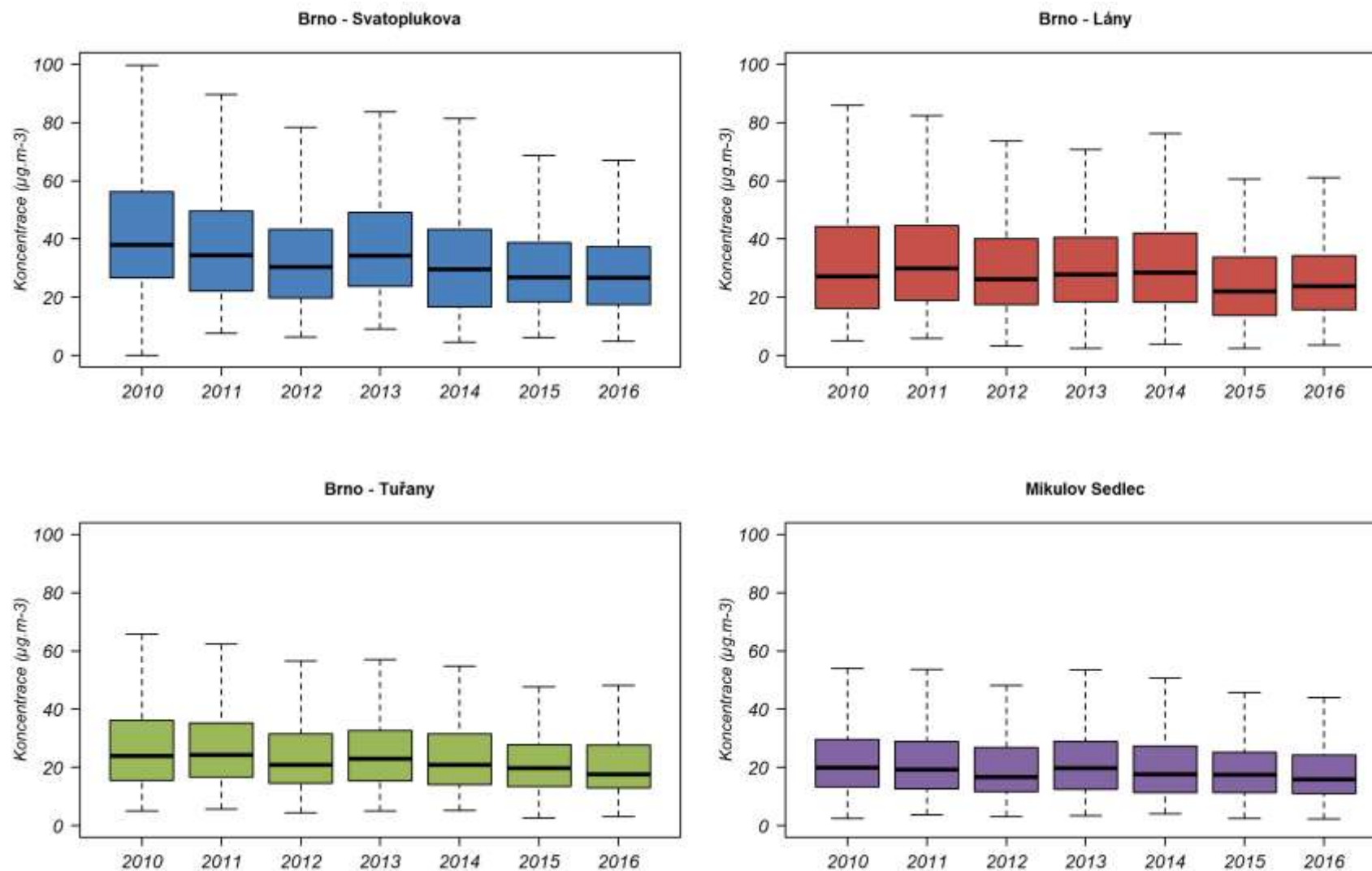
Krabicový graf na Obr. 15 pak zobrazuje statistické zpracování výskytu 24hodinových koncentrací PM_{10} v jednotlivých měsících za období 2010 – 2016. Z obrázku je patrné, že na všech typech lokalit jsou nejvyšší koncentrace měřeny v zimních měsících, naopak v letních jsou nejnižší.



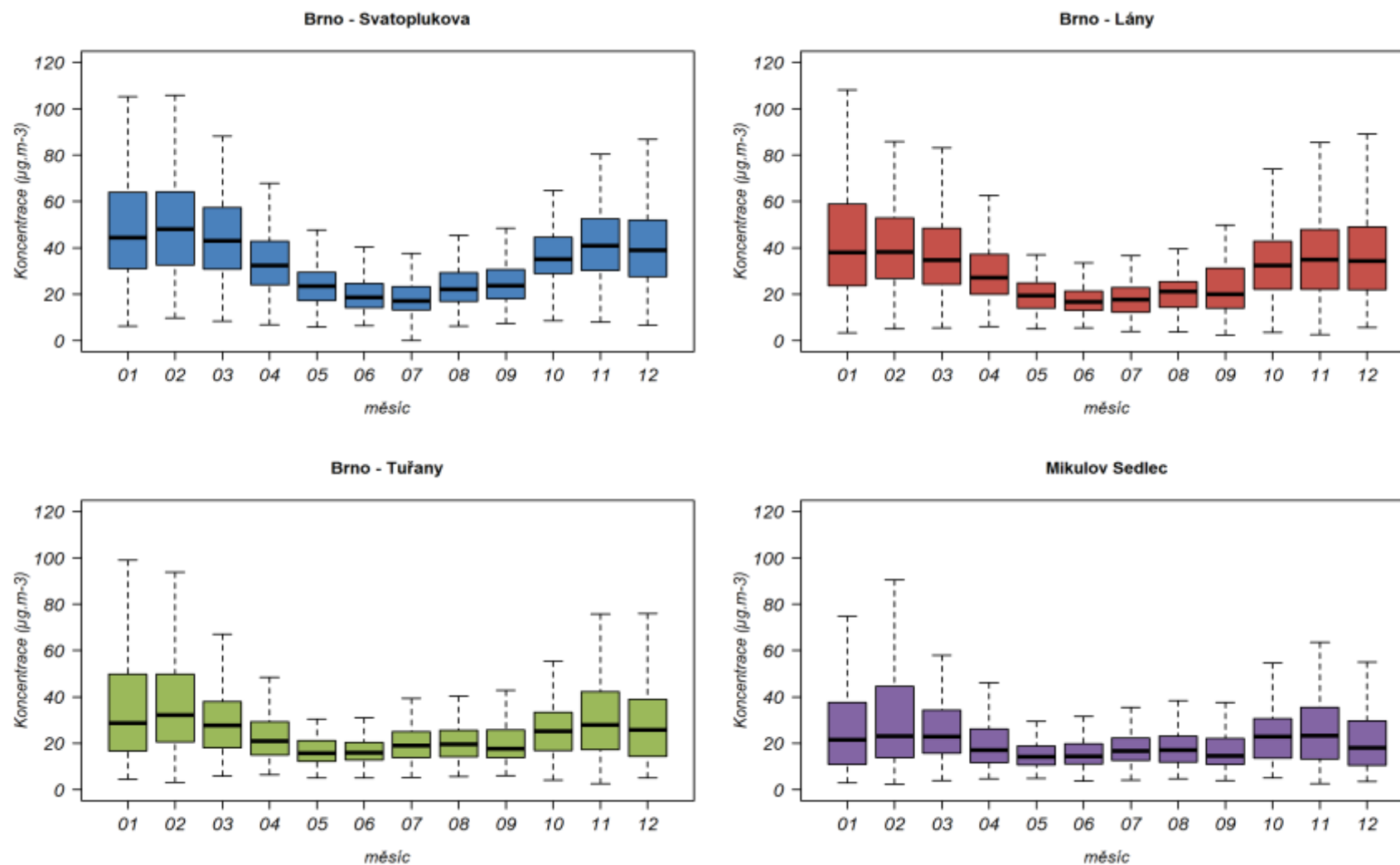
Obr. 12 – Statistické zpracování 24hodinových koncentrací PM₁₀ na jednotlivých stanicích SSIM v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)



Obr. 13 – Statistické zpracování 24hodinových koncentrací PM_{10} na jednotlivých typech stanic SSIM v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016, členěné dle jednotlivých roků, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)



Obr. 14 – Statistické zpracování 24hodinových koncentrací PM_{10} na vybraných stanicích SSIM v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016, členěné dle jednotlivých roků, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)



Obr. 15 – Statistické zpracování 24hodinových koncentrací PM₁₀ na vybraných stanicích SSIM v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016, členěné dle jednotlivých měsíců (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)

2.2.2.2 Vztah 24hodinových koncentrací k imisnímu limitu

V případě denního imisního limitu pro PM₁₀ je sledována 36. nejvyšší průměrná denní koncentrace (imisní limit má hodnotu 50 µg·m⁻³) nebo počet dní s průměrnými denními koncentracemi PM₁₀ > 50 µg·m⁻³ za kalendářní rok (legislativa povoluje nejvýše 35 překročení).

Tab. 7 – 36. nejvyšší 24hodinová koncentrace PM₁₀ (µg·m⁻³), Jihomoravský kraj, 2010 – 2016

Lokalita	Eol	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Brno – Dětská nemocnice	B/U/RC					47,9	41,8	45,4
Brno-Arboretum	B/U/RN				49,4	43,6	45,4	43,7
Brno-Lány	B/S/RN	60,4	67,5	53,5	52,1	54,1	47,3	49,7
Brno-Svatoplukova	T/U/R	73,2	71,9	58,2	60,7	57,4	49,5	51,7
Brno-Výstaviště	T/U/C	60,2	62,8	50,6	46,2	49,6	46,1	41,3
Brno-Zvonařka	T/U/C	67,3	61,8	54,7	62,5	55,8	54,3	51,6
Brno-Masná	B/U/CR						39,6	41,6
Brno-Soběšice	B/S/R	44	48	38	37	38	37	37
Brno-Kroftova	T/U/R	53	56	46	45	45	43	45
Brno-Líšeň	B/U/R							35,5
Brno-Úvoz (hot spot)	T/U/R	57	56	50	45	48	43,8	41,3
Brno-Tuřany	B/S/R	56,4	56,5	47,5	47,2	44	38	40,6
Kuchařovice	B/U/R	47	46	39	42	42	34	34
Lovčice	B/R/A-NCI	50	45	29	45	37	44	43
Mikulov-Sedlec	B/R/A-REG	47,4	45,2	40,7	42,1	37,6	37,1	34,7
Sivice	B/R/I-NCI						33,1	39,5
Mokrá	B/R/R-NCI						35,7	43,1
Vyškov	B/S/RA	50	50	41	43	39	40	39
Znojmo	B/S/RN	55,4	51,9	43,3	42,4	43,9	39,6	36,5

Vysvětlivky: Pokud je hodnota vyvedena červeným písmem, došlo v daném roce a na dané lokalitě k překročení imisního limitu. Význam zkratk Eol je uveden v příloze 2 této studie.

Podobně jako v případě průměrné roční koncentrace PM₁₀, i v případě denních koncentrací, resp. počtu dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro 24hodinovou koncentraci PM₁₀ je patrný klesající trend od roku 2010 k roku 2016. Dlouhodobější překračování imisního limitu lze pozorovat především u nejzatíženějších dopravních stanic Brno – Svatoplukova a Brno – Zvonařka, avšak významné je také překračování imisního limitu v lokalitě Brno – Lány. V případě dalších lokalit hraje významnou roli meteorologická situace v chladné části roku, zejména pak dny s teplotní inverzí, nízké teploty, délka topné sezóny. Ve sledovaném období se délkou topné sezóny vymykal rok 2010, v roce 2011 pak byly v zimě zaznamenány delší epizody s inverzním charakterem počasí a teplotními inverzemi. To se odrazilo na překročení imisního limitu i na některých dalších lokalitách, jako jsou Brno – Kroftova, Brno – Tuřany či Znojmo. Na venkovských lokalitách k překročení imisního limitu nedochází, podobně jsou na tom i některé předměstské lokality, jako je Vyškov či Brno – Soběšice.

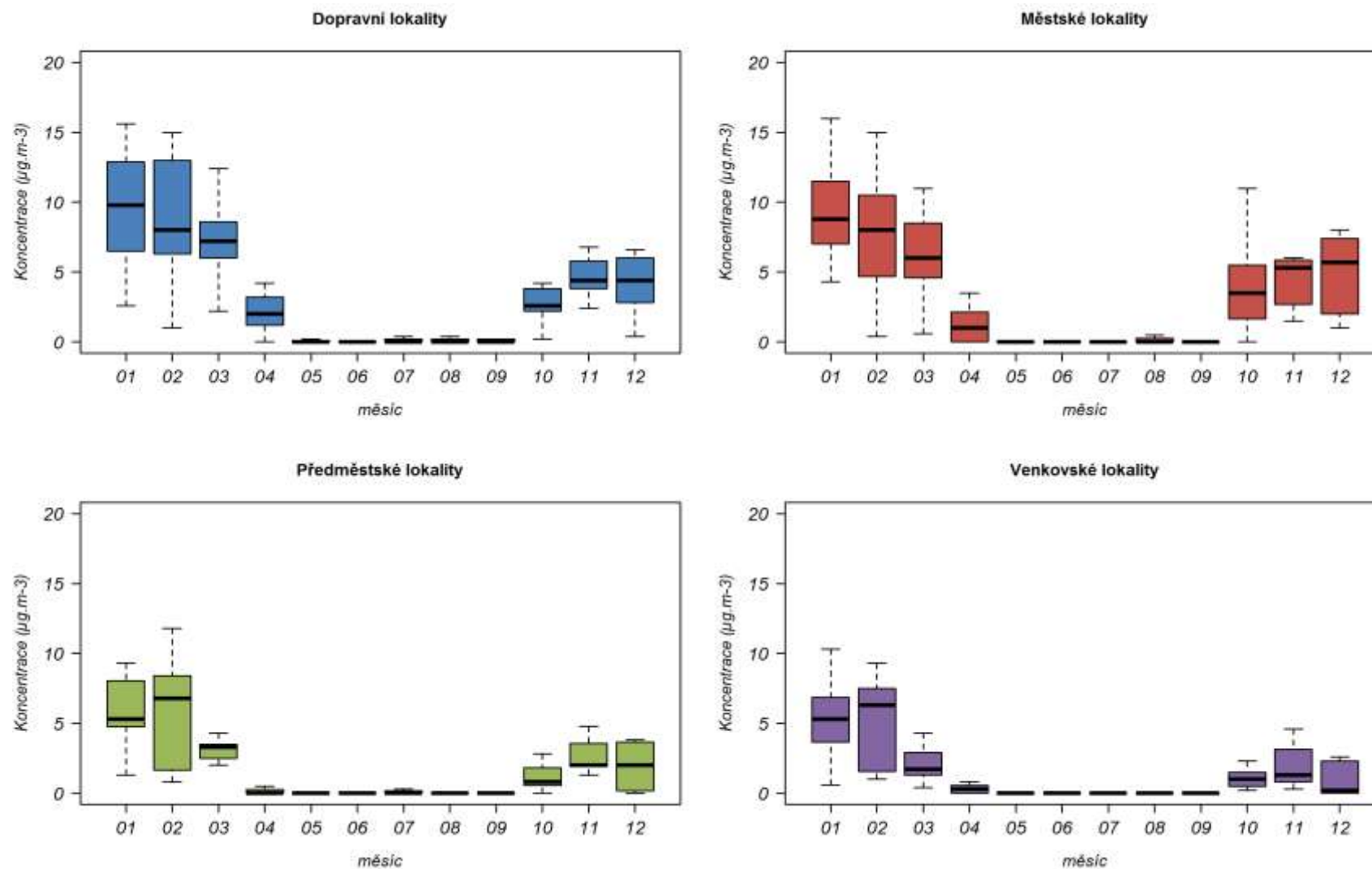
Tab. 8 – Počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro 24hodinovou koncentraci PM_{10} , Jihomoravský kraj, 2010 – 2016

Lokalita	Eol	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Brno – Dětská nemocnice	B/U/RC					26	21	25
Brno-Arboretum	B/U/RN				34	20	25	20
Brno-Lány	B/S/RN	64	65	45	41	51	33	30
Brno-Svatoplukova	T/U/R	104	85	56	72	62	32	38
Brno-Výstaviště	T/U/C	68	61	37	26	34	23	18
Brno-Zvonařka	T/U/C	75	59	44	69	54	46	40
Brno-Masná	B/U/CR						13	15
Brno-Soběšice	B/S/R	24	31	17	12	12	10	12
Brno-Kroftova	T/U/R	45	43	26	22	18	16	23
Brno-Líšeň	B/U/R							8
Brno-Úvoz (hot spot)	T/U/R	59	45	33	19	31	19	13
Brno-Tuřany	B/S/R	51	46	29	32	19	12	17
Kuchařovice	B/U/R	26	29	17	17	17	7	3
Lovčice	B/R/A-NCI	34	29	8	24	16	18	24
Mikulov-Sedlec	B/R/A-REG	31	29	18	20	12	8	3
Sivice	B/R/I-NCI						8	13
Mokrá	B/R/R-NCI						10	20
Vyškov	B/S/RA	35	34	23	23	13	12	15
Znojmo	B/S/RN	48	40	22	22	21	13	9

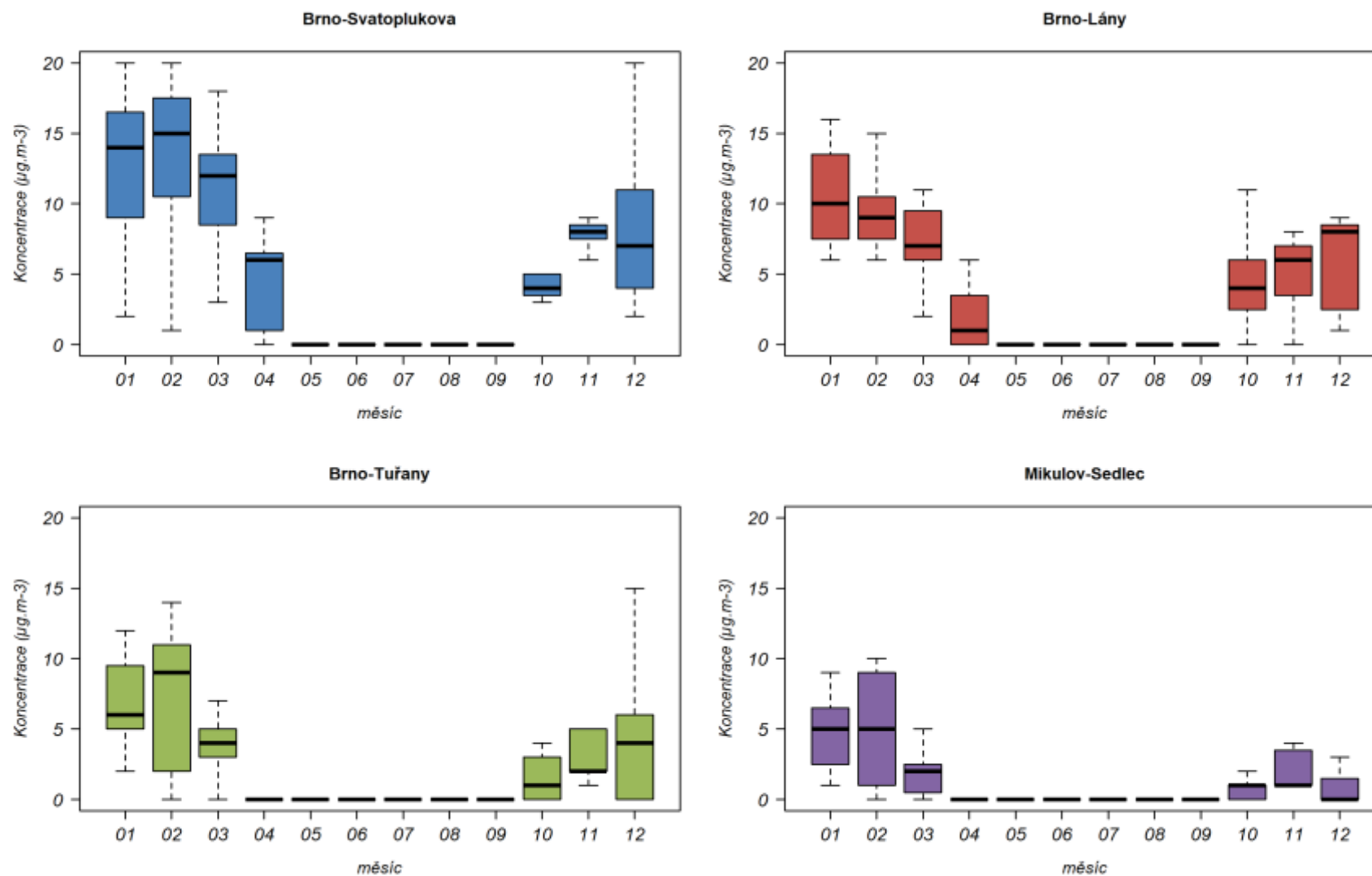
Vysvětlivky: Pokud je hodnota vyvedena červeným písmem, došlo v daném roce a na dané lokalitě k překročení imisního limitu. Význam zkratk Eol je uveden v příloze 2 této studie.

Kromě samotného počtu dní s překročením hodnoty imisního limitu za kalendářní rok je důležitá i distribuce těchto dní v jednotlivých měsících. Vyhodnocení bylo opět provedeno pomocí krabicových grafů, a to jak pro jednotlivé typy stanic, tak pro vybrané 4 zástupce stanic (Obr. 16 a Obr. 17).

Již při pohledu na statistiku počtu dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro 24hodinovou koncentraci PM_{10} dle jednotlivých měsíců a typu stanic (Obr. 16) je patrné, že od května do září k překračování nedochází. V dubnu jsou zaznamenána překročení na městských a dopravních lokalitách, ovšem pouze v malé míře. Ovšem většina všech překročení hodnoty imisního limitu pro 24hodinovou koncentraci PM_{10} je zaznamenána v chladné části roku. Tato rozpolcenost je způsobena zejména dvěma faktory. Prvním jsou **lokální topeniště** – vytápění domácností. Tyto zdroje jsou v provozu pouze v chladné části roku a plošně zvedají koncentrace PM_{10} a $PM_{2,5}$ v ovzduší. Dle emisní bilance Jihomoravského kraje jsou v topné sezóně lokální topeniště nejvýznamnějším zdrojem PM v ovzduší, obdobně je tomu v celé ČR (viz. kapitola 2.4). Druhým významným faktorem jsou **meteorologické podmínky**. Chladná část roku je náchylnější k teplotním inverzím, a tedy ke zhoršeným rozptylovým podmínkám [9]. Velmi nízké teploty pak vedou k intenzivnějšímu topení, a tudíž posilování prvního faktoru – lokálních topenišť. **Počet překročení hodnoty imisního limitu pro 24hodinovou koncentraci PM_{10} v jednotlivých letech velmi závisí na meteorologických podmínkách a v návaznosti na ně se může rok od roku významně lišit [2].**



Obr. 16 – Statistika počtu dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro 24hodinovou koncentraci PM₁₀ dle jednotlivých měsíců a typu stanic, Jihomoravský kraj, 2010 – 2016, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)



Obr. 17 – Statistika počtu dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro 24hodinovou koncentraci PM_{10} dle jednotlivých měsíců a vybraných stanic, Jihomoravský kraj, 2010 – 2016, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)

Obdobně jako v případě rozdělení dle typu lokalit jsou zaznamenána překročení hodnoty imisního limitu pro 24hodinovou koncentraci PM_{10} i pro vybrané zástupce stanic Jihomoravského kraje (Obr. 17). Od května do září na žádné z lokalit k překračování nedochází, v dubnu jsou zaznamenány překročení hodnoty imisního limitu pouze na městských a dopravních lokalitách. Nejvyšších počtů překročení je pak dosahováno v lednu a únoru. Jedná se o nejchladnější měsíce a je v nich rovněž zaznamenán vyšší výskyt dlouhých epizod s inverzním charakterem počasí.

Pro hodnocení kvality ovzduší z hlediska překročení imisního limitu pro 24hodinovou koncentraci PM_{10} je tedy zcela zásadní chladná část roku, konkrétně topná sezóna a meteorologické podmínky během topné sezóny. Zatímco ostatní zdroje přispívají ke znečištění ovzduší celoročně, lokální topeniště pouze v topné sezóně a významně tak přispívají ke zvýšeným koncentracím PM_{10} a $PM_{2,5}$ v ovzduší.

2.2.3 Průměrná roční koncentrace $PM_{2,5}$

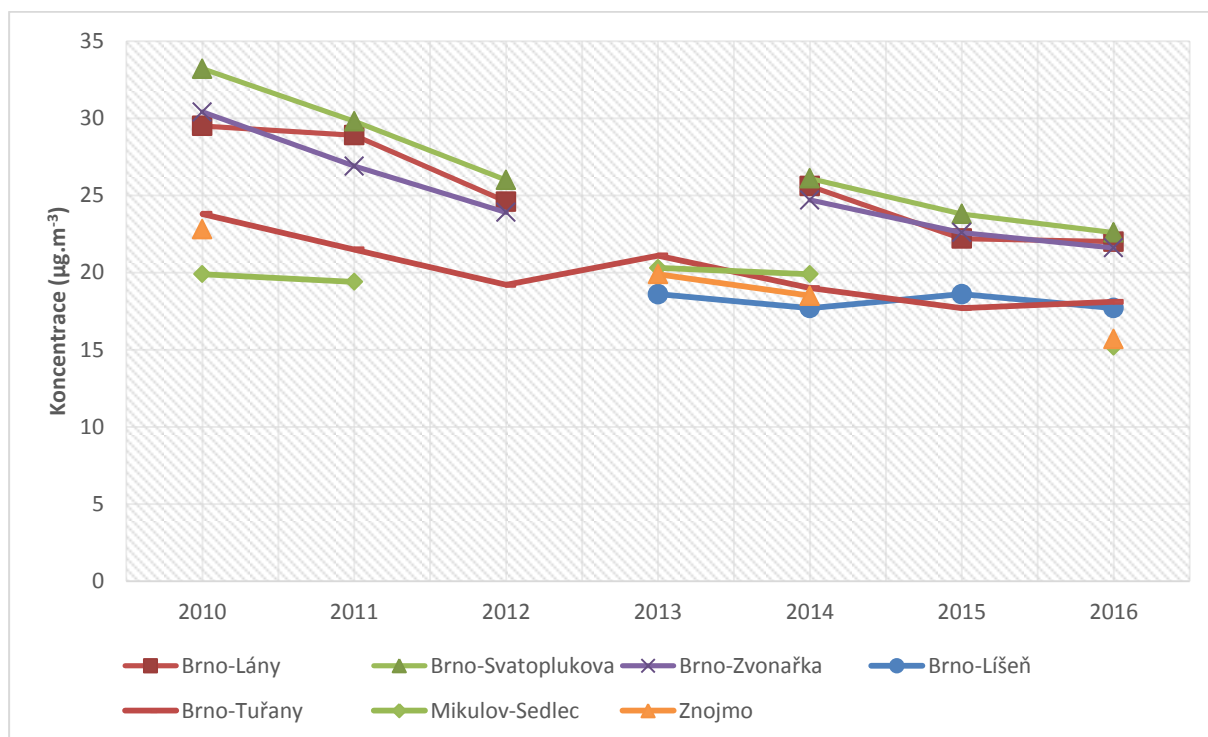
Jemnější frakci suspendovaných částic $PM_{2,5}$ měří menší počet stanic než PM_{10} . V roce 2015 se díky inovaci SSIM podařilo v Jihomoravském kraji počet těchto stanic navýšit, roční průměry na těchto stanicích však bylo možné vypočítat až od roku 2016 [1], [6]. Imisní limit pro tuto škodlivinu je v platnosti od roku 2012. Přehled průměrných ročních koncentrací $PM_{2,5}$ uvádí následující Tab. 9.

Tab. 9 – Průměrná roční koncentrace $PM_{2,5}$, Jihomoravský kraj, 2010 – 2016

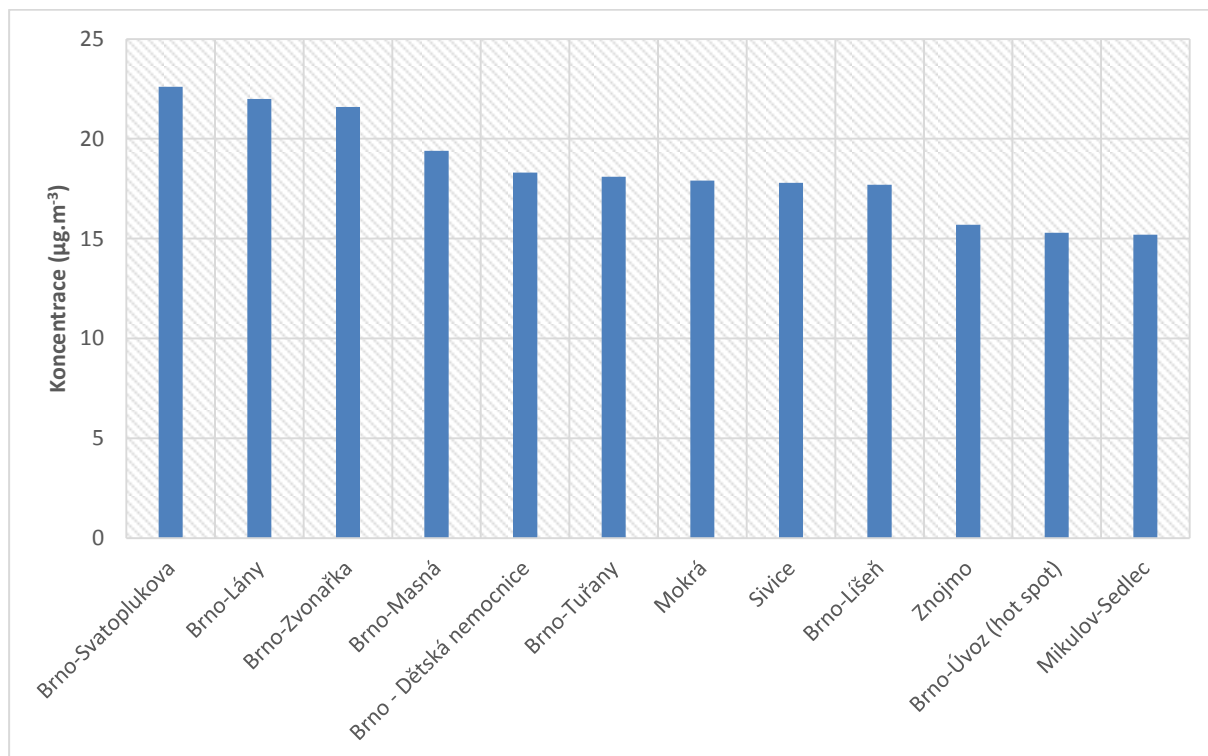
Lokalita	Eol	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Brno – Dětská nemocnice	B/U/RC							18,3
Brno-Lány	B/S/RN	29,5	28,9	24,6		25,6	22,2	22
Brno-Svatoplukova	T/U/R	33,2	29,8	26		26,1	23,8	22,6
Brno-Zvonařka	T/U/C	30,4	26,9	23,9		24,7	22,6	21,6
Brno-Masná	B/U/CR						19,4	19,4
Brno-Líšeň	B/U/R				18,6	17,7	18,6	17,7
Brno-Úvoz (hot spot)	T/U/R							15,3
Brno-Tuřany	B/S/R	23,8	21,5	19,2	21,1	19	17,7	18,1
Mikulov-Sedlec	B/R/A-REG	19,9	19,4		20,3	19,9		15,2
Sivice	B/R/I-NCI							17,8
Mokrá	B/R/R-NCI							17,9
Znojmo	B/S/RN	22,8			19,9	18,5		15,7

Vysvětlivky: Pokud je hodnota vyvedena červeným písmem, došlo v daném roce a na dané lokalitě k překročení imisního limitu. Význam zkratk Eol je uveden v příloze 2 této studie.

Vzhledem k tomu, že lokalit s delší řadou průměrných ročních koncentrací $PM_{2,5}$ není tolik jako v případě PM_{10} , jsou v následujícím grafu uvedeny jednotlivě (Obr. 18). Zvláště je pak graficky znázorněn rok 2016, kdy již bylo měřících lokalit podstatně více (Obr. 19).



Obr. 18 – Vývoj průměrných ročních koncentrací $PM_{2,5}$ v Jihomoravském kraji, 2010 – 2016

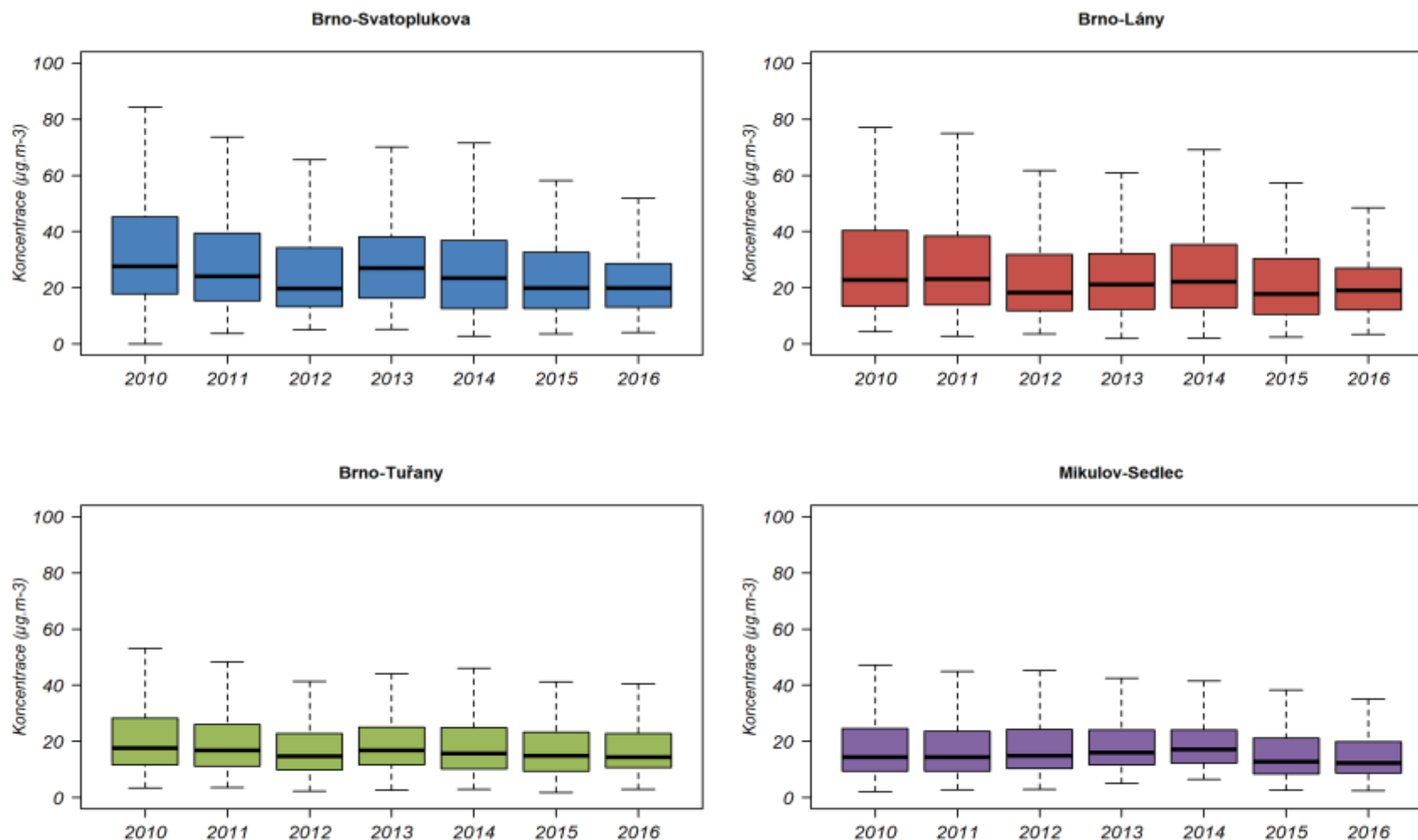


Obr. 19 – Průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$ v roce 2016 na stanicích SSIM v Jihomoravském kraji

Z grafu na Obr. 18 je patrný pokles průměrných ročních koncentrací $PM_{2,5}$ na všech lokalitách, obdobně jako v případě průměrných ročních koncentrací PM_{10} . Důvodem jsou především velmi dobré meteorologické a rozptylové podmínky v posledních letech, ale také postupné snižování emisí (viz. kapitola 2.4). Největší pokles proti roku 2010 zaznamenala lokalita Brno – Svatoplukova (pokles na 68 %) a Znojmo (pokles na 69 %). Nejnižší pokles pak zaznamenaly lokality Mikulov – Sedlec (pokles na 76,4 %) a Brno-Tuřany (pokles na 76 %).

Statistiku 24hodinových koncentrací $PM_{2,5}$ v jednotlivých letech na vybraných stanicích SSIM zobrazuje krabicový graf na Obr. 20. Z grafu vyplývá, že medián 24hodinových koncentrací $PM_{2,5}$ poklesl v případě stanice Brno – Svatoplukova z $27,6 \mu g \cdot m^{-3}$ na $20 \mu g \cdot m^{-3}$, proti roku 2010 poklesla hodnota mediánu na 72,5 %. V případě lokality Brno – Lány došlo k poklesu mediánu 24hodinových koncentrací $PM_{2,5}$ z $22,7 \mu g \cdot m^{-3}$ na $19,1 \mu g \cdot m^{-3}$ (pokles na 84 %), v případě stanice Brno – Tuřany došlo k poklesu hodnoty mediánu z $17,6 \mu g \cdot m^{-3}$ na $14,4 \mu g \cdot m^{-3}$ (82 %) a na stanici Mikulov – Sedlec došlo k poklesu hodnoty mediánu z $14,4 \mu g \cdot m^{-3}$ na $12,3 \mu g \cdot m^{-3}$ (85 %).

Z uvedeného tedy vyplývá, že nejvýznamnější pokles mediánu 24hodinových průměrných koncentrací $PM_{2,5}$ zaznamenala dopravní lokalita Brno – Svatoplukova, kde došlo proti roku 2010 k poklesu o 27 %. V případě všech pozadových stanic došlo k poklesu pouze o 15 – 18 %. Významnější pokles na dopravní lokalitě může být způsoben snížením emisí v dopravě – např. postupnou obměnou vozového parku nebo dopravní opatření v blízkosti stanice zvyšující plynulost dopravy (zákazy odbočení v křižovatkách atp.).



Obr. 20 – Statistické zpracování 24hodinových koncentrací PM_{2,5} na vybraných stanicích SSIM v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)

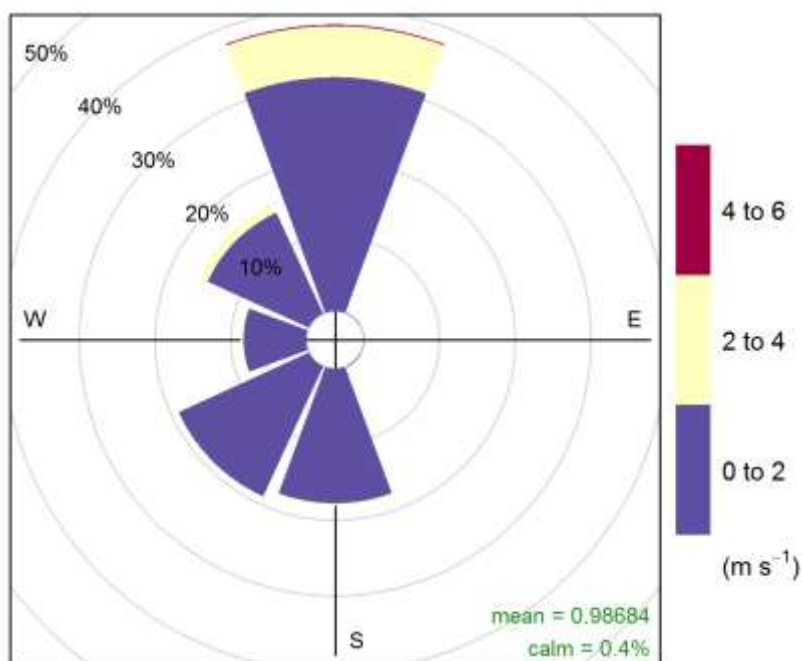
2.3 DETAILNÍ ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ PM NA VYBRANÝCH STANICÍCH

Pro detailní hodinovou analýzu budou použita detailní data nejen o znečištění ovzduší, ale také doprovodné meteorologické charakteristiky jako jsou teplota či rychlost a směr větru zpracované pomocí statistického software R [10], [11]. Z tohoto důvodu není možné provést hodnocení podle typu stanic, protože by se ztratila právě přidaná hodnota meteorologických veličin. Tyto detailní analýzy budou provedeny na vybraných stanicích Brno – Svatoplukova, Brno – Lány, Brno – Tuřany a Mikulov – Sedlec. Analýzy budou prováděny z hodinových dat za období 2010 – 2016 (až 61368 hodnot). **Všechn čas je kvůli jednoznačnosti uváděn v UTC.**

2.3.1 Brno – Svatoplukova

2.3.1.1 Větrná růžice

Základem analýz je větrná růžice v dané lokalitě. Následující Obr. 21 zobrazuje větrnou růžici pro lokalitu Brno – Svatoplukova, která je dále členěná i dle rychlosti větru.

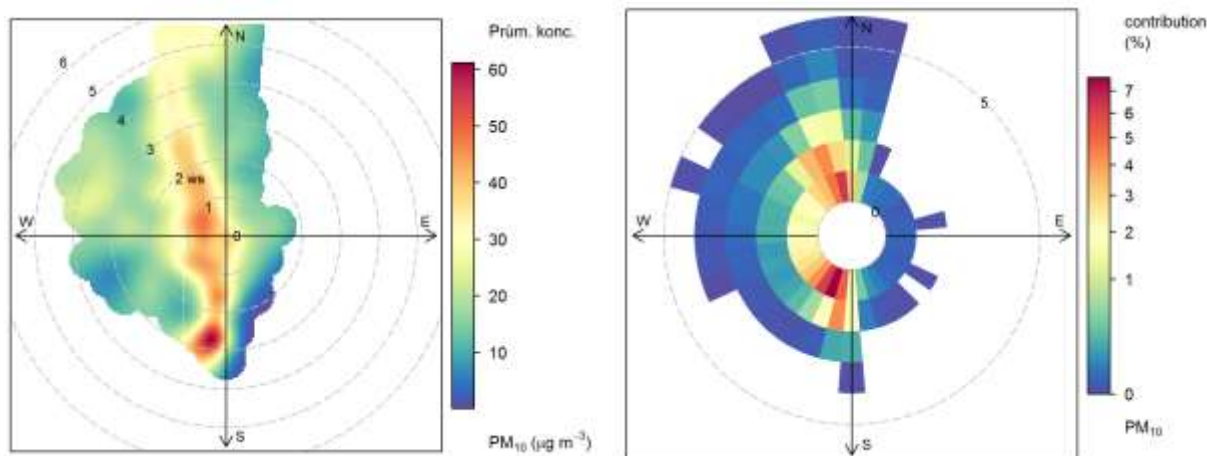


Obr. 21 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

Větrná růžice velmi dobře respektuje zástavbu v lokalitě, proto převládá severo – jižní proudění. Východní směry naprosto chybí, protože měřicí stanice stojí v blízkosti budovy židenických kasáren. Rovněž díky zástavbě (efekt kaňonu) jsou rychlosti větru pouze velmi nízké – do 2 m.s^{-1} . Vyšší rychlosti větru jsou zaznamenány pouze ze severních směrů. Tyto nízké rychlosti větru se rovněž odrážejí na špatném rozptylu škodlivin, a tudíž i jejich vyšším koncentracím, než kdyby lokalita ležela ve více otevřeném prostoru s vyššími rychlostmi větru. Kombinace vysokého zatížení dopravou (se všemi jejími důsledky – otěry, resuspenze) a nízké rychlosti větru mohou být důvodem nejvyšších koncentrací škodlivin právě v této lokalitě.

2.3.1.2 Imisní růžice

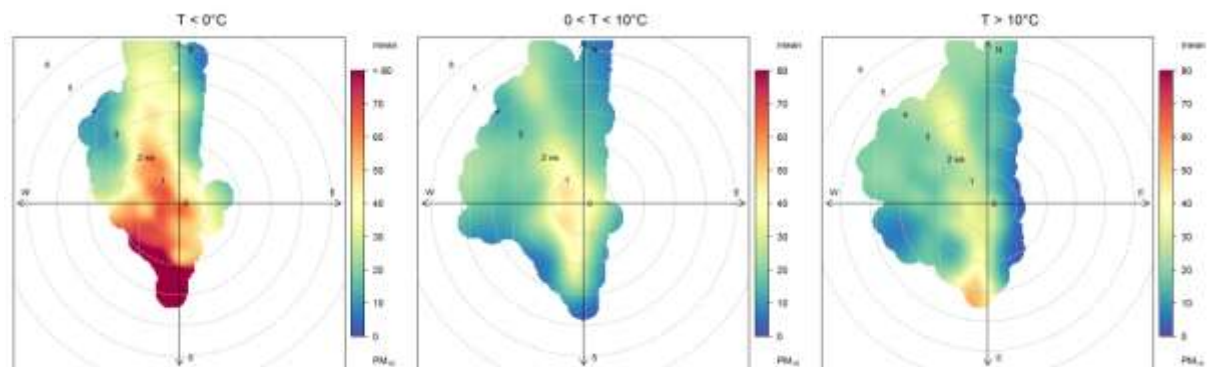
Díky znalosti rychlosti a směru větru a koncentrace PM_{10} je možné zkonstruovat koncentrační růžice pro tuto škodlivinu. Na Obr. 22 je vlevo zobrazena koncentrační růžice – průměrná koncentrace PM_{10} je v ní zobrazena jako funkce rychlosti a směru větru. Růžice v pravo pak nezobrazuje průměrnou koncentraci, ale vážený průměr. Růžice tedy zobrazuje procentuální příspěvek jednotlivých rychlostí a směrů větru k měřeným koncentracím PM_{10} v lokalitě Brno – Svatoplukova.



Obr. 22 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro PM_{10} , Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

Z obou koncentračních růžic je patrný výrazný vliv blízké komunikace (VMO) na koncentrace částic PM_{10} . Nejvyšší koncentrace tuto komunikaci kopírují. Mimo bezprostřední blízkosti jsou patrná maxima z jižních směrů, kde je křižovatka ulic Svatoplukova a Markéty Kuncové. V její blízkosti auta pravidelně brzdí a stojí, což se projevuje i v koncentracích suspendovaných částic. Z jižních směrů jsou rovněž měřeny nižší rychlosti větru, což indikuje horší rozptyl a vyšší koncentrace škodlivin. Ze severních směrů jsou již koncentrace nižší. Rovněž relativní příspěvek k průměrným koncentracím PM_{10} je nejvyšší z jižního směru při nízkých rychlostech větru.

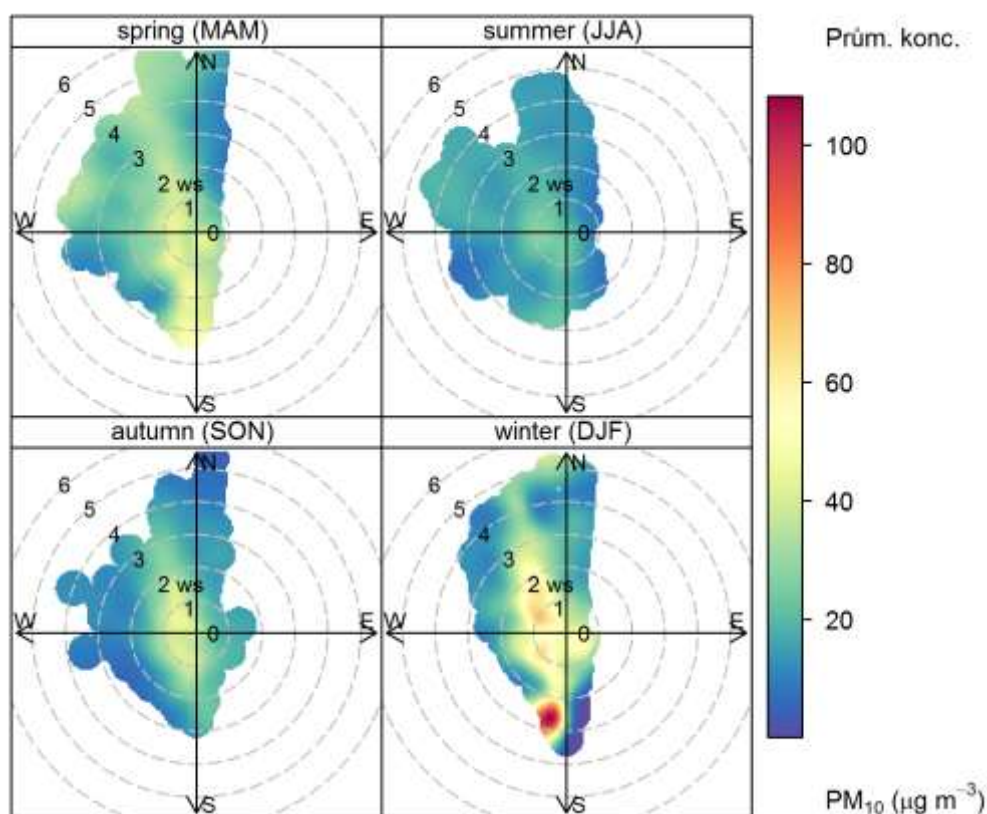
Následující Obr. 23 zobrazuje teplotně členěnou koncentrační růžici průměrných koncentrací PM_{10} .



Obr. 23 – Teplotně členěná koncentrační růžice PM_{10} , Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

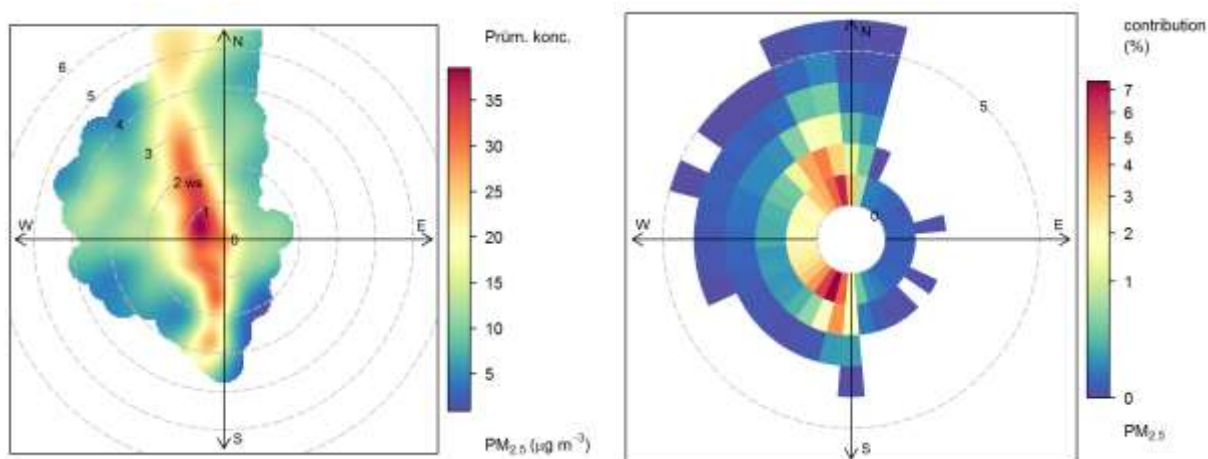
Z teplotně členěné koncentrační růžice vyplývá, že nejvyšších koncentrací je dosahováno při teplotách pod 0 °C. Při vyšších teplotách je z hlediska uvedené škály dosahováno jen průměrných koncentrací. To je způsobeno tím, že při takto nízkých teplotách jsou v provozu lokální topeniště, která plošně zvyšují koncentrace v celém regionu. Doprava pak tyto již zvýšené koncentrace lokálně navyšuje.

Výše uvedené potvrzuje i koncentrační růžice průměrných koncentrací PM_{10} , členěná dle ročních období. Zatímco v létě jsou koncentrace velmi nízké, v zimních měsících jsou měřeny ty nejvyšší koncentrace. Důvodem jsou již zmíněné lokální topeniště, ale např. i posypový materiál, který pokud je sucho je drčen a díky resuspenci znovu vnášen do ovzduší.



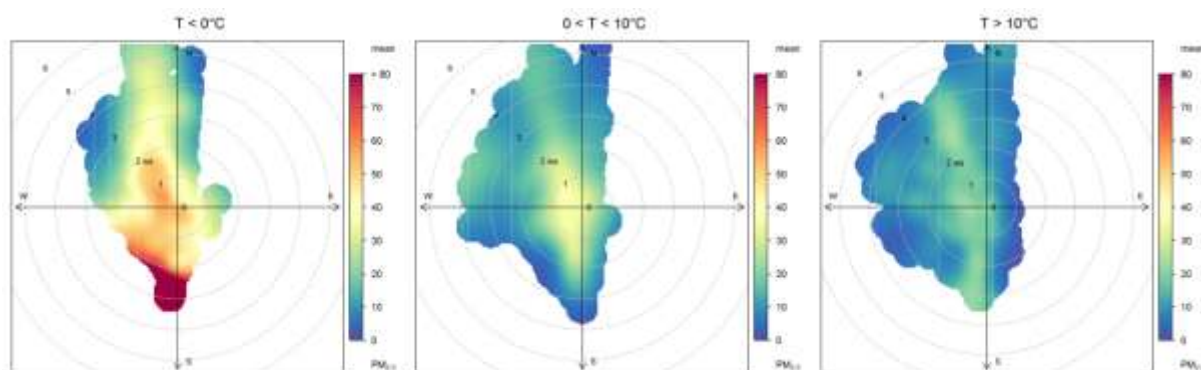
Obr. 24 – Koncentrační růžice PM_{10} členěná dle ročních období, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

Podobné výsledky jako v případě PM_{10} jsou měřeny i pro $PM_{2,5}$. Koncentrační a vážená koncentrační růžice průměrných koncentrací $PM_{2,5}$ (Obr. 25) opět zobrazují vliv komunikace na koncentrace, avšak v případě $PM_{2,5}$ jsou maxima dosažena při nejnižších rychlostech větru (do $1 m \cdot s^{-1}$) a vyšší průměrné hodnoty jsou měřeny proudění ze severních směrů.



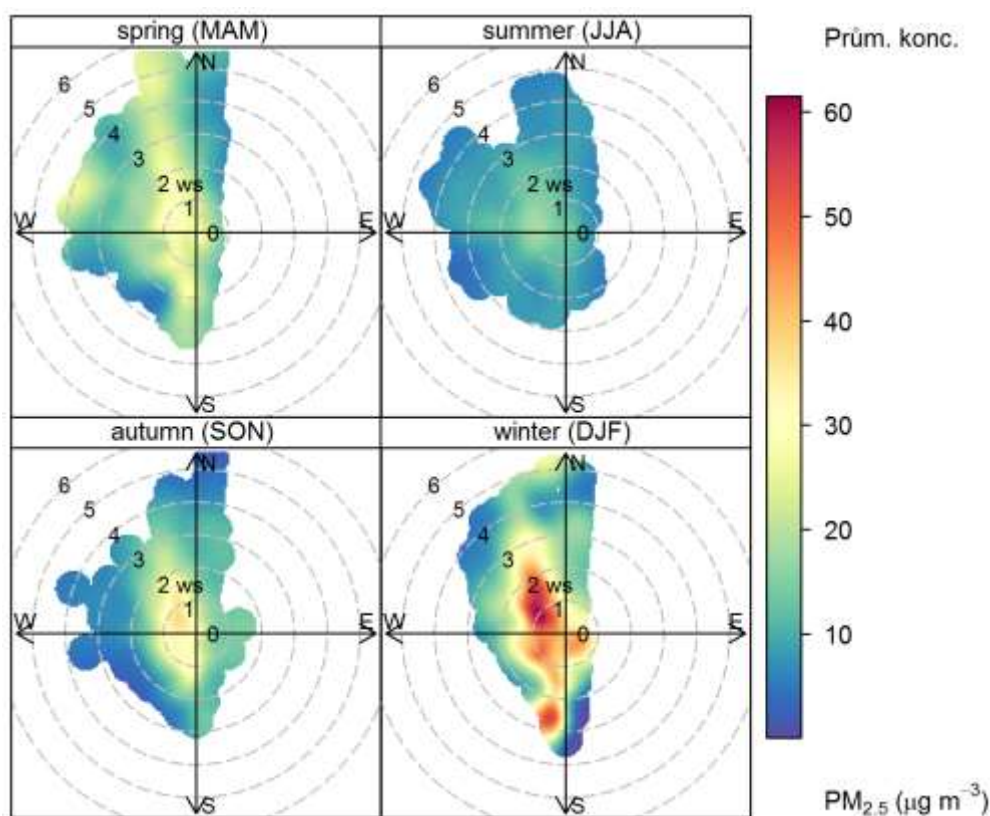
Obr. 25 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro $PM_{2.5}$, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

Pokud se však koncentrační růžice rozdělí podle teploty, je patrná stejná situace jako v případě PM_{10} . Maxima koncentrací jsou měřena při nízkých teplotách pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a zejména při proudění z jižních směrů. Při vyšších teplotách jsou již koncentrace $PM_{2.5}$ z hlediska škály pouze průměrné (do $40\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v hodinovém průměru), při teplotách nad $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou již koncentrace $PM_{2.5}$ pouze nízké (Obr. 26).



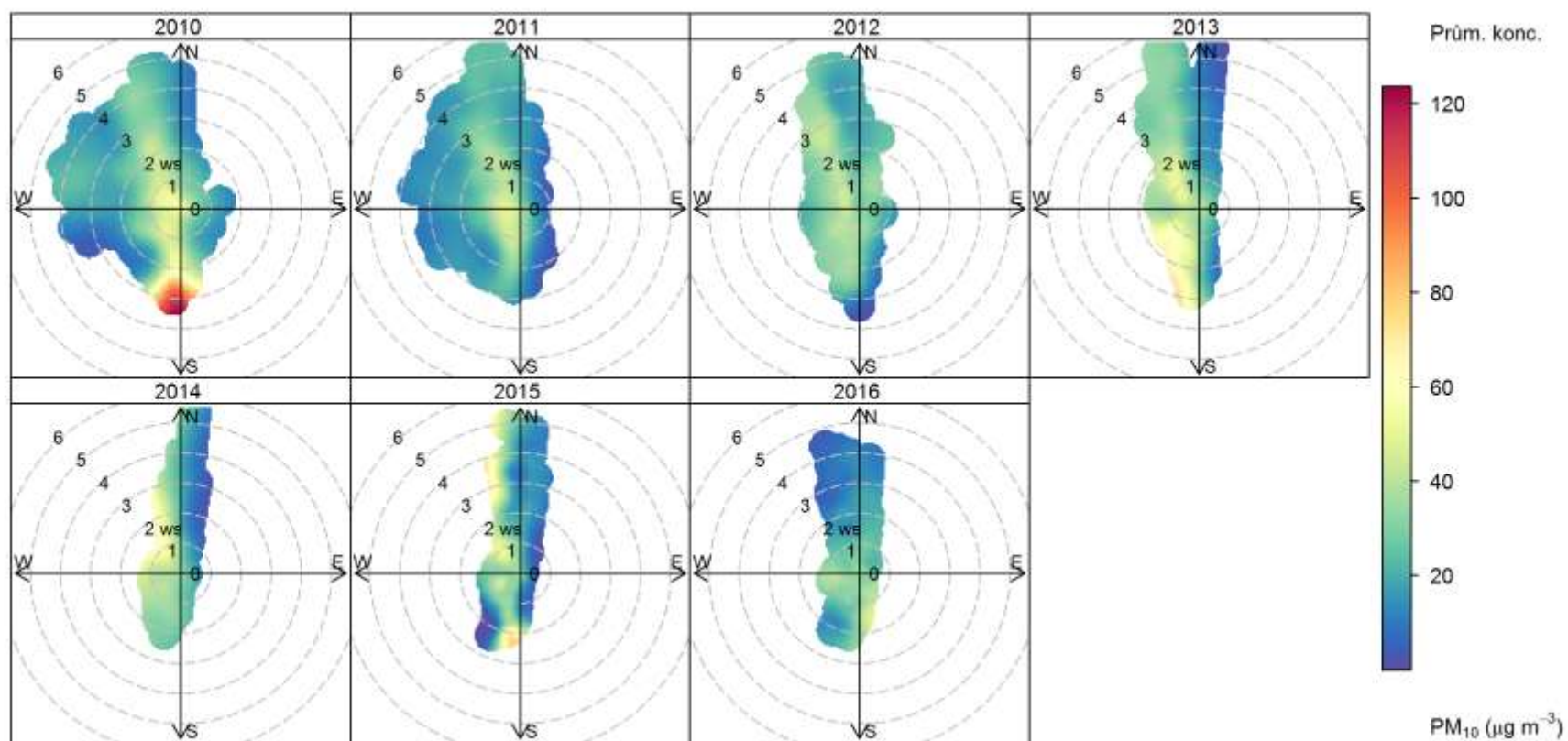
Obr. 26 – Teplotně členěná koncentrační růžice $PM_{2.5}$, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

V případě koncentrační růžice $PM_{2.5}$ členěné dle ročních období je situace opět totožná se situací v případě hrubší frakce PM_{10} . Nejvyšší koncentrace jsou měřeny v zimě, kdy se na vysokých koncentracích podílí i lokální topeniště a např. je i více zastoupena resuspenze posypového materiálu, naopak v létě jsou koncentrace pouze minimální, hodnotově srovnatelné s pozadíovými lokalitami (Obr. 15) [12]. **Z toho vyplývá, že nejen doprava se podílí na vysokých koncentracích PM_{10} a $PM_{2.5}$ v lokalitě Brno – Svatoplukova, významný je i vliv topné sezóny a lokálních topenišť.**

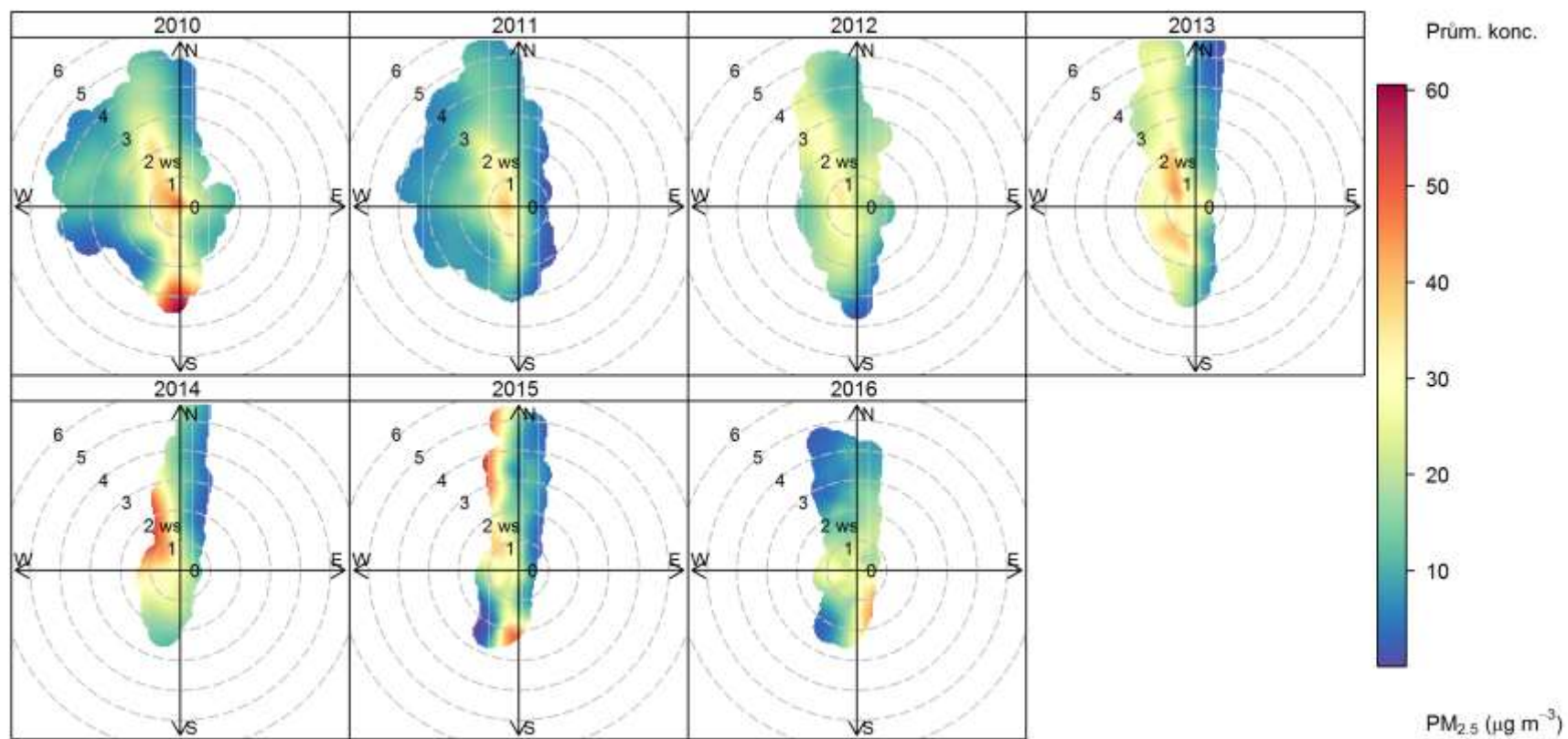


Obr. 27 – Koncentrační růžice PM_{2,5} členěná dle ročních období, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

Koncentrační růžici lze rozdělit i podle jednotlivých let. V případě koncentrací PM₁₀ je patrné, že maximální koncentrace, které se vždy projevily v zimním období z jižních směrů, se objevily pouze v roce 2010, kdy byla nejdelší topná sezóna (Obr. 28). Je tedy otázkou, zda lze tyto nejvyšší koncentrace přiřadit vlivu dopravy, či spíše lokálním topeništím a případnému dálkovému transportu, který se nevyhne ani dopravním lokalitám. Obdobná situace panuje i v případě PM_{2,5} (Obr. 29).



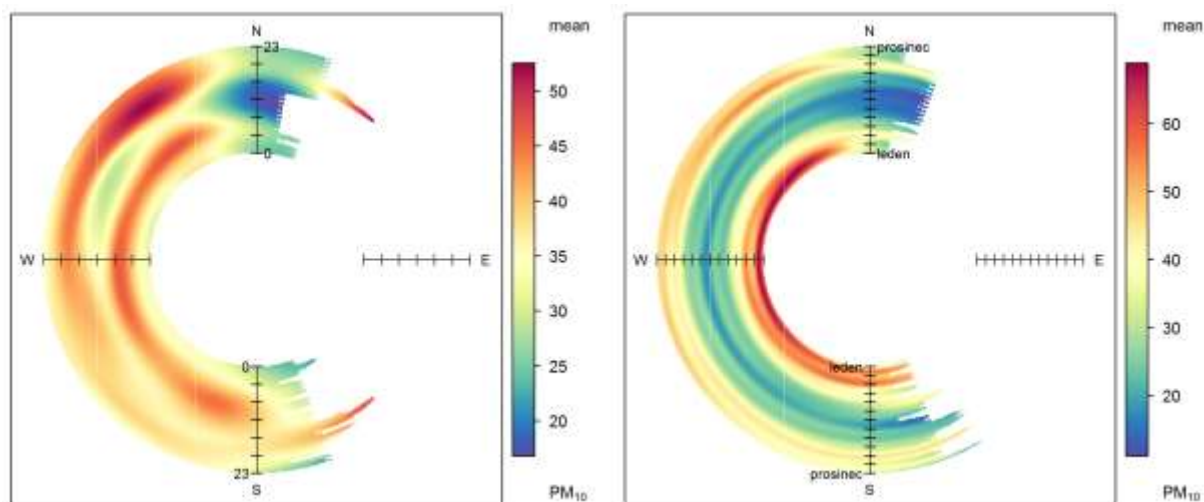
Obr. 28 – Koncentrační růžice PM_{10} , členěná dle jednotlivých let, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016



Obr. 29 – Koncentrační růžice PM_{2,5}, členěná dle jednotlivých let, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

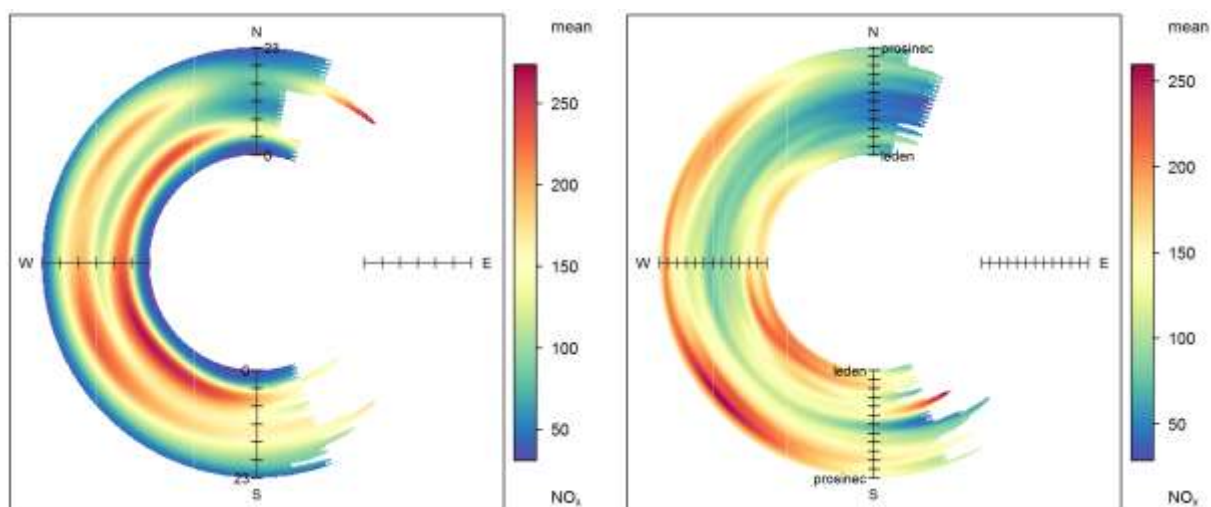
2.3.1.3 Denní a měsíční chod

Díky znalosti hodinových informací meteorologických charakteristik a koncentrací škodlivin je možné sestavit i průměrný denní chod koncentrací v lokalitě v závislosti na směru větru. Graf na Obr. 30 vlevo zobrazuje po hodinách průměrný denní chod PM_{10} v lokalitě Brno – Svatoplukova za roky 2010 až 2016, členěná dle směru větru. Graf na Obr. 30 vpravo zobrazuje totéž, avšak po měsících. Bílé oblasti z východních směrů značí nedostatek dat – stanice je z tohoto směru stíněna budovou židenických kasáren, a proto nedochází k proudění z těchto směrů.

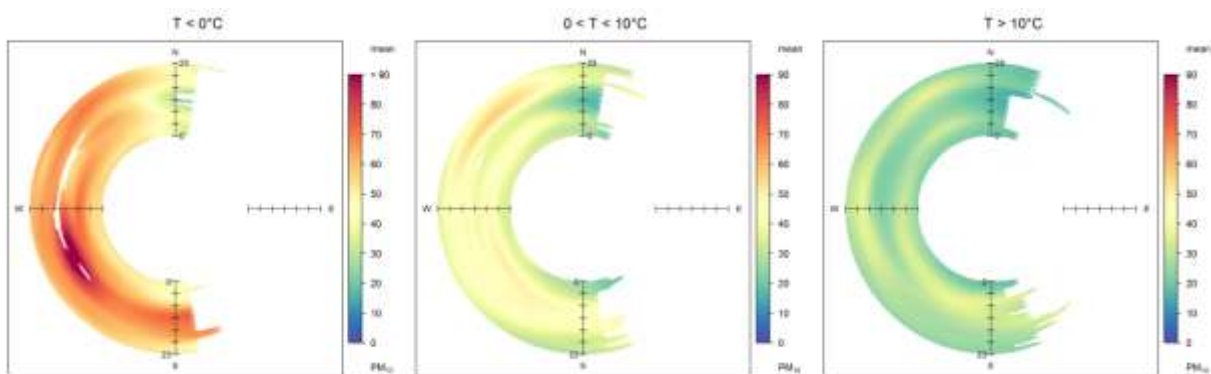


Obr. 30 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace PM_{10} , Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

Z grafů na Obr. 30 je patrný vliv dopravních špiček – ta ranní je z hlediska koncentrací PM_{10} intenzivní ze severních i jižních směrů, ta odpolední je intenzivnější ze severních směrů. Odpolední dopravní špička se částečně překrývá i s odpoledním nástupem topení v lokálních topeništích (při návratu lidí z práce) – koncentrace jsou vyšší až do pozdních nočních hodin, čímž se PM_{10} výrazně liší od koncentrací NO_x , které jsou téměř výhradně z dopravy a odpolední dopravní špička končí kolem 18. hodiny a dále jsou již koncentrace nízké (Obr. 31). Projevuje se to i v měsíčním chodu, kdy zvýšené koncentrace jsou zaznamenány v zimních měsících. Obdobně i z hlediska teplotně členěného denního chodu – vysoké koncentrace jsou měřeny pouze při teplotách pod 0 °C.

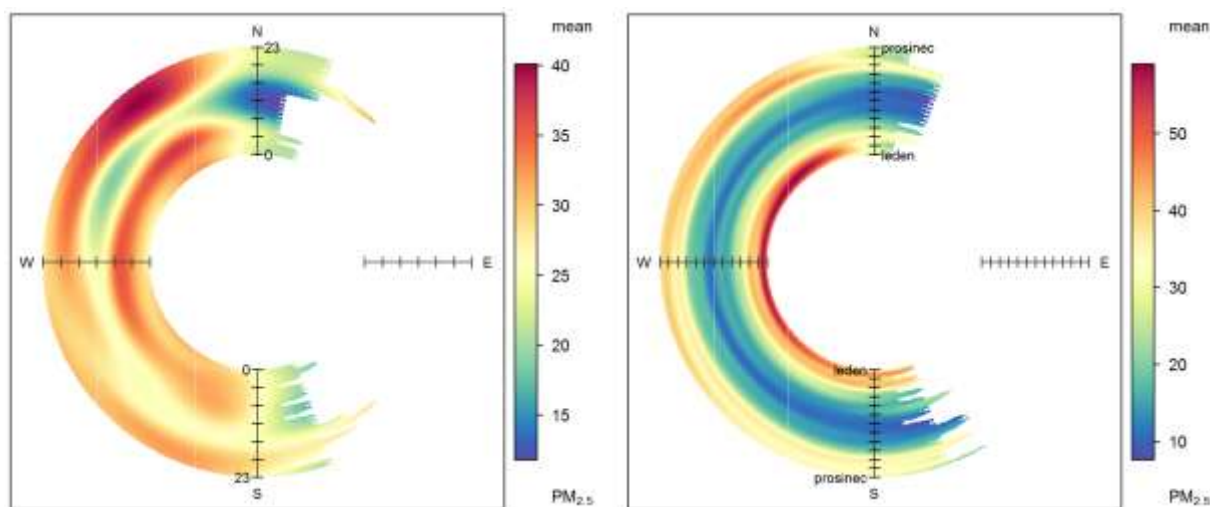


Obr. 31 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace NO_x , Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

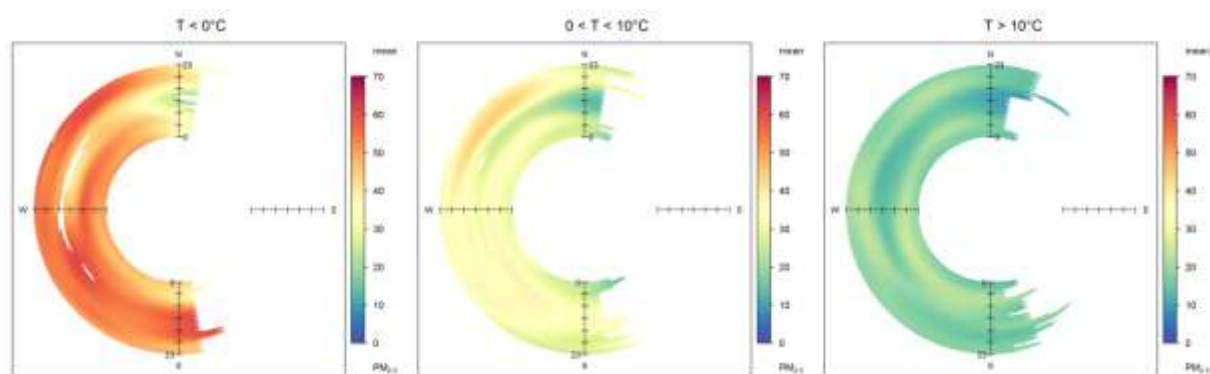


Obr. 32 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací PM_{10} dle směru větru, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

Podobně je to i v případě denních a měsíčních chodů koncentrací $\text{PM}_{2,5}$. I v tomto případě je vidět ranní špička a odpolední přecházející ve vliv topení (Obr. 33). Vysoké koncentrace se opět vyskytují v zimních měsících především při teplotách nižších než 0 °C. Při teplotách nad 10 °C mimo topnou sezónu jsou již koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ minimální (Obr. 34).

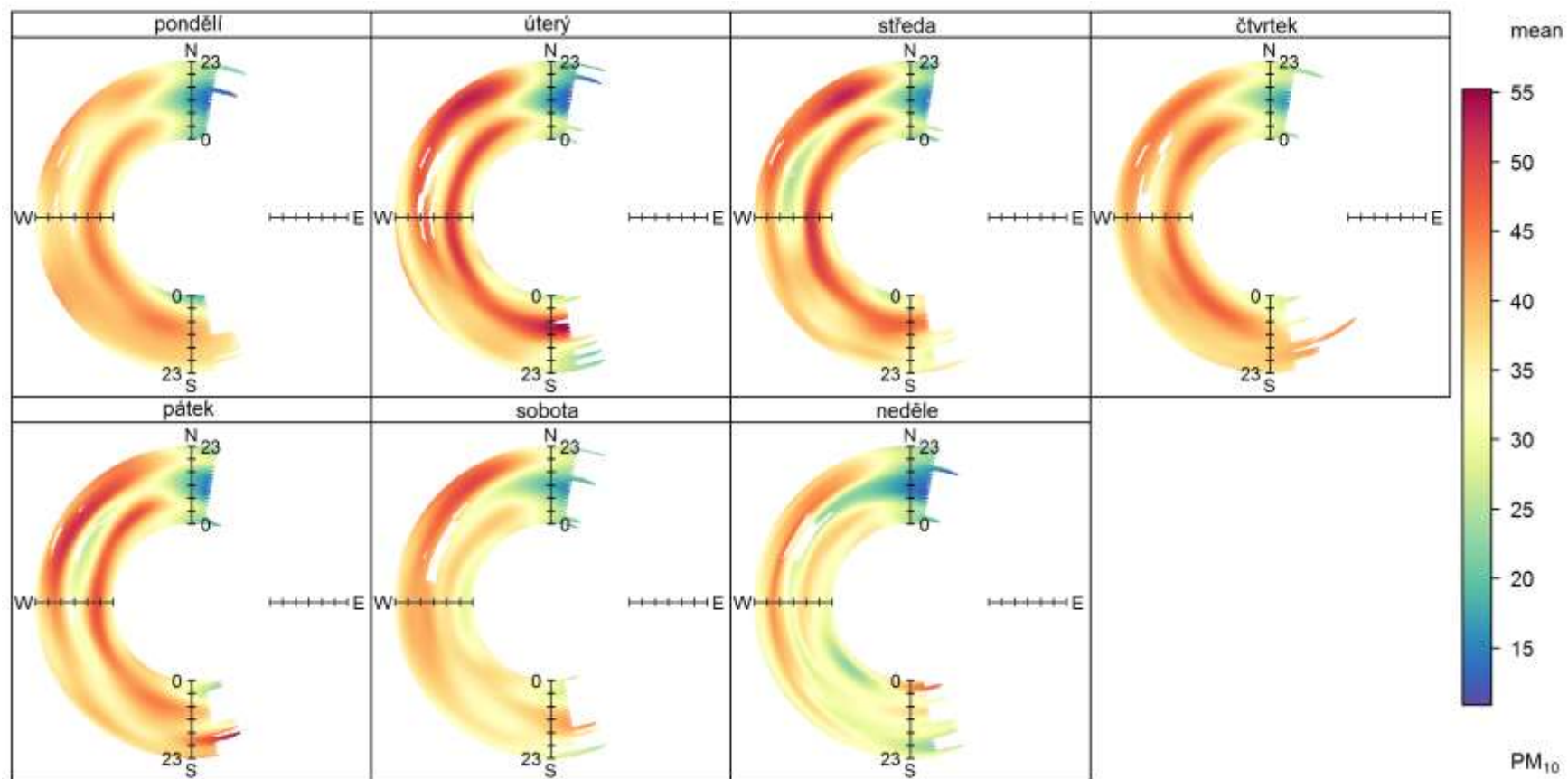


Obr. 33 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace $PM_{2,5}$, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

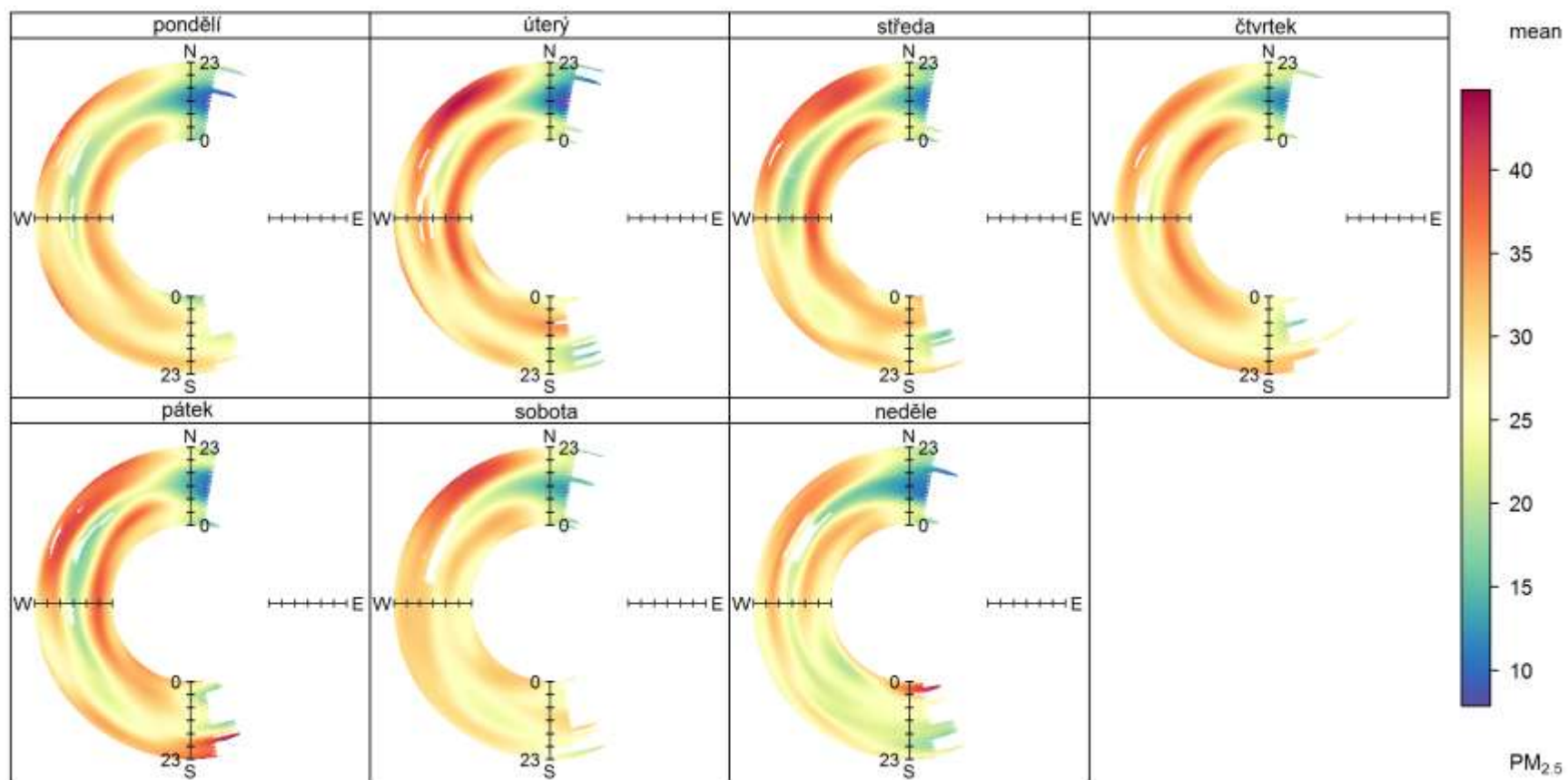


Obr. 34 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací $PM_{2,5}$ dle směru větru

Koncentrace PM_{10} ani $PM_{2,5}$ se příliš neliší v jednotlivých dnech v týdnu (Obr. 35, Obr. 36). V sobotu a v neděli není patrná ranní dopravní špička jako v ostatní dny. Večerní koncentrace jsou však již zvýšené podobně jako v pracovní dny. To naznačuje vliv vytápění v topné sezóně ve večerních hodinách. Denní chod v jednotlivých dnech v týdnu se mírně liší od chodu NO_x , které jsou v této lokalitě majoritně emitovány dopravou. Koncentrace NO_x jsou o víkendů výrazně nižší než v pracovní dny, dopravní špičky jsou v pracovní dny ohraničeny, odpolední nepřesahují zvýšenými koncentracemi 20. hodinou (viz. kapitola 3.3.1). **Vysoké koncentrace i v nočních a brzkých ranních hodinách v této lokalitě lze tedy přičíst pravděpodobně lokálním topeništím** – např. přímo naproti stanici je bytový dům s kotlem na pevná paliva, jehož kouřová vlečka při zhoršených rozptylových podmínkách zasahuje právě měřicí lokalitu.



Obr. 35 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace PM_{10} , Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016



Obr. 36 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace $PM_{2.5}$, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

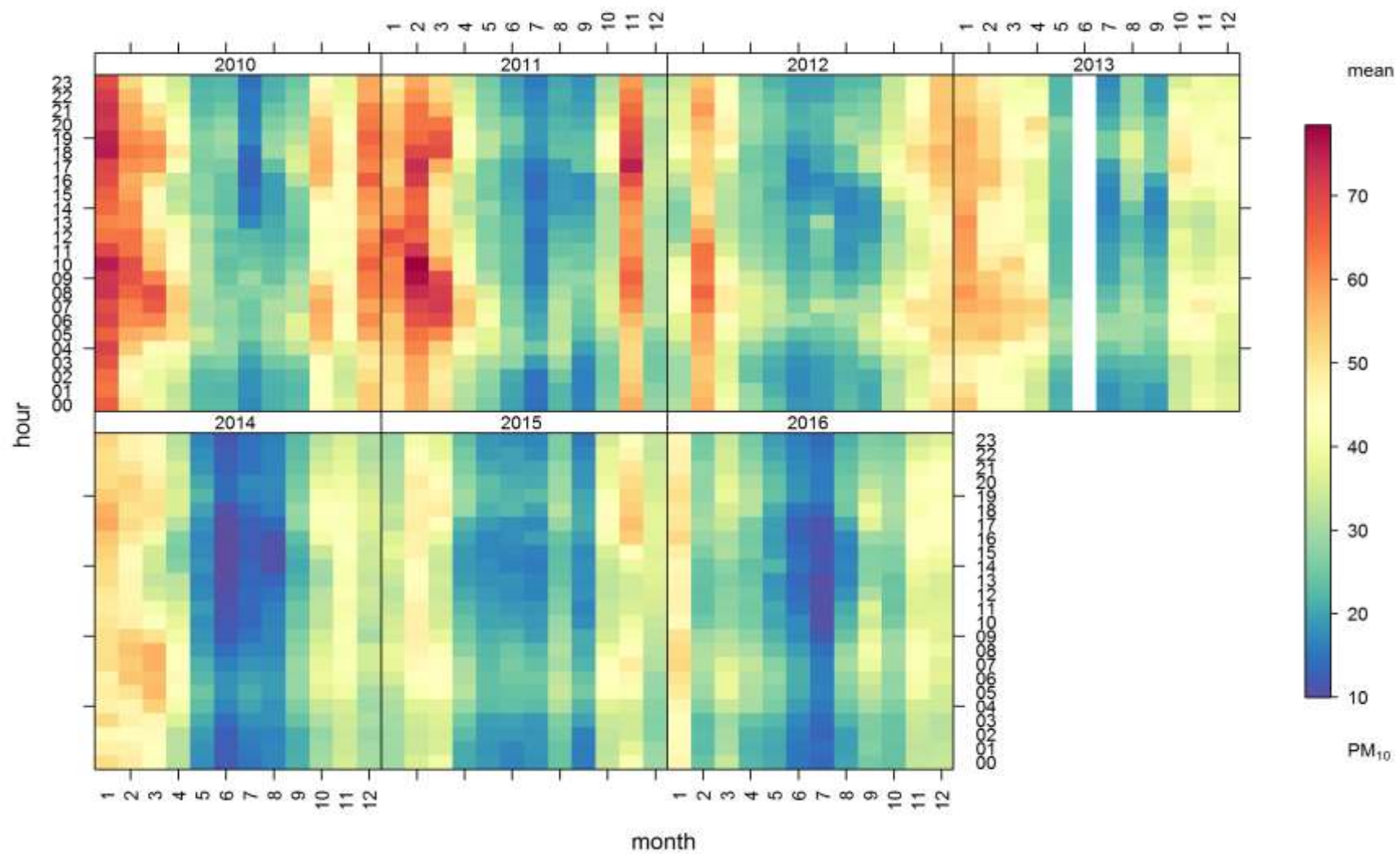
2.3.1.4 Přehledy koncentrací

Celkový přehled koncentrací PM_{10} v lokalitě Brno – Svatoplukova za roky 2010 – 2016 zobrazuje Obr. 37. Zobrazuje průměrnou koncentraci PM_{10} v jednotlivých hodinách dne, členěné dle měsíců a roků. Z přehledu je patrné, že vyšší koncentrace jsou dosahovány v zimních měsících, především pak v letech 2010 a 2011. V roce 2011 je ještě výrazný měsíc listopad, kdy byla poměrně dlouhá epizoda počasí s inverzním charakterem, navíc v Jihomoravském kraji nespádl ani mm srážek. Zvýšené koncentrace PM_{10} v měsíci listopadu roku 2011 jsou patrné na všech lokalitách. Tato epizoda zdůrazňuje významný vliv meteorologických podmínek na koncentrace PM_{10} . Naproti tomu v letních měsících mimo topnou sezónu jsou koncentrace vždy velmi nízké. Rovněž v posledních 3 letech byly poměrně mírné zimy bez delších epizod s inverzním charakterem počasí. To se projevilo na relativně nízkých koncentracích PM_{10} v zimních měsících těchto let.

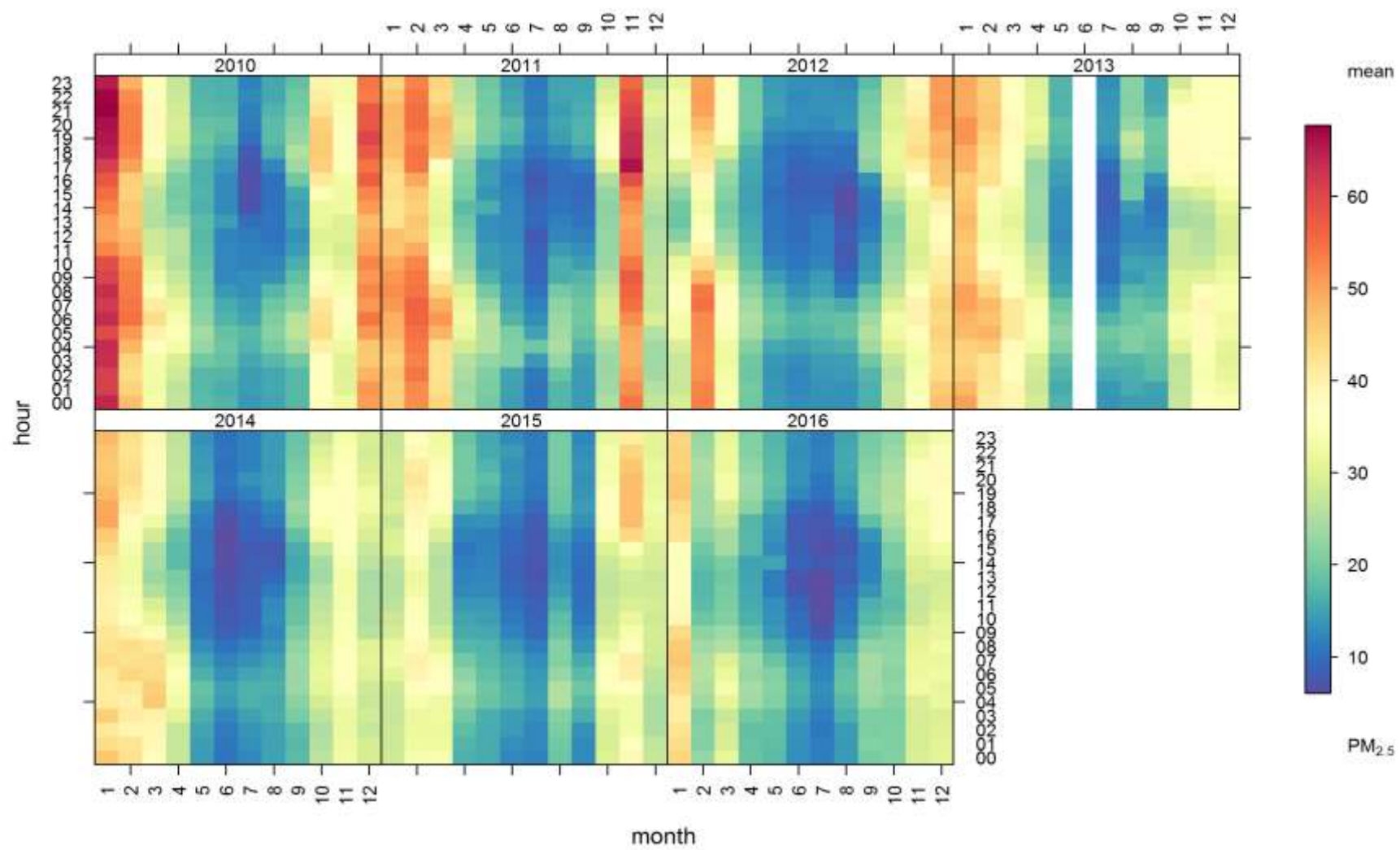
Velmi podobná je i situace v případě jemnější frakce $PM_{2,5}$. Přehled je zobrazen na Obr. 38.

Obr. 39 zobrazuje stejný přehled koncentrací PM_{10} jako Obr. 37, avšak vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, jako tomu je na stránkách ČHMÚ v hodinovém přehledu [13].

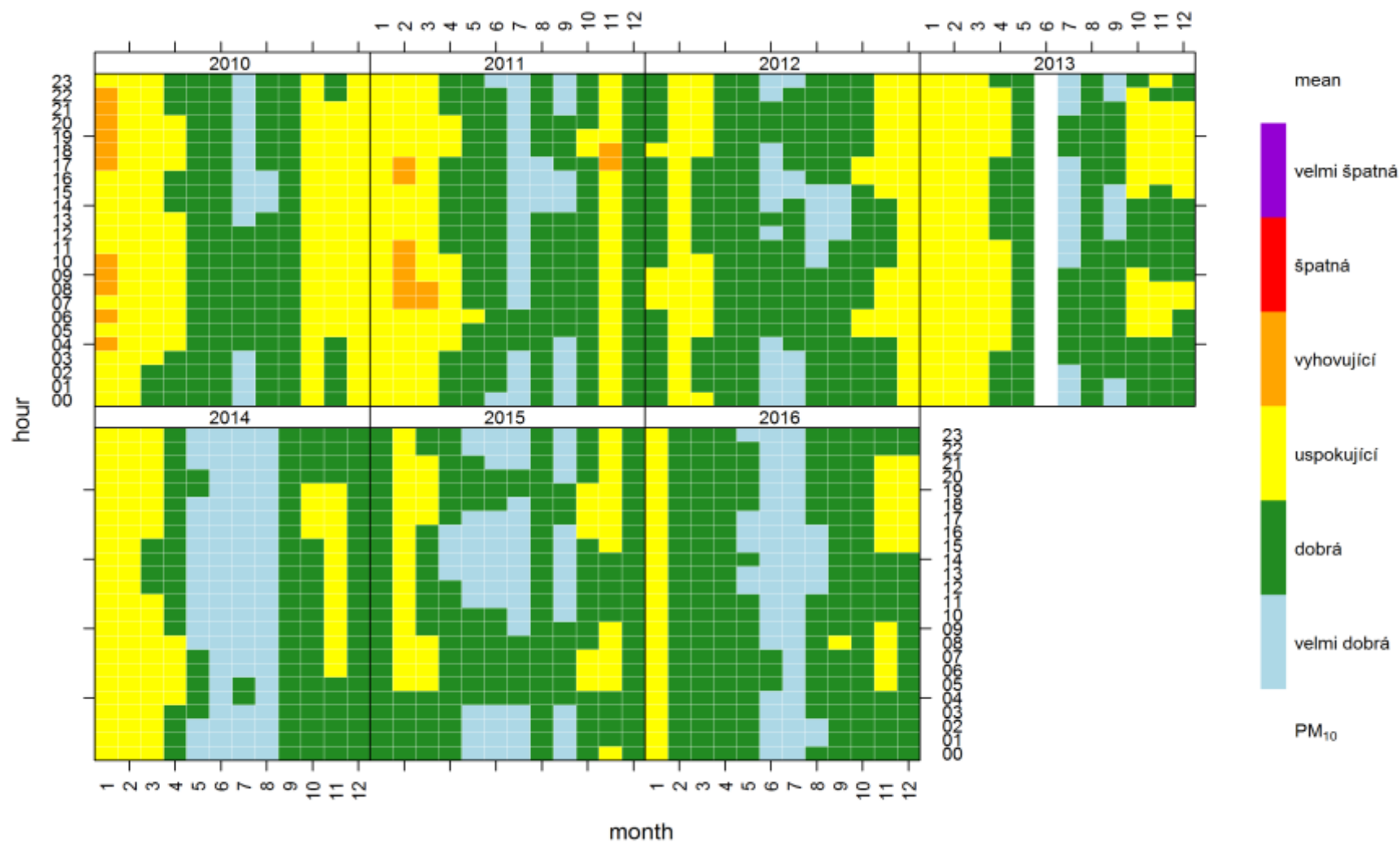
Obr. 40 zobrazuje normalizované hodnoty průměrných koncentrací (k průměru za celý interval) škodlivin PM_{10} , $PM_{2,5}$ a NO_x . V týdenním chodu je zřetelná dominantní ranní a menší odpolední pík koncentrací NO_x způsobený ranní a odpolední dopravní špičkou. Tyto píky jsou o víkendu pouze nezřetelné. V případě ranní špičky kulminují koncentrace PM a NO_x společně, v případě odpolední dopravní špičky dochází ke kulminaci NO_x dříve. Koncentrace PM_{10} a $PM_{2,5}$ kulminují později zřejmě vlivem vytápění. Rovněž velikost píků koncentrací PM je přibližně shodná pro ranní i odpolední špičku, na rozdíl od NO_x . Patrný je rovněž výrazný pokles NO_x o víkendu, který souvisí s významným poklesem intenzity dopravy, zatímco pokles PM je zřetelnější pouze v neděli, přesto je velmi nízký. Z hlediska měsíčního chodu je patrný výrazný pokles koncentrací všech škodlivin v teplé části roku proti chladné části roku.



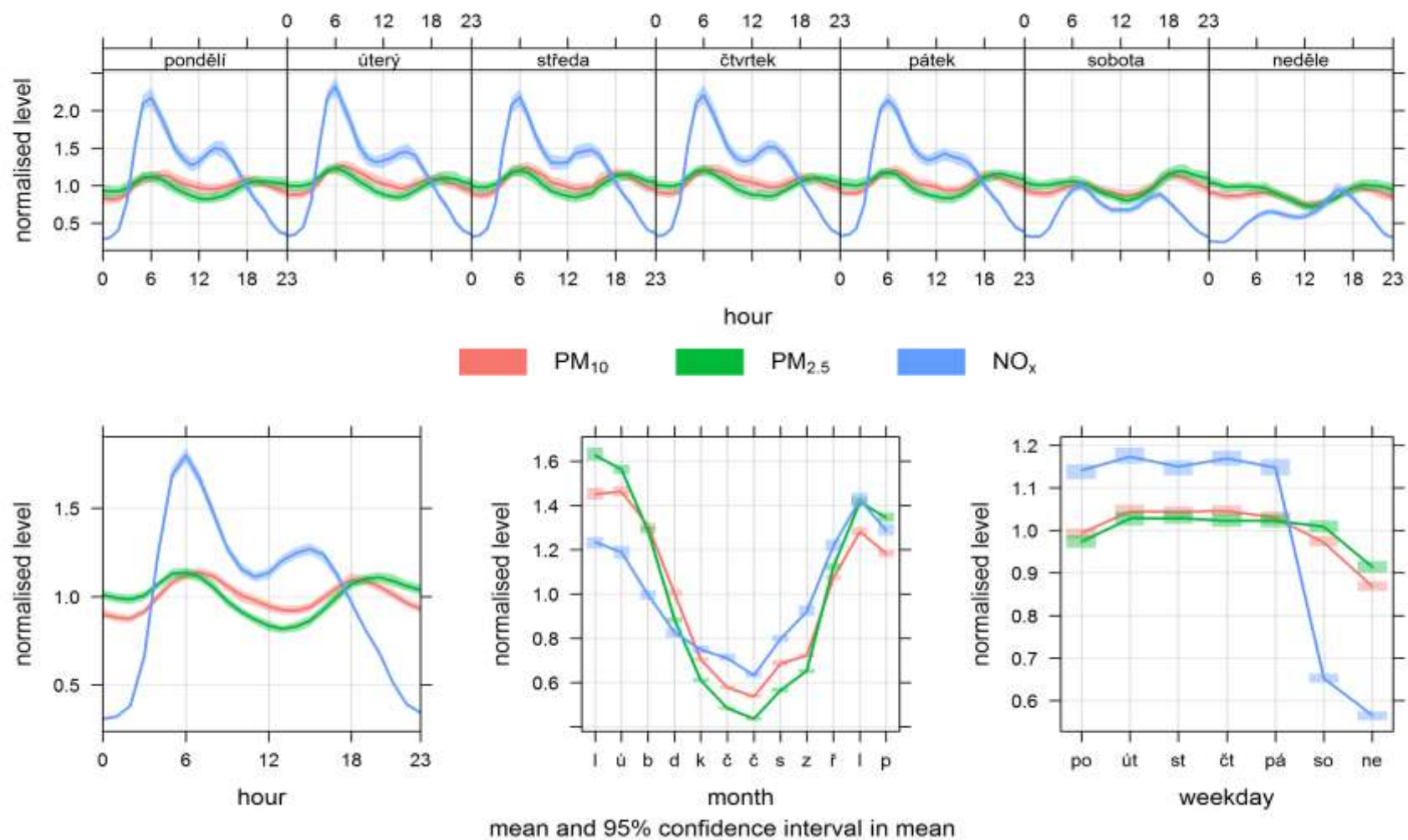
Obr. 37 – Přehled průměrných koncentrací PM₁₀ v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016



Obr. 38 – Přehled průměrných koncentrací PM_{2,5} v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016



Obr. 39 – Přehled průměrných koncentrací PM₁₀ v jednotlivých hodinách vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, členěno dle měsíců a toků, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016 [13]

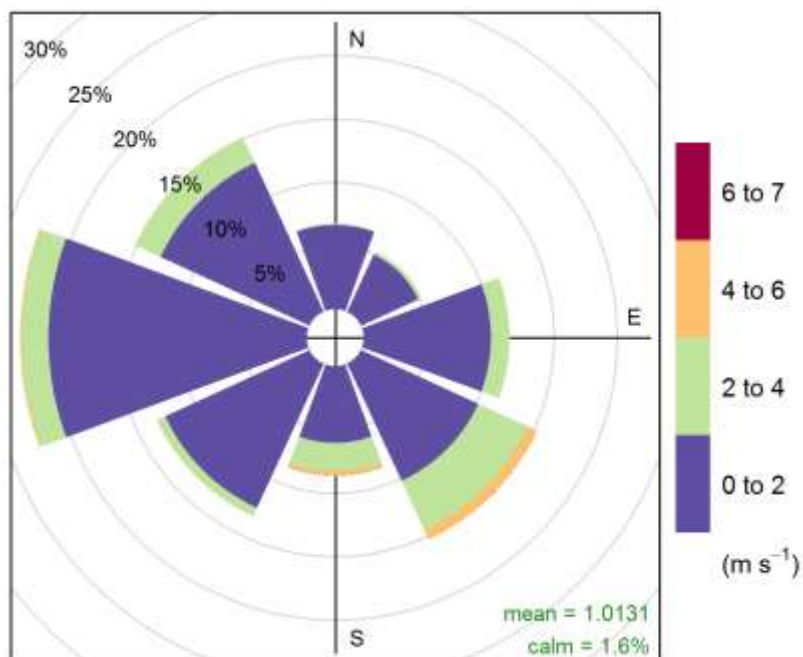


Obr. 40 – Normalizované hodnoty průměrných koncentrací PM_{10} , $PM_{2.5}$ a NO_x v hodinovém, týdenním a měsíčním chodu, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

2.3.2 Brno – Lány

2.3.2.1 Větrná růžice

Základem analýz je větrná růžice v dané lokalitě. Následující Obr. 41 zobrazuje větrnou růžici pro lokalitu Brno – Lány, která je dále členěná i dle rychlosti větru.

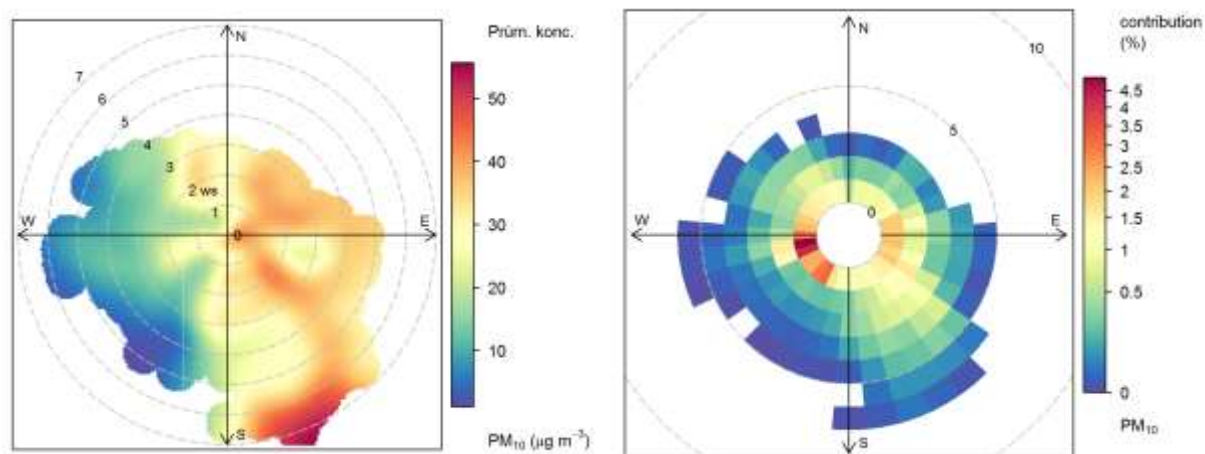


Obr. 41 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, Brno – Lány, 2010 – 2016

Větrná růžice v lokalitě není bráněna zástavbou, je však poměrně stíněna zelení. Převládá západo – východní proudění. Severní a severovýchodní směry jsou zastoupeny méně. Rychlosti větru jsou převážně do 4 m.s^{-1} . Vyšší rychlosti větru jsou zaznamenány pouze z jihovýchodních a jižních směrů. Nízké rychlosti větru se odráží na špatném rozptýlu škodlivin, a tudíž i jejich vyšším koncentracím, než kdyby lokalita ležela v méně stíněné lokalitě s vyššími rychlostmi větru.

2.3.2.2 Imisní růžice

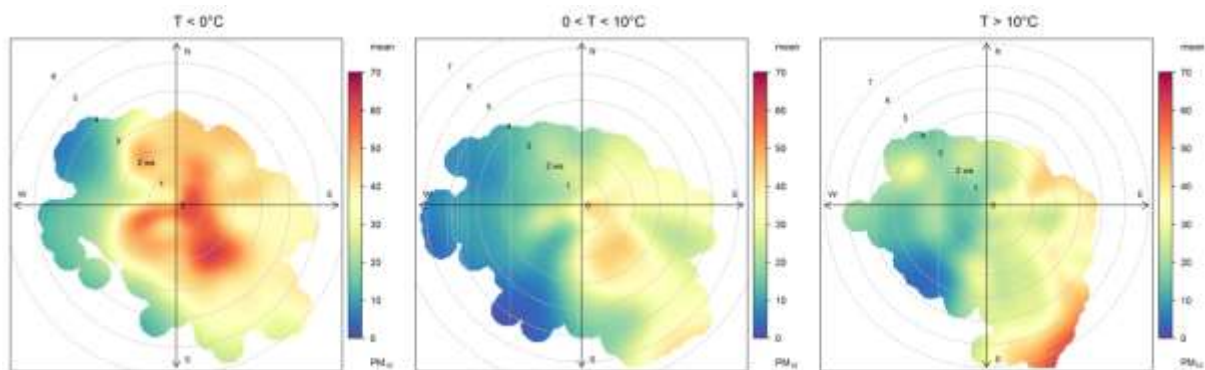
Díky znalosti rychlosti a směru větru a koncentrace PM_{10} je možné zkonstruovat koncentrační růžice pro tuto škodlivinu. Na Obr. 42 je vlevo zobrazena koncentrační růžice – průměrná koncentrace PM_{10} je v ní zobrazena jako funkce rychlosti a směru větru. Růžice v pravo pak nezobrazuje průměrnou koncentraci, ale vážený průměr. Růžice tedy zobrazuje procentuální příspěvek jednotlivých rychlostí a směrů větru k měřeným koncentracím PM_{10} v lokalitě Brno – Lány.



Obr. 42 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážení koncentrační růžice (vpravo) pro PM_{10} , Brno – Lány, 2010 – 2016

Z koncentrační růžice je patrné, že vyšší průměrné koncentrace PM_{10} jsou dosahovány při východním až jižním proudění, maxima pak bylo dosaženo při vyšších rychlostech větru (7 m.s^{-1}). Z jižních až západních směrů jsou koncentrace v průměru nižší. Z vážené koncentrační růžice vyplývá, že nejvyšší příspěvek k průměrným koncentracím PM_{10} mají velmi nízké rychlosti větru do 1 m.s^{-1} , přičemž převládají především západní a částečně východní směry. Vyšší rychlosti proudění větru přispívají k průměrným koncentracím PM_{10} pouze minimálně. Průměrné koncentrace ze západu jsou spíše nízké, vysoký příspěvek koncentrací ze západu lze připočíst nejčastějšímu směru větru (Obr. 41) a nasčítání vlivu.

Následující Obr. 43 zobrazuje teplotně členěnou koncentrační růžici průměrných koncentrací PM_{10} .

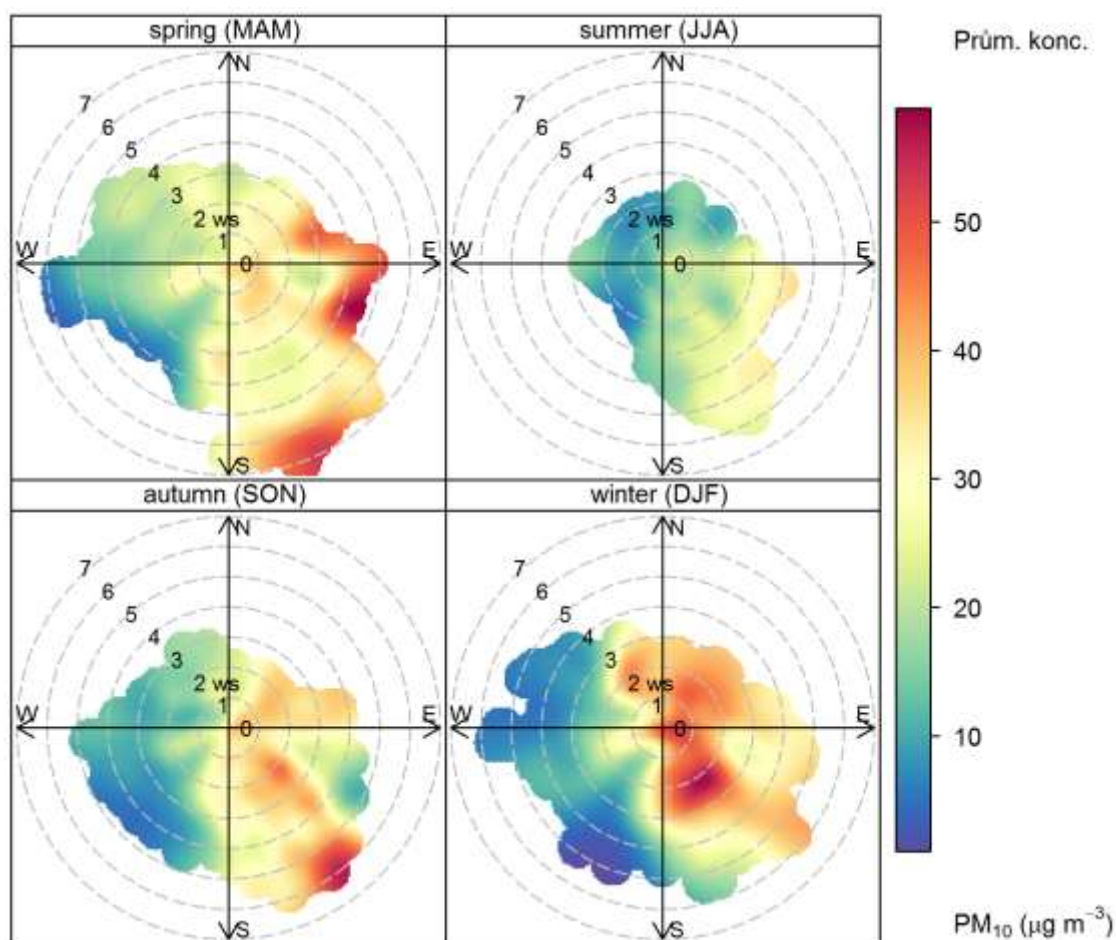


Obr. 43 – Teplotně členěná koncentrační růžice PM_{10} , Brno – Lány, 2010 – 2016

Z teplotně členěné koncentrační růžice vyplývá, že nejvyšších koncentrací je dosahováno při teplotách pod 0°C , zejména při nižších rychlostech větru. Při vyšších teplotách je z hlediska uvedené škály dosahováno jen průměrných koncentrací. To je způsobeno tím, že při takto nízkých teplotách jsou v provozu lokální topeniště, která plošně zvyšují koncentrace v celém regionu. Doprava pak tyto již zvýšené koncentrace lokálně navyšuje. Při teplotách nad 10°C a vyšších rychlostech větru jsou zaznamenány i vyšší koncentrace PM_{10} z jihovýchodu. Může to být důsledek větrné eroze, ke které

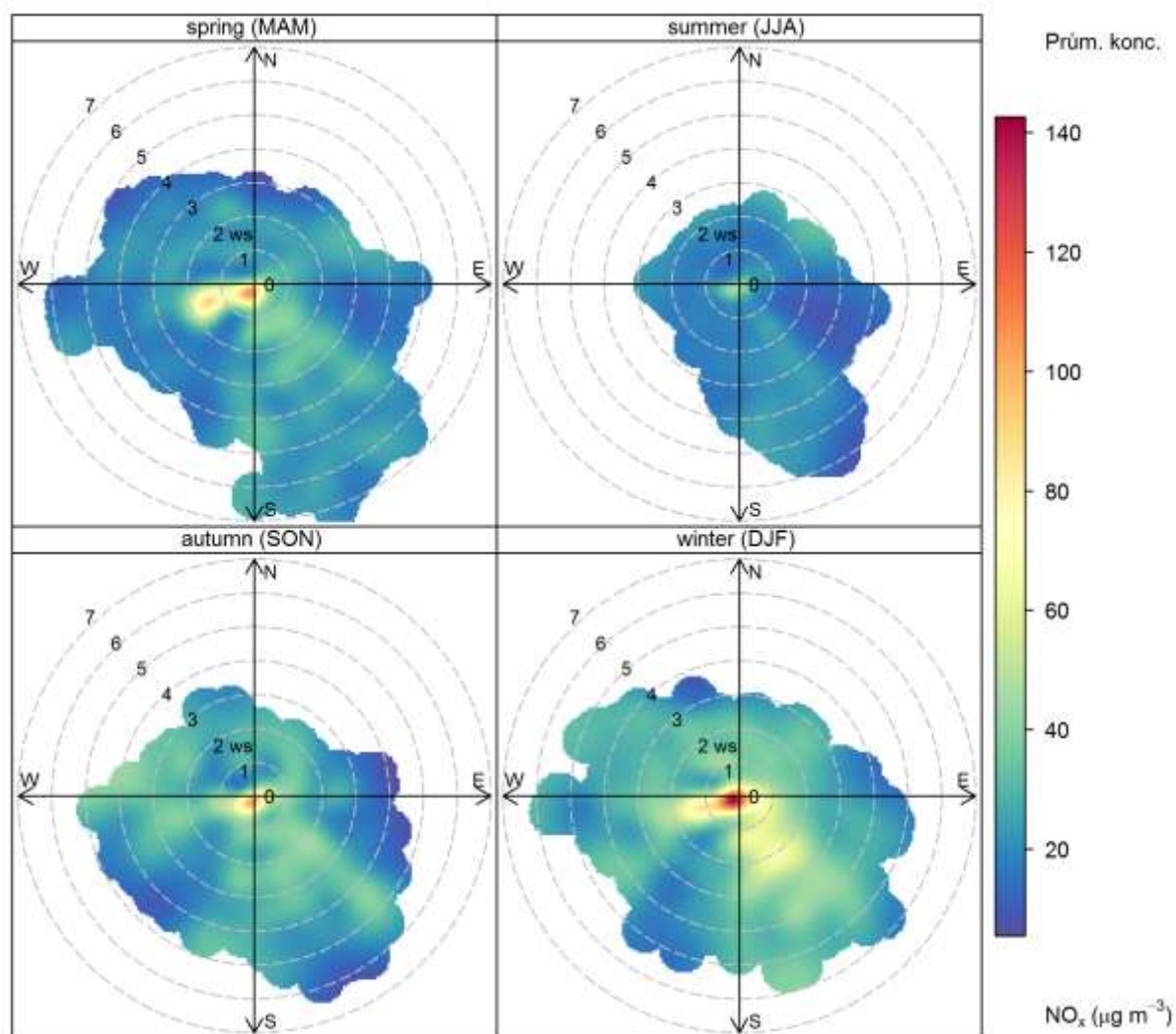
může na jižní Moravě docházet právě při vyšších teplotách a rychlostech větru, zejména pak při delších bezesrážkových epizodách [14], [15].

Výše uvedené potvrzuje i koncentrační růžice průměrných koncentrací PM_{10} , členěná dle ročních období. Zatímco v létě jsou koncentrace velmi nízké, v zimních měsících jsou měřeny vysoké koncentrace zejména při nižších rychlostech větru. Avšak kromě zimních měsíců jsou vysoké koncentrace zastoupeny i v jarních a podzimních měsících převážně při vyšších rychlostech větru. Zastoupeny jsou především jihovýchodní a východní směry. To může souviset právě s větrnou erozí, kdy právě v jarních a podzimních měsících je půda nezpevněna rostlinami a je více náchylná k větrné erozi.



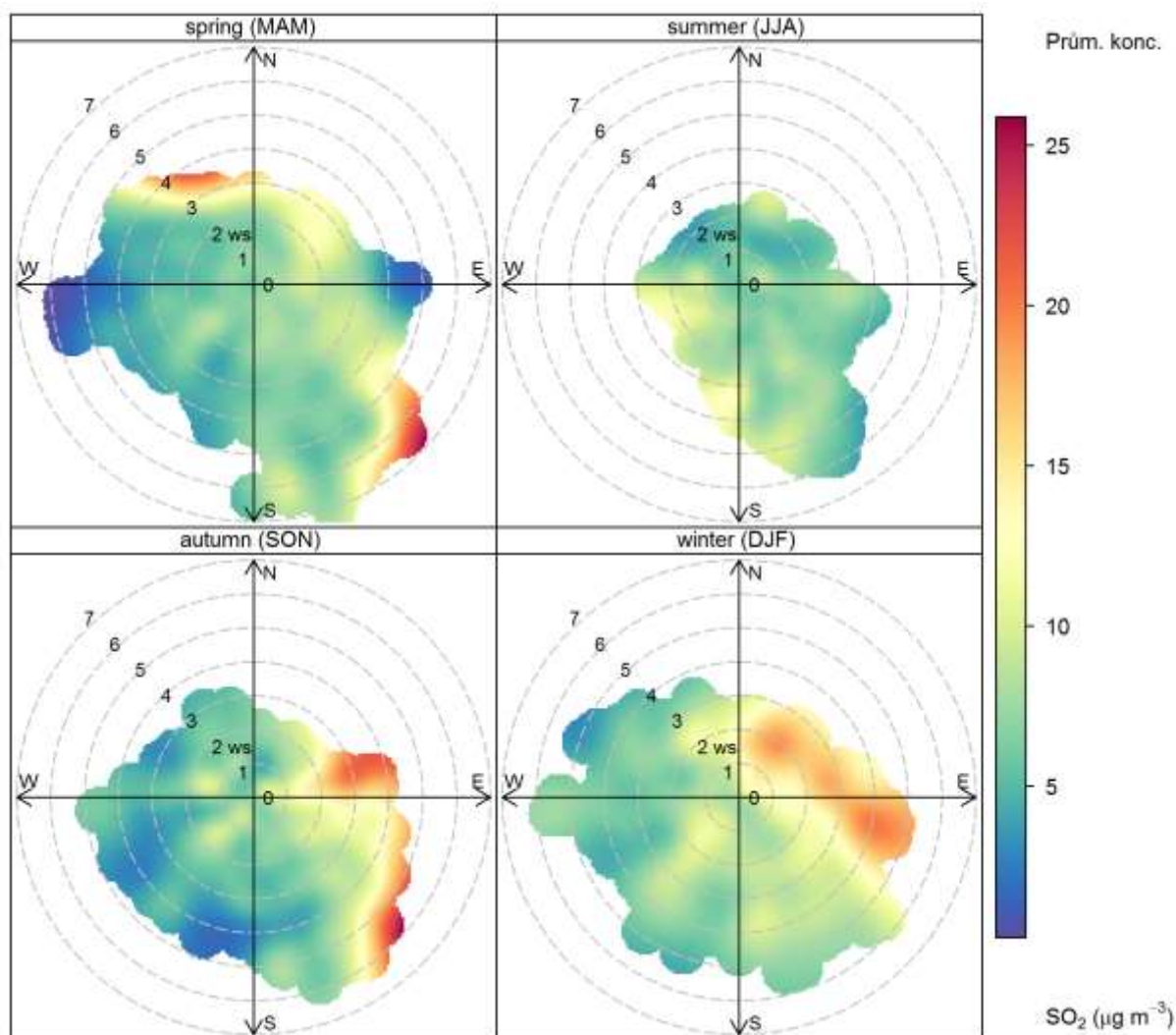
Obr. 44 – Koncentrační růžice PM_{10} členěná dle ročních období, Brno – Lány, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

Zhruba 400 m jižním směrem je dálnice D1. Již ze studie „Šíření znečišťujících látek ovzduší v okolí dopravních komunikací“ [16] je patrné, že na takto velkou vzdálenost dálnice částicemi lokalitu téměř neovlivňuje. Při pohledu na koncentrační růžici NO_x v této lokalitě (Obr. 45) je rovněž patrné, že s koncentrační růžicí PM_{10} nekoresponduje. Naznačuje spíše významný zdroj západním směrem, vysoké koncentrace jsou pouze při nízkých rychlostech větru. Svůj vliv může mít i dálnice D1.



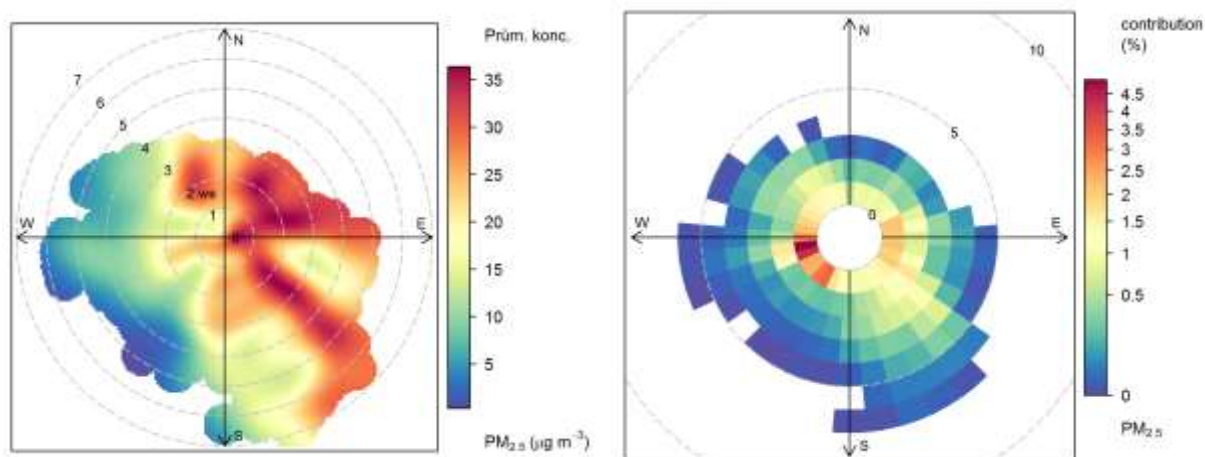
Obr. 45 – Koncentrační růžice NO_x členěná dle ročních období, Brno – Lány, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

Naproti tomu při pohledu na koncentrační růžici SO₂ (Obr. 46) je patrné, že s koncentrační růžicí PM₁₀ podstatně lépe koresponduje. To naznačuje, že lokalita je ovlivňována z hlediska PM₁₀ a SO₂ identickým zdrojem. Vzhledem k tomu, že s PM₁₀ nekoreluje NO_x, ale SO₂, vylučuje to dopravu. Jedná se tak zřejmě buď o vliv lokálních topenišť nebo významného spalovacího zdroje s emisemi tuhých látek a SO₂. Ve prospěch lokálních topenišť mluví sezónnost, v letních měsících jsou koncentrace obou polutantů jen velmi nízké. Svůj vliv na vyšší koncentrace škodlivin mohou mít také zahrádky a jarní a podzimní spalování biologického odpadu.



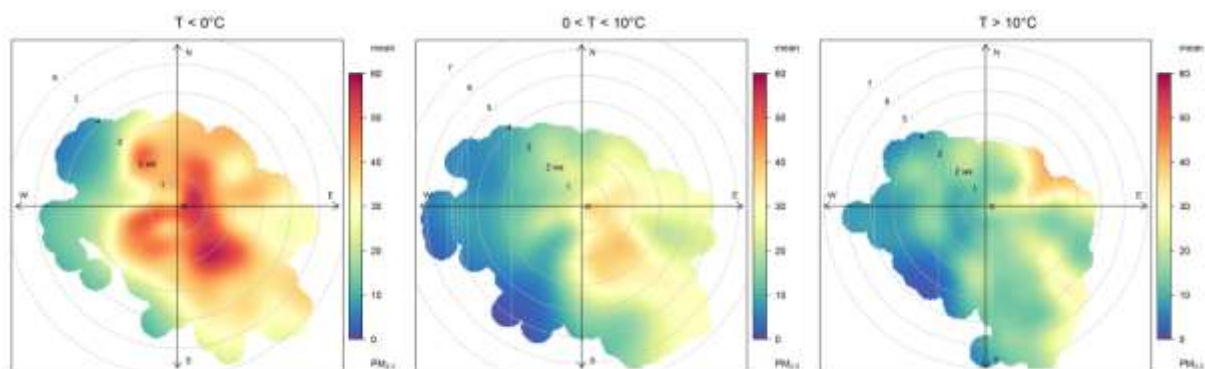
Obr. 46 – Koncentrační růžice SO_2 členěná dle ročních období, Brno – Lány, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

Podobné výsledky jako v případě PM_{10} jsou měřeny i pro $\text{PM}_{2,5}$. Koncentrační růžice průměrných koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ (Obr. 47) opět zobrazuje nejvyšší koncentrace z východních až severních směrů, vyšší koncentrace jsou rovněž měřeny z jihovýchodních směrů. Vážená koncentrační růžice pak podobně jako v případě PM_{10} klade maximum příspěvku ke koncentracím $\text{PM}_{2,5}$ k západním směrům, odkud proudí vzduch nejčastěji (Obr. 41).



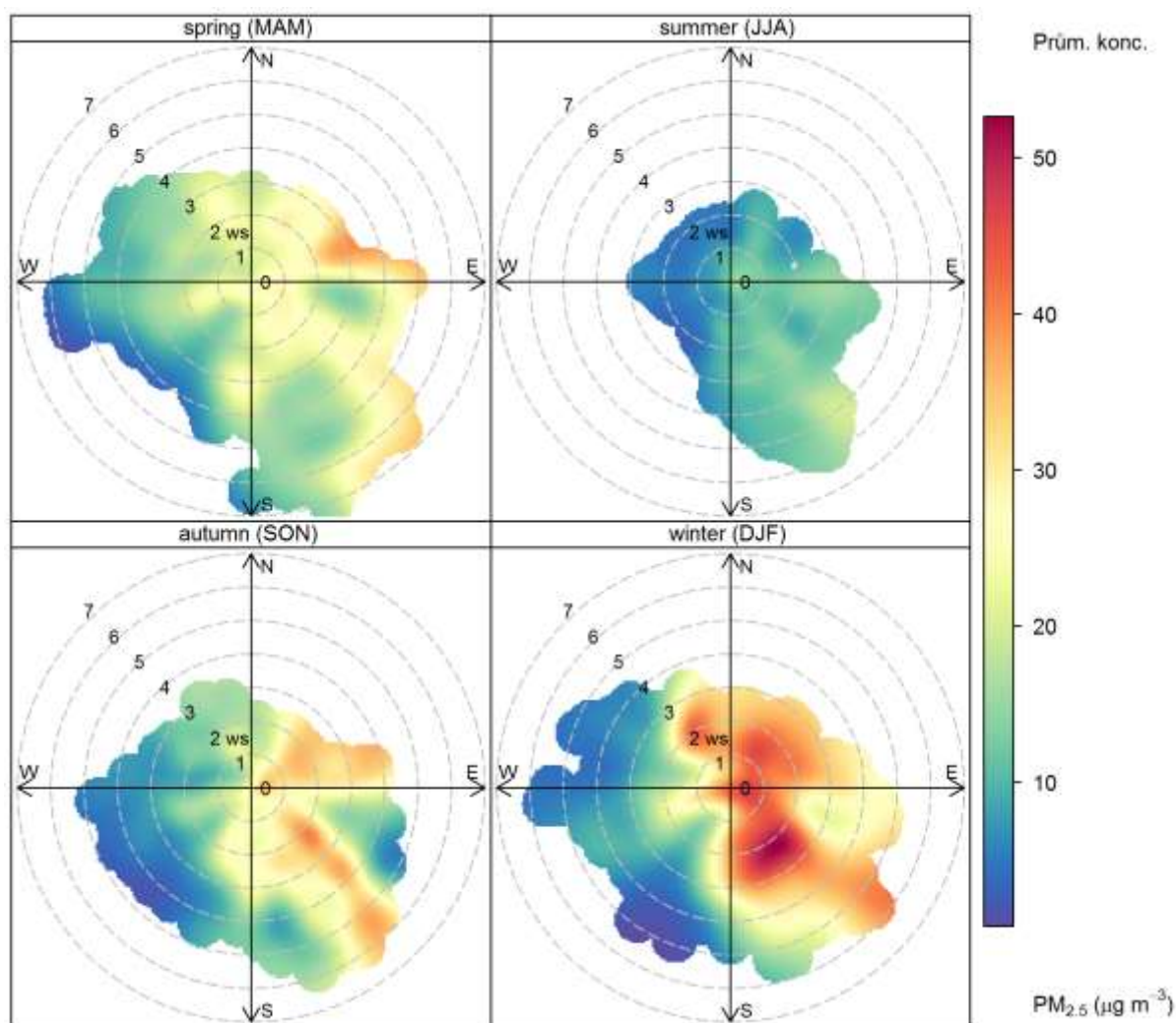
Obr. 47 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážení koncentrační růžice (vpravo) pro $PM_{2,5}$, Brno – Lány, 2010 – 2016

Pokud se však koncentrační růžice rozdělí podle teploty, je patrná mírně odlišná situace než v případě PM_{10} . Maxima koncentrací jsou měřena při nízkých teplotách pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a zejména při nižších rychlostech proudění větru. Při vyšších teplotách jsou již koncentrace $PM_{2,5}$ z hlediska škály pouze průměrné (do $40\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v hodinovém průměru), při teplotách nad $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ nejsou patrná maxima jako v případě PM_{10} (Obr. 48). To může poukazovat právě na větrnou erozi, kdy během epizod jsou měřeny zvýšené koncentrace PM_{10} , ale $PM_{2,5}$ se téměř nemění [15].



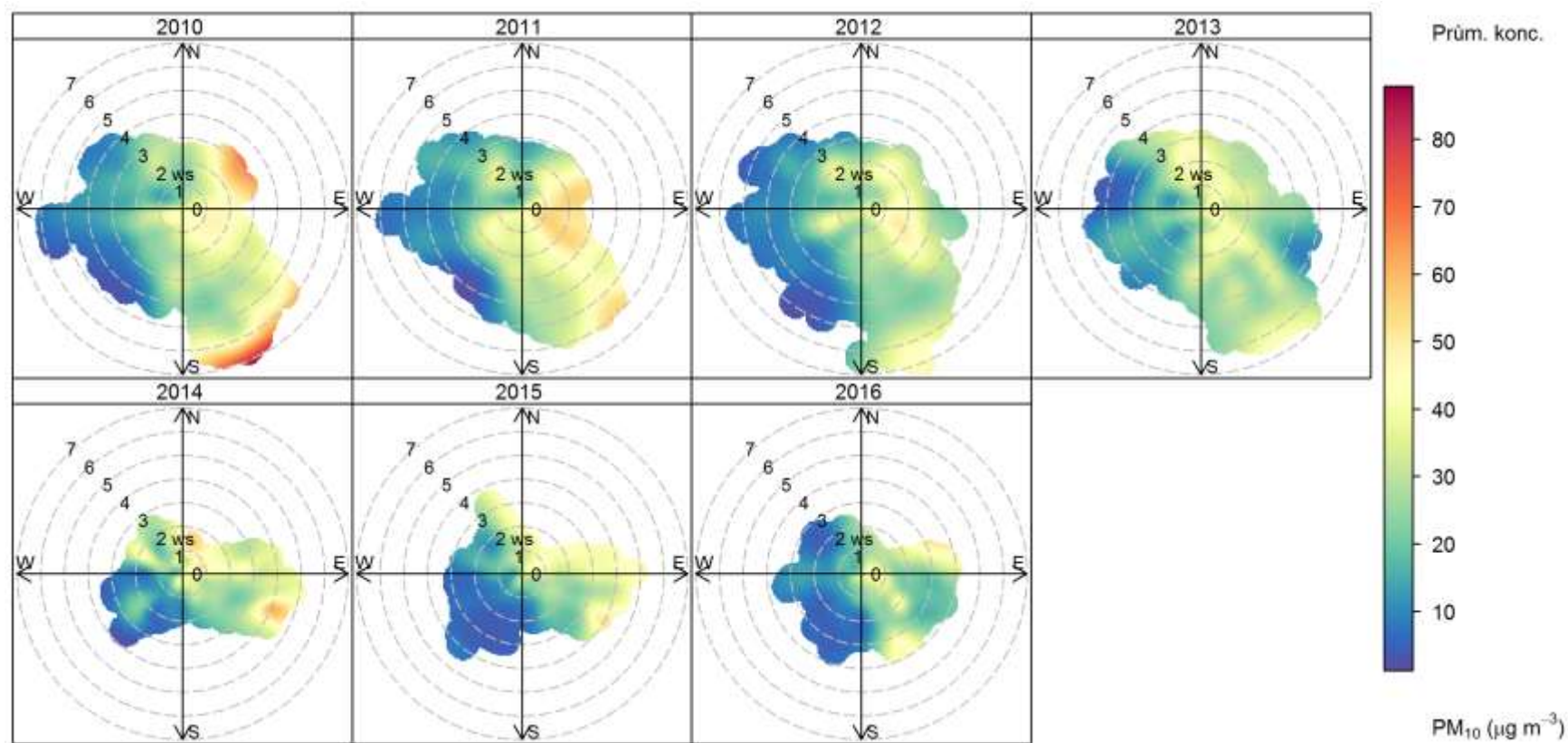
Obr. 48 – Teplotně členěná koncentrační růžice $PM_{2,5}$, Brno – Lány, 2010 – 2016

V případě koncentrační růžice $PM_{2,5}$ členěné dle ročních období (Obr. 49) je situace opět totožná se situací v případě hrubší frakce PM_{10} . Nejvyšší koncentrace jsou měřeny v zimě, kdy se na vysokých koncentracích podílí i lokální topeniště a možný je i dálkový transport znečištění. V jarních a podzimních měsících jsou koncentrace rovněž mírně zvýšené, avšak ne tolik jako v případě PM_{10} . **Z uvedeného vyplývá, že na zvýšených koncentracích PM_{10} a $PM_{2,5}$ v lokalitě Brno – Lány se pravděpodobně podílí lokální topeniště či další zdroj, který emituje SO_2 . Při vyšších teplotách může koncentrace PM_{10} zvyšovat i větrná eroze.**

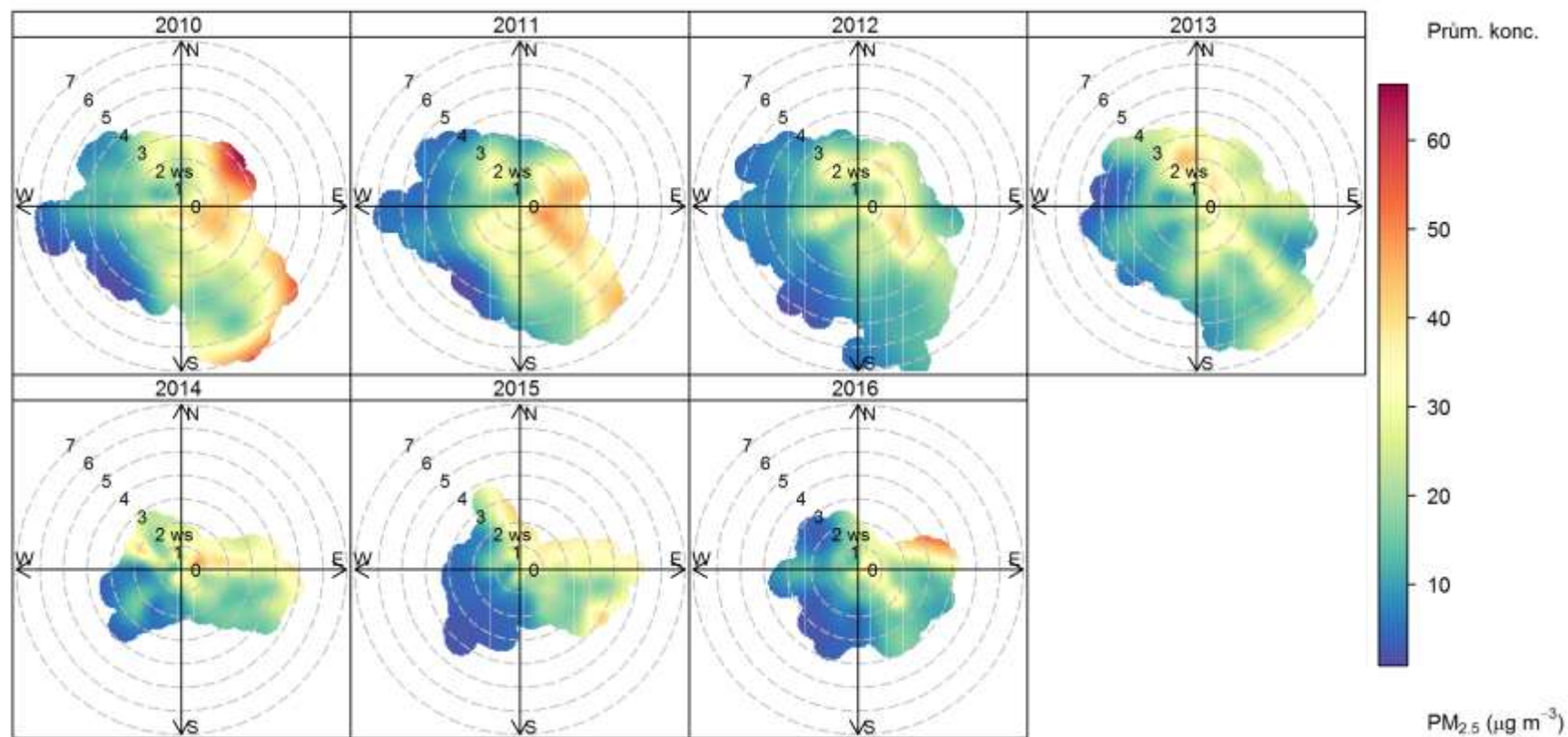


Obr. 49 – Koncentrační růžice $PM_{2.5}$ členěná dle ročních období, Brno – Lány, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

Koncentrační růžici lze rozdělit i podle jednotlivých let. V případě koncentrací PM_{10} je patrné, že maximální koncentrace se objevily zejména v roce 2010, kdy byla nejdelší topná sezóna (Obr. 50). Obdobná situace panuje i v případě $PM_{2.5}$ (Obr. 51).



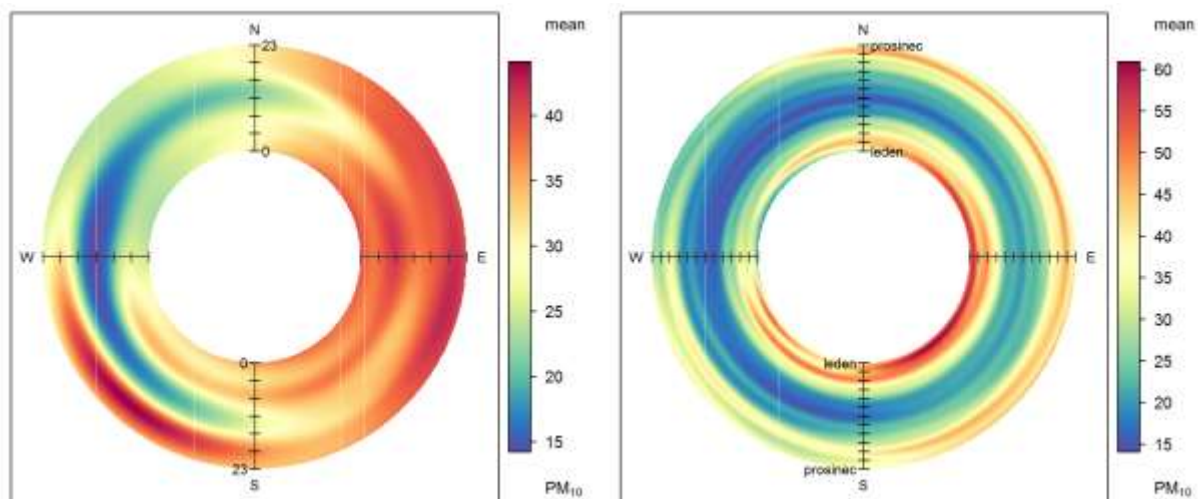
Obr. 50 – Koncentrační růžice PM_{10} , členěná dle jednotlivých let, Brno – Lány, 2010 – 2016



Obr. 51 – Koncentrační růžice $PM_{2.5}$, členěná dle jednotlivých let, Brno – Lány, 2010 – 2016

2.3.2.3 Denní a měsíční chod

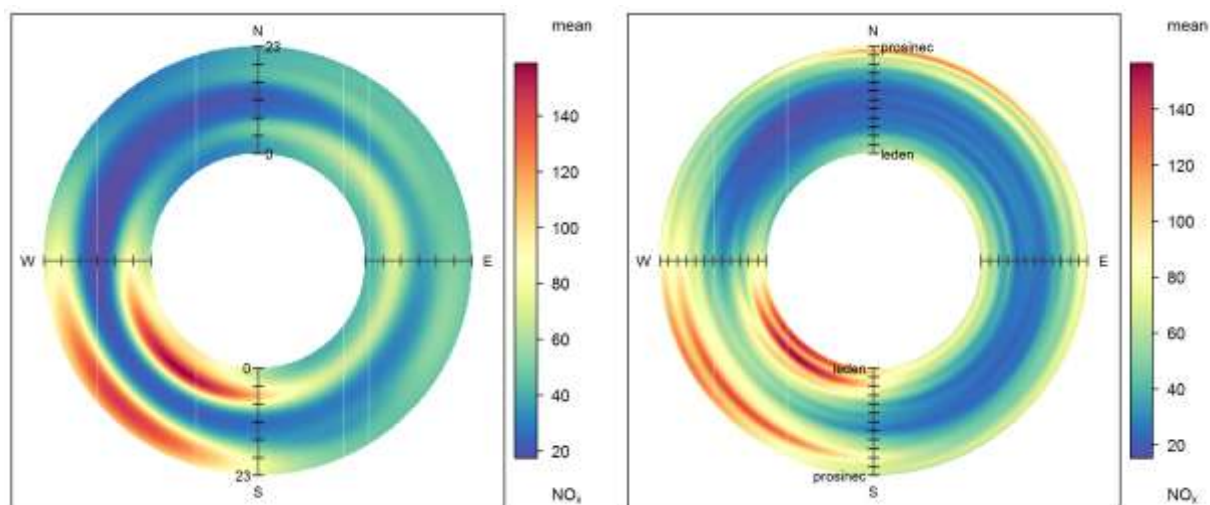
Díky znalosti hodinových informací meteorologických charakteristik a koncentrací škodlivin je možné sestavit i průměrný denní chod koncentrací v lokalitě v závislosti na směru větru. Graf na Obr. 52 vlevo zobrazuje po hodinách průměrný denní chod PM_{10} v lokalitě Brno – Lány za roky 2010 až 2016, členěná dle směru větru. Graf na Obr. 52 vpravo zobrazuje totéž, avšak po měsících.



Obr. 52 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace PM_{10} , Brno – Lány, 2010 – 2016

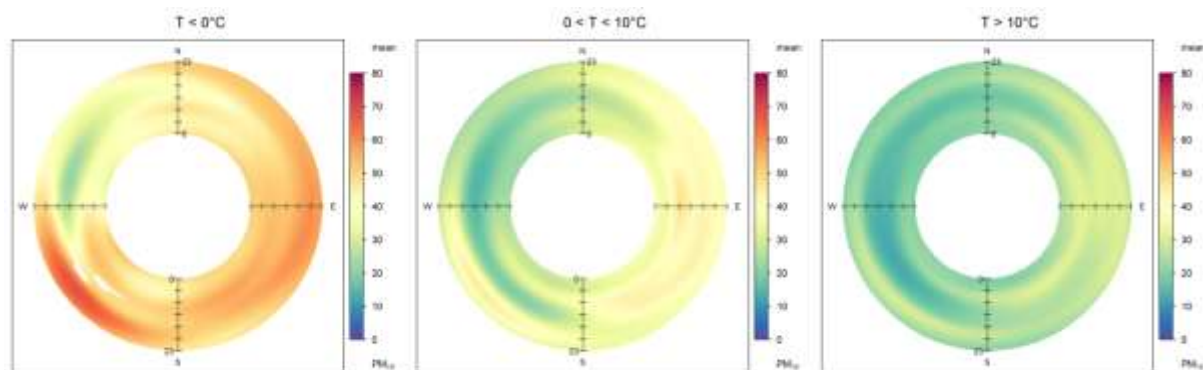
Z grafů na Obr. 52 je patrný téměř celodenní vliv východních směrů. Částečně jsou z nich patrné ranní dopravní špička, ale zejména večerní navýšení koncentrací způsobené zřejmě lokálními topeništi. Obdobně je tomu při proudění větru z jihozápadních směrů. Částečně je patrné navýšení v době ranní dopravní špičky, kde se zřejmě může projevit vliv dálnice. Ale i v nočních a brzkých ranních hodinách nejsou koncentrace úplně nízké. Přes den jsou koncentrace ze západních, jihozápadních a jižních směrů pouze velmi nízké. Avšak podstatně vyšší koncentrace jsou zaznamenány až od zhruba 16. hodiny (UTC) do brzkých ranních hodin. Ze začátku se ještě může projevit vliv odpolední dopravní špičky, který je poté překryt vlivem lokálních topenišť. Obdobně se v jihozápadních směrech projevuje i denní chod koncentrace NO_x (Obr. 53). Koncentrace NO_x jsou v době ranní dopravní špičky kromě severozápadních směrů jen mírně zvýšené. Pouze z jihozápadních směrů se odráží ve vysokých koncentracích, které však byly již od půlnoci zvýšené a nemusí nutně s dopravní špičkou souviset. Poté dojde k výraznému poklesu až k minimálním koncentracím (charakteristický pokles pro pozadové lokality, související s tvorbou ozónu, viz. kapitola 4). Nárůst je patrný zhruba od 16. hodiny, kulminace koncentrací je mezi 18. a 20. hodinou (UTC), ale ani pak nedochází k poklesu na hodnoty měřené v denních hodinách mezi 10. a 16. hodinou. V těchto večerních hodinách i v brzkých ranních hodinách pravděpodobně dochází ke kumulaci vlivu dopravy a dalšího zdroje sloužícího k vytápění – ať už kotelny či lokálních topenišť. Naproti tomu z východních směrů, odkud pochází vysoké koncentrace PM_{10} téměř celý den, jsou koncentrace NO_x velmi nízké. Lze tedy předpokládat, že koncentrace PM_{10} při východním proudění nejsou spojeny s dopravou a mohou mít svůj původ v dálkovém transportu. Obdobně se chová i lokalita Brno – Tuřany, lze tedy předpokládat, že zvýšené koncentrace z východních směrů souvisí s dálkovým transportem a znečištěním z lokálních topenišť.

Výrazně se koncentrace PM_{10} mění i v měsíčním chodu, kdy zvýšené koncentrace jsou zaznamenány v zimních měsících. Obdobně je tomu i v případě koncentrací NO_x z jihozápadních směrů.



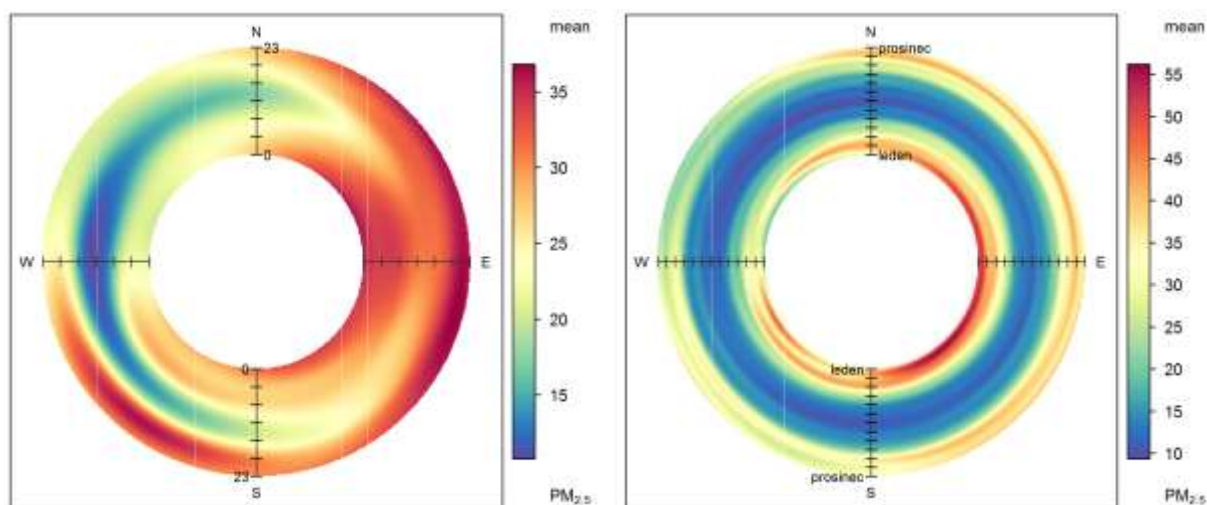
Obr. 53 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace NO_x , Brno – Lány, 2010 – 2016

Také z hlediska teplotně členěného denního chodu lze vyvozovat na vliv lokálních topenišť – vysoké koncentrace jsou měřeny pouze při teplotách pod 0 °C. Při teplotách nad 10 °C jsou patrné podstatně nižší koncentrace, i zde převládají vyšší koncentrace při východním proudění. V případě jihozápadního proudění je mírně patrný ranní i odpolední nárůst koncentrací, který může být spojený s dopravou, v nočních hodinách však dojde k poklesu koncentrací na nízké hodnoty.

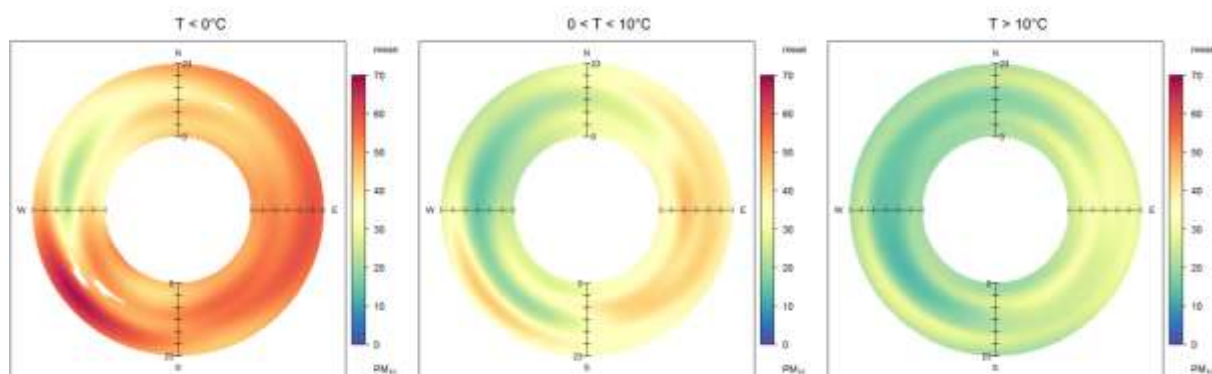


Obr. 54 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací PM_{10} dle směru větru

Podobně je to i v případě denních a měsíčních chodů koncentrací $PM_{2.5}$. I v tomto případě je vidět výrazný vliv východního proudění s kulminací v nočních hodinách (Obr. 55). Vysoké koncentrace se opět vyskytují v zimních měsících především při teplotách nižších než 0 °C. Při teplotách nad 10 °C mimo topnou sezónu jsou již koncentrace $PM_{2.5}$ minimální (Obr. 56).

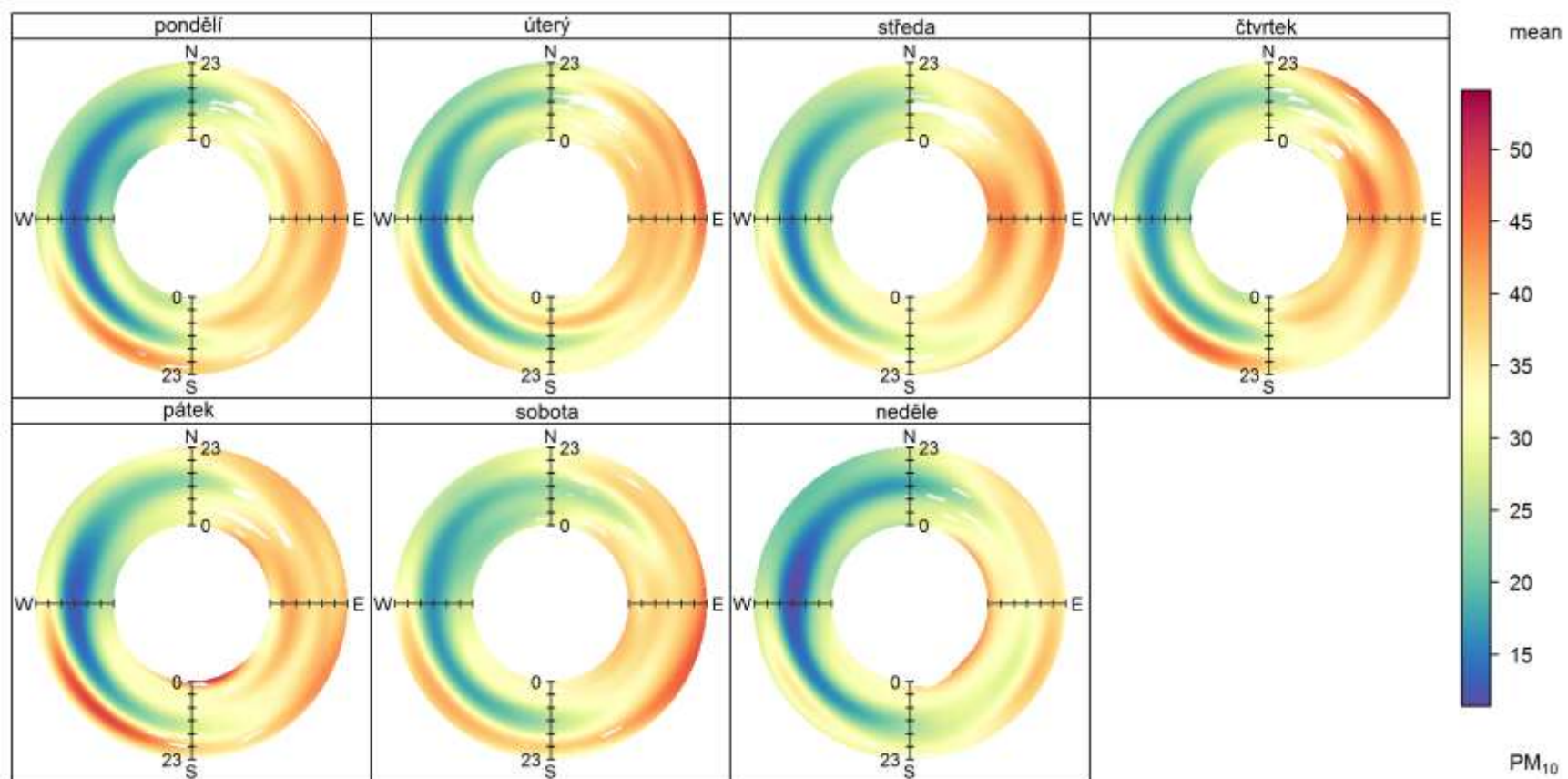


Obr. 55 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace $PM_{2,5}$, Brno – Lány, 2010 – 2016

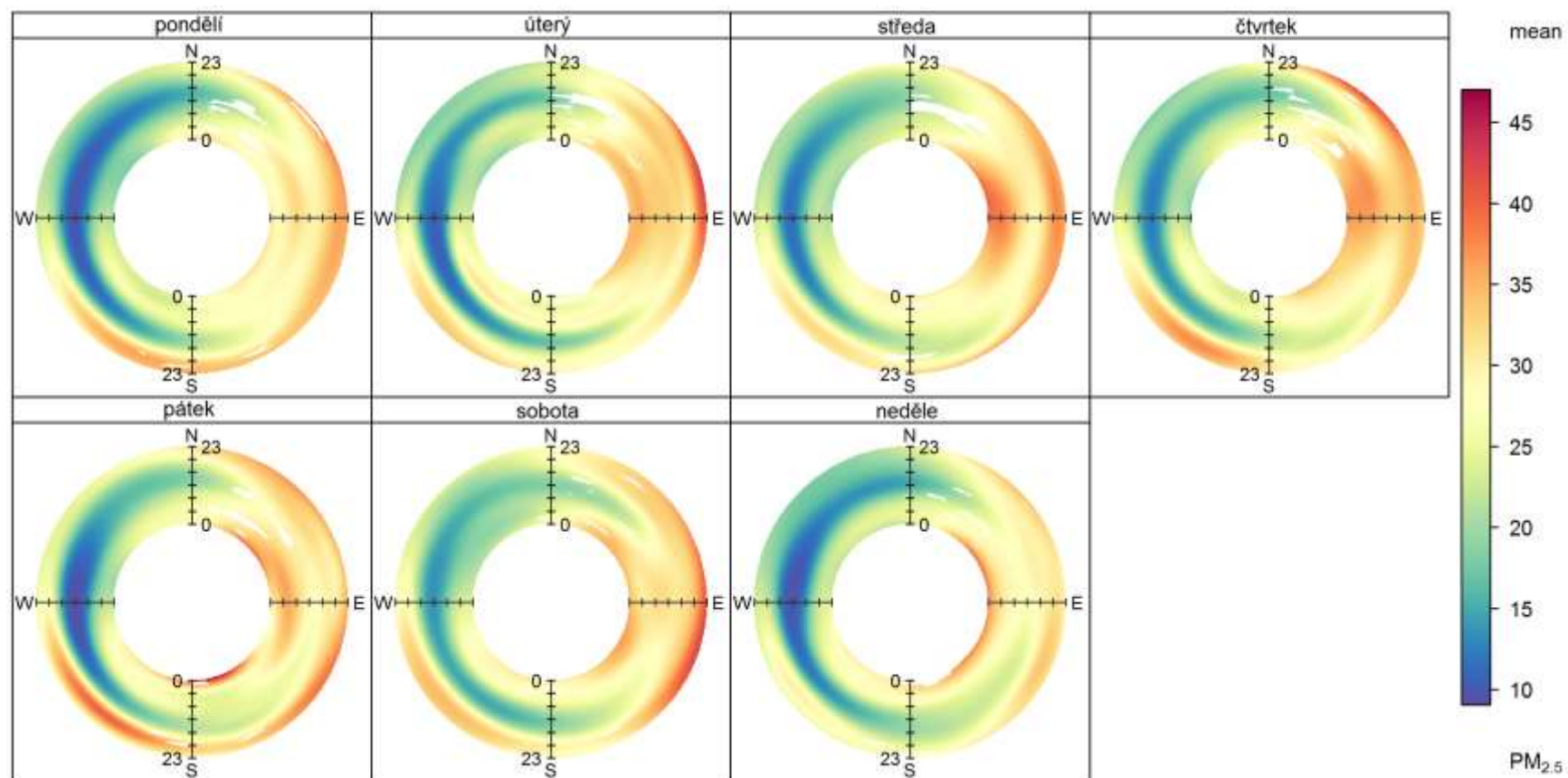


Obr. 56 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací $PM_{2,5}$ dle směru větru, Brno – Lány, 2010 – 2016

Koncentrace PM_{10} ani $PM_{2,5}$ se příliš neliší v jednotlivých dnech v týdnu (Obr. 57, Obr. 58). V některé dny jsou patrné zvýšené koncentrace, zejména ve večerních a nočních hodinách. Jedná se zřejmě o vliv vytápění v topné sezóně ve večerních hodinách. Denní chod v jednotlivých dnech v týdnu je v kontrastu s koncentracemi NO_x , které jsou více ovlivněny dopravou. Koncentrace NO_x jsou o víkendů výrazněji nižší než v pracovní dny, vyšší koncentrace v nočních hodinách však zůstávají (kapitola 3). **Vysoké koncentrace i v nočních a brzkých ranních hodinách v této lokalitě lze tedy přičíst pravděpodobně lokálním topeništím** – může se jednat o rodinné a zahradní domky v okolí stanice.



Obr. 57 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace PM₁₀, Brno – Lány, 2010 – 2016



Obr. 58 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace $PM_{2.5}$, Brno – Lány, 2010 – 2016

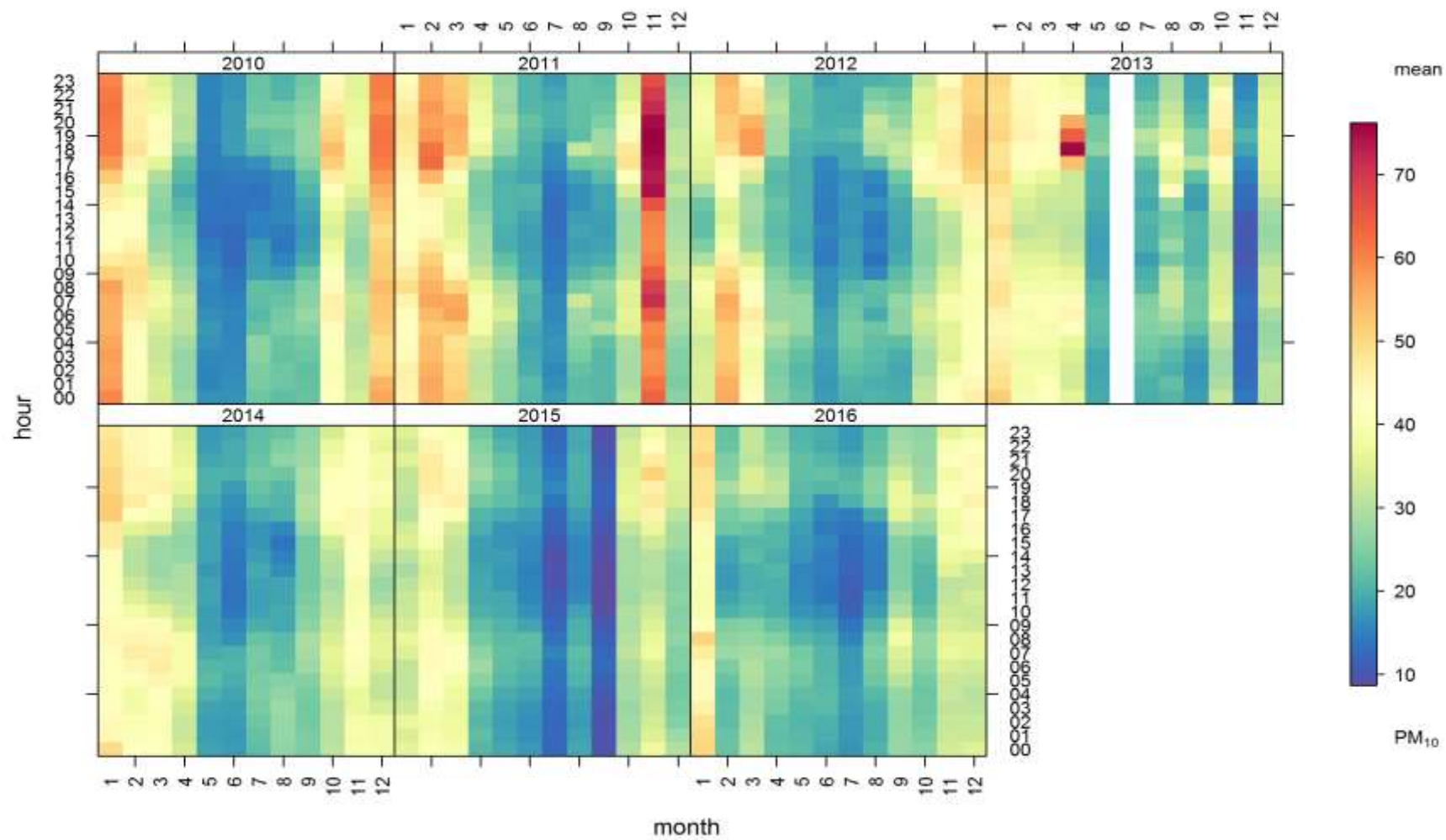
2.3.2.4 Přehledy koncentrací

Celkový přehled koncentrací PM_{10} v lokalitě Brno – Lány za roky 2010 – 2016 zobrazuje Obr. 59. Zobrazuje průměrnou koncentraci PM_{10} v jednotlivých hodinách dne, členěné dle měsíců a roků. Z přehledu je patrné, že vyšší koncentrace jsou dosahovány v zimních měsících, především pak v letech 2010 a 2011. V roce 2011 je ještě výrazný měsíc listopad, kdy byla poměrně dlouhá epizoda počasí s inverzním charakterem, navíc v Jihomoravském kraji nespadl ani mm srážek. Zvýšené koncentrace PM_{10} v měsíci listopadu roku 2011 jsou patrné na všech lokalitách. Tato epizoda zdůrazňuje významný vliv meteorologických podmínek na koncentrace PM_{10} . Naproti tomu v letních měsících mimo topnou sezónu jsou koncentrace vždy velmi nízké. Rovněž v posledních 3 letech byly poměrně mírné zimy bez delších epizod s inverzním charakterem počasí. To se projevilo na relativně nízkých koncentracích PM_{10} v zimních měsících těchto let.

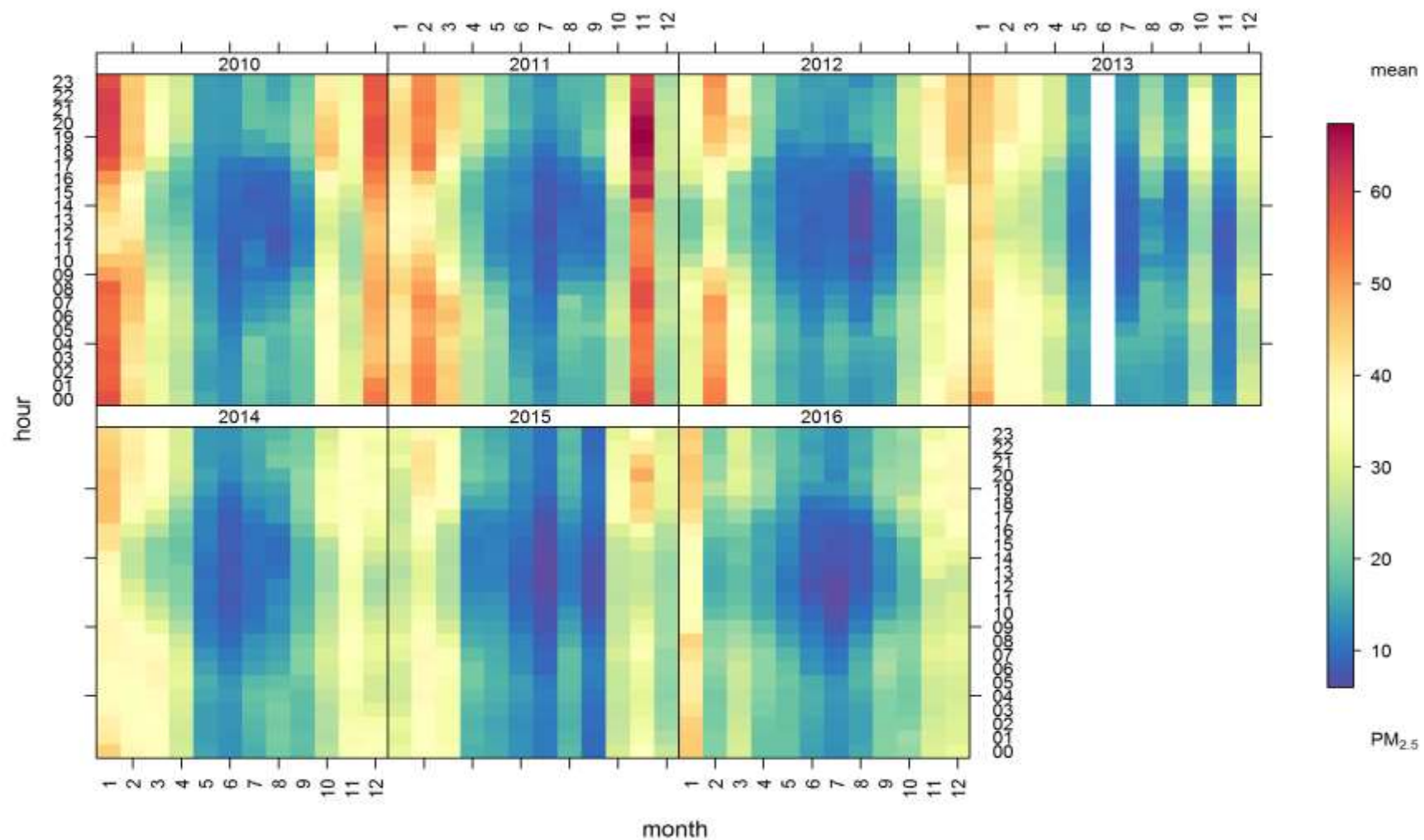
Velmi podobná je i situace v případě jemnější frakce $PM_{2,5}$. Přehled je zobrazen na Obr. 60. Proti PM_{10} chybí výrazná situace z dubna 2013 v odpoledních a večerních hodinách. Šlo tedy pravděpodobně o lokální ovlivnění pouze hrubší frakce suspendovaných částic.

Obr. 61 zobrazuje stejný přehled koncentrací PM_{10} jako Obr. 59, avšak vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, jako tomu je na stránkách ČHMÚ v hodinovém přehledu [13].

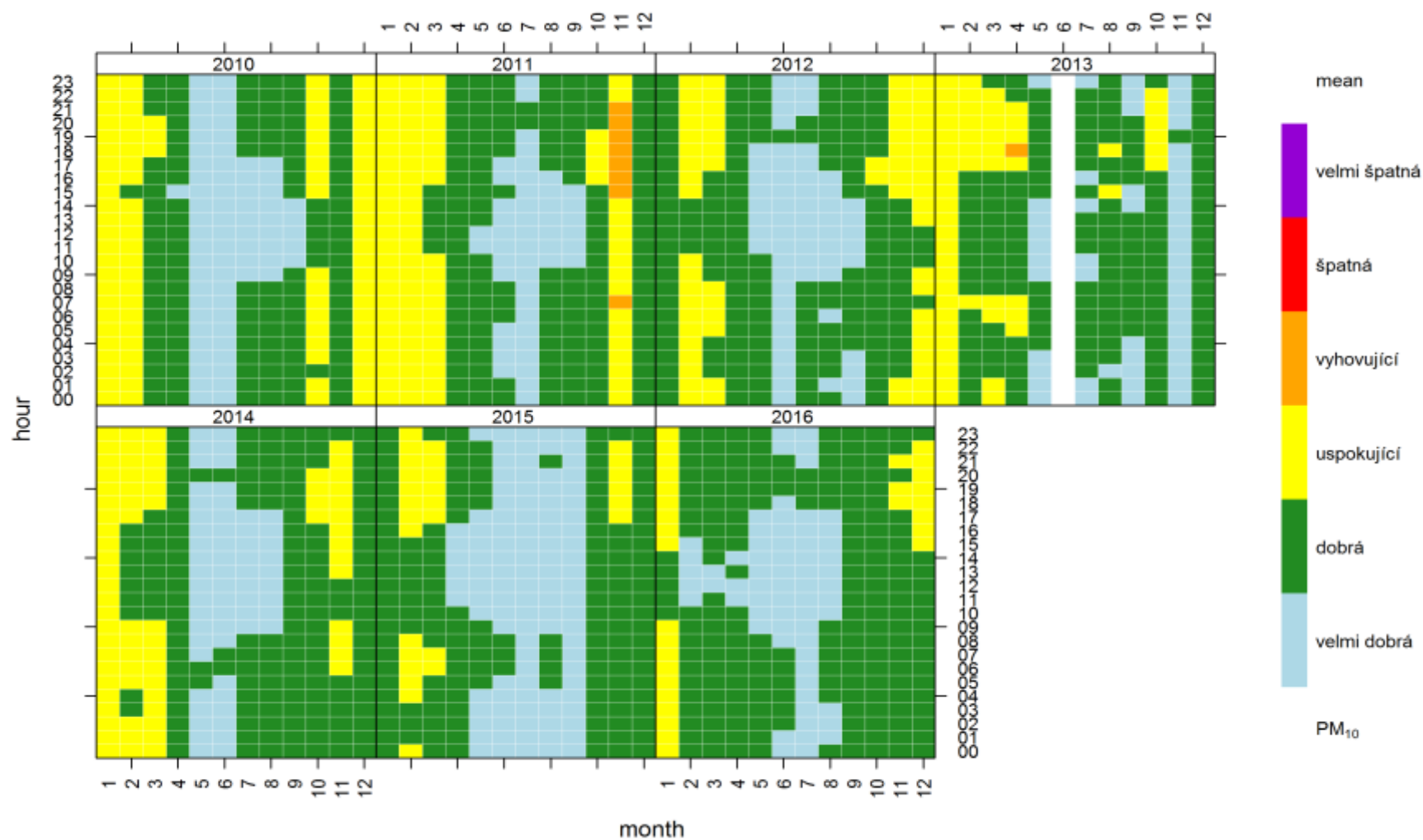
Obr. 62 zobrazuje normalizované hodnoty průměrných koncentrací (k průměru za celý interval) škodlivin PM_{10} , $PM_{2,5}$ a NO_x . V týdenním chodu jsou zřetelné ranní a večerní pík koncentrací NO_x . Proti dopravní lokalitě Brno – Svatoplukova však jsou oba přibližně stejně vysoké. Tyto píky jsou o víkendu výrazně nižší, na koncentracích NO_x se tedy zřejmě podílí doprava. Proti lokalitě Brno – Svatoplukova se rovněž liší časy kulminací píků NO_x – ranní kulminuje dříve a večerní výrazně později (až kolem 20. hodiny UTC), než v případě stanice Brno – Svatoplukova. Zřetelný je rovněž výrazný pokles koncentrací mezi oběma píky, ke kterému v lokalitě Brno – Svatoplukova nedochází. Pozdní večerní kulminace i výrazný pokles koncentrací mezi 10. a 16. hodinou je charakteristický i pro další pozadřové lokality (Brno – Tuřany a Mikulov – Sedlec, viz. dále). V případě PM_{10} a $PM_{2,5}$ je rovněž výraznější večerní kulminace koncentrací, která je podobně jako v případě NO_x posunuta k pozdějším večerním hodinám. Z uvedeného lze vyvodit, že na koncentracích NO_x i PM se výrazně podílí i zdroje sloužící k vytápění. Pokles koncentrací NO_x o víkendu není rovněž tak výrazný, jako v lokalitě Brno – Svatoplukova, kde koncentrace v sobotu poklesly zhruba na 60 % a v neděli ještě více, zatímco v lokalitě Brno – Lány dochází k poklesu pouze na 80 resp. 70 %. Z hlediska měsíčního chodu je patrný výrazný pokles koncentrací všech škodlivin v teplé části roku proti chladné části roku.



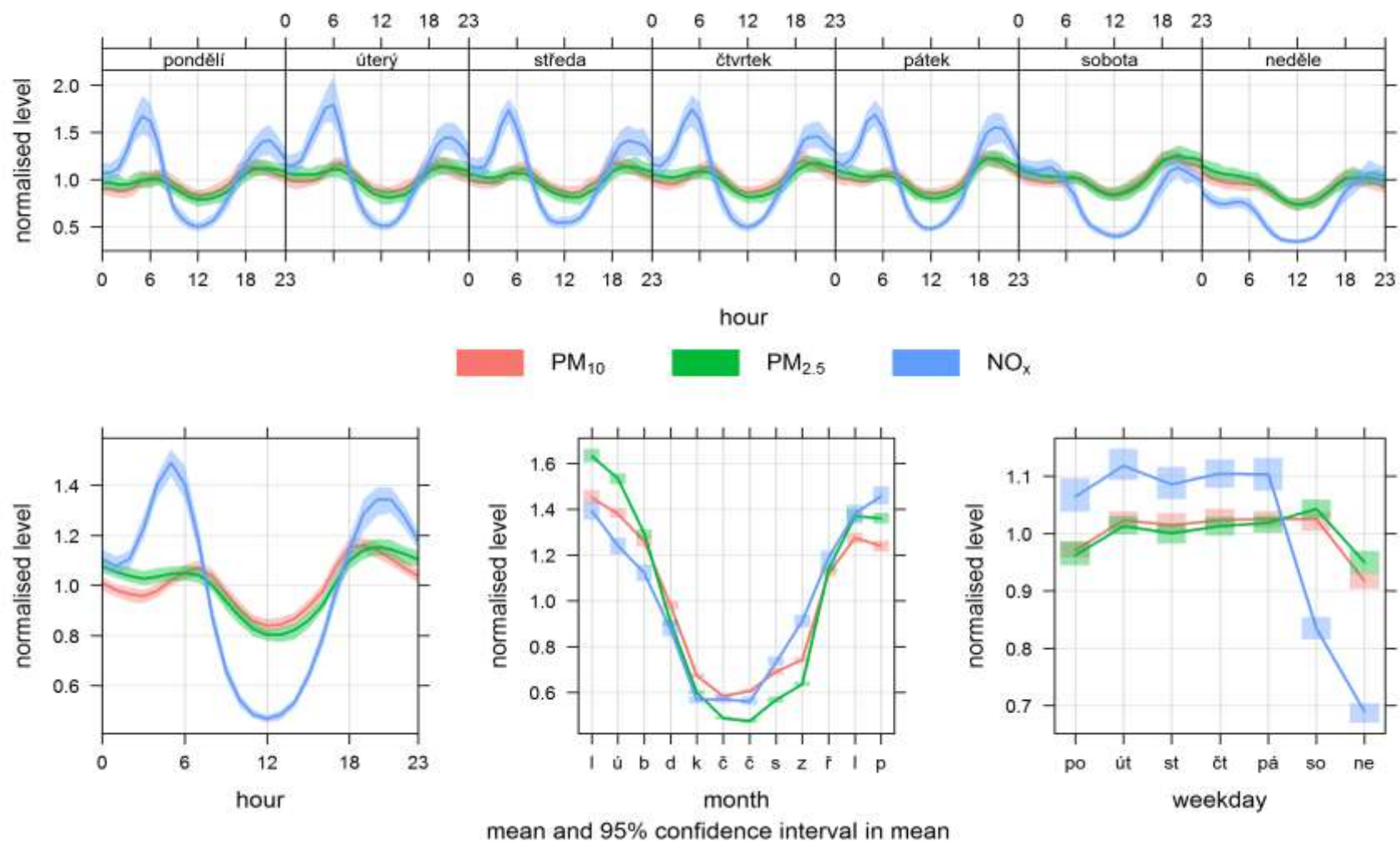
Obr. 59 – Přehled průměrných koncentrací PM₁₀ v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Brno – Lány, 2010 – 2016



Obr. 60 – Přehled průměrných koncentrací PM_{2.5} v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Brno – Lány, 2010 – 2016



Obr. 61 – Přehled průměrných koncentrací PM₁₀ v jednotlivých hodinách vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, členěno dle měsíců a toků, Brno – Lány, 2010 – 2016 [13]

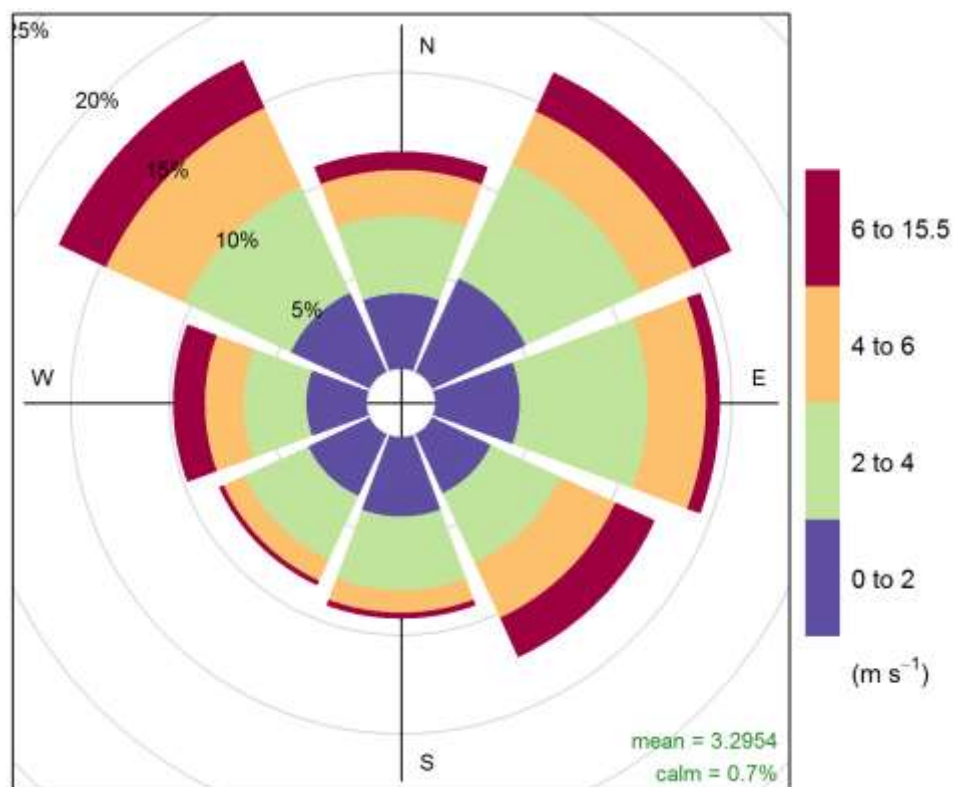


Obr. 62 – Normalizované hodnoty průměrných koncentrací PM_{10} , $PM_{2.5}$ a NO_x v hodinovém, týdenním a měsíčním chodu, Brno – Lány, 2010 – 2016

2.3.3 Brno – Tuřany

2.3.3.1 Větrná růžice

Základem analýz je větrná růžice v dané lokalitě. Následující Obr. 63 zobrazuje větrnou růžici pro lokalitu Brno – Tuřany, která je dále členěná i dle rychlosti větru.

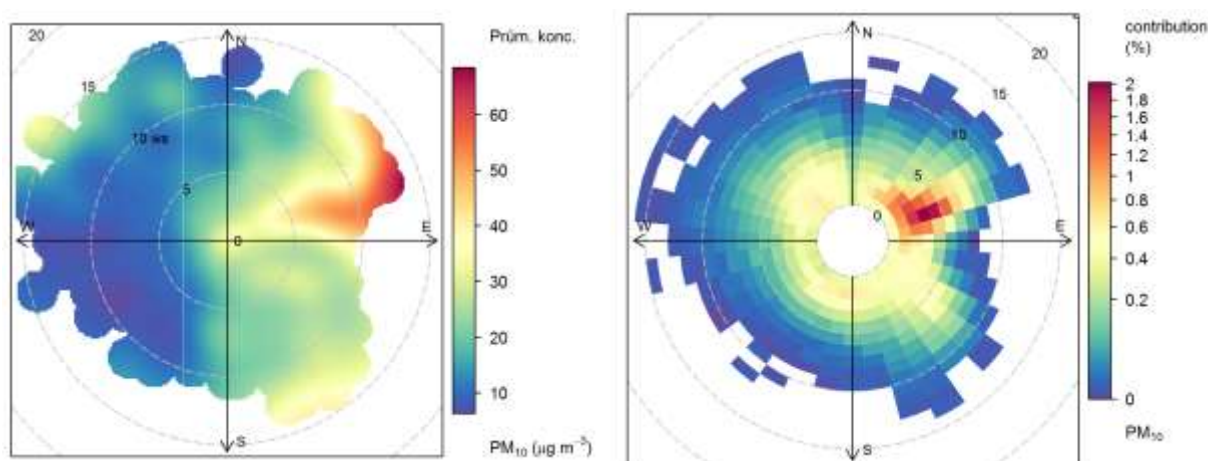


Obr. 63 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, Brno – Tuřany, 2010 – 2016

Větrná růžice v lokalitě není vůbec bráněna zástavbou nebo stíněna zelení. Zastoupeny jsou všechny směry větru přibližně rovnoměrně, mírně častější jsou severozápadní a severovýchodní směry. Rovněž rychlosti proudění větru jsou vyšší než u předchozích 2 lokalit, rychlosti nad 6 m.s^{-1} lze pozorovat ze všech směrů.

2.3.3.2 Imisní růžice

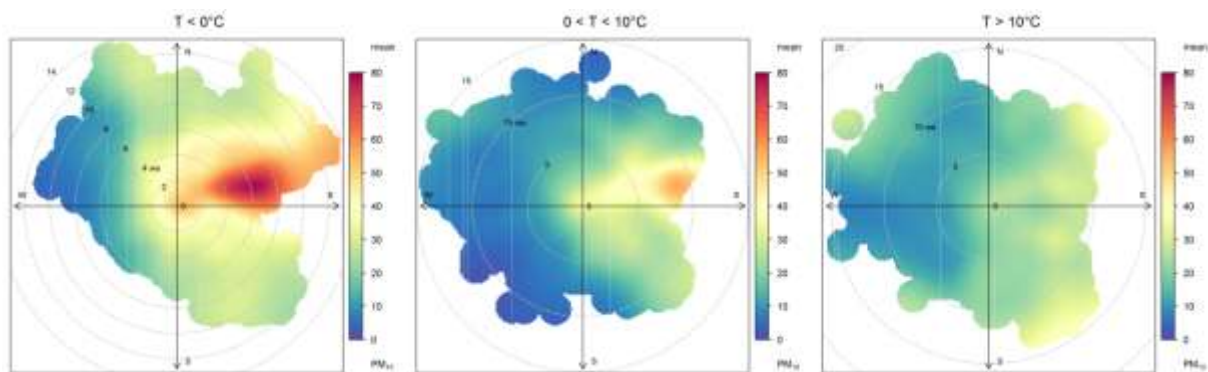
Díky znalosti rychlosti a směru větru a koncentrace PM_{10} je možné zkonstruovat koncentrační růžice pro tuto škodlivinu. Na Obr. 64 je vlevo zobrazena koncentrační růžice – průměrná koncentrace PM_{10} je v ní zobrazena jako funkce rychlosti a směru větru. Růžice v pravo pak nezobrazuje průměrnou koncentraci, ale vážený průměr. Růžice tedy zobrazuje procentuální příspěvek jednotlivých rychlostí a směrů větru k měřeným koncentracím PM_{10} v lokalitě Brno – Tuřany.



Obr. 64 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážení koncentrační růžice (vpravo) pro PM_{10} , Brno – Tuřany, 2010 – 2016

Z koncentrační růžice je patrné, že vyšší průměrné koncentrace PM_{10} jsou dosahovány při severovýchodním proudění, maxima pak bylo dosaženo při vyšších rychlostech větru. Ze západních směrů jsou koncentrace v průměru nižší. Z vážené koncentrační růžice vyplývá, že nejvyšší příspěvek k průměrným koncentracím PM_{10} mají opět severovýchodní směry při rychlosti větru do 5 m.s^{-1} . Vyšší rychlosti proudění větru přispívají k průměrným koncentracím PM_{10} pouze minimálně. Vyšší koncentrace ze severovýchodních směrů mohou rovněž naznačovat vliv dálkového transportu.

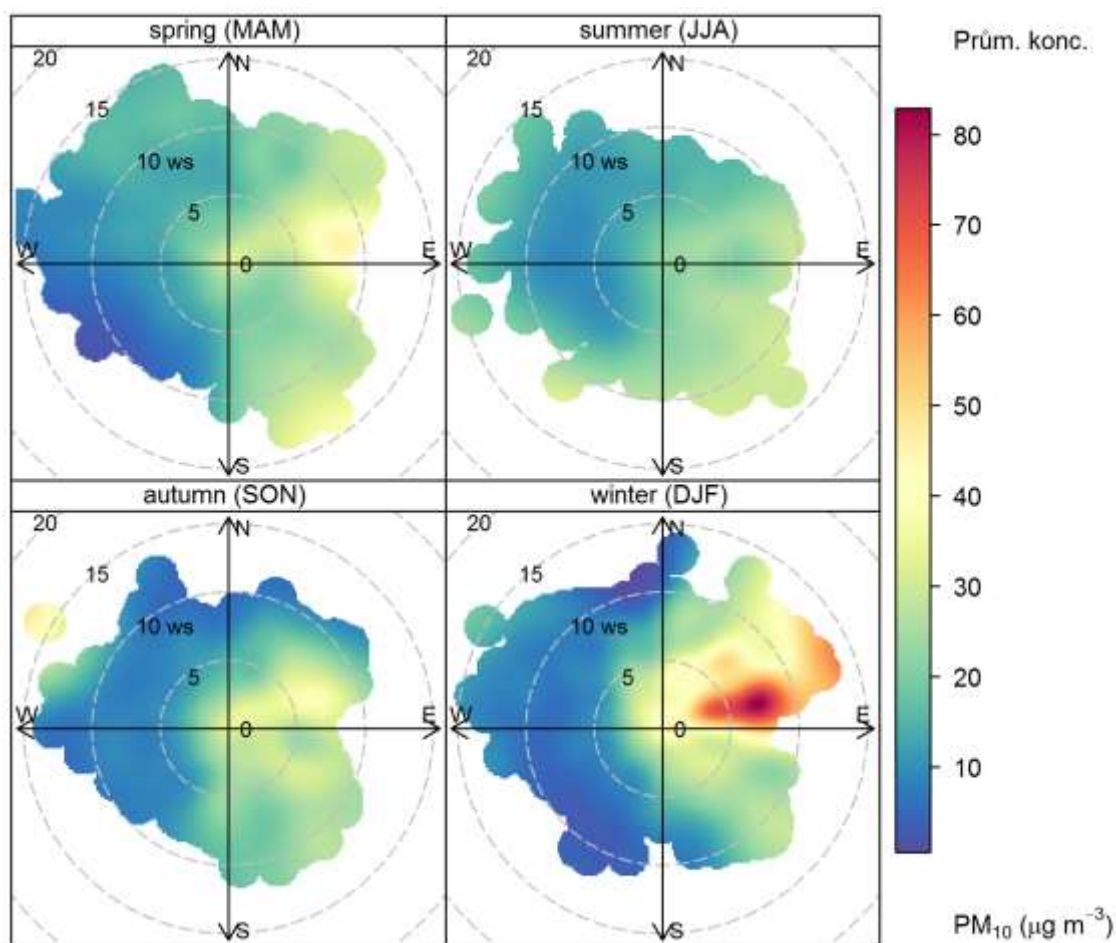
Následující Obr. 65 zobrazuje teplotně členěnou koncentrační růžici průměrných koncentrací PM_{10} .



Obr. 65 – Teplotně členěná koncentrační růžice PM_{10} , Brno – Tuřany, 2010 – 2016

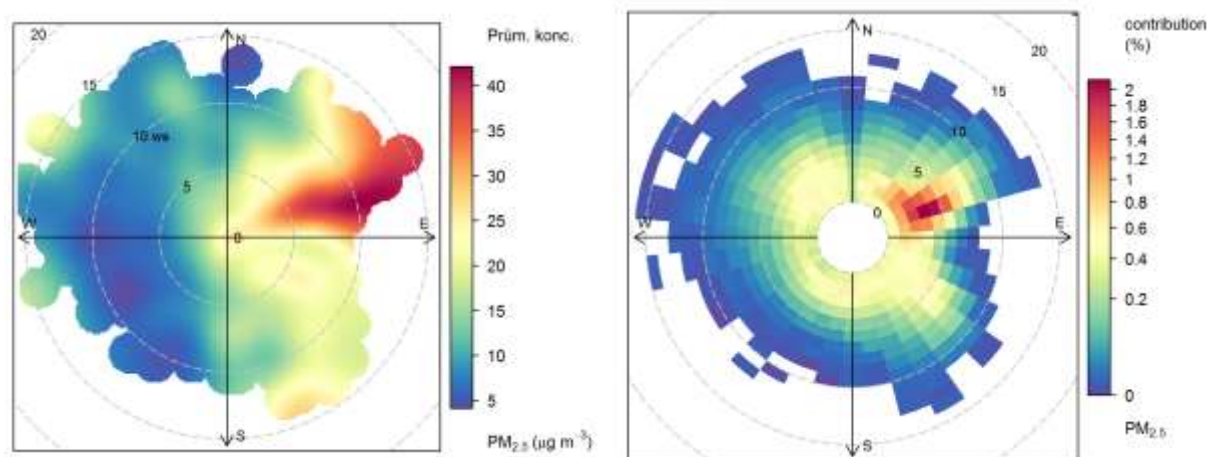
Z teplotně členěné koncentrační růžice vyplývá, že nejvyšších koncentrací je dosahováno při teplotách pod 0°C , zejména při nižších rychlostech větru. Při vyšších teplotách je z hlediska uvedené škály dosahováno jen průměrných koncentrací. To je způsobeno tím, že při takto nízkých teplotách jsou v provozu lokální topeniště, která plošně zvyšují koncentrace v celém regionu. Kromě topné sezóny se na zvýšených koncentracích v chladné části roku mohou podílet i meteorologické podmínky.

Výše uvedené potvrzuje i koncentrační růžice průměrných koncentrací PM_{10} , členěná dle ročních období. Zatímco v létě jsou koncentrace velmi nízké, v zimních měsících jsou měřeny vyšší koncentrace zejména při severovýchodním až východním proudění.



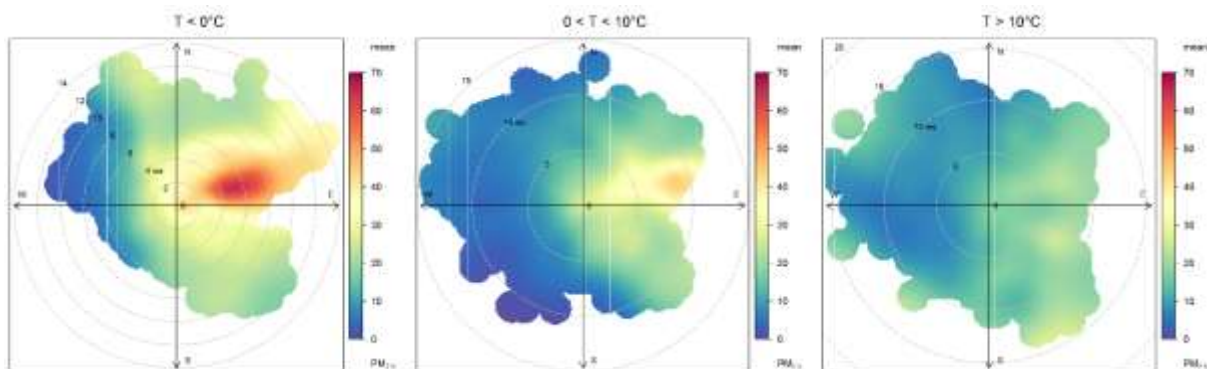
Obr. 66 – Koncentrační růžice PM_{10} členěná dle ročních období, Brno – Tuřany, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

Podobné výsledky jako v případě PM_{10} jsou měřeny i pro $PM_{2,5}$. Koncentrační růžice průměrných koncentrací $PM_{2,5}$ (Obr. 67) opět zobrazuje nejvyšší koncentrace ze severovýchodních až východních směrů. Vážená koncentrační růžice pak podobně jako v případě PM_{10} klade maximum příspěvku ke koncentracím $PM_{2,5}$ ze severovýchodních směrů při rychlostech větru do $5 m.s^{-1}$.



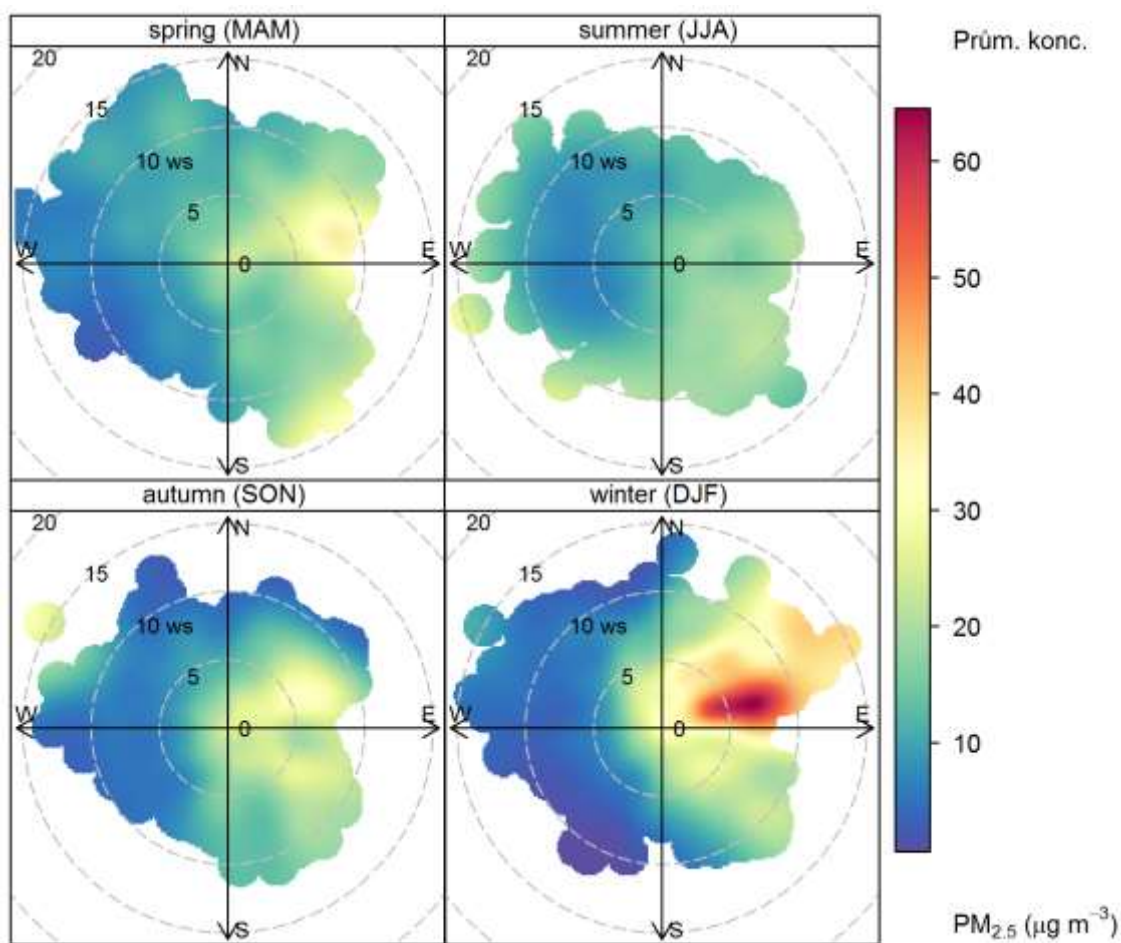
Obr. 67 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážení koncentrační růžice (vpravo) pro $PM_{2,5}$, Brno – Tuřany, 2010 – 2016

Pokud se však koncentrační růžice rozdělí podle teploty, situace se od hrubší frakce PM_{10} téměř neliší. Maxima koncentrací jsou měřena při nízkých teplotách pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a při proudění ze severovýchodních až východních směrů. Při vyšších teplotách jsou již koncentrace $PM_{2,5}$ z hlediska škály pouze průměrné (do $40\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v hodinovém průměru), při teplotách nad $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou koncentrace pouze velmi nízké (Obr. 68).



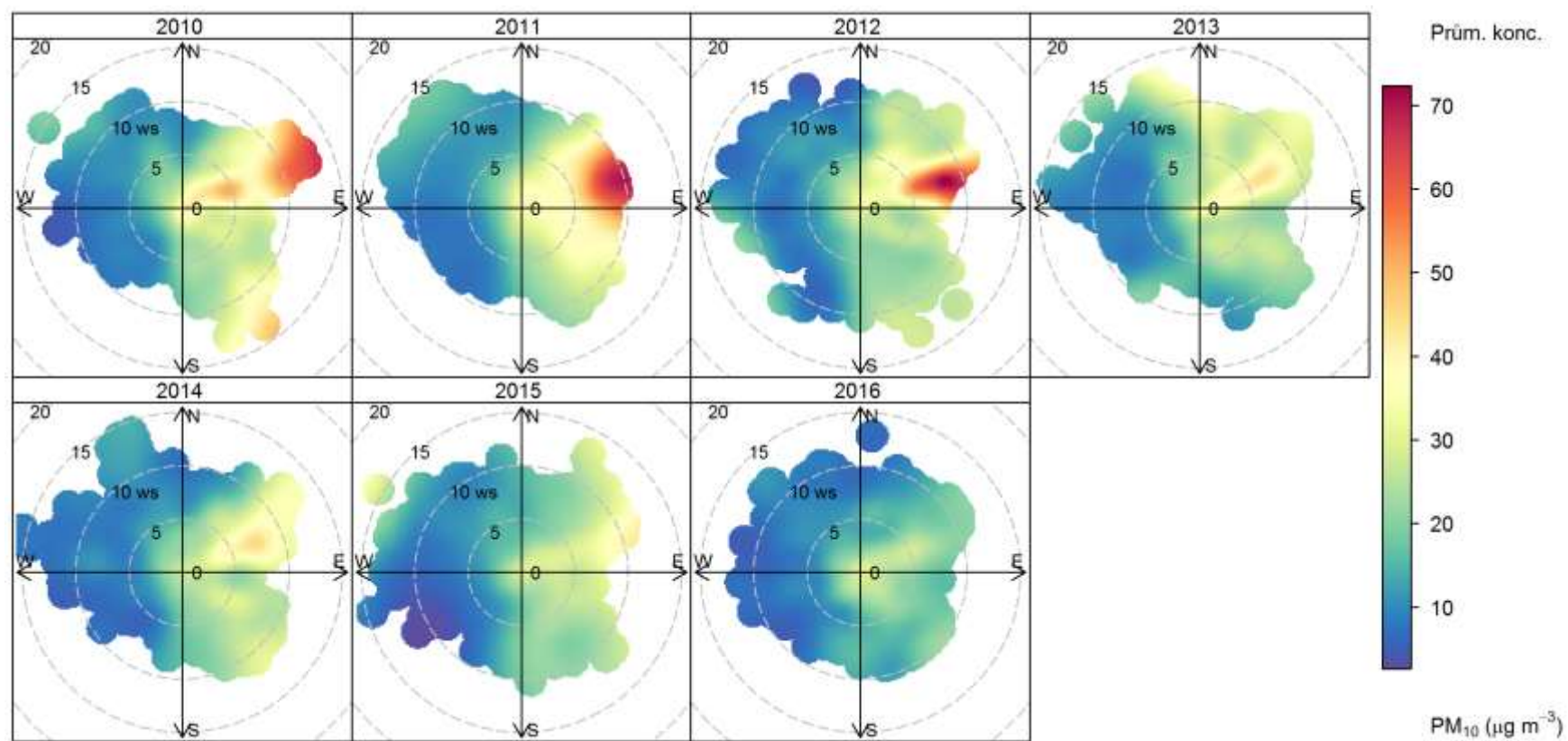
Obr. 68 – Teplotně členěná koncentrační růžice $PM_{2,5}$, Brno – Tuřany, 2010 – 2016

V případě koncentrační růžice $PM_{2,5}$ členěné dle ročních období (Obr. 69) je situace opět totožná se situací v případě hrubší frakce PM_{10} . Nejvyšší koncentrace jsou měřeny v zimě, kdy se na vysokých koncentracích podílí i lokální topeniště, naopak v létě jsou koncentrace pouze minimální. V jarních a podzimních měsících jsou koncentrace rovněž mírně zvýšené. **Z uvedeného vyplývá, že na zvýšených koncentracích PM_{10} a $PM_{2,5}$ v lokalitě Brno – Tuřany se pravděpodobně nejvíce podílí lokální topeniště, popř. dálkový transport znečištění ze severovýchodních směrů. Ze směrů od Brna jsou koncentrace velmi nízké.**

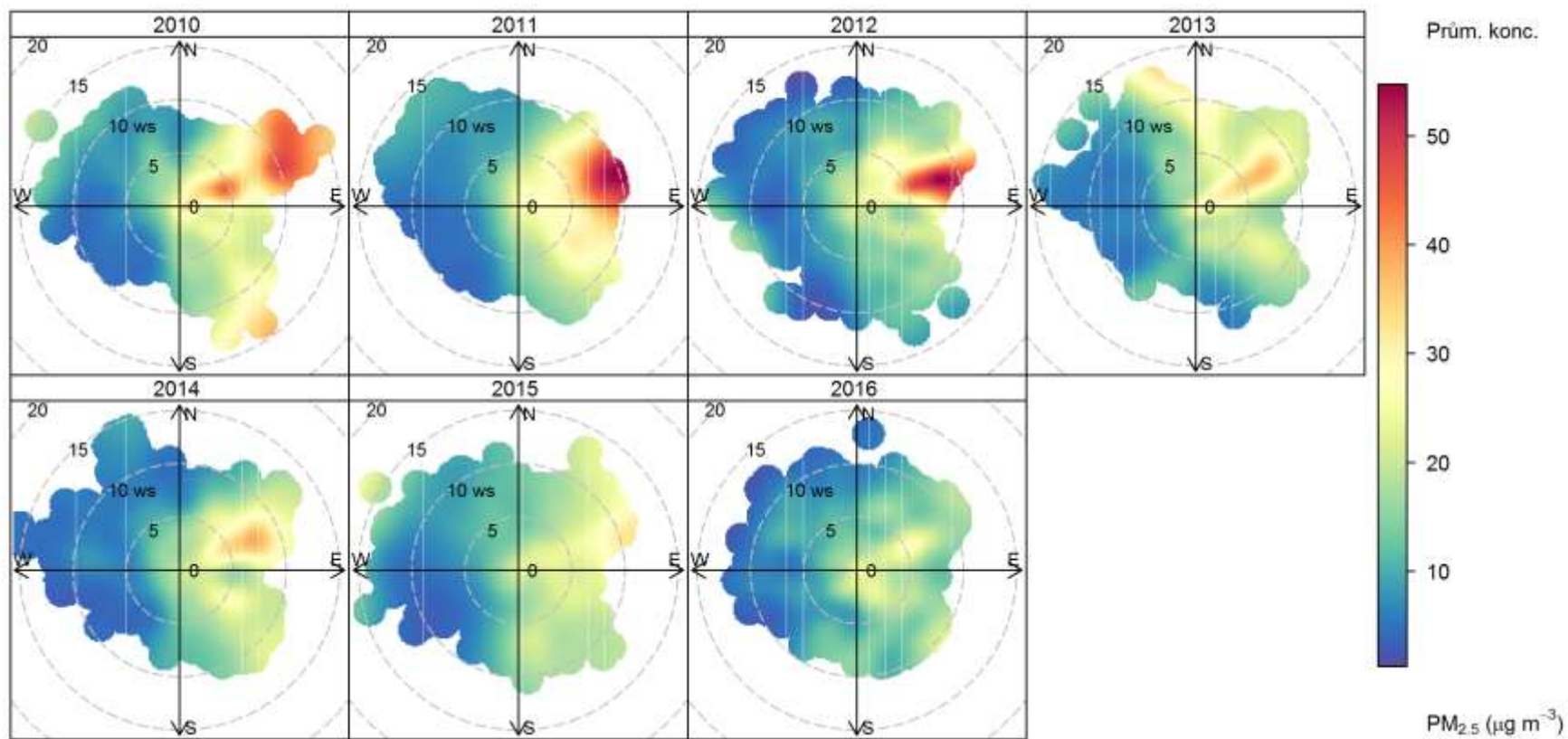


Obr. 69 – Koncentrační růžice $PM_{2.5}$ členěná dle ročních období, Brno – Tuřany, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

Koncentrační růžici lze rozdělit i podle jednotlivých let. V případě koncentrací PM_{10} je patrné, že maximální koncentrace se objevily zejména v letech 2010 – 2012, kdy byly chladnější zimy a delší topné sezóny (Obr. 70). Naproti tomu během teplejších zim bez delších epizod se zhoršenými rozptylovými podmínkami byly koncentrace podstatně nižší. Obdobná situace panuje i v případě $PM_{2.5}$ (Obr. 71).



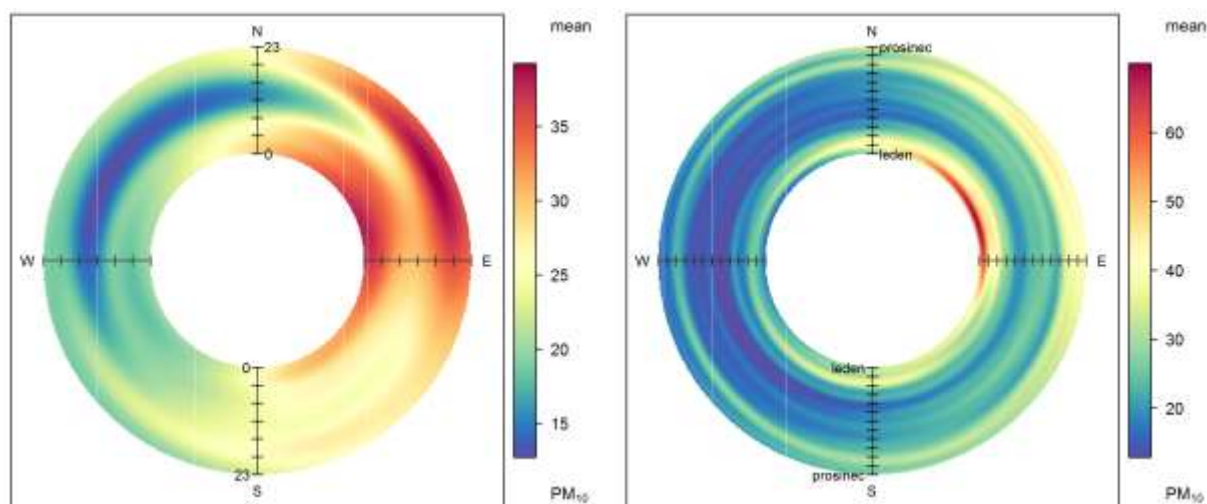
Obr. 70 – Koncentrační růžice PM_{10} členěná dle jednotlivých let, Brno – Tuřany, 2010 – 2016



Obr. 71 – Koncentrační růžice $PM_{2.5}$, členěná dle jednotlivých let, Brno – Tuřany, 2010 – 2016

2.3.3.3 Denní a měsíční chod

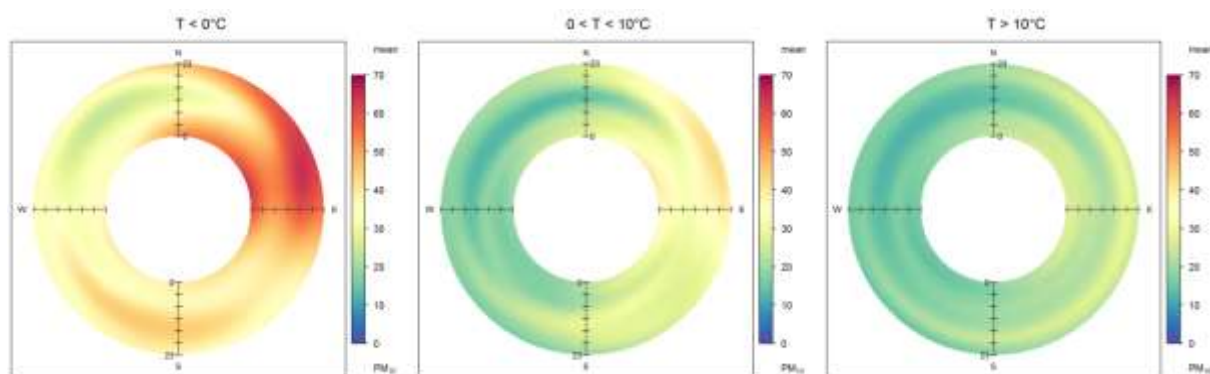
Díky znalosti hodinových informací meteorologických charakteristik a koncentrací škodlivin je možné sestavit i průměrný denní chod koncentrací v lokalitě v závislosti na směru větru. Graf na Obr. 72 vlevo zobrazuje po hodinách průměrný denní chod PM_{10} v lokalitě Brno – Tuřany za roky 2010 až 2016, členěná dle směru větru. Graf na Obr. 72 vpravo zobrazuje totéž, avšak po měsících.



Obr. 72 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace PM_{10} , Brno – Tuřany, 2010 – 2016

Z grafů na Obr. 72 je patrný téměř celodenní vliv severovýchodních směrů. Nejvyšší koncentrace jsou pak patrné ve večerních a nočních hodinách, ale k výraznějšímu poklesu nedochází ani přes den. K podobné situaci dochází i v lokalitě Brno – Lázně z východních směrů, jedná se zřejmě o podobné ovlivnění dálkovým transportem a lokálními topeništi. Naproti tomu ze severozápadních směrů (od centra Brna) jsou koncentrace celodenně nízké, pouze mírně zvýšené v nočních hodinách.

Výrazně se koncentrace PM_{10} mění i v měsíčním chodu, kdy zvýšené koncentrace jsou zaznamenány v zimních měsících, zejména v lednu.

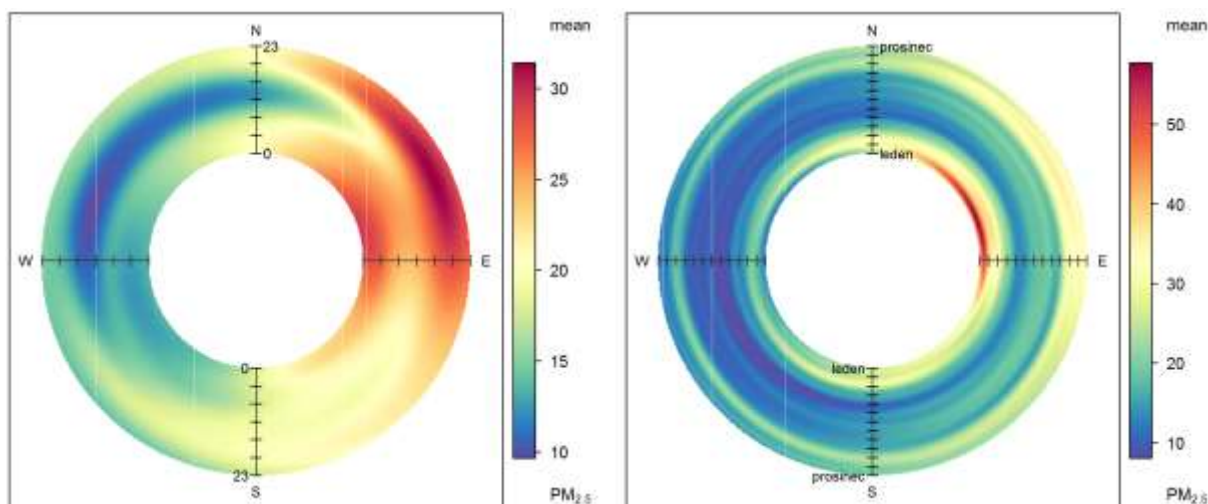


Obr. 73 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací PM_{10} dle směru větru

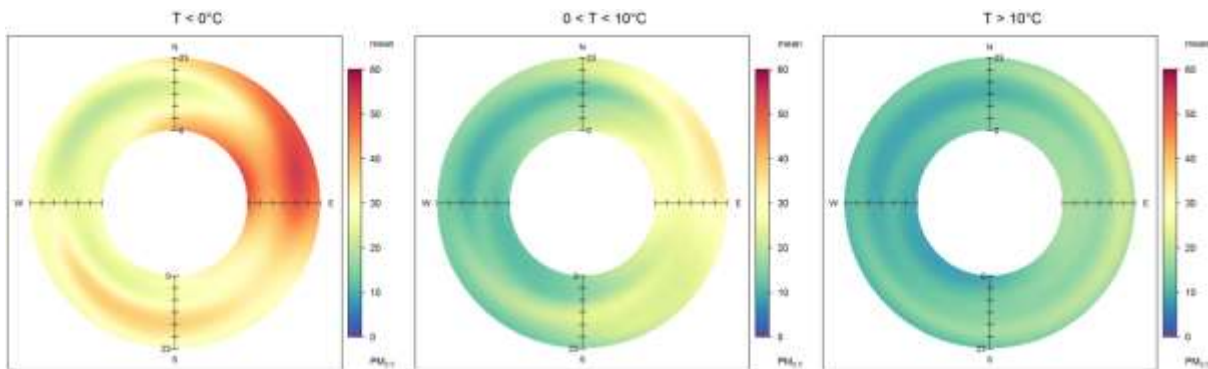
Také z hlediska teplotně členěného denního chodu lze vyvozovat na vliv lokálních topenišť – vysoké koncentrace jsou měřeny pouze při teplotách pod 0 °C. Při teplotách nad 10 °C jsou patrné podstatně

nižší koncentrace, i zde převládají vyšší koncentrace při severovýchodním proudění. Při teplotách nad 10 °C jsou již koncentrace velmi nízké (Obr. 73).

Podobně je to i v případě denních a měsíčních chodů koncentrací $PM_{2,5}$. I v tomto případě je vidět výrazný vliv severovýchodního proudění s kulminací v nočních hodinách (Obr. 74). Vysoké koncentrace se opět vyskytují v zimních měsících především při teplotách nižších než 0 °C. Při teplotách nad 10 °C mimo topnou sezónu jsou již koncentrace $PM_{2,5}$ minimální (Obr. 75).

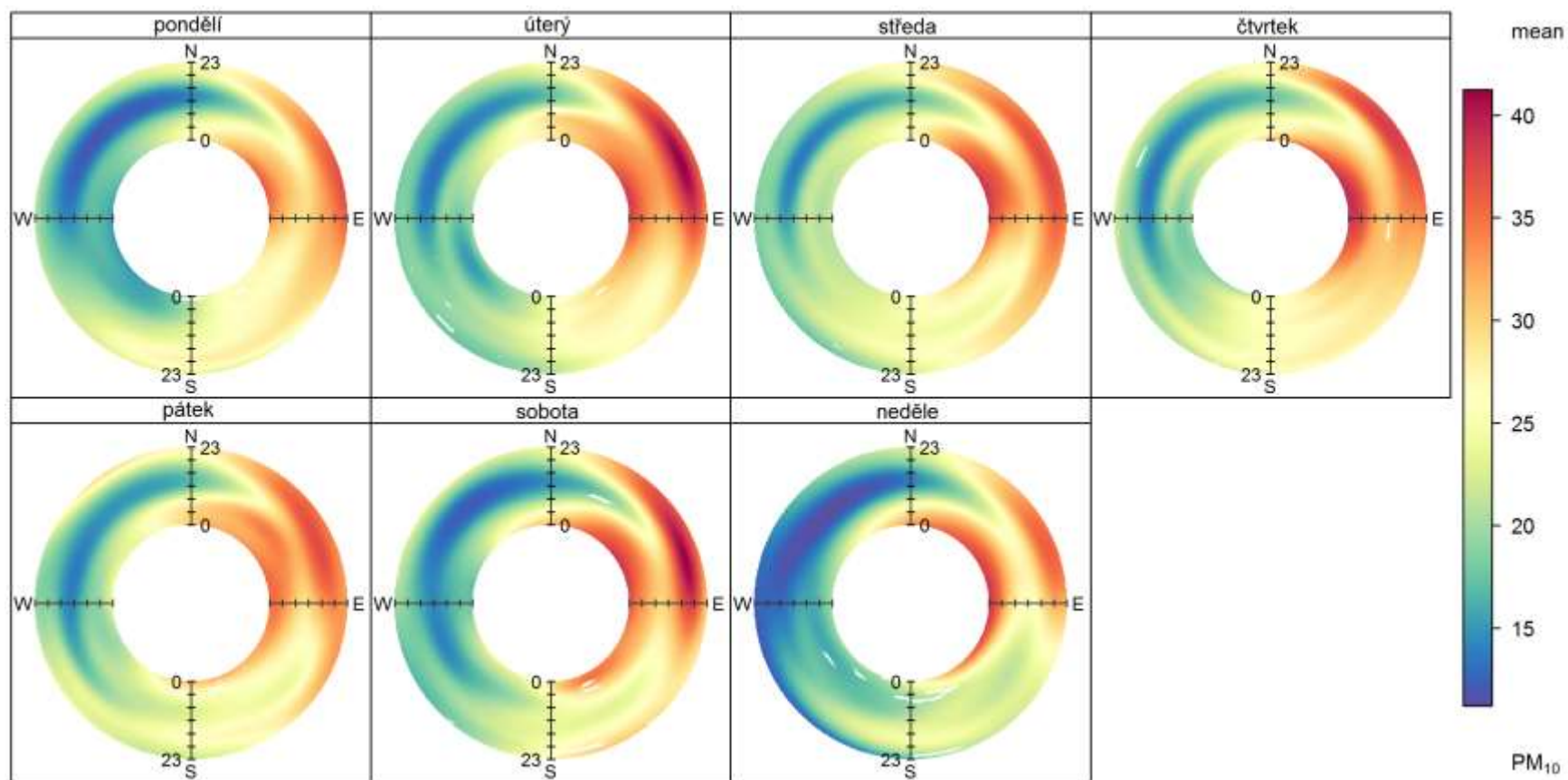


Obr. 74 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace $PM_{2,5}$, Brno – Tuřany, 2010 – 2016

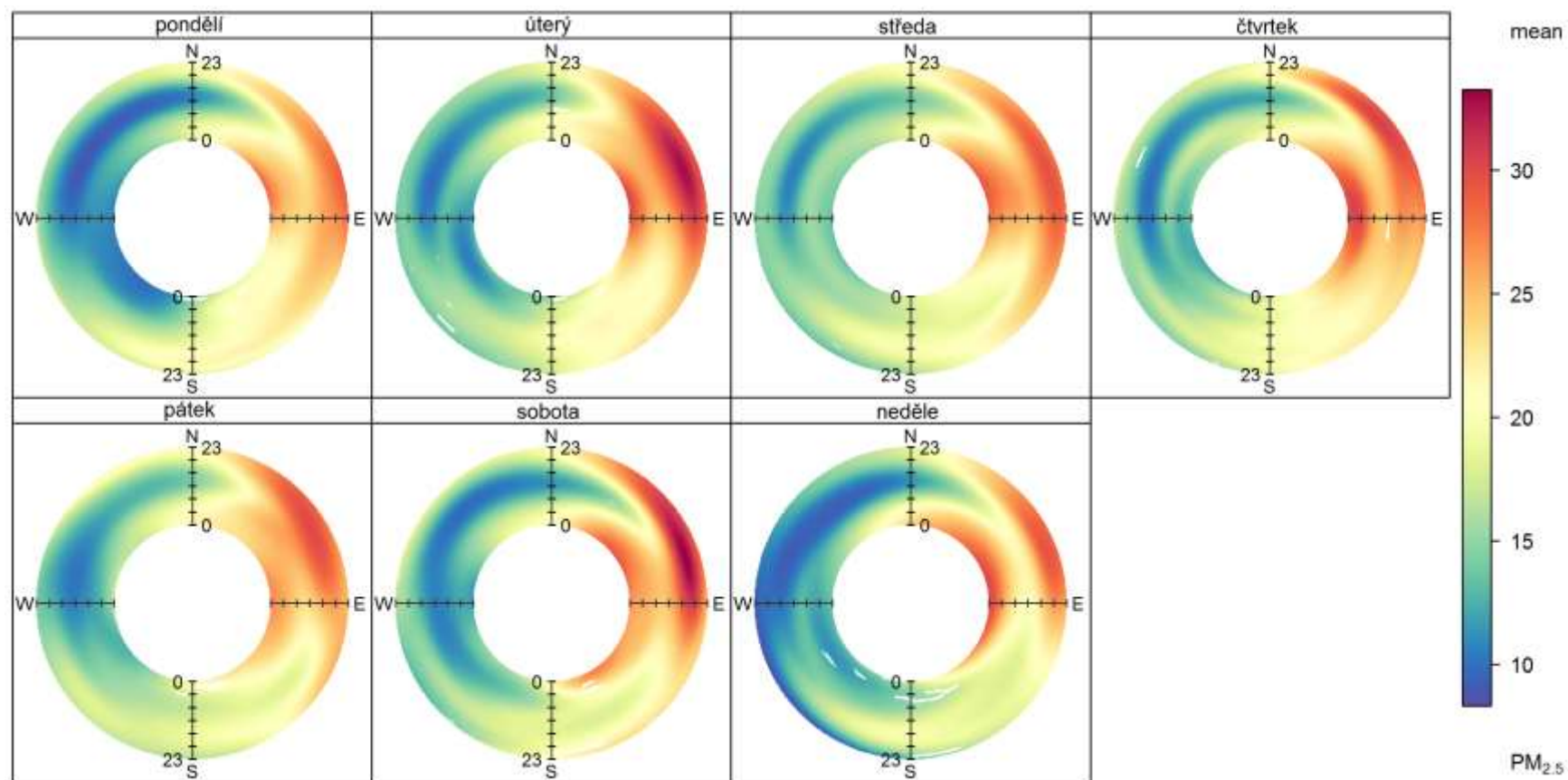


Obr. 75 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací $PM_{2,5}$ dle směru větru, Brno – Tuřany, 2010 – 2016

Koncentrace PM_{10} ani $PM_{2,5}$ se příliš neliší v jednotlivých dnech v týdnu (Obr. 76 a Obr. 77). I v sobotu a v neděli je patrný podobný chod jako v ostatní dny. **Vysoké koncentrace ve večerních, nočních a brzkých ranních hodinách v této lokalitě lze tedy přičíst pravděpodobně lokálním topeništím, popř. dálkovému transportu znečištění ze severovýchodních směrů.**



Obr. 76 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace PM₁₀, Brno – Tuřany, 2010 – 2016



Obr. 77 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace $PM_{2.5}$, Brno – Tuřany, 2010 – 2016

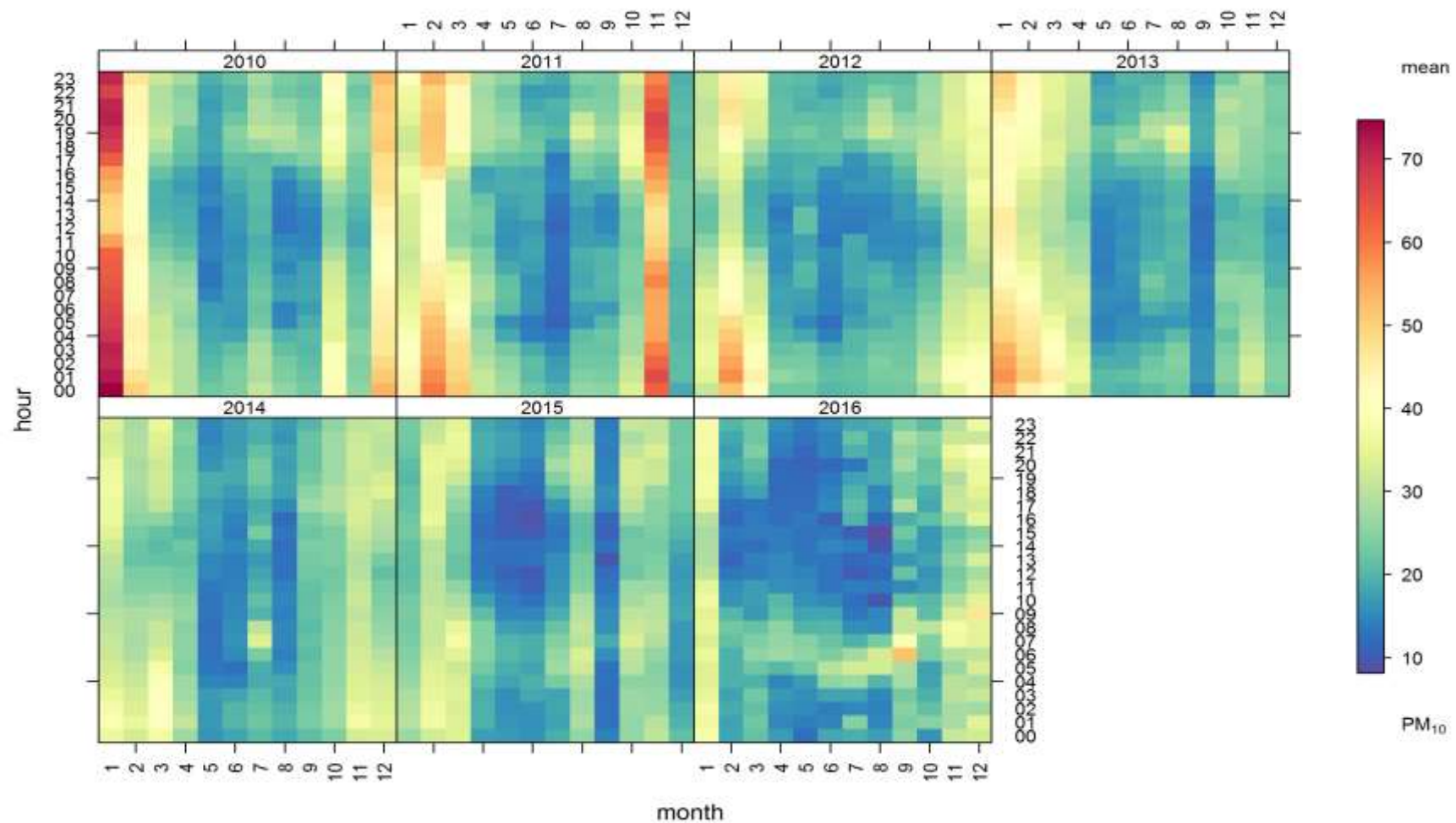
2.3.3.4 Přehledy koncentrací

Celkový přehled koncentrací PM_{10} v lokalitě Brno – Tuřany za roky 2010 – 2016 zobrazuje Obr. 78. Zobrazuje průměrnou koncentraci PM_{10} v jednotlivých hodinách dne, členěné dle měsíců a roků. Z přehledu je patrné, že vyšší koncentrace jsou dosahovány v zimních měsících, především pak v letech 2010 a 2011. V roce 2011 je ještě výrazný měsíc listopad, kdy byla poměrně dlouhá epizoda počasí s inverzním charakterem, navíc v Jihomoravském kraji nespadl ani mm srážek. Zvýšené koncentrace PM_{10} v měsíci listopadu roku 2011 jsou patrné na všech lokalitách. Tato epizoda zdůrazňuje významný vliv meteorologických podmínek na koncentrace PM_{10} . Naproti tomu v letních měsících mimo topnou sezónu jsou koncentrace vždy velmi nízké. Rovněž v posledních 3 letech byly poměrně mírné zimy bez delších epizod s inverzním charakterem počasí. To se projevilo na relativně nízkých koncentracích PM_{10} v zimních měsících těchto let.

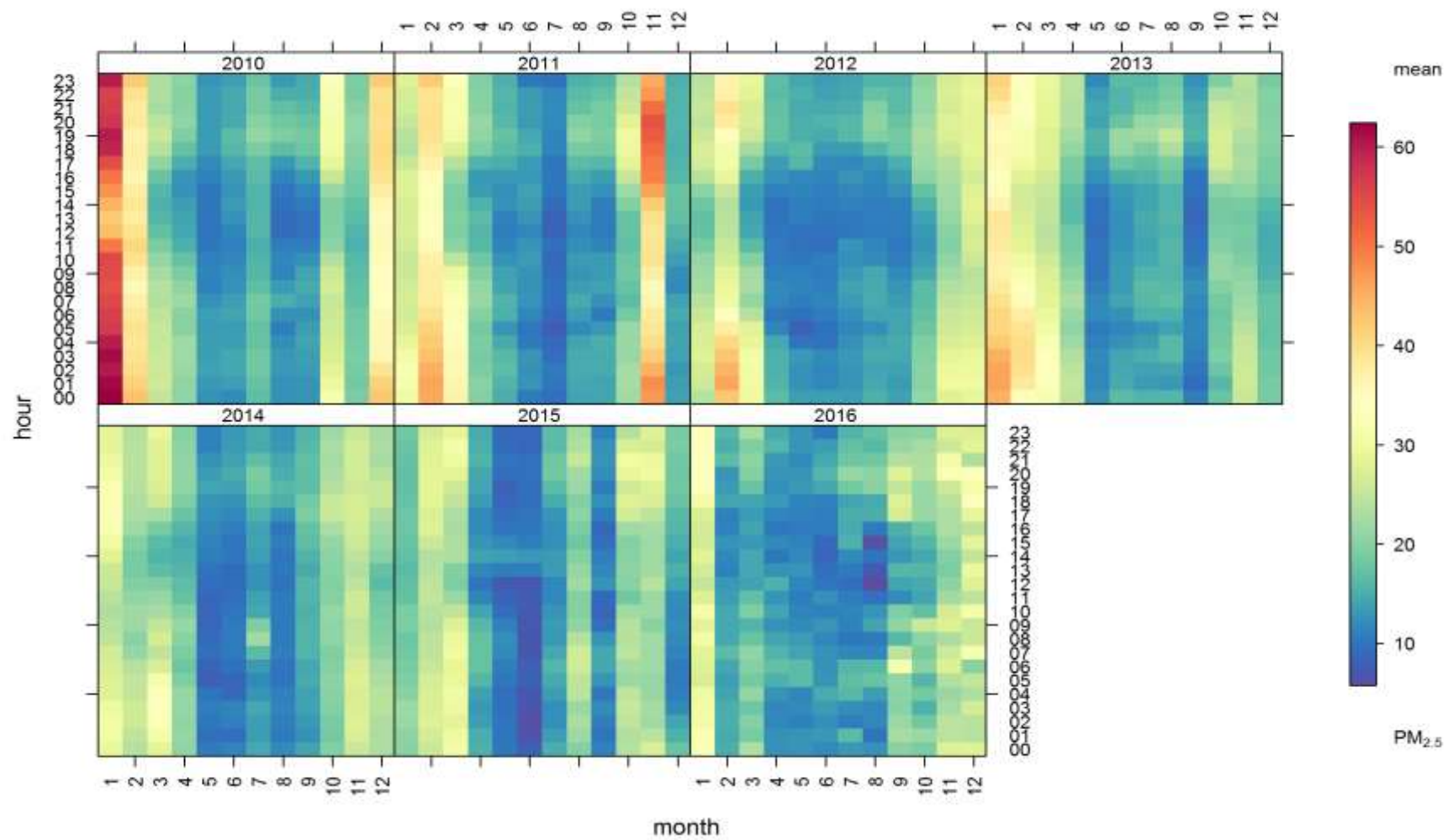
Velmi podobná je i situace v případě jemnější frakce $PM_{2,5}$. Přehled je zobrazen na Obr. 79.

Obr. 80 zobrazuje stejný přehled koncentrací PM_{10} jako Obr. 78, avšak vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, jako tomu je na stránkách ČHMÚ v hodinovém přehledu [13].

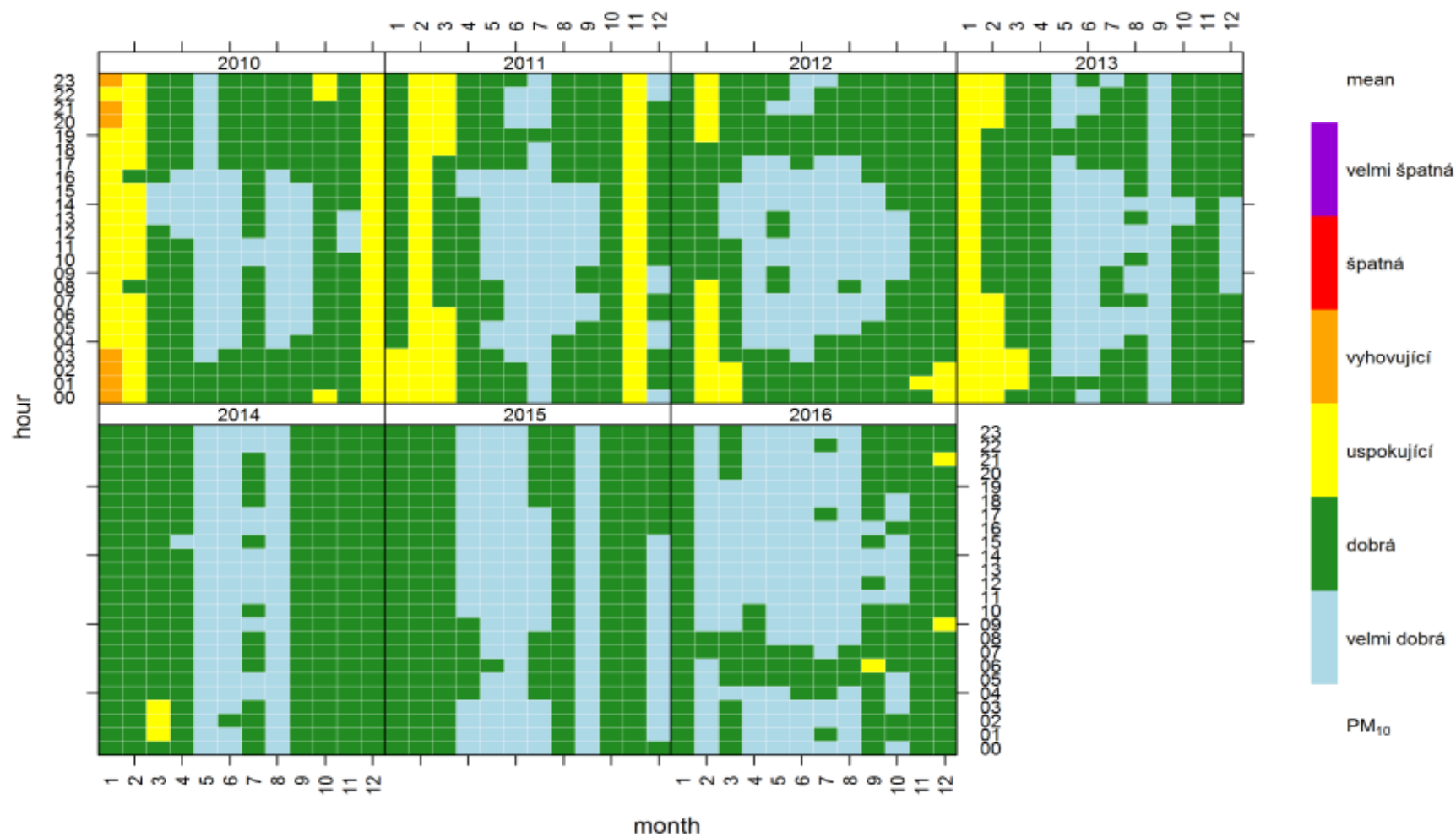
Obr. 81 zobrazuje normalizované hodnoty průměrných koncentrací (k průměru za celý interval) škodlivin PM_{10} , $PM_{2,5}$ a NO_x . V týdenním chodu jsou zřetelné vyšší ranní a nižší večerní pík koncentrací NO_x . Tyto píky jsou o víkendu výrazně nižší, na koncentracích NO_x se tedy zřejmě podílí doprava. Časy kulminací píků NO_x souhlasí s lokalitou Brno – Lány, proti lokalitě Brno – Svatoplukova kulminuje večerní pík výrazně později (až kolem 20. hodiny UTC). To naznačuje rovněž vliv vytápění na koncentrace NO_x v této lokalitě. V případě PM_{10} a $PM_{2,5}$ není patrný výrazný trend, lze vypozařovat nárůst koncentrací v odpoledních hodinách, který pak postupně během noci klesá. Opět je tak indikován vliv vytápění. Pokles koncentrací NO_x o víkendu je rovněž srovnatelný s lokalitou Brno – Lány. Z hlediska měsíčního chodu je patrný výrazný pokles koncentrací všech škodlivin v teplé části roku proti chladné části roku.



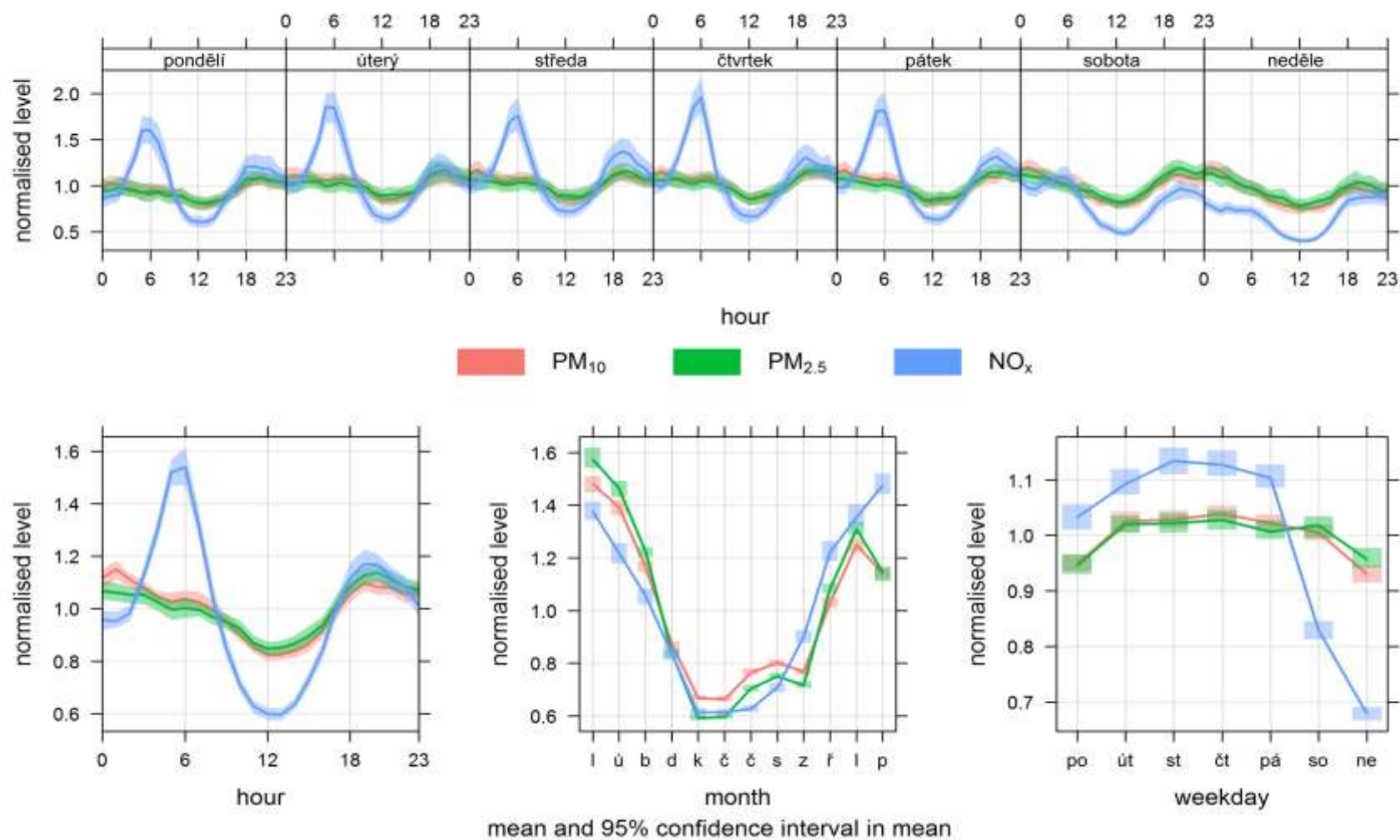
Obr. 78 – Přehled průměrných koncentrací PM₁₀ v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Brno – Tuřany, 2010 – 2016



Obr. 79 – Přehled průměrných koncentrací PM_{2.5} v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Brno – Tuřany, 2010 – 2016



Obr. 80 – Přehled průměrných koncentrací PM₁₀ v jednotlivých hodinách vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, členěno dle měsíců a toků, Brno – Tuřany, 2010 – 2016 [13]

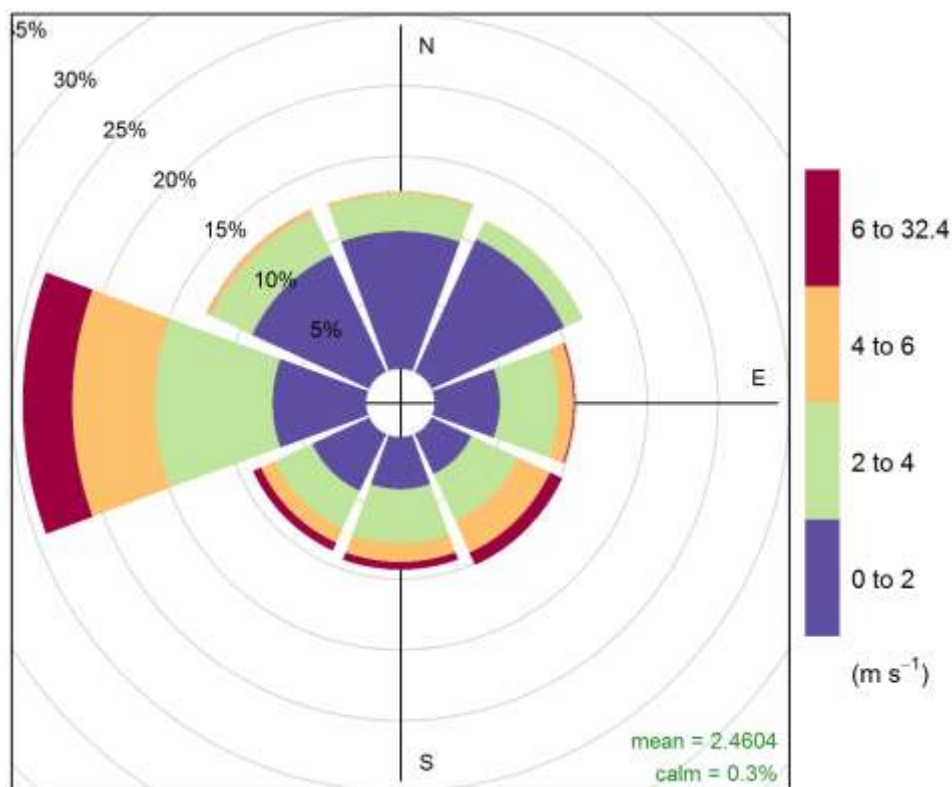


Obr. 81 – Normalizované hodnoty průměrných koncentrací PM_{10} , $PM_{2.5}$ a NO_x v hodinovém, týdenním a měsíčním chodu, Brno – Tuřany, 2010 – 2016

2.3.4 Mikulov – Sedlec

2.3.4.1 Větrná růžice

Základem analýz je větrná růžice v dané lokalitě. Následující Obr. 82 zobrazuje větrnou růžici pro lokalitu Mikulov – Sedlec, která je dále členěná i dle rychlosti větru.

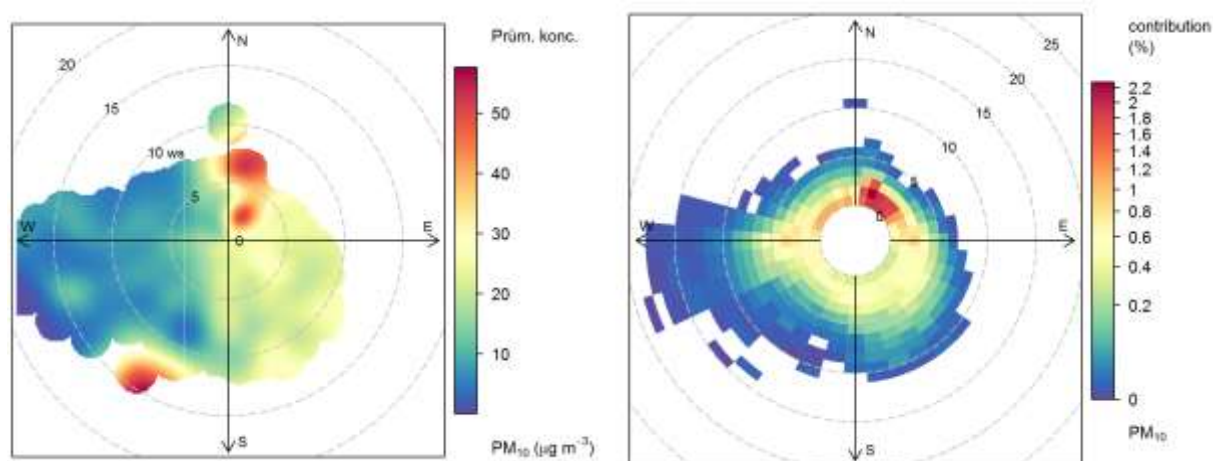


Obr. 82 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

Větrná růžice v lokalitě není vůbec bráněna zástavbou ze severní strany je mírně stíněna přírodním větrolamem. Zastoupeny jsou všechny směry větru přibližně rovnoměrně, výraznou výjimkou jsou západní směry. Rychlosti proudění větru nad 6 m.s^{-1} lze pozorovat zejména z jižních a západního směru.

2.3.4.2 Imisní růžice

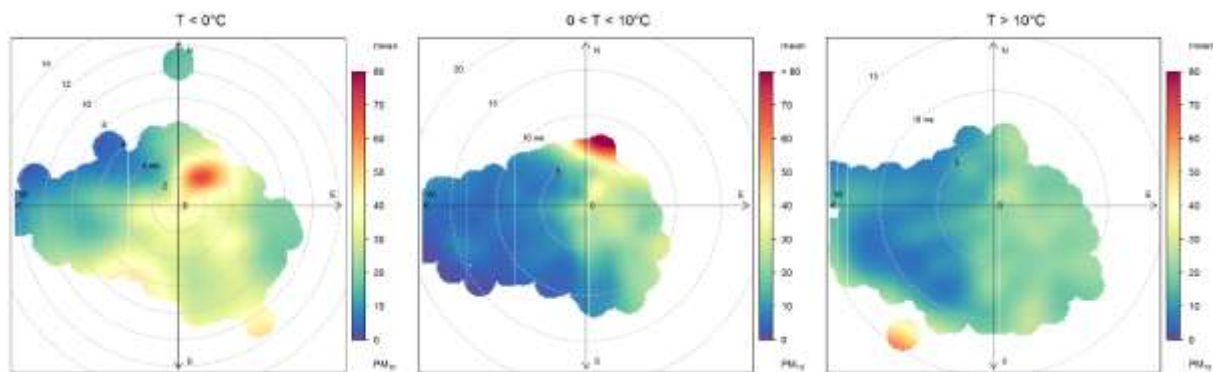
Díky znalosti rychlosti a směru větru a koncentrace PM_{10} je možné zkonstruovat koncentrační růžice pro tuto škodlivinu. Na Obr. 83 je vlevo zobrazena koncentrační růžice – průměrná koncentrace PM_{10} je v ní zobrazena jako funkce rychlosti a směru větru. Růžice v pravo pak nezobrazuje průměrnou koncentraci, ale vážený průměr. Růžice tedy zobrazuje procentuální příspěvek jednotlivých rychlostí a směrů větru k měřeným koncentracím PM_{10} v lokalitě Mikulov – Sedlec.



Obr. 83 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážení koncentrační růžice (vpravo) pro PM_{10} , Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

Z koncentrační růžice je patrné, že vyšší průměrné koncentrace PM_{10} jsou dosahovány při severovýchodním proudění. Ze západních směrů jsou koncentrace v průměru nižší. Z vážené koncentrační růžice vyplývá, že nejvyšší příspěvek k průměrným koncentracím PM_{10} mají opět severovýchodní směry při rychlosti větru do 5 m.s^{-1} . Vyšší rychlosti proudění větru přispívají k průměrným koncentracím PM_{10} pouze minimálně. Vyšší koncentrace ze severovýchodních směrů mohou rovněž naznačovat vliv dálkového transportu.

Následující Obr. 84 zobrazuje teplotně členěnou koncentrační růžici průměrných koncentrací PM_{10} .

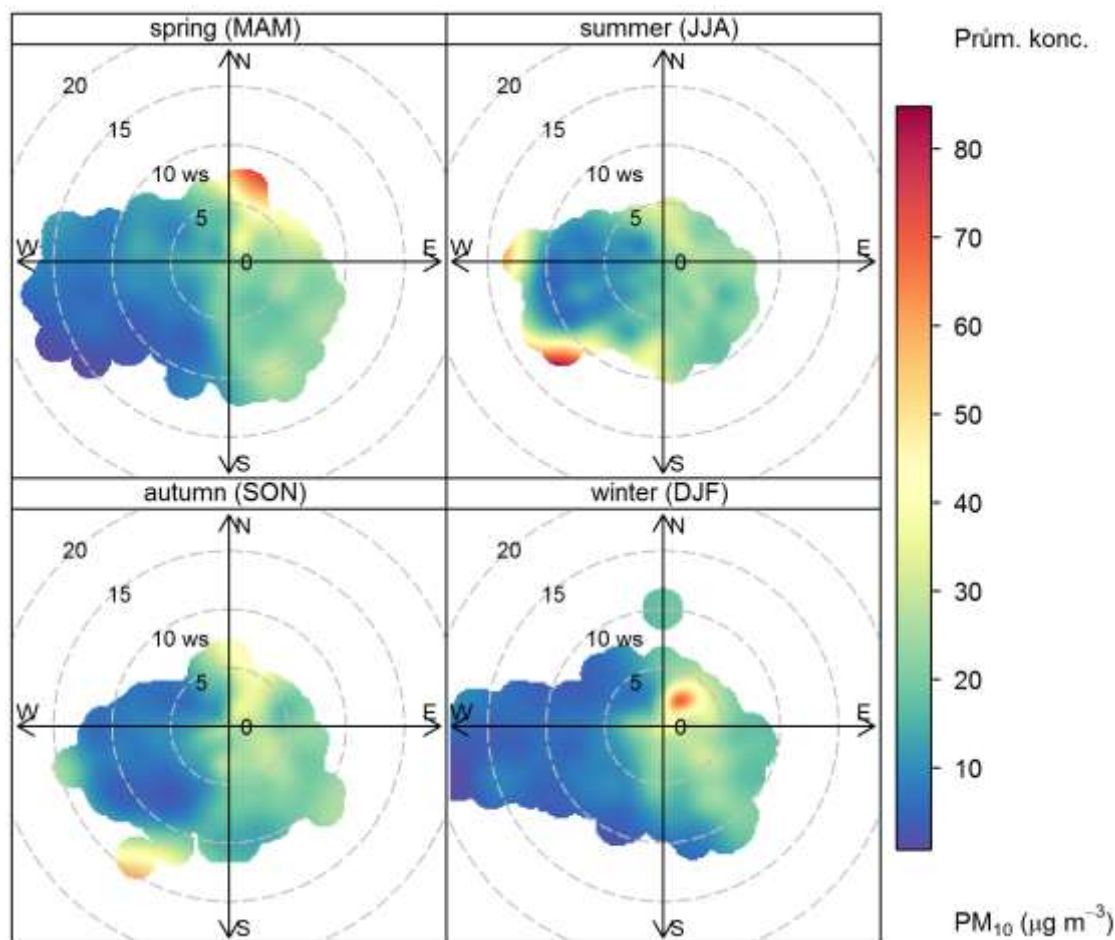


Obr. 84 – Teplotně členěná koncentrační růžice PM_{10} , Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

Z teplotně členěné koncentrační růžice vyplývá, že nejvyšších koncentrací je dosahováno při teplotách pod 0°C , zejména při nižších rychlostech větru. Při vyšších teplotách je z hlediska uvedené škály dosahováno jen nízkých koncentrací, v případě severních směrů se objevuje maximum, které může souviset s dálkovým transportem, ale také s polními pracemi. Při teplotách nad 10°C jsou již koncentrace PM_{10} velmi nízké.

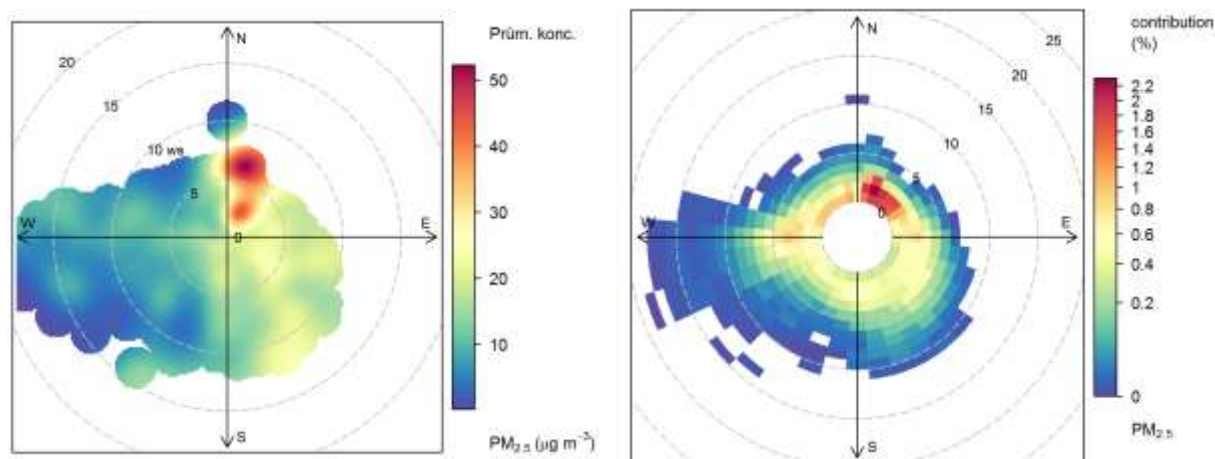
Výše uvedené potvrzuje i koncentrační růžice průměrných koncentrací PM_{10} , členěná dle ročních období. V létě jsou koncentrace převážně nízké, při vyšších rychlostech větru mohou vlivem větrné eroze narůstat [14], [15]. V zimních měsících jsou měřeny vyšší koncentrace zejména při

severovýchodním proudění. Při západním proudění jsou i v zimě koncentrace nízké. V jarních a podzimních měsících může do koncentrací promluvit kromě větrné eroze také zemědělská činnost.



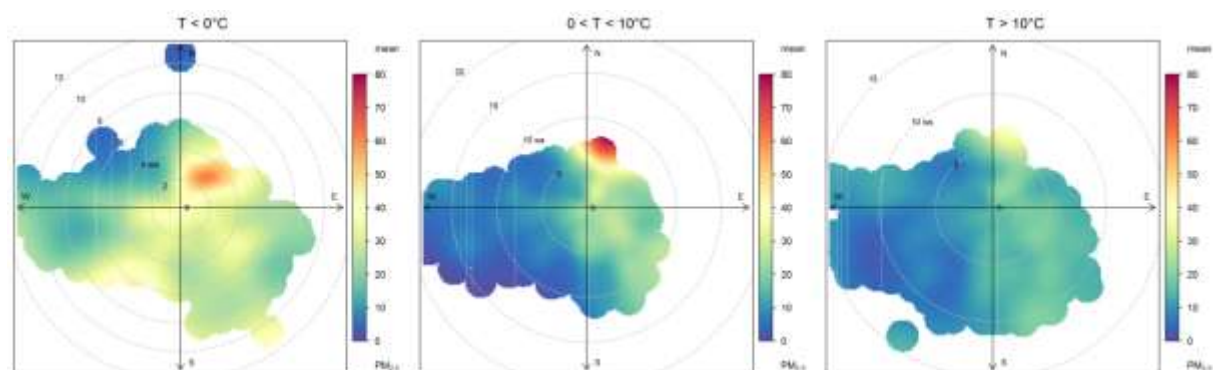
Obr. 85 – Koncentrační růžice PM₁₀ členěná dle ročních období, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

Podobné výsledky jako v případě PM₁₀ jsou měřeny i pro PM_{2,5}. Koncentrační růžice průměrných koncentrací PM_{2,5} (Obr. 86) opět zobrazuje nejvyšší koncentrace ze severovýchodních až východních směrů. Vážená koncentrační růžice pak podobně jako v případě PM₁₀ klade maximum příspěvku ke koncentracím PM_{2,5} ze severovýchodních směrů při rychlostech větru do 5 m.s⁻¹.



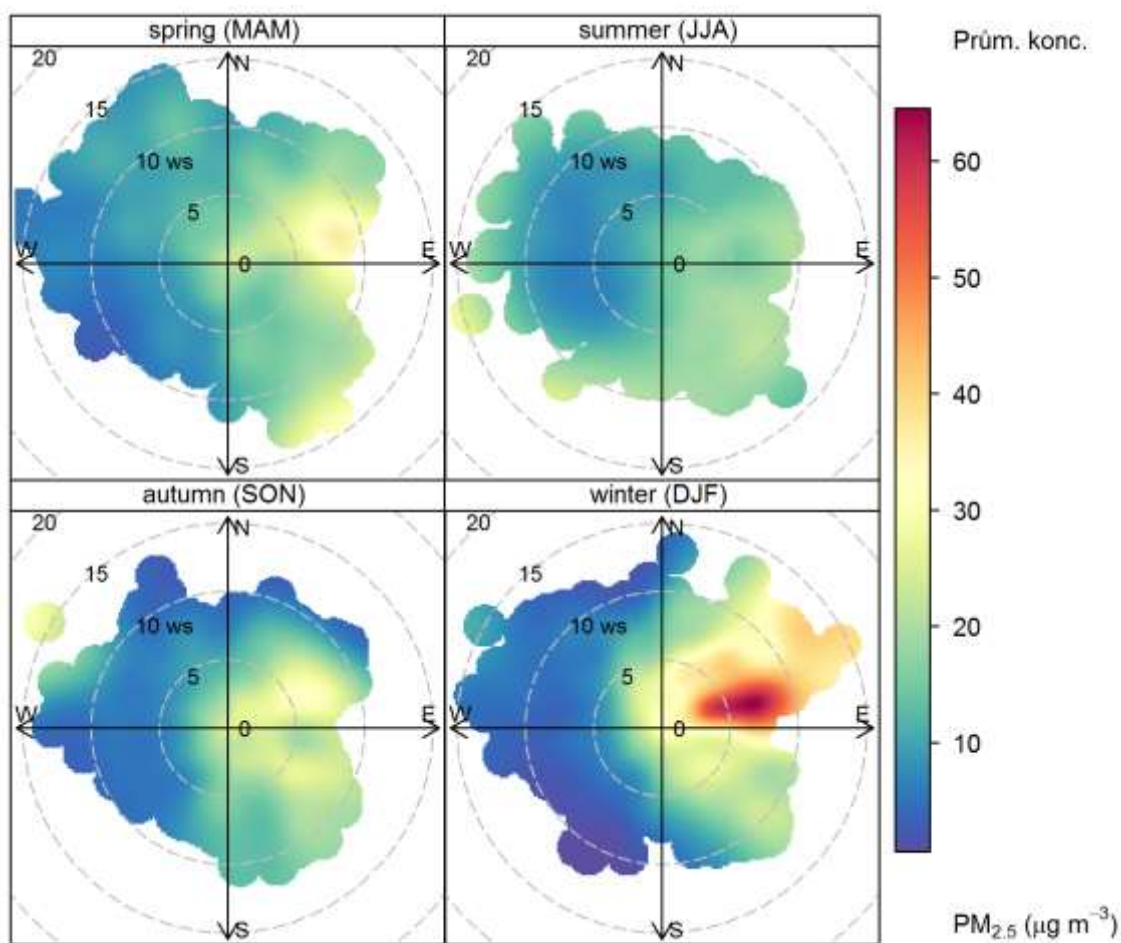
Obr. 86 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážení koncentrační růžice (vpravo) pro $PM_{2,5}$, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

Pokud se však koncentrační růžice rozdělí podle teploty, situace se od hrubší frakce PM_{10} téměř neliší. Maxima koncentrací jsou měřena při nízkých teplotách pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a při proudění ze severovýchodních až východních směrů. Při vyšších teplotách jsou již koncentrace $PM_{2,5}$ z hlediska škály pouze nízké, maximum v severních směrech může souviset se zemědělskou činností. Při teplotách nad $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou koncentrace pouze velmi nízké (Obr. 87).



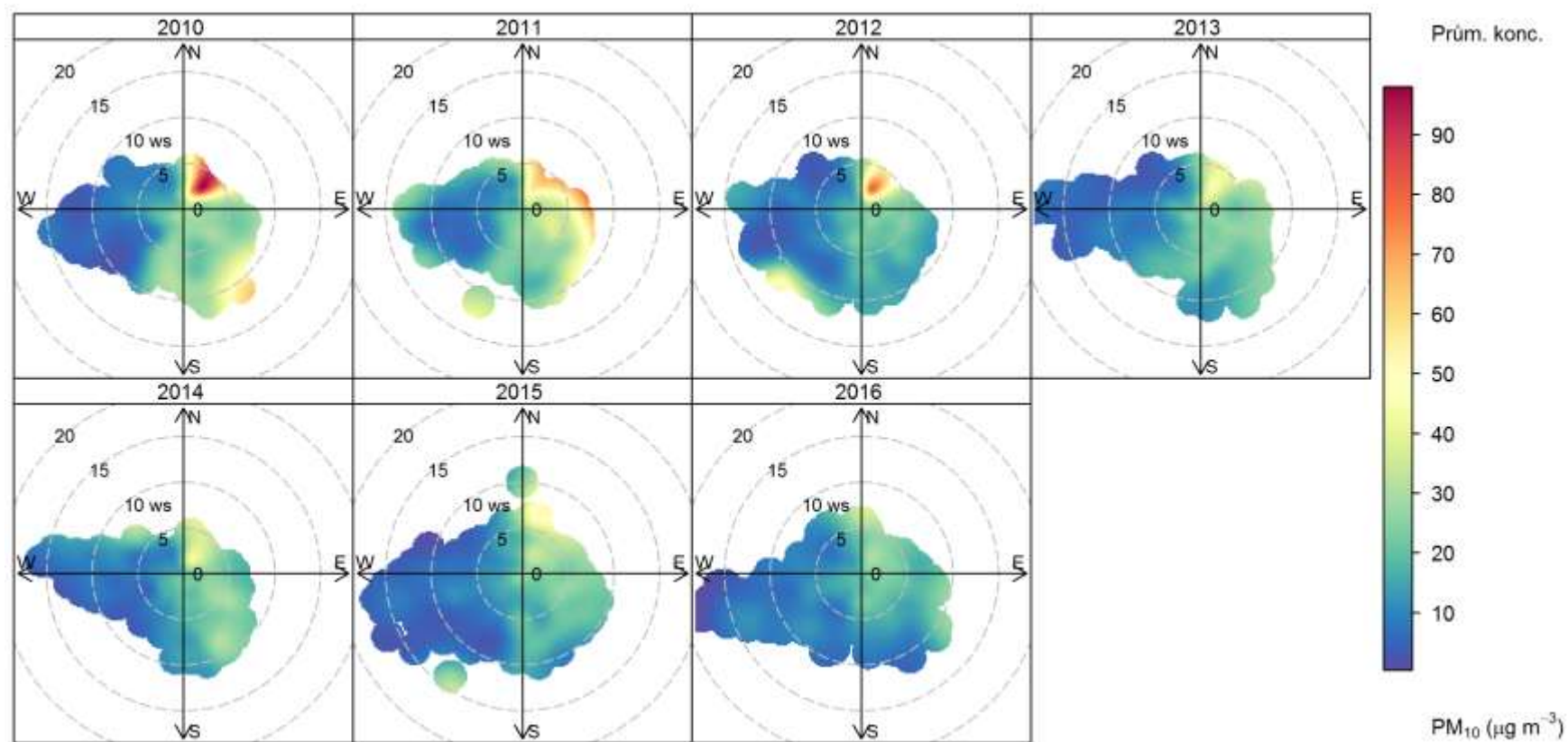
Obr. 87 – Teplotně členěná koncentrační růžice $PM_{2,5}$, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

V případě koncentrační růžice $PM_{2,5}$ členěné dle ročních období (Obr. 88) je situace opět totožná se situací v případě hrubší frakce PM_{10} . Nejvyšší koncentrace jsou měřeny v zimě, kdy se na vysokých koncentracích podílí i lokální topeniště a dálkový transport, naopak v létě jsou koncentrace pouze minimální. V jarních a podzimních měsících mohou být koncentrace rovněž mírně zvýšené. **Z uvedeného vyplývá, že na zvýšených koncentracích PM_{10} a $PM_{2,5}$ v lokalitě Mikulov – Sedlec se pravděpodobně nejvíce podílí lokální topeniště, popř. dálkový transport znečištění ze severovýchodních směrů. Svůj vliv může mít i zemědělská činnost v okolí stanice. Koncentrace v lokalitě jsou velmi nízké.**

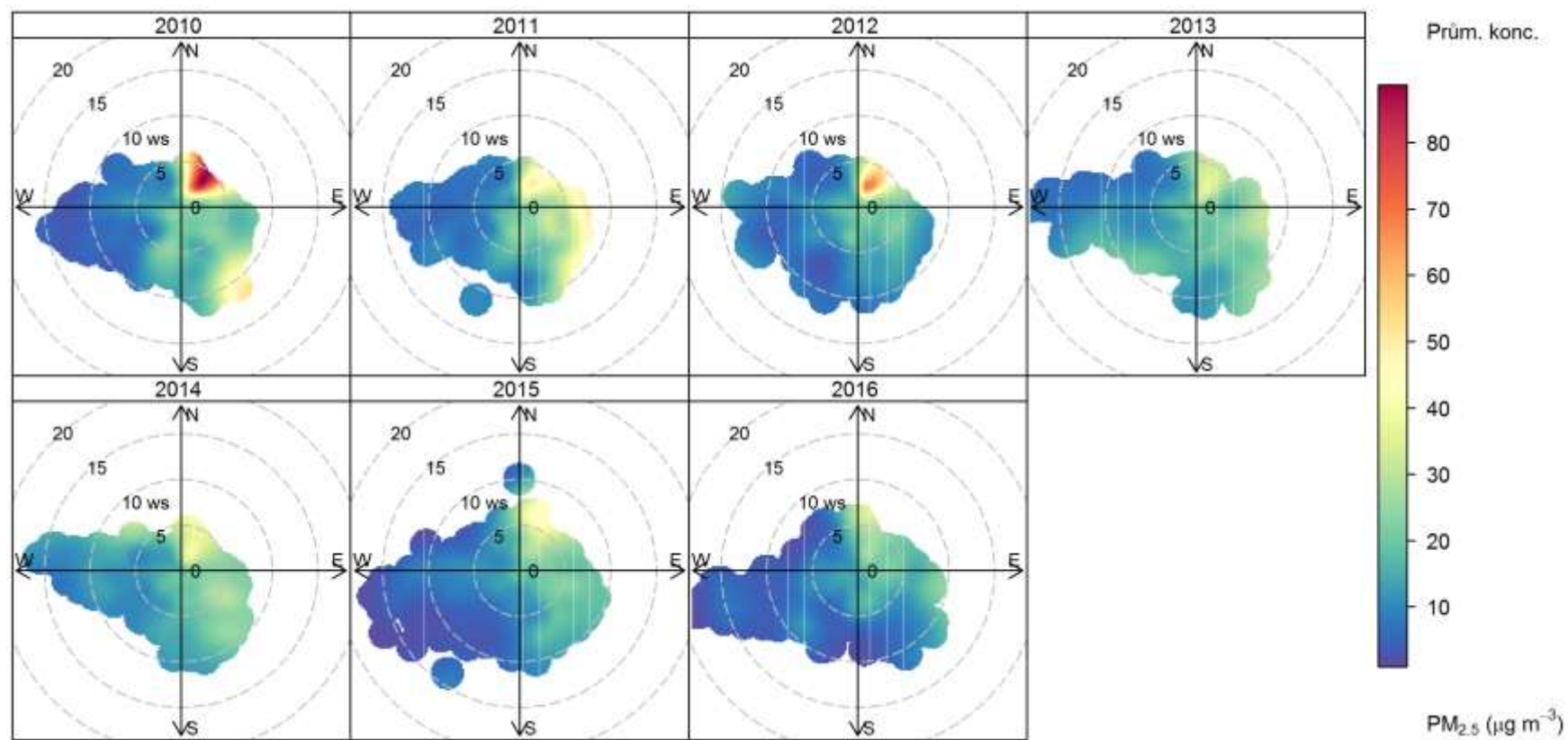


Obr. 88 – Koncentrační růžice $PM_{2.5}$ členěná dle ročních období, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

Koncentrační růžici lze rozdělit i podle jednotlivých let. V případě koncentrací PM_{10} je patrné, že maximální koncentrace se objevily zejména v letech 2010 – 2012, kdy byly chladnější zimy a delší topné sezóny (Obr. 89). Naproti tomu během teplejších zim bez delších epizod se zhoršenými rozptylovými podmínkami byly koncentrace podstatně nižší. Obdobná situace panuje i v případě $PM_{2.5}$ (Obr. 90).



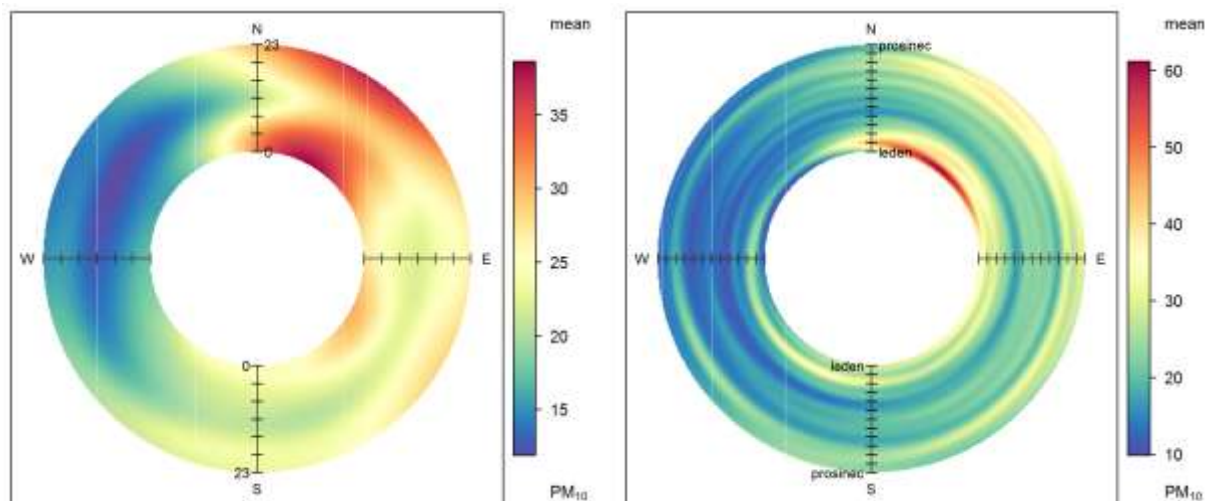
Obr. 89 – Koncentrační růžice PM_{10} , členěná dle jednotlivých let, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016



Obr. 90 – Koncentrační růžice $PM_{2.5}$, členěná dle jednotlivých let, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

2.3.4.3 Denní a měsíční chod

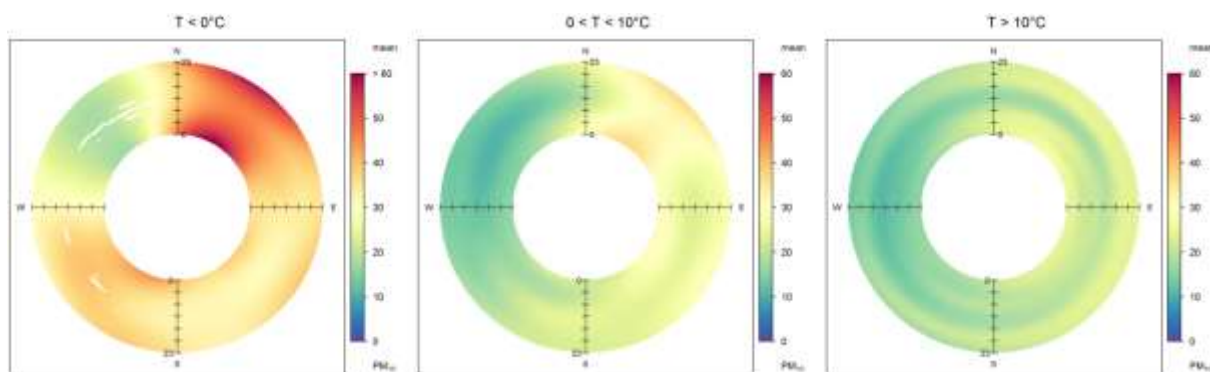
Díky znalosti hodinových informací meteorologických charakteristik a koncentrací škodlivin je možné sestavit i průměrný denní chod koncentrací v lokalitě v závislosti na směru větru. Graf na Obr. 91 vlevo zobrazuje po hodinách průměrný denní chod PM_{10} v lokalitě Mikulov – Sedlec za roky 2010 až 2016, členěná dle směru větru. Graf na Obr. 91 vpravo zobrazuje totéž, avšak po měsících.



Obr. 91 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace PM_{10} , Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

Z grafů na Obr. 91 je patrný téměř celodenní vliv severovýchodních směrů. Nejvyšší koncentrace jsou pak patrné ve večerních a nočních hodinách, ale k výraznějšímu poklesu nedochází ani přes den. K podobné situaci dochází i v lokalitě Brno – Tuřany a také v lokalitě Brno – Lány z východních směrů, jedná se zřejmě o podobné ovlivnění dálkovým transportem a lokálními topeništi. Ze západních směrů jsou koncentrace celodenně nízké, pouze mírně zvýšené v nočních hodinách.

Výrazně se koncentrace PM_{10} mění i v měsíčním chodu, kdy zvýšené koncentrace jsou zaznamenány v zimních měsících, zejména v lednu, podobně jako v lokalitě Brno – Tuřany.

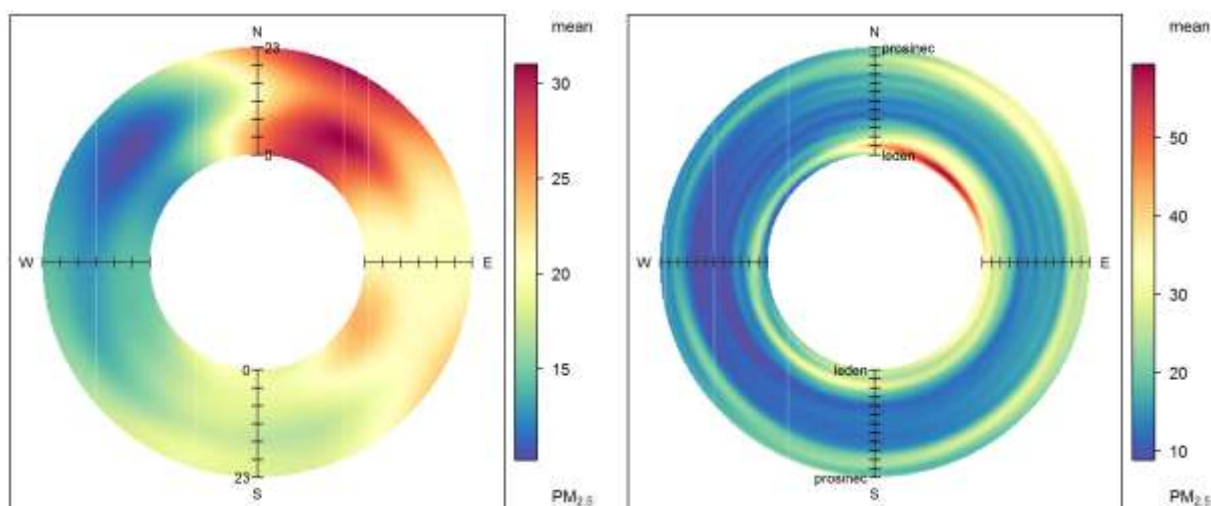


Obr. 92 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací PM_{10} dle směru větru

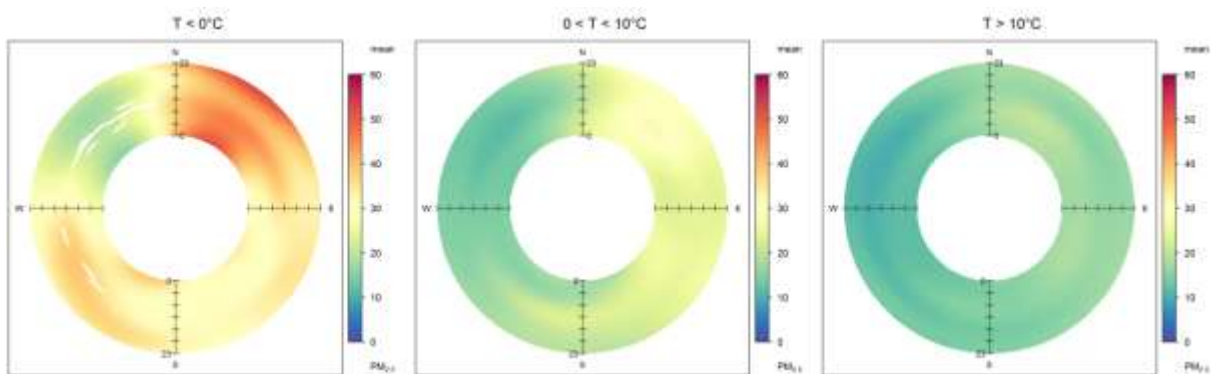
Také z hlediska teplotně členěného denního chodu lze vyvozovat na vliv lokálních topenišť – vysoké koncentrace jsou měřeny pouze při teplotách pod 0 °C. Při teplotách nad 10 °C jsou patrné podstatně

nižší koncentrace, i zde převládají vyšší koncentrace při severovýchodním proudění. Při teplotách nad 10 °C jsou již koncentrace velmi nízké (Obr. 92).

Podobně je to i v případě denních a měsíčních chodů koncentrací $PM_{2,5}$. I v tomto případě je vidět výrazný vliv severovýchodního proudění s kulminací v nočních hodinách (Obr. 93). Vysoké koncentrace se opět vyskytují v zimních měsících především při teplotách nižších než 0 °C. Při teplotách nad 10 °C mimo topnou sezónu jsou již koncentrace $PM_{2,5}$ minimální (Obr. 94).

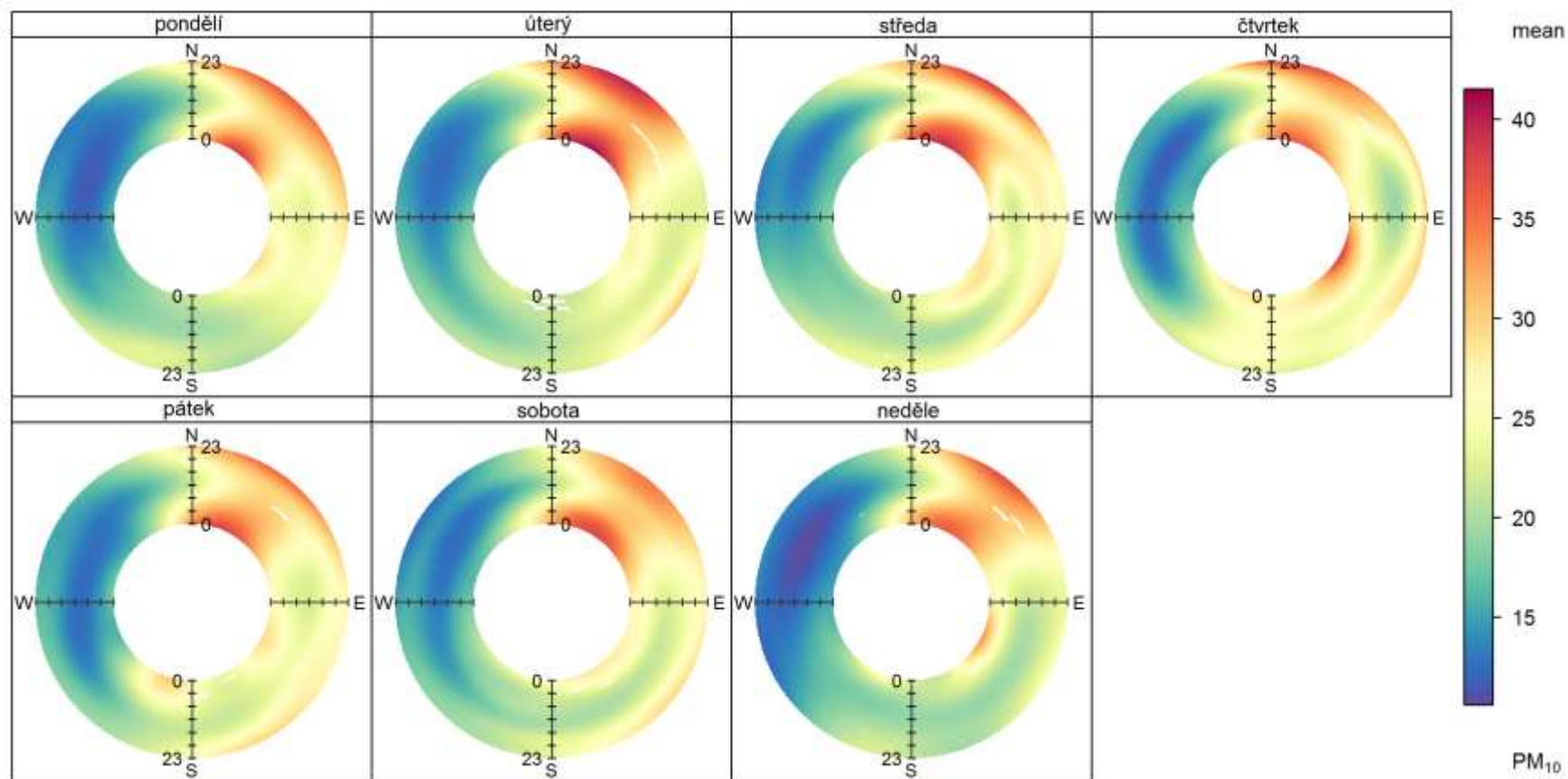


Obr. 93 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace $PM_{2,5}$, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

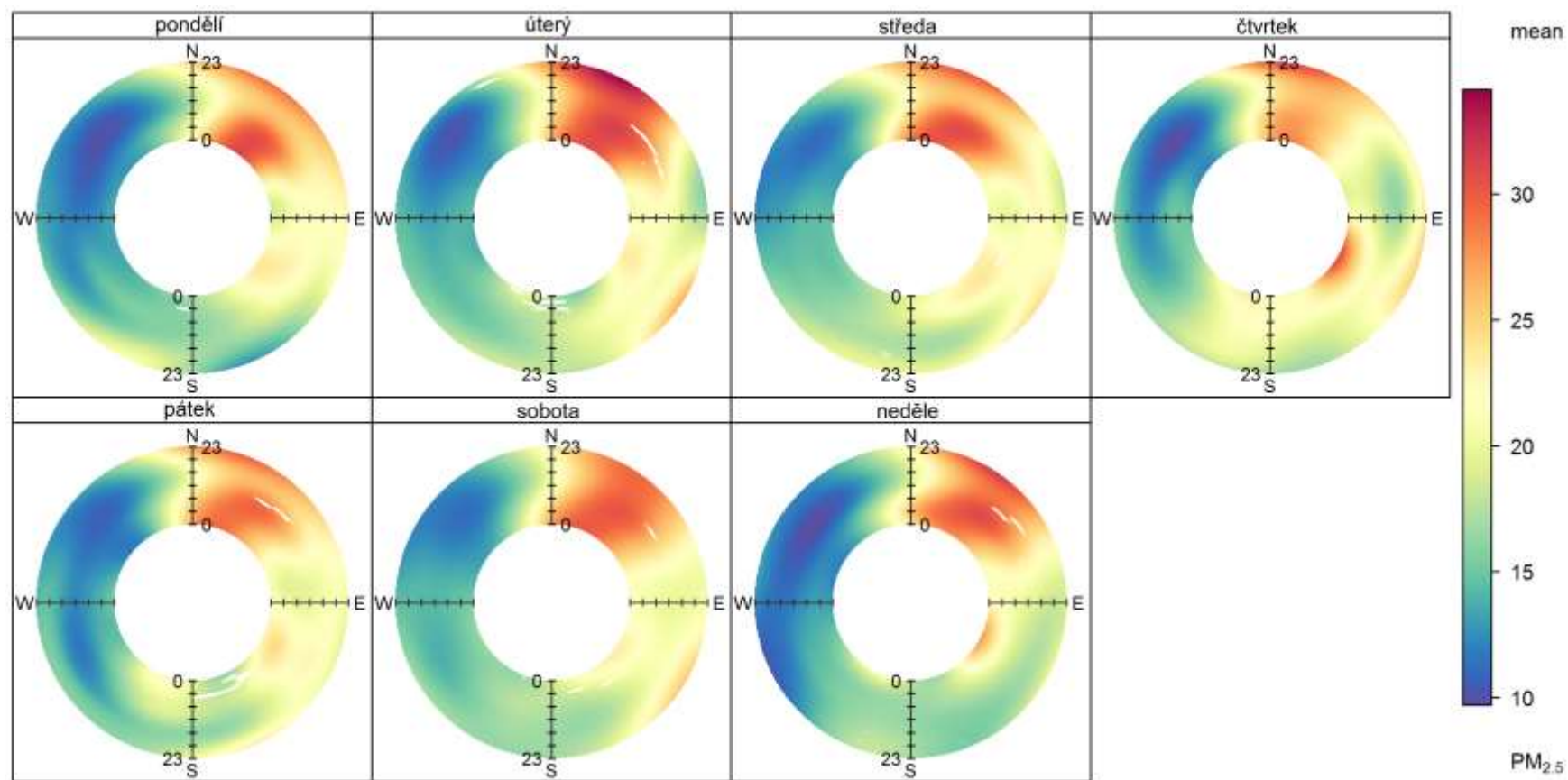


Obr. 94 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací $PM_{2,5}$ dle směru větru, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

Koncentrace PM_{10} ani $PM_{2,5}$ se příliš neliší v jednotlivých dnech v týdnu (Obr. 95 a Obr. 96). I v sobotu a v neděli je patrný podobný chod jako v ostatní dny. **Vysoké koncentrace ve večerních, nočních a brzkých ranních hodinách v této lokalitě lze tedy přičíst pravděpodobně lokálním topeništím, popř. dálkovému transportu znečištění ze severovýchodních směrů.**



Obr. 95 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace PM_{10} , Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016



Obr. 96 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace $PM_{2.5}$, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

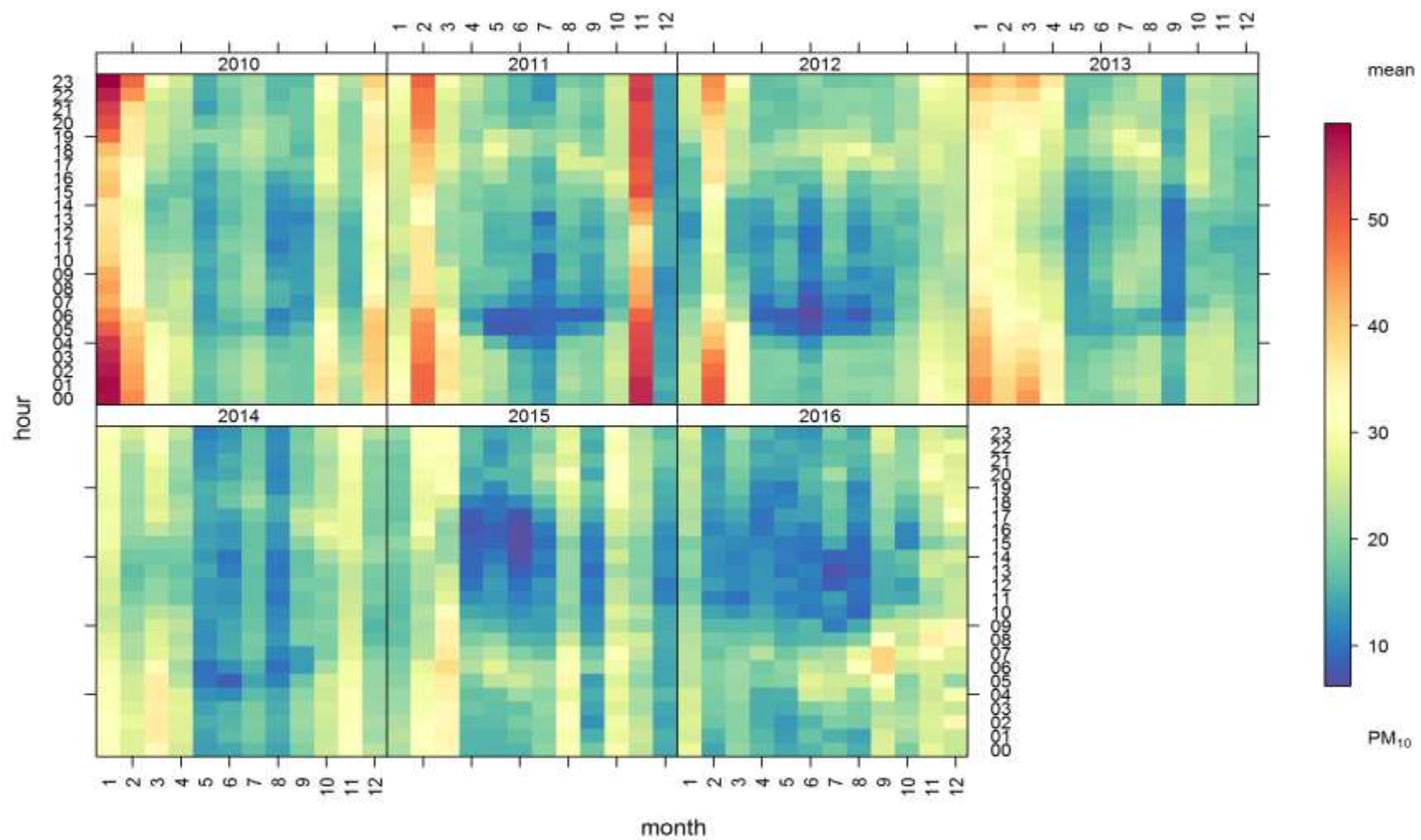
2.3.4.4 Přehledy koncentrací

Celkový přehled koncentrací PM_{10} v lokalitě Mikulov – Sedlec za roky 2010 – 2016 zobrazuje Obr. 97. Zobrazuje průměrnou koncentraci PM_{10} v jednotlivých hodinách dne, členěné dle měsíců a roků. Z přehledu je patrné, že vyšší koncentrace jsou dosahovány v zimních měsících, především pak v letech 2010 a 2011. V roce 2011 je ještě výrazný měsíc listopad, kdy byla poměrně dlouhá epizoda počasí s inverzním charakterem, navíc v Jihomoravském kraji nespadl ani mm srážek. Zvýšené koncentrace PM_{10} v měsíci listopadu roku 2011 jsou patrné na všech lokalitách. Tato epizoda zdůrazňuje významný vliv meteorologických podmínek na koncentrace PM_{10} . Naproti tomu v letních měsících mimo topnou sezónu jsou koncentrace vždy velmi nízké. Rovněž v posledních 3 letech byly poměrně mírné zimy bez delších epizod s inverzním charakterem počasí. To se projevilo na relativně nízkých koncentracích PM_{10} v zimních měsících těchto let.

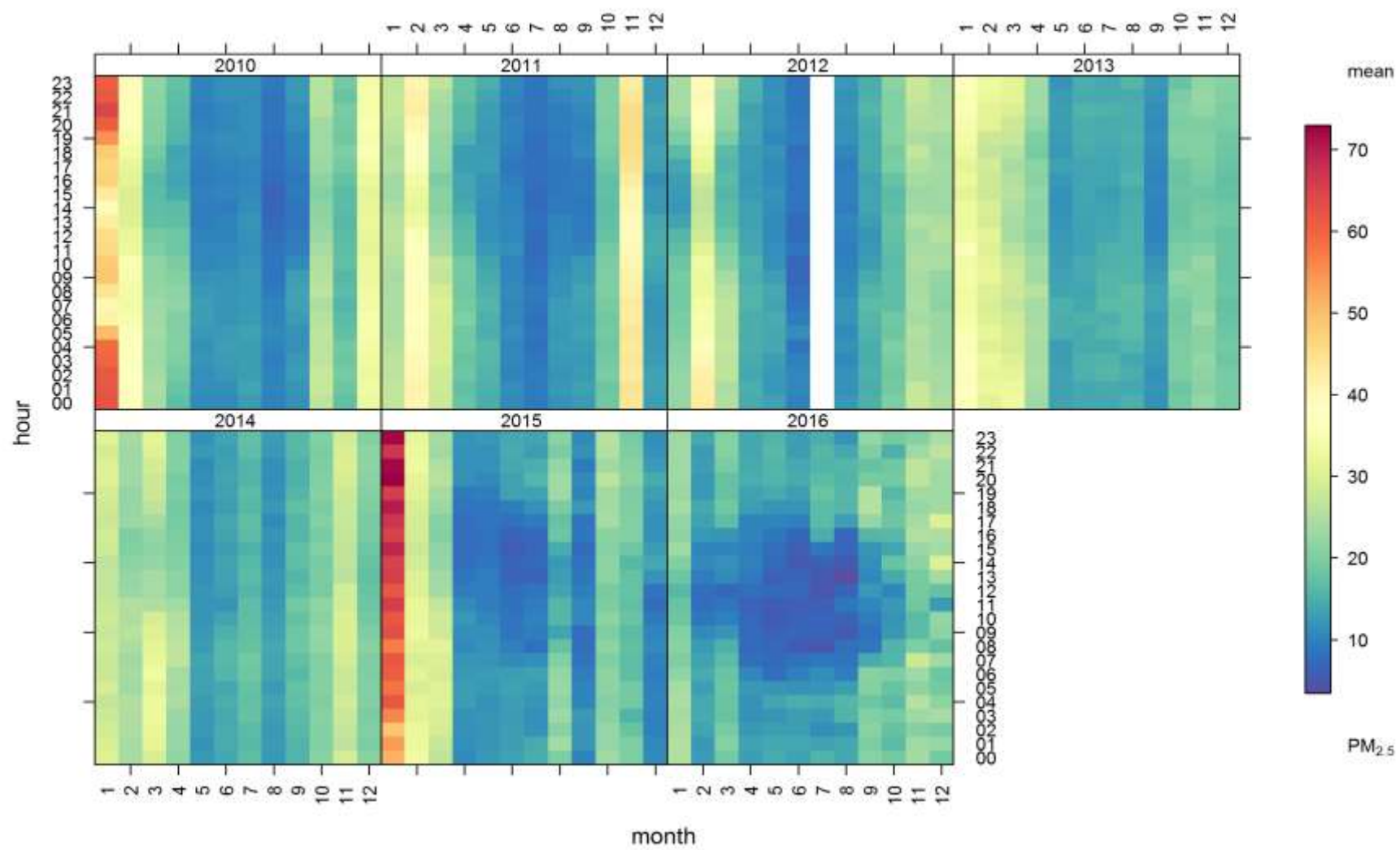
Velmi podobná je i situace v případě jemnější frakce $PM_{2,5}$. Přehled je zobrazen na Obr. 98. Výjimkou je situace z ledna 2015, kdy jsou v případě $PM_{2,5}$ vysoké koncentrace. Důvodem je to, že analyzátor měřil pouze 1. 1. 2015 a poté došlo k závažné poruše. 1. 1. 2015 byly zvýšené koncentrace i v případě PM_{10} , ale po zprůměrování celého měsíce se hodnoty značně snížily. V případě $PM_{2,5}$ k tomu nemohlo dojít, neboť přístroj se z opravy vrátil až 6. 2. 2015, a tudíž grafické znázornění ledna 2015 de facto zobrazuje pouze 1. 1. 2015.

Obr. 99 zobrazuje stejný přehled koncentrací PM_{10} jako Obr. 97, avšak vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, jako tomu je na stránkách ČHMÚ v hodinovém přehledu [13].

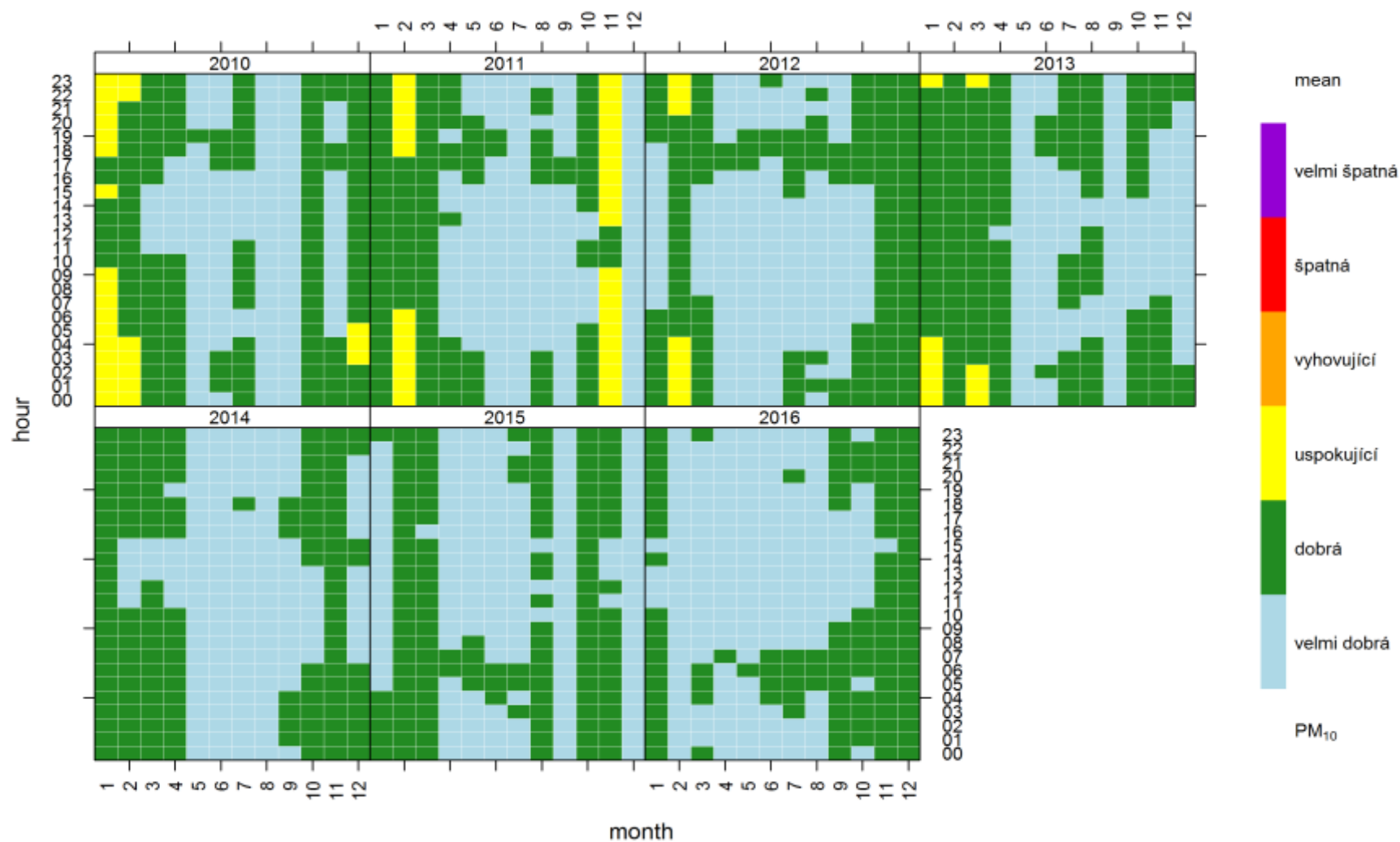
Obr. 100 zobrazuje normalizované hodnoty průměrných koncentrací (k průměru za celý interval) škodlivin PM_{10} , $PM_{2,5}$ a NO_x . V týdenním chodu jsou zřetelné vyšší ranní a nižší večerní pík koncentrací NO_x . Tyto píky jsou o víkendu mírně nižší, na koncentracích NO_x se tedy zřejmě částečně podílí doprava. Časy kulminací píků NO_x souhlasí s lokalitou Brno – Lány, proti lokalitě Brno – Svatoplukova kulminuje večerní pík výrazně později (až kolem 20. hodiny UTC). Zřetelný je rovněž výrazná pokles koncentrací NO_x mezi 10 až 16 hodinou. To naznačuje rovněž výrazný vliv vytápění na koncentrace NO_x v této lokalitě. V případě PM_{10} a $PM_{2,5}$ není patrný výrazný trend, lze vypozařovat nárůst koncentrací v odpoledních hodinách, který pak postupně během noci klesá. Opět je tak indikován vliv vytápění. Z hlediska měsíčního chodu je patrný výrazný pokles koncentrací všech škodlivin v teplé části roku proti chladné části roku.



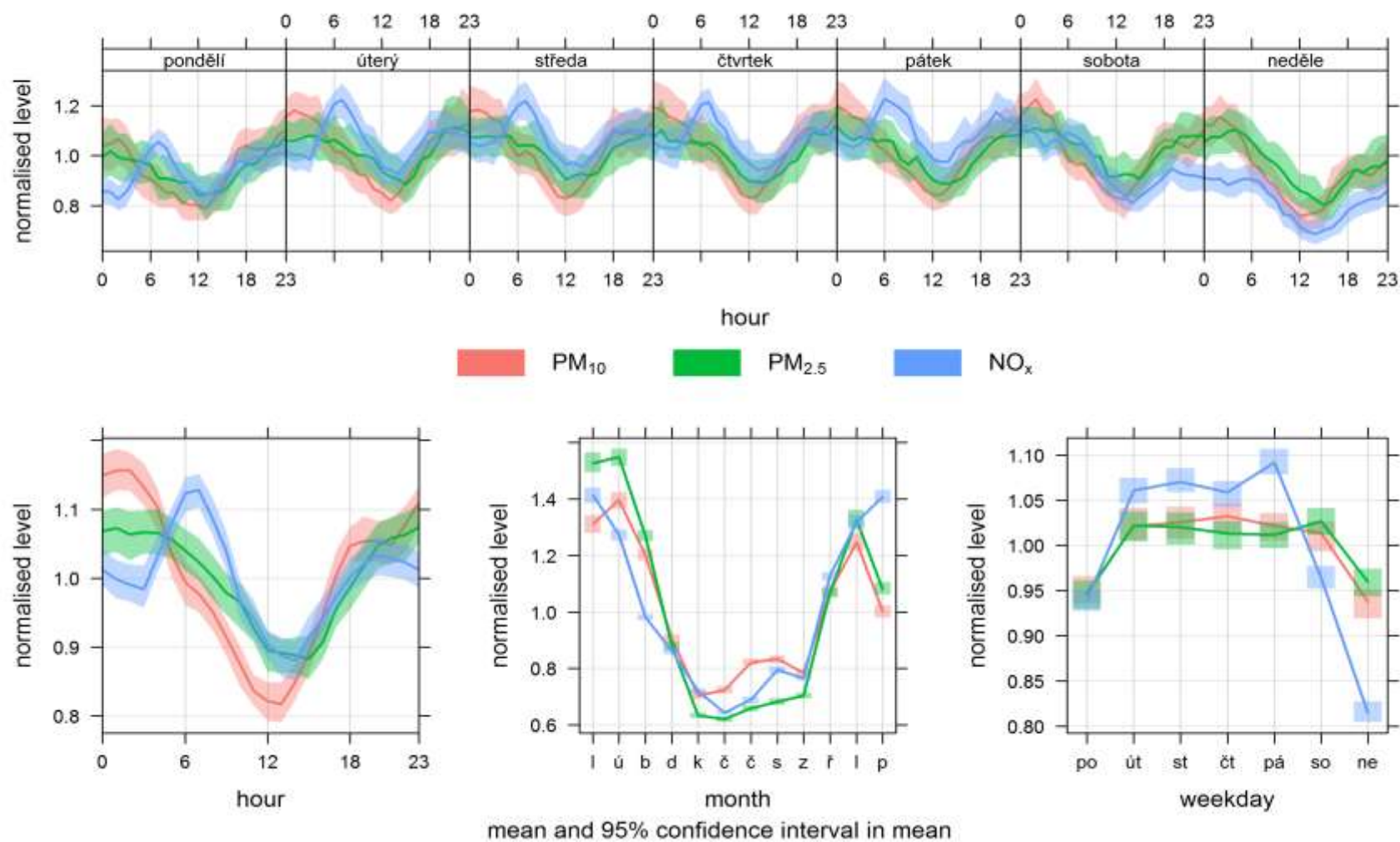
Obr. 97 – Přehled průměrných koncentrací PM₁₀ v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016



Obr. 98 – Přehled průměrných koncentrací PM_{2,5} v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016



Obr. 99 – Přehled průměrných koncentrací PM₁₀ v jednotlivých hodinách vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, členěno dle měsíců a toků, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016 [13]



Obr. 100 – Normalizované hodnoty průměrných koncentrací PM_{10} , $PM_{2.5}$ a NO_x v hodinovém, týdenním a měsíčním chodu, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

2.4 EMISE SUSPENDOVANÝCH ČÁSTIC

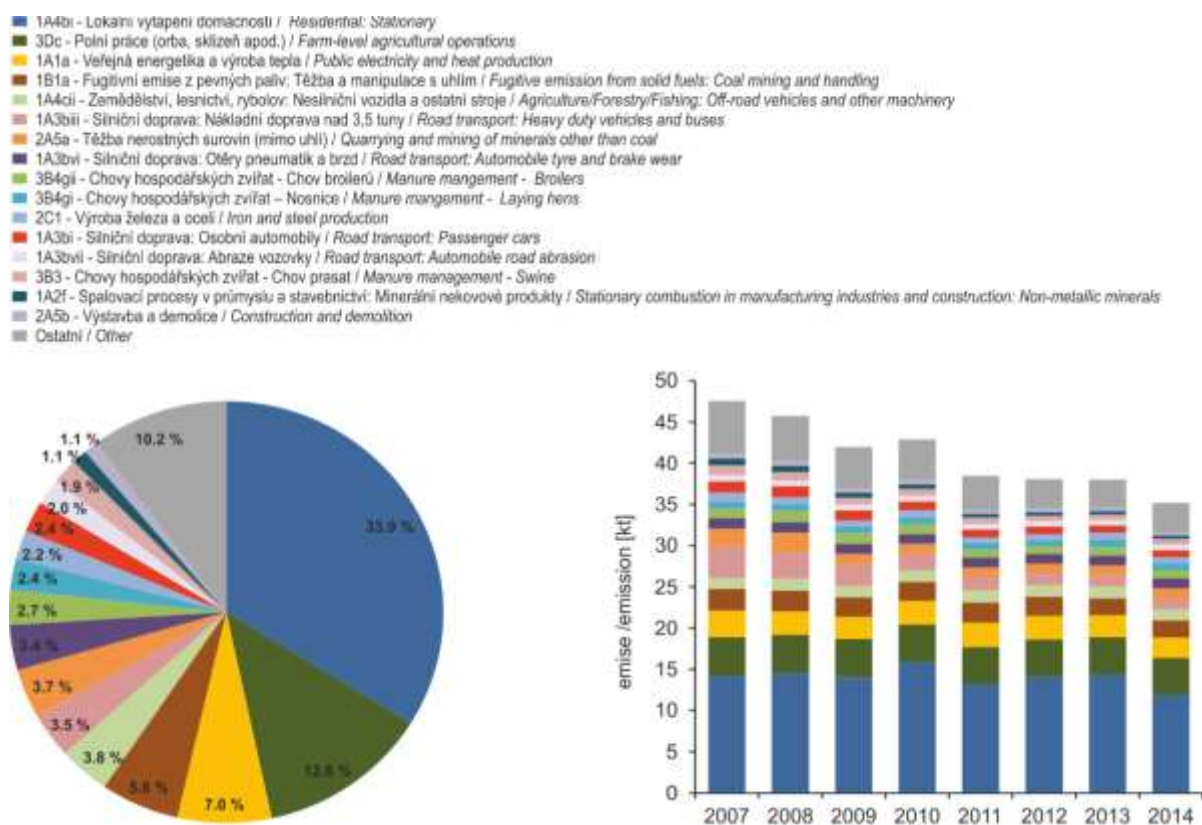
2.4.1 Emise suspendovaných částic v ČR [2]

Při spalování paliv a při dalších průmyslových činnostech vznikají emise aerosolů, které mohou být pevné, kapalné nebo směsné. Souhrnně se tyto emise v české legislativě označují jako tuhé znečišťující látky (TZL), v zahraniční literatuře Total Suspended Particulate Matter (TSP). Z hlediska zdravotního působení TZL na člověka byly definovány velikostní skupiny označované jako PM_x (Particulate Matter), které obsahují částice s aerodynamickým průměrem o velikosti menší než x μm. Emise TZL mají různé velikostní a chemické složení podle charakteru zdroje a způsobu vzniku. Mohou obsahovat těžké kovy a představují nosné médium pro VOC a PAH. Nejčastěji se při inventarizaci emisí v návaznosti na imisní limity rozlišuje velikostní frakce PM₁₀ a PM_{2,5}.

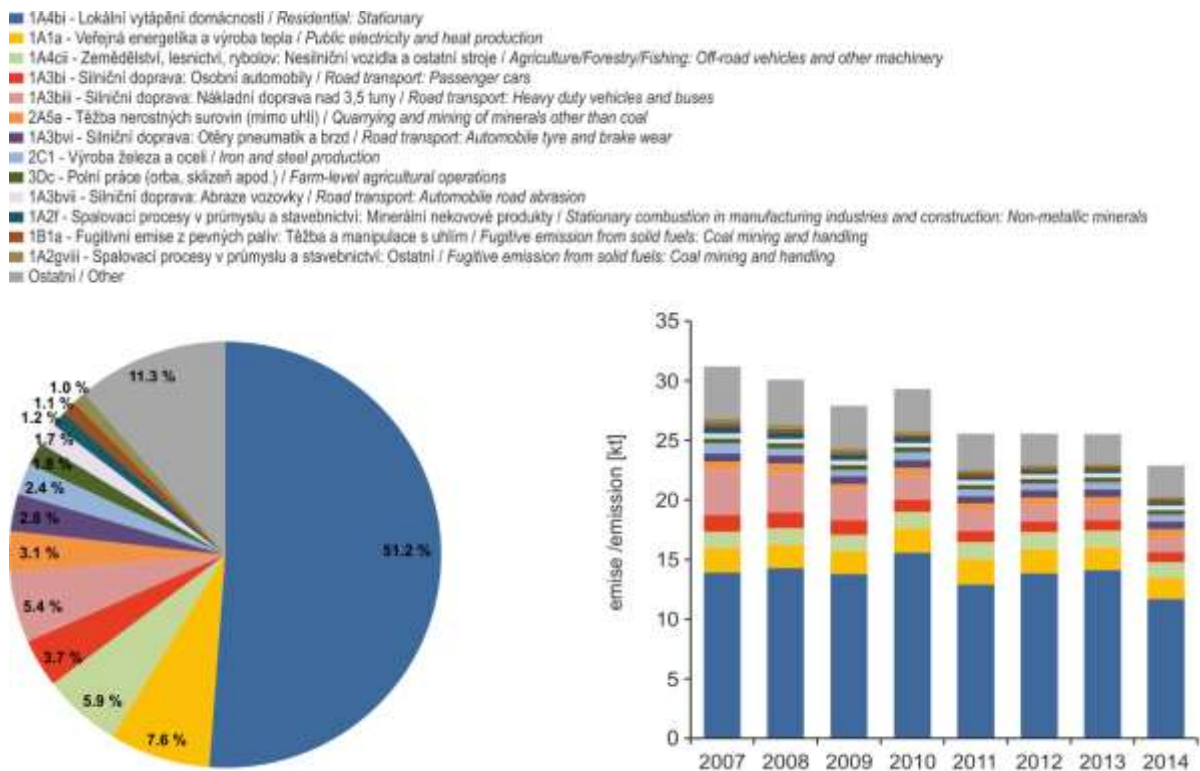
Emisní inventury částic PM₁₀ a PM_{2,5} prováděné podle současných metodik zahrnují pouze emise produkované primárními zdroji. Ve srovnání s emisemi jiných znečišťujících látek jsou emise PM_x vnášeny do ovzduší z velkého počtu významnějších skupin zdrojů. Kromě zdrojů, ze kterých jsou tyto látky vypouštěny řízeně komínem nebo výduchy (průmyslové zdroje, lokální topeniště, doprava), pochází významné množství emisí PM ze zdrojů fugitivních (kamenolomy, skládky prašných materiálů, operace s prašnými materiály apod.). Zahrnuty jsou rovněž emise z otěrů pneumatik, brzdového obložení a abraze vozovek vypočítávané z dopravních výkonů. Kvalitu ovzduší ovlivňuje rovněž resuspenze částic (znovuvzvíření), která do standardně prováděných emisních inventur není zahrnuta. **Mezi hlavní zdroje emisí PM_x v roce 2014 patřil sektor 1A4bi-Lokální vytápění domácností, který se podílel na znečišťování ovzduší v celorepublikovém měřítku látkami PM₁₀ 33,9 % (Obr. 101) a PM_{2,5} 51,2 % (Obr. 102) [17].** Mezi další významné zdroje emisí PM₁₀ patří 3Dc-Polní práce, kde tyto emise vznikají při zpracování půdy, sklizni a čištění zemědělských plodin. Tento sektor představoval 12,8 % emisí PM₁₀. Z hlediska účinku na lidské zdraví jsou velkým rizikem emise částic pocházející z dopravy, především ze spalování paliv ve vznětových motorech, které produkují částice o velikosti jednotek až stovek nm [18]. Sektory 1A3biii-Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5 tuny a 1A3bi-Silniční doprava: Osobní automobily se na emisích PM₁₀ podílely 5,9 % a na emisích PM_{2,5} 9,1 %.

Podíl domácností vytápěných pevnými palivy se v období 2007 – 2014 příliš neměnil, proto je trend emisí PM₁₀ a PM_{2,5} ovlivněn především meteorologickými podmínkami během topných sezon (Obr. 101 a Obr. 102). K poklesu emisí přispívá především přirozená obnova vozového parku, snížení zemědělské produkce a zavedení emisních stropů TZL pro zdroje LCP od roku 2008.

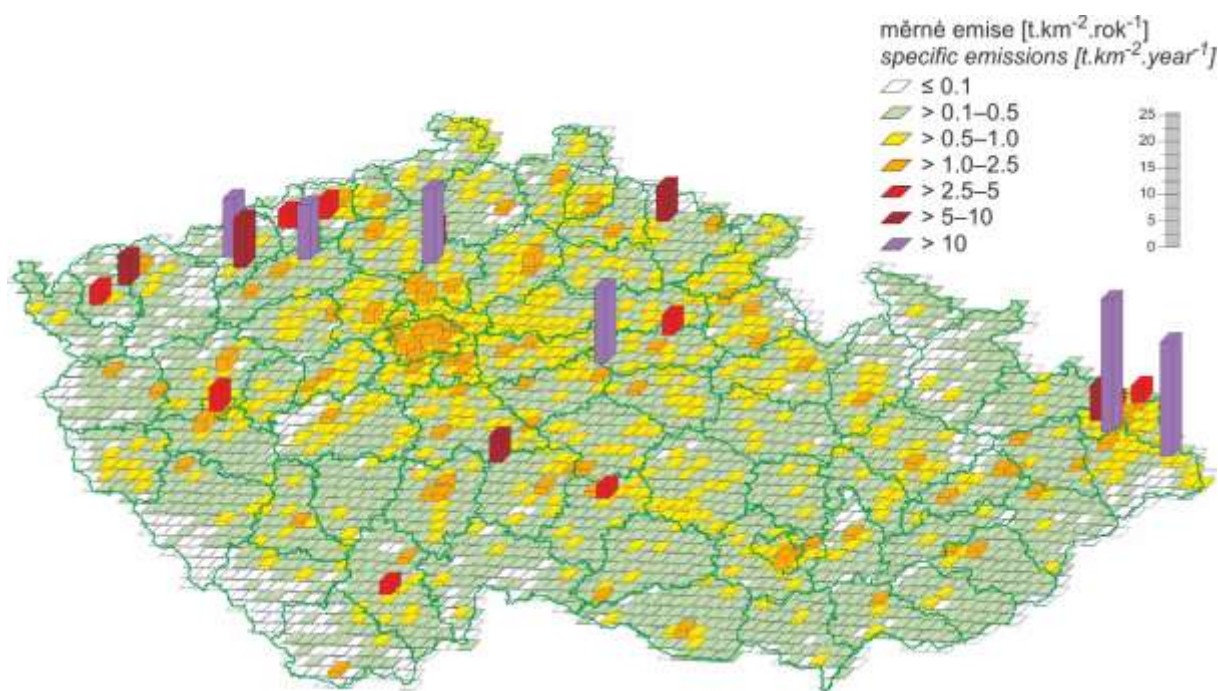
V různých oblastech ČR se podíl jednotlivých typů zdrojů na celkových emisích liší podle konkrétní skladby zdrojů v dané oblasti. Vzhledem k tomu, že hlavní zdroj emisí PM₁₀ a PM_{2,5} představuje sektor lokálního vytápění, je i produkce emisí těchto látek rozložena po celém území ČR s obytnou zástavbou. V území ČR rozděleném do čtverců 5 x 5 km emisně vynikají lokality, ve kterých jsou provozovány významné energetické výroby spalující pevná fosilní paliva, a velké průmyslové komplexy (především Moravskoslezský a Ústecký kraj). Podíl dopravy se projevuje především ve velkých městech (Obr. 103 a Obr. 104) [2].



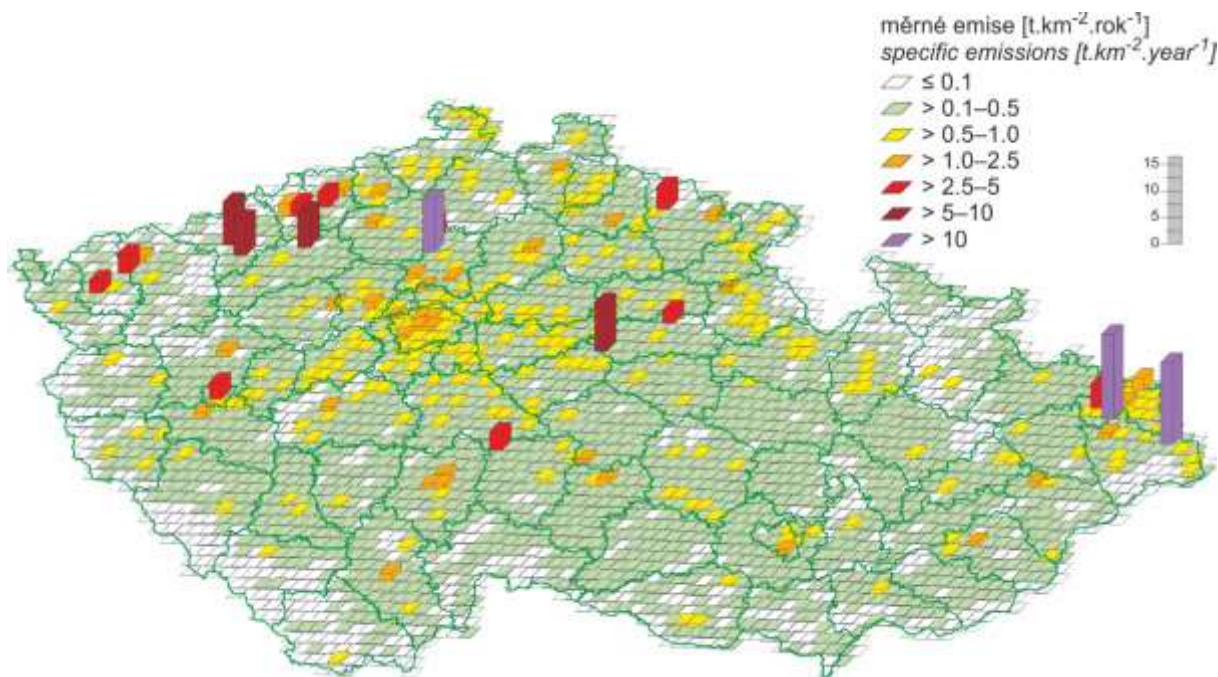
Obr. 101 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích PM_{10} v ČR v roce 2014, včetně vývoje 2007 – 2014



Obr. 102 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích $PM_{2.5}$ v ČR v roce 2014, včetně vývoje 2007 – 2014



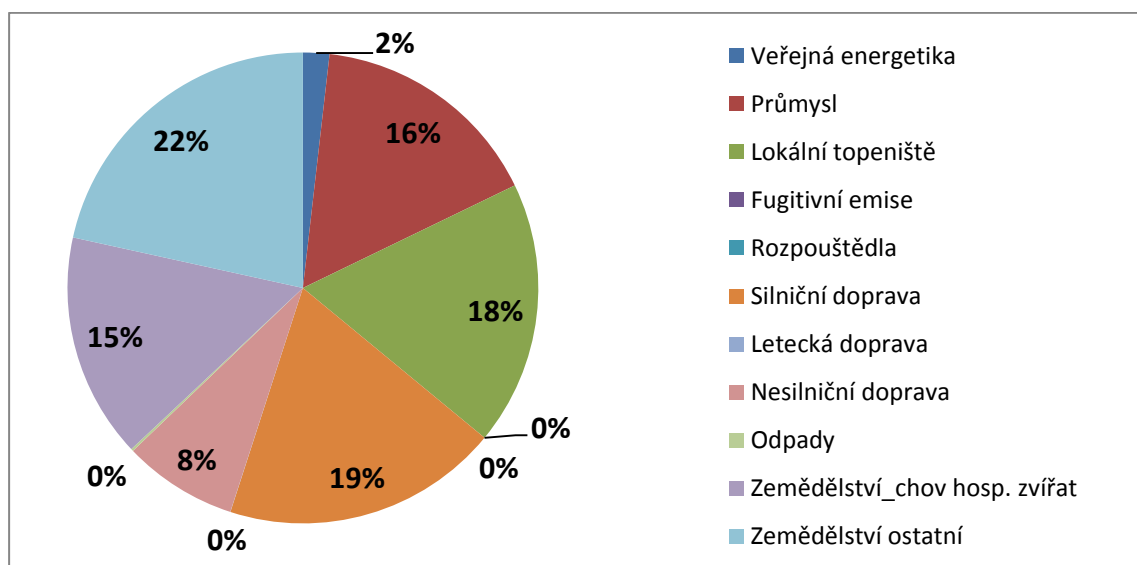
Obr. 103 – Emisní hustoty PM_{10} ze čtverců 5×5 km, Česká republika, 2014



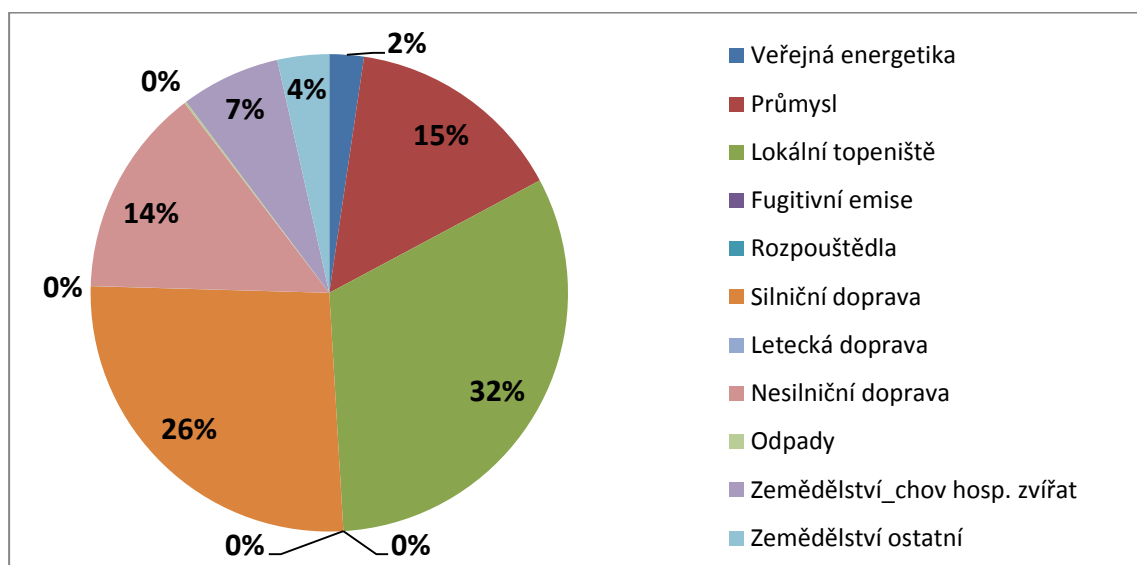
Obr. 104 – Emisní hustoty $\text{PM}_{2.5}$ ze čtverců 5×5 km, Česká republika, 2014

2.4.2 Emise suspendovaných částic v Jihomoravském kraji

Emisní bilance suspendovaných částic v Jihomoravském kraji byla připravena z reportovaných emisí v rozložení EMEP-GRID [19] a členěných dle hlavních sektorů (GNFR) [20]; použity byly hodnoty emisí PM_{10} a $PM_{2,5}$ za rok 2015. Na rozdíl od celorepublikových dat členěných dle jednotlivých sektorů NFR (viz předchozí kapitola) nejsou údaje na úrovni krajů v tomto podrobném členění dostupné. Pro přehled podílu zdrojů na emisích suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ v Jihomoravském kraji jsou však naprosto dostačující. Zastoupení jednotlivých sektorů GNFR zobrazují následující Obr. 105 a Obr. 106.



Obr. 105 – Podíl jednotlivých sektorů zdrojů GNFR na emisích PM_{10} v Jihomoravském kraji, rok 2015 [17]



Obr. 106 – Podíl jednotlivých sektorů zdrojů GNFR na emisích $PM_{2,5}$ v Jihomoravském kraji, rok 2015 [17]

Z grafu na Obr. 105 je patrné, že na emisích hrubší frakce se významněji podílí několik sektorů. Důležitý je sektor zemědělství, kam spadá jednak chov hospodářských zvířat (15 % emisí PM_{10} v JMK) a dále sektor zemědělství – ostatní, kam spadá např. emise z polních prací (orba, sklizeň apod.). Tento sektor je v Jihomoravském kraji zvláště důležitý a podílí se na zhruba 22 % všech emisí PM_{10} . Spolu s tímto sektorem je pak spjata také větrná eroze, která sice není v emisní bilanci vykazována jako zdroj, přesto se může významně podílet na koncentracích PM_{10} v zemědělské krajině Jihomoravského kraje [21], [15]. Emise ze sektoru zemědělství – ostatní lze očekávat především v teplé části roku.

Dalším důležitým sektorem je doprava. Silniční doprava tvoří zhruba 18 % všech emisí PM_{10} v Jihomoravském kraji, přičemž dle celorepublikových dat lze odhadnout, že osobní automobilová doprava se na **emisích sektoru doprava** podílí cca 20 %, nákladní automobilová doprava nad 3,5 t se podílí zhruba 30 %, velmi podobně zhruba 30 % se na emisích PM_{10} podílí také otěry pneumatik a brzd a zhruba 20 % pak přispívá abraze vozovky (Obr. 101). V emisních bilancích pak není započtena resuspenze, která je však ve spojitosti s dopravou důležitým faktorem ovlivňující koncentrace PM_{10} měřené na dopravních lokalitách.

Kromě silniční dopravy se na emisích PM_{10} v Jihomoravském kraji zhruba 8 % podílí i nesilniční doprava, kam spadají zemědělské, lesní a stavební stroje, vozidla armády, stavební stroje, údržba zeleně, apod.

Dalším velmi významným sektorem jsou lokální topeniště. Na emisích PM_{10} v Jihomoravském kraji se podílí zhruba 18 %, a to přesto, že jsou tyto zdroje v provozu pouze v topné sezóně (na rozdíl např. od dopravy či průmyslových zdrojů). **Lze tedy konstatovat, že v topné sezóně je sektor lokální topeniště nejvýznamnějším zdrojem v Jihomoravském kraji** a výrazně se podílí na plošném navýšení koncentrací PM_{10} v kraji.

Průmyslové zdroje se pak na emisích PM_{10} podílí zhruba 16 %, tento sektor se tedy na celkových emisích v Jihomoravském kraji podílí méně než lokální topeniště, přestože průmyslové zdroje jsou zdrojem emisí celoročně.

V případě emisí jemnější frakce $PM_{2,5}$ se situace mění, výrazně méně se na těchto emisích podílí zemědělství, naopak narůstá význam zejména lokálních topenišť a také silniční dopravy (Obr. 106).

Nejvýrazněji se na emisích $PM_{2,5}$ v Jihomoravském kraji podílí sektor lokálních topenišť, a to téměř třetinou všech emisí, přestože zdroje jsou v provozu pouze v chladné části roku. V topné sezóně lze pokládat lokální topeniště za majoritní zdroj $PM_{2,5}$.

Silniční doprava se zhruba čtvrtinou všech emisí $PM_{2,5}$ je druhým nejvýznamnějším sektorem v Jihomoravském kraji. Dle celorepublikových dat lze opět odhadnout, že osobní automobilová doprava se na **emisích $PM_{2,5}$ sektoru doprava** podílí cca 30 %, nákladní automobilová doprava nad 3,5 t se podílí zhruba 40 %, zhruba 20 % se na emisích $PM_{2,5}$ podílí otěry pneumatik a brzd a zhruba 10 % pak přispívá abraze vozovky (Obr. 102). Z toho je patrné, že otěry a abraze se emisně více podílí na hrubší frakci PM_{10} , pro jemnější frakci $PM_{2,5}$ jsou pak podstatnější spalovací procesy v motorech vozidel a jejich emise. V emisních bilancích pak není započtena resuspenze, která je však ve spojitosti s dopravou důležitým faktorem ovlivňující koncentrace $PM_{2,5}$ měřené na dopravních lokalitách.

Emise $PM_{2,5}$ ze sektoru průmysl zůstaly na obdobných hodnotách, jako v případě PM_{10} .

Proti emisím PM₁₀ došlo k výraznému poklesu podílu emisí na celkových emisích PM_{2,5} v sektoru zemědělství. Zejména v oblasti polních prací. Z bilance vyplývá, že se jedná zejména o hrubší frakci, což velmi dobře koresponduje s výsledky měření v lokalitě Kuchařovice [15].

2.5 SMOGOVÝ VAROVNÝ A REGULAČNÍ SYSTÉM

ČHMÚ provozuje na základě pověření MŽP Smogový varovný a regulační systém (SVRS). Informace, které jeho prostřednictvím poskytuje, slouží k upozornění na mimořádně znečištěné ovzduší (smogovou situaci) a také k regulaci (omezení) vypouštění znečišťujících látek z vybraných zdrojů významně ovlivňujících kvalitu ovzduší daného území. Mezi sledované látky patří suspendované částice frakce PM₁₀, oxid siřičitý (SO₂), oxid dusičitý (NO₂) a přízemní (troposférický) ozon (O₃). Aktuální seznam oblastí a reprezentativních stanic pro PM₁₀, SO₂ a NO₂ je stanoven Věstníkem MŽP.

Od 1. ledna 2017 došlo k novelizaci zákona o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. Tato novela upravuje podmínky pro vyhlášení a odvolávání smogových situací a regulací, resp. varování. Zásadní novinky ve vyhlášení smogových situací a regulací z důvodu vysokých koncentrací PM₁₀ jsou:

- překročení informativní a regulační prahové hodnoty se hodnotí na základě 12hodinových namísto dříve používaných 24hodinových průměrů PM₁₀;
- pro vyhlášení smogové situace/regulace pro PM₁₀ postačuje jednorázové překročení informativní/regulační prahové hodnoty alespoň na polovině reprezentativních stanic. Podle dříve platných pravidel musely koncentrace překračovat informativní, resp. regulační prahovou hodnotu 2, resp. 3 po sobě jdoucí dny;
- zároveň musí v době vyhlášení platit, že během následujících 24 hodin není očekáván pokles 12hodinových koncentrací PM₁₀ pod odpovídající prahovou hodnotu. Dříve požadovaná podmínka, aby byl v době vyhlášení alespoň na polovině reprezentativních stanic v posledních 6 hodinách rostoucí trend 12hodinových koncentrací PM₁₀, byla zrušena.

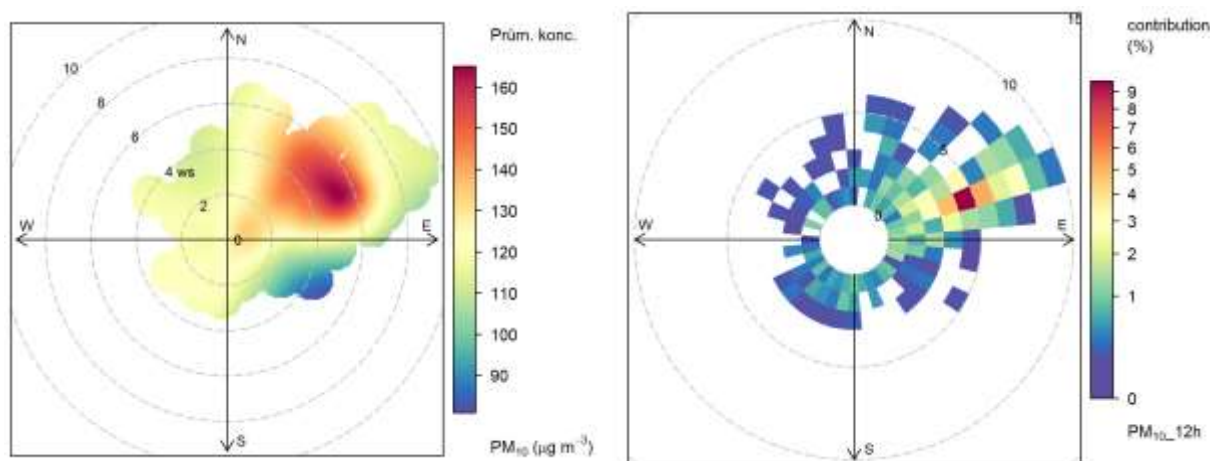
Výše uvedené změny umožnily větší flexibilitu ve vyhlášení smogových situací a regulací, jejichž vyhlášení je nyní v mnohem lepším souladu se skutečným vývojem koncentrací, než tomu bylo dříve.

Vzhledem k tomu, že se během sledovaného období několikrát měnily pravidla pro vyhlášení a odvolávání smogových situací, není vhodné jednotlivé roky mezi sebou srovnávat. Je možné srovnat roky 2012 – 2016, kdy platila stejná pravidla, avšak velmi odlišná od aktuálních (Tab. 10). Regulace z důvodu vysokých koncentrací PM₁₀ v Jihomoravském kraji vyhlášena nebyla.

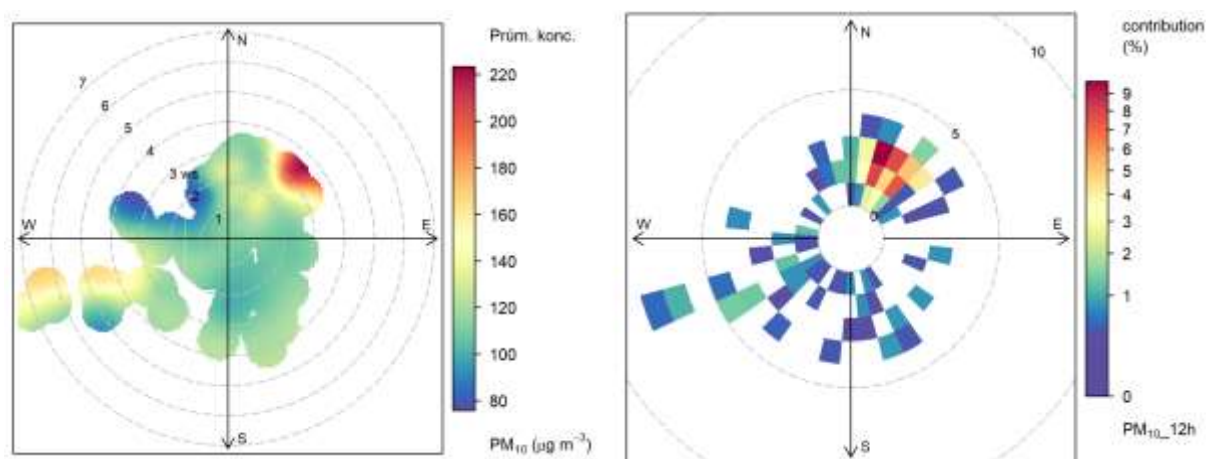
Tab. 10 – Počet vyhlášených smogových situací v aglomeraci Brno a Jihomoravském kraji bez Brna v letech 2012 – 2016, číslo v závorce ukazuje délku trvání epizody v hodinách

	Aglomerace Brno	Jihomoravský kraj bez Brna
2012	0	0
2013	1 (27)	1 (27)
2014	0	0
2015	1 (54 h)	0
2016	0	0

Z hlediska aktuálnosti je podstatně důležitější znát podmínky, které k vyhlášení smogové situace vedou. Z výše uvedených vybraných stanic spadají do SVRS stanice Brno – Tuřany a Mikulov – Sedlec. Následující grafy na Obr. 107 a Obr. 108 zobrazují koncentrační a váženou koncentrační růžici PM_{10} sestavenou z 12h klouzavých průměrů přesahujících hodnotu koncentrace $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ tak, aby hodnocení vyhovovalo aktuálním pravidlům SVRS. Do výpočtu pochopitelně není zahrnutý výhled meteorologa, který na základě znalosti meteorologické situace předpoví, zda budou vysoké koncentrace ještě alespoň 24 hodin.



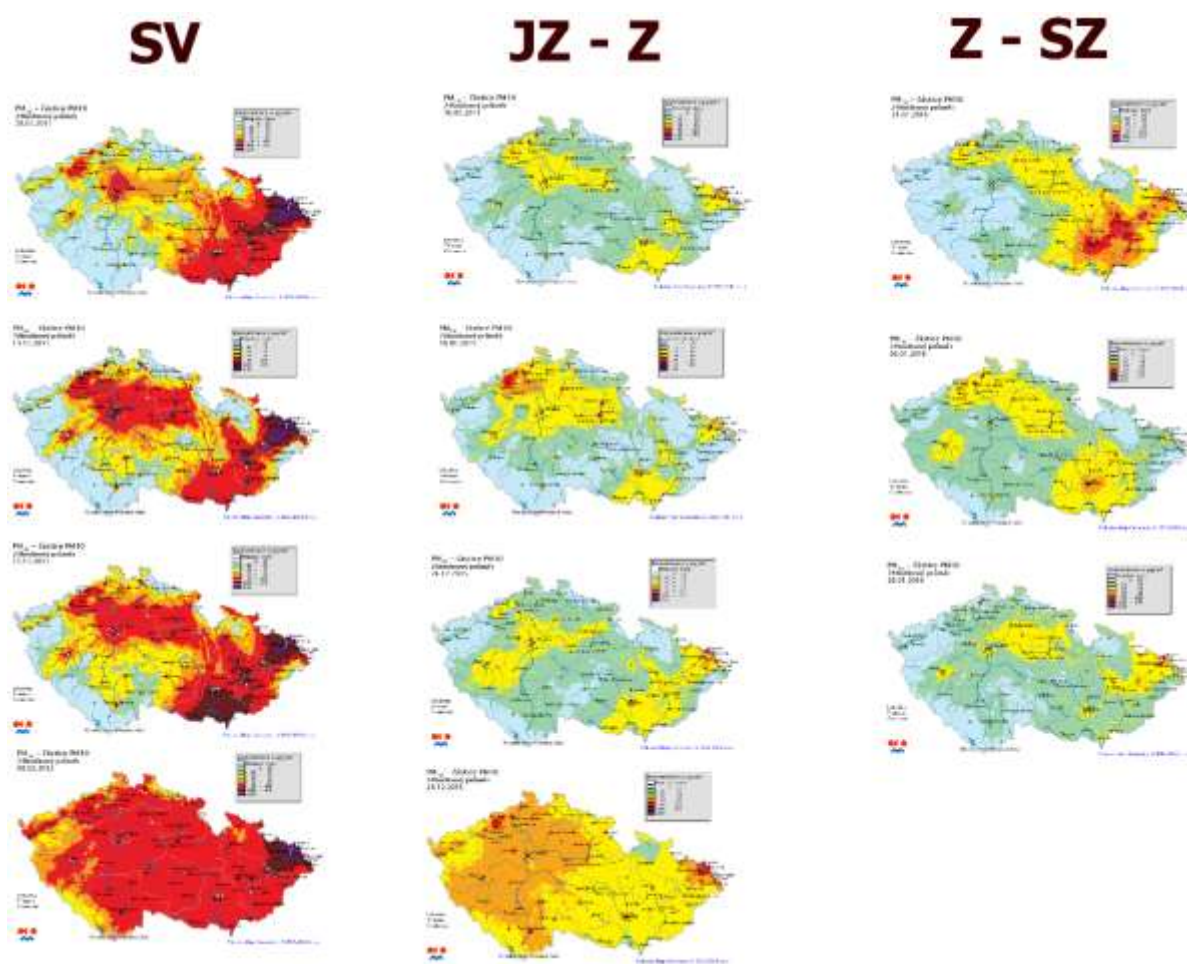
Obr. 107 – Koncentrační (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) 12h klouzavých průměrů vyšších než $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, Brno – Tuřany, 2010 – 2016



Obr. 108 – Koncentrační (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) 12h klouzavých průměrů vyšších než $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

Z grafů na Obr. 107 a Obr. 108 je patrné, že nejvyšší koncentrace PM_{10} z hlediska 12hodinových klouzavých průměrů jsou měřeny při proudění ze severovýchodu, a to jak v lokalitě Brno – Tuřany, tak v lokalitě Mikulov – Sedlec. Rovněž z vážené koncentrační růžice lze vyčíst, že severovýchodní proudění se nejvíce podílí na splnění koncentračních podmínek pro vyhlášení smogové situace. Při těchto situacích se na koncentracích výrazně podílí i dálkový transport.

K obdobnému závěru dospěla analýza smogové situace z února 2017, která byla vyhlášena jak pro aglomeraci Brno, tak pro Jihomoravský kraj. Jednalo se o situaci, kdy byla nad střední Evropou silná tlaková výše, panoval inverzní charakter počasí a nízké teploty. Během této epizody převládalo severovýchodní proudění (6. – 9. 2. 2017). Na dva dny se pak proudění změnilo na západní až jihozápadní, což přineslo výrazné snížení koncentrací PM_{10} na území kraje (10. – 11. 2. 2017). Po návratu severovýchodního proudění začaly koncentrace PM_{10} opět vzrůstat. Smogová situace byla vyhlášena 13. 2. 2017. Tato situace trvala až do změny počasí vlivem přechodu fronty. Meteorologové ČHMÚ pátrali po podobných podmínkách, jako panovaly během této smogové epizody – teplotní inverze a nízké teploty. Proměnou zůstal směr proudění větru. **Z výsledku vyplývá, že za těchto situací dochází ke smogovým epizodám téměř výhradně při severovýchodním proudění (Obr. 109). To velmi dobře koresponduje s výsledky koncentračních růžic na Obr. 107 a Obr. 108.**



Obr. 109 – Vliv směru proudění větru na koncentrace PM_{10} v ČR za podmínek smogové situace v únoru 2017 (teplotní inverze v nízké výšce, nízké teploty)

3 OXID DUSIČITÝ NO₂

Při sledování a hodnocení kvality venkovního ovzduší se pod termínem oxidy dusíku (NO_x) rozumí směs oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO₂) [22].

Pro oxid dusičitý jsou v příloze 1 zákona o ochraně ovzduší [1] uvedeny dva imisní limity. Pro průměrnou roční koncentraci a pro hodinovou koncentraci, která může být za kalendářní rok 18 x překročena (Tab. 11).

Tab. 11 – Imisní limity platné pro oxid dusičitý NO₂ [1]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální povolený počet překročení
Oxid dusičitý NO ₂	1 hodina	200 µg.m ⁻³	18 za kalendářní rok
Oxid dusičitý NO ₂	1 kalendářní rok	40 µg.m ⁻³	

Více než 90 % z celkových oxidů dusíku ve venkovním ovzduší je emitováno ve formě NO. NO₂ vzniká relativně rychle reakcí NO s přízemním ozonem nebo s radikály typu HO₂, popř. RO₂ [23]. Řadou chemických reakcí se část NO_x přemění na HNO₃/NO₃⁻, které jsou z atmosféry odstraňovány suchou a mokrou atmosférickou depozicí. Pozornost je věnována NO₂ z důvodu jeho negativního vlivu na lidské zdraví. Hraje také klíčovou roli při tvorbě fotochemických oxidantů.

V Evropě vznikají emise NO_x převážně z antropogenních spalovacích procesů, kde NO vzniká reakcí mezi dusíkem a kyslíkem ve spalovaném vzduchu a částečně i oxidací dusíku z paliva. Hlavní antropogenní zdroje představuje především silniční doprava (významný podíl má ovšem i doprava letecká a vodní) a dále spalovací procesy ve stacionárních zdrojích. Méně než 10 % celkových emisí NO_x vzniká ze spalování přímo ve formě NO₂. Přírodní emise NO_x vznikají převážně z půdy, vulkanickou činností a při vzniku blesků. Jsou poměrně významné z globálního pohledu, z pohledu Evropy však představují méně než 10 % celkových emisí [24].

Expozice zvýšeným koncentracím NO₂ ovlivňuje plicní funkce a způsobuje snížení imunity [25].

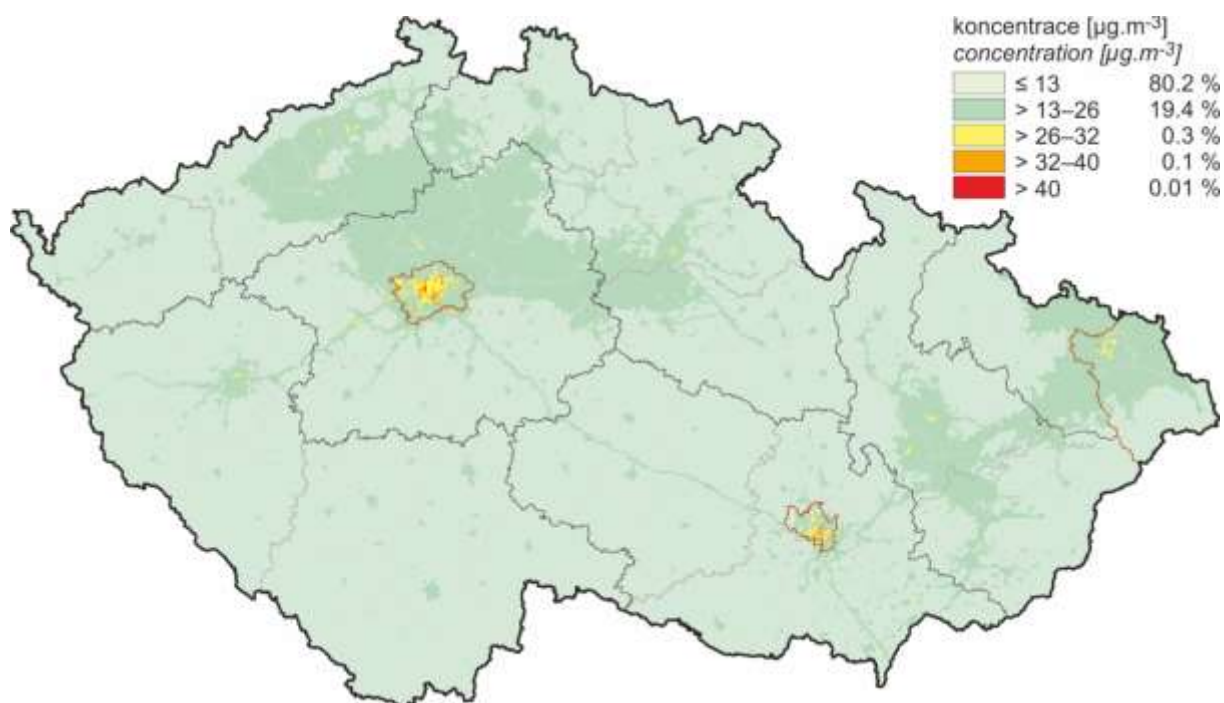
3.1 PRŮMĚRNÉ CHARAKTERISTIKY OXIDU DUSIČITÉHO, PĚTILETÍ 2011 – 2015

Z důvodu zejména meteorologické odlišnosti jednotlivých let mohou být naměřené koncentrace škodlivin v jednotlivých letech odlišné. Proto dle zákona o ochraně ovzduší [1], §11, odst. 5 a 6 připravuje ČHMÚ každoročně pětileté průměry jednotlivých charakteristik a výsledky zveřejňuje na svém portálu [5]. Poslední dostupné pětiletí je 2011 – 2015, proto budou využity výsledky v této studii právě z tohoto pětiletí. Pětiletí 2012 – 2016 bude dostupné na portálu ČHMÚ v druhé polovině roku 2017.

3.1.1 Situace v ČR

Větší znečištění měst oxidy dusíku v porovnání s mimoměstskými lokalitami je způsobeno převážně dopravou. Nejvyšších hodnot koncentrací NO_2 je dosahováno v Praze, Brně a Ostravě (Obr. 110). Na většině území ČR (99,6 %) je však roční průměrná koncentrace nižší než $26 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, tj. hodnota dolní meze pro posuzování. Vyšší koncentrace NO_2 mohou být i v blízkosti místních komunikací v obcích s intenzivní dopravou a hustou místní dopravní sítí.

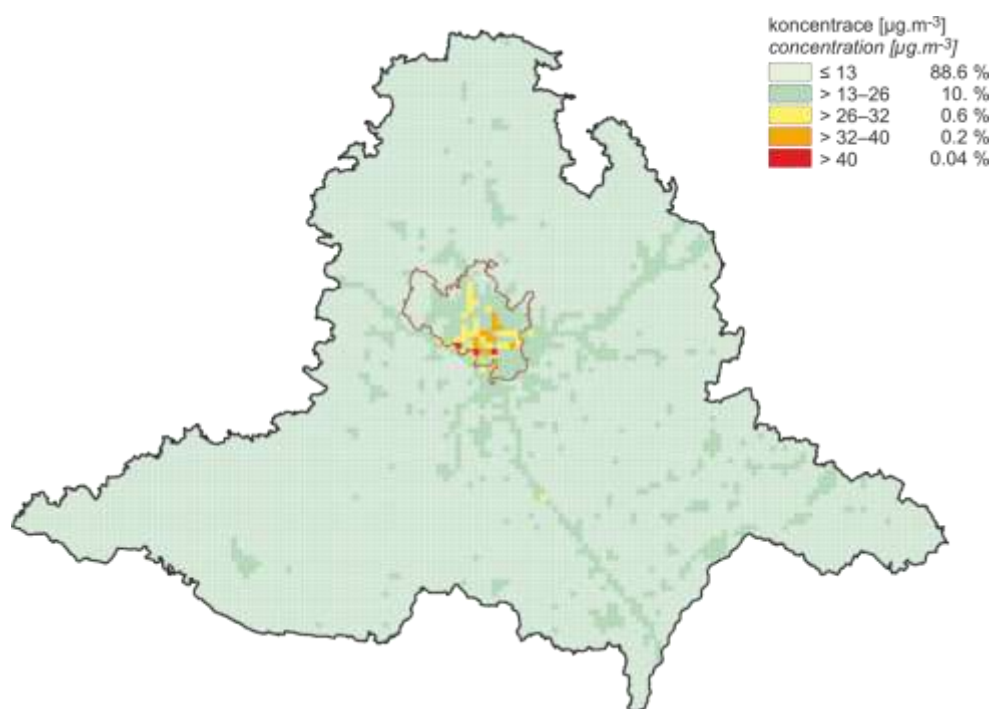
Na dopravních lokalitách jsou měřeny vyšší koncentrace NO_2 než na ostatních typech lokalit. V období duben – září je obecně patrný pokles koncentrací NO_2 na všech lokalitách, i když v případě lokality Brno – Svatoplukova je pokles jen mírný (Obr. 116). Důvodem poklesu je vyšší intenzita solární radiace (především o vlnových délkách $< 400 \text{ nm}$) v tomto ročním období, která má za následek fotodisociaci NO_2 na NO a O [23]. Z produktů fotodisociace se za vhodných podmínek vytváří přízemní ozon, a proto jsou v období duben – září koncentrace přízemního ozonu vyšší (kapitola 4).



Obr. 110 – Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací NO_2 , ČR, 2011 – 2015

3.1.2 Situace v Jihomoravském kraji

Z hlediska průměrných ročních koncentrací NO_2 za období 2011 – 2015 vyplývá, že téměř veškeré území Jihomoravského kraje (99,2 %) leží pod dolní mezí pro posuzování ($26 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), přičemž většina koncentrací 88,6 % leží i pod polovinou dolní meze pro posuzování ($13 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Meze pro posuzování vychází z legislativy a určují, zda je nutné v daném regionu škodlivinu měřit, nebo postačuje modelování [6]. Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci NO_2 je překročen na zhruba 0,04 % území Jihomoravského kraje (Obr. 111).



Obr. 111 – Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací NO_2 , Jihomoravský kraj, 2011 – 2015

3.2 VÝVOJ KONCENTRACÍ OXIDU DUSIČITÉHO, 2010 – 2016

V této kapitole budou vyhodnoceny koncentrace NO_2 ve vztahu k jednotlivým imisním limitům. Zahrnuty budou stanice státní sítě imisního monitoringu, které v období 2010 – 2016 naměřily dostatečný počet dat pro výpočet imisního limitu dle platné legislativy [1], [6].

3.2.1 Průměrné roční koncentrace NO_2

V následující Tab. 12 jsou uvedeny průměrné roční koncentrace na stanicích SSIM Jihomoravského kraje, které v daném roce naměřily dostatečný počet dat pro výpočet ročního průměru dle platné legislativy [1], [6].

Tab. 12 – Průměrné roční koncentrace NO₂ (μg·m⁻³), Jihomoravský kraj, 2010 – 2016

Lokalita	Eol	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Brno – Dětská nemocnice	B/U/RC					26,6	24,8	24,1
Brno-Arboretum	B/U/RN					17,4	14,8	19,6
Brno-Lány	B/S/RN	30,2	29,6	32,5	27,4	24,4	25,1	25,2
Brno-Svatoplukova	T/U/R	45,1	39,4	44	44,5	40,6	38,2	45,7
Brno-Výstaviště	T/U/C	37,9	34,8	38,8	33,5	29,7	32	31,7
Brno-Zvonařka	T/U/C	39	36,7	39		33,3	34,3	33,2
Brno-Masná	B/U/CR						28,4	28,1
Brno-Soběšice	B/S/R	14,1						
Brno-Kroftova	T/U/R	29,9	29,4					
Brno-Líšeň	B/U/R	19,4	20,5					
Brno-Úvoz (hot spot)	T/U/R	51,7	48,2	43,5	44,9	48,2		44,6
Brno-Tuřany	B/S/R	20,2	18,6	18,1	17,4	17,2	17,1	15,2
Mikulov-Sedlec	B/R/A-REG	12,7	11	9,7	9,7			8,3
Sivice	B/R/I-NCI						14,1	16,9
Vyškov	B/S/RA	15,3	12,6					
Znojmo	B/S/RN	18	11,6	11,1	16,6	16,9	15,2	12,8

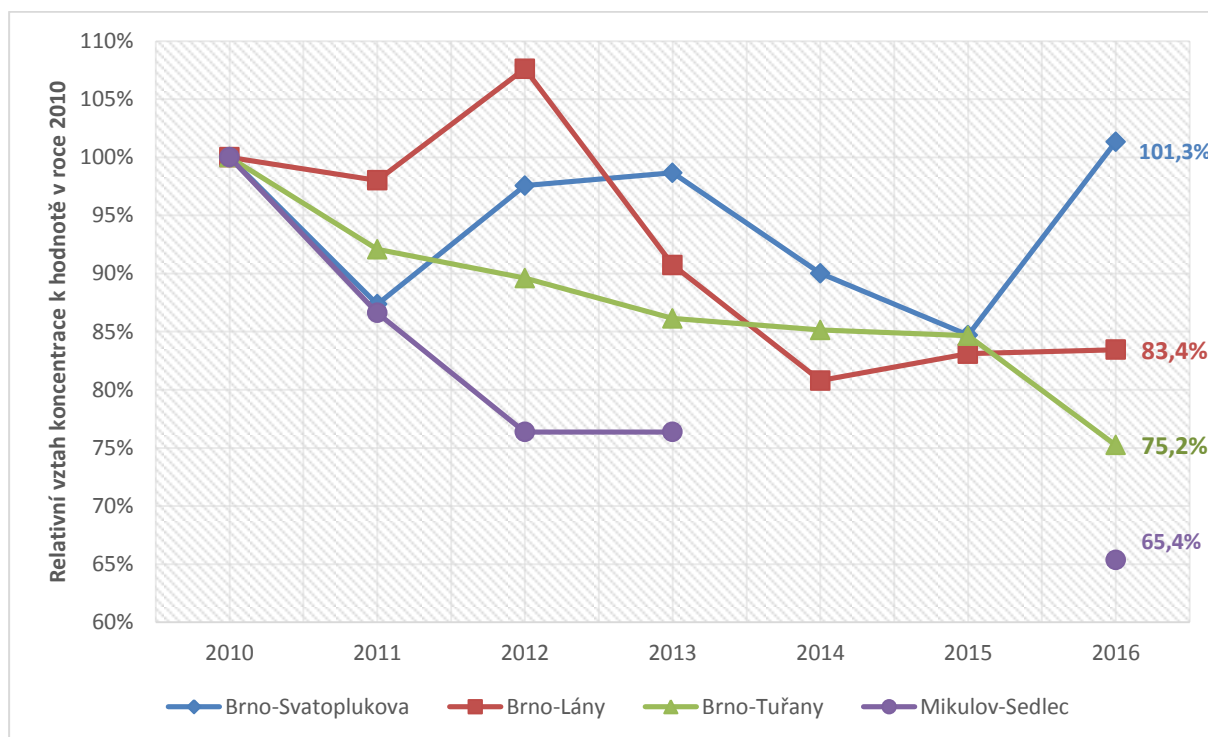
Vysvětlivky: Pokud je hodnota vyvedena červeným písmem, došlo v daném roce a na dané lokalitě k překročení imisního limitu. Význam zkratk Eol je uveden v příloze 2 této studie.

Z Tab. 12 je patrné, že **k dlouhodobému překračování imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci NO₂ dochází** pouze na dopravních lokalitách, konkrétněji **na dopravních lokalitách umístěných v zástavbě tvořící „kaňon“** (Brno – Svatoplukova, Brno – Úvoz). Zbylé dopravní lokality, ležící v otevřenějším prostranství (Brno – Zvonařka, Brno – Výstaviště) měří výrazně nižší koncentrace nižší.

V obou „kaňonových“ dopravních lokalitách jsou v posledních několika letech vyrovnané koncentrace NO₂. Mírné zvýšení v lokalitě Brno – Úvoz v roce 2014 způsobila oprava povrchu vozovky v letních měsících, kdy byly měřeny velmi vysoké koncentrace PM₁₀ a NO₂. Celkově se však koncentrace NO₂ v těchto lokalitách příliš nemění. Na pozadových lokalitách však dochází k poklesu koncentrací proti roku 2010. Obdobně poklesly i koncentrace na „otevřených“ dopravních lokalitách. Relativní změnu koncentrací na vybraných lokalitách Brno – Svatoplukova, Brno – Lány, Brno – Tuřany a Mikulov – Sedlec proti roku 2010 (100 %) zobrazuje následující Obr. 112.

Z grafu na Obr. 112 je patrné, že zatímco venkovská lokalita Mikulov-Sedlec poklesla koncentracemi na zhruba 65 % hodnoty v roce 2010, v lokalitě Brno – Svatoplukova nedošlo téměř k žádné změně (na rozdíl od koncentrací PM₁₀). Zajímavostí však je, že v roce 2015 se všechny uvedené brněnské lokality pohybovaly na úrovni 85 % roku 2010, avšak rok 2016 byl opět velmi rozdílný. Svůj vliv mohly mít meteorologické podmínky např. i v letních měsících a tvorba ozónu, svou roli mohla sehrát i topná sezóna a míra ovlivnění jednotlivých lokalit lokálními topeništi. Přesto nejvýraznější roli hraje míra ovlivnění dopravou a zástavba v okolí lokality.

Obecně lze konstatovat, že v roce 2016 se regionální pozadí Jihomoravského kraje pohybovalo v okolí 10 μg·m⁻³, předměstské pozadí v okolí 15 μg·m⁻³, městské pozadí zhruba v rozmezí 20 – 25 μg·m⁻³ a dopravní lokality se pohybovaly v závislosti na otevřenosti lokality od 30 do 45 μg·m⁻³.



Obr. 112 – Relativní vyjádření průměrných ročních koncentrací NO_2 ve vztahu k roku 2010 na vybraných stanicích SSIM, rok 2010 = 100 %

3.2.2 Hodinové koncentrace NO_2 a vztah k imisnímu limitu

3.2.2.1 Hodinové koncentrace NO_2

Statistické zpracování hodinových koncentrací NO_2 na jednotlivých lokalitách zobrazuje krabicový graf na Obr. 113. Je na něm zobrazen medián, 25. až 75. percentil (box neboli krabice) a 5. až 95. percentil (whisker neboli vous). Zpracování je provedeno pro celé období 2010 – 2016 (až 61368 hodnot).

Z grafu je patrné, že z hlediska mediánu hodinových koncentrací NO_2 dosahuje nejvyšších hodnot lokalita Brno – Úvoz ($43,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a Brno – Svatoplukova ($37,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Vyšší hodnoty v lokalitě Brno – Úvoz jsou způsobeny vyššími koncentracemi v roce 2010 a 2011 a taky díky opravě vozovky v roce 2014. Hodnoty mediánu v lokalitách Brno – Zvonařka a Brno – Výstaviště jsou již významně nižší ($31 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Nejnižší hodnoty pak dosahuje medián v lokalitě Mikulov – Sedlec ($8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Krabicové grafy se statistickým zpracováním hodinových koncentrací NO_2 byly zpracovány i pro jednotlivé typy lokalit (dopravní, městské, předměstské a venkovské, viz. Tab. 5) a dále také pro vybrané lokality (Brno-Svatoplukova, Brno-Lány, Brno-Tuřany, Mikulov-Sedlec). Grafy byly navíc rozděleny dle kalendářních roků (Obr. 114 a Obr. 115).

Ze grafu hodinových koncentrací na jednotlivých typech lokalit je patrné, že trend koncentrací se příliš nemění (Obr. 114). Vzhledem k tomu, že ne všechny lokality měřily stejně dlouhou dobu, může

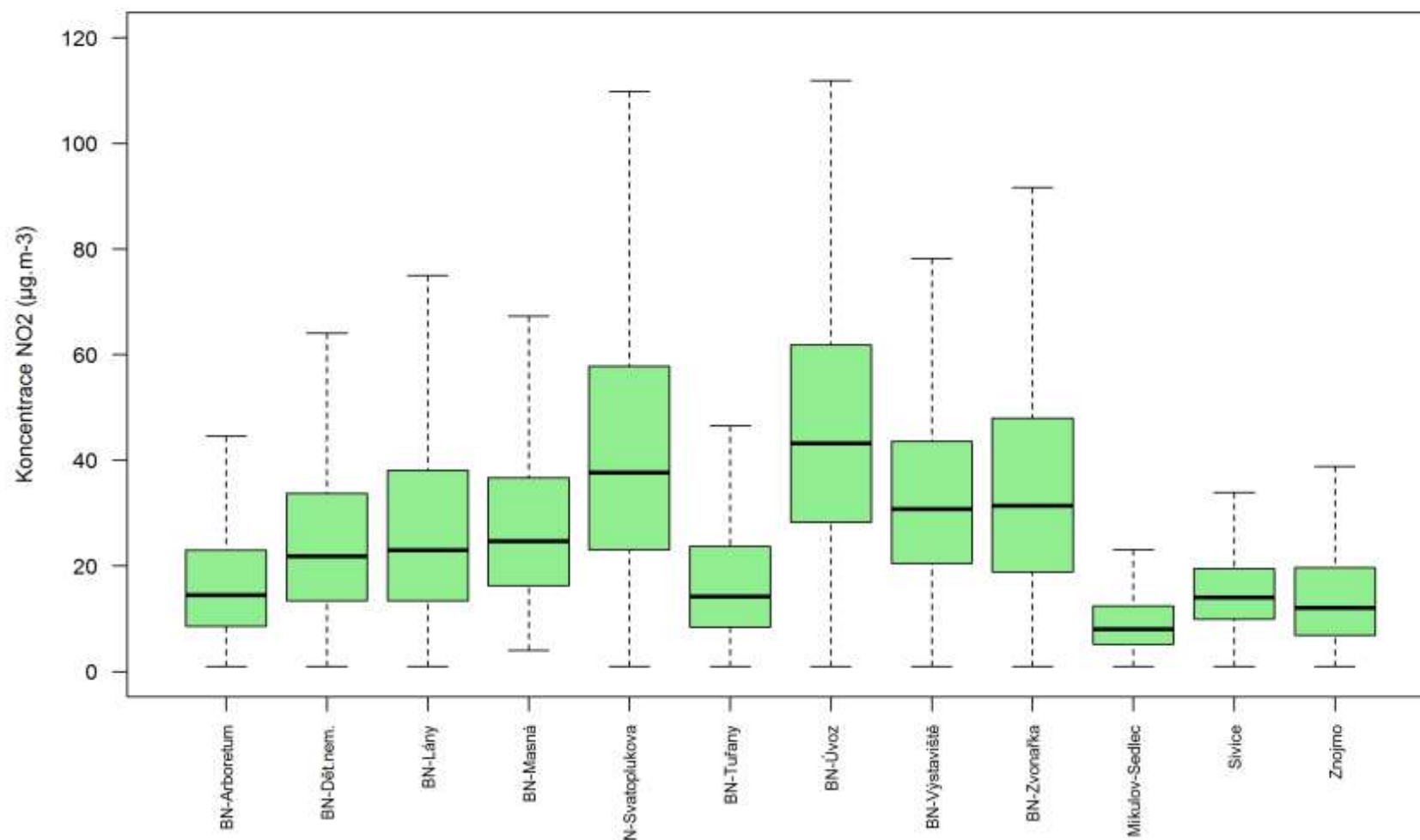
být graf typů lokalit ovlivněn. Proto je vhodnější se podívat na grafy jednotlivých vybraných stanic, které měřily po celé sledované období 2010 – 2016.

Graf na Obr. 115 zobrazuje statistické zpracování hodinových koncentrací pro jednotlivé typy stanic. Na všech grafech je pro srovnání zachováno stejné měřítko. V případě lokality Brno – Svatoplukova jsou patrné nejvyšší koncentrace (medián se pohybuje v blízkosti $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). V případě této lokality není patrný žádný trend, koncentrace jsou závislé na míře ovlivnění dopravou a meteorologických podmínkách. Dále jsou koncentrace ovlivněny zástavbou (kaňon), NO_2 se nemůže dobře rozptýlit, v lokalitě jsou měřeny pouze nízké rychlosti větru.

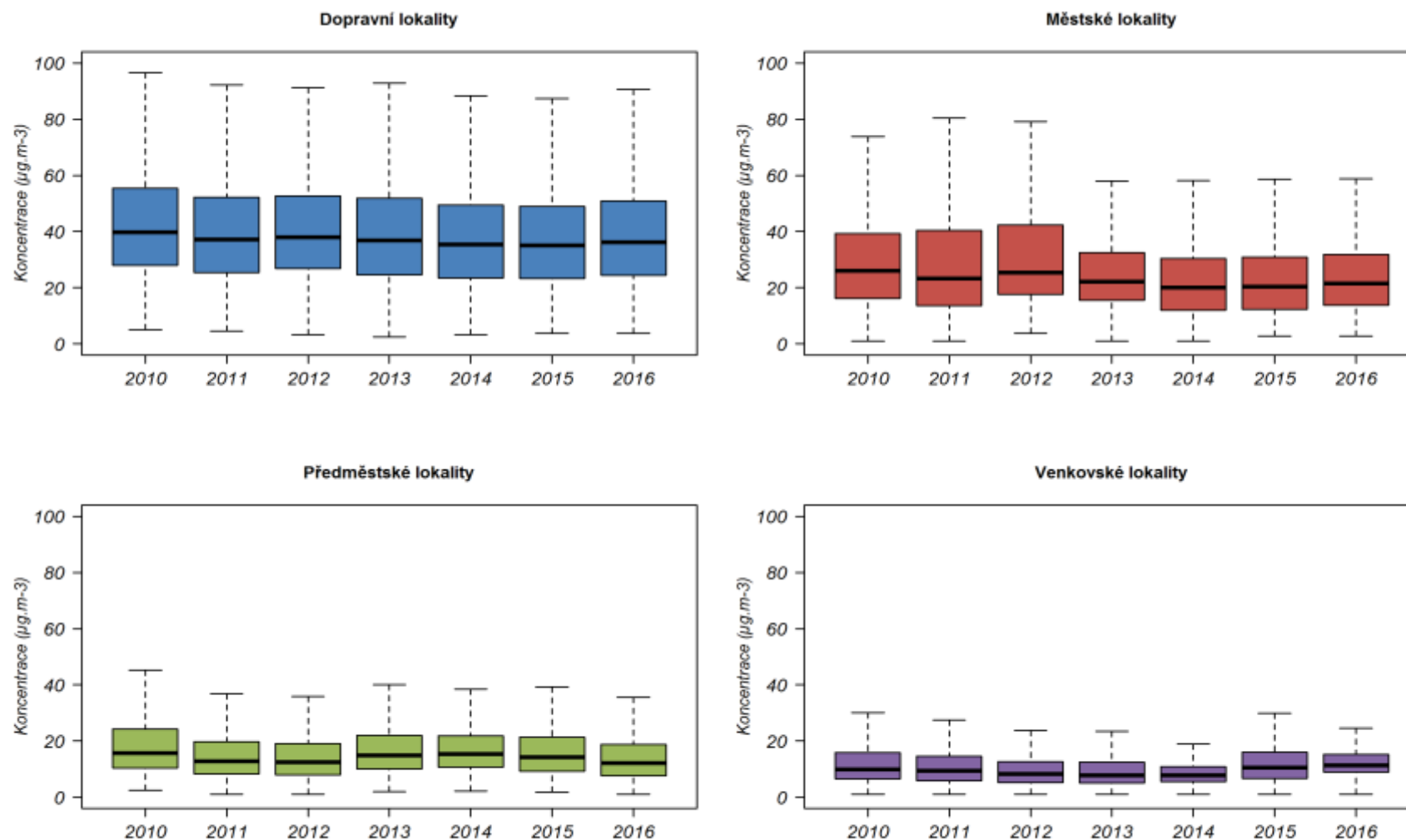
U všech pozadových lokalit je patrný mírně sestupný trend. V případě lokality Brno – Láňy se medián koncentrací pohybuje od $26 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v roce 2010 k hodnotě $20,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v roce 2016. Na stanici Brno – Tuřany byl v roce 2010 měřen medián koncentrací $15,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a do roku 2016 poklesl na $12,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Lokalita Mikulov – Sedlec měří dlouhodobě nejnižší koncentrace NO_2 a reprezentuje tak regionální pozadí Jihomoravského kraje. Medián koncentrací zde poklesl z $9,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v roce 2010 na $6,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v roce 2016.

Statistické zpracování hodinových koncentrací v jednotlivých měsících za období 2010 – 2016 na jednotlivých vybraných stanicích zobrazují krabicové grafy na Obr. 116. **Kvůli zřetelnosti trendu má každý graf své vlastní měřítko!** Opět je patrný rozdíl mezi dopravní lokalitou Brno – Svatoplukova a zbylými pozadovými lokalitami. Na dopravní lokalitě Brno – Svatoplukova je roční chod pouze málo patrný, koncentrace se v jednotlivých měsících příliš neliší. Nižší koncentrace jsou pouze v letních měsících, pokles mediánu v červenci ($30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) proti lednu ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) je 75 %. V případě pozadových lokalit je již roční chod zřetelnější. V případě lokality Brno – Láňy je pokles mediánu koncentrací v červenci ($13,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) proti lednu ($31 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) zhruba 45 %. V případě předměstské lokality Brno – Tuřany činí pokles mediánu koncentrací v červenci ($9,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) proti lednu ($20,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) zhruba 49 %. Regionální pozadová lokalita Mikulov – Sedlec měří medián koncentrací NO_2 v červenci $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v lednu činí medián koncentrací $12,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Pokles koncentrací činí 39 %. **Z uvedeného je patrné, že na dopravní lokalitě Brno – Svatoplukova je z důvodu ovlivnění dopravou pokles koncentrací podstatně nižší než v případě pozadových lokalit.**

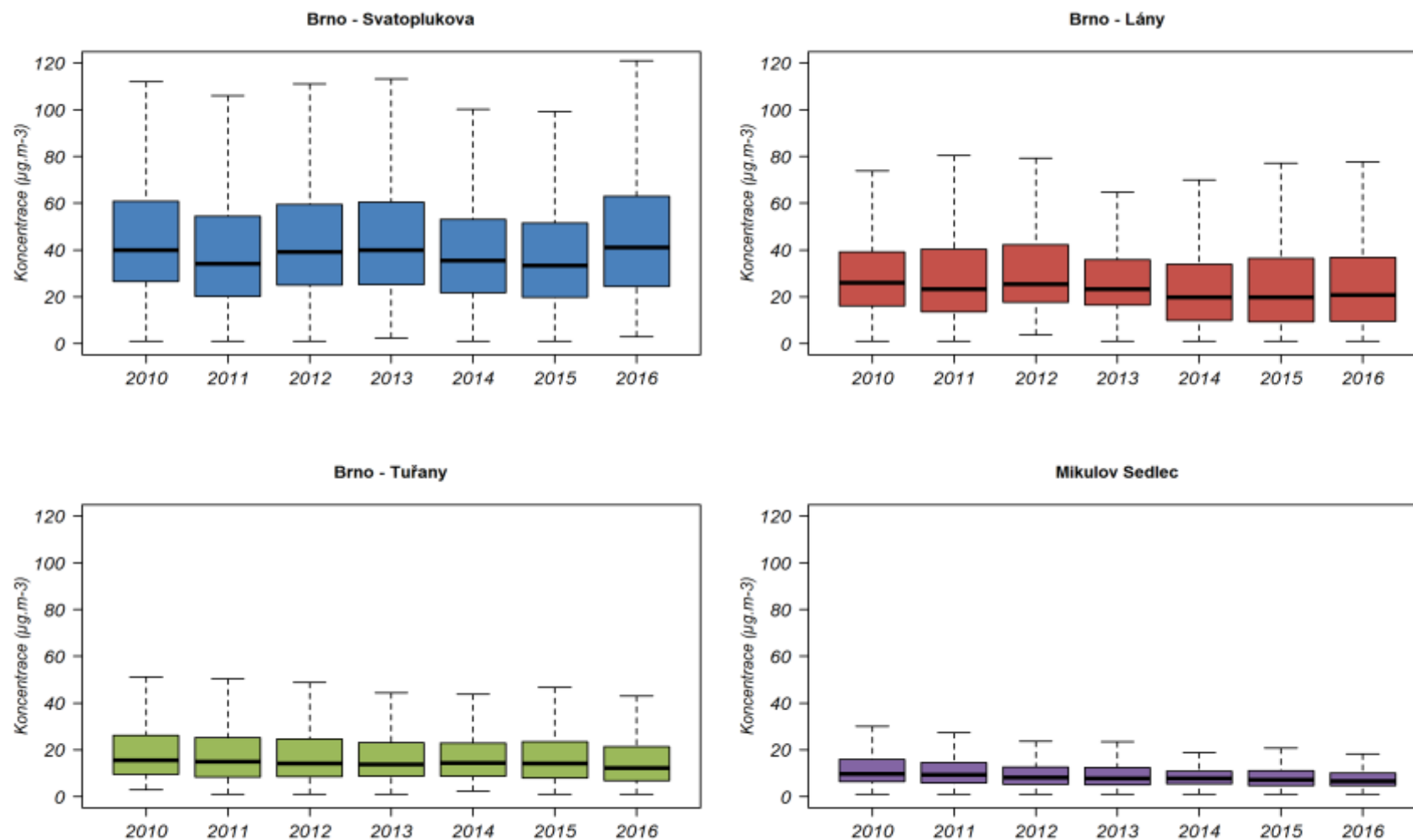
Dopravní lokalita se od pozadových rovněž výrazně liší z hlediska denního chodu. Obr. 117 zobrazuje statistické zpracování hodinových koncentrací NO_2 v jednotlivých hodinách dne. **Jednotlivé grafy mají opět kvůli zřetelnosti trendu své vlastní měřítko.** Z denního chodu je patrné, že v případě pozadových lokalit dochází během dne k propadu koncentrací. Ty začnou růst opět ve večerních hodinách. Naproti tomu na dopravní lokalitě Brno – Svatoplukova jsou celý den vysoké koncentrace NO_2 vlivem dopravy a až večer dochází k poklesu na úroveň koncentrací pozadových lokalit. **Z uvedeného rovněž vyplývá, že v případě lokalit Brno – Láňy nebo Brno – Tuřany je vliv dopravy na koncentrace NO_2 malý, denní chod je více ovlivněn meteorologií a chemismem v atmosféře při tvorbě troposférického ozónu. Nárůst koncentrací ve večerních hodinách lze připisovat i vytápění v topné sezóně.**



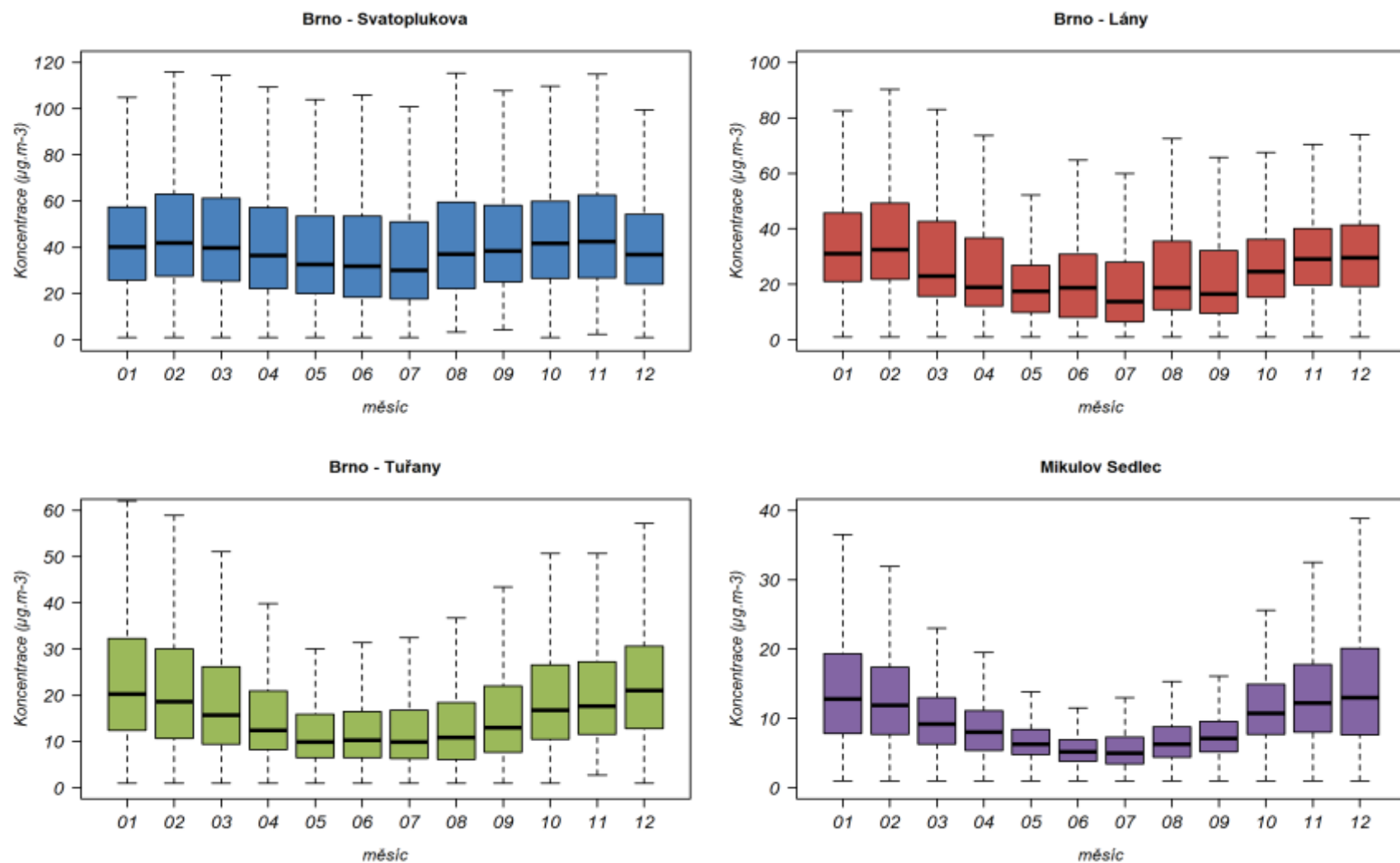
Obr. 113 – Statistické zpracování hodinových koncentrací NO_2 na jednotlivých stanicích SSIM v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)



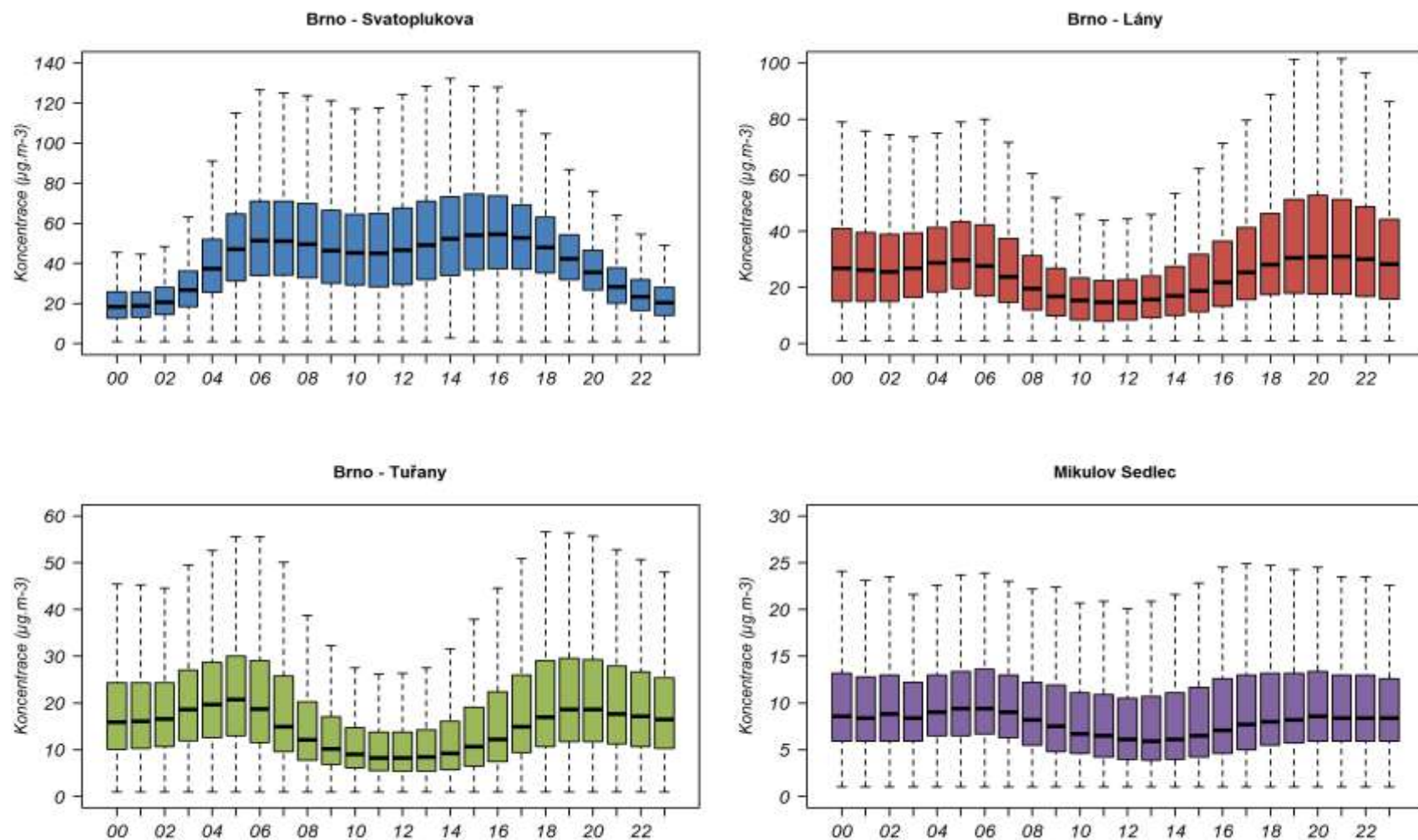
Obr. 114 – Statistické zpracování hodinových koncentrací NO_2 na jednotlivých typech stanic SSIM v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016, členěné dle jednotlivých roků, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)



Obr. 115 – Statistické zpracování hodinových koncentrací NO₂ na vybraných stanicích SSIM v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016, členěné dle jednotlivých roků, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)



Obr. 116 – Statistické zpracování hodinových koncentrací NO₂ na vybraných stanicích SSIM v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016, členěné dle jednotlivých měsíců, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%). Grafy mají vlastní měřítko kvůli zřetelnosti trendu.



Obr. 117 – Statistické zpracování hodinových koncentrací NO_2 na vybraných stanicích SSIM v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016, denní chod, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%). Grafy mají vlastní měřítko kvůli zřetelnosti trendu.

3.2.2.2 Vztah hodinových koncentrací NO₂ k imisnímu limitu

V případě hodinového imisního limitu pro NO₂ je sledována 19. nejvyšší průměrná denní koncentrace (imisní limit má hodnotu 200 µg·m⁻³).

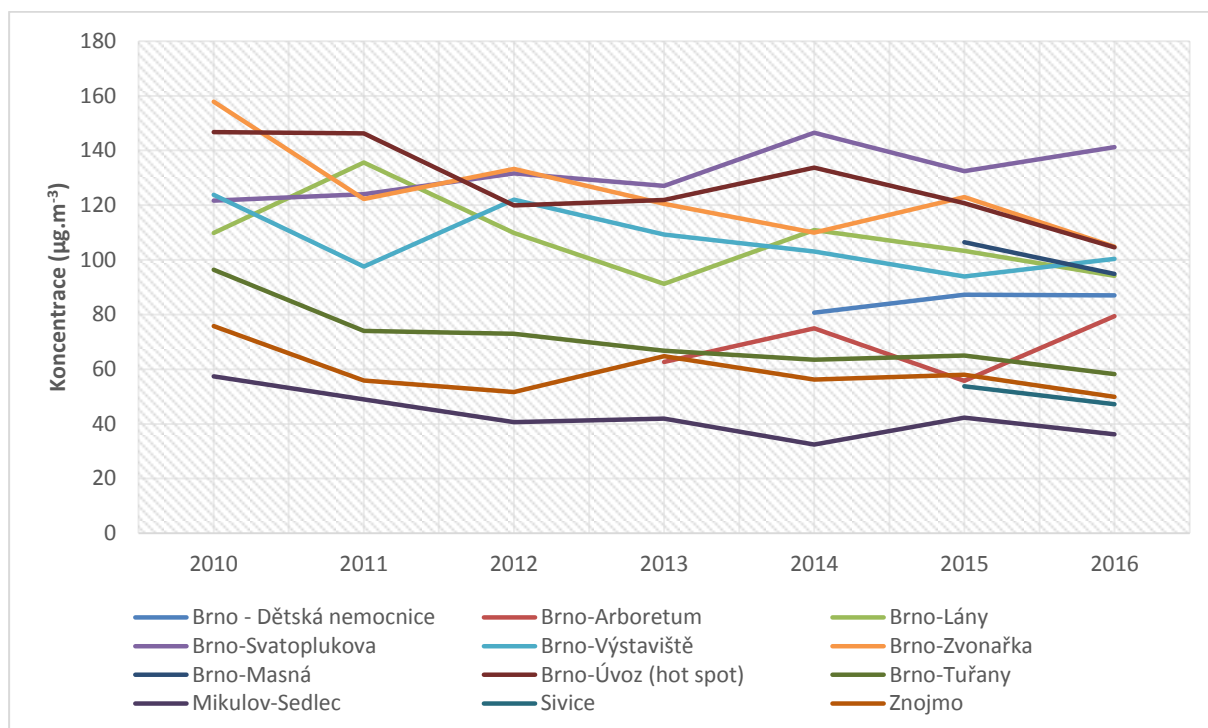
Tab. 13 – 19. nejvyšší hodinová koncentrace NO₂, Jihomoravský kraj, 2010 – 2016

Lokalita	Eol	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Brno – Dětská nemocnice	B/U/RC					80,7	87,2	87
Brno-Arboretum	B/U/RN				62,7	75	55,7	79,4
Brno-Lány	B/S/RN	109,8	135,6	109,8	91,2	110,9	103,3	94,1
Brno-Svatoplukova	T/U/R	121,7	124	131,6	127	146,5	132,4	141,2
Brno-Výstaviště	T/U/C	123,8	97,6	122	109,2	103,1	93,9	100,4
Brno-Zvonařka	T/U/C	157,8	122,2	133,3	120,5	110	123	104,8
Brno-Masná	B/U/CR						106,4	94,9
Brno-Úvoz (hot spot)	T/U/R	146,7	146,3	119,9	121,9	133,7	120,7	104,6
Brno-Tuřany	B/S/R	96,4	74	72,9	66,8	63,5	65	58,2
Mikulov-Sedlec	B/R/A-REG	57,4	49	40,6	41,9	32,5	42,3	36,2
Sivice	B/R/I-NCI						53,8	47,2
Znojmo	B/S/RN	75,8	55,9	51,6	64,8	56,2	58	49,9

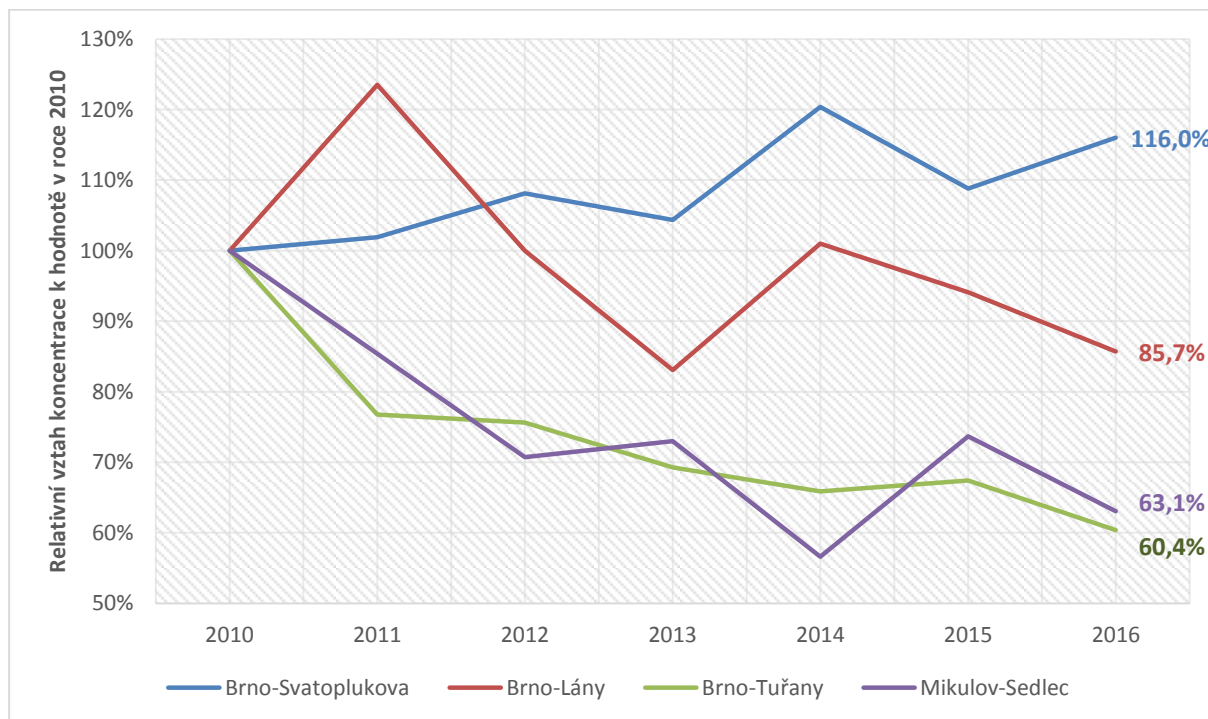
Vysvětlivky: Pokud je hodnota vyvedena červeným písmem, došlo v daném roce a na dané lokalitě k překročení imisního limitu. Význam zkratk Eol je uveden v příloze 2 této studie.

Z Tab. 13 je patrné, že imisní limit pro hodinovou koncentraci NO₂ nebyl ve sledovaném období na žádné stanici SSIM v Jihomoravském kraji překročen. Vývoj koncentrací je znázorněn na následujícím Obr. 118. Z grafu je patrné, že k mírnému poklesu hodinových koncentrací dochází na všech lokalitách s výjimkou stanice Brno – Svatoplukova. Zde jsou rovněž v posledních letech měřeny nejvyšší hodinové koncentrace NO₂.

Pokud se vyjádří trend 19. nejvyšších hodinových koncentrací na vybraných stanicích relativně vůči hodnotě v roce 2010 (100 %), je opět patrný rozdíl mezi dopravní a pozadovými lokalitami (Obr. 119). Zatímco na pozadových lokalitách dochází k poklesu těchto charakteristik, v případě stanice Brno – Svatoplukova dochází naopak k mírnému nárůstu.



Obr. 118 – Vývoj 19. nejvyšší hodinové koncentrace NO₂, Jihomoravský kraj, 2010 – 2016



Obr. 119 – Relativní vztah 19. nejvyšší koncentrace NO₂ k hodnotě v roce 2010 (100 %), vybrané stanice Jihomoravského kraje, 2010 – 2016

3.3 DETAILNÍ ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ NO₂ NA VYBRANÝCH STANICÍCH

Pro detailní hodinovou analýzu budou použita detailní data nejen o znečištění ovzduší, ale také doprovodné meteorologické charakteristiky jako jsou teplota či rychlost a směr větru zpracované pomocí statistického software R [10], [11]. Z tohoto důvodu není možné provést hodnocení podle typu stanic, protože by se ztratila právě přidaná hodnota meteorologických veličin. Tyto detailní analýzy budou provedeny na vybraných stanicích Brno – Svatoplukova, Brno – Lány, Brno – Tuřany a Mikulov – Sedlec. Analýzy budou prováděny z hodinových dat za období 2010 – 2016 (až 61368 hodnot). **Všechn čas je kvůli jednoznačnosti uváděn v UTC.**

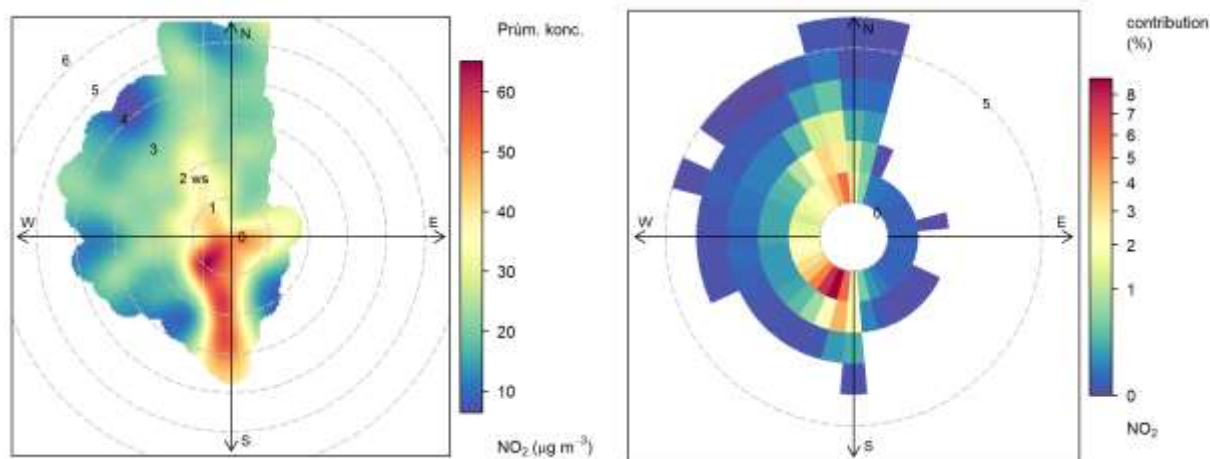
3.3.1 Brno – Svatoplukova

3.3.1.1 Větrná růžice

Základem analýz je větrná růžice v dané lokalitě. Ta je shodná pro všechny škodliviny a je uvedena na Obr. 21 v kapitole 2.3.1.1.

3.3.1.2 Imisní růžice

Díky znalosti rychlosti a směru větru a koncentrace NO₂ je možné zkonstruovat koncentrační růžice pro tuto škodlivinu. Na Obr. 120 je vlevo zobrazena koncentrační růžice – průměrná koncentrace NO₂ je v ní zobrazena jako funkce rychlosti a směru větru. Růžice v pravo pak nezobrazuje průměrnou koncentraci, ale vážený průměr. Růžice tedy zobrazuje procentuální příspěvek jednotlivých rychlostí a směrů větru k měřeným koncentracím NO₂ v lokalitě Brno – Svatoplukova.

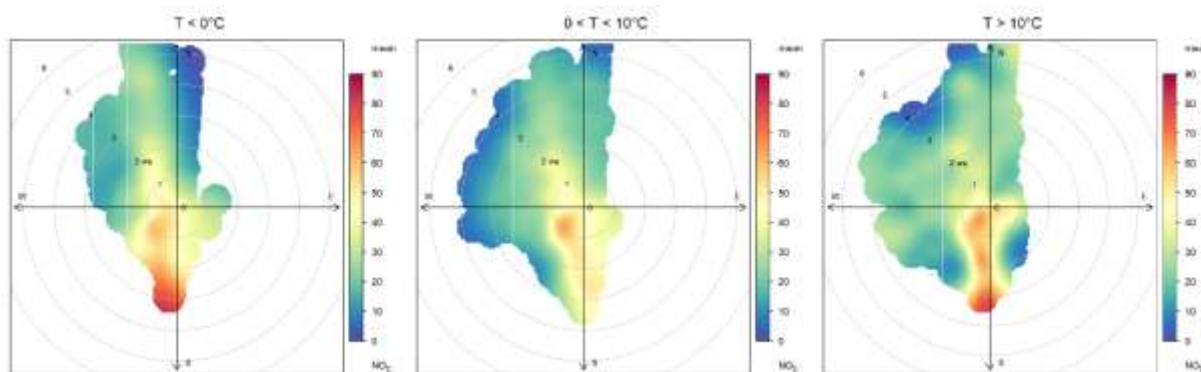


Obr. 120 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážení koncentrační růžice (vpravo) pro NO₂, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

Z obou koncentračních růžic je patrný výrazný vliv blízké komunikace (VMO) na koncentrace NO₂. Nejvyšší koncentrace tuto komunikaci kopírují. Mimo bezprostřední blízkosti jsou patrná maxima z jižních směrů, kde je křižovatka ulic Svatoplukova a Markéty Kuncové. V její blízkosti auta pravidelně stojí na volnoběh, což se projeví i v koncentracích NO₂. Z jižních směrů jsou rovněž měřeny nižší

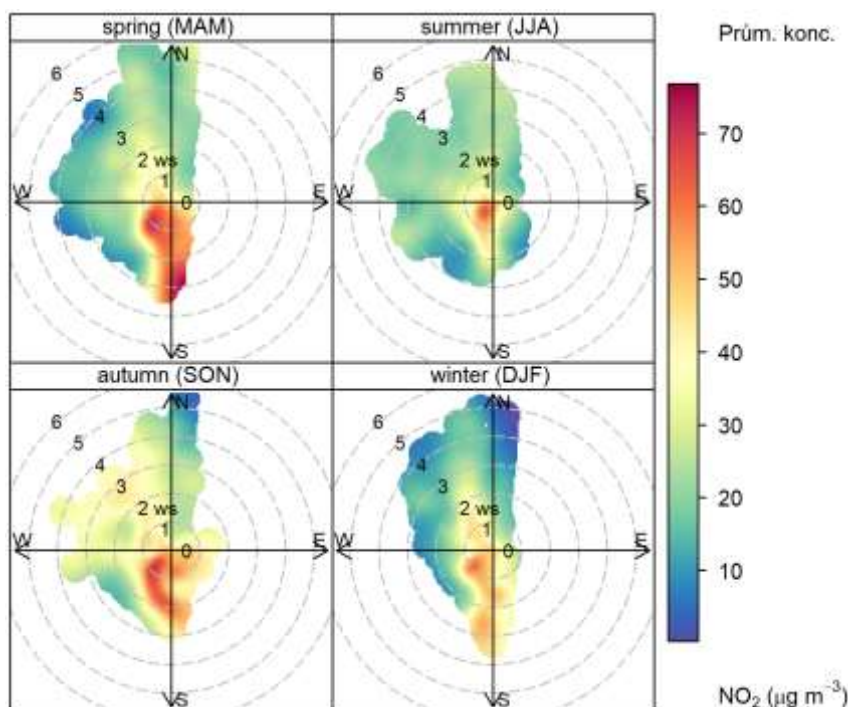
rychlosti větru, což indikuje horší rozptyl a vyšší koncentrace škodlivin. Ze severních směrů jsou již koncentrace nižší. Rovněž relativní příspěvek k průměrným koncentracím NO_2 je nejvyšší z jižního směru při nízkých rychlostech větru.

Následující Obr. 121 zobrazuje teplotně členěnou koncentrační růžici průměrných koncentrací NO_2 .



Obr. 121 – Teplotně členěná koncentrační růžice NO_2 , Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

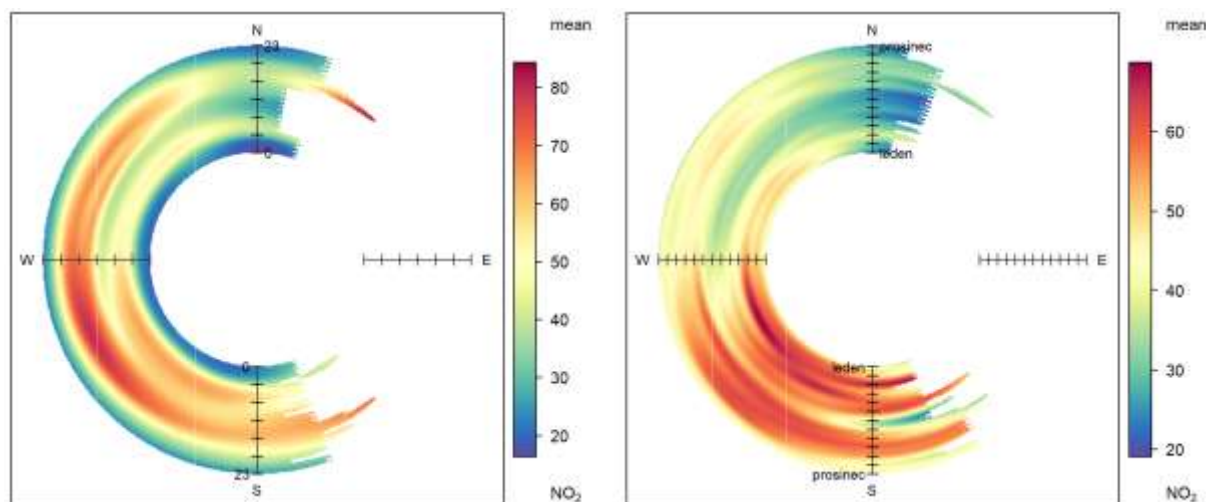
Z teplotně členěné koncentrační růžice vyplývá, že v případě dopravní lokality Brno – Svatoplukova nehraje teplota vzduchu příliš velkou roli na koncentraci NO_2 . Ty jsou zvýšené prakticky za všech teplot. To potvrzuje i koncentrační růžice průměrných koncentrací NO_2 , členěná dle ročních období (Obr. 122). Zvýšené koncentrace lze v této lokalitě pozorovat za všech ročních období, mírně vyšší jsou v zimě, kdy se k vlivu dopravy přidává i vytápění.



Obr. 122 – Koncentrační růžice NO_2 členěná dle ročních období, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

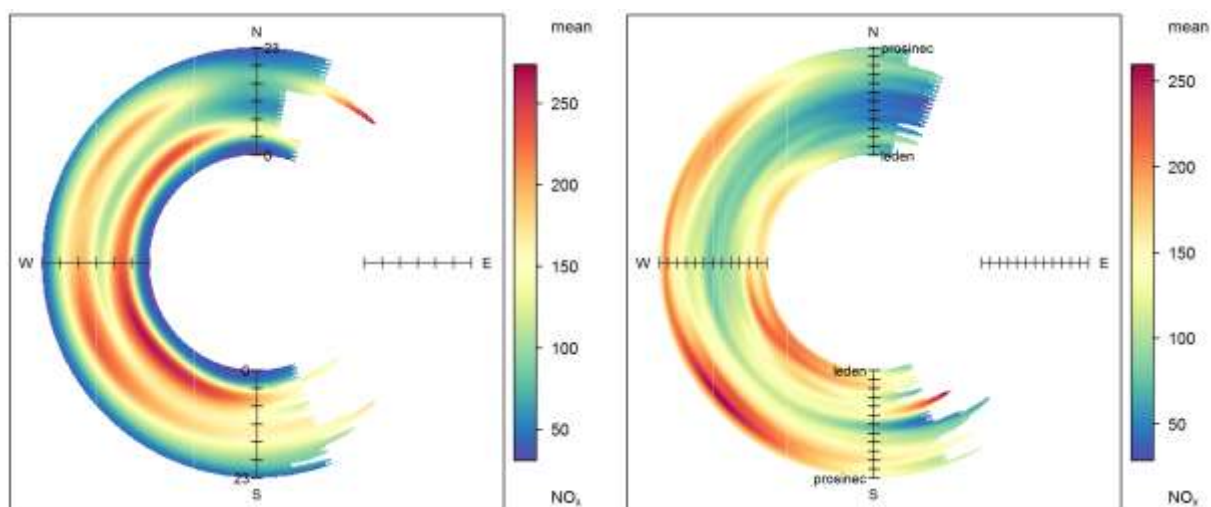
3.3.1.3 Denní a měsíční chod

Díky znalosti hodinových informací meteorologických charakteristik a koncentrací škodlivin je možné sestavit i průměrný denní chod koncentrací v lokalitě v závislosti na směru větru. Graf na Obr. 123 vlevo zobrazuje po hodinách průměrný denní chod NO_2 v lokalitě Brno – Svatoplukova za roky 2010 až 2016, členěná dle směru větru. Graf na Obr. 123 vpravo zobrazuje totéž, avšak po měsících. Bílé oblasti z východních směrů značí nedostatek dat – stanice je z tohoto směru stíněna budovou židenických kasáren, a proto nedochází k proudění z těchto směrů.



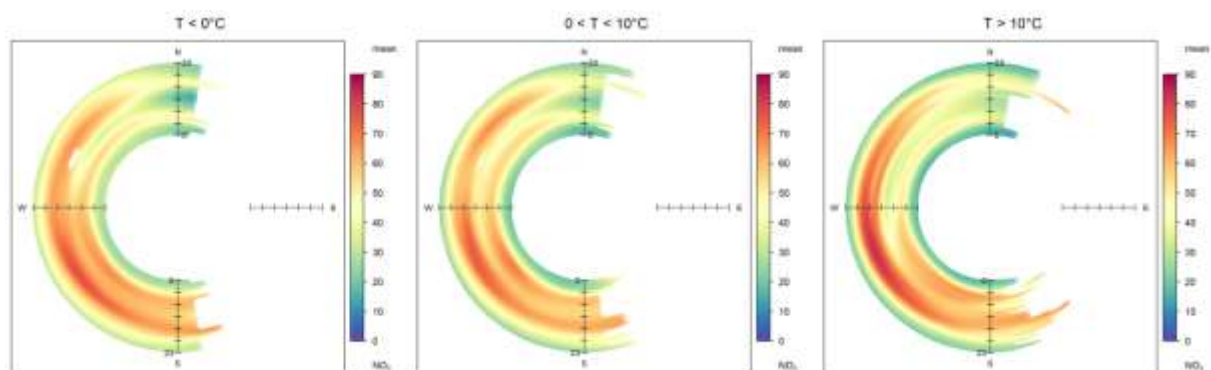
Obr. 123 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace NO_2 , Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

Z grafů na Obr. 123 je patrný vliv dopravních špiček – ta ranní je z hlediska koncentrací NO_2 méně intenzivní, ta odpolední je intenzivnější zejména z jižních směrů. Důvodem nižších koncentrací NO_2 během ranní špičky souvisí jednak s výrazným poklesem právě ranních koncentrací o víkendu a také s vyšším zastoupením NO během ranní špičky. Součet koncentrací NO a NO_2 (v ppb) je pak uváděno jako NO_x [22], denní a měsíční chod pak zobrazuje (Obr. 124). V součtu koncentrací NO a NO_2 jsou pak již obě dopravní špičky vyvážené a na rozdíl od koncentrací PM_{10} , které mají i jiné zdroje v této lokalitě, jsou ostře ohraničené – po 20. hodině koncentrace prudce klesají a přes noc jsou pouze velmi nízké. Roční chod koncentrací NO_2 není tak zřetelný, jako v případě pozadíových lokalit nebo koncentrací PM_{10} v této lokalitě. Vliv dopravy v této lokalitě potlačuje vliv meteorologických podmínek. Přesto jsou mimo topnou sezónu koncentrace mírně nižší. Zřetelnější je tento chod u NO_x .



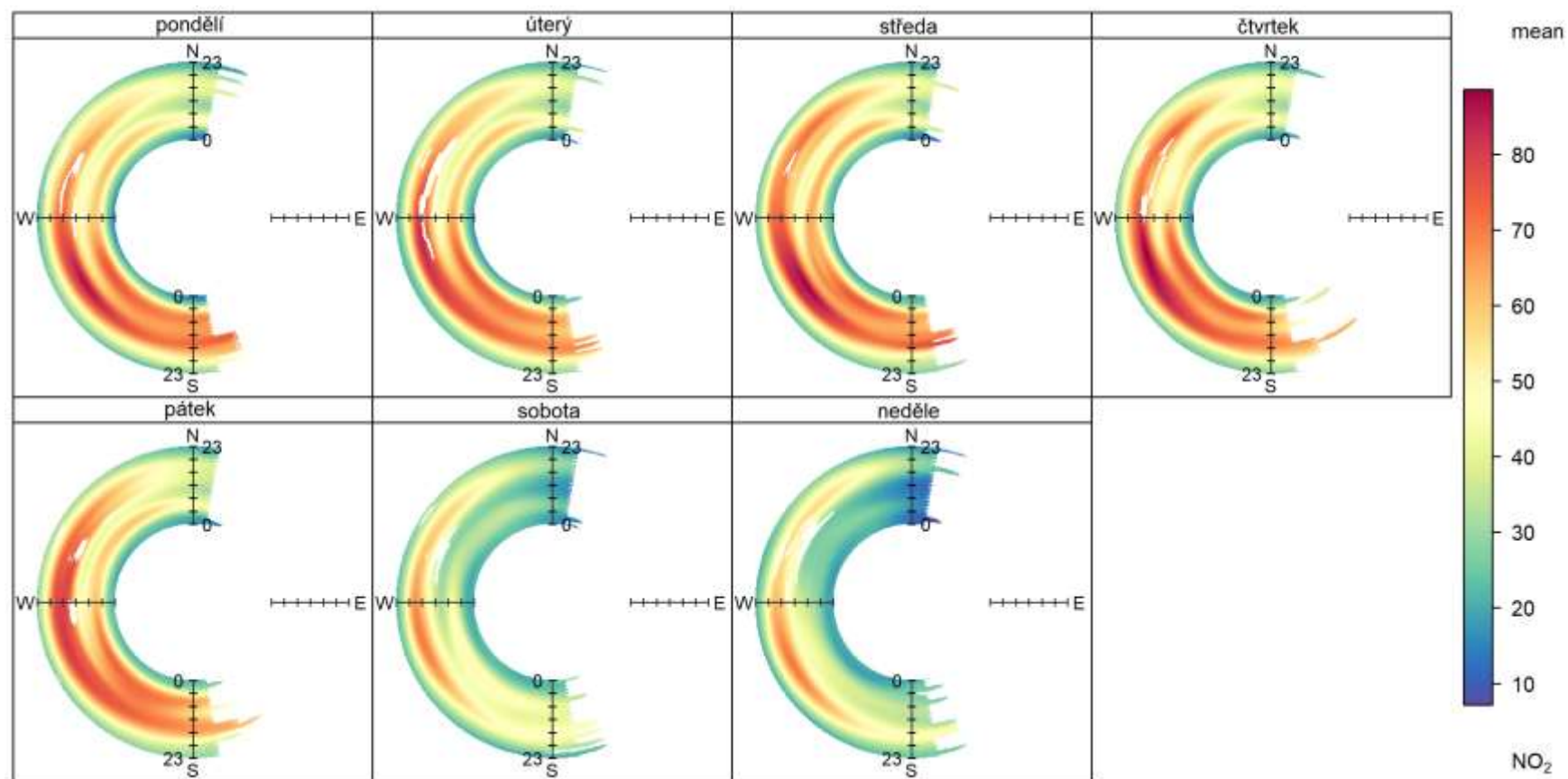
Obr. 124 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace NO_x , Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

Vliv teploty na denní chod koncentrací NO_2 zobrazuje následující Obr. 125. Z grafů je patrné, co již bylo uvedeno dříve, meteorologické podmínky jsou v této lokalitě potlačeny vlivem dopravy, teplota tedy o koncentracích nerozhoduje tolik jako intenzita dopravy.



Obr. 125 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací NO_2 dle směru větru, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

Koncentrace NO_2 se v této lokalitě výrazně liší v pracovních dnech a o víkendu (Obr. 126). V sobotu a v neděli na rozdíl od koncentrací PM_{10} dojde v případě koncentrací NO_2 k výraznému poklesu. Potvrzuje se tak již měřený fakt, že koncentrace oxidů dusíku klesají úměrně s intenzitou dopravy, zatímco koncentrace PM_{10} klesají pouze velmi málo.



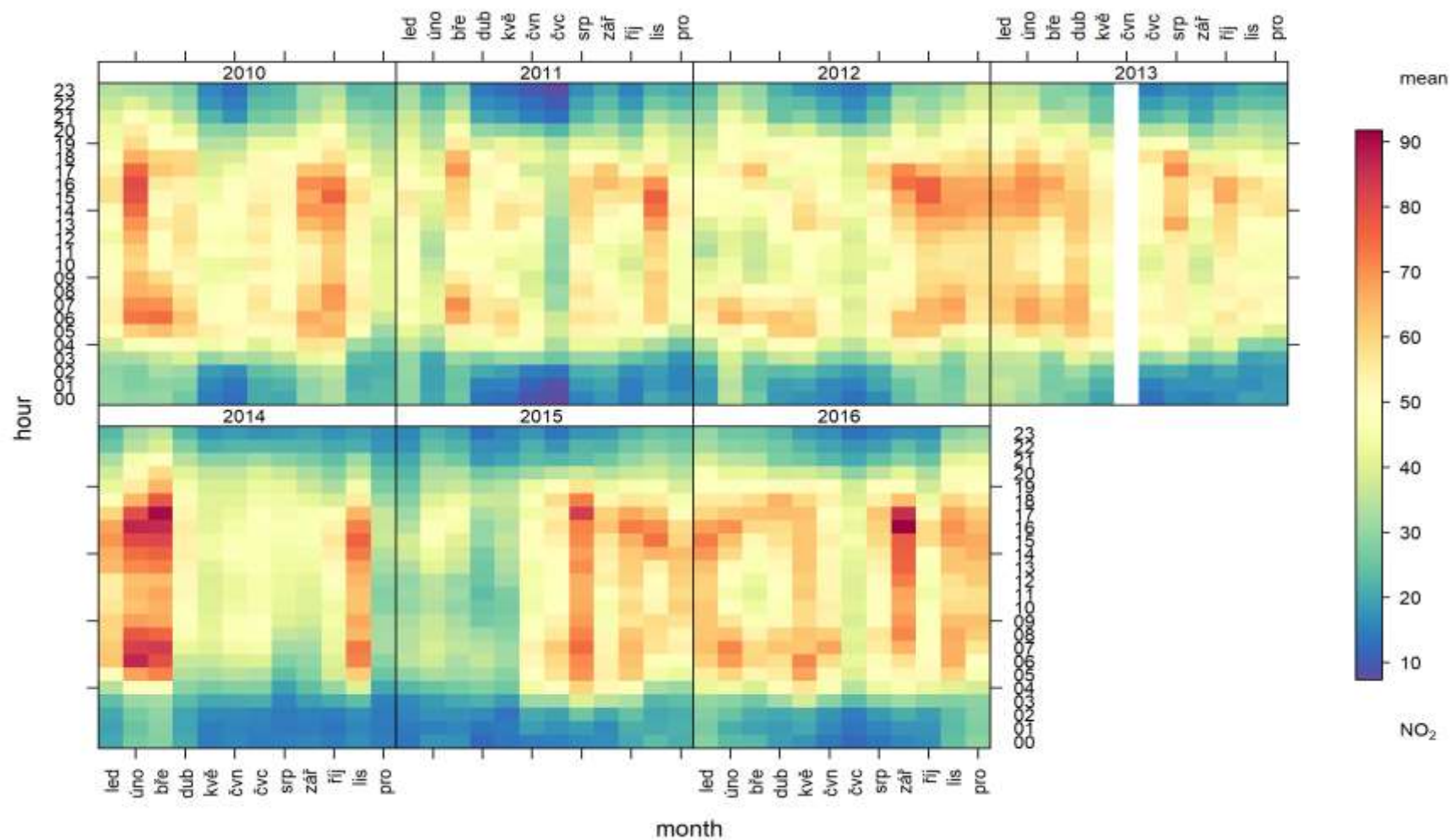
Obr. 126 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace NO_2 , Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

3.3.1.4 Přehledy koncentrací

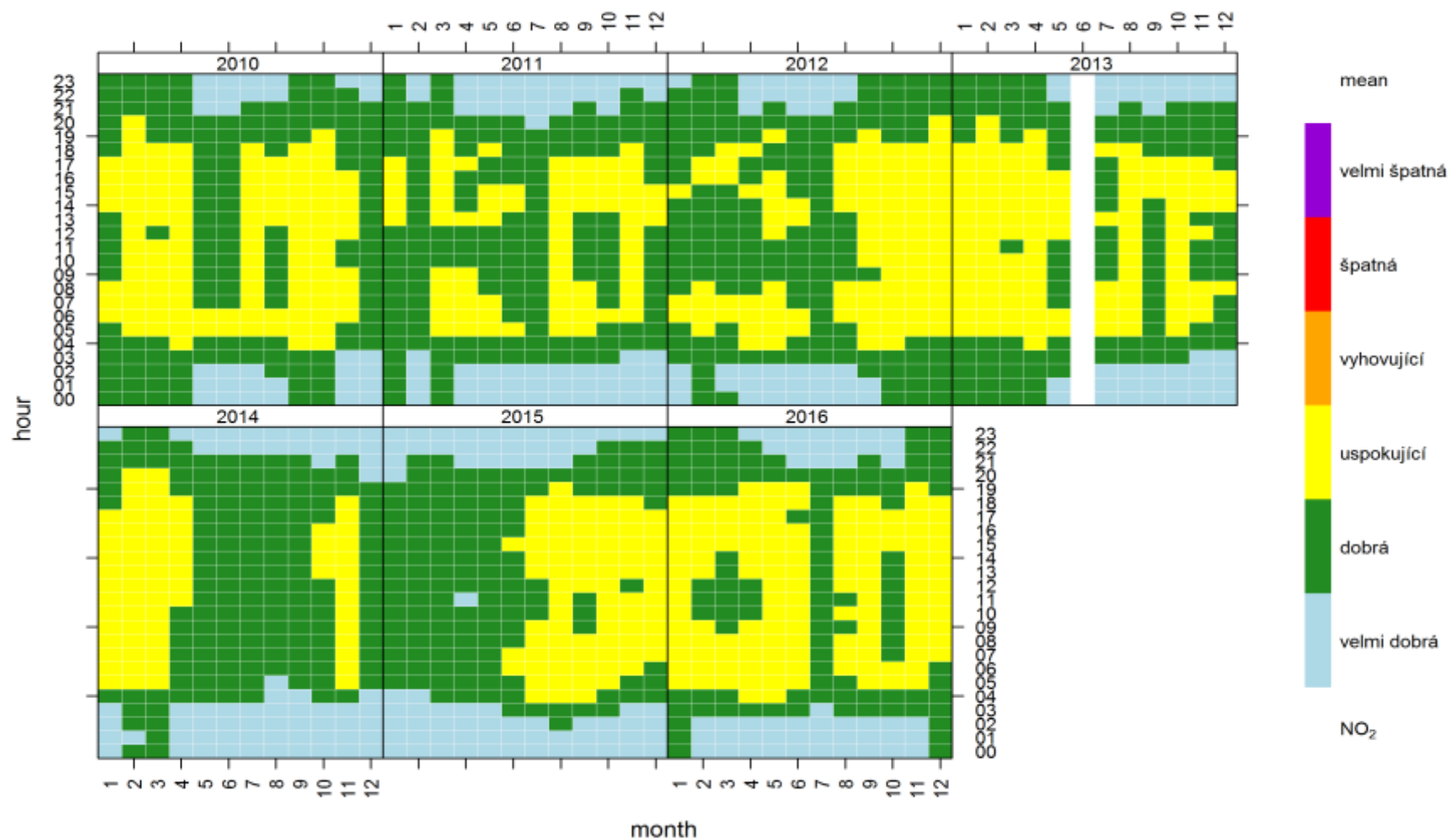
Celkový přehled koncentrací NO_2 v lokalitě Brno – Svatoplukova za roky 2010 – 2016 zobrazuje Obr. 127. Zobrazuje průměrnou koncentraci NO_2 v jednotlivých hodinách dne, členěné dle měsíců a roků. Z přehledu je patrné, že vyšší koncentrace jsou dosahovány v denních hodinách, na rozdíl od PM_{10} není rozdíl mezi topnou a netopnou sezónou. Vysoké koncentrace v denních hodinách a velmi nízké v noci naznačuje dominantní vliv dopravy v této lokalitě.

Obr. 128 zobrazuje stejný přehled koncentrací NO_2 jako Obr. 127, avšak vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, jako tomu je na stránkách ČHMÚ v hodinovém přehledu [13].

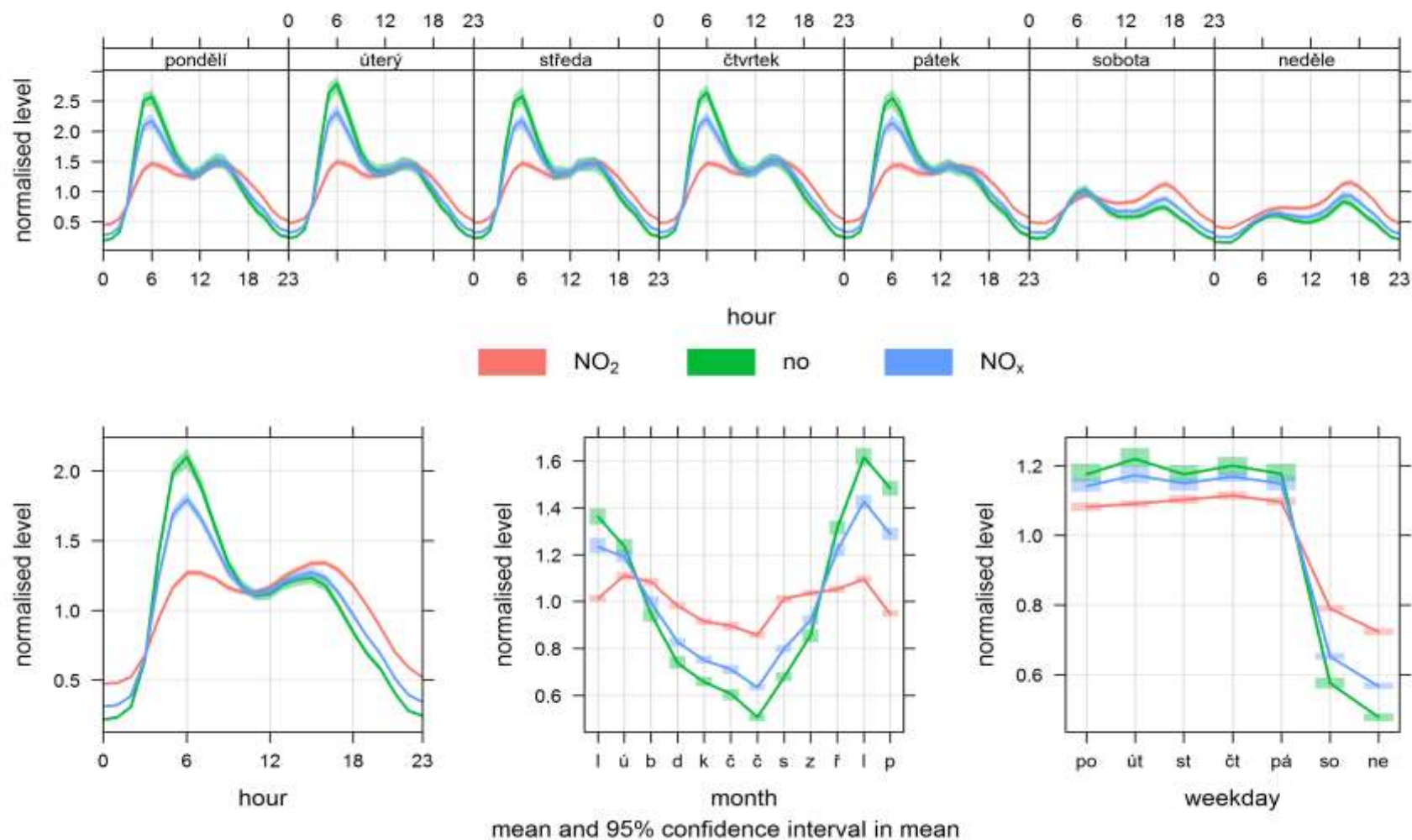
Obr. 129 zobrazuje normalizované hodnoty průměrných koncentrací (k průměru za celý interval) škodlivin NO_2 , NO a NO_x . V denním chodu je zřetelný dominantní ranní a menší odpolední pík koncentrací způsobený ranní a odpolední dopravní špičkou. Tyto píky jsou o víkendu mnohem méně zřetelné. Koncentrace o víkendu rovněž výrazně klesají úměrně poklesu intenzity dopravy. Z hlediska měsíčního chodu je patrný pokles koncentrací NO a NO_x v teplé části roku proti chladné části roku, v případě koncentrací NO_2 je pokles mírnější.



Obr. 127 – Přehled průměrných koncentrací NO₂ v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016



Obr. 128 – Přehled průměrných koncentrací NO₂ v jednotlivých hodinách vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, členěno dle měsíců a toků, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016 [13]



Obr. 129 – Normalizované hodnoty průměrných koncentrací NO_2 , NO a NO_x v hodinovém, týdenním a měsíčním chodu, Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

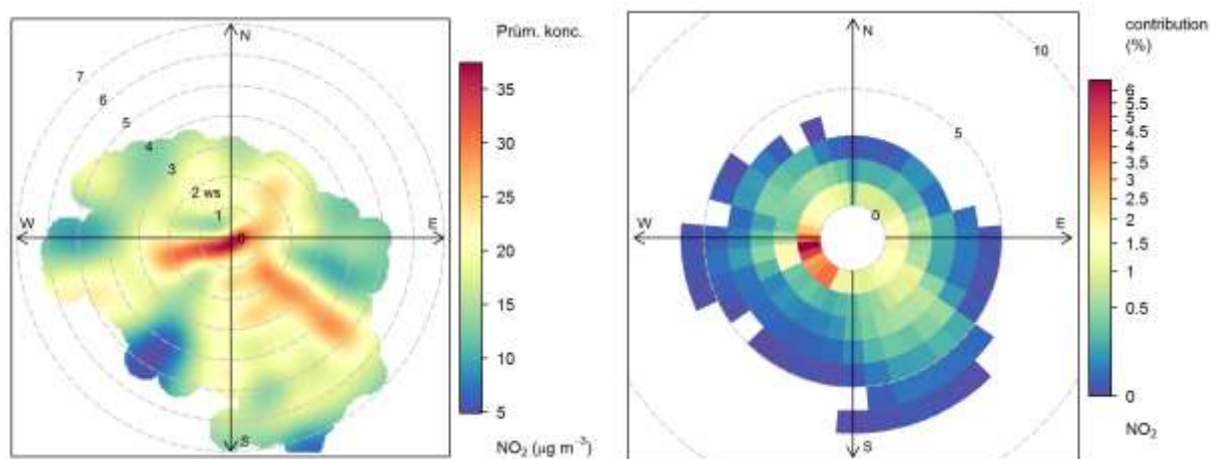
3.3.2 Brno – Lány

3.3.2.1 Větrná růžice

Základem analýz je větrná růžice v dané lokalitě. Ta je shodná pro všechny škodliviny a je uvedena na Obr. 41 v kapitole 2.3.2.1.

3.3.2.2 Imisní růžice

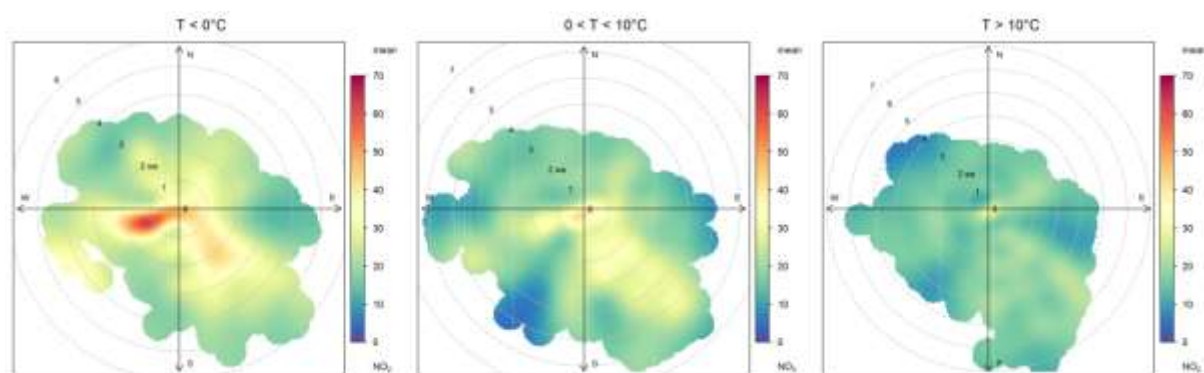
Díky znalosti rychlosti a směru větru a koncentrace NO_2 je možné zkonstruovat koncentrační růžice pro tuto škodlivinu. Na Obr. 130 je vlevo zobrazena koncentrační růžice – průměrná koncentrace NO_2 je v ní zobrazena jako funkce rychlosti a směru větru. Růžice v pravo pak nezobrazuje průměrnou koncentraci, ale vážený průměr. Růžice tedy zobrazuje procentuální příspěvek jednotlivých rychlostí a směrů k měřeným koncentracím NO_2 v lokalitě Brno – Lány.



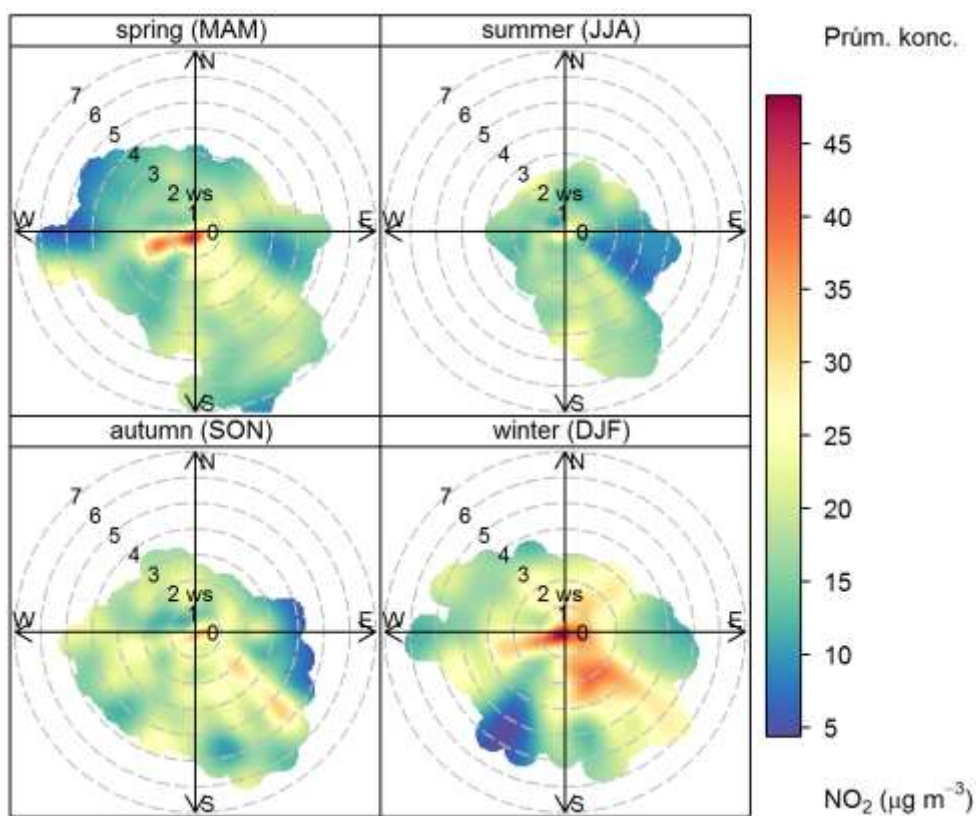
Obr. 130 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážení koncentrační růžice (vpravo) pro NO_2 , Brno – Lány, 2010 – 2016

Z obou koncentračních růžic je patrný výrazný vliv západního proudění a nízkých rychlostí větru na průměrné koncentrace NO_2 v lokalitě Brno – Lány. V průměru jsou dále zvýšené koncentrace NO_2 měřeny při jihovýchodním proudění, a to i při vyšších rychlostech proudění. Z hlediska relativního příspěvku ke koncentracím NO_2 nejvýrazněji přispívají západní až jihozápadní směry proudění větru při velmi nízkých rychlostech větru.

Následující Obr. 131 zobrazuje teplotně členěnou koncentrační růžici průměrných koncentrací NO_2 . Na rozdíl od teplotně členěné koncentrační růžice v dopravní lokalitě Brno – Svatoplukova je v případě lokality Brno – Lány zřetelný rozdíl v koncentracích v závislosti na teplotě. Zvýšené koncentrace jsou měřeny pouze při teplotách pod 0°C , naopak při vyšších teplotách jsou koncentrace jen velmi nízké. To potvrzuje i koncentrační růžice průměrných koncentrací NO_2 , členěná dle ročních období (Obr. 132). Zvýšené koncentrace lze v této lokalitě pozorovat v zimních měsících, částečně i na jaře a na podzim.



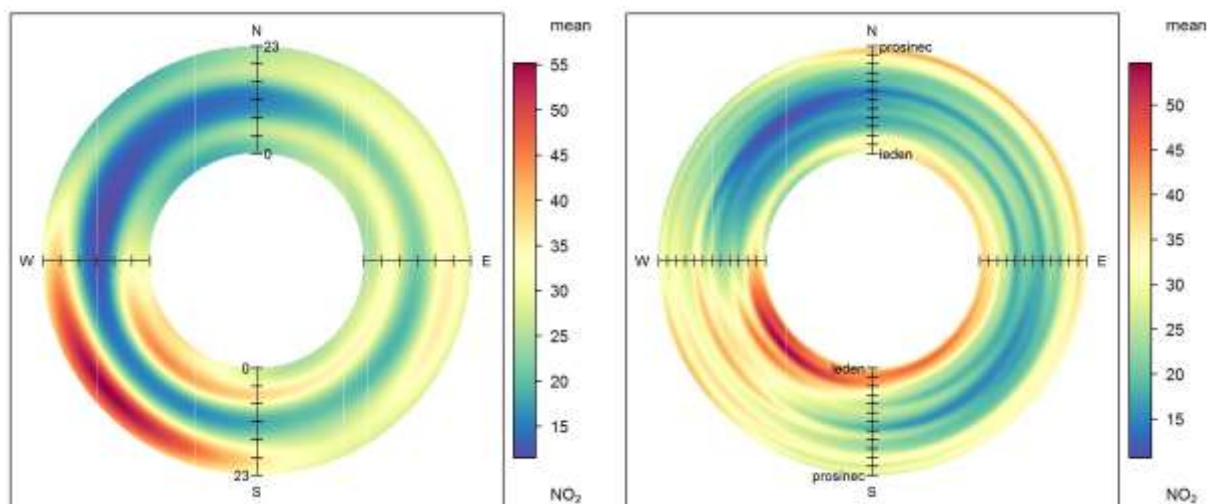
Obr. 131 – Teplotně členěná koncentrační růžice NO₂, Brno – Lány, 2010 – 2016



Obr. 132 – Koncentrační růžice NO₂ členěná dle ročních období, Brno – Lány, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

3.3.2.3 Denní a měsíční chod

Díky znalosti hodinových informací meteorologických charakteristik a koncentrací škodlivin je možné sestavit i průměrný denní chod koncentrací v lokalitě v závislosti na směru větru. Graf na Obr. 133 vlevo zobrazuje po hodinách průměrný denní chod NO_2 v lokalitě Brno – Lány za roky 2010 až 2016, členěná dle směru větru. Graf na Obr. 133 vpravo zobrazuje totéž, avšak po měsících.

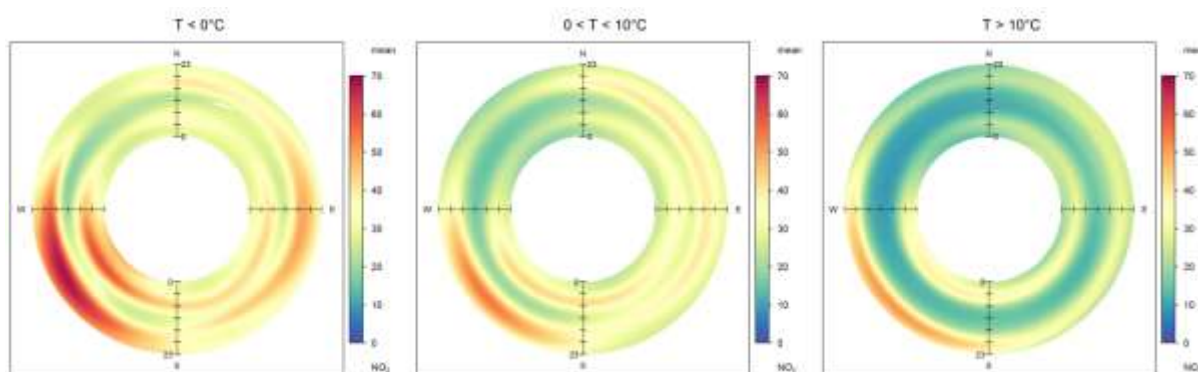


Obr. 133 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace NO_2 , Brno – Lány, 2010 – 2016

Z grafů na Obr. 133 je patrný mírný vliv dopravních špiček při východním proudění. Avšak nejvyšší koncentrace je možné měřit při jihozápadním proudění, a to v brzkých ranních hodinách a dále v odpoledních a večerních hodinách. Během dne jsou koncentrace naopak velmi nízké. Tento chod je typický pro pozadové lokality a liší se od dopravní lokality Brno – Svatoplukova, kdy maximální koncentrace jsou měřeny během dne a v noci výrazně poklesnou. Výrazně vyšší koncentrace ve večerních a nočních hodinách naznačují vliv vytápění na koncentrace NO_2 v této lokalitě. Avšak ani vliv dopravy z těchto směrů nelze vyloučit. Pokles v denních hodinách souvisí s tvorbou troposférického ozónu [23].

Roční chod koncentrací NO_2 má zřetelná maxima v chladné části roku, avšak ze západních až jihozápadních směrů jsou mírně zvýšené i v průběhu roku.

Vliv teploty na denní chod koncentrací NO_2 zobrazuje následující Obr. 134. Z grafů je patrné, co již bylo uvedeno dříve, teplota a meteorologické podmínky mají v lokalitě Brno – Lány vliv na koncentrace NO_2 . Vysoké koncentrace lze naměřit především při nízkých teplotách, a zejména ve večerních a nočních hodinách. Naopak při teplotách nad $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou již koncentrace velmi nízké, zvýšené pouze v nočních hodinách.



Obr. 134 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací NO_2 dle směru větru, Brno – Lány, 2010 – 2016

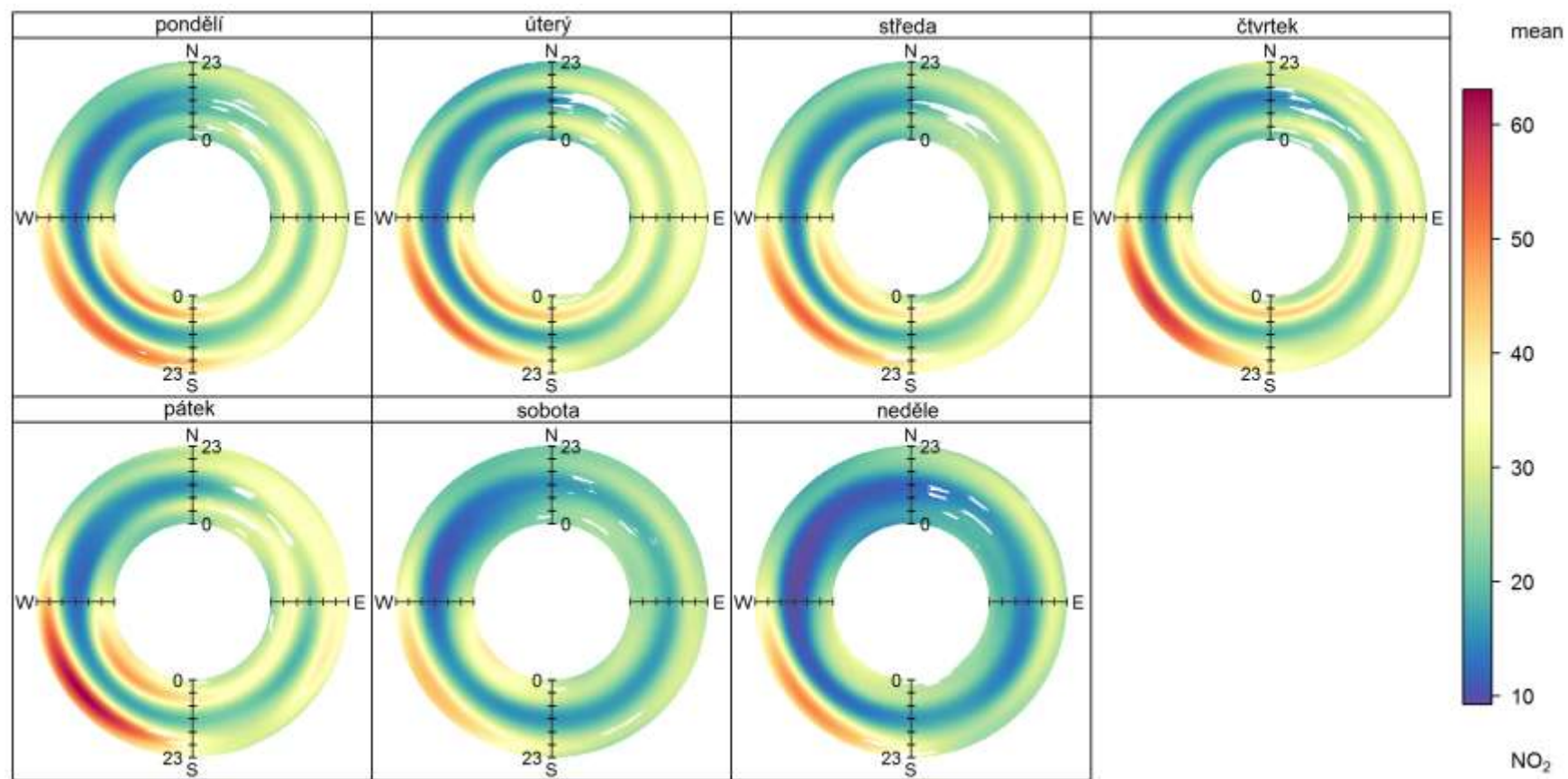
Koncentrace NO_2 se i v této lokalitě liší v pracovních dnech a o víkendu (Obr. 135). V sobotu a v neděli jsou koncentrace NO_2 nižší než v případě pracovních dnů. Naznačuje to jistý vliv dopravy v této lokalitě, avšak tento trend je patrný na všech pozadřových lokalitách.

3.3.2.4 Přehledy koncentrací

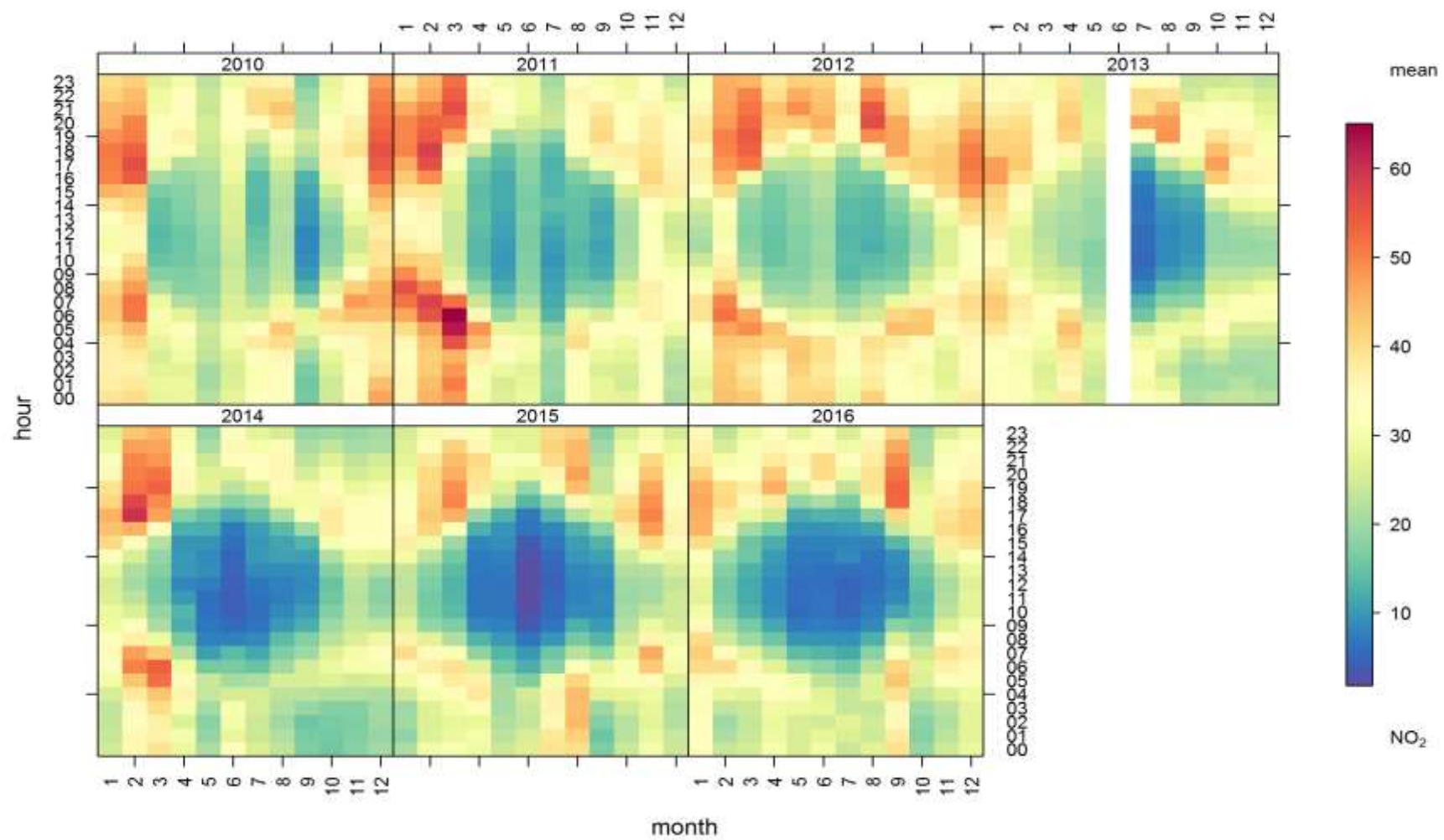
Celkový přehled koncentrací NO_2 v lokalitě Brno – Lány za roky 2010 – 2016 zobrazuje Obr. 136. Zobrazuje průměrnou koncentraci NO_2 v jednotlivých hodinách dne, členěné dle měsíců a roků. Z přehledu je patrný výrazný rozdíl proti dopravní lokalitě Brno – Svatoplukova, kde jsou vyšší koncentrace dosahovány v denních hodinách v průběhu celého roku. Naproti tomu v lokalitě Brno – Lány jsou vyšší koncentrace měřeny převážně v nočních a brzkých ranních hodinách, výrazněji pak v topné sezóně. Naproti tomu přes den jsou koncentrace nízké.

Obr. 137 zobrazuje stejný přehled koncentrací NO_2 jako Obr. 136, avšak vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, jako tomu je na stránkách ČHMÚ v hodinovém přehledu [13].

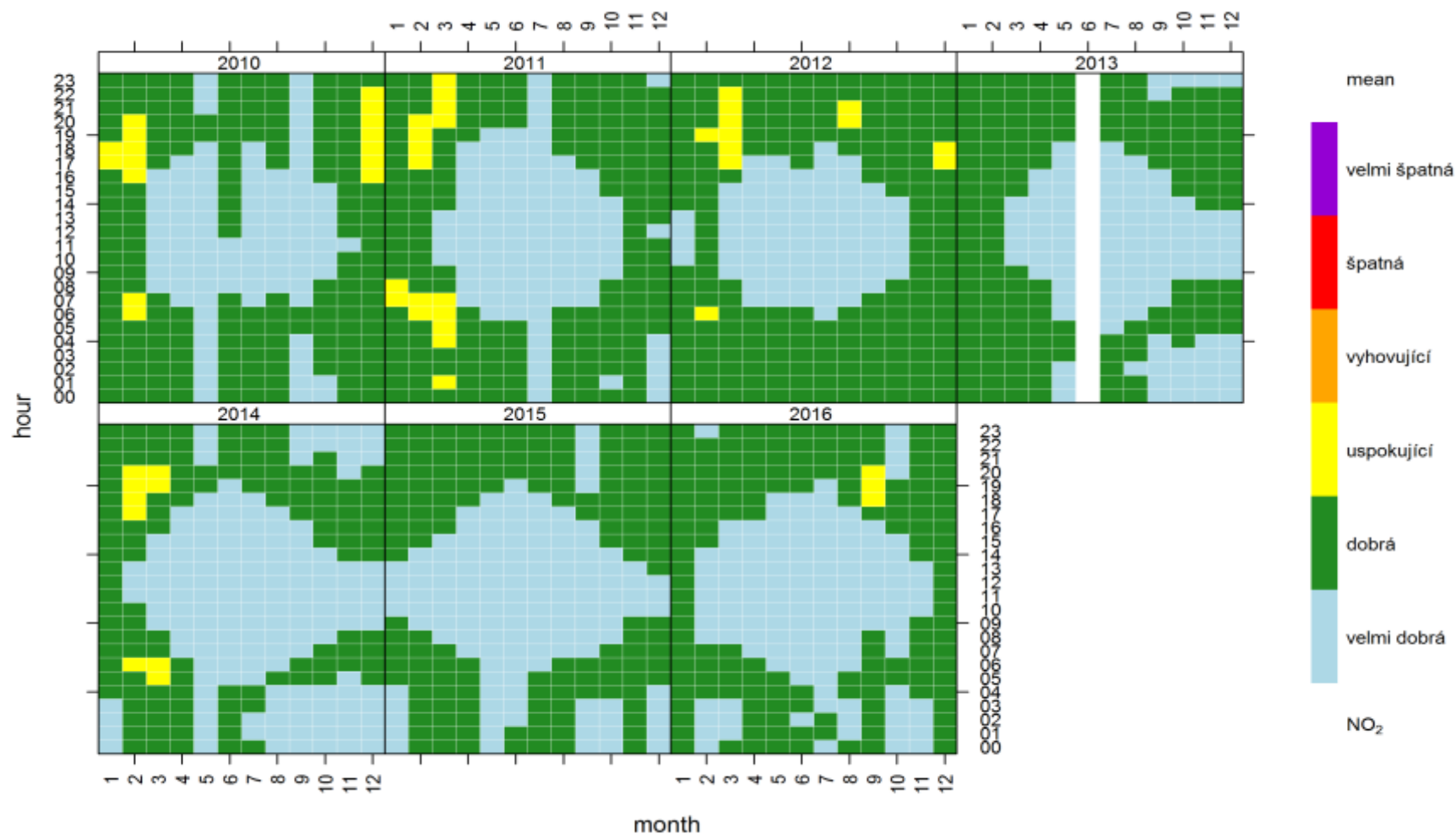
Obr. 138 zobrazuje normalizované hodnoty průměrných koncentrací (k průměru za celý interval) škodlivin NO_2 , NO a NO_x . V denním chodu je mírně vyšší ranní a menší večerní pík koncentrací. Tyto píky jsou o víkendu mnohem méně zřetelné. Pokles koncentrací o víkendu není v porovnání s lokalitou Brno – Svatoplukova tak výrazný. Přes den koncentrace poklesnou na velmi nízké hodnoty. Z hlediska měsíčního chodu je patrný pokles koncentrací NO , NO_2 i NO_x v teplé části roku proti chladné části roku.



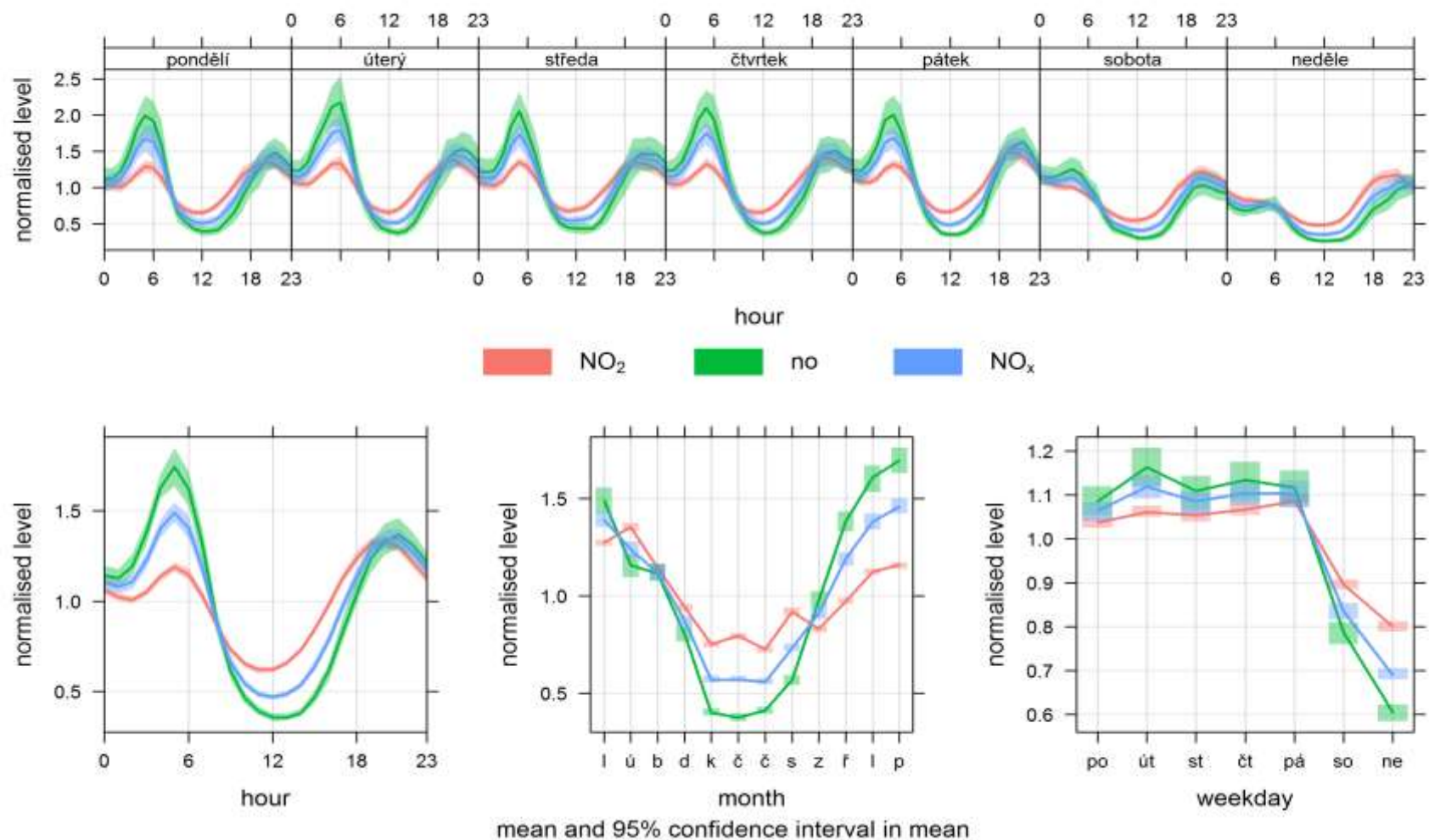
Obr. 135 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace NO_2 , Brno – Lány, 2010 – 2016



Obr. 136 – Přehled průměrných koncentrací NO₂ v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Brno – Lány, 2010 – 2016



Obr. 137 – Přehled průměrných koncentrací NO₂ v jednotlivých hodinách vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, členěno dle měsíců a toků, Brno – Láany, 2010 – 2016 [13]



Obr. 138 – Normalizované hodnoty průměrných koncentrací NO_2 , NO a NO_x v hodinovém, týdenním a měsíčním chodu, Brno – Lány, 2010 – 2016

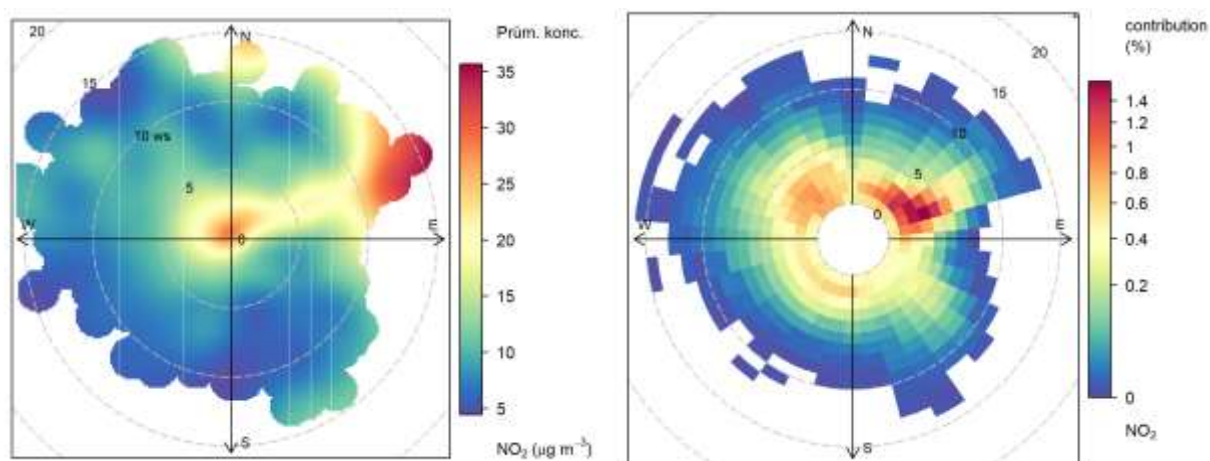
3.3.3 Brno – Tuřany

3.3.3.1 Větrná růžice

Základem analýz je větrná růžice v dané lokalitě. Ta je shodná pro všechny škodliviny a je uvedena na Obr. 63 v kapitole 2.3.3.1.

3.3.3.2 Imisní růžice

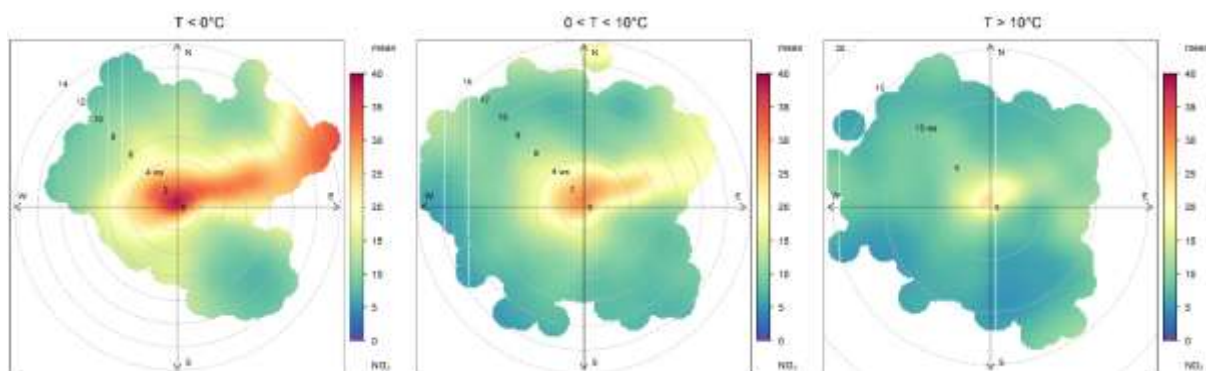
Díky znalosti rychlosti a směru větru a koncentrace NO_2 je možné zkonstruovat koncentrační růžice pro tuto škodlivinu. Na Obr. 139 je vlevo zobrazena koncentrační růžice – průměrná koncentrace NO_2 je v ní zobrazena jako funkce rychlosti a směru větru. Růžice v pravo pak nezobrazuje průměrnou koncentraci, ale vážený průměr. Růžice tedy zobrazuje procentuální příspěvek jednotlivých rychlostí a směrů k měřeným koncentracím NO_2 v lokalitě Brno – Tuřany.



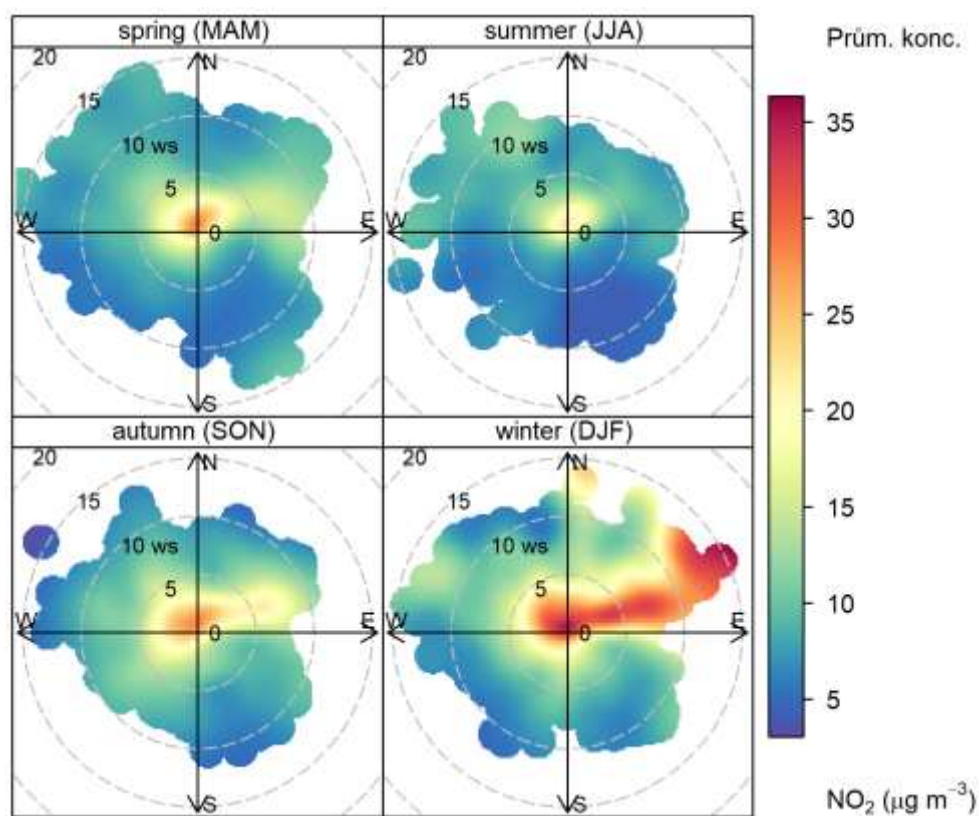
Obr. 139 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážení koncentrační růžice (vpravo) pro NO_2 , Brno – Tuřany, 2010 – 2016

Z obou koncentračních růžic je patrný výrazný vliv severovýchodního proudění na průměrné koncentrace NO_2 v lokalitě Brno – Tuřany, obdobně jako v případě PM_{10} . Z hlediska relativního příspěvku ke koncentracím NO_2 nejvýrazněji přispívají severovýchodní až východní směry proudění větru při rychlostech větru do 5 m.s^{-1} .

Následující Obr. 140 zobrazuje teplotně členěnou koncentrační růžici průměrných koncentrací NO_2 . Na rozdíl od teplotně členěné koncentrační růžice v dopravní lokalitě Brno – Svatoplukova je v případě lokality Brno – Tuřany zřetelný rozdíl v koncentracích v závislosti na teplotě, podobně jako v případě lokality Brno – Lány. Zvýšené koncentrace jsou měřeny pouze při teplotách pod 0°C , naopak při vyšších teplotách jsou koncentrace jen velmi nízké. To potvrzuje i koncentrační růžice průměrných koncentrací NO_2 , členěná dle ročních období (Obr. 141). Zvýšené koncentrace lze v této lokalitě pozorovat v zimních měsících, mírně zvýšené koncentrace pak i na jaře a na podzim.



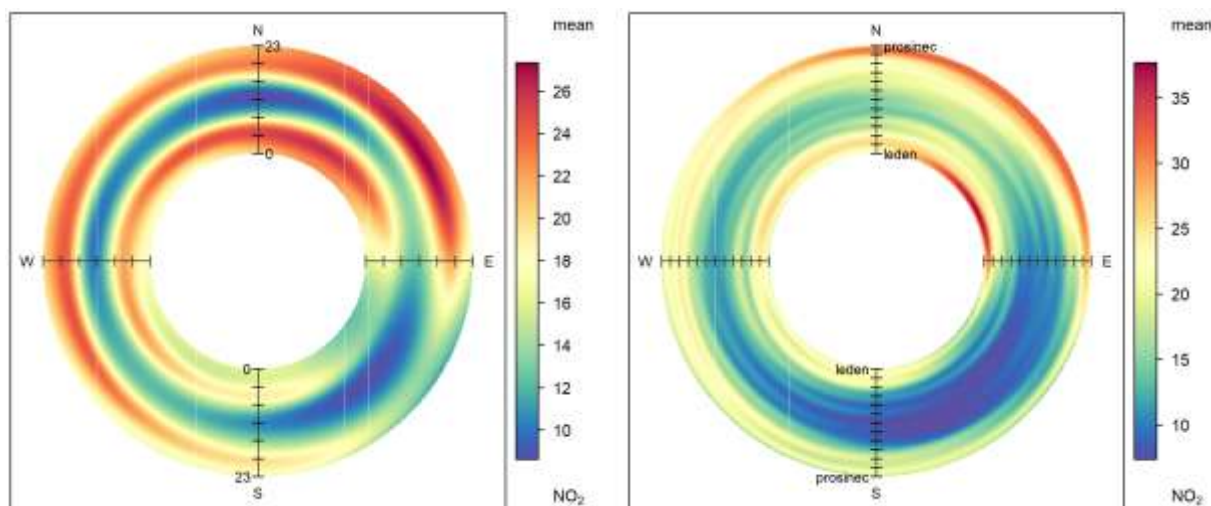
Obr. 140 – Teplotně členěná koncentrační růžice NO_2 , Brno – Tuřany, 2010 – 2016



Obr. 141 – Koncentrační růžice NO_2 členěná dle ročních období, Brno – Tuřany, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

3.3.3.3 Denní a měsíční chod

Díky znalosti hodinových informací meteorologických charakteristik a koncentrací škodlivin je možné sestavit i průměrný denní chod koncentrací v lokalitě v závislosti na směru větru. Graf na Obr. 142 vlevo zobrazuje po hodinách průměrný denní chod NO_2 v lokalitě Brno – Tuřany za roky 2010 až 2016, členěná dle směru větru. Graf na Obr. 142 vpravo zobrazuje totéž, avšak po měsících.

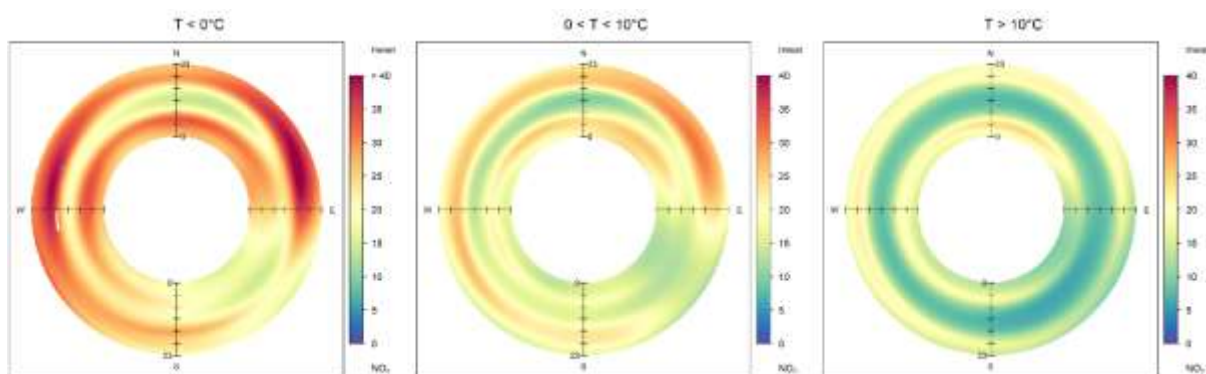


Obr. 142 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace NO_2 , Brno – Tuřany, 2010 – 2016

Z grafů na Obr. 142 je patrný obdobný chod jako v případě lokality Brno – Lázně. Nejvyšších koncentrací je dosahováno ve večerních a nočních hodinách a dále brzy ráno. Během dne jsou koncentrace naopak velmi nízké. Tento chod je typický pro pozadíové lokality a liší se od dopravní lokality Brno – Svatoplukova, kdy maximální koncentrace jsou měřeny během dne a v noci výrazně poklesnou. Výrazně vyšší koncentrace ve večerních a nočních hodinách naznačují vliv vytápění na koncentrace NO_2 v této lokalitě. Pokles v denních hodinách souvisí s tvorbou troposférického ozónu [23].

Roční chod koncentrací NO_2 má zřetelná maxima v chladné části roku, nejnižší hodnoty jsou měřeny při jihovýchodním proudění, které je nejvíce nakloněno tvorbě troposférického ozónu (více viz. kapitola 4).

Vliv teploty na denní chod koncentrací NO_2 zobrazuje následující Obr. 143. Z grafů je patrné, co již bylo uvedeno dříve, teplota a meteorologické podmínky mají v lokalitě Brno – Tuřany vliv na koncentrace NO_2 . Vysoké koncentrace lze naměřit především při nízkých teplotách, a zejména ve večerních a nočních hodinách. Naopak při teplotách nad $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou již koncentrace velmi nízké, zvýšené pouze v nočních hodinách.



Obr. 143 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací NO_2 dle směru větru, Brno – Tuřany, 2010 – 2016

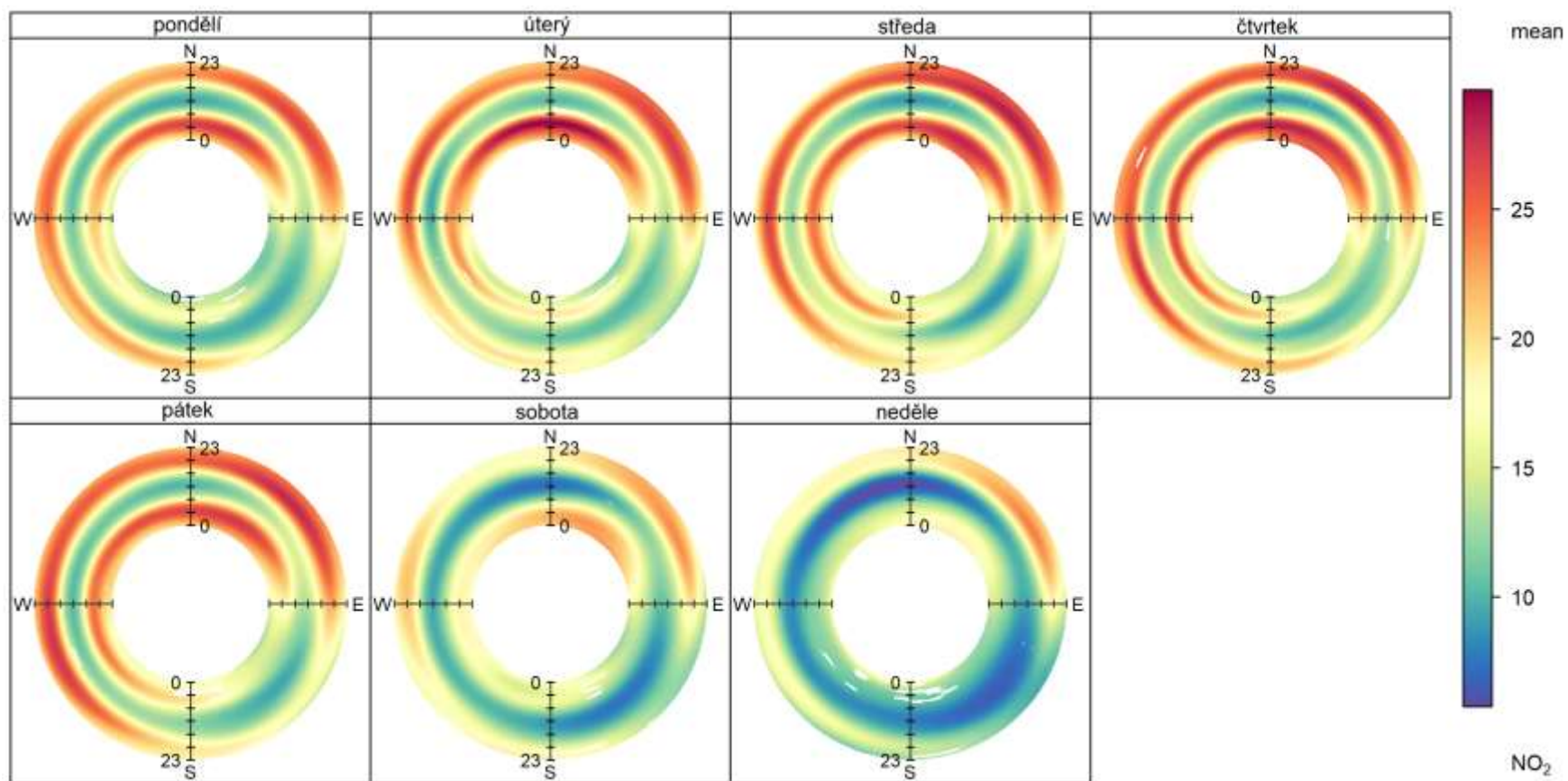
Koncentrace NO_2 se i v této lokalitě liší v pracovních dnech a o víkendu, podobně jako tomu bylo v případě lokality Brno – Láňy (Obr. 144). V sobotu a v neděli jsou koncentrace NO_2 nižší než v případě pracovních dnů. Naznačuje to jistý vliv dopravy v této lokalitě, avšak tento trend je patrný na všech pozadřových lokalitách.

3.3.3.4 Přehledy koncentrací

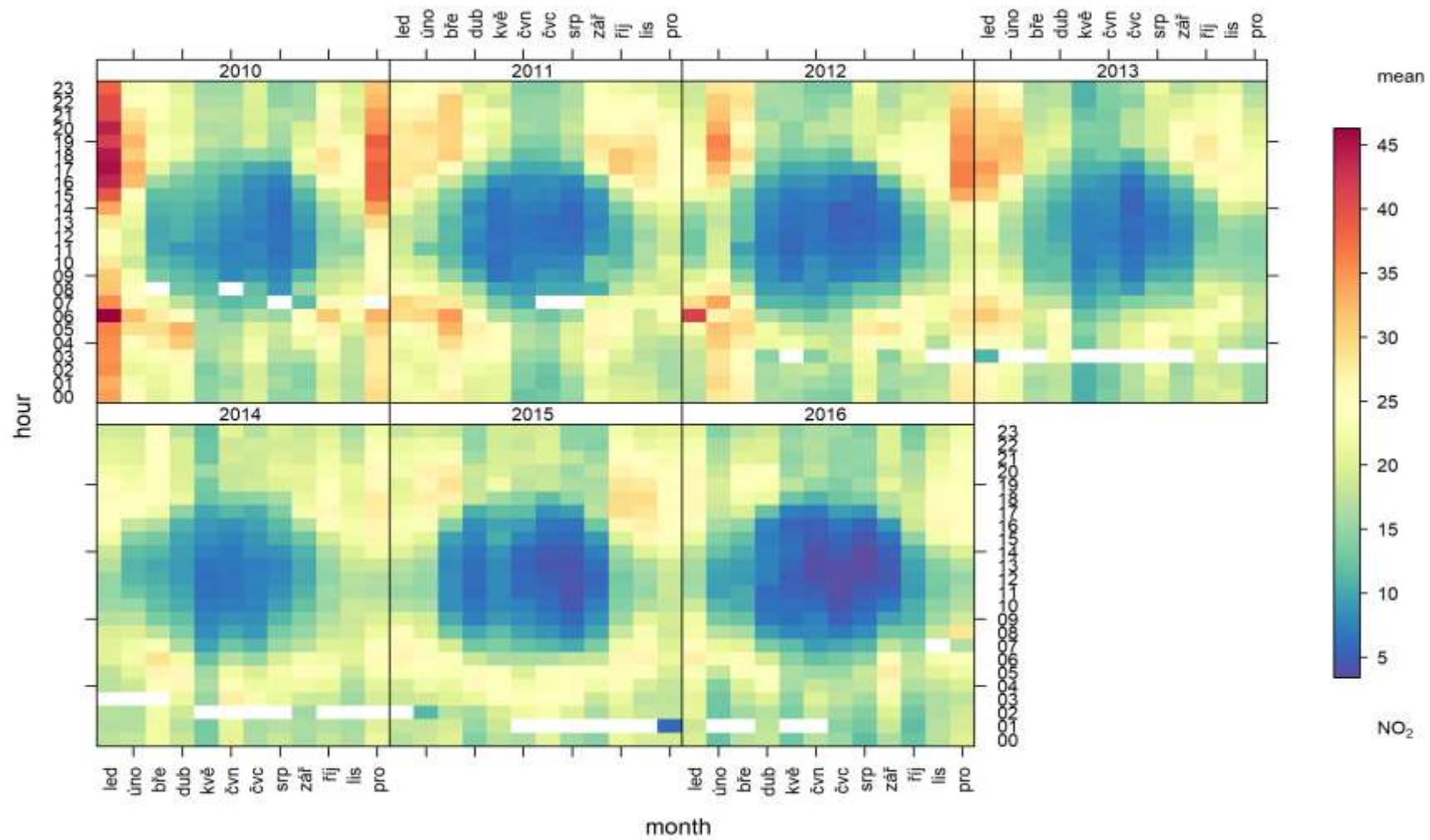
Celkový přehled koncentrací NO_2 v lokalitě Brno – Tuřany za roky 2010 – 2016 zobrazuje Obr. 145. Zobrazuje průměrnou koncentraci NO_2 v jednotlivých hodinách dne, členěné dle měsíců a roků. Z přehledu je patrný výrazný rozdíl proti dopravní lokalitě Brno – Svatoplukova, kde jsou vyšší koncentrace dosahovány v denních hodinách v průběhu celého roku. Naproti tomu v lokalitě Brno – Tuřany, obdobně jako v lokalitě Brno – Láňy, jsou vyšší koncentrace měřeny převážně v nočních a brzkých ranních hodinách, výrazněji pak v topné sezóně. Naproti tomu přes den jsou koncentrace nízké.

Obr. 146 zobrazuje stejný přehled koncentrací NO_2 jako Obr. 145, avšak vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, jako tomu je na stránkách ČHMÚ v hodinovém přehledu [13].

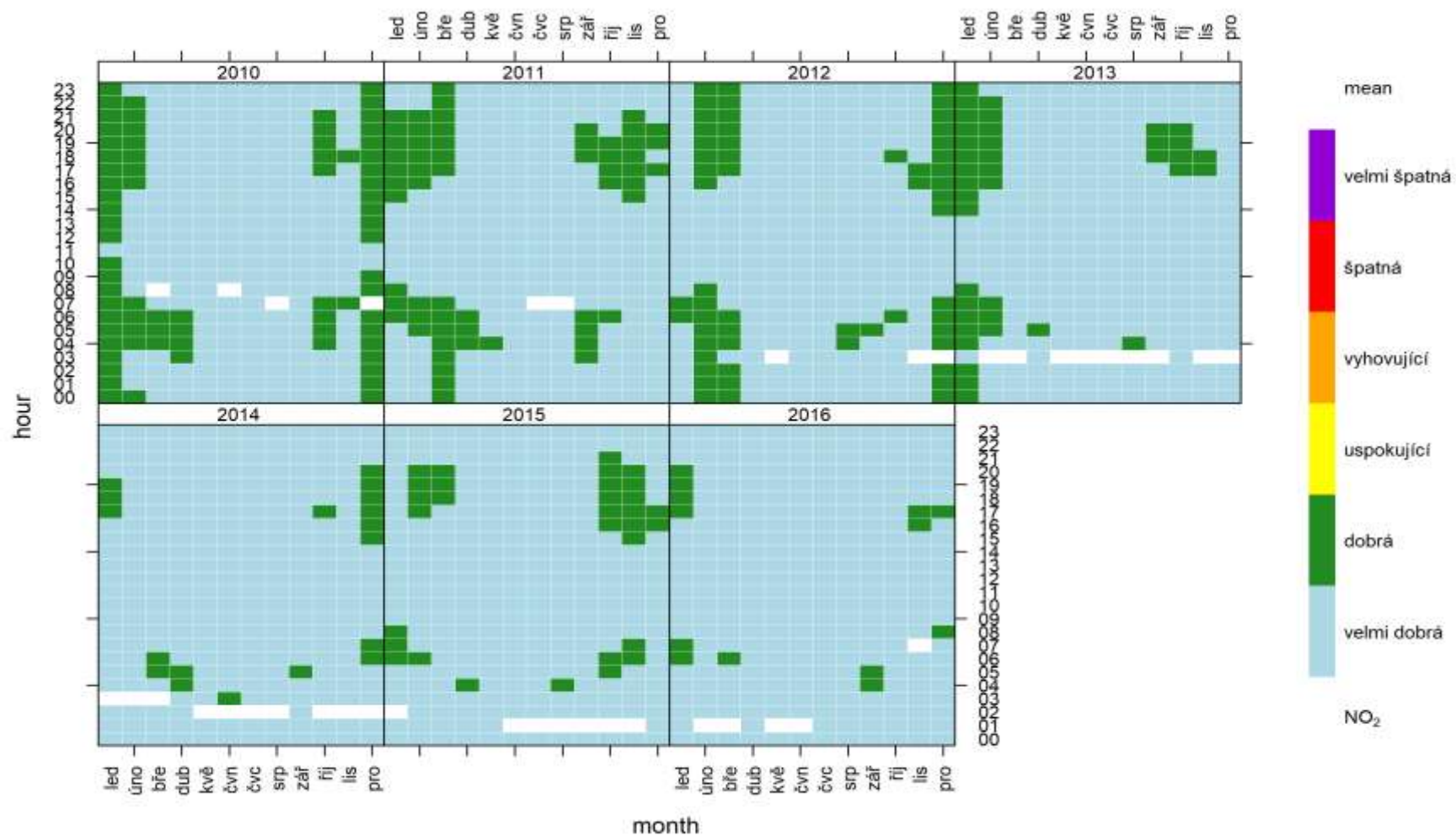
Obr. 147 zobrazuje normalizované hodnoty průměrných koncentrací (k průměru za celý interval) škodlivin NO_2 , NO a NO_x . V denním chodu je mírně vyšší ranní a menší večerní pík koncentrací (zejména v případě NO). Tyto píky jsou o víkendu mnohem méně zřetelné. Pokles koncentrací o víkendu není v porovnání s lokalitou Brno – Svatoplukova tak výrazný, je obdobný jako v případě lokality Brno – Láňy. Přes den koncentrace poklesnou na velmi nízké hodnoty. Z hlediska měsíčního chodu je patrný pokles koncentrací NO , NO_2 i NO_x v teplé části roku proti chladné části roku.



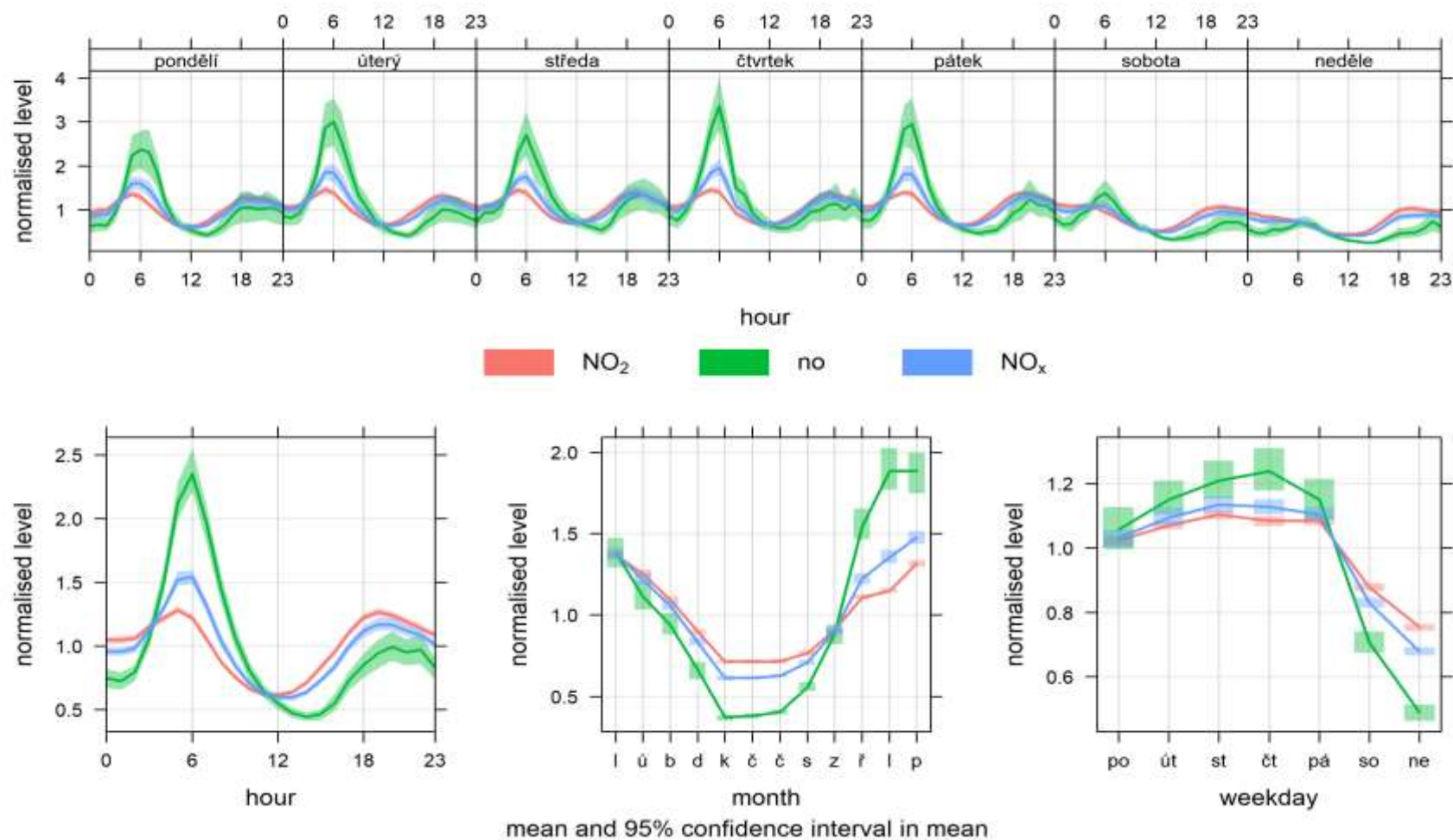
Obr. 144 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace NO₂, Brno – Tuřany, 2010 – 2016



Obr. 145 – Přehled průměrných koncentrací NO₂ v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Brno – Tuřany, 2010 – 2016



Obr. 146 – Přehled průměrných koncentrací NO₂ v jednotlivých hodinách vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, členěno dle měsíců a toků, Brno – Tuřany, 2010 – 2016 [13]



Obr. 147 – Normalizované hodnoty průměrných koncentrací NO_2 , NO a NO_x v hodinovém, týdenním a měsíčním chodu, Brno – Tuřany, 2010 – 2016

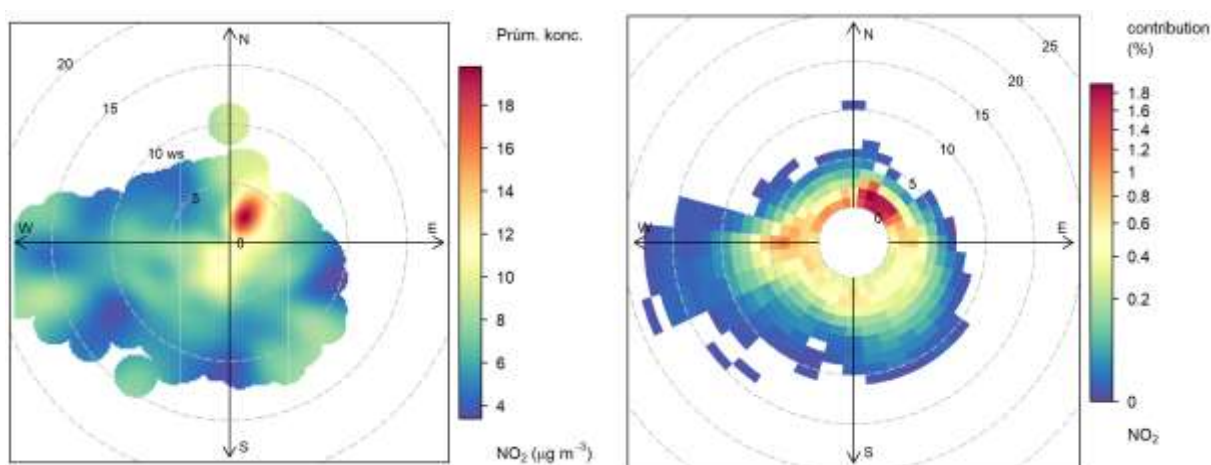
3.3.4 Mikulov – Sedlec

3.3.4.1 Větrná růžice

Základem analýz je větrná růžice v dané lokalitě. Ta je shodná pro všechny škodliviny a je uvedena na Obr. 82 v kapitole 2.3.4.1.

3.3.4.2 Imisní růžice

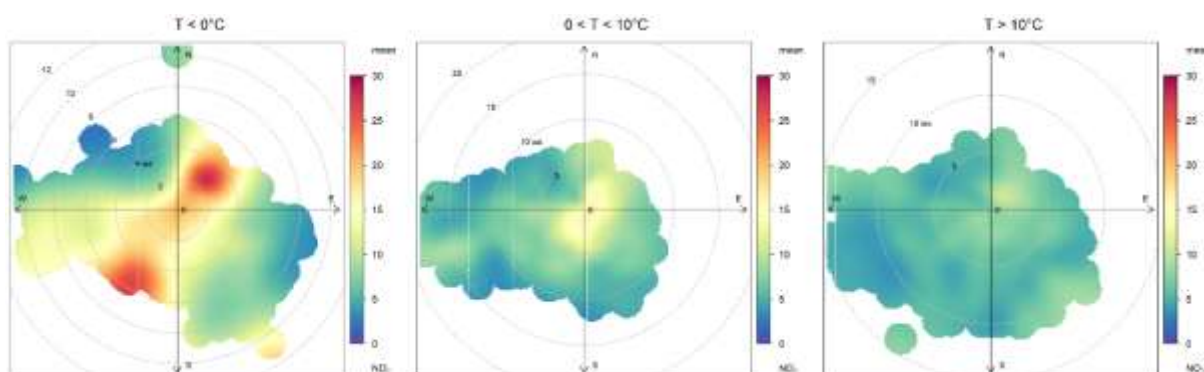
Díky znalosti rychlosti a směru větru a koncentrace NO_2 je možné zkonstruovat koncentrační růžice pro tuto škodlivinu. Na Obr. 148 je vlevo zobrazena koncentrační růžice – průměrná koncentrace NO_2 je v ní zobrazena jako funkce rychlosti a směru větru. Růžice vpravo pak nezobrazuje průměrnou koncentraci, ale vážený průměr. Růžice tedy zobrazuje procentuální příspěvek jednotlivých rychlostí a směrů k měřeným koncentracím NO_2 v lokalitě Mikulov – Sedlec.



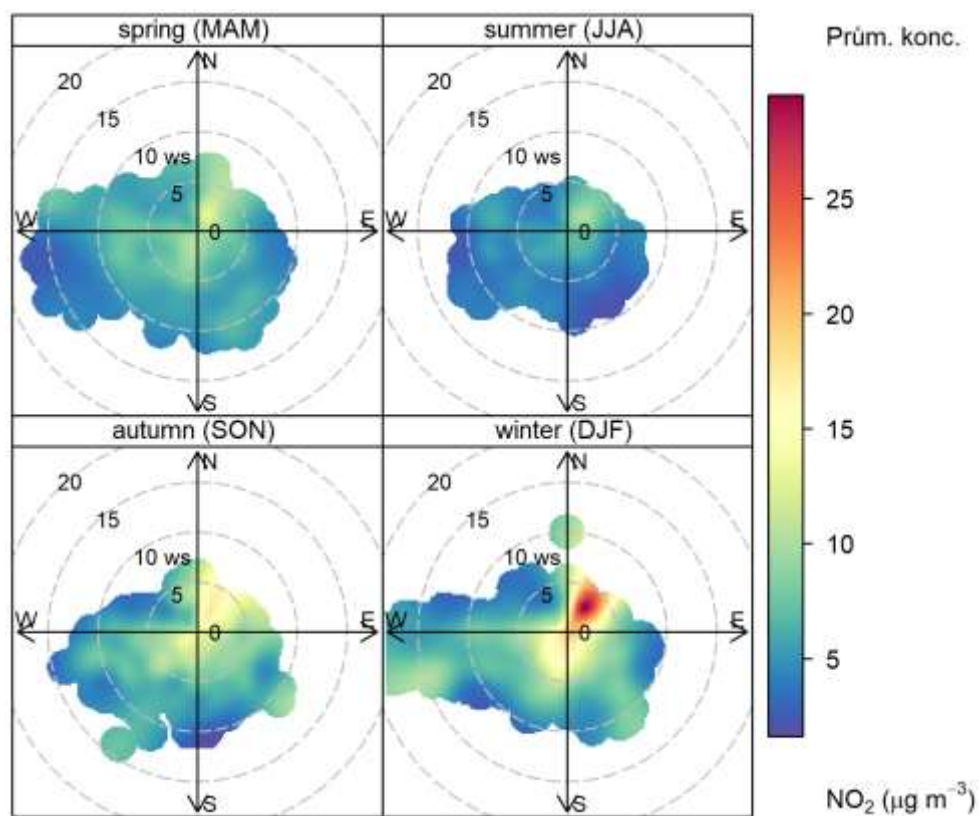
Obr. 148 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážení koncentrační růžice (vpravo) pro NO_2 , Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

Z obou koncentračních růžic je patrný výrazný vliv severovýchodního proudění na průměrné koncentrace NO_2 v lokalitě Mikulov – Sedlec, obdobně jako v případě PM_{10} . Z hlediska relativního příspěvku ke koncentracím NO_2 nejvýrazněji přispívají severovýchodní až severní směry proudění větru při rychlostech větru do 5 m.s^{-1} .

Následující Obr. 149 zobrazuje teplotně členěnou koncentrační růžici průměrných koncentrací NO_2 . Na rozdíl od teplotně členěné koncentrační růžice v dopravní lokalitě Brno – Svatoplukova je v případě lokality Mikulov – Sedlec zřetelný rozdíl v koncentracích v závislosti na teplotě, podobně jako v případě lokalit Brno – Tuřany a Brno – Lány. Zvýšené koncentrace jsou měřeny pouze při teplotách pod 0°C , naopak při vyšších teplotách jsou koncentrace jen velmi nízké. To potvrzuje i koncentrační růžice průměrných koncentrací NO_2 , členěná dle ročních období (Obr. 150). Zvýšené koncentrace lze v této lokalitě pozorovat v zimních měsících, mírně zvýšené koncentrace pak i na jaře a na podzim.



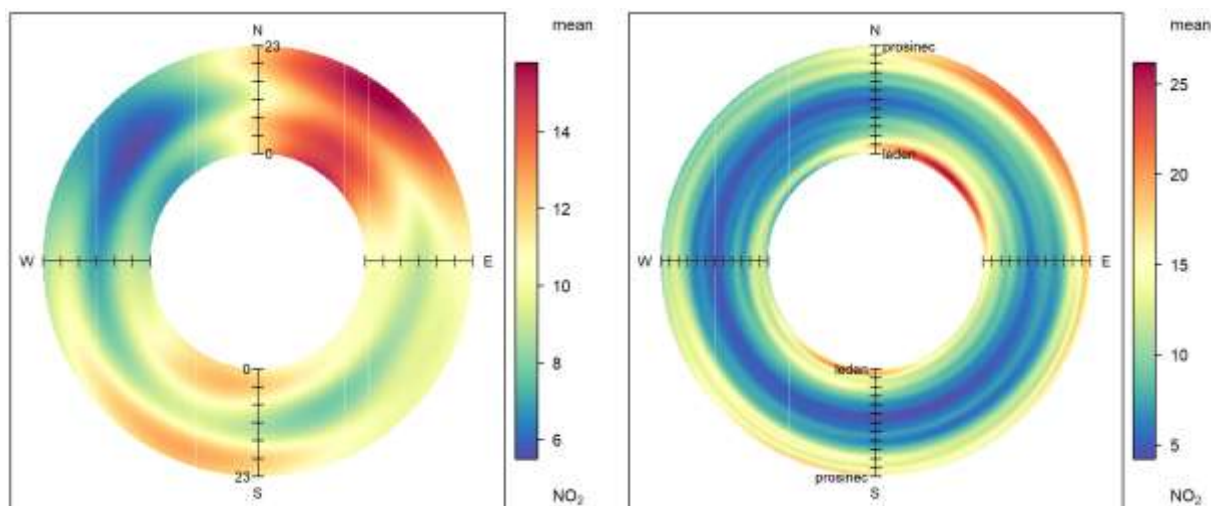
Obr. 149 – Teplotně členěná koncentrační růžice NO₂, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016



Obr. 150 – Koncentrační růžice NO₂ členěná dle ročních období, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

3.3.4.3 Denní a měsíční chod

Díky znalosti hodinových informací meteorologických charakteristik a koncentrací škodlivin je možné sestavit i průměrný denní chod koncentrací v lokalitě v závislosti na směru větru. Graf na Obr. 151 vlevo zobrazuje po hodinách průměrný denní chod NO_2 v lokalitě Mikulov – Sedlec za roky 2010 až 2016, členěná dle směru větru. Graf na Obr. 151 vpravo zobrazuje totéž, avšak po měsících.

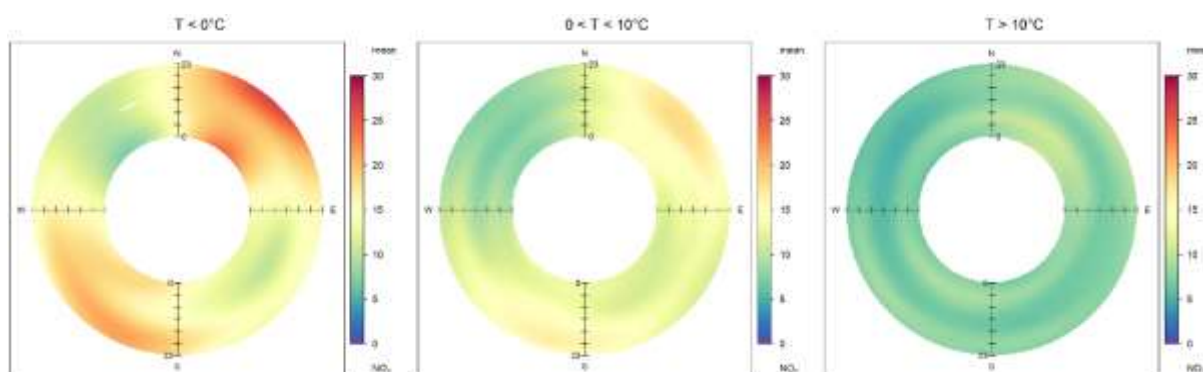


Obr. 151 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace NO_2 , Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

Z grafů na Obr. 151 je patrný obdobný chod jako v případě lokalit Brno – Tuřany či Brno – Lány. Nejvyšších koncentrací je dosahováno ve večerních a nočních hodinách a dále brzy ráno. Během dne jsou koncentrace naopak nízké. **Rozdíl ale vzhledem k měřítku není tak velký jako u ostatních stanic – jedná se o regionální pozadí Jihomoravského kraje.** Mírně vyšší koncentrace ve večerních a nočních hodinách naznačují možný vliv vytápění na koncentrace NO_2 v této lokalitě. Pokles v denních hodinách souvisí s tvorbou troposférického ozónu [23]. Obdobně jako v případě PM_{10} je tato regionální pozadová lokalita znečišťována oxidy dusíku při severovýchodním proudění.

Roční chod koncentrací NO_2 má zřetelná maxima v chladné části roku, nejnižší hodnoty jsou v letních měsících, kdy panují nejvhodnější meteorologické podmínky pro tvorbu troposférického ozónu (více viz. kapitola 4).

Vliv teploty na denní chod koncentrací NO_2 zobrazuje následující Obr. 152. Z grafů je patrné, co již bylo uvedeno dříve, teplota a meteorologické podmínky mají v lokalitě Mikulov – Sedlec vliv na koncentrace NO_2 . Vysoké koncentrace lze naměřit především při nízkých teplotách, a zejména ve večerních a nočních hodinách. Naopak při teplotách nad $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou již koncentrace velmi nízké.



Obr. 152 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací NO_2 dle směru větru, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

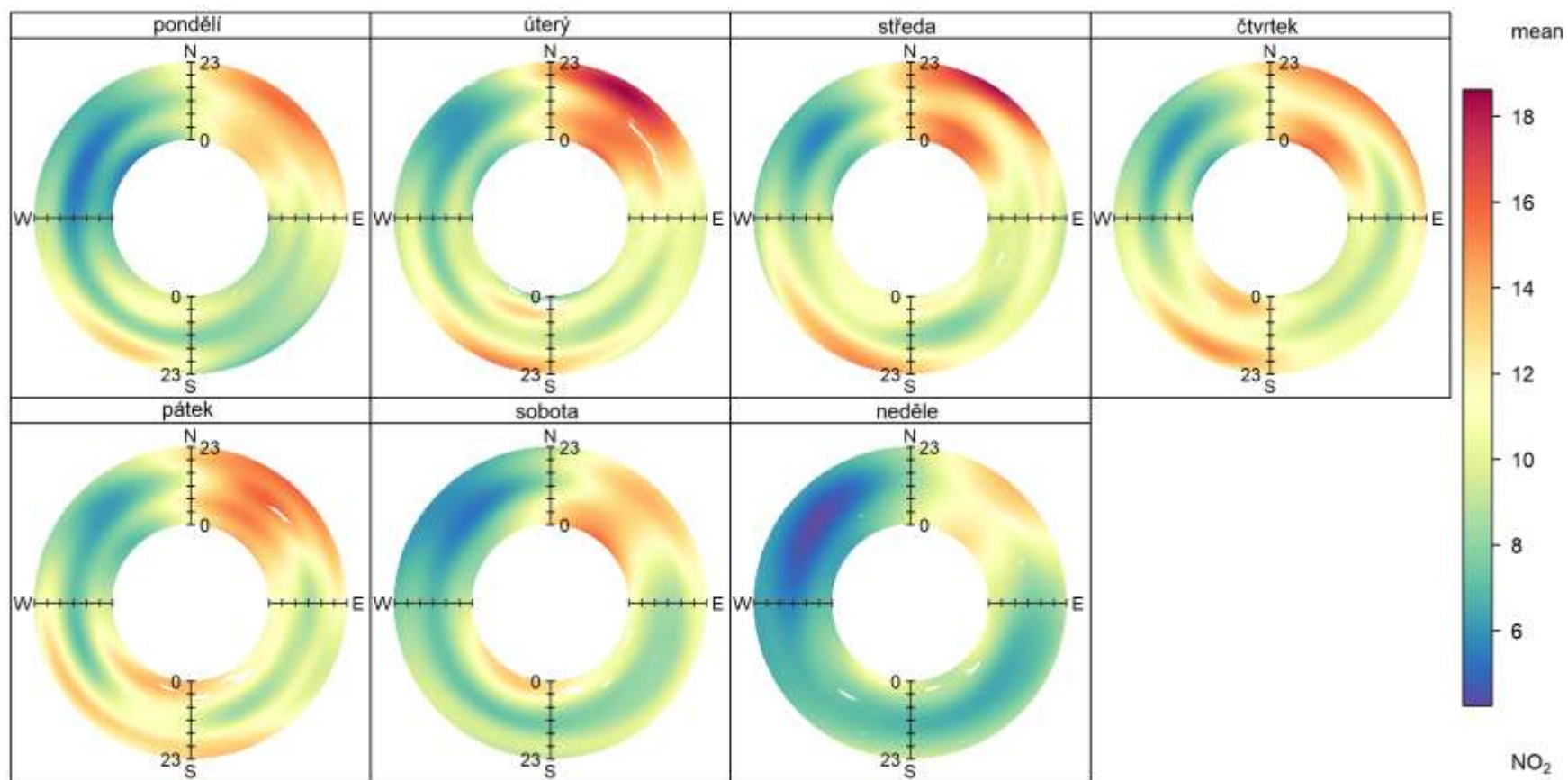
Koncentrace NO_2 se i v této lokalitě liší v pracovních dnech a o víkendu, podobně jako tomu bylo v případě lokalit Brno – Tuřany a Brno – Lázně, i když vzhledem k velmi nízkým koncentracím v této lokalitě není rozdíl až tak velký (Obr. 153). V sobotu a v neděli jsou koncentrace NO_2 nižší než v případě pracovních dnů. Tento trend je patrný na všech pozadových lokalitách.

3.3.4.4 Přehledy koncentrací

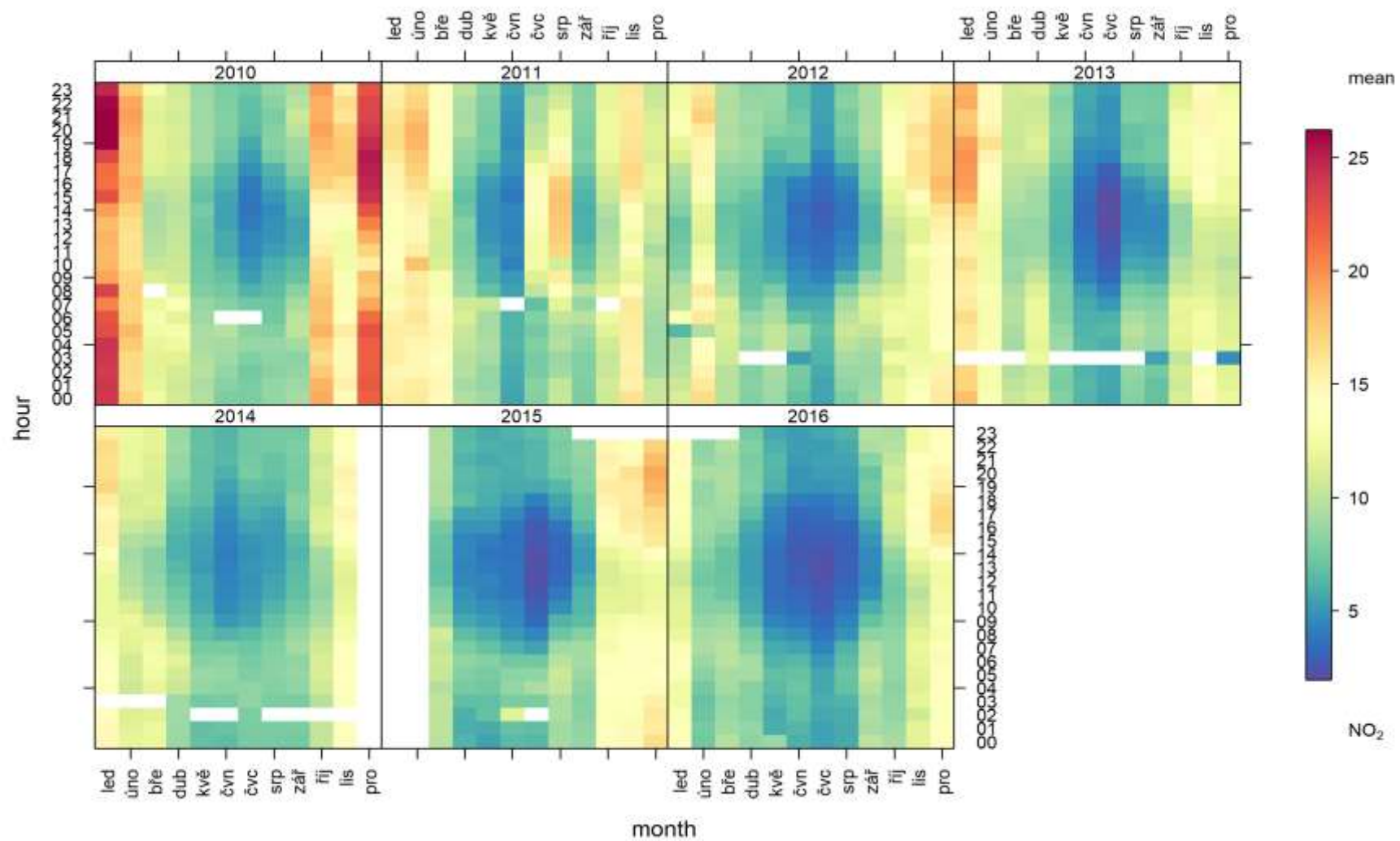
Celkový přehled koncentrací NO_2 v lokalitě Mikulov – Sedlec za roky 2010 – 2016 zobrazuje Obr. 154. Zobrazuje průměrnou koncentraci NO_2 v jednotlivých hodinách dne, členěné dle měsíců a roků. Z přehledu jsou patrné velmi nízké koncentrace zejména v denních hodinách a mírně zvýšené v noci a v topné sezóně.

Obr. 155 zobrazuje stejný přehled koncentrací NO_2 jako Obr. 154, avšak vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, jako tomu je na stránkách ČHMÚ v hodinovém přehledu [13]. Z přehledu je patrné, že kromě několika případů v roce 2010 je po celou dobu kvalita ovzduší z pohledu oxidů dusíku velmi dobrá.

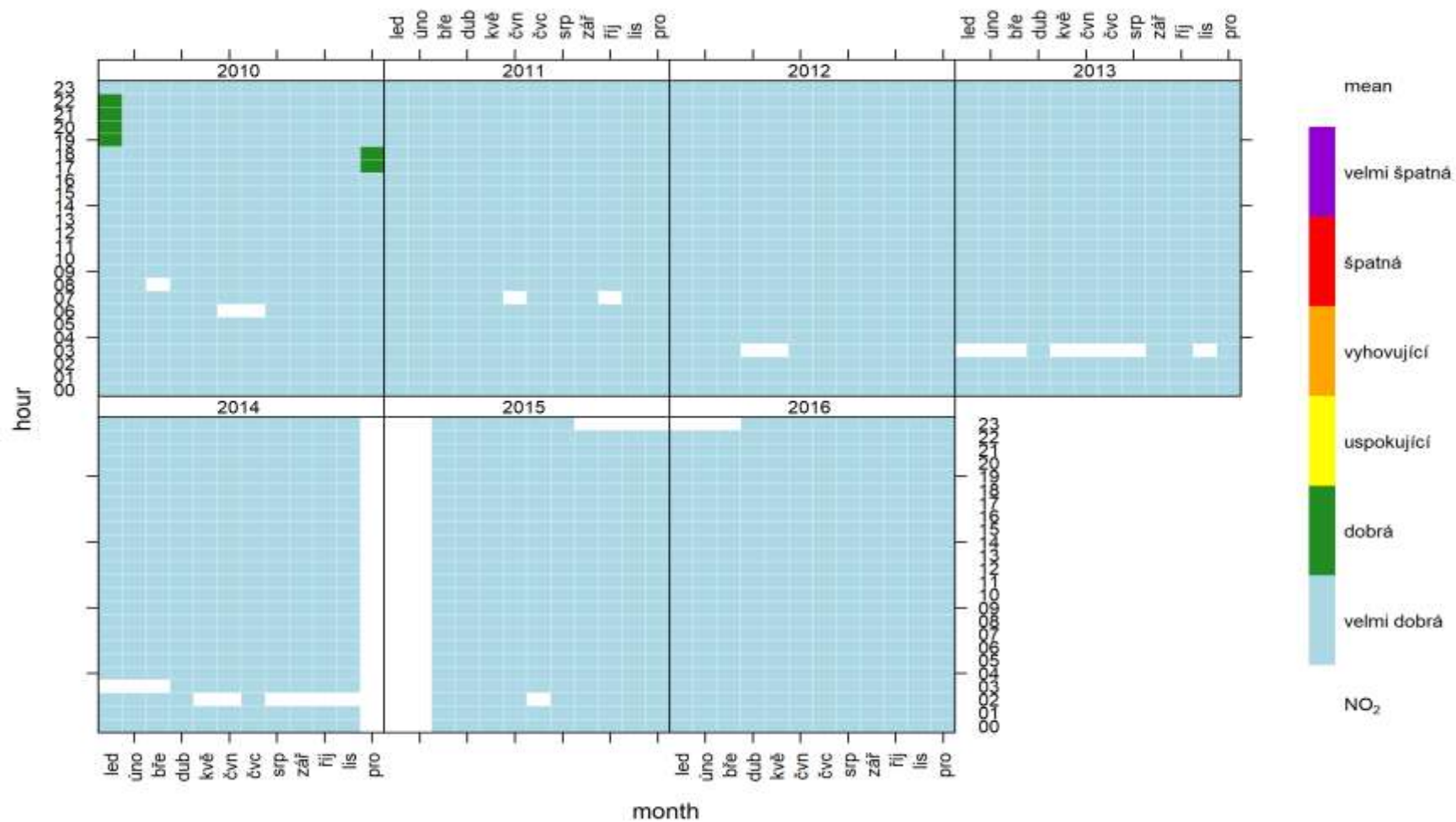
Obr. 156 zobrazuje normalizované hodnoty průměrných koncentrací (k průměru za celý interval) škodlivin NO_2 , NO a NO_x . V přehledu je výraznější pík NO , je třeba si však uvědomit, že jeho koncentrace jsou téměř nulové a zvýšení o 50 % je na úrovni nejistoty měření. V denním chodu NO_2 a NO_x jsou patrné dva píky koncentrací v ranních a večerních hodinách. I v lokalitě Mikulov – Sedlec jsou tyto píky o víkendu méně zřetelné. Pokles koncentrací o víkendu není v porovnání s ostatními lokalitami tak výrazný vzhledem k nízkým koncentracím. Z hlediska měsíčního chodu je patrný pokles koncentrací NO_2 i NO_x v teplé části roku proti chladné části roku, v případě velmi nízkých koncentrací NO není zřetelný trend patrný.



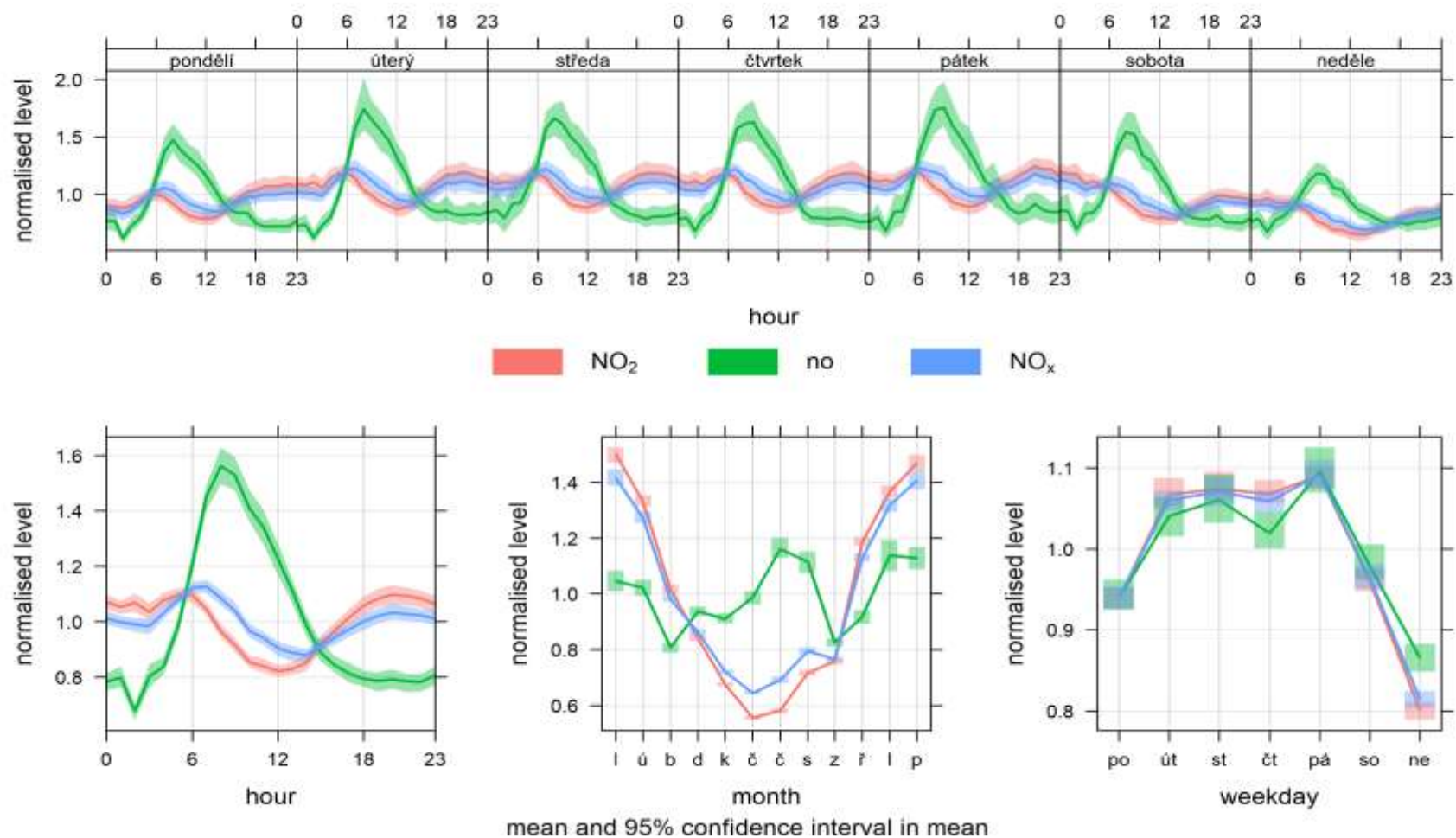
Obr. 153 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace NO_2 , Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016



Obr. 154 – Přehled průměrných koncentrací NO₂ v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016



Obr. 155 – Přehled průměrných koncentrací NO₂ v jednotlivých hodinách vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, členěno dle měsíců a toků, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016 [13]



Obr. 156 – Normalizované hodnoty průměrných koncentrací NO_2 , NO a NO_x v hodinovém, týdenním a měsíčním chodu, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

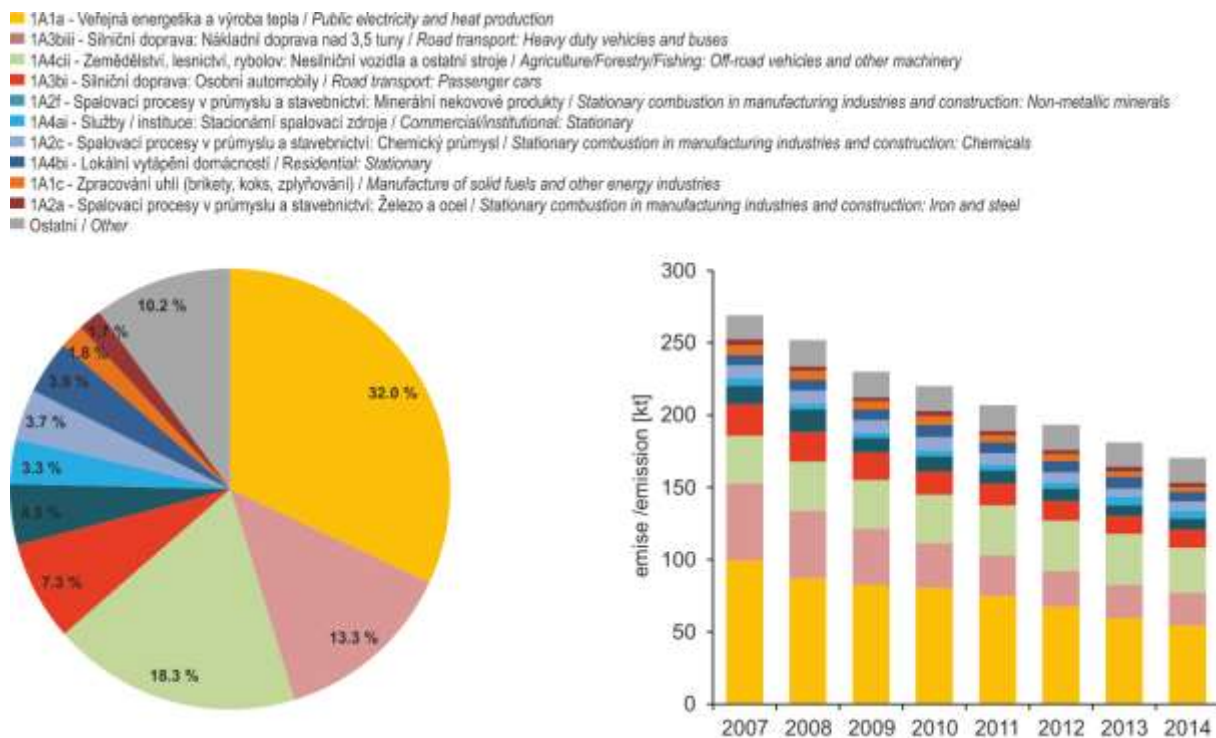
3.4 EMISE OXIDŮ DUSÍKU

3.4.1 Emise oxidů dusíku v ČR [2]

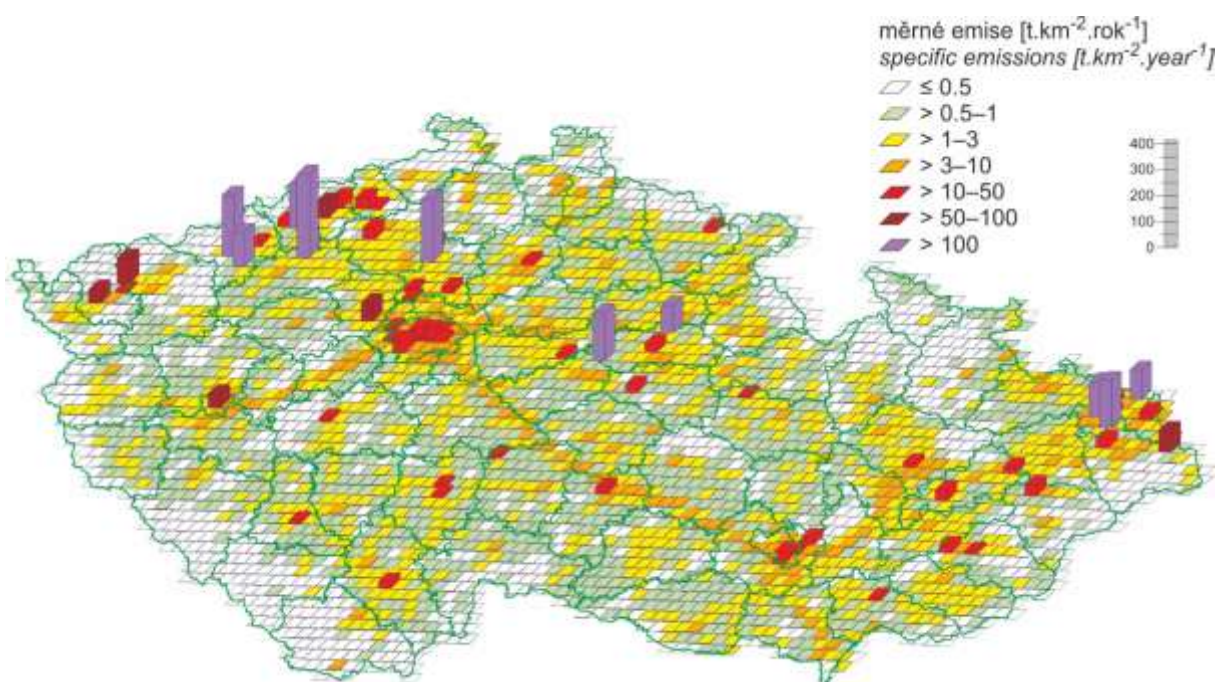
Emise oxidů dusíku (NO_x) se tvoří při spalování paliv v závislosti na teplotě spalování, obsahu dusíku v palivu a přebytku spalovacího vzduchu. Emise NO_x vznikají i při některých chemicko-technologických procesech (výroba kyseliny dusičné, amoniaku, hnojiv apod.). Zatímco při spalování paliv se podíl NO_2 v emisích NO_x pohybuje obvykle v intervalu do 5 %, u některých chemicko-technologických procesů může podíl NO_2 představovat až 100 % emisí NO_x [26].

Největší množství emisí NO_x pochází z dopravy. Sektory 1A3biii-Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5 t, 1A3bi-Silniční doprava: Osobní automobily a 1A4cii-Zemědělství, lesnictví, rybolov: Nesilniční vozidla a ostatní stroje se na celorepublikových emisích NO_x v roce 2014 podílely 38,9 % (Obr. 157). V sektoru 1A1a-Veřejná energetika a výroba tepla bylo do ovzduší vneseno 32,0 % emisí NO_x . Klesající trend emisí NO_x v období let 2007–2014 souvisí především s přirozenou obnovou vozového parku a se zavedením emisních stropů pro emise NO_x ze zdrojů v sektoru 1A1a-Veřejná energetika a výroba tepla (Obr. 157) [2], [17].

Podíl jednotlivých typů zdrojů na celkových emisích se liší podle konkrétní skladby zdrojů v dané oblasti. Produkce emisí NO_x je soustředěna především podél dálnic, komunikací s intenzivní dopravou, ve velkých městech a v krajích (Ústecký, Středočeský, Moravskoslezský), ve kterých jsou umístěny významnější energetické výrobní celky (Obr. 158).



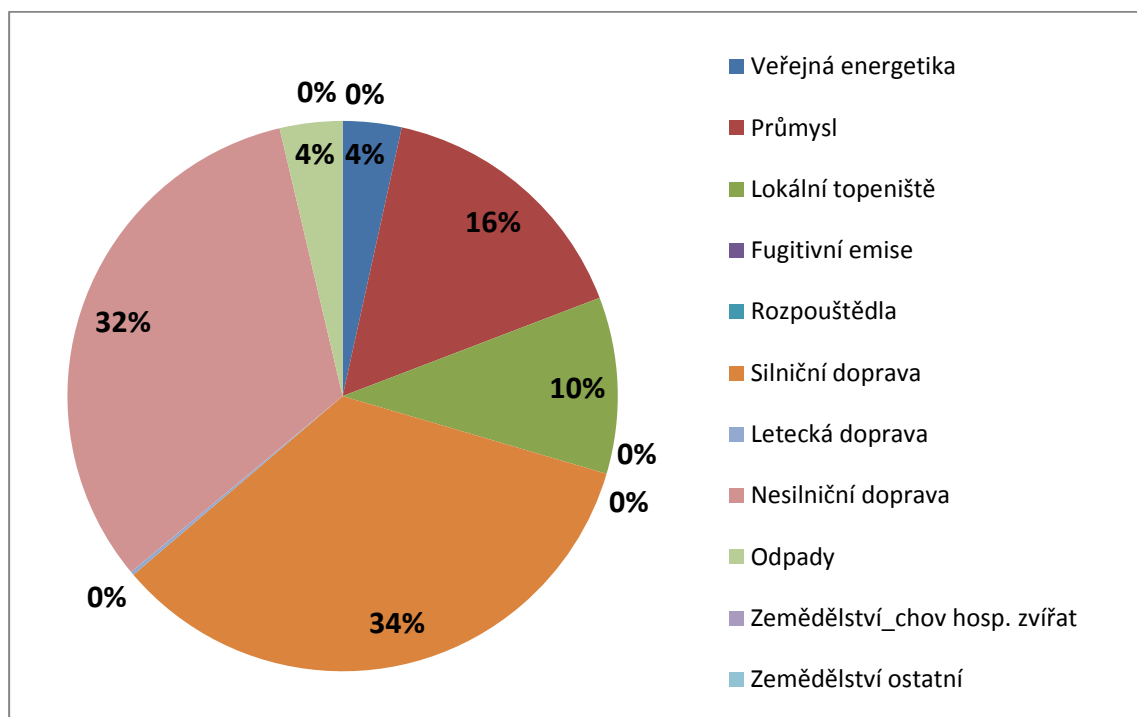
Obr. 157 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích NO_x v ČR v roce 2014, včetně vývoje 2007 – 2014



Obr. 158 – Emisní hustoty NO_x ze čtverců 5 x 5 km, Česká republika, 2014

3.4.2 Emise oxidů dusíku v Jihomoravském kraji

Emisní bilance oxidů dusíku v Jihomoravském kraji byla připravena z reportovaných emisí v rozložení EMEP-GRID [19] a členěných dle hlavních sektorů (GNFR) [20]; použity byly hodnoty emisí NO_x za rok 2015. Na rozdíl od celorepublikových dat členěných dle jednotlivých sektorů NFR (viz předchozí kapitola) nejsou údaje na úrovni krajů v tomto podrobném členění dostupné. Pro přehled podílu zdrojů na emisích NO_x v Jihomoravském kraji jsou však naprosto dostačující. Zastoupení jednotlivých sektorů GNFR zobrazuje následující Obr. 159.



Obr. 159 – Podíl jednotlivých sektorů zdrojů GNFR na emisích NO_x v Jihomoravském kraji, rok 2015 [17]

Z grafu na Obr. 159 je patrné, že zhruba 2/3 všech emisí NO_x v Jihomoravském kraji vyprodukuje silniční a nesilniční doprava. V rámci silniční dopravy lze z celorepublikových statistik usuzovat na to, že zhruba 2/3 emisí připadá na nákladní dopravu nad 3,5 t a 1/3 na osobní automobily. V Jihomoravském kraji se emise NO_x z nesilniční dopravy (zemědělské, lesní a stavební stroje, vozidla armády, stavební stroje, údržba zeleně, apod.) téměř vyrovnají emisím z dopravy silniční.

Průmyslové zdroje se podílí na celkových emisích NO_x zhruba 16 % a lokální topeniště 10 %. Veřejná energetika a zpracování odpadů se na emisích NO_x podílí shodně 4 %.

4 TROPOSFÉRICKÝ OZÓN O₃

O₃ nemá v atmosféře vlastní významný zdroj. Jedná se o tzv. sekundární látku vznikající v celé řadě velmi komplikovaných nelineárních fotochemických reakcí [27]. Prekurzory O₃ jsou oxidy dusíku (NO_x) a nemetanické těkavé organické látky (NMVOC), v globálním měřítku hrají roli i metan (CH₄) a oxid uhelnatý (CO). Důležitou reakcí je fotolýza NO₂ zářením o vlnové délce 280–430 nm, při které vzniká NO a atomární kyslík. Reakcí atomárního a molekulárního kyslíku pak za přítomnosti katalyzátoru dochází ke vzniku molekuly O₃. Současně probíhá titrace O₃ oxidem dusnatým za vzniku NO₂ a O₂. Pokud je při této reakci O₃ nahrazen radikály, jeho koncentrace v atmosféře rostou. Důležitou úlohu při těchto reakcích hraje zejména radikál OH.

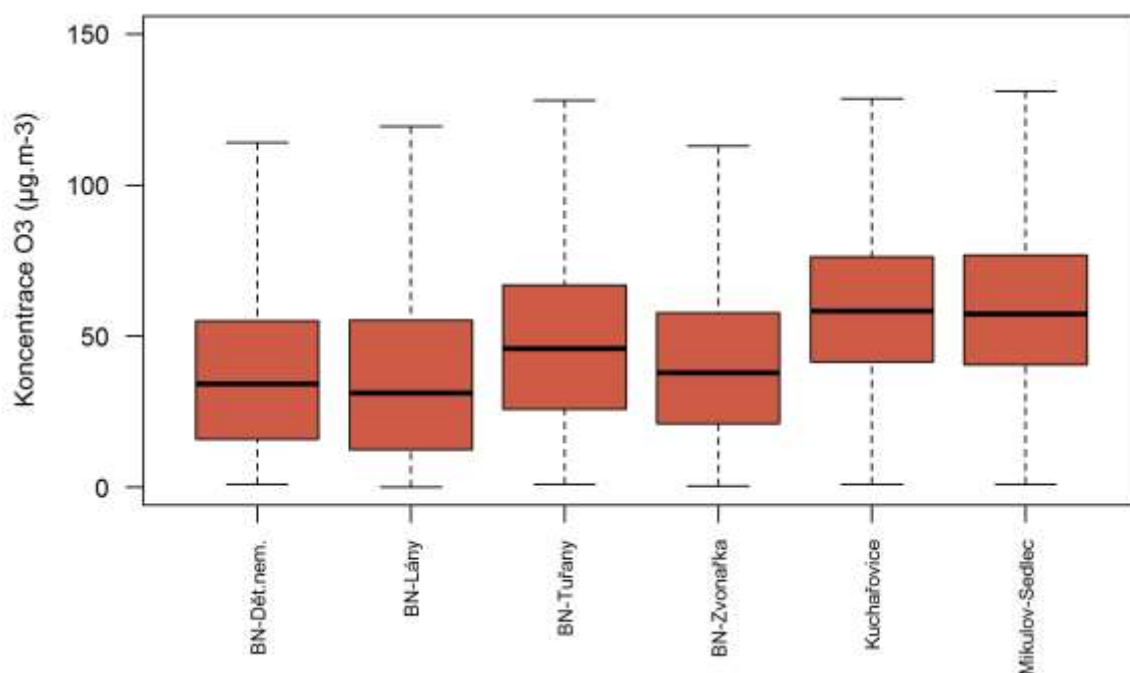
NO_x vznikají při veškerých spalovacích procesech. NMVOC jsou emitovány z celé řady zdrojů antropogenních (doprava, manipulace s ropou a jejími deriváty, rafinerie, použití barev a rozpouštědel atd.), ale i přirozených (např. biogenní emise z vegetace).

Při vzniku O₃ z prekurzorů nezáleží pouze na absolutním množství prekurzorů, ale i na jejich vzájemném poměru [28]. V oblastech, kde je režim limitovaný NO_x, charakterizovaný relativně nízkými koncentracemi NO_x a vysokými koncentracemi VOC, narůstají koncentrace O₃ s rostoucími koncentracemi NO_x, zatímco se vzrůstajícími koncentracemi VOC se mění jen málo. Naopak v oblastech s režimem limitovaným VOC dochází k poklesu koncentrací O₃ s rostoucími koncentracemi NO_x a nárůstu koncentrací O₃ s rostoucími koncentracemi VOC. Oblasti s vysokým poměrem NO_x/VOC jsou typicky znečištěné oblasti okolo center velkých měst. Závislost vzniku O₃ na počátečních koncentracích VOC a NO_x se často vyjadřují na diagramech ozonových isopleť. Jedná se o zobrazení maximální dosažené koncentrace ozonu jako funkce počáteční koncentrace NO_x a VOC. Významnou roli při vzniku O₃ hrají nejen koncentrace prekurzorů, ale i meteorologické podmínky [29]. Imisní koncentrace O₃ rostou s rostoucím ultrafialovým zářením a teplotou, naopak klesají s rostoucí relativní vlhkostí vzduchu. Vysoké koncentrace bývají spojeny s déletrvající anticyklonální situací. Kromě výše popsaného fotochemického mechanismu se koncentrace O₃ mohou zvyšovat i epizodicky v důsledku průniku stratosférického O₃ do troposféry a též při bouřkách. V poslední době se též zvyšuje význam dálkového přenosu O₃ v rámci proudění na severní polokouli do Evropy a Severní Ameriky ze zdrojových oblastí jihovýchodní Asie. O₃ je z atmosféry odstraňován reakcí s NO a suchou depozicí.

4.1 8HODINOVÉ KLOUZAVÉ PRŮMĚRY O₃

Z hlediska ochrany kvality ovzduší stanovuje příloha 1, bod 4 zákona o ochraně ovzduší [1] imisní limit pro troposférický ozón. Pro ochranu zdraví lidí platí imisní limit pro maximální denní 8hodinový klouzavý průměr O₃. Hodnota imisního limitu je 120 µg·m⁻³, tato hodnota může být 25x za kalendářní rok překročena. **Plnění imisního limitu se vyhodnocuje na základě průměru za 3 kalendářní roky.**

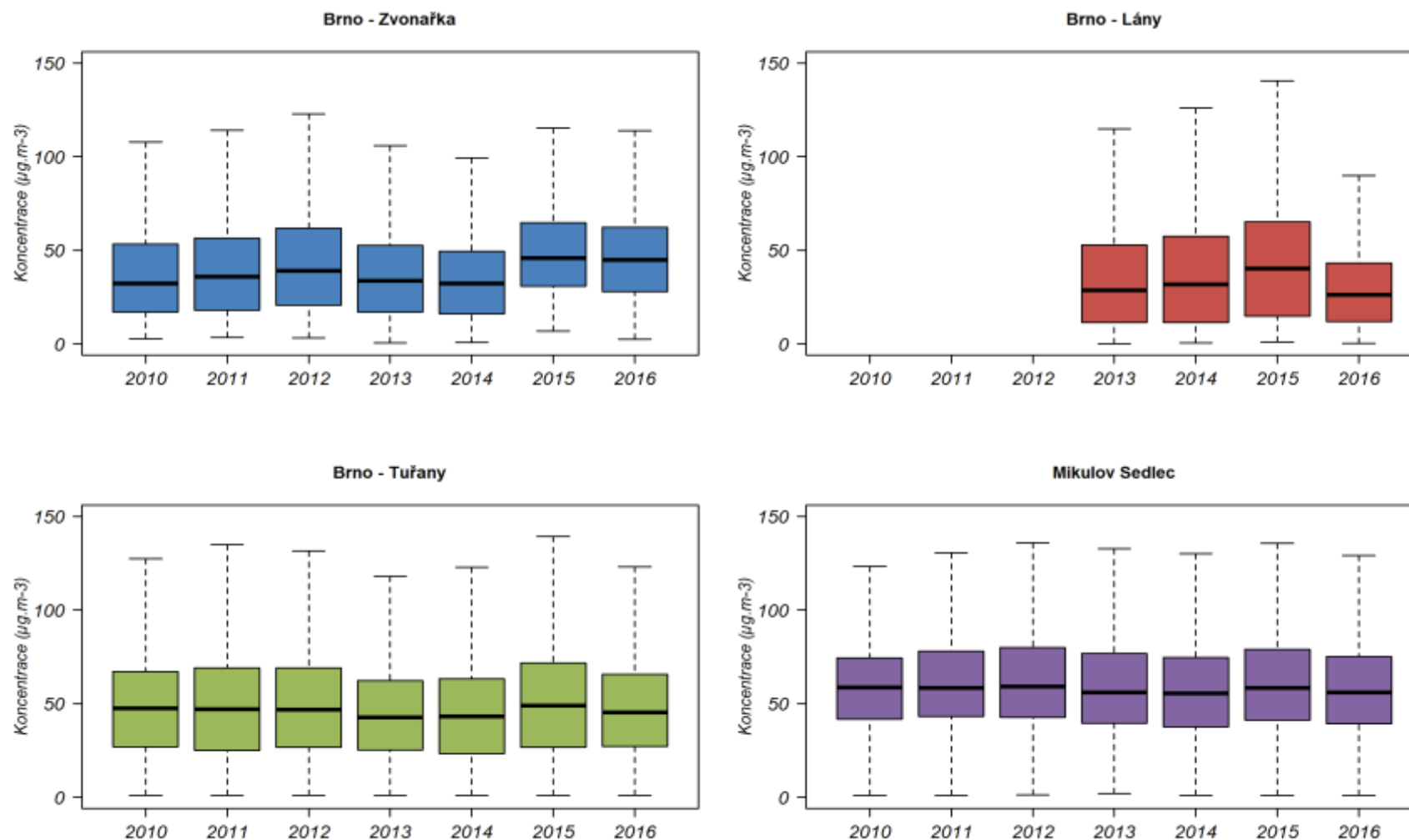
Z tohoto důvodu jsou v následujícím statistickém zpracování na Obr. 160 zobrazeny hodnoty 8hodinových klouzavých průměrů.



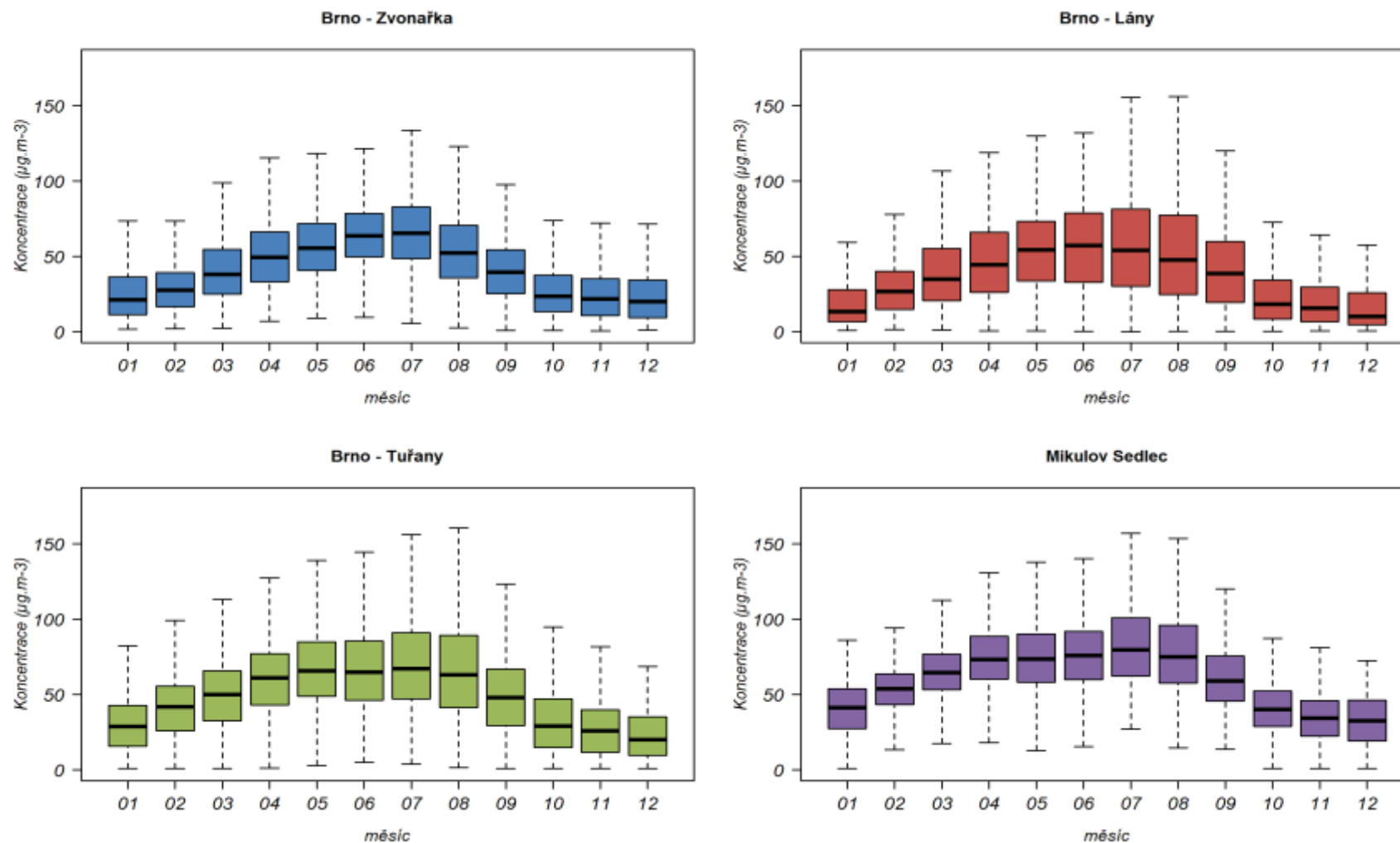
Obr. 160 – Statistické zpracování 8hodinových klouzavých průměrů koncentrací O_3 na jednotlivých stanicích SSIM v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)

Z Obr. 160 je patrné, že nejvyšší mediány 8hodinových klouzavých průměrů koncentrací O_3 jsou měřeny na venkovských pozadových lokalitách Kuchařovice a Mikulov – Sedlec. Mírně zvýšený medián koncentrací má i lokalita Brno – Tuřany, která se však 95. percentilem blíží venkovským lokalitám – stanice dosahuje podobných maximálních koncentrací. Městské lokality pak dosahují nejnižších mediánů koncentrací. Nejnižší 95. percentil pak měří dopravní lokalita Brno – Zvonařka.

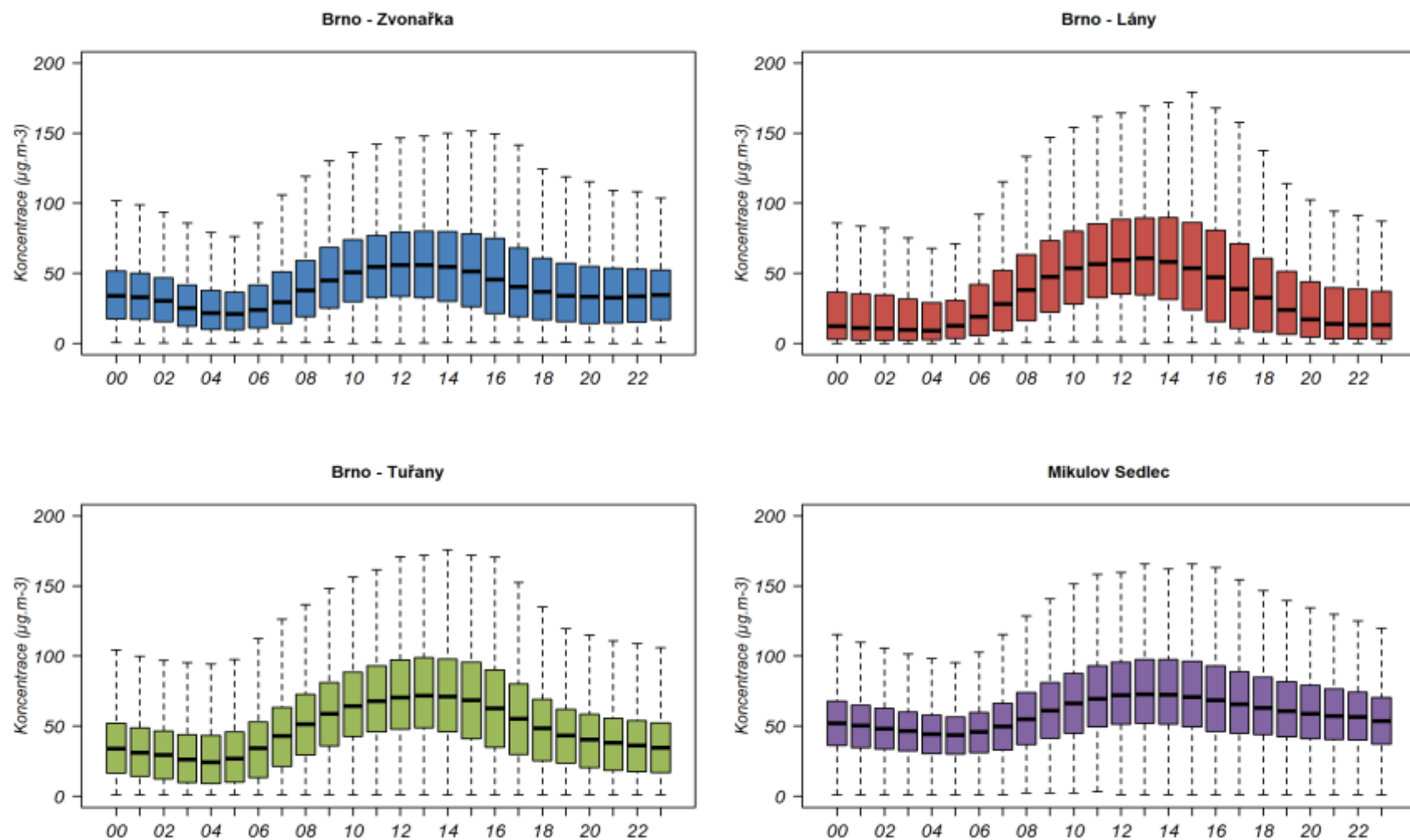
Následující Obr. 161 – Obr. 163 zobrazují statistické zpracování koncentrací O_3 na vybraných stanicích SSIM v Jihomoravském kraji. Na rozdíl od předchozích kapitol byla jako dopravní lokalita použita stanice Brno – Zvonařka, která je jedinou dopravní stanicí v kraji, na které je troposférický ozón měřen. Z Obr. 161 je patrné, že mediány 8hodinových klouzavých průměrů koncentrací se v jednotlivých letech téměř nemění. Výraznější rozdíly, ovlivněné meteorologickými podmínkami, lze pozorovat u nejvyšších koncentrací, zde reprezentovaných 95. percentilem. Z hlediska měsíčních chodů 8hodinových klouzavých průměrů koncentrací O_3 lze vypořádat charakteristický měsíční chod, který je stejný na všech lokalitách a liší se pouze absolutní koncentrací. Maxim je dosahováno v letních měsících s dostatečným slunečním svitem a vysokými teplotami (Obr. 162). V denním chodu na Obr. 163 již jsou zobrazeny **hodinové** koncentrace O_3 . Opět je patrný charakteristický denní chod s maximy mezi 11. a 15. hodinou (UTC), kdy panují nejlepší podmínky pro tvorbu O_3 . V měsíčním i denním chodu lze pozorovat opačné trendy než u NO_2 zejména na pozadových stanicích, což je logický důsledek tvorby O_3 z prekurzorů NO_2 a VOC.



Obr. 161 – Statistické zpracování 8hodinových klouzavých průměrů koncentrací O_3 na vybraných stanicích SSIM v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016, členěné dle jednotlivých roků, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)



Obr. 162 – Statistické zpracování 8hodinových klouzavých průměrů koncentrací O₃ na vybraných stanicích SSIM v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016, členěné dle jednotlivých měsíců, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)

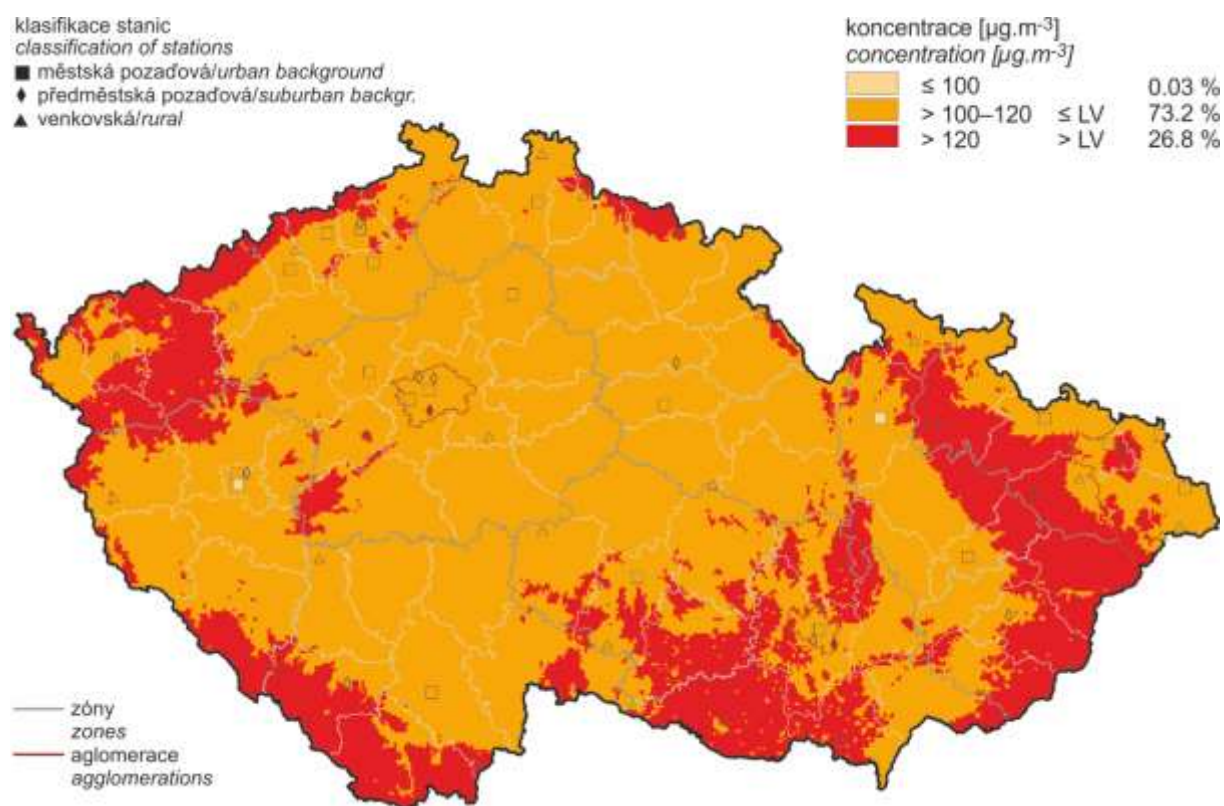


Obr. 163 – Statistické zpracování **hodinových** koncentrací O_3 na vybraných stanicích SSIM v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016, členěné dle jednotlivých hodin, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)

4.1.1 Vztah k imisnímu limitu

Z hlediska ochrany kvality ovzduší stanovuje příloha 1, bod 4 zákona o ochraně ovzduší [1] imisní limit pro troposférický ozón. Pro ochranu zdraví lidí platí imisní limit pro maximální denní 8hodinový klouzavý průměr O_3 . Hodnota imisního limitu je $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, tato hodnota může být 25x za kalendářní rok překročena. **Plnění imisního limitu se vyhodnocuje na základě průměru za 3 kalendářní roky.**

Následující Obr. 164 zobrazuje území s překročeným imisním limitem pro ochranu zdraví lidí pro troposférický ozón na území ČR v letech 2013 – 2015. Z mapky je patrné, že k překročení dochází zejména v horských oblastech, kde jsou nízké koncentrace ostatních látek, se kterými by mohl ozón reagovat. Více zasažená je jižní Morava, kde jsou nejpříhodnější meteorologické podmínky pro vznik troposférického ozónu (sluneční svit, teplota).



Obr. 164 – Pole 26. nejvyššího maximálního denního 8hod. klouzavého průměru koncentrace troposférického ozónu v průměru za 3 roky, ČR, 2013 – 2015

Ze seznamu stanic s nejvyššími hodnotami maximálních denních 8hod. klouzavých průměrných koncentrací ozónu [2] měřících 3 roky vyplývá, že se jedná výhradně o pozadíové lokality, převážně venkovské nebo předměstské. Jihomoravský kraj pak není výjimkou, počty překročení hodnoty imisního limitu pro ochranu zdraví lidí z hlediska troposférického ozónu uvádí Tab. 14.

Tab. 14 – Počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro ochranu zdraví lidí pro troposférický ozón, Jihomoravský kraj, 2010 – 2016

Lokalita	Eol	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Brno – Dětská nemocnice	B/U/RC						19	16,3
Brno-Lány	B/S/RN					6	20	14,7
Brno-Zvonařka	T/U/C	2	3	3	5,5	9	9	3
Brno-Tuřany	B/S/R	23,3	28,7	30	29,3	22,7	26,7	30,3
Kuchařovice	B/U/R	24,3	25,7	27	30	26,7	30,3	30
Mikulov-Sedlec	B/R/A-REG	31,3	29	29,7	30,7	27,3	28,7	28,3

Vysvětlivky: Pokud je hodnota vyvedena červeným písmem, došlo v daném roce a na dané lokalitě k překročení imisního limitu. Význam zkratk Eol je uveden v příloze 2 této studie.

Z Tab. 14 je patrné, že k překračování imisního limitu dochází pouze na venkovských a předměstských pozadových lokalitách. Městské pozadové lokality zaznamenaly pouze podlimitní počet překročení hodnoty imisního limitu. Dopravní stanice Brno-Zvonařka pak naměřila pouze několik dní s maximálním 8hodinovým klouzavým průměrem koncentrací troposférického ozónu vyšším, než $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

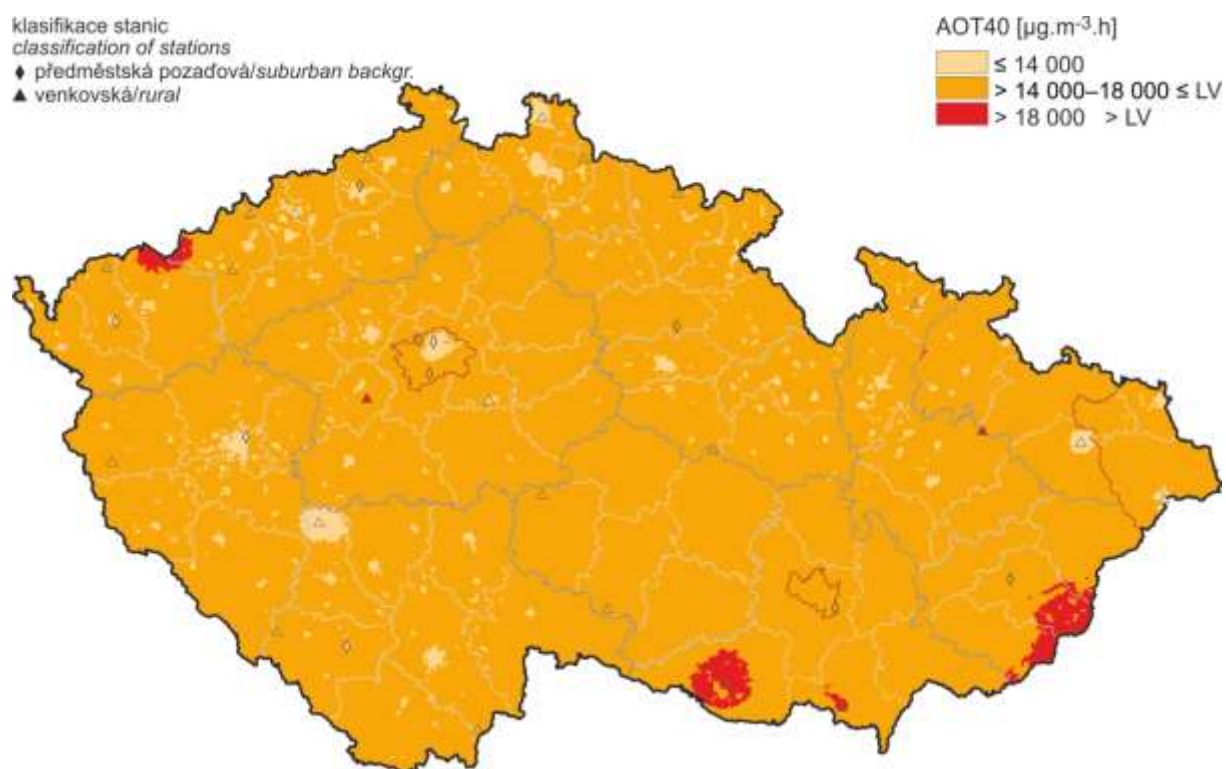
4.2 INDEX AOT40

Troposférický ozón má rovněž imisní limit pro ochranu vegetace. Limit je určen pro index AOT40, hodnota imisního limitu je $18.000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$. Plnění imisního limitu se vyhodnocuje na základě průměru za 5 kalendářních let. Ze zákona o ochraně ovzduší [1] vyplývá, že index AOT40 znamená součet rozdílů mezi hodinovou koncentrací O_3 vyšší než $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a hodnotou $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v dané periodě užitím pouze hodinových hodnot změřených každý den mezi 8:00 a 20:00 SEČ, vypočtený v letním období (1. května – 31. července).

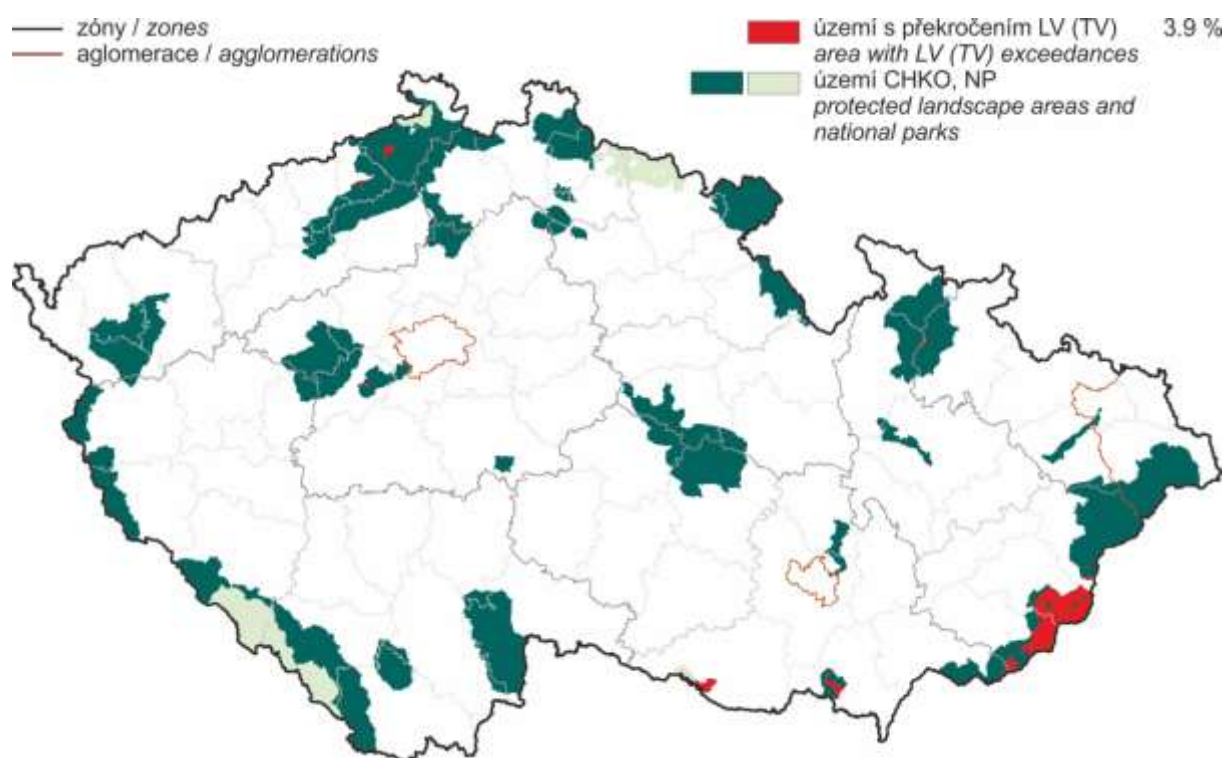
Z Obr. 165 vyplývá, že imisní limit pro ochranu vegetace z hlediska troposférického ozónu je překračován pouze na několika málo územích ČR, přičemž dvě ze stanic, které tento limit překračují (Kuchařovice, Mikulov – Sedlec) leží v Jihomoravském kraji. Jedná se o lokality, kde jsou dlouhodobě zvýšené koncentrace troposférického ozónu.

Troposférický ozón se tak významněji podílí na vymezení území s překročenými imisními limity pro ochranu vegetace a ekosystémů na území ČR (Obr. 166). V rámci Jihomoravského kraje se troposférický ozón podílí na překročení imisního limitu pro ochranu vegetace a ekosystémů na zhruba 43 % území NP Podyjí a zhruba 27 % CHKO Pálava. V CHKO Moravský Kras není imisní limit pro ochranu vegetace a ekosystémů překročen.

Žádné jiné škodliviny než troposférický ozón se na překračování imisního limitu pro ochranu vegetace a ekosystémů v Jihomoravském kraji nepodílí [2].



Obr. 165 – Pole expozičního indexu AOT40, průměr za 5 let, ČR, 2011 – 2015



Obr. 166 – Vyznačení oblastí s překročenými imisními limity pro ochranu vegetace a ekosystémů na území NP a CHKO se zahrnutím troposférického O_3 , ČR, 2015

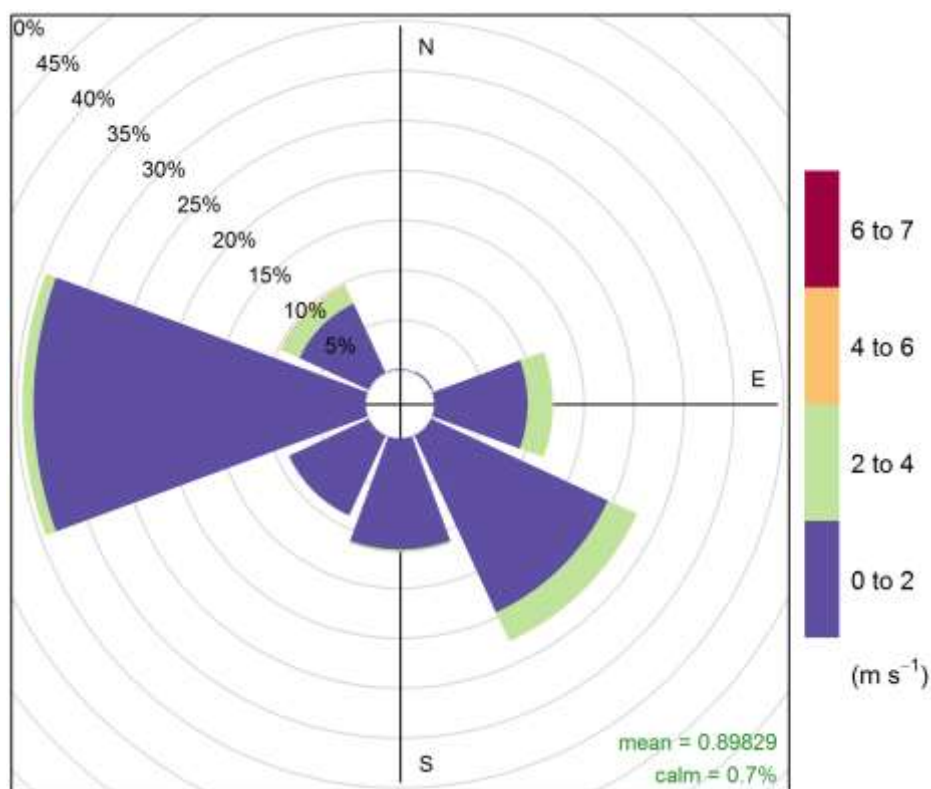
4.3 DETAILNÍ ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ O₃ NA VYBRANÝCH STANICÍCH

Pro detailní hodinovou analýzu budou použita detailní data nejen o znečištění ovzduší, ale také doprovodné meteorologické charakteristiky jako jsou teplota či rychlost a směr větru zpracované pomocí statistického software R [10], [11]. Z tohoto důvodu není možné provést hodnocení podle typu stanic, protože by se ztratila právě přidaná hodnota meteorologických veličin. Tyto detailní analýzy budou provedeny na vybraných stanicích Brno – Zvonařka (Brno – Svatoplukova troposférický O₃ neměří), Brno – Lány, Brno – Tuřany a Mikulov – Sedlec. Analýzy budou prováděny z hodinových dat za období 2010 – 2016 (až 61368 hodnot). **Všechn čas je kvůli jednoznačnosti uváděn v UTC.**

4.3.1 Brno – Zvonařka

4.3.1.1 Větrná růžice

Základem analýz je větrná růžice v dané lokalitě. Větrnou růžici pro lokalitu Brno – Zvonařka uvádí následující Obr. 167.

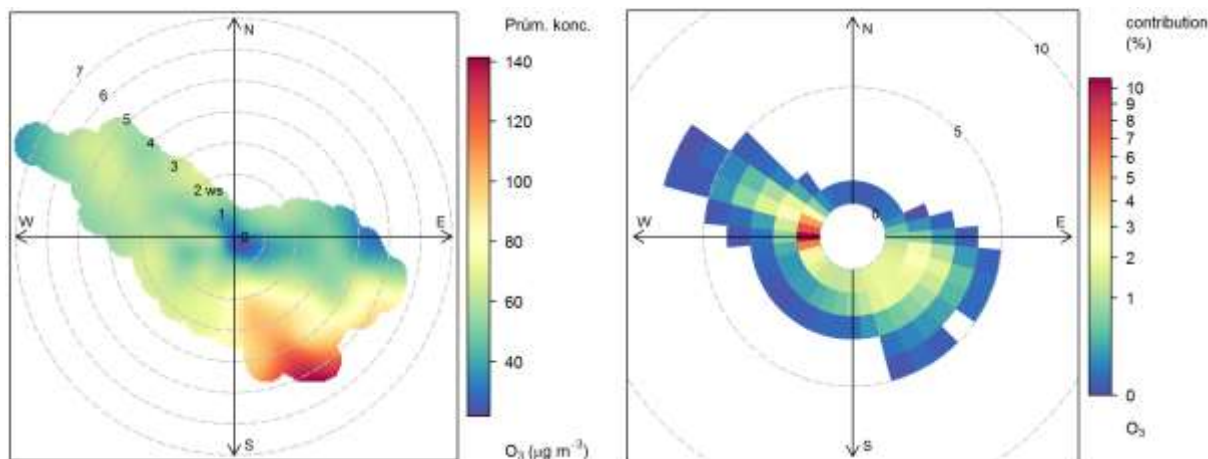


Obr. 167 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, Brno – Zvonařka, 2010 – 2016

Větrná růžice respektuje zástavbu v lokalitě, proto převládá západní a jihovýchodní proudění. Severní směry chybí, protože v blízkosti měřicí stanice stojí budova.

4.3.1.2 Imisní růžice

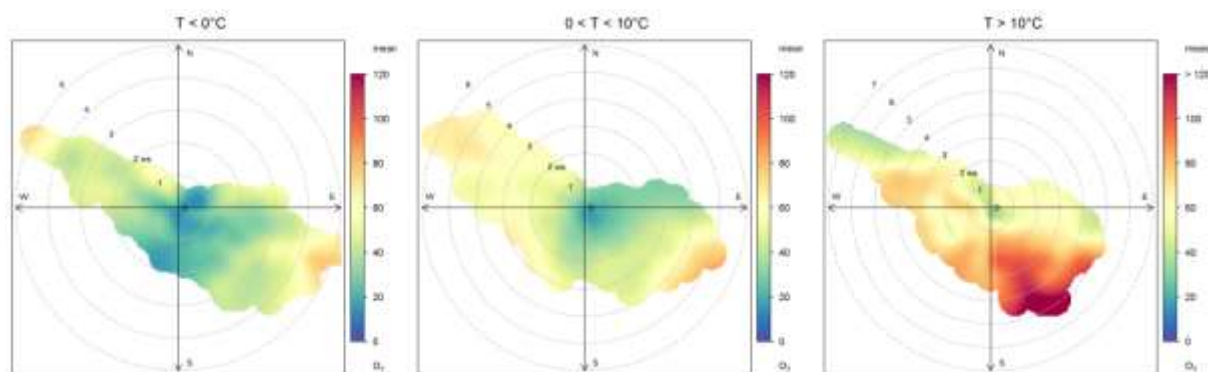
Díky znalosti rychlosti a směru větru a koncentrace O_3 je možné zkonstruovat koncentrační růžice pro tuto škodlivinu. Na Obr. 168 je vlevo zobrazena koncentrační růžice – průměrná koncentrace O_3 je v ní zobrazena jako funkce rychlosti a směru větru. Růžice vpravo pak nezobrazuje průměrnou koncentraci, ale vážený průměr. Růžice tedy zobrazuje procentuální příspěvek jednotlivých rychlostí a směrů větru k měřeným koncentracím O_3 v lokalitě Brno – Svatoplukova.



Obr. 168 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážení koncentrační růžice (vpravo) pro O_3 , Brno – Zvonařka, 2010 – 2016

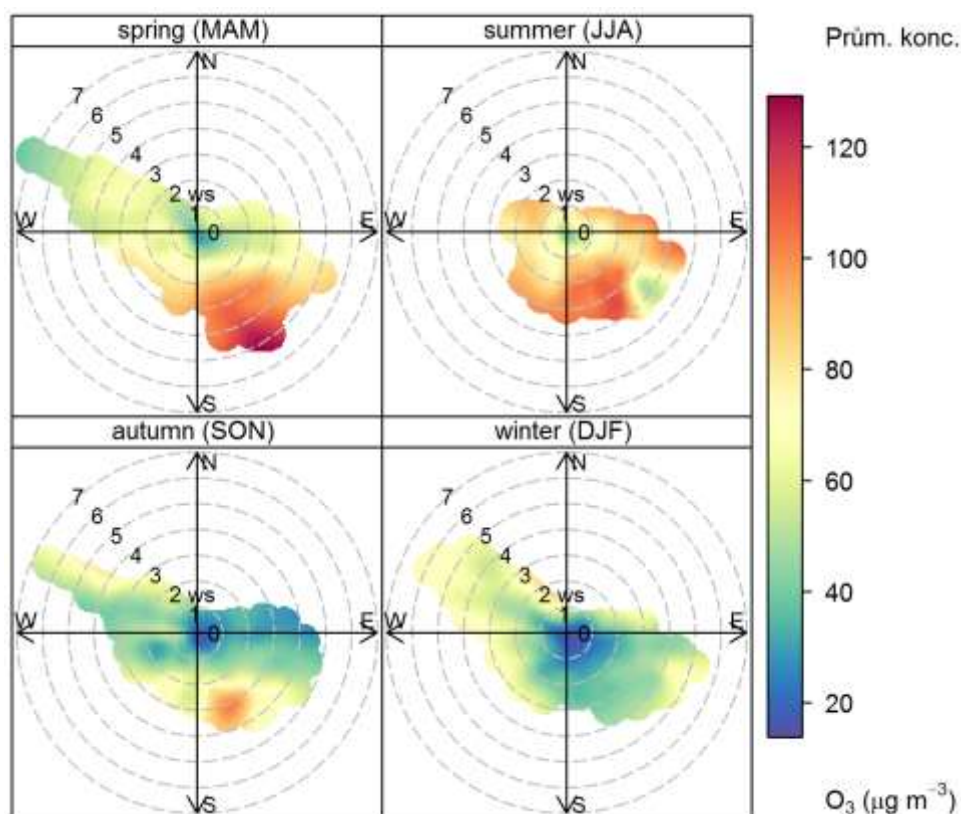
Z koncentrační růžice vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace O_3 dosahovány při jihovýchodním proudění a vyšších rychlostech větru. Z hlediska vážené koncentrační růžice pak dominuje západní směr, což je směr nejčastějšího proudění větru v této lokalitě.

Následující Obr. 169 zobrazuje teplotně členěnou koncentrační růžici průměrných koncentrací O_3 .



Obr. 169 – Teplotně členěná koncentrační růžice O_3 , Brno – Zvonařka, 2010 – 2016

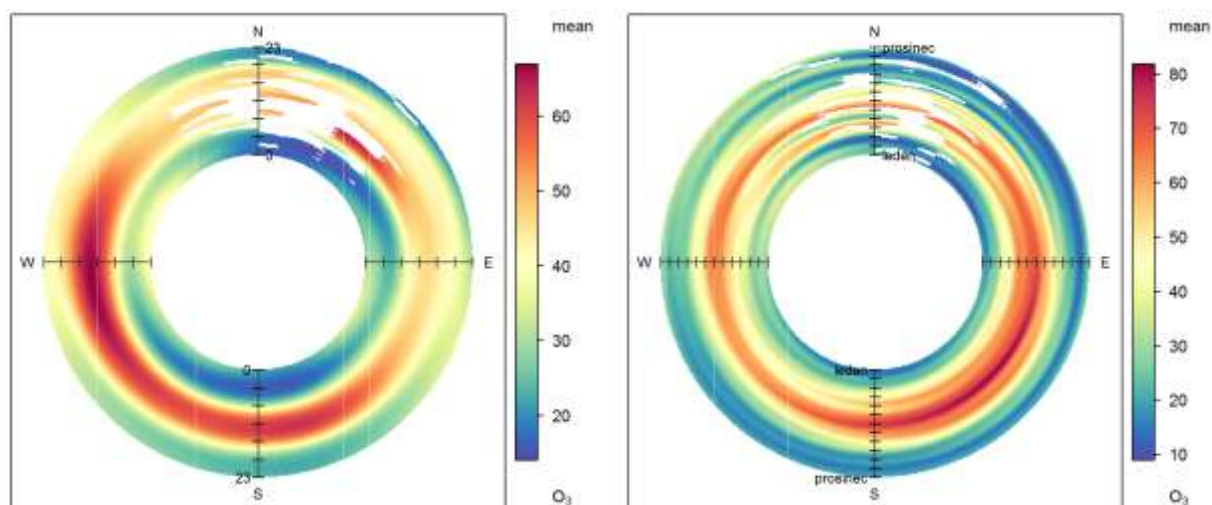
Z teplotně členěné koncentrační růžice vyplývá, že nejvyšších koncentrací je dosahováno v teplých dnech, kdy jsou nejvhodnější podmínky pro tvorbu O_3 (Obr. 169). Zvýšené koncentrace lze v této lokalitě pozorovat zejména na jaře a v létě, v zimě jsou naopak koncentrace jen velmi nízké (Obr. 170).



Obr. 170 – Koncentrační růžice O_3 členěná dle ročních období, Brno – Zvonařka, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

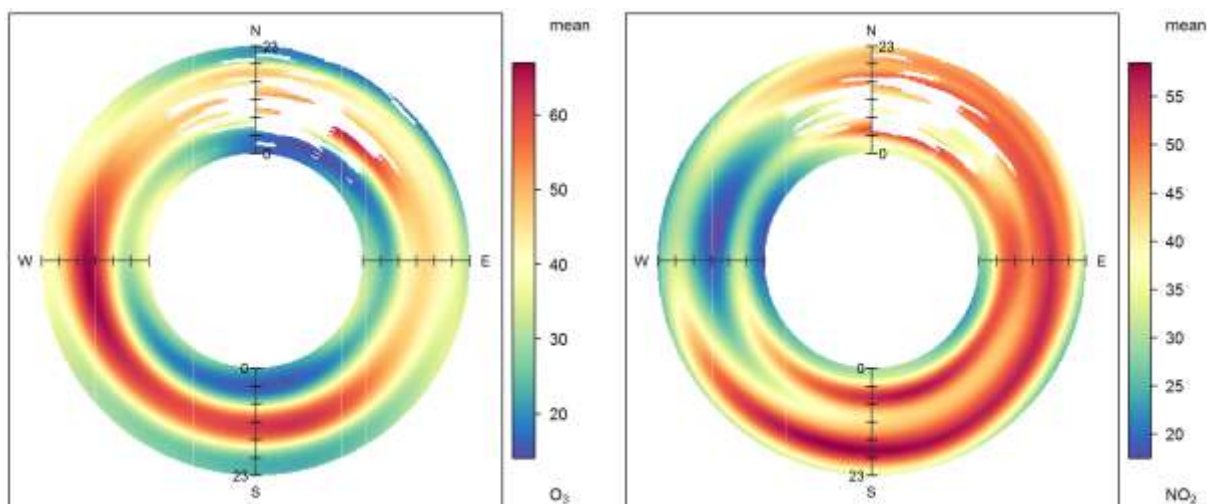
4.3.1.3 Denní a měsíční chod

Díky znalosti hodinových informací meteorologických charakteristik a koncentrací škodlivin je možné sestavit i průměrný denní chod koncentrací v lokalitě v závislosti na směru větru. Graf na Obr. 171 vlevo zobrazuje po hodinách průměrný denní chod O_3 v lokalitě Brno – Zvonařka za roky 2010 až 2016, členěná dle směru větru. Graf na Obr. 171 vpravo zobrazuje totéž, avšak po měsících. Bílé oblasti z východních směrů značí nedostatek dat – stanice je z tohoto směru stíněna budovou.



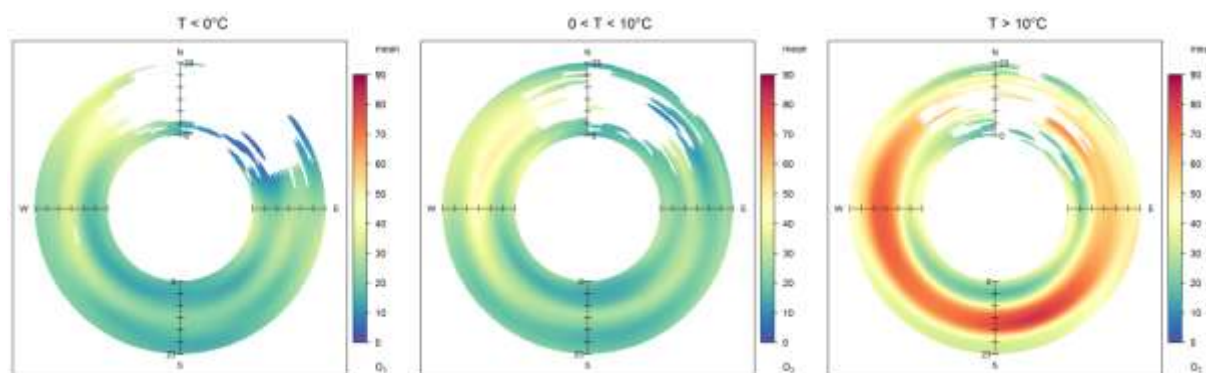
Obr. 171 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace O₃, Brno – Zvonařka, 2010 – 2016

Z grafů na Obr. 171 je patrný charakteristický denní a roční chod koncentrací ozónu – vyšší koncentrace jsou měřeny během dne, nejvyšší pak v letních měsících, kdy je dostatečné množství slunečního svitu a vyšší teploty vzduchu. Srovnání chodu O₃ a NO₂ zobrazuje Obr. 172. Je patrné, že denní chody se částečně doplňují, pokles koncentrací NO₂ mezi 11 – 15 hodinou je částečně způsoben tvorbou O₃ z prekursorů NO₂ a VOC, jehož koncentrace rostou a naopak pokles koncentrací O₃ ve večerních hodinách se odrazí v nárůstu koncentrací NO₂.



Obr. 172 – Průměrný denní chod O₃ dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod NO₂ dle směru větru (vpravo), Brno – Zvonařka, 2010 – 2016

Vliv teploty na denní chod koncentrací O₃ zobrazuje následující Obr. 173. Z grafů je patrné, co již bylo uvedeno dříve, meteorologické podmínky jsou pro tvorbu ozónu a jeho koncentrace zásadní. Mírně zvýšené koncentrace přes den je možné sledovat i při teplotách pod 10 °C, ale jen při vyšších teplotách jsou koncentrace vysoké.



Obr. 173 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací O_3 dle směru větru, Brno – Zvonařka, 2010 – 2016

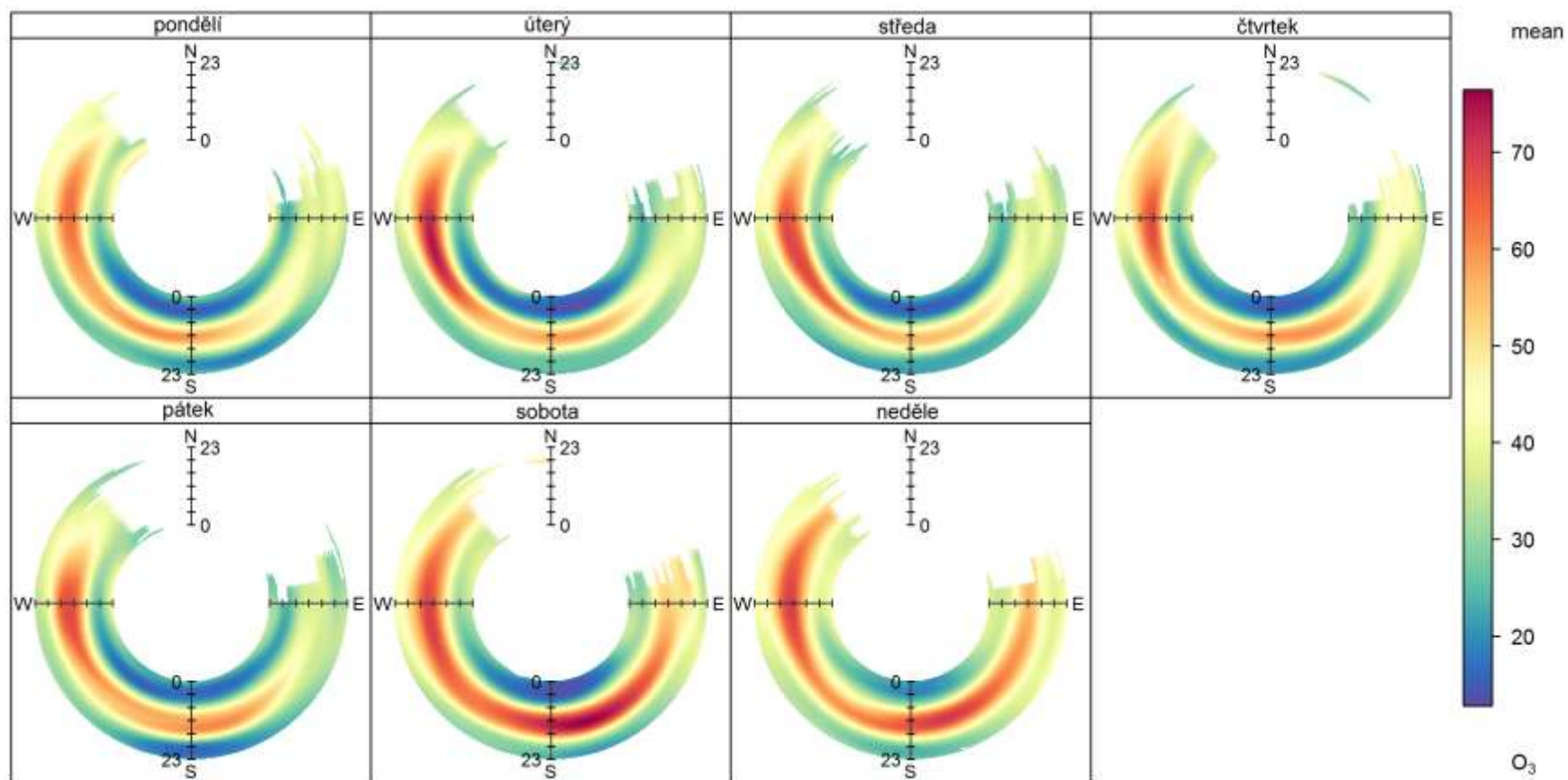
Koncentrace O_3 se na rozdíl od ostatních škodlivin vůbec neliší v pracovní dny a o víkendu (Obr. 174). Koncentrace troposférického ozónu jsou závislé na meteorologických podmínkách a mají charakteristický denní chod.

4.3.1.4 Přehledy koncentrací

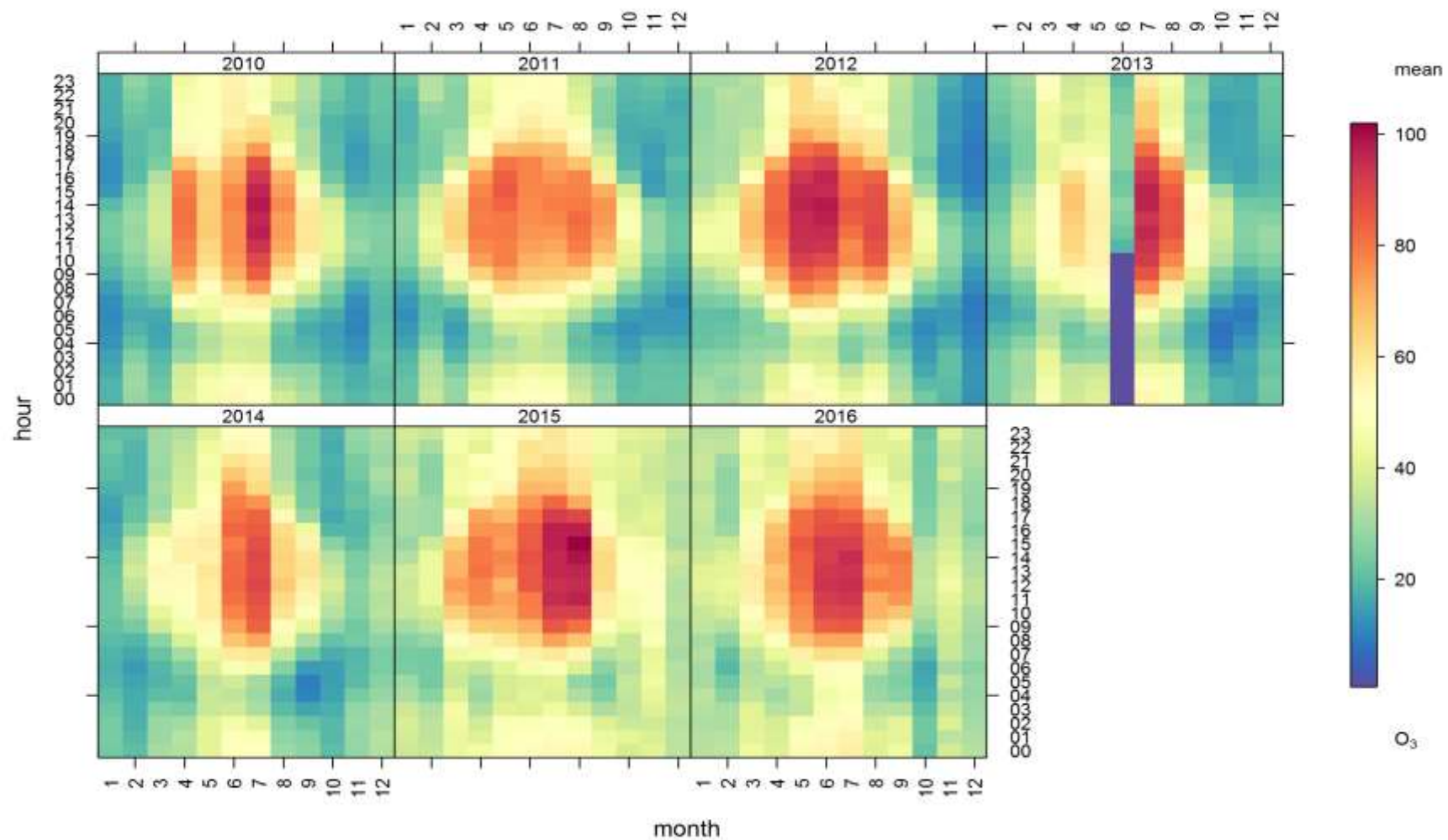
Celkový přehled koncentrací O_3 v lokalitě Brno – Svatoplukova za roky 2010 – 2016 zobrazuje Obr. 175. Zobrazuje průměrnou koncentraci O_3 v jednotlivých hodinách dne, členěné dle měsíců a roků. Z přehledu je patrné, že vyšší koncentrace jsou dosahovány v denních hodinách, zejména pak v letních měsících. Chod je tedy přesně opačný než v případě NO_2 na pozadových lokalitách.

Obr. 176 zobrazuje stejný přehled koncentrací O_3 jako Obr. 175, avšak vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, jako tomu je na stránkách ČHMÚ v hodinovém přehledu [13].

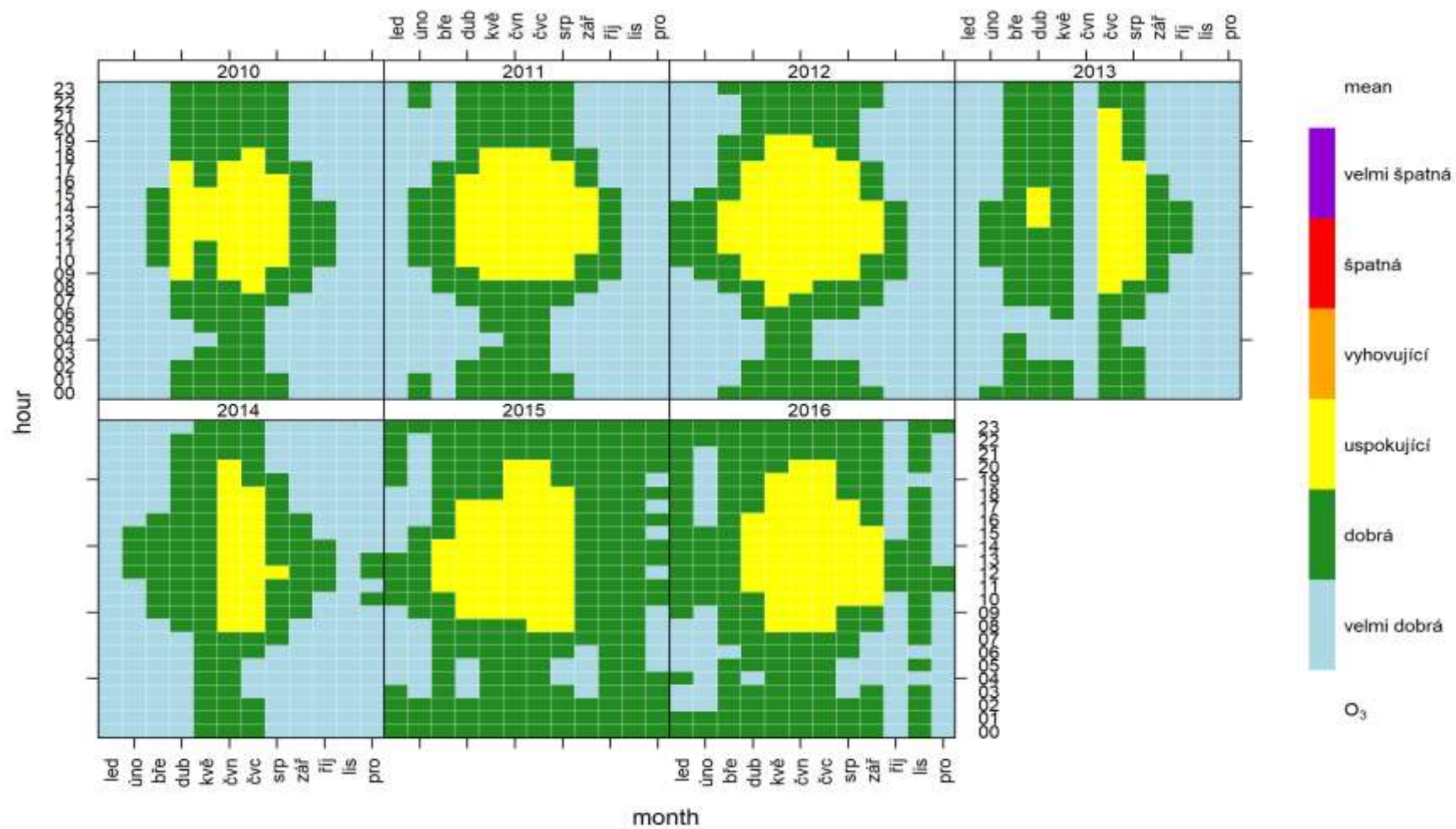
Obr. 177 zobrazuje normalizované hodnoty průměrných koncentrací (k průměru za celý interval) škodlivin O_3 a NO_2 . V denním chodu je patrný přesně opačný vývoj koncentrací jednotlivých škodlivin. Při poklesu koncentrací NO_2 rostou koncentrace O_3 a naopak. Obdobně je to i při ročním chodu měsíčních koncentrací. V týdenním chodu je patrný nárůst koncentrací O_3 o víkendu při současném poklesu koncentrací NO_2 (pokles intenzity dopravy v lokalitě). O víkendu se tak koncentrace O_3 přibližují pozadovým lokalitám.



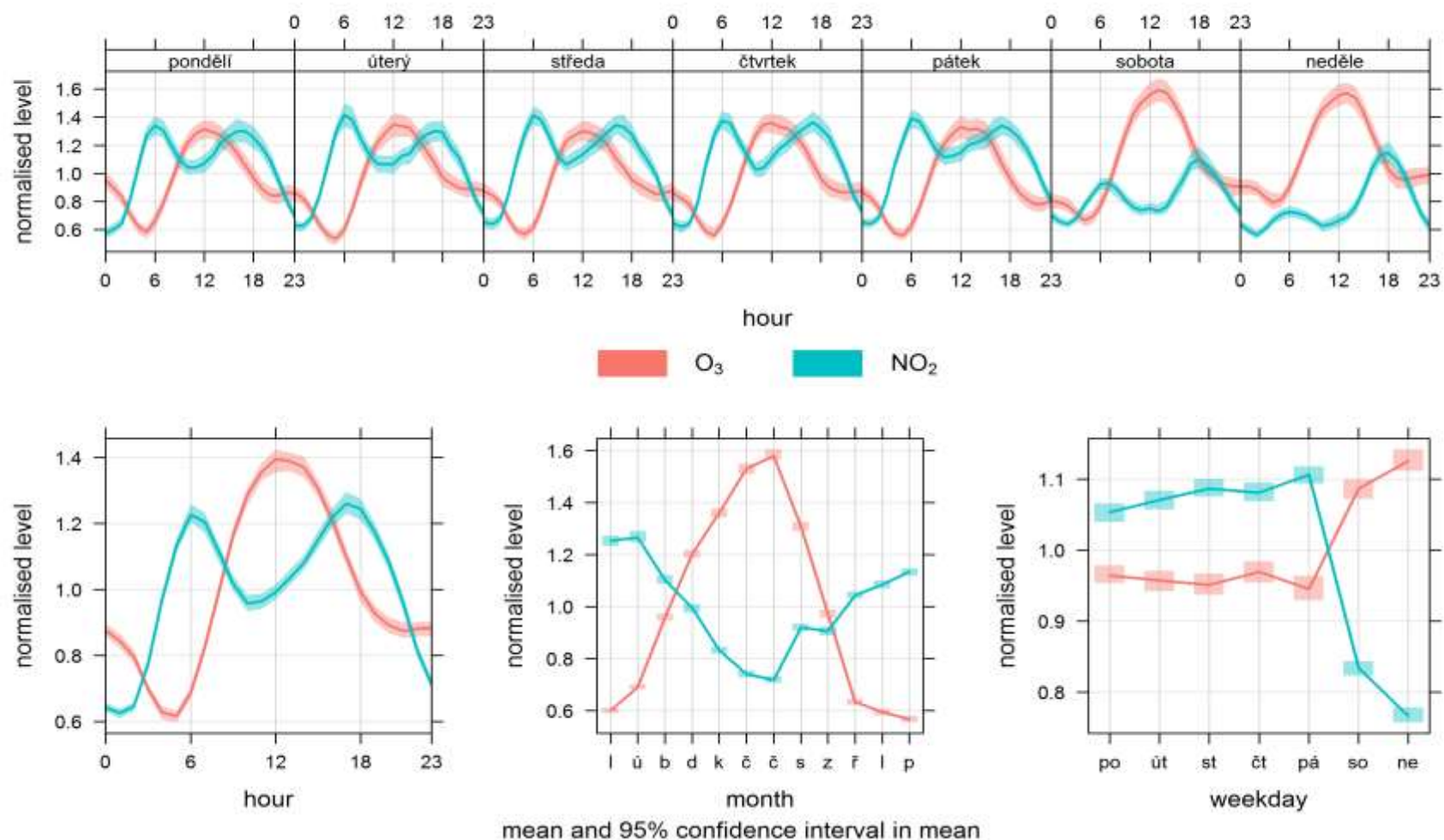
Obr. 174 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace O_3 , Brno – Zvonařka, 2010 – 2016



Obr. 175 – Přehled průměrných koncentrací O₃ v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Brno – Zvonařka, 2010 – 2016



Obr. 176 – Přehled průměrných koncentrací O_3 v jednotlivých hodinách vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, členěno dle měsíců a toků, Brno – Zvonařka, 2010 – 2016 [13]



Obr. 177 – Normalizované hodnoty průměrných koncentrací O_3 a NO_2 v hodinovém, týdenním a měsíčním chodu, Brno – Zvonařka, 2010 – 2016

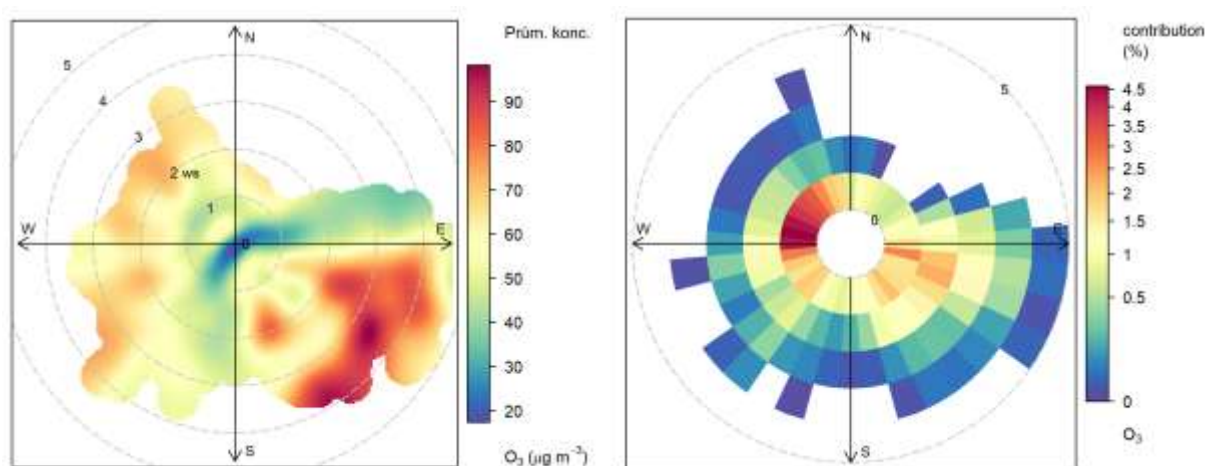
4.3.2 Brno – Lány

4.3.2.1 Větrná růžice

Základem analýz je větrná růžice v dané lokalitě. Ta je shodná pro všechny škodliviny a je uvedena na Obr. 41 v kapitole 2.3.2.1.

4.3.2.2 Imisní růžice

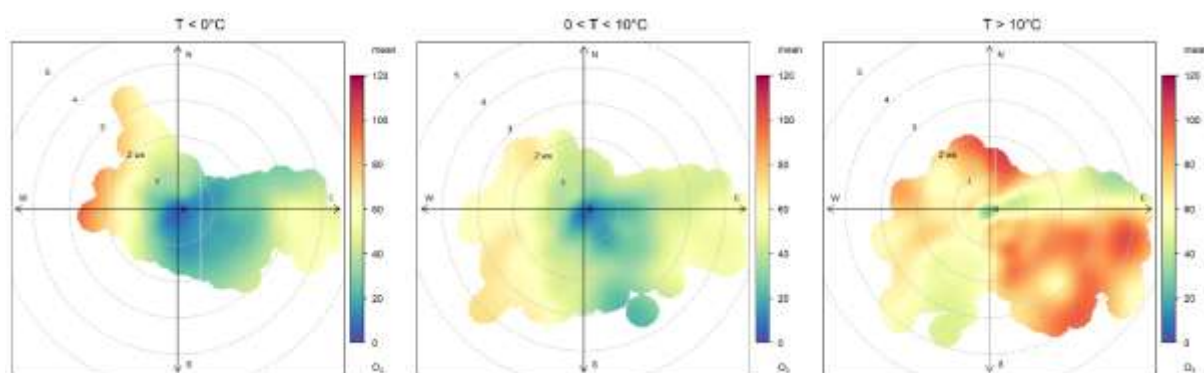
Díky znalosti rychlosti a směru větru a koncentrace O_3 je možné zkonstruovat koncentrační růžice pro tuto škodlivinu. Na Obr. 178 je vlevo zobrazena koncentrační růžice – průměrná koncentrace O_3 je v ní zobrazena jako funkce rychlosti a směru větru. Růžice v pravo pak nezobrazuje průměrnou koncentraci, ale vážený průměr. Růžice tedy zobrazuje procentuální příspěvek jednotlivých rychlostí a směrů k měřeným koncentracím O_3 v lokalitě Brno – Lány.



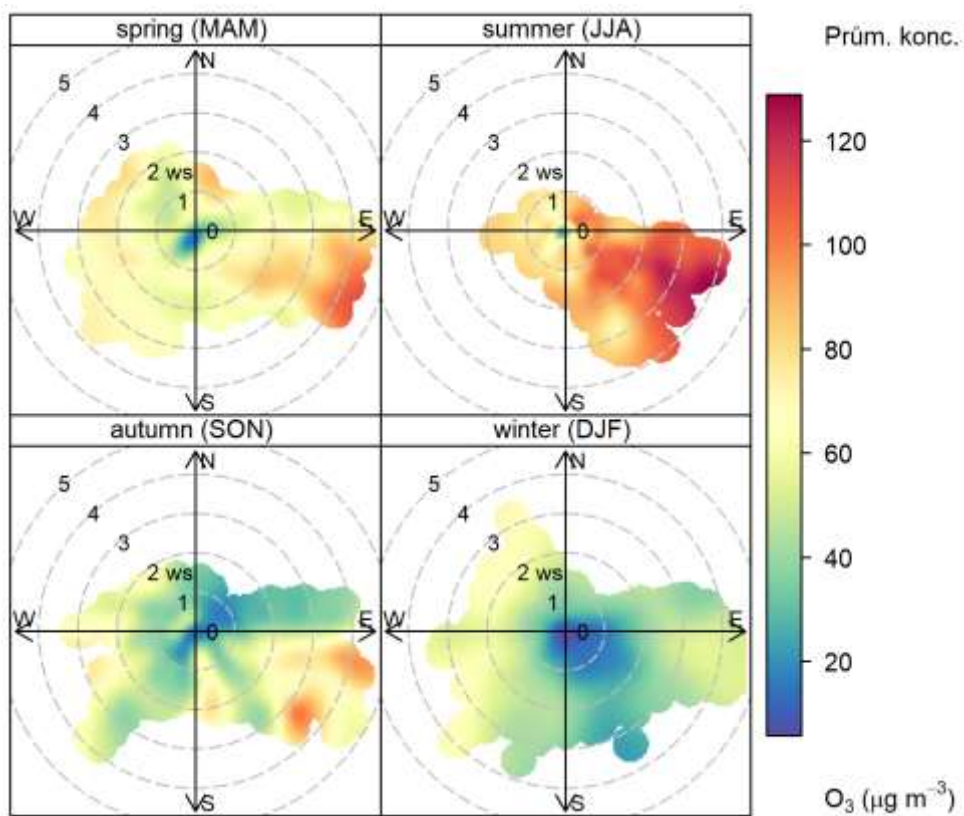
Obr. 178 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážení koncentrační růžice (vpravo) pro O_3 , Brno – Lány, 2010–2016

Z koncentrační růžice je patrné, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace O_3 měřeny při jihovýchodním proudění a vyšších rychlostech větru, podobně jako v případě lokality Brno – Zvonařka. Z hlediska příspěvku jednotlivých směrů a rychlostí větrů ke koncentracím O_3 dominují západní směry při nízkých rychlostech větru – nejčastější typ proudění v této lokalitě.

Následující Obr. 179 zobrazuje teplotně členěnou koncentrační růžici průměrných koncentrací O_3 . Na rozdíl od teplotně členěné koncentrační růžice NO_2 či PM_{10} je v případě troposférického ozónu patrný opačný princip – zvýšené koncentrace jsou měřeny pouze při vysokých teplotách, při teplotách pod 0 °C jsou koncentrace jen velmi nízké. To potvrzuje i koncentrační růžice průměrných koncentrací O_3 , členěná dle ročních období (Obr. 180). Zvýšené koncentrace lze v této lokalitě pozorovat zejména v letních měsících a částečně taky v jarních měsících, naopak v zimě jsou koncentrace nízké.



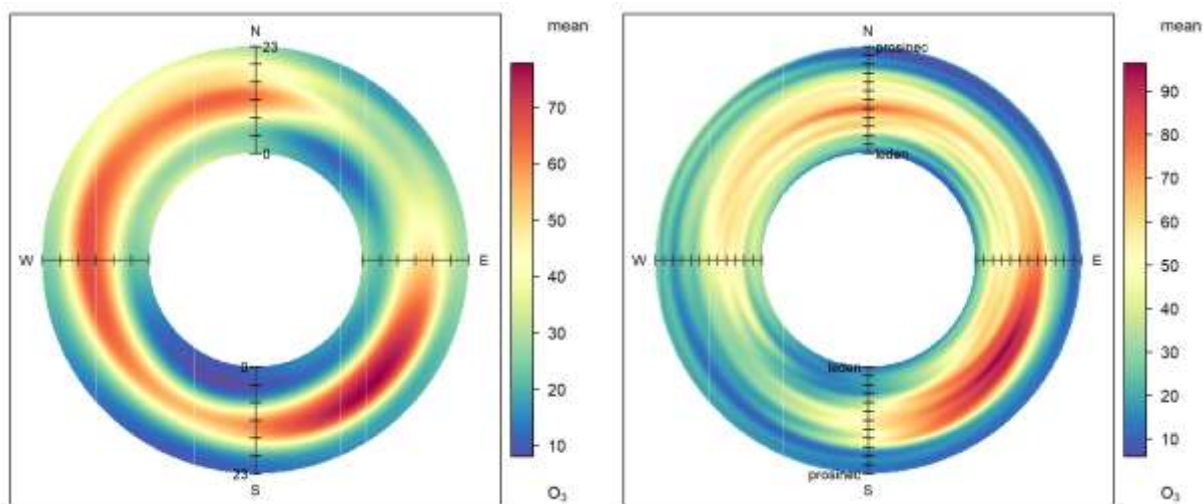
Obr. 179 – Teplotně členěná koncentrační růžice O_3 , Brno – Lány, 2010 – 2016



Obr. 180 – Koncentrační růžice O_3 členěná dle ročních období, Brno – Lány, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

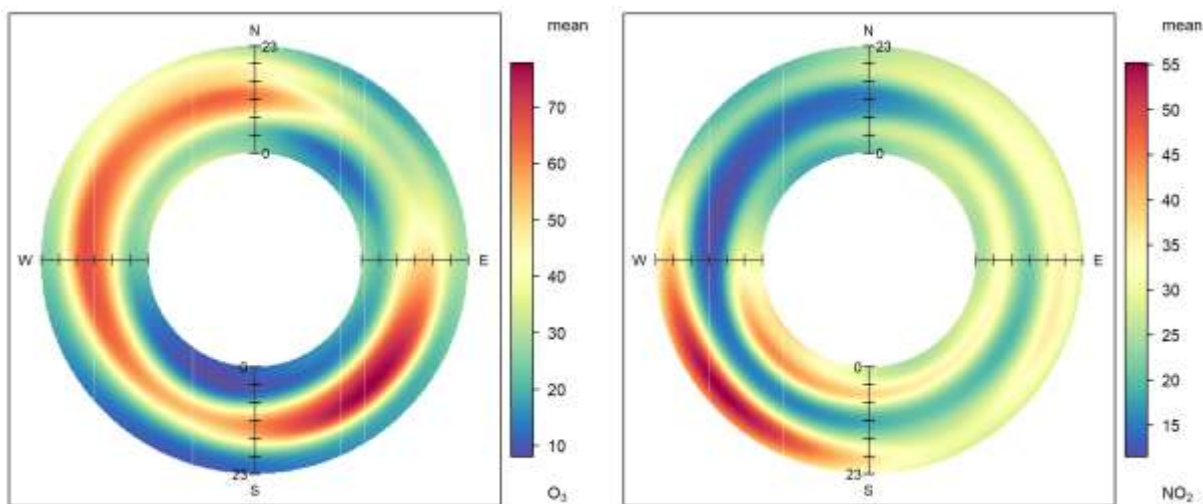
4.3.2.3 Denní a měsíční chod

Díky znalosti hodinových informací meteorologických charakteristik a koncentrací škodlivin je možné sestavit i průměrný denní chod koncentrací v lokalitě v závislosti na směru větru. Graf na Obr. 181 vlevo zobrazuje po hodinách průměrný denní chod O_3 v lokalitě Brno – Lány za roky 2010 až 2016, členěná dle směru větru. Graf na Obr. 181 vpravo zobrazuje totéž, avšak po měsících.



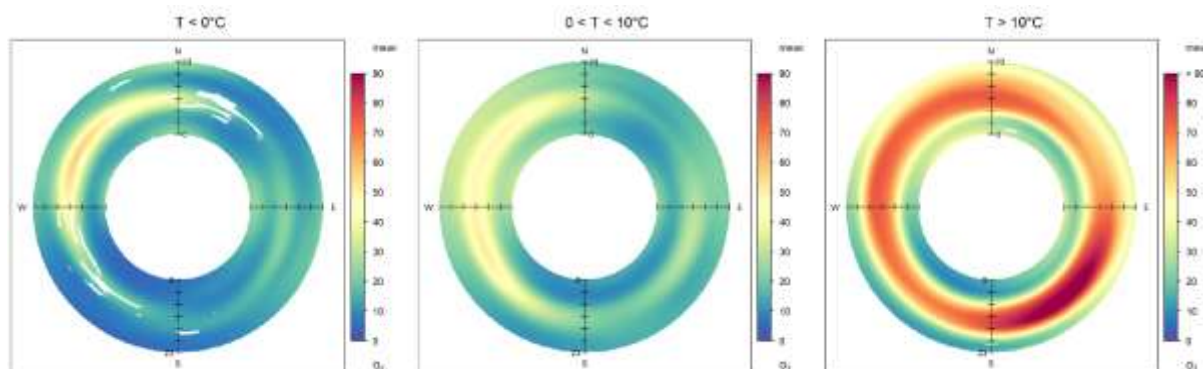
Obr. 181 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace O_3 , Brno – Lány, 2010 – 2016

Z grafů na Obr. 181 je patrný charakteristický chod koncentrací O_3 . Výrazně vyšší koncentrace přes den, pokles na nízké koncentrace v noci, a velmi obdobně z hlediska ročního chodu dochází k maximálním koncentracím v letních měsících a nejnižším v zimě. V rámci denního chodu se koncentrace O_3 a NO_2 doplňují – pokles koncentrací NO_2 souvisí s tvorbou ozónu (Obr. 182) [23].



Obr. 182 – Průměrný denní chod O_3 dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod NO_2 dle směru větru (vpravo), Brno – Lány, 2010 – 2016

Vliv teploty na denní chod koncentrací O_3 zobrazuje následující Obr. 183. Z grafů je patrné, co již bylo uvedeno dříve, teplota a meteorologické podmínky mají v lokalitě Brno – Lány stejně jako i v dalších lokalitách zásadní vliv na koncentrace O_3 . Vysoké koncentrace lze naměřit při teplotách nad $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, při nižších teplotách jsou koncentrace nízké.



Obr. 183 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací O_3 dle směru větru, Brno – Lány, 2010 – 2016

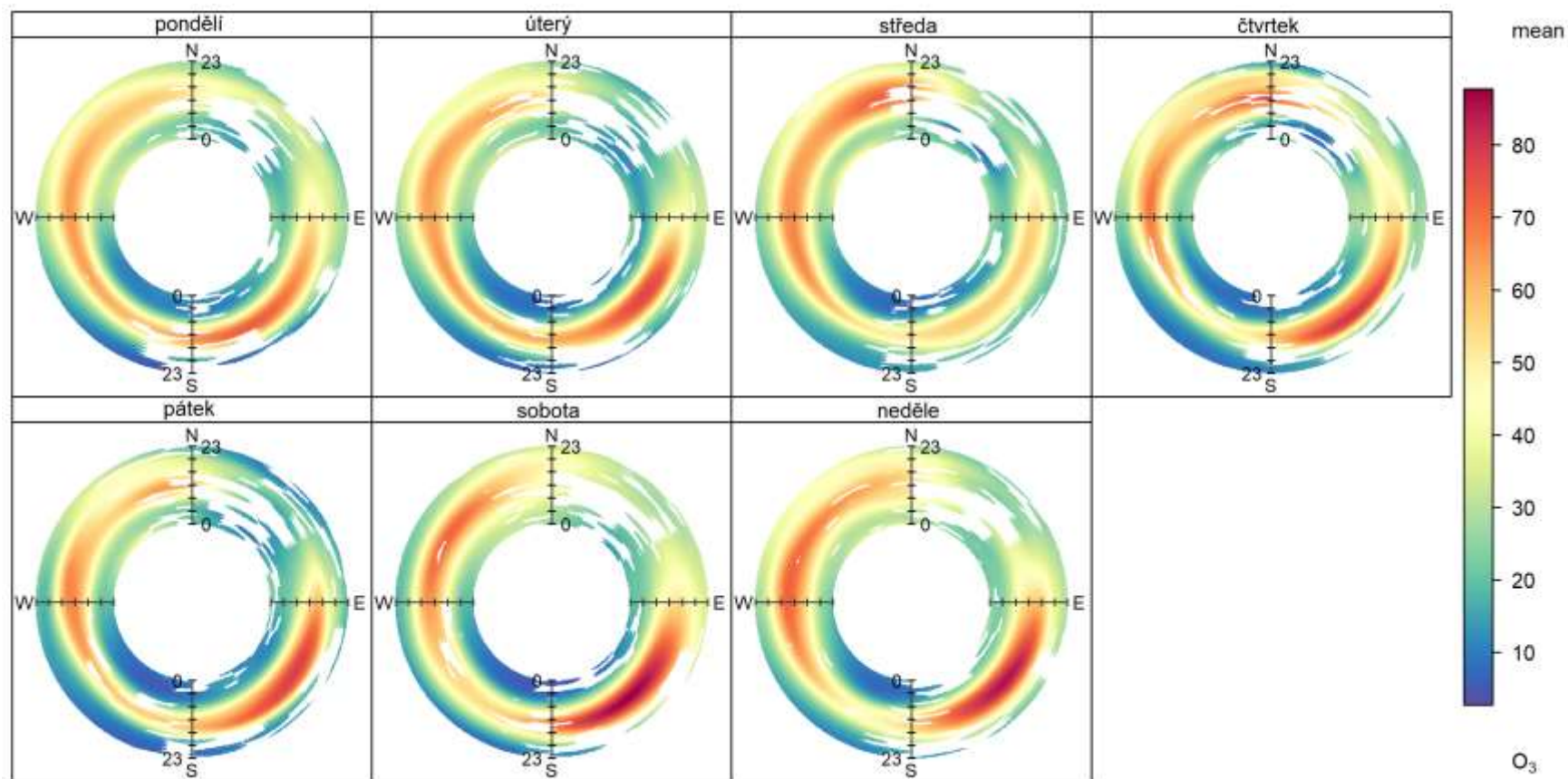
Koncentrace O_3 se i v této lokalitě téměř neliší v pracovních dnech a o víkendu (Obr. 184). Koncentrace troposférického ozónu jsou závislé na meteorologických podmínkách a mají charakteristický denní chod.

4.3.2.4 Přehledy koncentrací

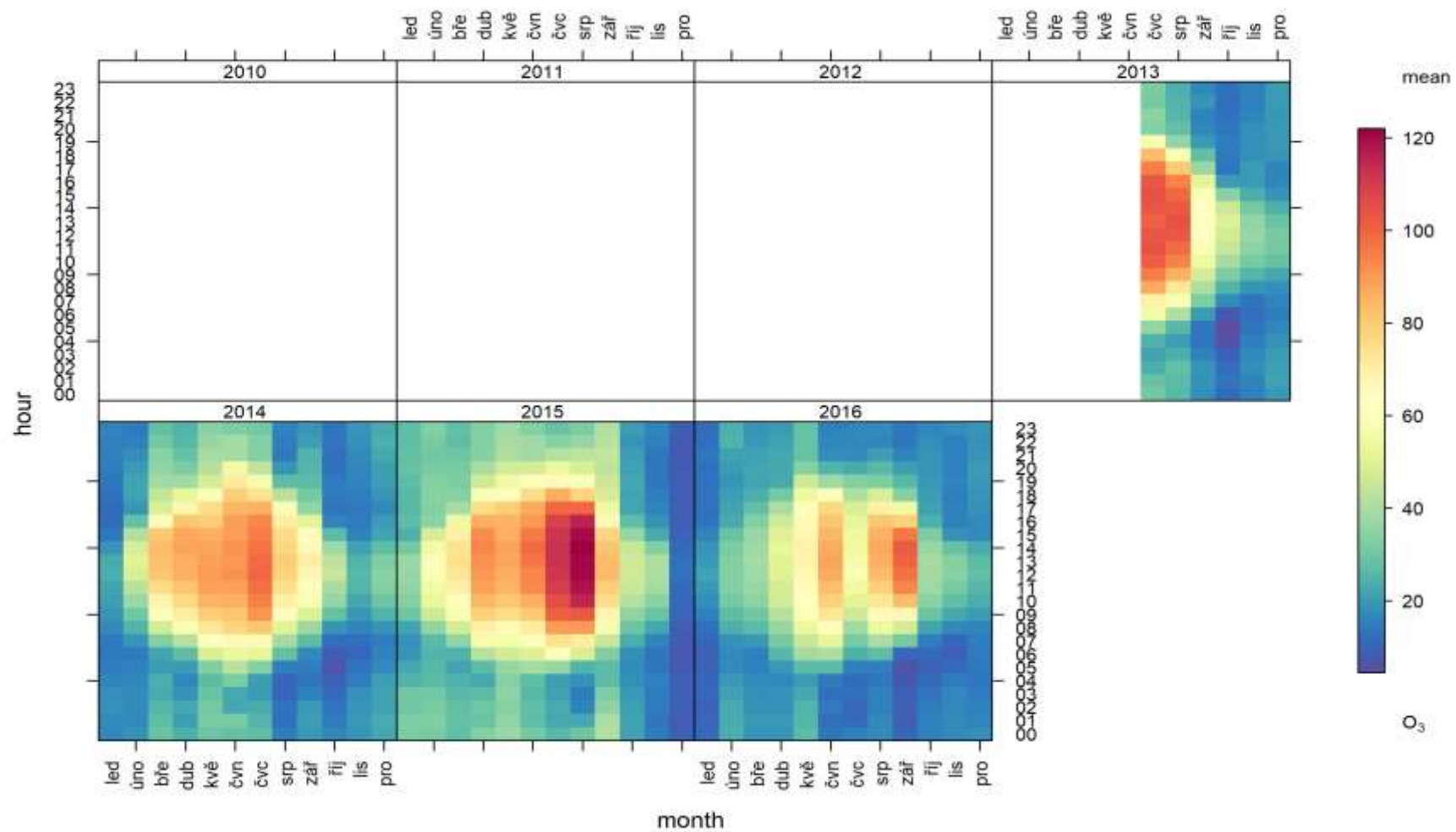
Celkový přehled koncentrací O_3 v lokalitě Brno – Lány za roky 2010 – 2016 zobrazuje Obr. 185. Zobrazuje průměrnou koncentraci O_3 v jednotlivých hodinách dne, členěné dle měsíců a roků. Z přehledu je patrné, že vyšší koncentrace jsou dosahovány v denních hodinách, zejména pak v letních měsících, obdobně jako na ostatních lokalitách. Chod je tedy přesně opačný než v případě NO_2 na pozadových lokalitách.

Obr. 186 zobrazuje stejný přehled koncentrací O_3 jako Obr. 185, avšak vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, jako tomu je na stránkách ČHMÚ v hodinovém přehledu [13].

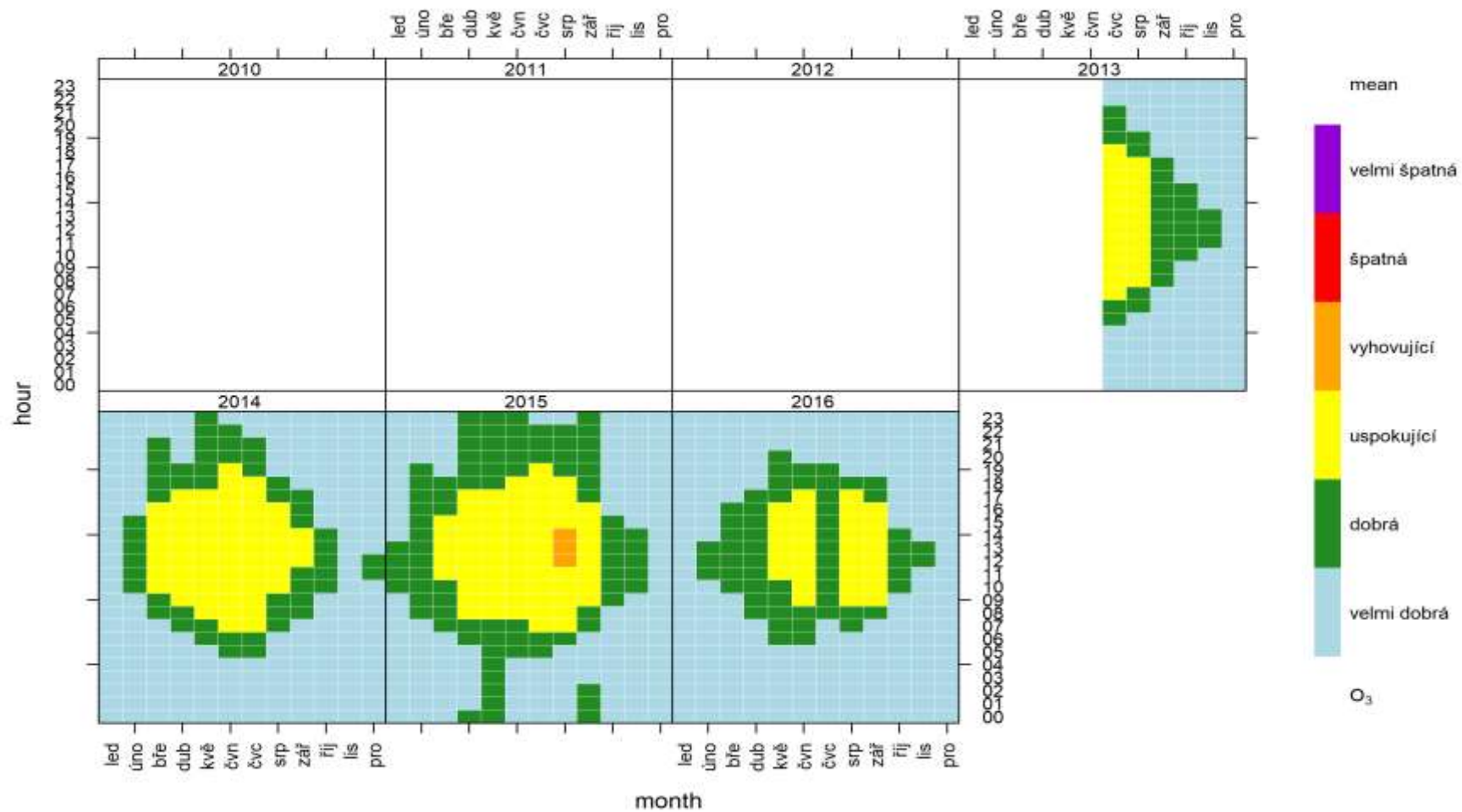
Obr. 187 zobrazuje normalizované hodnoty průměrných koncentrací (k průměru za celý interval) škodlivin O_3 a NO_2 . V denním chodu je patrný přesně opačný vývoj koncentrací jednotlivých škodlivin. Při poklesu koncentrací NO_2 rostou koncentrace O_3 a naopak. Obdobně je to i při ročním chodu měsíčních koncentrací. V týdenním chodu je patrný mírný nárůst koncentrací O_3 o víkendu při současném poklesu koncentrací NO_2 (pokles intenzity dopravy v lokalitě).



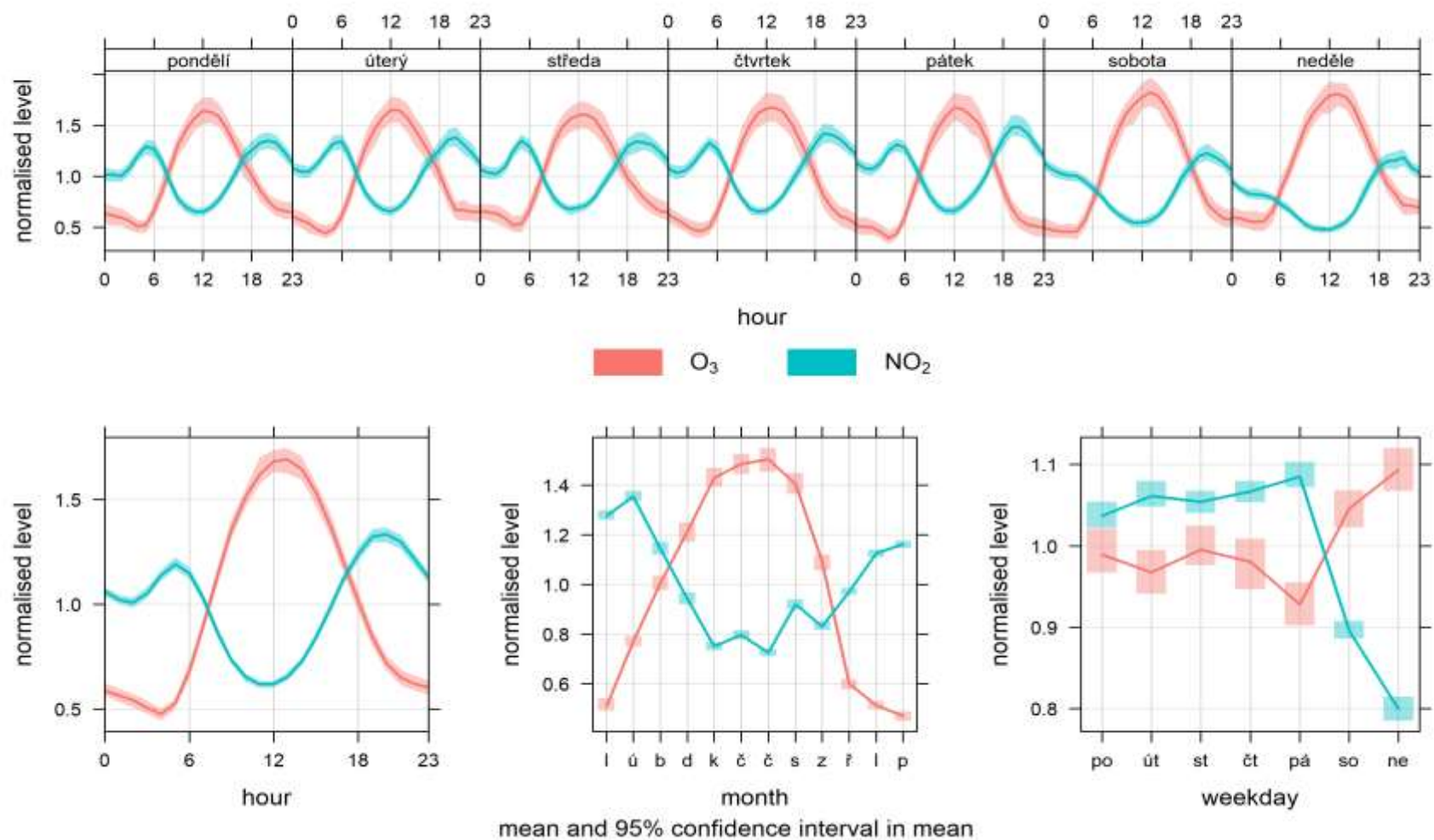
Obr. 184 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace O_3 , Brno – Lány, 2010 – 2016



Obr. 185 – Přehled průměrných koncentrací O_3 v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Brno – Lány, 2010 – 2016



Obr. 186 – Přehled průměrných koncentrací O₃ v jednotlivých hodinách vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, členěno dle měsíců a toků, Brno – Lány, 2010 – 2016 [13]



Obr. 187 – Normalizované hodnoty průměrných koncentrací O_3 a NO_2 v hodinovém, týdenním a měsíčním chodu, Brno – Lány, 2010 – 2016

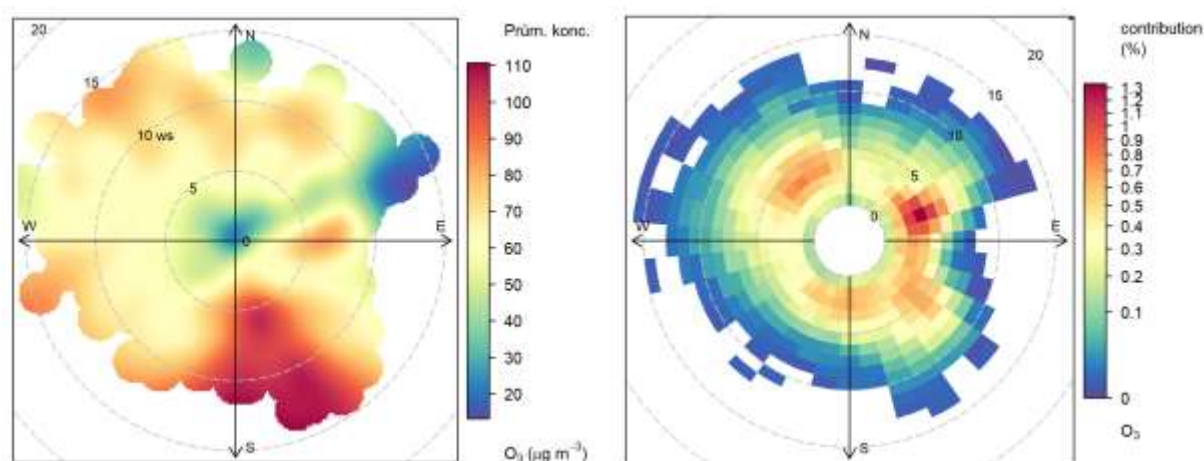
4.3.3 Brno – Tuřany

4.3.3.1 Větrná růžice

Základem analýz je větrná růžice v dané lokalitě. Ta je shodná pro všechny škodliviny a je uvedena na Obr. 63 v kapitole 2.3.3.1.

4.3.3.2 Imisní růžice

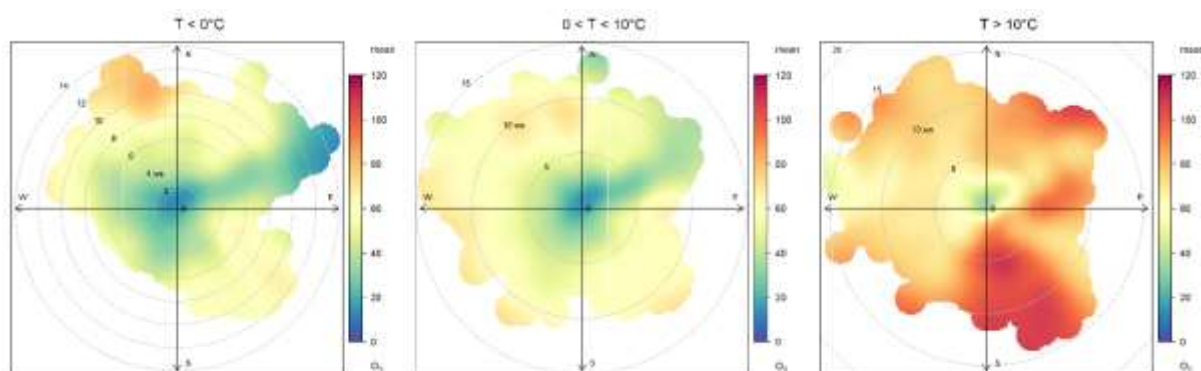
Díky znalosti rychlosti a směru větru a koncentrace O_3 je možné zkonstruovat koncentrační růžice pro tuto škodlivinu. Na Obr. 188 je vlevo zobrazena koncentrační růžice – průměrná koncentrace O_3 je v ní zobrazena jako funkce rychlosti a směru větru. Růžice vpravo pak nezobrazuje průměrnou koncentraci, ale vážený průměr. Růžice tedy zobrazuje procentuální příspěvek jednotlivých rychlostí a směrů k měřeným koncentracím O_3 v lokalitě Brno – Tuřany.



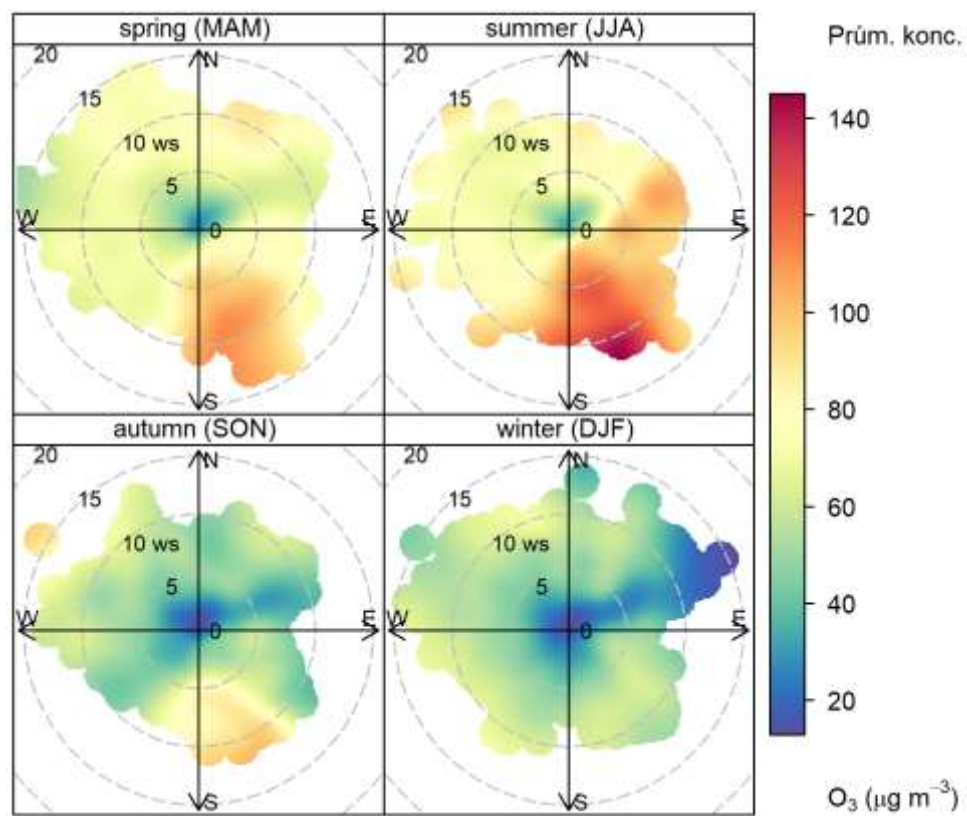
Obr. 188 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážení koncentrační růžice (vpravo) pro O_3 , Brno – Tuřany, 2010–2016

Z koncentrační růžice je patrné, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace O_3 měřeny při jihovýchodním proudění a vyšších rychlostech větru, podobně jako v případě dalších lokalit. Z hlediska příspěvku jednotlivých směrů a rychlostí větrů ke koncentracím O_3 dominují severovýchodní směry při rychlostech větru do $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Následující Obr. 189 zobrazuje teplotně členěnou koncentrační růžici průměrných koncentrací O_3 . Na rozdíl od teplotně členěné koncentrační růžice NO_2 či PM_{10} je v případě troposférického ozónu patrný opačný princip – zvýšené koncentrace jsou měřeny pouze při vysokých teplotách, při teplotách pod 0°C jsou koncentrace jen velmi nízké. To potvrzuje i koncentrační růžice průměrných koncentrací O_3 , členěná dle ročních období (Obr. 190). Zvýšené koncentrace lze v této lokalitě pozorovat zejména v letních měsících a částečně taky v jarních měsících, naopak v zimě jsou koncentrace nízké.



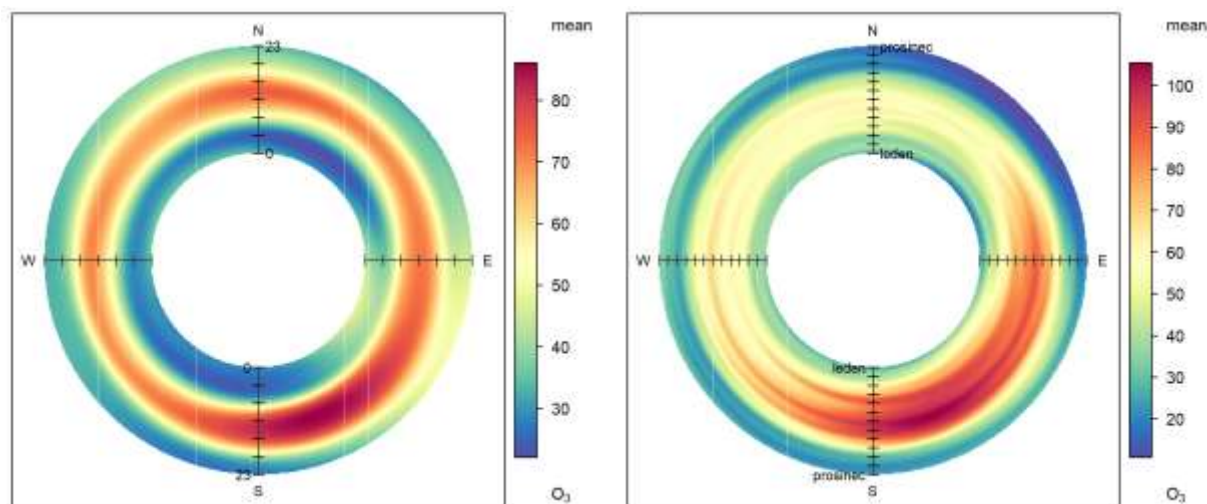
Obr. 189 – Teplotně členěná koncentrační růžice O_3 , Brno – Tuřany, 2010 – 2016



Obr. 190 – Koncentrační růžice O_3 členěná dle ročních období, Brno – Tuřany, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

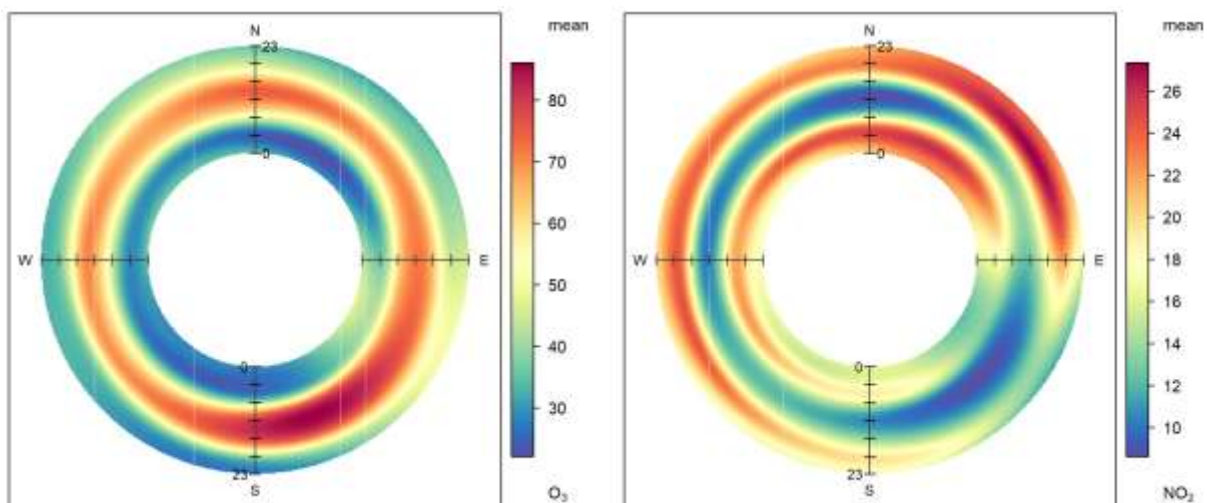
4.3.3 Denní a měsíční chod

Díky znalosti hodinových informací meteorologických charakteristik a koncentrací škodlivin je možné sestavit i průměrný denní chod koncentrací v lokalitě v závislosti na směru větru. Graf na Obr. 191 vlevo zobrazuje po hodinách průměrný denní chod O_3 v lokalitě Brno – Tuřany za roky 2010 až 2016, členěná dle směru větru. Graf na Obr. 191 vpravo zobrazuje totéž, avšak po měsících.



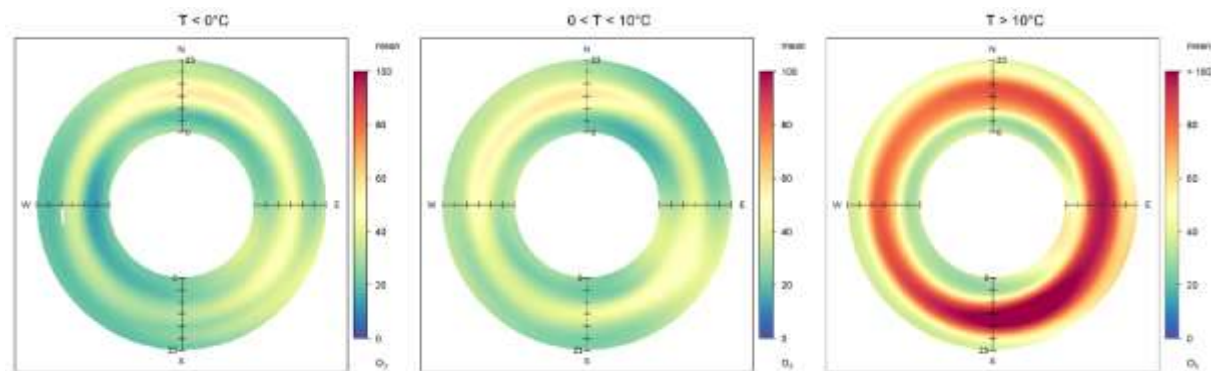
Obr. 191 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace O_3 , Brno – Tuřany, 2010 – 2016

Z grafů na Obr. 191 je patrný charakteristický chod koncentrací O_3 . Výrazně vyšší koncentrace přes den, pokles na nízké koncentrace v noci, a velmi obdobně z hlediska ročního chodu dochází k maximálním koncentracím v letních měsících a nejnižším v zimě. V rámci denního chodu se koncentrace O_3 a NO_2 doplňují – pokles koncentrací NO_2 souvisí s tvorbou ozónu (Obr. 192) [23].



Obr. 192 – Průměrný denní chod O_3 dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod NO_2 dle směru větru (vpravo), Brno – Tuřany, 2010 – 2016

Vliv teploty na denní chod koncentrací O_3 zobrazuje následující Obr. 193. Z grafů je patrné, co již bylo uvedeno dříve, teplota a meteorologické podmínky mají v lokalitě Brno – Tuřany stejně jako i v dalších lokalitách zásadní vliv na koncentrace O_3 . Vysoké koncentrace lze naměřit při teplotách nad $10^\circ C$, při nižších teplotách jsou koncentrace nízké.



Obr. 193 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací O_3 dle směru větru, Brno – Tuřany, 2010 – 2016

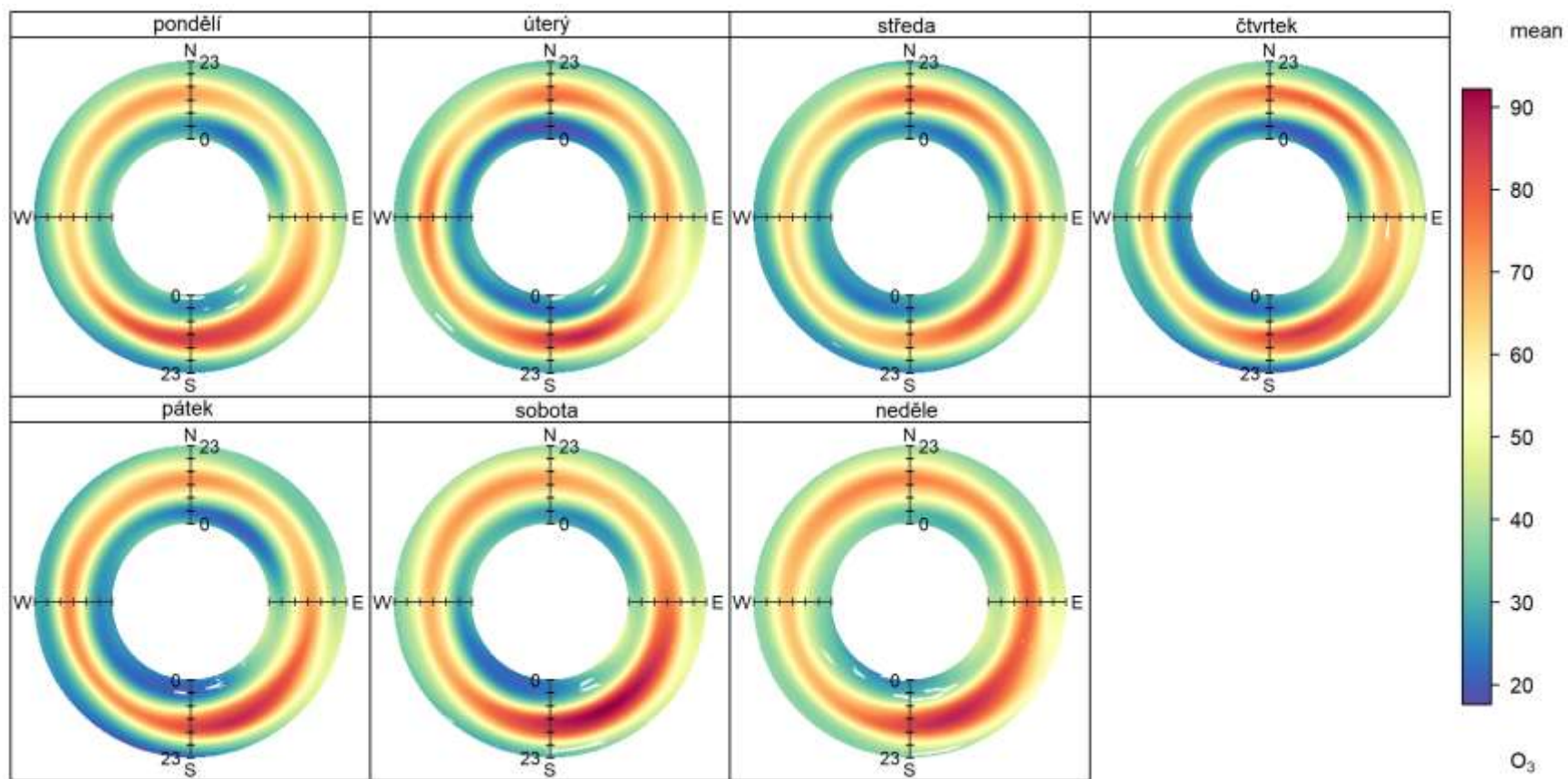
Koncentrace O_3 se i v této lokalitě téměř neliší v pracovních dnech a o víkendu (Obr. 194). Koncentrace troposférického ozónu jsou závislé na meteorologických podmínkách a mají charakteristický denní chod.

4.3.3.4 Přehledy koncentrací

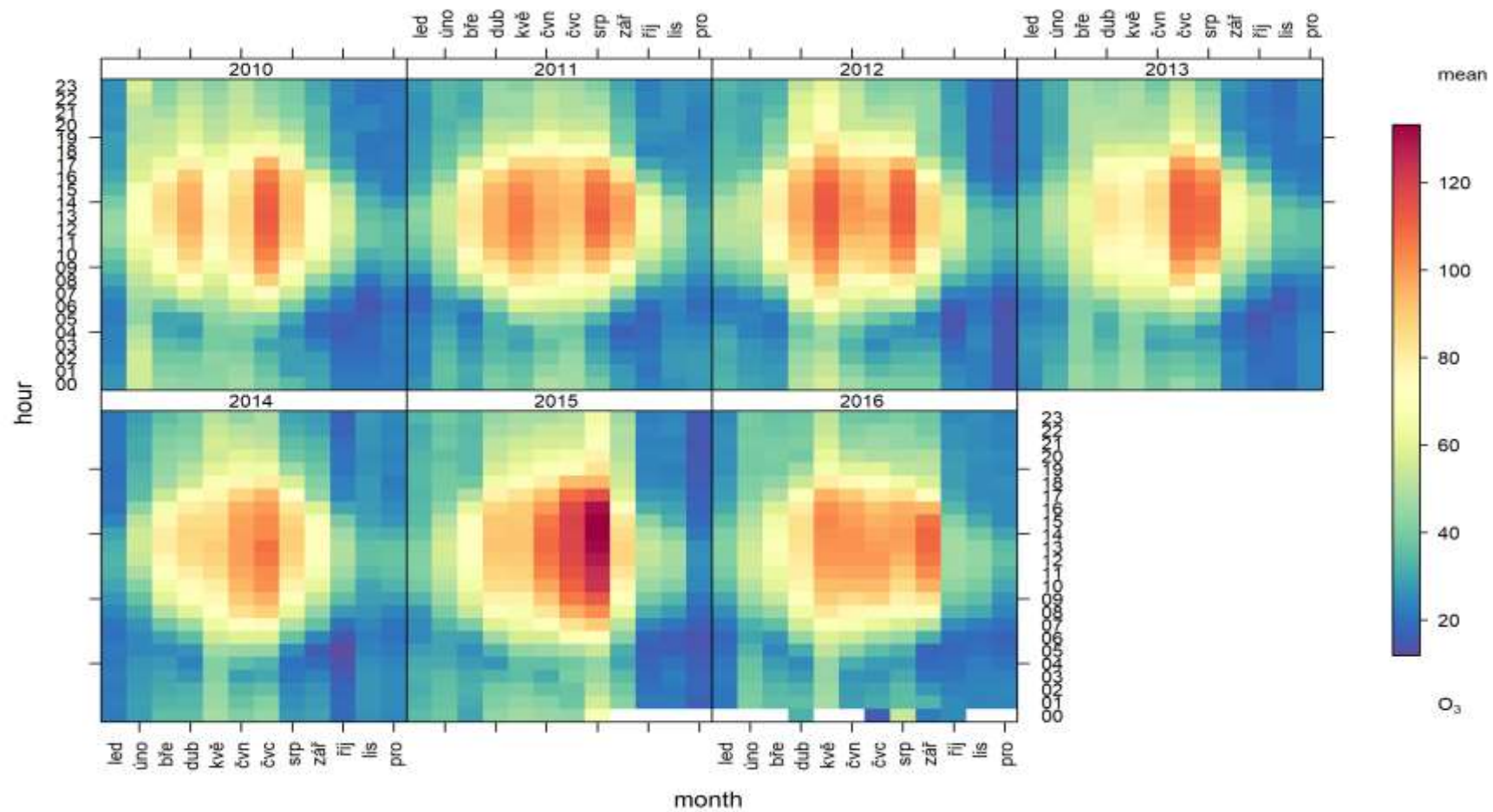
Celkový přehled koncentrací O_3 v lokalitě Brno – Tuřany za roky 2010 – 2016 zobrazuje Obr. 195. Zobrazuje průměrnou koncentraci O_3 v jednotlivých hodinách dne, členěné dle měsíců a roků. Z přehledu je patrné, že vyšší koncentrace jsou dosahovány v denních hodinách, zejména pak v letních měsících, obdobně jako na ostatních lokalitách. Chod je tedy přesně opačný než v případě NO_2 na pozadových lokalitách.

Obr. 196 zobrazuje stejný přehled koncentrací O_3 jako Obr. 195, avšak vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, jako tomu je na stránkách ČHMÚ v hodinovém přehledu [13].

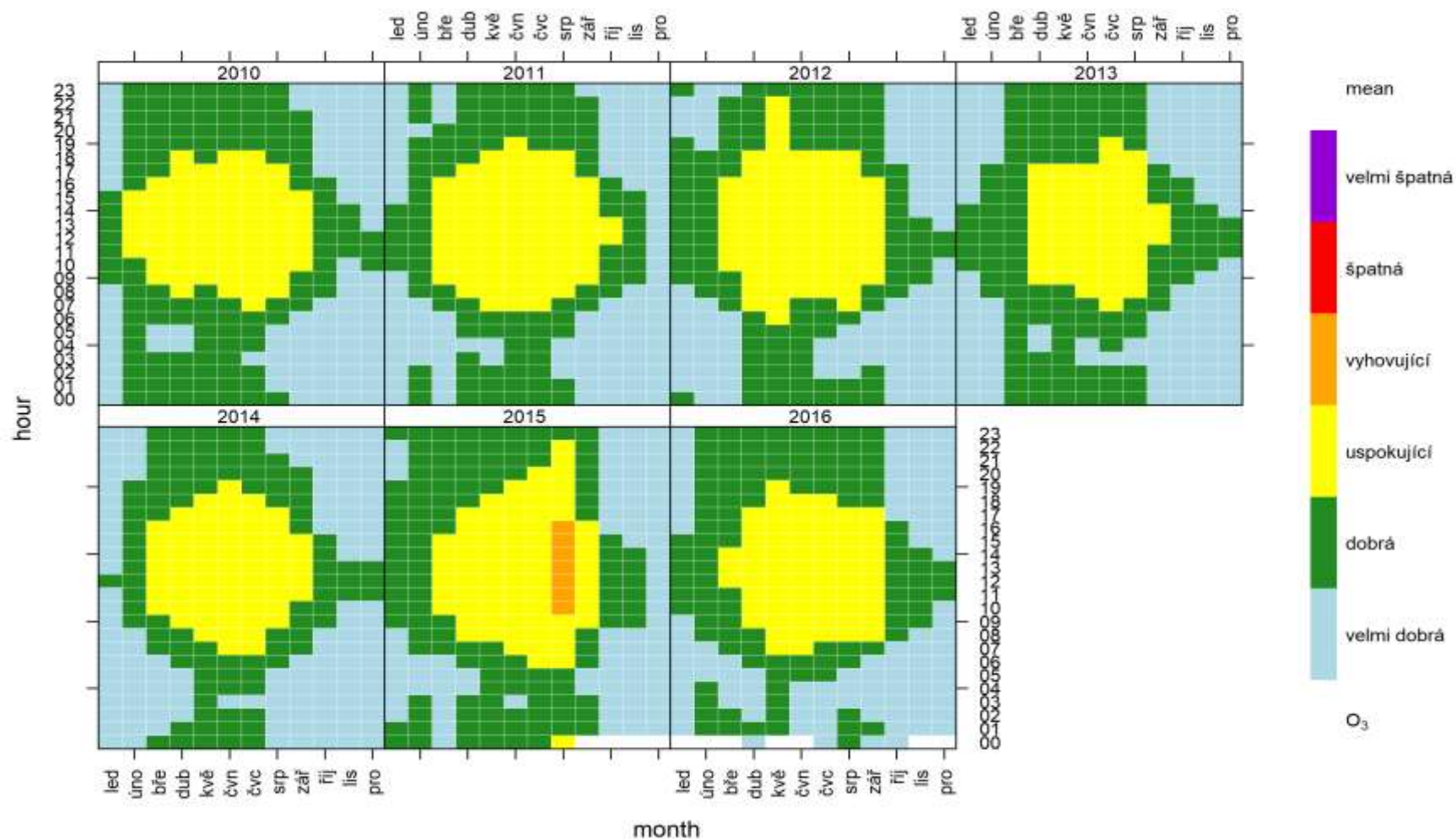
Obr. 197 zobrazuje normalizované hodnoty průměrných koncentrací (k průměru za celý interval) škodlivin O_3 a NO_2 . V denním chodu je patrný přesně opačný vývoj koncentrací jednotlivých škodlivin. Při poklesu koncentrací NO_2 rostou koncentrace O_3 a naopak. Obdobně je to i při ročním chodu měsíčních koncentrací. V týdenním chodu je patrný mírný nárůst koncentrací O_3 o víkendu při současném poklesu koncentrací NO_2 .



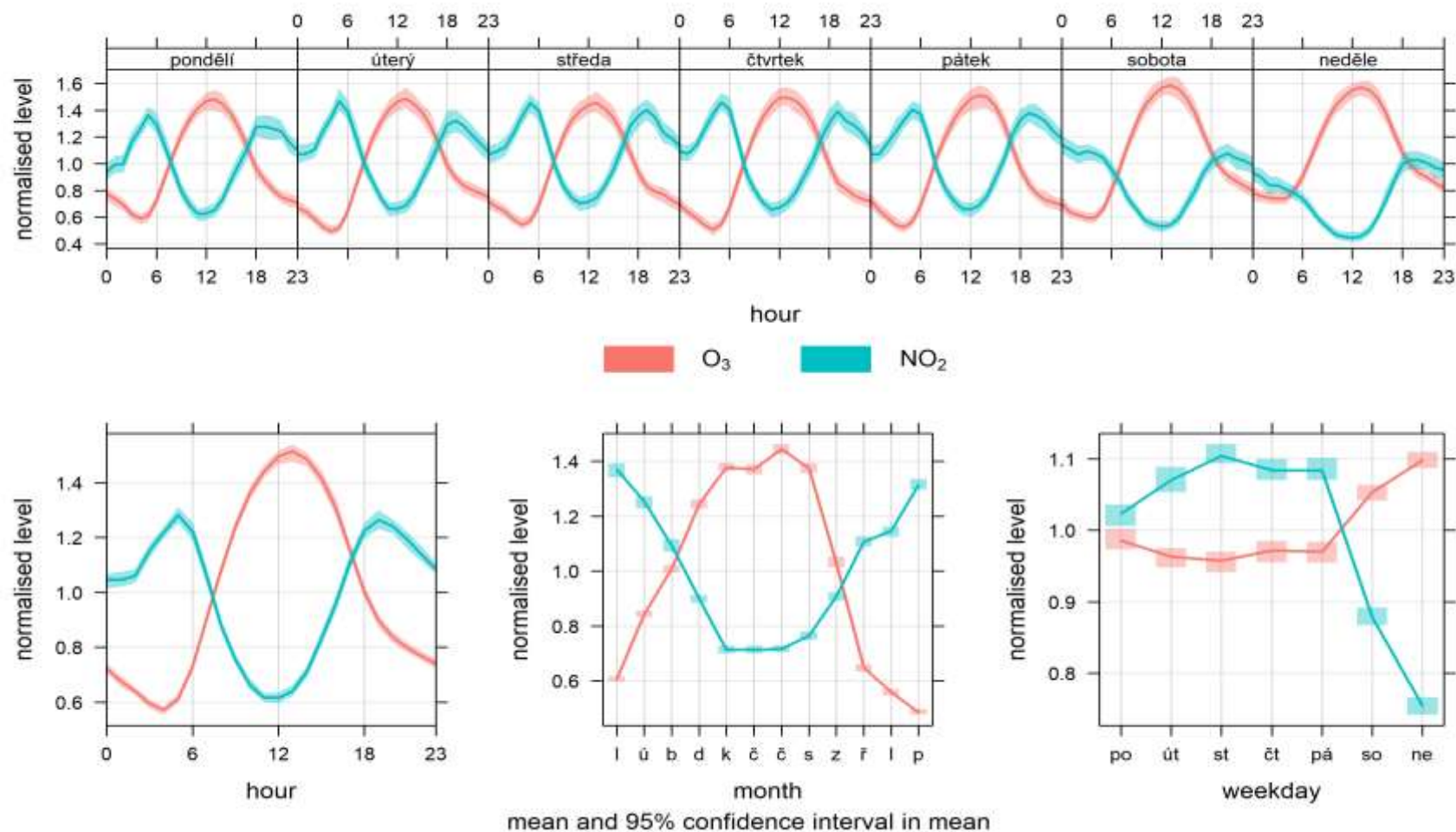
Obr. 194 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace O_3 , Brno – Tuřany, 2010 – 2016



Obr. 195 – Přehled průměrných koncentrací O₃ v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Brno – Tuřany, 2010 – 2016



Obr. 196 – Přehled průměrných koncentrací O₃ v jednotlivých hodinách vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, členěno dle měsíců a toků, Brno – Tuřany, 2010 – 2016 [13]



Obr. 197 – Normalizované hodnoty průměrných koncentrací O_3 a NO_2 v hodinovém, týdenním a měsíčním chodu, Brno – Tuřany, 2010 – 2016

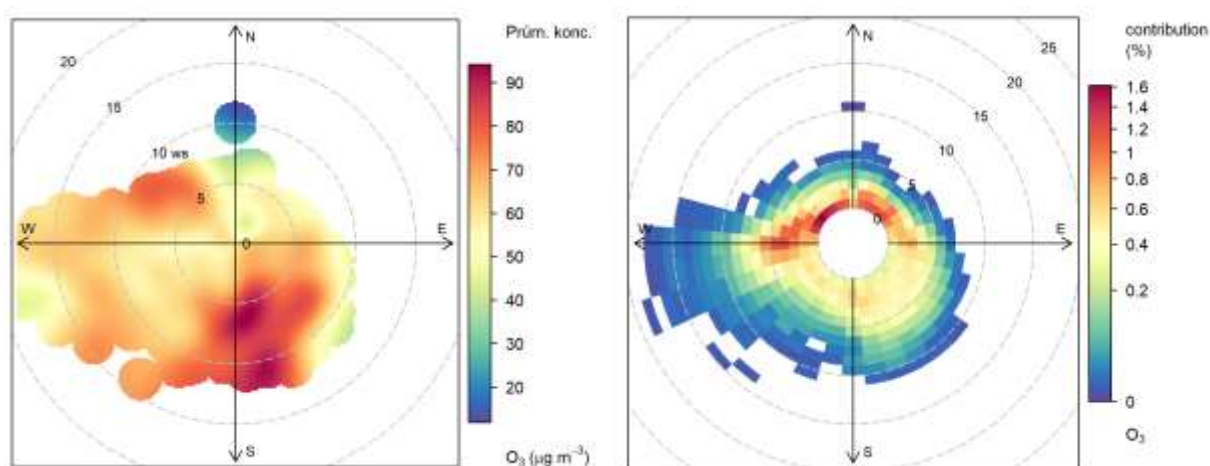
4.3.4 Mikulov – Sedlec

4.3.4.1 Větrná růžice

Základem analýz je větrná růžice v dané lokalitě. Ta je shodná pro všechny škodliviny a je uvedena na Obr. 82 v kapitole 2.3.4.1.

4.3.4.2 Imisní růžice

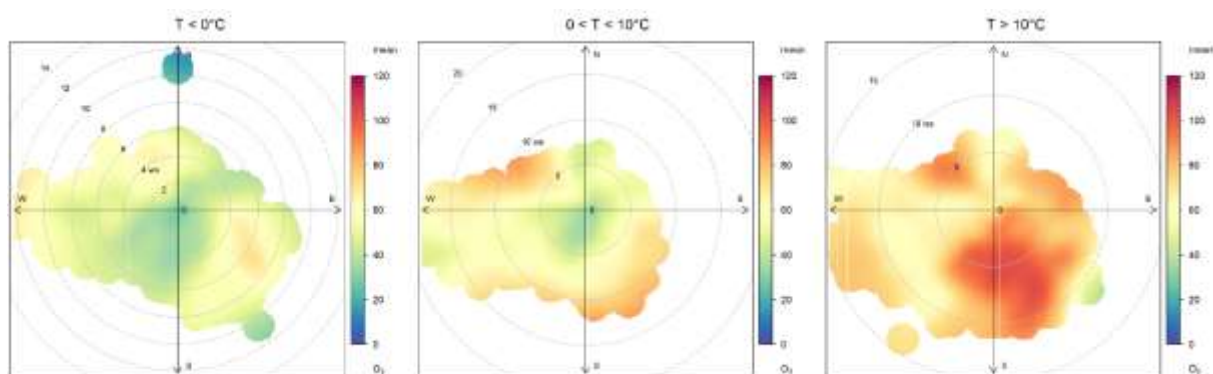
Díky znalosti rychlosti a směru větru a koncentrace O_3 je možné zkonstruovat koncentrační růžice pro tuto škodlivinu. Na Obr. 198 je vlevo zobrazena koncentrační růžice – průměrná koncentrace O_3 je v ní zobrazena jako funkce rychlosti a směru větru. Růžice vpravo pak nezobrazuje průměrnou koncentraci, ale vážený průměr. Růžice tedy zobrazuje procentuální příspěvek jednotlivých rychlostí a směrů k měřeným koncentracím O_3 v lokalitě Mikulov – Sedlec.



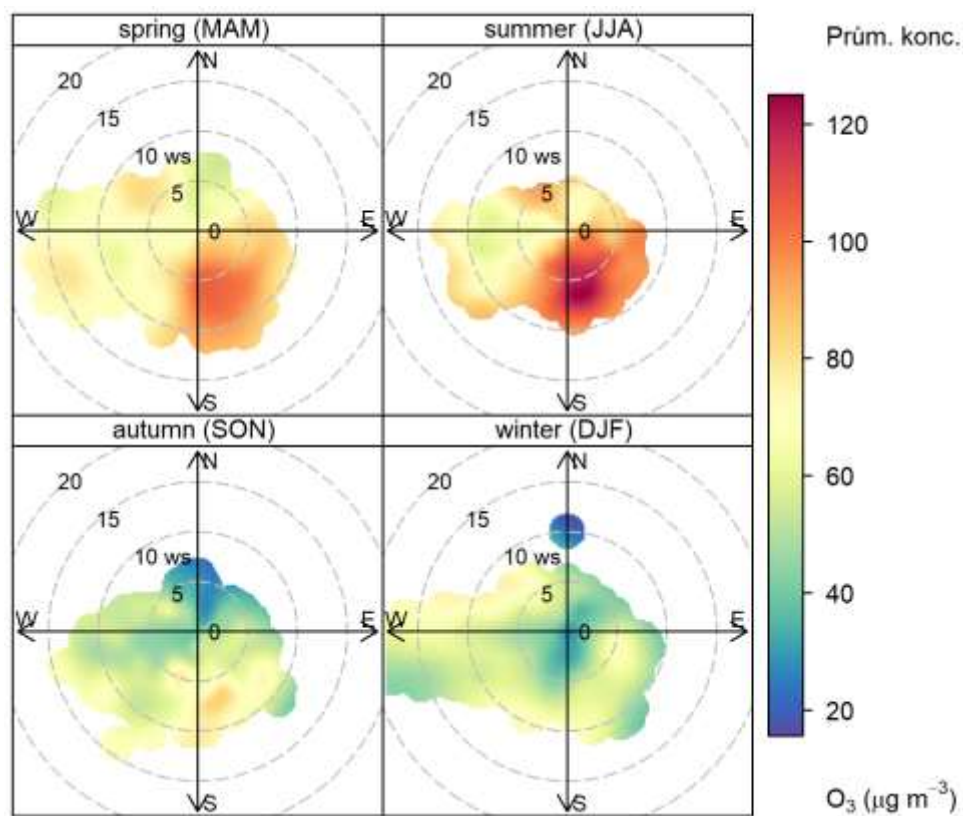
Obr. 198 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážení koncentrační růžice (vpravo) pro O_3 , Mikulov – Sedlec, 2010–2016

Z koncentrační růžice je patrné, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace O_3 měřeny při jihovýchodním proudění a vyšších rychlostech větru, podobně jako v případě dalších lokalit. Z hlediska příspěvku jednotlivých směrů a rychlostí větrů ke koncentracím O_3 dominují severovýchodní, severní až západní směry při rychlostech větru do 5 m.s^{-1} .

Následující Obr. 199 zobrazuje teplotně členěnou koncentrační růžici průměrných koncentrací O_3 . Na rozdíl od teplotně členěné koncentrační růžice NO_2 či PM_{10} je v případě troposférického ozónu patrný opačný princip – zvýšené koncentrace jsou měřeny pouze při vysokých teplotách, při teplotách pod 0°C jsou koncentrace jen velmi nízké. V této regionální pozadové lokalitě jsou však zvýšené koncentrace ozónu patrné i v intervalu teplot $0 - 10^\circ\text{C}$. Výskyt vysokých koncentrací při vyšších teplotách potvrzuje i koncentrační růžice průměrných koncentrací O_3 , členěná dle ročních období (Obr. 200). Zvýšené koncentrace lze v této lokalitě pozorovat zejména v letních měsících a částečně taky v jarních měsících, naopak v zimě jsou koncentrace nízké.



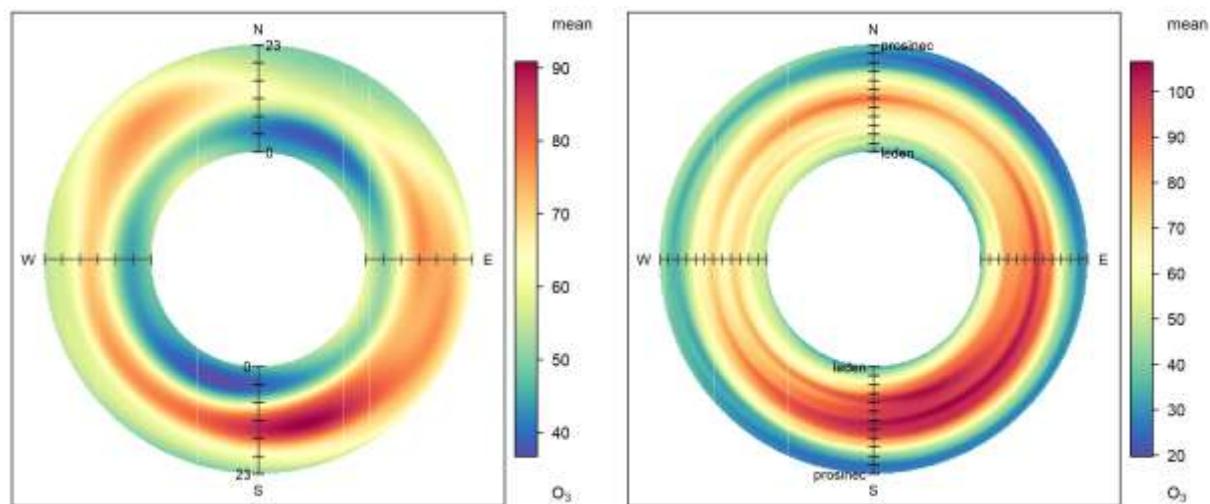
Obr. 199 – Teplotně členěná koncentrační růžice O_3 , Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016



Obr. 200 – Koncentrační růžice O_3 členěná dle ročních období, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

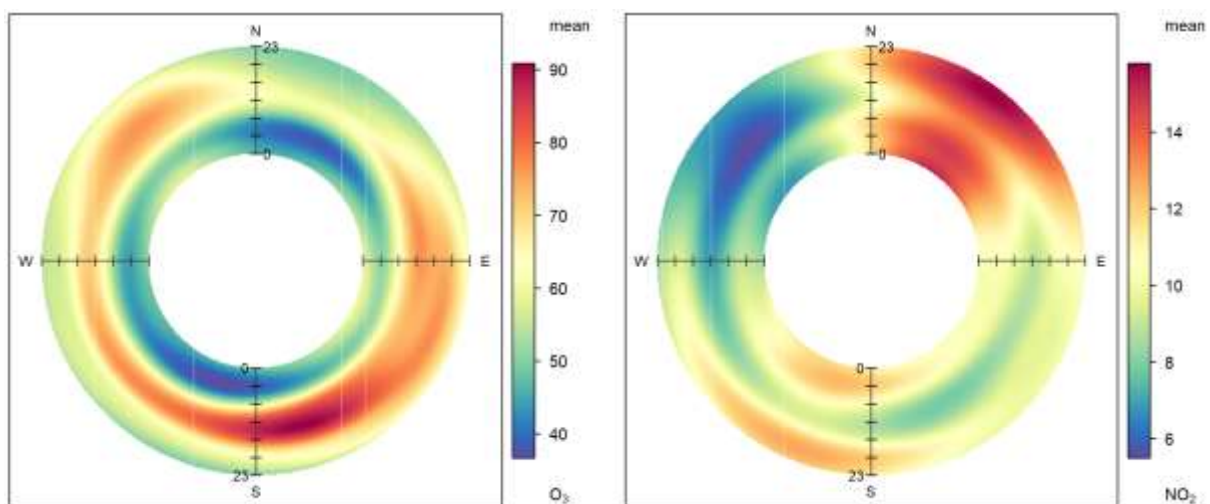
4.3.4.3 Denní a měsíční chod

Díky znalosti hodinových informací meteorologických charakteristik a koncentrací škodlivin je možné sestavit i průměrný denní chod koncentrací v lokalitě v závislosti na směru větru. Graf na Obr. 201 vlevo zobrazuje po hodinách průměrný denní chod O_3 v lokalitě Mikulov – Sedlec za roky 2010 až 2016, členěná dle směru větru. Graf na Obr. 201 vpravo zobrazuje totéž, avšak po měsících.



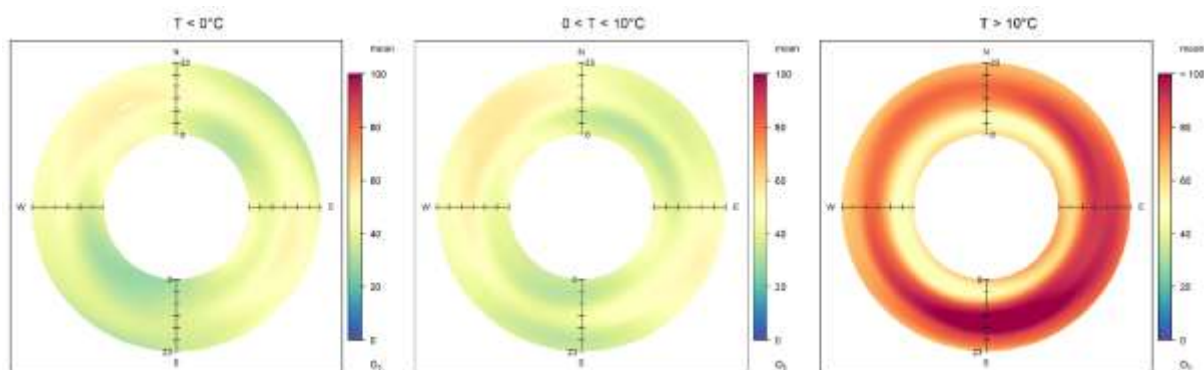
Obr. 201 – Průměrný denní chod dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod dle směru větru (vpravo) pro průměrné koncentrace O_3 , Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

Z grafů na Obr. 201 je patrný charakteristický chod koncentrací O_3 . Výrazně vyšší koncentrace přes den, pokles na nízké koncentrace v noci, a velmi obdobně z hlediska ročního chodu dochází k maximálním koncentracím v letních měsících a nejnižším v zimě. V rámci denního chodu se koncentrace O_3 a NO_2 doplňují – pokles koncentrací NO_2 souvisí s tvorbou ozónu (Obr. 202) [23].



Obr. 202 – Průměrný denní chod O_3 dle směru větru (vlevo) a průměrný měsíční chod NO_2 dle směru větru (vpravo), Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

Vliv teploty na denní chod koncentrací O_3 zobrazuje následující Obr. 203. Z grafů je patrné, co již bylo uvedeno dříve, teplota a meteorologické podmínky mají v lokalitě Mikulov – Sedlec stejně jako i v dalších lokalitách zásadní vliv na koncentrace O_3 . Velmi vysoké koncentrace lze naměřit při teplotách nad $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, avšak na rozdíl od zbylých lokalit lze na regionální pozadové lokalitě Mikulov – Sedlec pozorovat zvýšené koncentrace O_3 i při nižších teplotách.



Obr. 203 – Teplotně členěný průměrný denní chod koncentrací O_3 dle směru větru, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

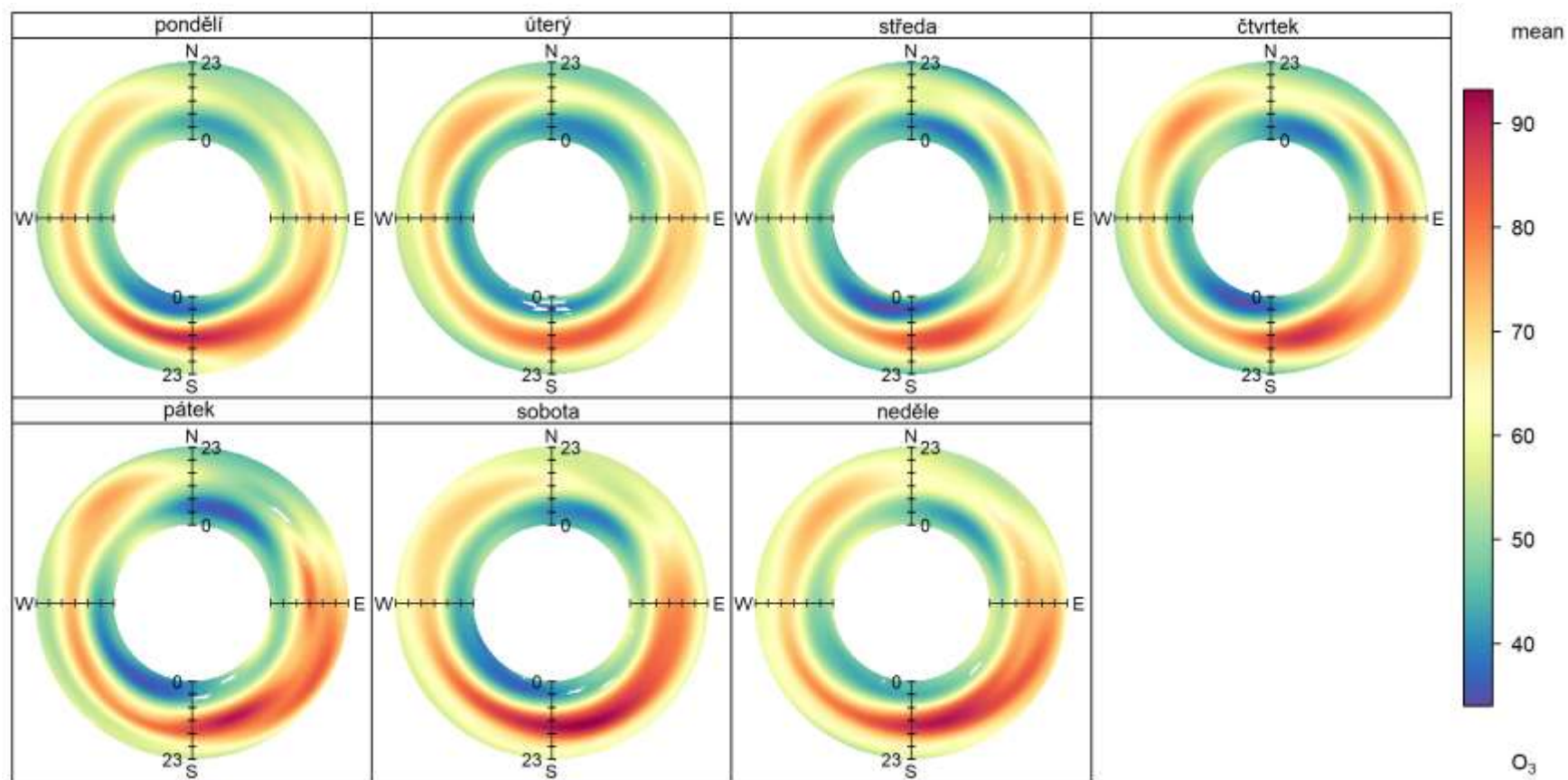
Koncentrace O_3 se i v této lokalitě téměř neliší v pracovních dnech a o víkendu (Obr. 204). Koncentrace troposférického ozónu jsou závislé na meteorologických podmínkách a mají charakteristický denní chod.

4.3.4.4 Přehledy koncentrací

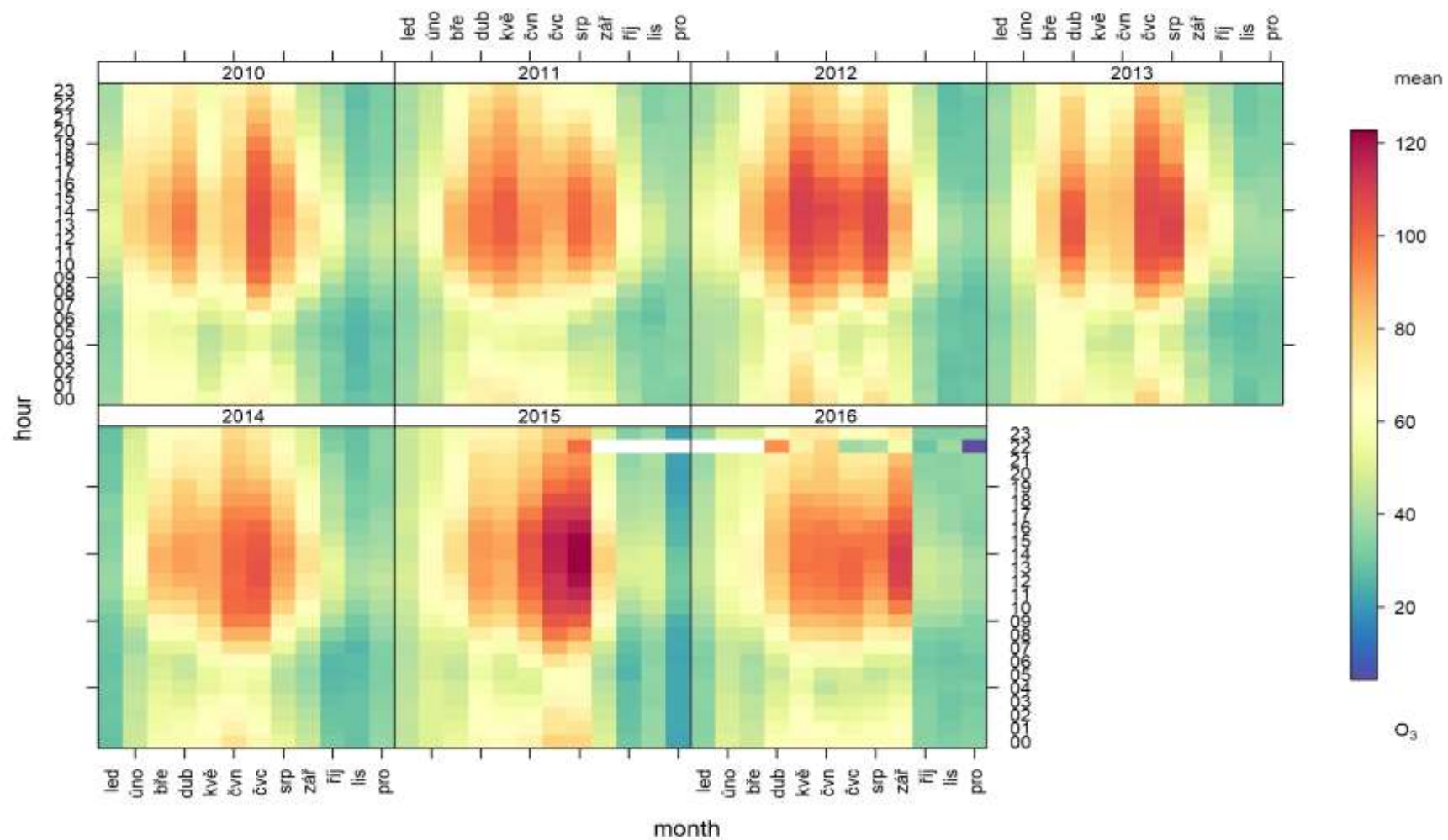
Celkový přehled koncentrací O_3 v lokalitě Mikulov – Sedlec za roky 2010 – 2016 zobrazuje Obr. 205. Zobrazuje průměrnou koncentraci O_3 v jednotlivých hodinách dne, členěné dle měsíců a roků. Z přehledu je patrné, že vyšší koncentrace jsou dosahovány v denních hodinách, zejména pak v letních měsících, obdobně jako na ostatních lokalitách. Chod je tedy přesně opačný než v případě NO_2 na pozadových lokalitách.

Obr. 206 zobrazuje stejný přehled koncentrací O_3 jako Obr. 205, avšak vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, jako tomu je na stránkách ČHMÚ v hodinovém přehledu [13].

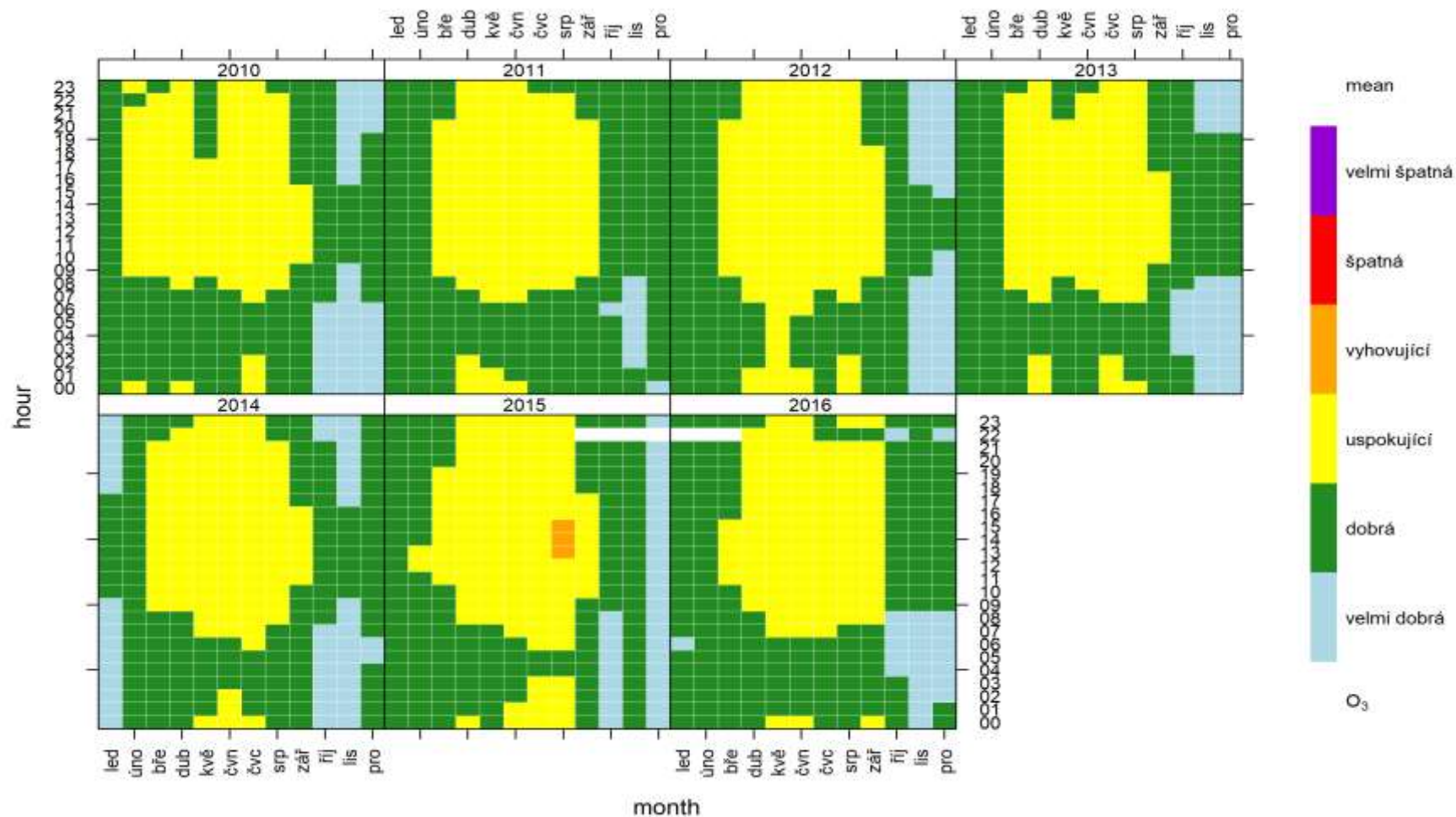
Obr. 207 zobrazuje normalizované hodnoty průměrných koncentrací (k průměru za celý interval) škodlivin O_3 a NO_2 . V denním chodu je patrný přesně opačný vývoj koncentrací jednotlivých škodlivin. Při poklesu koncentrací NO_2 rostou koncentrace O_3 a naopak. Obdobně je to i při ročním chodu měsíčních koncentrací. V týdenním chodu je patrný jen velmi mírný nárůst koncentrací O_3 o víkendu při současném poklesu koncentrací NO_2 .



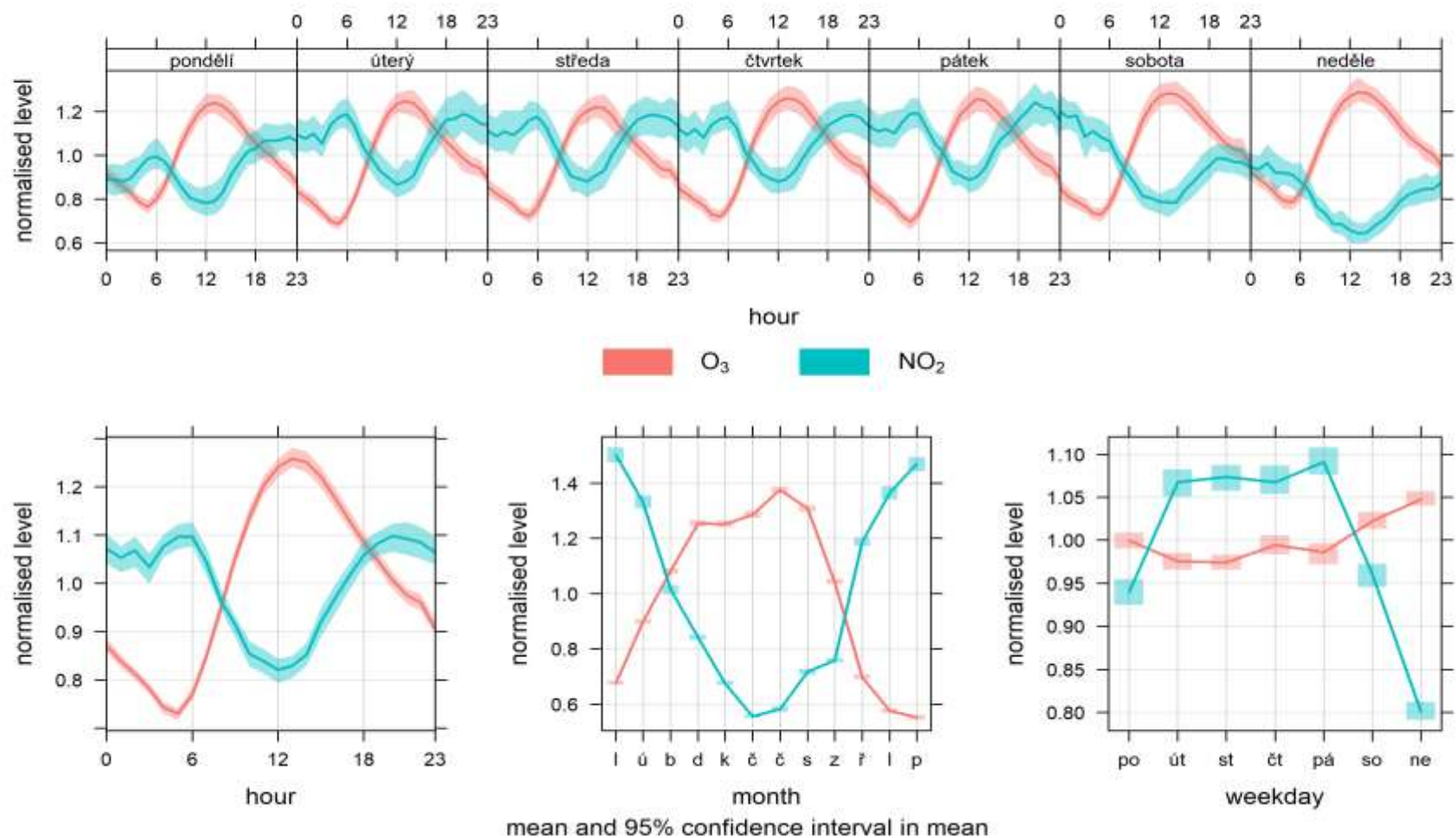
Obr. 204 – Průměrný denní chod dle směru větru a dnů v týdnu pro průměrné koncentrace O_3 , Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016



Obr. 205 – Přehled průměrných koncentrací O_3 v jednotlivých hodinách, členěno dle měsíců a toků, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016



Obr. 206 – Přehled průměrných koncentrací O₃ v jednotlivých hodinách vyjádřený ve stupnici indexu kvality ovzduší, členěno dle měsíců a toků, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016 [13]



Obr. 207 – Normalizované hodnoty průměrných koncentrací O_3 a NO_2 v hodinovém, týdenním a měsíčním chodu, Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

4.4 SMOGOVÝ VAROVNÝ A REGULAČNÍ SYSTÉM

Informativní prahová hodnota pro troposférický ozón odpovídá hodnotě jeho koncentrace o velikosti $180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ za dobu průměrování jedné hodiny. Informativní prahová hodnota je považována za překročenou v případě, že alespoň na jedné měřicí lokalitě reprezentativní pro úroveň znečištění v oblasti minimálně 100 km^2 překročila hodinová koncentrace troposférického ozónu hodnotu $180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Varovná prahová hodnota pro troposférický ozón odpovídá hodnotě jeho koncentrace o velikosti $240 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ za dobu průměrování jedné hodiny. Varovná prahová hodnota je považována za překročenou v případě, že alespoň na jedné měřicí lokalitě reprezentativní pro úroveň znečištění v oblasti minimálně 100 km^2 překročila hodinová koncentrace troposférického ozónu hodnotu $240 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

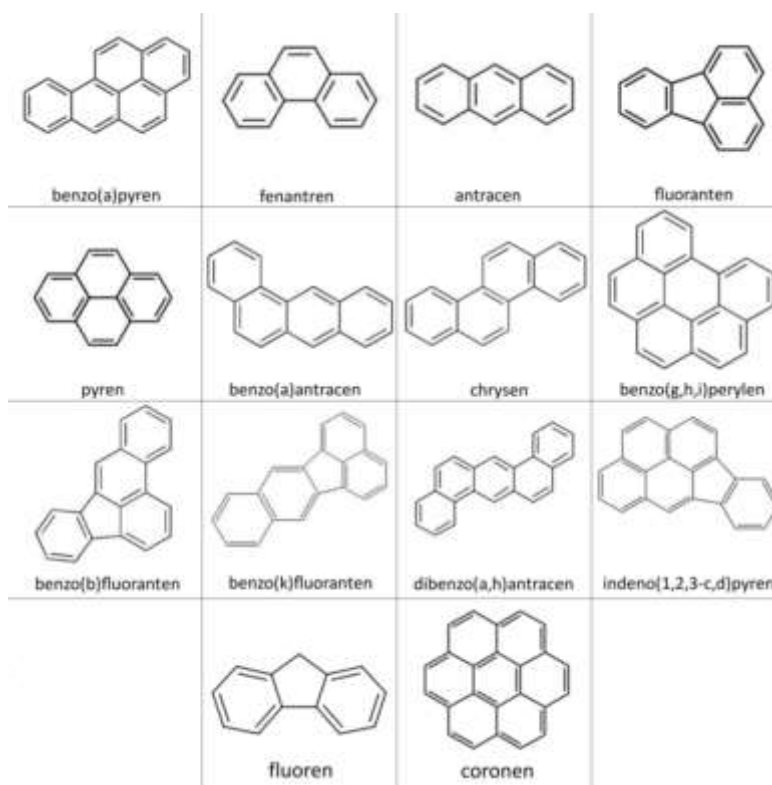
V rámci Jihomoravského kraje došlo k vyhlášení smogové situace pro troposférický ozón ve 2 letech – 2013 a 2015. Obzvláště v roce 2015 bylo trvání epizody dlouhé (Tab. 15). Na začátku srpna 2015 nastala mimořádně výrazná horká vlna, a to jak délkou, tak intenzitou. Celé toto období bylo charakterizováno horkým slunečným počasím s maximálními teplotami kolem 35°C a nízkými rychlostmi větru. Ve dnech 6. a 7. 8. po zadní straně tlakové výše nad východní Evropou zesílil do ČR příliv velmi teplého vzduchu od jihu. Během 8. a 9. 8. ovlivnila počasí v ČR zvlněná studená fronta, která přinesla jen velmi slabé ochlazení a místní srážky a v noci na 10. 8. se vrátila zpět nad západní Evropu. Do střední Evropy pak zasahovala oblast nižšího tlaku od jihu, později od jihozápadu a stále se nad střední Evropou udržoval velmi teplý a poměrně suchý vzduch. Vzhledem k suchému vzduchu se srážky v jednotlivých dnech vyskytovaly jen ojediněle. Dne 15. 8. postoupila přes ČR k východu slábnoucí zvlněná studená fronta. Další zvlněná studená fronta postoupila nad ČR během 16. 8. a udržovala se zde až do 18. 8. V těchto dnech přinesla vydatné srážky s třídními úhrny na většině území ČR od 30 do 100 mm (v jižních a jihozápadních Čechách a ve Slezsku většinou do 30 mm) a výrazné ochlazení [2]. Smogová situace pro troposférický ozón byla během této epizody vyhlášena 7. 8. 2015 a odvolána 17. 8. 2015, a to jak v aglomeraci Brno, tak v Jihomoravském kraji bez Brna.

Tab. 15 – Počet vyhlášených smogových situací v aglomeraci Brno a Jihomoravském kraji bez Brna v letech 2010 – 2016, číslo v závorce ukazuje délku trvání epizody v hodinách

	Aglomerace Brno	Jihomoravský kraj bez Brna
2010	0	0
2011	0	0
2012	0	0
2013	1 (25)	2 (49)
2014	0	0
2015	1 (229 h)	1 (229 h)
2016	0	0

5 BENZO[a]PYREN

Benzo[a]pyren je legislativním zástupcem polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH, Obr. 208). Přírodní hladina pozadí benzo[a]pyrenu může být s výjimkou výskytu lesních požárů téměř nulová. Jeho antropogenním zdrojem, stejně jako ostatních PAH, je jednak nedokonalé spalování fosilních paliv jak ve stacionárních (domácí topeniště – zcela majoritní zdroj emisí) tak i v mobilních zdrojích (motory spalující naftu), ale také průmyslová výroba (výroba koksu a oceli).



Obr. 208 – Polycyklické aromatické uhlovodíky rutinně stanovované v imisích

Přibližně 80–100 % PAH s pěti a více aromatickými jádry (tedy i benzo[a]pyren) je navázáno především na částice menší než 2,5 µm, tedy na tzv. jemnou frakci atmosférického aerosolu PM_{2,5} (sorpcí na povrchu částic). Tyto částice přetrvávají v atmosféře poměrně dlouhou dobu, což umožňuje jejich transport na velké vzdálenosti (stovky km) [30].

U benzo[a]pyrenu, stejně jako u některých dalších PAH, jsou prokázány karcinogenní účinky na lidský organismus [31].

Benzo[a]pyren má dle přílohy 1 zákona o ochraně ovzduší [1] uzákoněn imisní limit pro průměrnou roční koncentraci (Tab. 16).

Tab. 16 – Imisní limit pro benzo[a]pyren [1]

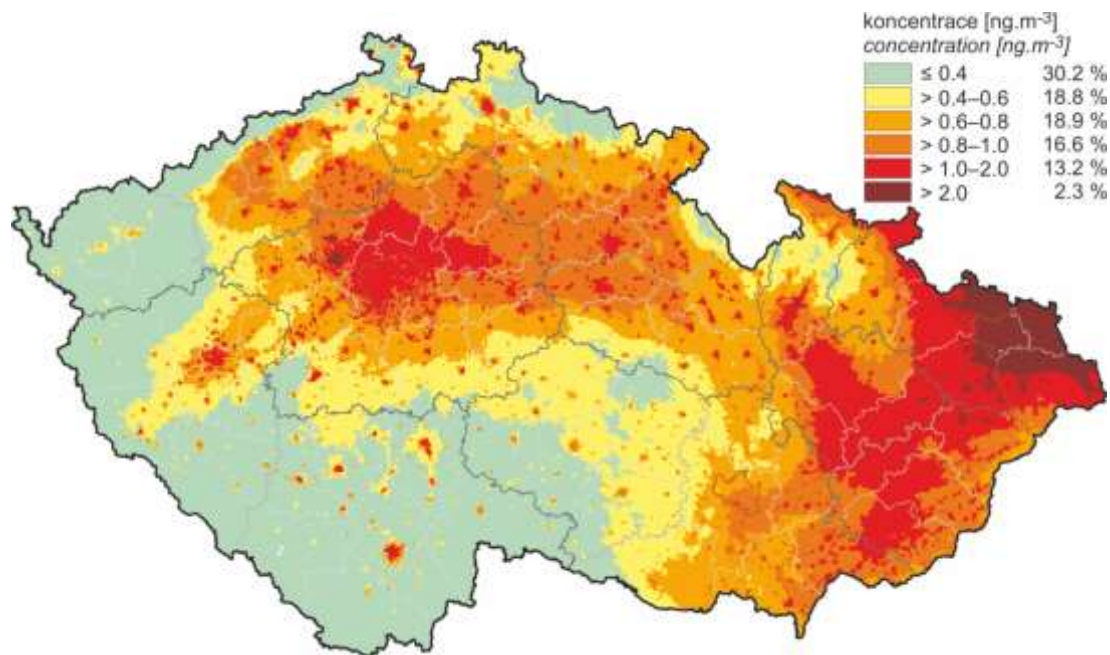
Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální povolený počet překročení
Benzo[a]pyren	1 kalendářní rok	1 ng.m ⁻³	

5.1 PRŮMĚRNÉ CHARAKTERISTIKY BENZO[a]PYRENU, PĚTILETÍ 2011 – 2015

Z důvodu zejména meteorologické odlišnosti jednotlivých let mohou být naměřené koncentrace škodlivin v jednotlivých letech odlišné. Proto dle zákona o ochraně ovzduší [1], §11, odst. 5 a 6 připravuje ČHMÚ každoročně pětileté průměry jednotlivých charakteristik a výsledky zveřejňuje na svém portálu [5]. Poslední dostupné pětiletí je 2011 – 2015, proto budou využity výsledky v této studii právě z tohoto pětiletí. Pětiletí 2012 – 2016 bude dostupné na portálu ČHMÚ v druhé polovině roku 2017.

5.1.1 Situace v ČR

Je třeba mít na zřeteli, že odhad polí ročních průměrných koncentrací benzo[a]pyrenu je zatížen výrazně vyššími nejistotami ve srovnání s ostatními mapovanými látkami. Na nejistotě mapy se podílí nedostatečný počet měření na venkovských regionálních stanicích i absence rozsáhlejšího měření v malých sídlech ČR, která by z hlediska znečištění ovzduší benzo[a]pyrenem reprezentovala zásadní vliv lokálních topenišť. Větší nejistotou je tedy zatíženo i posuzování meziroční změny podílu zasaženého území a obyvatel nadlimitními koncentracemi benzo[a]pyrenu. Počet lokalit s měřením benzo[a]pyrenu je limitován zejména vysokými náklady na laboratorní analýzy [2].

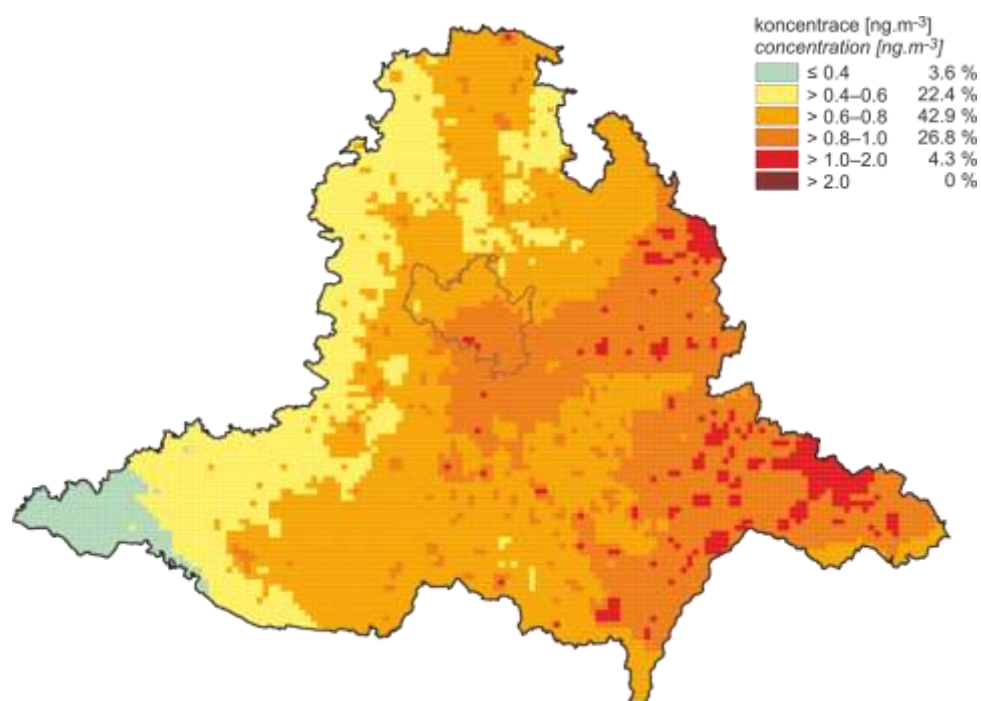


Obr. 209 – Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací benzo[a]pyrenu, ČR, 2011 – 2015

Z mapy na Obr. 209 vyplývá, že imisní limit pro průměrnou roční koncentraci benzo[a]pyrenu je dlouhodobě překračován na více než 15 % území ČR. Nejzatíženější oblastí je aglomerace O/K/F-M, koncentrace na polské straně jsou však ještě vyšší. K dalším zatíženým oblastem patří střední Morava a střední Čechy.

5.1.2 Situace v Jihomoravském kraji

Již z mapy celé ČR je patrné, že z hlediska dlouhodobých koncentrací benzo[a]pyrenu patří Jihomoravský kraj ke středně zatíženým regionům. Imisní limit je dlouhodobě překračován na necelých 5 % území Jihomoravského kraje, nad horní mezí pro posuzování ($0,6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) leží zhruba 70 % území kraje, pouze zhruba 4 % leží i pod dolní mezí pro posuzování ($0,4 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$). Meze pro posuzování vychází z legislativy a určují, zda je nutné v daném regionu škodlivinu měřit, nebo postačuje modelování [6].



Obr. 210 – Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací benzo[a]pyrenu, Jihomoravský kraj, 2011 – 2015

V roce 2015 byla v rámci kampaňového měření v Jihomoravském kraji v topné sezoně proměřena tři malá sídla (Prace, Chudčice, Velké Pavlovice) s různým stupněm využívání plynu pro vytápění domácností. Měření probíhala na přelomu října a listopadu v době, kdy byla ve značné části zón a aglomerací vyhlášena smogová situace z důvodů vysokých koncentrací PM_{10} . Tato situace ještě zvýraznila problém, který může nastávat v malých sídlech. Naměřené denní koncentrace dosahovaly několikanásobně vyšších hodnot než koncentrace měřené ve stejný den v lokalitě Brno-Líšeň (lokalita v rezidenční části Brna, sídliště napojeno na CZT). Koncentrace v malých obcích byly dokonce srovnatelné s dlouhodobě nejznečištěnějšími lokalitami aglomerace O/K/F-M. Vzhledem k tomu, že počet hodnot koncentrací získaných kampaňovým měřením neumožňuje dle platné legislativy výpočet ročních průměrných koncentrací, bylo výše uvedené hodnocení založeno na porovnání průměrných denních koncentrací [2], [32], [33].

Obdobně proběhla druhá měřicí kampaň v roce 2016 – v topné sezóně probíhalo měření v obcích Babice u Rosic a Jinačovice. Během této druhé kampaně nedošlo na rozdíl od roku 2015 k žádné epizodě zhoršených rozptylových podmínek. Koncentrace benzo[a]pyrenu v Babicích u Rosic dosáhly ze začátku kampaně na čtyřnásobek až šestinásobek koncentrací měřených ve stejné dny v Brně – Líšni. V druhé polovině kampaně se i díky oteplení a útlumu topení v lokálních topeništích koncentrace srovnávaly. V případě lokality Jinačovice byl vývoj koncentrací benzo[a]pyrenu opačný, což opět souviselo zejména s meteorologickými podmínkami v době měření. Ze začátku kampaně byly díky vyšším teplotám koncentrace benzo[a]pyrenu zhruba dvojnásobné proti koncentracím měřeným v Brně – Líšni. Na přelomu října a listopadu však došlo k významnějšímu ochlazení. Nízké teploty se odrazily ve zvýšené intenzitě topení a nárůstu koncentrací benzo[a]pyrenu na pětinašobek (31. 10. 2016) a následně až na desetinašobek (3. 11. 2016) koncentrací měřených v Brně-Líšni [34]. Naměřené koncentrace souhrnně uvádí Tab. 17, podbarvením jsou rozlišeny jednotlivé roky.

Tab. 17 – Denní koncentrace benzo[a]pyrenu (ng.m^{-3}) během kampaní na jednotlivých lokalitách a srovnání se stanicí SSIM Brno – Líšeň [32], [34]

	25.10.2015	28.10.2015	31.10.2015	3.11.2015	6.11.2015	9.11.2015	12.11.2015	18.11.2015	7.10.2016	10.10.2016	13.10.2016	16.10.2016	22.10.2016	28.10.2016	31.10.2016	3.11.2016
Prace	3,3	0,6	1,3	3,7												
Chudčice			6,1	13,1	18,4	9,4										
Velké Pavlovice					4,5	1,3	0,4	0,4								
Babice u Rosic									3,8	2,3	1,2	2,0				
Jinačovice													0,9	0,9	2,7	4,6
Brno-Líšeň	0,7	0,3	0,8	1,0	2,0	0,9	0,7	0,3	0,6	0,6	0,8	1,9	0,4	0,8	0,5	0,4

I z tohoto důvodu je třeba chápat mapu benzo[a]pyrenu tak, že z důvodu malého počtu měřicích lokalit v ní může být zanesena velká chyba. Zatímco Brno je proměřeno poměrně dobře, malá sídla v Jihomoravském kraji mohou být během topné sezóny výrazně znečištěnější. Je tedy možné, že plocha s překročenými imisními limity pro benzo[a]pyren by mohla být v Jihomoravském kraji ještě větší právě z důvodu vysokých emisí v lokálních topeništích v malých sídlech.

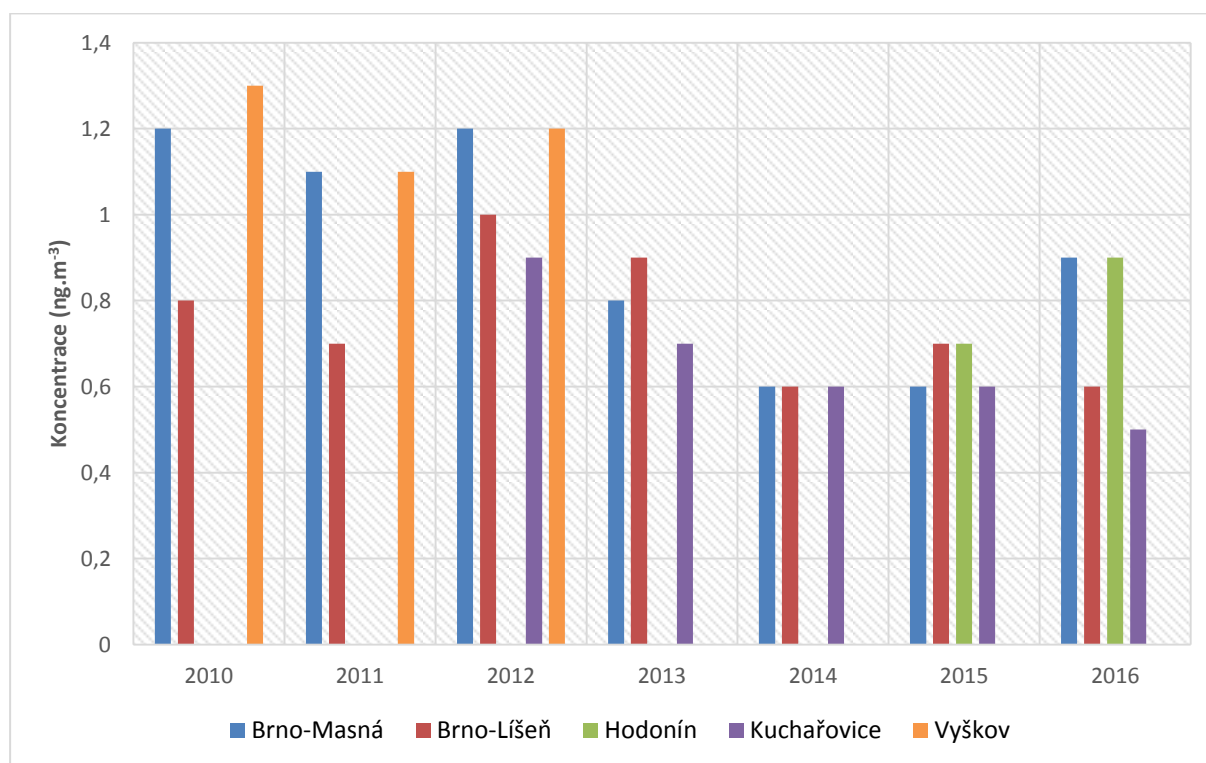
5.2 VÝVOJ KONCENTRACÍ BENZO[a]PYRENU, 2010 – 2016

V následující Tab. 18 jsou uvedeny průměrné roční koncentrace benzo[a]pyrenu na stanicích SSIM Jihomoravského kraje, které v daném roce naměřily dostatečný počet dat pro výpočet ročního průměru dle platné legislativy [1], [6]. Graficky je vývoj průměrných ročních koncentrací benzo[a]pyrenu znázorněn na Obr. 211

Tab. 18 – Průměrné roční koncentrace benzo[a]pyrenu ($\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$), Jihomoravský kraj, 2010 – 2016

Lokalita	Eol	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Brno-Masná	B/U/CR	1,2	1,1	1,2	0,8	0,6	0,6	0,9
Brno-Líšeň	B/U/R	0,8	0,7	1	0,9	0,6	0,7	0,6
Hodonín	B/U/R						0,7	0,9
Kuchařovice	B/U/R			0,9	0,7	0,6	0,6	0,5
Vyškov	B/S/RA	1,3	1,1	1,2				

Vysvětlivky: Pokud je hodnota vyvedena červeným písmem, došlo v daném roce a na dané lokalitě k překročení imisního limitu. Význam zkratk Eol je uveden v příloze 2 této studie.



Obr. 211 – Průměrné roční koncentrace benzo[a]pyrenu ($\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$), Jihomoravský kraj, 2010 – 2016

Z grafu na Obr. 211 je patrné, že vyšší koncentrace byly měřeny zejména v letech 2012, kdy byly delší zimy s nižšími teplotami. Koncentrace benzo[a]pyrenu tak byly plošným působením lokálních topenišť zvýšené v celém kraji. Naopak relativně teplejší zimy posledních 3 let měly za následek pokles koncentrací. Vyšší koncentrace měřila lokalita Vyškov, která byla lokalizována na periferii Vyškova směrem k Dědicím, ovlivnění tak zřejmě pocházelo z lokálních topenišť.

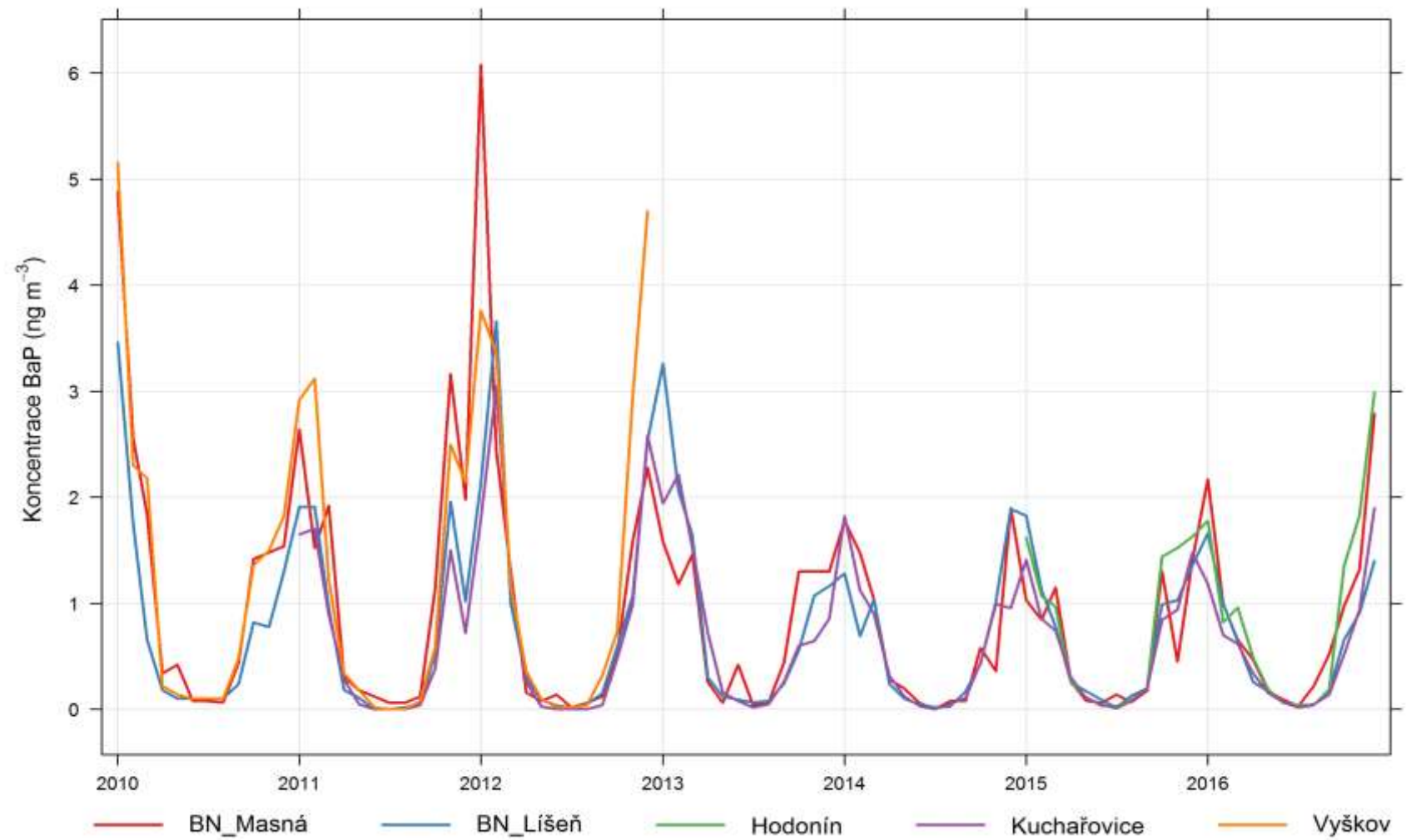
Naopak zvýšené koncentrace v lokalitě Brno – Masná mohou částečně souviset s dopravním zatížením centra Brna [35]. V roce 2013 – 2015 dramaticky poklesla koncentrace v lokalitě Brno-Masná až na úroveň 50 % koncentrace z roku 2012, koncentrace jsou tak byly totožné jako v pozadové lokalitě Brno-Líšeň či ve venkovské pozadové lokalitě Kuchařovice. V roce 2016 došlo k mírnému nárůstu koncentrací benzo[a]pyrenu v lokalitě Brno – Masná, naopak v lokalitách Brno – Líšeň a Kuchařovice došlo k mírnému poklesu koncentrací.

Lokalita Brno – Líšeň měří pozadové koncentrace benzo[a]pyrenu v rezidenční části Brna – v sídlišti napojeném na CZT. V letech 2012 a 2013 zde byly měřeny mírně vyšší koncentrace benzo[a]pyrenu, stanice byla ovlivněna stavbou bytového komplexu v těsné blízkosti stanice. Přestože byla lokalita postavena v místě, kde rozptylová studie pro spalovnu SAKO Brno a.s. očekávala zvýšené koncentrace z tohoto zdroje, koncentrace PAH jsou zde měřeny na velmi nízkých koncentračních úrovních [33].

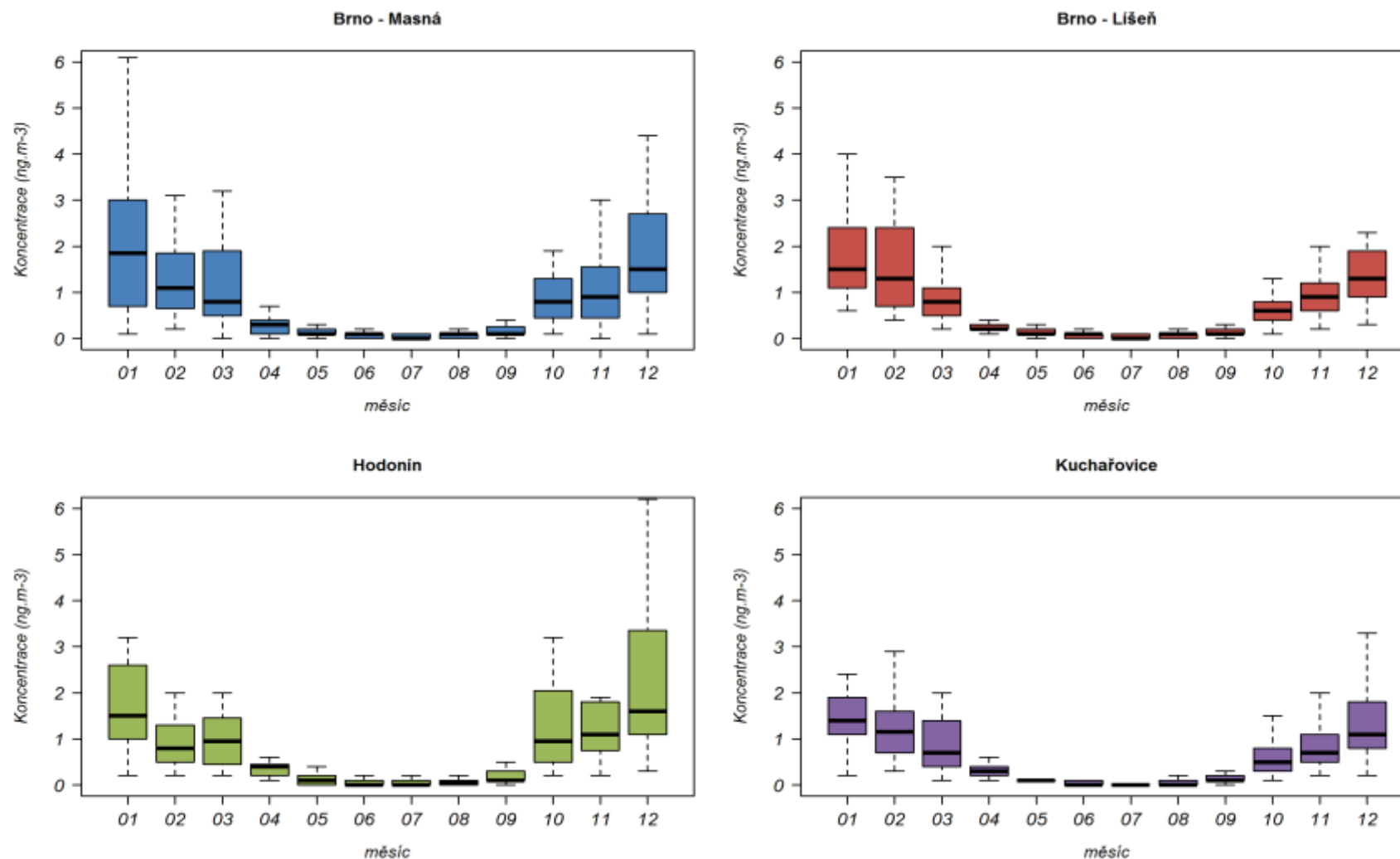
Stanice Kuchařovice slouží jako regionální pozadová lokalita pro Jihomoravský kraj a je umístěna v areálu profesionální meteorologické stanice Kuchařovice. Lokalita tedy neleží přímo v obci, nýbrž na kopci nad obcí v dobře provětrávané lokalitě.

Koncentrace benzo[a]pyrenu vykazují výrazný roční chod (Obr. 212) s maximy v zimním období a minimem v letním období. V zimním období zvýšené koncentrace v atmosféře souvisí se zvýšenými emisemi polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH) ze sezonních antropogenních zdrojů – z lokálních topenišť (tj. nejvýznamnějšího zdroje emisí benzo[a]pyrenu – viz. kapitola 5.3). Dále jsou zvýšené koncentrace způsobeny zhoršenými rozptylovými podmínkami v zimním období, jednodušší konverzí plyn-částice při nízkých teplotách a nižším fotochemickým rozkladem PAH. V letním období naopak dochází k poklesu koncentrací díky zlepšení rozptylových podmínek, zvýšení chemického a fotochemického rozkladu PAH za vyšší intenzity slunečního záření a vysokých teplot. A pochopitelně také díky poklesu emisí z antropogenních zdrojů [36], [37].

Statistické zpracování ročního chodu měsíčních koncentrací benzo[a]pyrenu na aktuálně měřících stanicích SSIM Jihomoravského kraje zobrazuje Obr. 213. Grafy potvrzují předchozí odstavec, že zvýšené koncentrace benzo[a]pyrenu jsou měřeny pouze v chladné části roku v topné sezóně. Naopak v teplé části roku jsou koncentrace velmi nízké. Zatímco v Kuchařovicích a v Brně – Líšni se 95. percentil pohybuje v blízkosti 3 resp. 4 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$, v lokalitách Brno – Masná a Hodonín dosahuje tento percentil až 6 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$.



Obr. 212 – Vývoj průměrných měsíčních koncentrací benzo[a]pyrenu na stanicích SSIM Jihomoravského kraje, 2010 – 2016



Obr. 213 – Statistické zpracování 24hodinových koncentrací benzo[a]pyrenu na aktuálně měřících stanicích SSIM v Jihomoravském kraji za období 2010 – 2016, členěné dle jednotlivých měsíců, (medián, box = 25% – 75%, whisker = 5% – 95%)

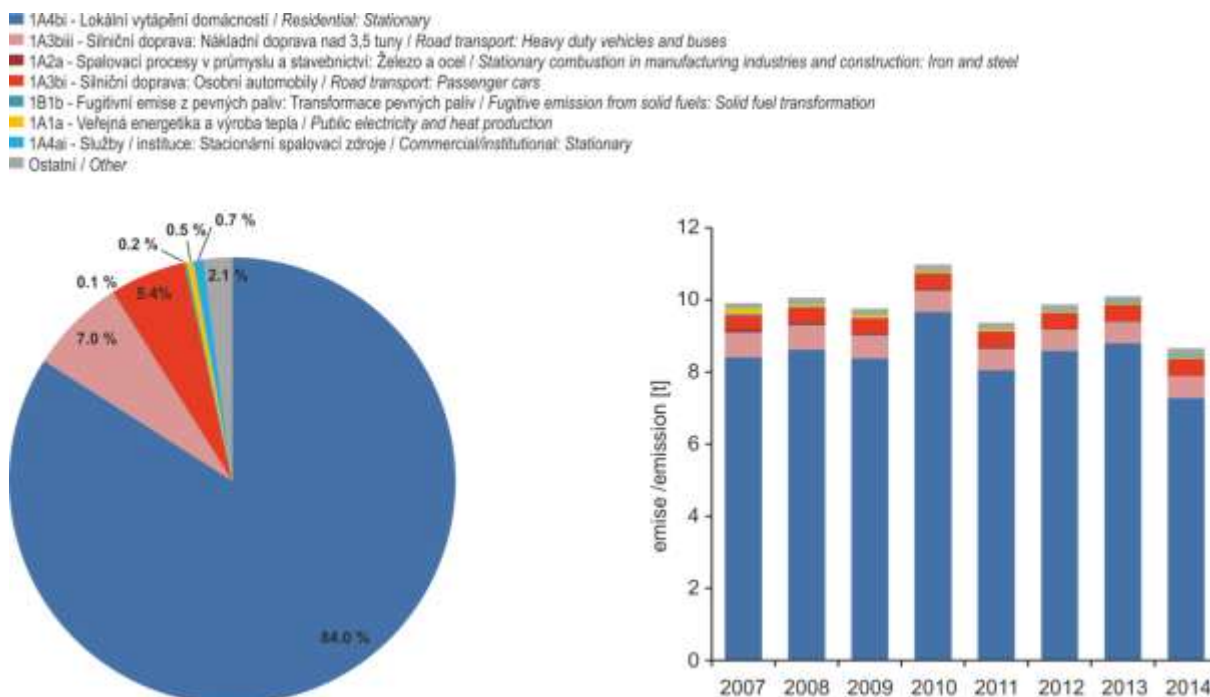
5.3 EMISE PAH

5.3.1 Emise PAH a benzo[a]pyrenu v ČR

PAH, zastoupené v oblasti sledování kvality ovzduší benzo[a]pyrenem, jsou produkovány téměř výhradně spalovacími procesy, při nichž nedochází k dostatečné oxidaci přítomných organických spalitelných látek. Benzo[a]pyren je produktem nedokonalého spalování při teplotách 300 až 600 °C. Mezi jeho nejvýznamnější zdroje se proto řadí spalování pevných paliv v kotlích nižších výkonů, především v domácích topeništích, a doprava.

Sektor 1A4bi-Lokální vytápění domácností se na emisích benzo[a]pyrenu v roce 2014 v celorepublikovém měřítku podílel 84,0 % (Obr. 214). Hlavní příčinou takto vysokého podílu je spalování pevných paliv, především uhlí, v kotlích starších typů (odhořivací, prohořivací). Podle odborných odhadů tvoří odhořivací a prohořivací kotle až 85 % všech zařízení na spalování pevných paliv v domácnostech ČR [38]. Vliv sektorů 1A3biii-Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5 tuny a 1A3bi-Silniční doprava: Osobní automobily je odhadován na 12,4 %. Ostatní významnější zdroje emisí benzo[a]pyrenu se nacházejí v sektorech 1A2a-Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Železo a ocel (spékací pásy aglomerace) a 1B1b-Fugitivní emise z pevných paliv: Transformace pevných paliv (netěsnosti koksárenských baterií).

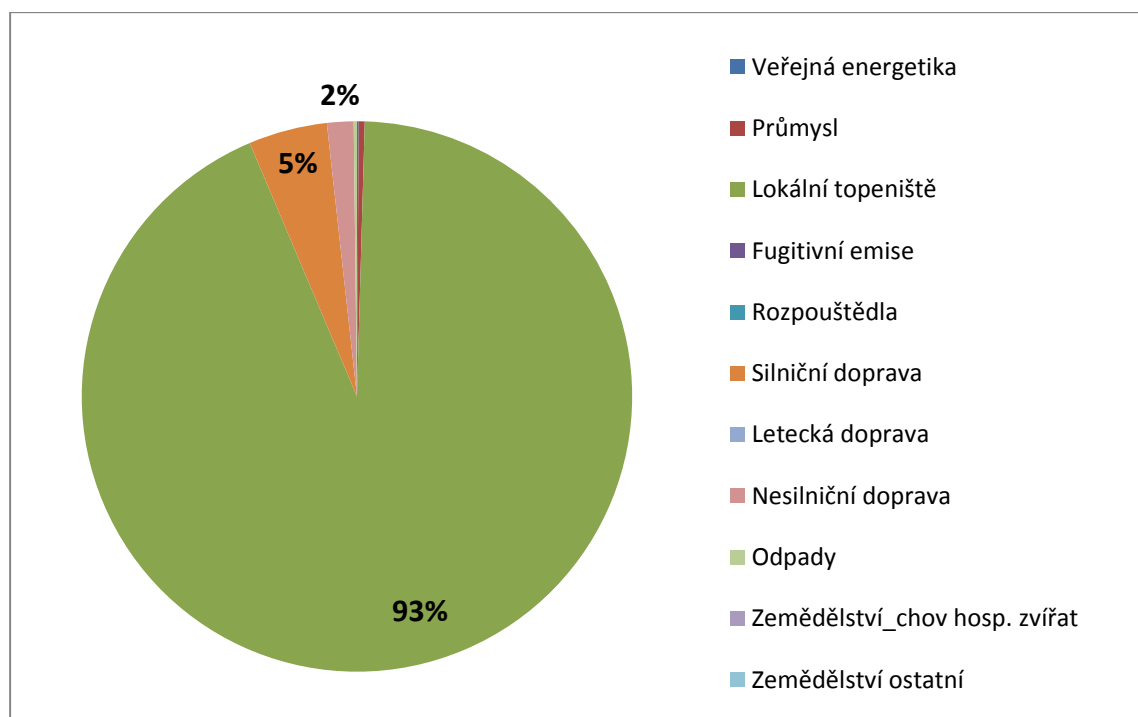
V jednotlivých oblastech ČR se podíl jednotlivých typů zdrojů na celkových emisích liší podle konkrétní skladby zdrojů v dané oblasti. Vzhledem k dominantnímu podílu sektoru 1A4bi jsou emise benzo[a]pyrenu rozloženy na území obydlené zástavby celé ČR a jejich množství v období 2007–2014 bylo závislé především na teplotním charakteru topných sezon (Obr. 214).



Obr. 214 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích benzo[a]pyrenu v ČR v roce 2014, včetně vývoje 2007 – 2014

5.3.2 Emise PAH a benzo[a]pyrenu v Jihomoravském kraji

Emisní bilance PAH v Jihomoravském kraji byla připravena z reportovaných emisí v rozložení EMEP-GRID [19] a členěných dle hlavních sektorů (GNFR) [20]; použity byly hodnoty emisí PAH za rok 2015. Na rozdíl od celorepublikových dat členěných dle jednotlivých sektorů NFR (viz předchozí kapitola) nejsou údaje na úrovni krajů v tomto podrobném členění dostupné. Pro přehled podílu zdrojů na emisích PAH v Jihomoravském kraji jsou však naprosto dostačující. Zastoupení jednotlivých sektorů GNFR zobrazuje následující Obr. 215.



Obr. 215 – Podíl jednotlivých sektorů zdrojů GNFR na emisích benzo[a]pyrenu v Jihomoravském kraji, rok 2015 [17]

Z grafu na Obr. 215 je patrná jasná dominance lokálních topenišť z pohledu emisí benzo[a]pyrenu v Jihomoravském kraji. Zhruba 5 % se na emisích podílí silniční doprava, přičemž vyšší emise lze rovněž očekávat v chladné části roku z důvodu studených startů [39]. Nesilniční doprava (zemědělské, lesní a stavební stroje, vozidla armády, stavební stroje, údržba zeleně, apod.) se na celkových emisích benzo[a]pyrenu podílí 2 %.

6 ZÁVĚRY

Kvalita ovzduší v Jihomoravském kraji je dobrá, výrazně se neliší od ostatních regionů v oblasti. Imisní limity nejsou překračovány na větších plochách území kraje, výjimku může tvořit troposférický ozón v závislosti na meteorologických podmínkách v létě.

Ovzduší v kraji lze rozdělit dle jednotlivých škodlivin:

- **Suspendované částice PM₁₀** – imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM₁₀ není v kraji dlouhodobě překračován. V případě 24hodinového imisního limitu dochází k překračování převážně na lokalitách ovlivněných dopravou, avšak téměř výhradně v topné sezóně. V posledních 20 letech dochází k trvalému poklesu koncentrací PM₁₀, výjimkou je období 2000 – 2003, kdy došlo k výraznému zdražování zemního plynu a část obyvatel se i přes plynofikaci vrátila k topení pevnými palivy. Drobná variabilita ve vývoji koncentrací PM₁₀ v jednotlivých letech je způsobena meteorologickými podmínkami, vývoj je totožný s vývojem na rakouských stanicích s výjimkou období 2000 – 2003. Suspendované částice PM₁₀ mají viditelný roční chod s maximy v chladné části roku a minimy v letních měsících. Vyšší koncentrace jsou měřeny v centrech měst a na dopravou exponovaných lokalitách, doprava však koncentrace pouze navyšuje, hlavním faktorem ovlivňujícím koncentrace PM₁₀ jsou meteorologické podmínky a topná sezóna. Vyšší koncentrace jsou měřeny při teplotách pod 0 °C, kdy je nutnost intenzivněji topit. Z vyhodnocení vyplývá, že i v dopravou nejzatíženější lokalitě Brno – Svatoplukova tvoří regionální pozadí zhruba 65 % měřených koncentrací PM₁₀ a městské pozadí tvoří zhruba 85 % této dopravní lokality. **Doprava tedy navyšuje koncentrace zhruba o 15 % proti dopravou neovlivněnému centru města a zhruba o 35 % navyšuje koncentrace proti koncentracím v nejčistších oblastech kraje bez jakéhokoliv lokálního ovlivnění.** Výrazným zdrojem emisí PM₁₀ v Jihomoravském kraji jsou sektory zemědělství, lokálních topenišť a dopravy. Více viz. kapitola 2 a kapitola **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**
- **Suspendované částice PM_{2,5}** – imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM_{2,5} byl naposledy překročen v roce 2014. Rovněž v případě koncentrací PM_{2,5} dochází k trendu poklesu koncentrací. Rovněž koncentrace PM_{2,5} mají zřetelný roční chod s maximy v chladné části roku a minimy v letních měsících. Zvýšené koncentrace jsou měřeny v topné sezóně, kdy je v provozu nejvýznamnější zdroj emisí v Jihomoravském kraji – lokální topeniště. Ty ovlivňují spolu s dopravou i koncentrace na dopravou zatížených lokalitách, v lokalitě Brno – Svatoplukova jsou v rámci denního chodu měřeny nejnižší koncentrace kolem poledne, naopak v noci jsou zvýšené. Nízké teploty se podobně jako u PM₁₀ promítají do vyšších koncentrací PM_{2,5}. Více viz. kapitola 2 a kapitola **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**
- **Oxid dusičitý NO₂** – V případě koncentrací NO₂ dochází na pozadových lokalitách k mírně klesajícímu trendu, na dopravních lokalitách se však koncentrace dlouhodobě téměř nemění. Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci NO₂ je dlouhodobě překračován pouze na dopravních lokalitách uzavřených zástavbou do kaňonu, v otevřených dopravních lokalitách jsou koncentrace pouze zvýšené. Imisní limit pro hodinovou koncentraci NO₂ není na stanicích SSIM Jihomoravského kraje překračován. Na dopravních lokalitách jsou koncentrace úzce spjaté s dopravou a denní chod je závislý na intenzitě dopravy, na pozadových lokalitách

je patrný charakteristický chod s minimy v denní době (díky tvorbě troposférického ozónu) a zvýšenými koncentracemi v nočních hodinách (zejména v topné sezóně), na kterých se může podílet vytápění. Nejvýznamnějším zdrojem emisí oxidů dusíku je v Jihomoravském kraji doprava, přičemž zhruba stejným dílem se na emisích podílí silniční a nesilniční ((zemědělské, lesní a stavební stroje, vozidla armády, stavební stroje, údržba zeleně, apod.) doprava. Více viz. kapitola 3 a kapitola **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**

- **Troposférický ozón** – Koncentrace troposférického ozónu jsou velmi závislé na meteorologických podmínkách. Zvýšené koncentrace lze očekávat pouze za slunných a teplých dní – ozón vzniká fotochemickou reakcí z prekursorů NO_2 a těkavých organických látek, není tedy primárně emitován. Nejvyšší koncentrace jsou měřeny na pozadových lokalitách, naopak v případě dopravních lokalit jsou koncentrace nízké – ozón coby velmi reaktivní prvek reaguje s dalšími škodlivinami, zejména pak oxidy dusíku. Část vysokých koncentrací může být i produktem dálkového transportu z jihovýchodních směrů. Imisní limity jsou překračovány převážně v letech s teplým a slunečným létem a pouze na pozadových lokalitách kraje. Více viz. kapitola 4.
- **Benzo[a]pyren** – Naprosto majoritním zdrojem benzo[a]pyrenu v Jihomoravském kraji jsou lokální topeniště. To se projevilo i ve speciálních měřicích kampaních v malých sídlech Jihomoravského kraje během topné sezóny, kdy koncentrace benzo[a]pyrenu v těchto malých obcích přesahovaly koncentrace v Brně, v některých případech i několikanásobně. Naopak díky napojení velkého množství domácností v Brně na CZT a skutečnost, že brněnské teplárny používají jako palivo plyn se odráží v nepřekračování imisních limitů v posledních letech a relativně nízkých koncentrací v Brně i proti celorepublikovému průměru.

7 SEZNAM ZKRATEK POUŽITÝCH V DOKUMENTU

24h_36MAX	36. nejvyšší 24 hodinová koncentrace za kalendářní rok
8hkp_MAX26	26. nejvyšší 8 hodinový klouzavý průměr v průměru za 3 roky
AIM	automatizovaný imisní monitoring (AMS, AMS-SRS)
BaP, B(a)P	benzo[<i>a</i>]pyren
CZT	centrální zásobování teplem
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
Eol	Klasifikace stanic vycházející z Rozhodnutí Rady 97/101/EC o výměně informací a kritérií pro Evropskou síť kvality ovzduší.
ISKO	Informační systém kvality ovzduší
LAT	dolní mez pro posuzování
LV	limitní hodnota
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NMVOC	nemetanické těkavé organické látky
NO ₂	oxid dusičitý
NO _x	oxidy dusíku, součet NO a NO ₂ (v ppb)
O/K/F-M	aglomerace Ostrava / Karviná / Frýdek – Místek
ORP	obec s rozšířenou působností
O ₃	troposférický ozón
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky
PM _{2,5}	suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 2,5 µm
PM ₁₀	suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 10 µm
REZZO	registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší
rp	průměrná roční koncentrace
SSIM	státní síť imisního monitoringu
SVRS	Smogový varovný a regulační systém
TK	těžké kovy
TZL	tuhé znečišťující látky
UAT	horní mez pro posuzování
UTC	světový koordinovaný čas
VMO	Velký městský okruh
VOC	těkavé organické látky
ZÚ OVA	Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě
JMK	Jihomoravský kraj

8 CITOVANÁ LITERATURA

- [1] Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší ve znění pozdějších předpisů, 2012 - 2017, MŽP, 2012.
- [2] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České Republiky 1996 - 2015,“ 1 12 2016. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html.
- [3] U. EPA, „Particulate Matter (PM) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/pm-pollution>.
- [4] J. Keder, „Rozbor výsledků kontinuálního měření spekter velikostí částic analyzátorů Grimm,“ v *Ovzduší 2007*, Brno, 2007.
- [5] ČHMÚ, „Pětileté průměrné koncentrace podle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb., §11, odst. 5 a 6,“ 2016. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/ozko/ozko_CZ.html.
- [6] Vyhláška č. 330/2012 Sb. o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích, ve znění pozdějších předpisů, 2012 - 2017, MŽP, 2012.
- [7] MŽP, „Zákon č. 369/2016 Sb., kterým se mění zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.sbirka.cz/POSL4TYD/NOVE/16-369.htm>.
- [8] I. International, „Multi-Pollutant Emissions Benefits of Transportation Strategies,“ 14 11 2006. [Online]. Available: https://www.fhwa.dot.gov/environment/air_quality/conformity/research/mpeb.pdf.
- [9] J. Bednář, „Kompendum ochrany kvality ovzduší, část 1: Meteorologie,“ *Ochrana ovzduší 2/2003*, 2003.
- [10] D. C. Carslaw a J. Ropkins, „OpenAir-an R package for air quality data,“ *Environmental Modelling & Software*, Sv. 1 z 2 Volume 27-28, pp. 52-61, 2012.
- [11] I. Uria Tellaetxe a D. C. Carslaw, „Conditional bivariate probability function for source identification,“ *Environmental Modelling & Software*, sv. Volume 59, pp. 1 - 9, 2014.
- [12] R. Skeřil a Š. Antořová, „Vliv dopravy na kvalitu ovzduší v Brně,“ v *Doprava, zdraví a životní prostředí*, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Brno, 2016.
- [13] ČHMÚ, „ISKO - Aktuální hodinový přehled koncentrací,“ [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/actual_hour_data_CZ.html.
- [14] G. Knozová a R. Skeřil, „Koncentrace tuhých částic v ovzduší v bezesrážkových epizodách v Brně

- (1996-2010),“ v *Ovzduší 2011*, Brno, 2011.
- [15] R. Skeřil, Š. Antořová a G. Knozová, „Monitoring větrné eroze v lokalitě Kuchařovice,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?PubID=337479&TypeID=7>.
- [16] ČHMÚ, Šíření znečišťujících látek ovzduší v okolí dopravních komunikací, Praha, 2017.
- [17] ČHMÚ, „Registr emisí a zdrojů znečištění ovzduší,“ 2010-2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emisnibilance_CZ.html.
- [18] M. VOJTÍŠEK, „O provozu vznětových motorů a aerosolech jimi produkovaných v městských aglomeracích,“ *Konference ČAS 2010. Sborník konference.*, č. ISBN: 978-80-86186-25-2, 2010.
- [19] C. Umweltbundesamt, „The new EMEP grid in geographic coordinate system,“ [Online]. Available: http://www.ceip.at/new_emep-grid.
- [20] EIONET, „Reporting obligation for: National Emission Ceiling Directive (NECD) - National gridded data of emissions by source category (GNFR),“ 2015. [Online]. Available: <http://rod.eionet.europa.eu/obligations/749/overview>.
- [21] s. Bucek, „ROZPTYLOVÁ STUDIE PRO POSOUZENÍ IMISNÍHO ZATÍŽENÍ Z VĚTRNÉ EROZE,“ Jihomoravský kraj, [Online]. Available: <https://www.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?ID=262828&TypeID=2>.
- [22] USEPA, „Nitrogen Dioxide (NO₂) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/no2-pollution>.
- [23] P. WARNECK, Chemistry of the natural atmosphere, San Diego: Academic Press: ISBN 0-12-735632-0, 2000.
- [24] European Commission, „Position paper on air quality: nitrogen dioxide,“ 1997.
- [25] WHO, „Air quality guidelines for Europe, Second Edition,“ *WHO Regional Publications, European Series*, sv. No. 91, 2000.
- [26] V. Neužil, „Podíl NO a NO₂ ve spalínách,“ *Výzkumná zpráva*, sv. Praha: KONEKO, 2012.
- [27] J. H. Seinfeld a S. N. Pandis, Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change, New York: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-0-471-72017-1, 2006.
- [28] J. Fiala a D. Závodský, „Chemické aspekty znečištěného ovzduší – troposférický ozon,“ v *Kompendium ochrany kvality ovzduší*, Praha, 2003.
- [29] I. Colbeck a A. R. Mackenzie, „Air Pollution by photochemical oxidants,“ *Air Quality Monographs*, č. Elsevier. ISBN 0-444-88542-0, 1994.
- [30] EEA, „Air quality in Europe — 2016 report,“ 2016. [Online]. Available:

https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016/at_download/file.

- [31] IARC, „List of classifications by alphabetical order. Agents Classified by the IARC Monographs,“ [Online]. Available: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf>.
- [32] R. Skeřil a Š. Antořová, „Měřicí kampaň kvality ovzduší v obcích Jihomoravského kraje - zima 2015 (Prace, Chudčice, Velké Pavlovice),“ 2015. [Online]. Available: <https://www.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?PubID=288488&TypeID=7>.
- [33] J. Horák, F. Hopan a Krpec, Kamil, „Může jedna obec vyprodukovat tolik dioxinů jako velká spalovna odpadů?,“ *Ochrana ovzduší 1/2012*, pp. 36-38, 2012.
- [34] R. Skeřil, Š. Antořová a H. Plachá, „Měření kvality ovzduší v malých obcích v topné sezóně 2016 (Jinačovice, Babice u Rosic),“ 2016. [Online]. Available: <https://www.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?PubID=329832&TypeID=7>.
- [35] P. Bulejko, V. Adamec a R. Skeřil, „Levels, sources, and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in Brno, Czech Republic: a 5-year study,“ *Environmental Science and Pollution Research*, sv. 23, č. DOI: 10.1007/s11356-016-7172-5, 2016.
- [36] Z. Li, E. N. Porter, A. Sjödin, L. Larry, L. L. Needham, S. Lee, G. Armistead, A. G. Russel, A. James a J. A. Mulholland, „Characterization of PM_{2.5}-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in Atlanta. Seasonal variations at urban, suburban, and rural ambient air monitoring sites,“ *Atmospheric Environment*, sv. 49, pp. 4187 - 4193, 2009.
- [37] E. e. a. Teixeira, „Source identification and seasonal variation of polycyclic aromatic hydrocarbons associated with atmospheric fine and coarse particles in the Metropolitan Area of Porto Alegre, RS, Brazil,“ *Atmospheric Research*, sv. 118, pp. 390-403, 2012.
- [38] A. Bufka a MPO, „Malá spalovací zařízení na pevná paliva pro domácnosti,“ 2011. [Online]. Available: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/48322/54476/600290/priloha001.pdf>.
- [39] D. Ludykar, R. Westerholm a J. Almen, „Cold start emissions at +22, –7 and –20 degrees C ambient temperatures from a three-way catalyst (TWC) car: regulated and unregulated exhaust components,“ *Science of the Total Environment*, sv. 235, pp. 65-69, 1999.
- [40] R. Skeřil a Š. Antořová, „Kvalita ovzduší v malých obcích Jihomoravského kraje během topné sezóny,“ v *Sborník konference Ovzduší 2017*, Brno, ISBN 978-80-210-8544-2, 2017.
- [41] Wikipedia, „Inverze teploty vzduchu,“ 14 3 2016. [Online]. Available: https://cs.wikipedia.org/wiki/Inverze_teploty_vzduchu.
- [42] W. Birumili a e. all, „A case of extreme particulate matter concentrations over Central Europe caused by dust emitted over the southern Ukraine,“ *Atmos. Chem. Phys.*, sv. 8, pp. 997 - 1016, 2008.
- [43] U. o. Athens, „SKIRON – Dust Forecast Mediterranean – Europe, North Atlantic,“ 2016. [Online].

Available: <http://forecast.uoa.gr/dustindx.php>. [Přístup získán 23. 2. 2016].

- [44] R. Skeřil, J. Keder, Š. Antošová a Š. Rychlík, „Epizoda zvýšených koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ pocházejících ze Sahary,“ *Meteorologické zprávy*, sv. 1, 2017.
- [45] MŽP, „Program zlepšování kvality ovzduší zóna Jihovýchod - CZ06Z,“ 2016. [Online]. Available: http://www.mzp.cz/cz/kvalita_ovzdusi_jihovychod_2016.
- [46] Bucek s.r.o., Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016, Brno: Jihomoravský kraj, 2017.

9 PŘÍLOHY

9.1 PŘÍLOHA 1 – SEZNAM STANIC IMISNÍHO MONITORINGU A PROVÁDĚNÝCH MĚŘENÍ

Tab. 19 – Seznam stanic SSIM, jejich charakterizace a měření škodlivin popisovaných v této studii

Lokalita	Eol	Vlastník	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	O ₃	BaP
Brno – Dětská nemocnice	B/U/RC	ČHMÚ	X	X	X	X	
Brno-Arboretum	B/U/RN	MMB	X		X		
Brno-Lány	B/S/RN	MMB	X	X	X	X	
Brno-Svatoplukova	T/U/R	MMB	X	X	X		
Brno-Výstaviště	T/U/C	MMB	X		X		
Brno-Zvonařka	T/U/C	MMB	X	X	X	X	
Brno-Masná	B/U/CR	ZÚ OVA	X	X	X		X
Brno-Soběšice	B/S/R	ČHMÚ	X		X**		
Brno-Kroftova	T/U/R	ČHMÚ	X		X**		
Brno-Líšeň	B/U/R	ČHMÚ	X	X	X**		X
Brno-Úvoz (hot spot)	T/U/R	ČHMÚ	X	X	X		
Brno-Tuřany	B/S/R	ČHMÚ	X	X	X	X	
Hodonín	B/U/R	ZÚ OVA	X*	X*			X
Kuchařovice	B/U/R	ČHMÚ	X			X	X
Lovčice	B/R/A-NCI	ČHMÚ	X				
Mikulov-Sedlec	B/R/A-REG	ČHMÚ	X	X	X	X	
Sivice	B/R/I-NCI	Českomoravský cement a.s.	X	X	X		
Mokrá	B/R/R-NCI	Českomoravský cement a.s.	X	X			
Vyškov	B/S/RA	ČHMÚ	X		X**		X**
Znojmo	B/S/RN	ČHMÚ	X	X	X		

Vysvětlivky: * – doposud nenaměřen dostatek dat pro výpočet ročního průměru dle platné legislativy [1], [6], ** – měření již na stanici neprobíhá, avšak v letech 2010 – 2016 byl naměřen alespoň 1 roční průměr dle platné legislativy [1], [6].

Detailní přehled jednotlivých stanic včetně všech měřicích programů, fotografií, a dalších doplňkových informací, je k nalezení na portálu ČHMÚ:

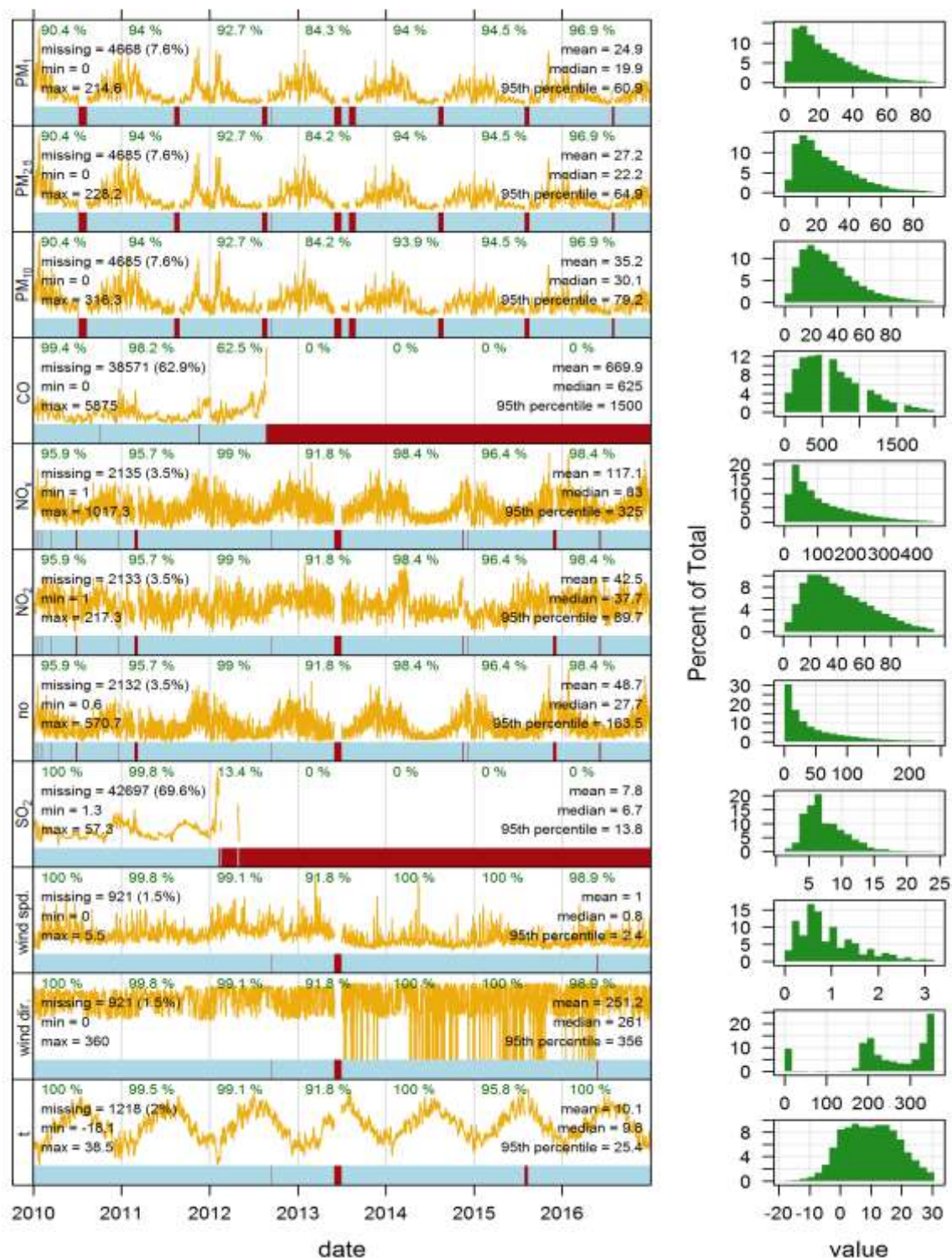
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_locality/index_CZ.html

9.2 PŘÍLOHA 2 – SEZNAM ZKRATEK EOI

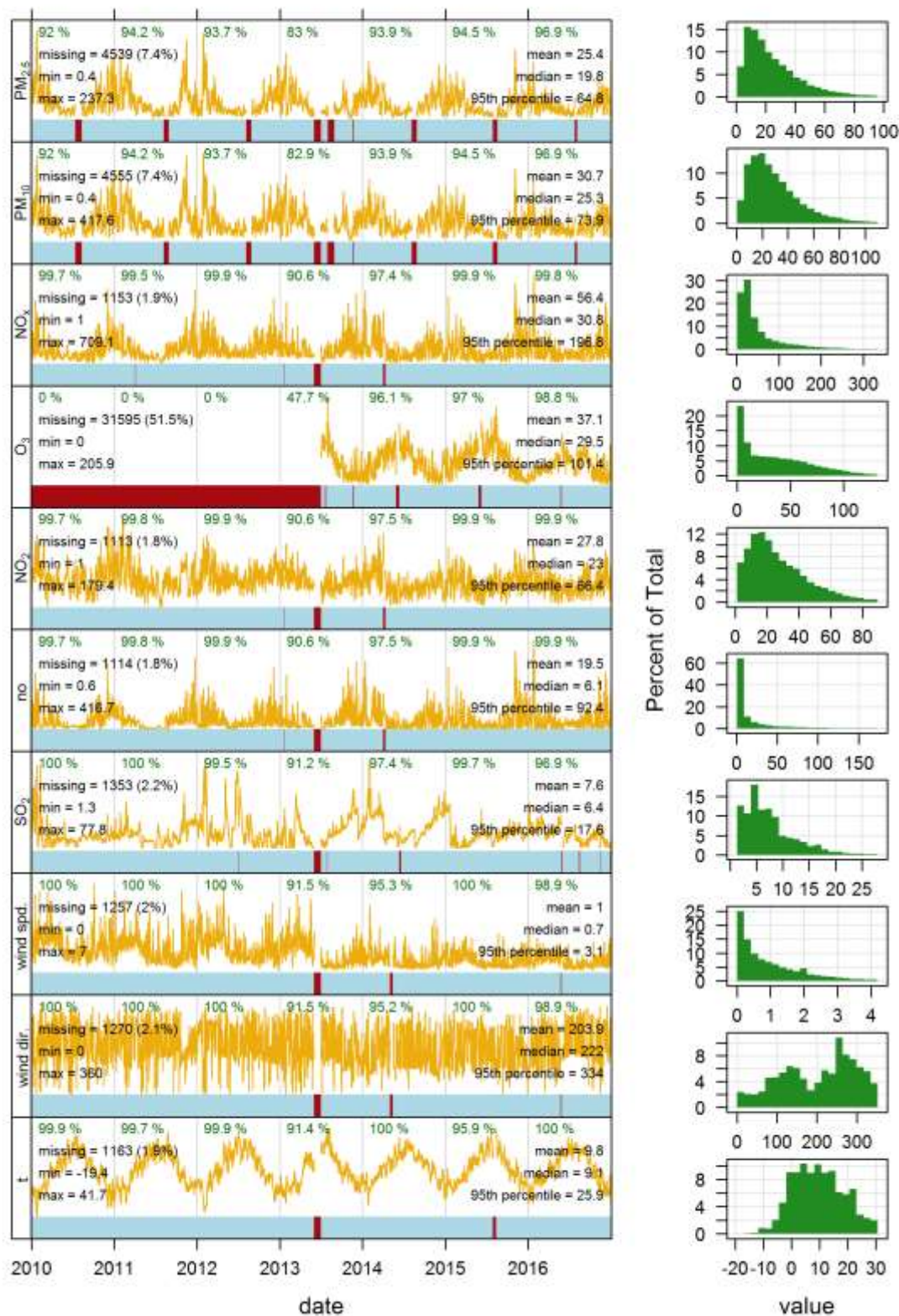
Tab. 20 – Seznam zkratk Eoi určených k charakterizaci měřicích stanic

Zkratka	Název	Typ
B	pozaďová	Eoi – typ stanice
I	průmyslová	Eoi – typ stanice
T	dopravní	Eoi – typ stanice
R	venkovská	Eoi – typ zóny
S	předměstská	Eoi – typ zóny
U	městská	Eoi – typ zóny
A	zemědělská	Eoi – charakteristika zóny
AI	zemědělská; průmyslová	Eoi – charakteristika zóny
AN	zemědělská; přírodní	Eoi – charakteristika zóny
AR	zemědělská; obytná	Eoi – charakteristika zóny
C	Obchodní	Eoi – charakteristika zóny
CI	obchodní; průmyslová	Eoi – charakteristika zóny
CN	obchodní; přírodní	Eoi – charakteristika zóny
CR	obchodní; obytná	Eoi – charakteristika zóny
I	průmyslová	Eoi – charakteristika zóny
IA	průmyslová; zemědělská	Eoi – charakteristika zóny
IC	průmyslová; obchodní	Eoi – charakteristika zóny
ICR	průmyslová; obchodní; obytná	Eoi – charakteristika zóny
IN	průmyslová; přírodní	Eoi – charakteristika zóny
IR	průmyslová; obytná	Eoi – charakteristika zóny
IRC	průmyslová; obytná; obchodní	Eoi – charakteristika zóny
N	přírodní	Eoi – charakteristika zóny
NA	přírodní; zemědělská	Eoi – charakteristika zóny
NR	přírodní; obytná	Eoi – charakteristika zóny
R	obytná	Eoi – charakteristika zóny
RA	obytná; zemědělská	Eoi – charakteristika zóny
RC	obytná; obchodní	Eoi – charakteristika zóny
RCI	obytná; obchodní; průmyslová	Eoi – charakteristika zóny
RI	obytná; průmyslová	Eoi – charakteristika zóny
RIC	obytná; průmyslová; obchodní	Eoi – charakteristika zóny
RN	obytná; přírodní	Eoi – charakteristika zóny
ANI	zemědělská; přírodní; průmyslová	Eoi – charakteristika zóny
ANR	zemědělská; přírodní; obytná	Eoi – charakteristika zóny
REM	odlehlá	Eoi B/R – podkategorie
NCI	příměstská	Eoi B/R – podkategorie
REG	regionální	Eoi B/R – podkategorie

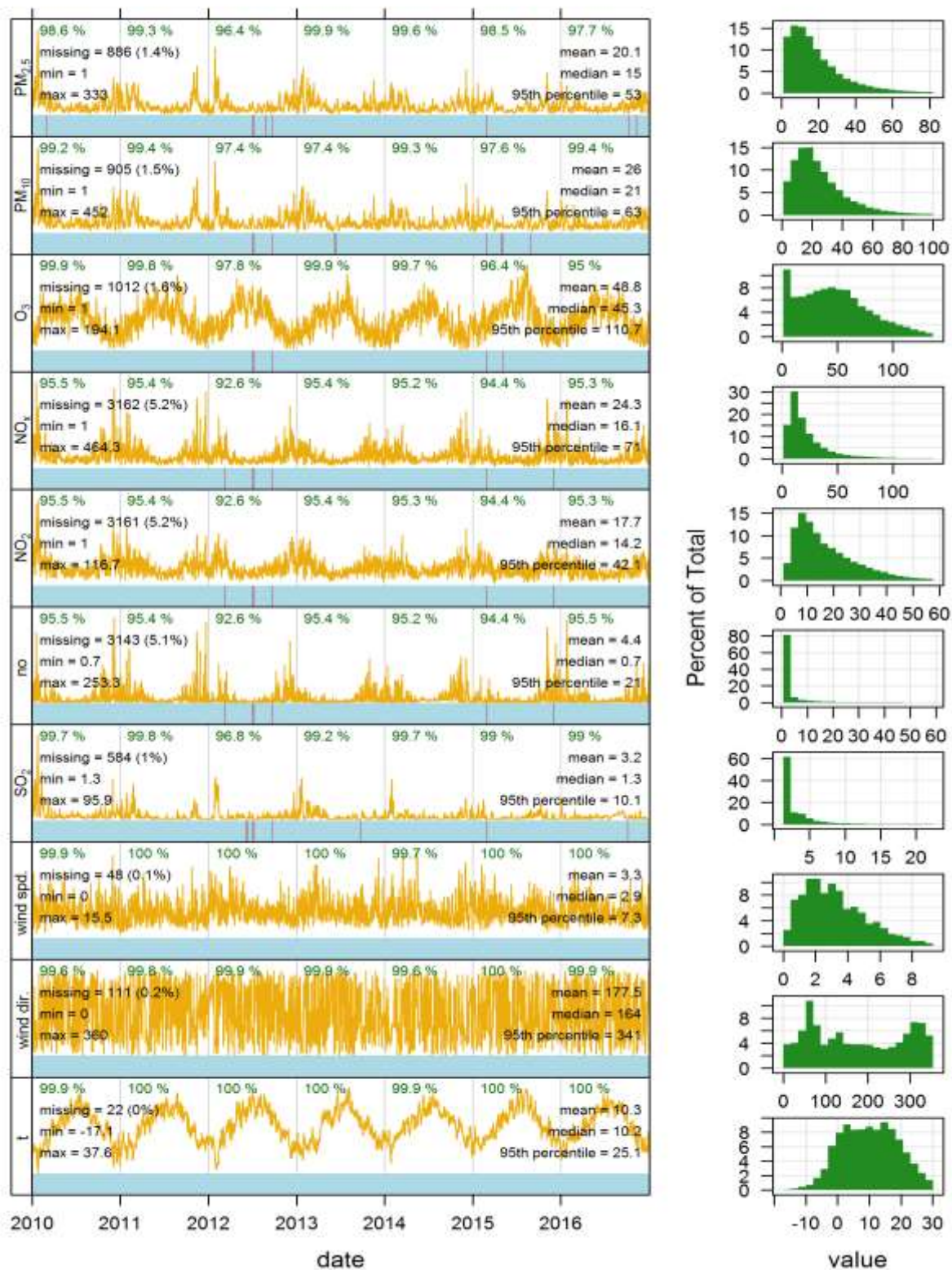
9.3 PŘÍLOHA 3 – CELKOVÝ PŘEHLED VYBRANÝCH STANIC



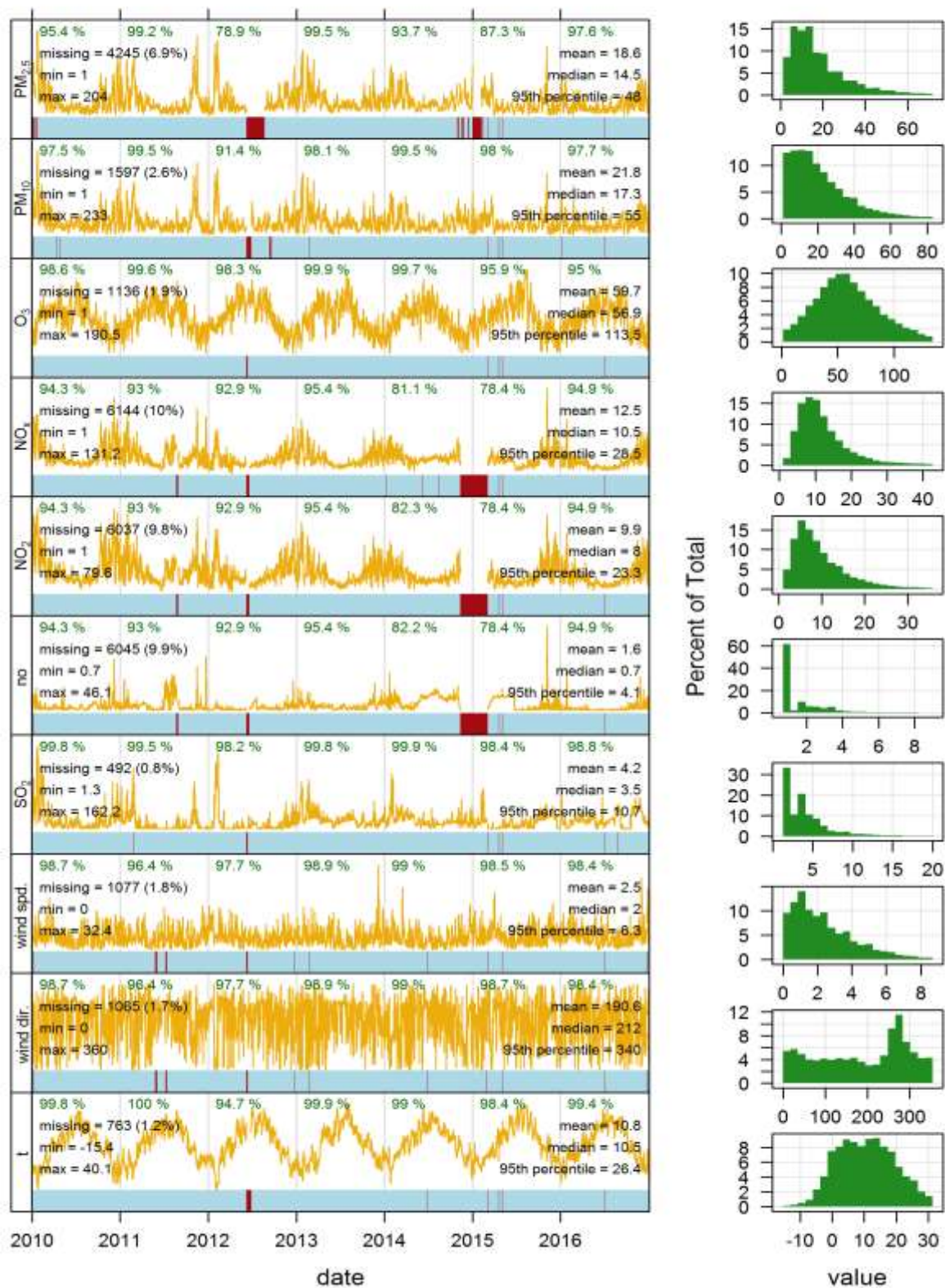
Obr. 216 – Celkový přehled stanice Brno – Svatoplukova



Obr. 217 – Celkový přehled stanice Brno – Lánský



Obr. 218 – Celkový přehled stanice Brno – Tuřany



Obr. 219 – Celkový přehled stanice Mikulov – Sedlec