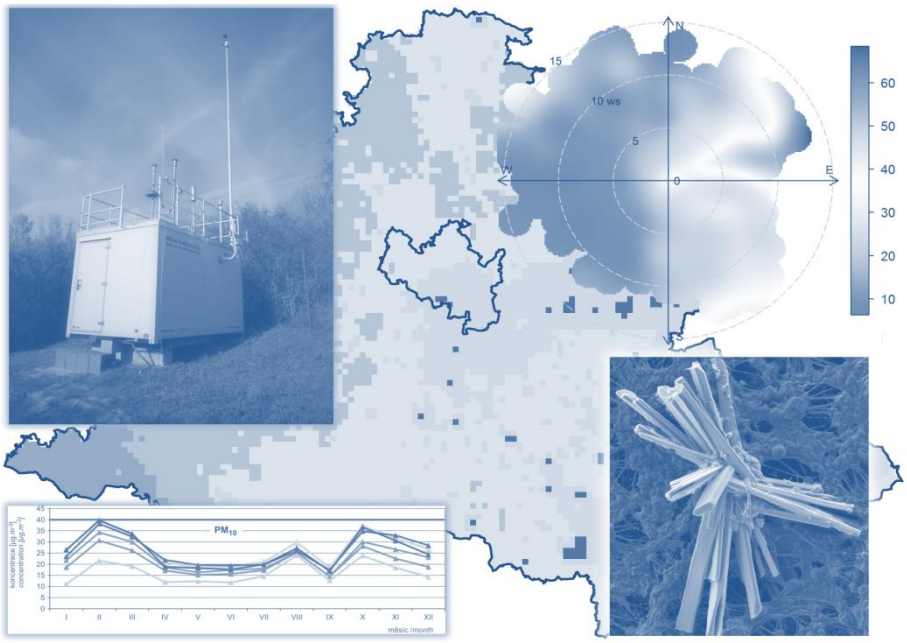
ANALÝZA KVALITY OVZDUŠÍ VE VZTAHU K JEDNOTLIVÝM ÚZEMNÍM CELKŮM JIHOMORAVSKÉHO KRAJE



Mgr. Robert Skeřil, Ph.D.

Brno, 2017

ÚDAJE O ZAKÁZCE

Zhotovitel: *Mgr. Robert Skeřil*
Michalova 2279/1, 628 00 Brno
IČ: 71795120

Objednatel: *Jihomoravský kraj*
Žerotínovo nám. 3, 601 82 Brno
IČ: 70888337
DIČ: CZ70888337, je plátcem DPH
vyřizuje: Seitl Roman, Ing.

Zpracovatelé:
Mgr. Robert Skeřil, Ph.D.

Datum předání zprávy:	5. června 2017
Počet výtisků:	3
Výtisk číslo:	3

OBSAH

1 Úvod 4
2 Lokální topeniště 5
3 Doprava 16
4 Větrná eroze 26
5 Meteorologické podmínky 27
6 Dálkový transport 30
7 Závěry 35
8 Seznam zkratek použitých v dokumentu 38
9 Citovaná literatura 39

1 ÚVOD

Tato studie vychází z detailního vyhodnocení kvality ovzduší provedené ve studii „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016“ [1]. Analytické podklady z uvedené studie byly převedeny a jsou diskutovány jako faktory ovlivňující kvalitu ovzduší Jihomoravského kraje. Na základě výše jmenované studie se z hlediska kvality ovzduší a měření koncentrací škodlivin v ovzduší jeví jako zásadní následující faktory:

1. Lokální topeniště
2. Doprava
3. Větrná eroze
4. Meteorologické podmínky
5. Dálkový transport

Jednotlivé faktory jsou diskutovány v následujících kapitolách a shrnuty v závěrech.

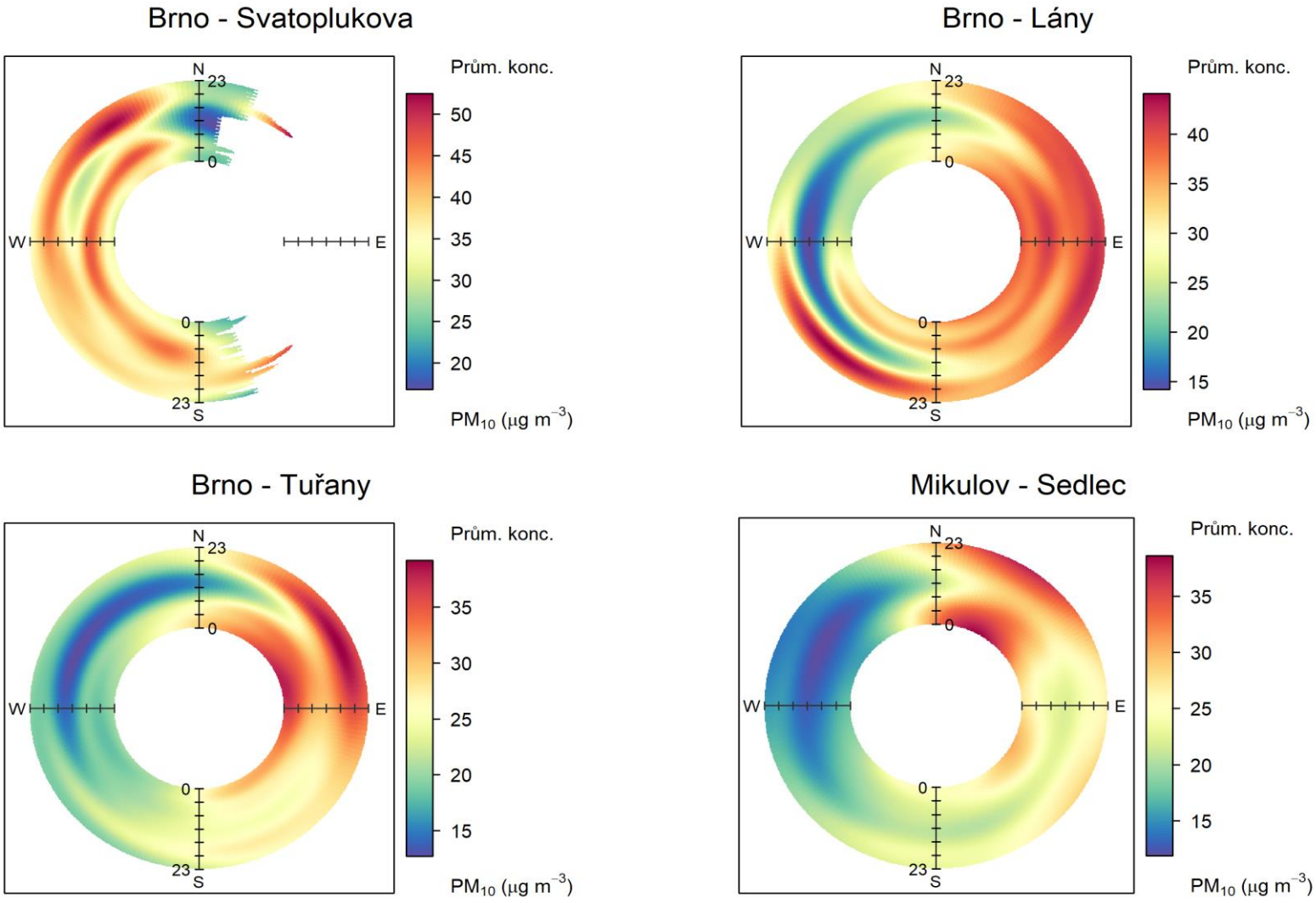
Ve studii jsou využívány i hodinové analýzy – veškerý uváděný čas je vždy uváděn v UTC.

2 LOKÁLNÍ TOPENIŠTĚ

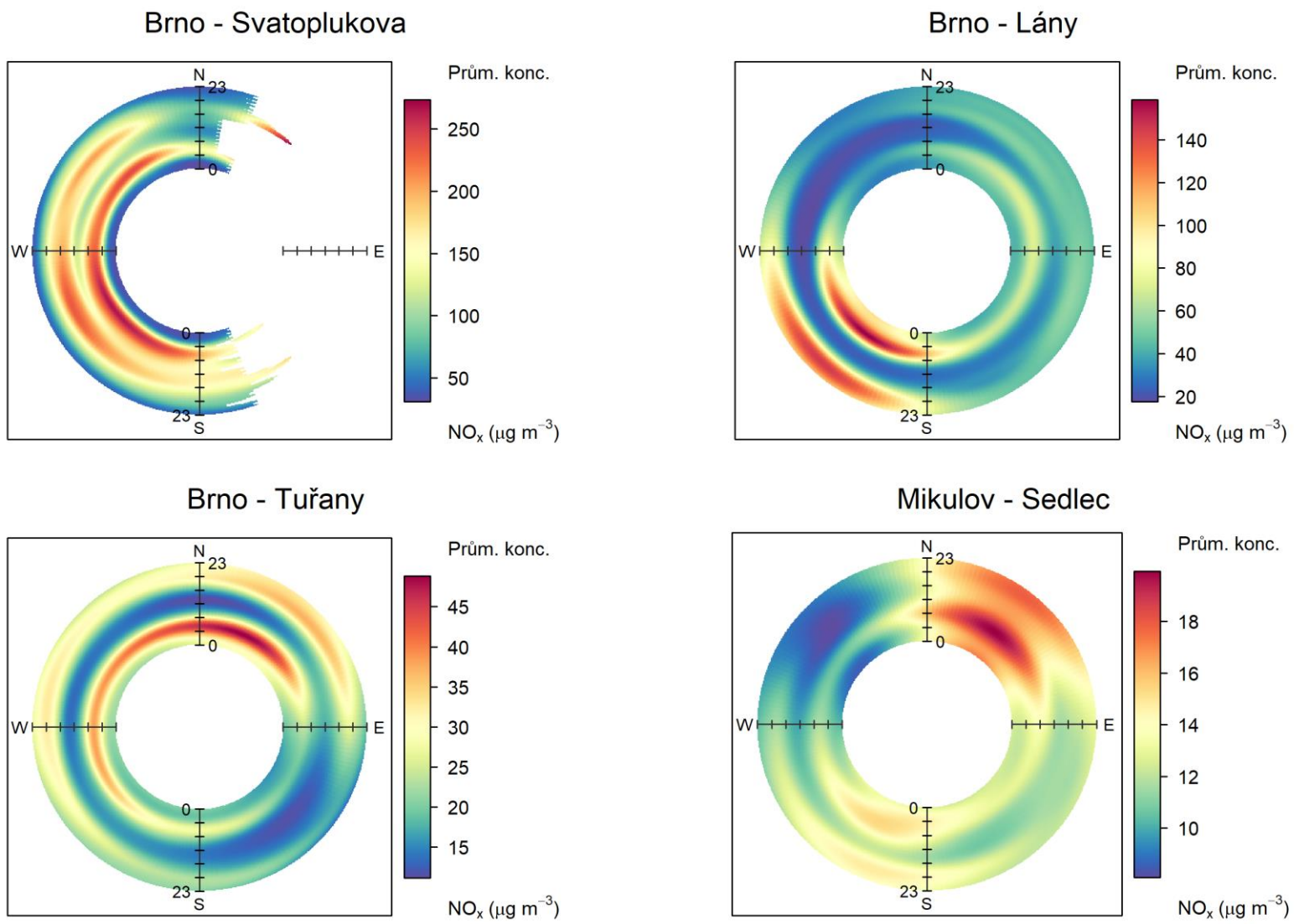
Z hlediska koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ jsou velmi významným faktorem lokální topeniště. Spolu s dopravou tvoří z hlediska emisí nejdůležitější sektor jak pro PM_{10}, tak pro $PM_{2,5}$ v Jihomoravském kraji (viz. kapitola Emise suspendovaných částic ve studii „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016“ [1]). A to přesto, že jsou v provozu pouze v topné sezóně a emisní bilance je prováděna za celý kalendářní rok. V topné sezóně jsou tak lokální topeniště nejvýznamnějším zdrojem suspendovaných částic v ovzduší. Koncentrace jsou díky tomuto zdroji plošně zvýšené v celém kraji, další sektory je pak mohou lokálně navyšovat (např. doprava).

Vliv lokálních topenišť lze nejlépe vypozorovat jednak z teplotní závislosti koncentrací a jednak z denního chodu. Detailní koncentrační růžice [2], [3] včetně teplotně členěných koncentračních růžic jsou pro vybrané stanice uvedeny v kapitole Detailní analýza hodinových koncentrací PM na vybraných stanicích v rámci studie „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016“ [1]. Podobně jsou v této kapitole uvedeny i teplotně členěné denní chody. Srovnání denních chodů PM_{10} a NO_X na jednotlivých vybraných lokalitách zobrazují následující Obr. 1 a Obr. 2. V případě denního chodu PM_{10} je na všech pozaďových lokalitách patrný významný vliv východního až severovýchodního proudění (v závislosti na orografii terénu). Rovněž je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou zaznamenány ve večerních a nočních hodinách. Tyto koncentrace jsou tedy s vysokou pravděpodobností spojeny s vytápěním v lokálních topeništích bližších či vzdálenějších (část může být spojena s dálkovým transportem – proto mohou být koncentrace zvýšené i přes den při proudění ze severovýchodních až východních směrů – viz. dále v kapitole Dálkový transport). Lokalita Brno – Lány (stanice automatického imisního monitoringu – BBMLA) je výrazněji ovlivněna i z jihozápadních směrů, kulminace koncentrací je opět ve večerních až nočních hodinách, což naznačuje vliv vytápění. Lokalita Brno – Svatoplukova (stanice automatického imisního monitoringu – BBMSA) je nejvíce ovlivněna ze západních směrů, což je ovlivněno kaňonem zástavby a vysoké koncentrace panují téměř po celý den, pouze kolem poledne jsou koncentrace nižší. To souvisí jednak s dopravou a v nočních hodinách také s vytápěním. Vymezení vlivu dopravy v této lokalitě lze vyvodit z denního chodu NO_X, kde jsou velmi dobře patrné dopravní špičky, mírný pokles v poledne (nižší intenzita dopravy, tvorba O_3) a výrazný pokles v noci. V lokalitě Brno – Lány jsou již koncentrace NO_X výrazně nižší, směřované do jihozápadních směrů v s maximy v nočních a ranních hodinách. Přes den naopak koncentrace výrazně poklesnou. Zde lze usuzovat na vliv vytápění, který může být doplněn částečným ovlivněním dopravou v této lokalitě. Koncentrace NO_X v Brně – Tuřanech jsou opět výrazně nižší, vyšší koncentrace jsou patrné pouze v ranních hodinách, což může souviset s dopravním ovlivněním mírně zvýšené koncentrace lze pozorovat i ve večerních hodinách. Lokalita Mikulov – Sedlec je ovlivněna prakticky jen ze severovýchodních směrů, je však třeba vzít v potaz měřítko, kde rozdíl mezi maximy a minimy není ani 10 $\mu g \cdot m^{-3}$. Může jít tedy o ovlivnění dálkovým transportem a tvorbou O_3.

Z uvedeného lze usuzovat na výrazný vliv vytápění na všech uvedených pozaďových lokalitách (Brno – Lány, Brno – Tuřany a Mikulov – Sedlec). V případě silně dopravou ovlivněné lokality Brno – Svatoplukova má vytápění také svůj vliv, ale nejvyšších koncentrací je dosahováno zásluhou intenzivní dopravy, která zejména v dopravních špičkách není plynulá, navíc je svedena do kaňonu zástavby.



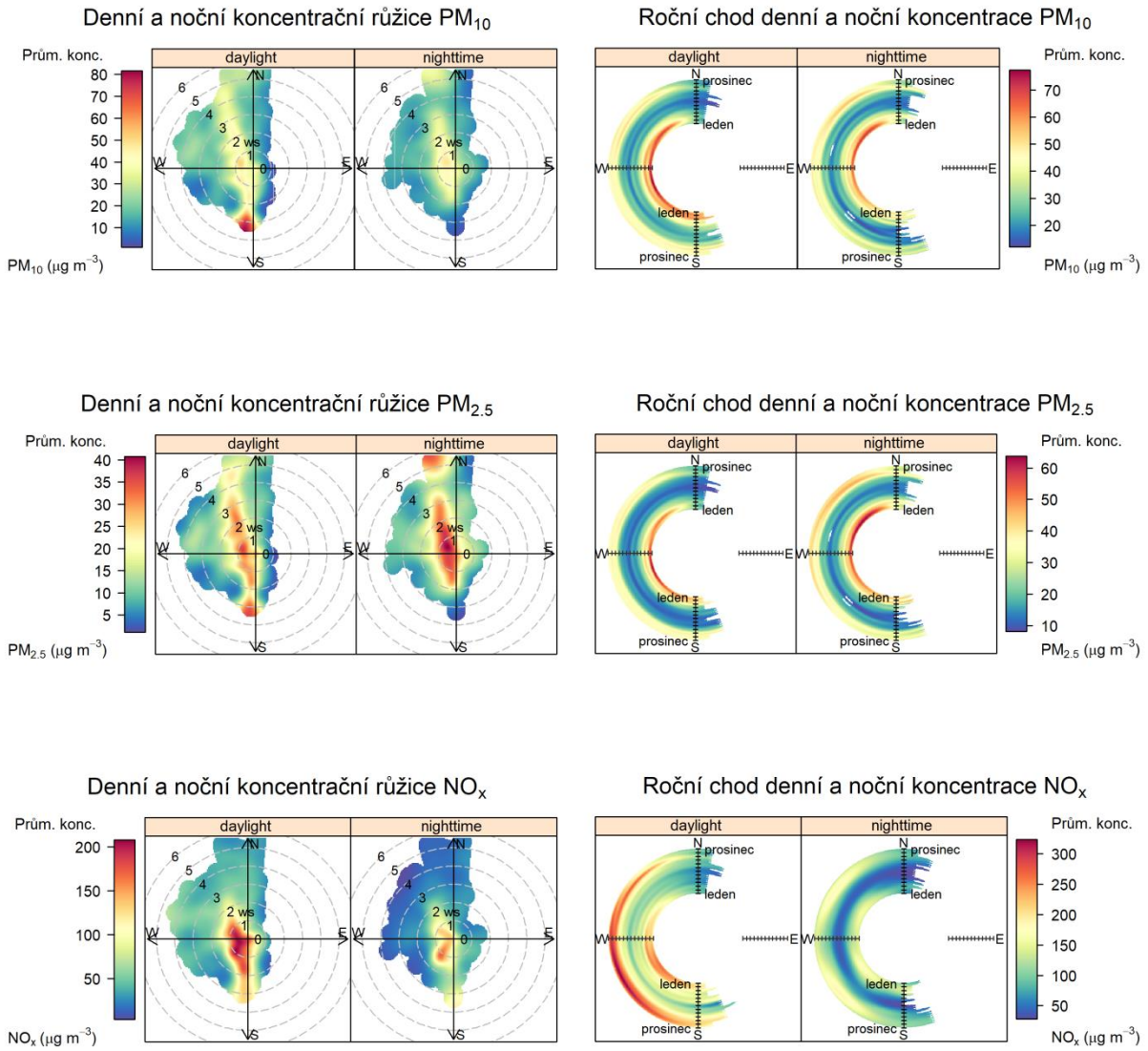
Obr. 1 – Srovnání denních chodů koncentrací PM_{10} na vybraných lokalitách SSIM v Jihomoravském kraji



Obr. 2 – Srovnání denních chodů koncentrací NO_X na vybraných lokalitách SSIM v Jihomoravském kraji

Další možný pohled na vliv lokálních topenišť je rozdělit koncentrační růžice a roční chod koncentrací na denní (daylight) a noční (nighttime) část dne. Lze tak částečně odseparovat vliv jednotlivých zdrojů. Zatímco koncentrace škodlivin z dopravy by měly kulminovat přes den, kdy jsou měřeny nejvyšší intenzity dopravy (Obr. 11), vliv topení a lokálních topenišť by se měl projevit především večer a v noci (Obr. 3 – Obr. 6).

V lokalitě Brno – Svatoplukova je patrné, že koncentrace všech škodlivin mají sezónní trend s maximy v zimních měsících. To potvrzuje předchozí tvrzení, že v topné sezóně jsou **plošně** navýšeny koncentrace PM vlivem lokálních topenišť, přičemž v dopravních lokalitách jsou tyto koncentrace ještě navýšeny o vliv dopravy. Proto jsou koncentrace v dopravních lokalitách nejvyšší. Navýšení je v případě PM_{10} patrné především přes den (daylight), což se odrazilo jak v koncentrační růžici, tak v ročním chodu (Obr. 3). Naopak v letních měsících se koncentrace PM_{10} v této lokalitě blíží pozaďovým koncentracím měřeným např. v lokalitě Brno – Tuřany [4].



Obr. 3 – Rozdělení koncentračních růžic a ročního chodu koncentrací škodlivin na denní (daylight) a noční (nighttime) část dne, lokalita Brno – Svatoplukova, 2010 – 2016

Naopak v případě $PM_{2,5}$ je i v dopravou silně zatížené lokalitě Brno – Svatoplukova patrné, že noční koncentrace jsou srovnatelné či mírně vyšší proti denním koncentracím, a to zejména při nízkých rychlostech větru. Suspendované částice $PM_{2,5}$ mohou být transportovány na větší vzdálenosti a

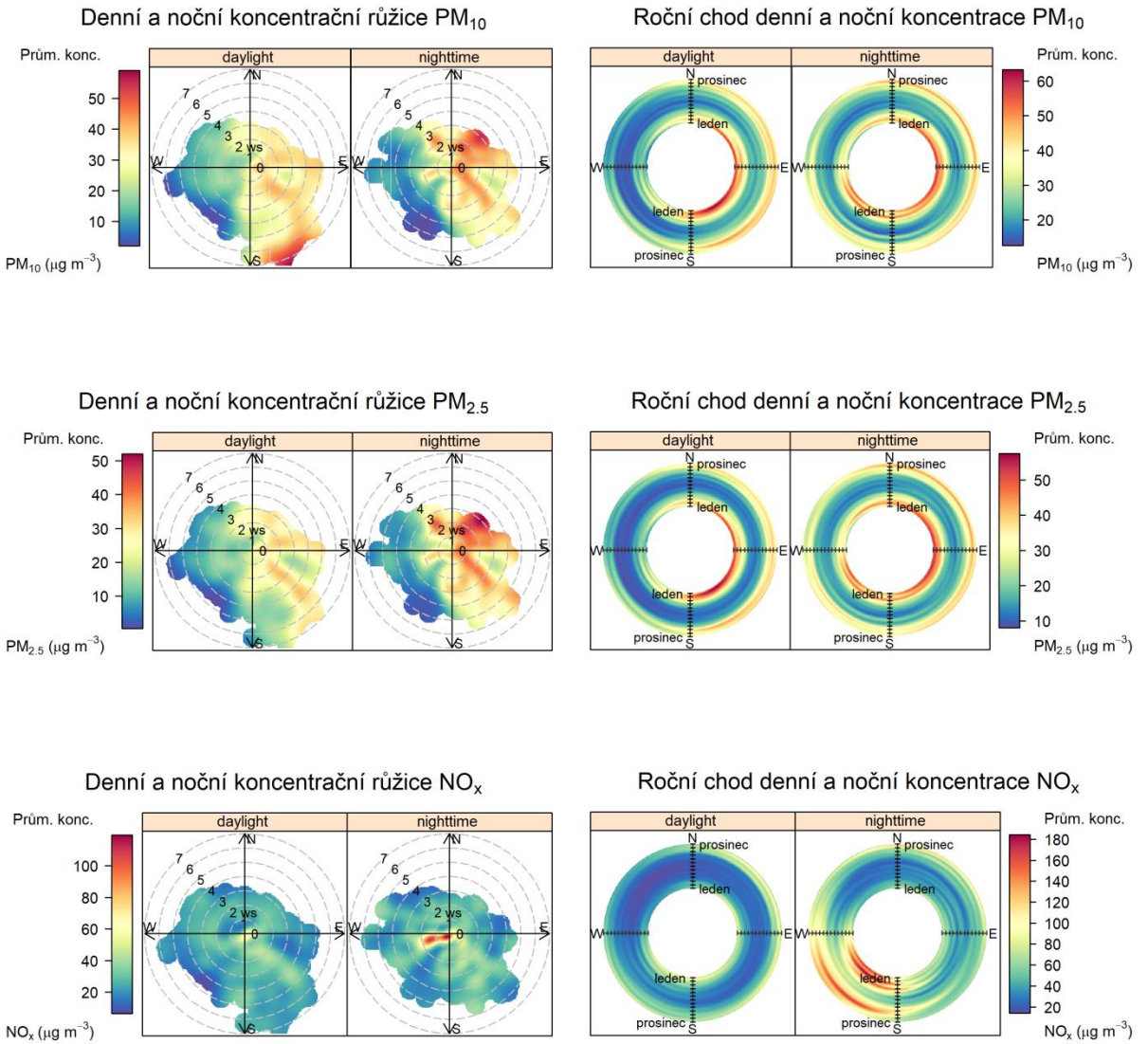
zároveň zůstávají v atmosféře déle než PM_{10}. Zvýšené koncentrace $PM_{2,5}$ tak mohou být zvýšené v nočních hodinách i proto, že částice vlivem dopravy nesedimentují, ale může se projevovat i vliv vytápění, a to i z lokálních topenišť – přímo v ulici Svatoplukova je několik budov, ze kterých v topné sezóně vychází dosti viditelný kouř, který může při nízkých rychlostech větru měření v lokalitě výrazně ovlivňovat. Tyto výsledky potvrzuje i studie „Šíření látek znečišťujících ovzduší v okolí dopravních komunikací“ [5]. Během čtyř kampaní byly v lokalitách v blízkosti dálnice D0 (pražský okruh) včetně lokality Hot-spot umístěné přímo u komunikace naměřeny nejnižší mediány koncentrací $PM_{2,5}$, srovnatelné s lokalitou Košetice, velmi podobně pak měřily i pražské pozaďové lokality. Zvýšených hodnot dosahovaly brněnské lokality, přičemž medián koncentrací brněnských pozaďových a brněnských dopravních lokalit byl totožný. Nejvyšších hodnot pak dosahovaly ostravské lokality.

I v případě NO_X je z Obr. 3 patrný sezónní chod v neprospěch topné sezóny, z koncentrační růžice však zcela jasně vyplývá dominance koncentrací v denních hodinách, takže zvýšené koncentrace NO_X lze v této lokalitě přisuzovat převážně dopravě.

V případě lokality Brno – Lány Obr. 4 je vidět rozdělení vysokých koncentrací PM_{10} dle denní a noční části roku. **V noci převažují nejvyšší koncentrace ze severovýchodních a východních směrů při nižších rychlostech větru** (stanice tak velmi dobře koresponduje se stanicí Brno – Tuřany). To může být způsobeno vytápěním a dálkovým transportem z těchto směrů. Naopak v denních hodinách jsou maxima dosahována při jihovýchodním proudění a vyšších rychlostech větru kolem 7 $m.s^{-1}$. Zároveň z koncentrační růžice členěné dle ročních období vyplývá, že se jedná o koncentrace v letním, resp. podzimním období (viz. kapitola Detailní analýza hodinových koncentrací PM na vybraných stanicích v rámci studie „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016“ [1]) a zároveň v případě $PM_{2,5}$ se tato maxima nevyskytují. **To vše naznačuje na vliv větrné eroze na zvýšené koncentrace v létě a na podzim v této lokalitě** [6], [7]. **Z hlediska ročního chodu PM_{10} je patrné, že zvýšené koncentrace jsou měřeny v topné sezóně, zvýšené koncentrace z jihozápadních směrů pouze v topné sezóně v nočních hodinách**.

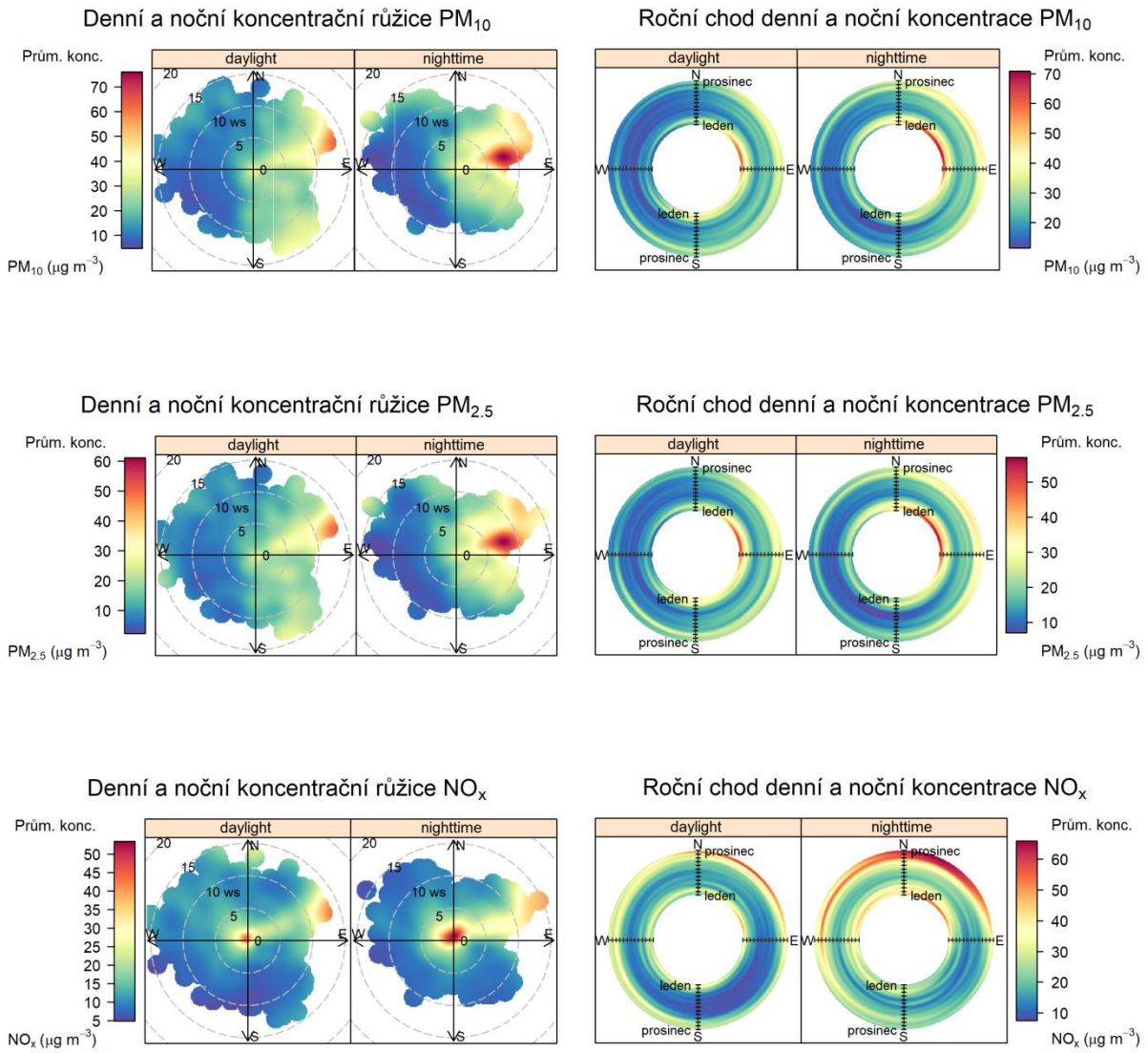
V případě jemnější frakce $PM_{2,5}$ je shoda s PM_{10} na zvýšených koncentracích v nočních hodinách ze severovýchodu a východu při nižších rychlostech větru, ale jihozápadní maxima při vyšších rychlostech větru již chybí. Potvrzují se tak výsledky měřící kampaně í z Kuchařovic [7], kde vliv větrné eroze ovlivňoval zejména koncentrace PM_{10}. Roční chod opět poukazuje na výrazný vliv topné sezóny, zvýšené koncentrace z jihozápadních směrů jsou opět patrné pouze v topné sezóně a v nočních hodinách.

V případě koncentrací NO_X je zřetelný rozdíl mezi denními a nočními hodinami. Svůj vliv na tom může mít tvorba ozónu v denních hodinách, kdy část NO_2 je spotřebována právě na tvorbu O_3. V případě NO_X je ale rovněž velmi zřetelný vliv jihozápadního až západního proudění při velmi nízkých rychlostech větru do 2 $m.s^{-1}$, který se projevuje pouze v nočních hodinách a maximálních koncentrací je dosahováno v topné sezóně. **Na koncentracích NO_X se tak v této lokalitě zřejmě výrazně podílí vytápění a topná sezóna, kdy v noci mohou být koncentrace až dvojnásobné proti denním hodinám. Tyto zvýšené koncentrace NO_X tak mohou souviset se zvýšenými koncentracemi PM v nočních hodinách z těchto směrů** (Obr. 4).



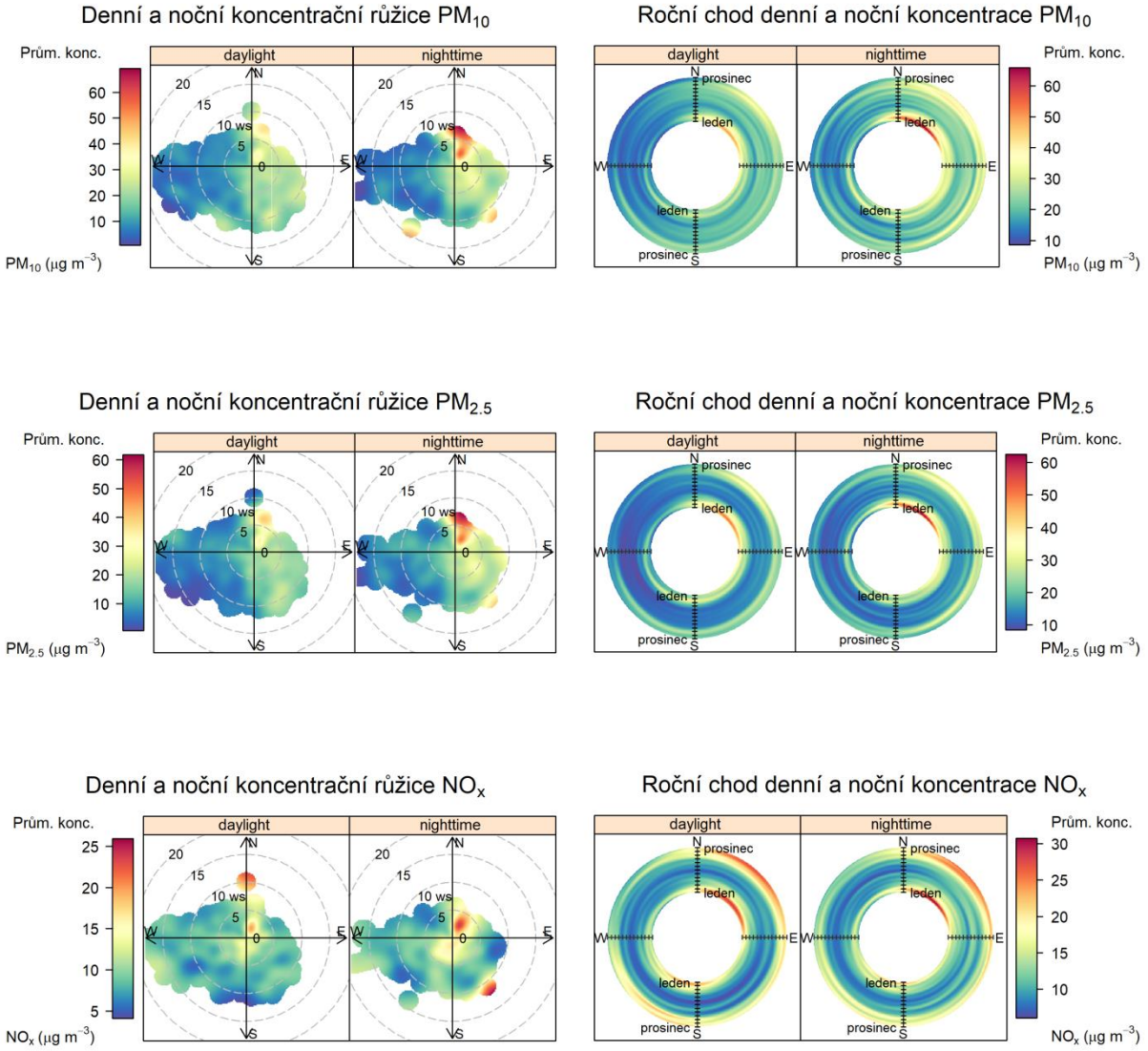
Obr. 4 – Rozdělení koncentračních růžic a ročního chodu koncentrací škodlivin na denní (daylight) a noční (nighttime) část dne, lokalita Brno – Lány, 2010 – 2016

V případě lokality Brno – Tuřany (Obr. 5) lze v případě PM sledovat společné rysy se stanicí Brno – Lány. Vyšší koncentrace se vyskytují při proudění ze severovýchodních směrů, zejména pak v nočních hodinách. Na koncentracích se tak zřejmě podílí lokální topeniště, významný vliv na vysokých koncentracích může mít i dálkový transport (viz. dále kapitola Dálkový transport). Z hlediska ročního chodu jsou opět vyšší koncentrace měřeny v topné sezóně. V případě koncentrací NO_X se rovněž zvýšené koncentrace vyskytují v topné sezóně, avšak pouze při velmi nízkých rychlostech větru charakteristických pro teplotní inverzi, kdy dochází ke kumulaci škodlivin. Vyšší koncentrace jsou patrné opět v nočních hodinách. Už jen mírně vyšší rychlosti větru dochází k poklesu koncentrací. Mírně zvýšené koncentrace se vyskytují při vyšších rychlostech větru pouze ze severovýchodních směrů.



Obr. 5 – Rozdělení koncentračních růžic a ročního chodu koncentrací škodlivin na denní (daylight) a noční (nighttime) část dne, lokalita Brno – Tuřany, 2010 – 2016

V případě regionální pozaďové lokality Mikulov – Sedlec jsou zvýšené koncentrace PM patrné pouze ze severních a severovýchodních směrů, maxima jsou patrná v nočních hodinách, což opět naznačuje plošné zatížení lokálními topeništi a možný vliv dálkového transportu při severovýchodním proudění. Roční chod zobrazuje vysoké koncentrace pouze v zimních měsících. Ze stejných směrů jsou patrné i vyšší koncentrace NO_X, je však nutné vzít v úvahu jejich nízkou koncentraci v této lokalitě. I zde jsou patrné vyšší koncentrace v chladné části roku.



Obr. 6 – Rozdělení koncentračních růžic a ročního chodu koncentrací škodlivin na denní (daylight) a noční (nighttime) část dne, lokalita Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

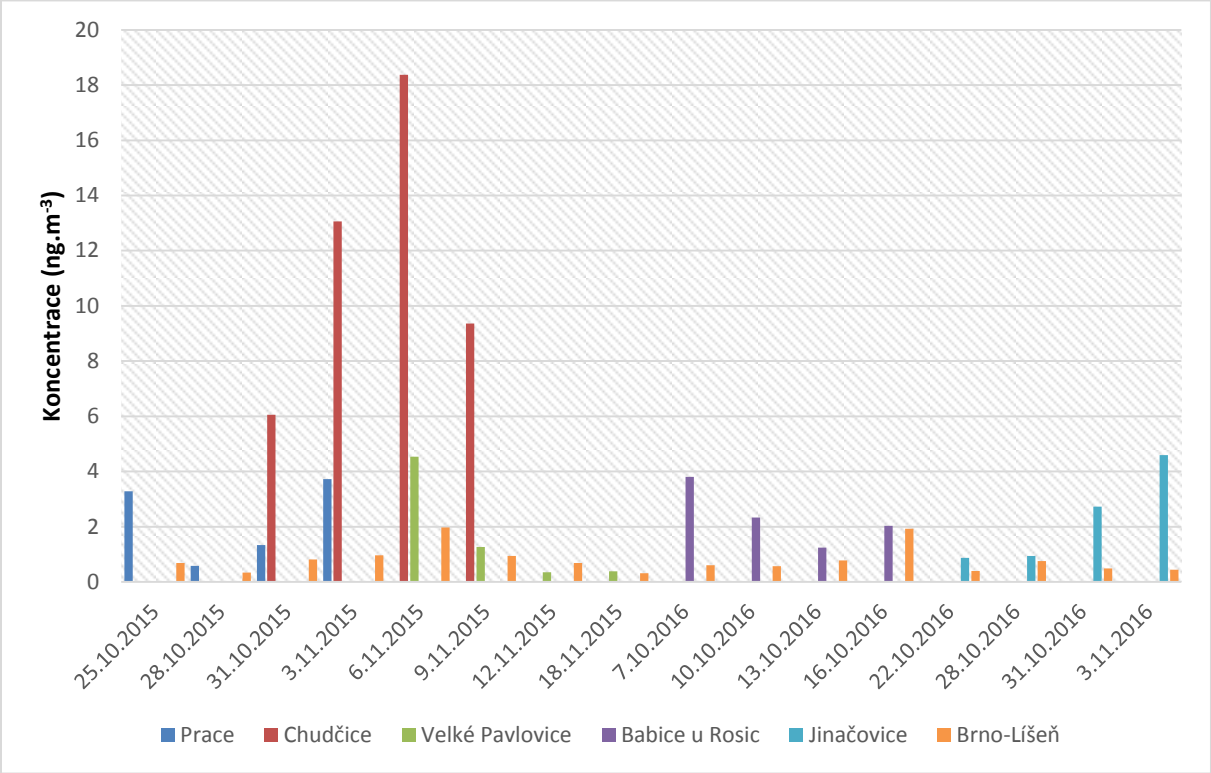
Ještě výraznější vliv než v případě koncentrací PM a NO_X mají lokální topeniště na koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků, v legislativě zastoupených benzo[*a*]pyrenem. Již z emisní bilance je patrné, že lokální topeniště jsou majoritním zdrojem těchto karcinogenních látek (kapitola Emise PAH ve studii „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016“ [1]). V rámci dvou měřicích kampaní byla měřena kvalita ovzduší v malých obcích Jihomoravského kraje během topné sezóny v letech 2015 a 2016. Již v případě suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ se ukázalo, že malá obec, kde jsou provozovány kotle na tuhá paliva, se dokáže koncentračně vyrovnat centru Brna [8], [9], [10]. Výrazně vyšší oproti stanicím ve městě Brně byly v malých obcích měřeny koncentrace benzo[*a*]pyrenu. V rámci České republiky jsou zcela majoritním zdrojem tohoto karcinogenního polutantu lokální topeniště, což se projevilo i v měřených koncentracích. Ty byly ovlivněny jednak skladbou lokálních topenišť (od nejvíce plynofikovaných Velkých Pavlovic s pouhými 12 % neaktivních přípojek až po zcela neplynofikované Chudčice), dále pak meteorologickými podmínkami během kampaně a v neposlední řadě i orografií terénu a s ní související provětrávatelností lokality. Výsledky pak byly srovnány s lokalitou SSIM v Brně-Líšni.

Koncentrace ve Velkých Pavlovicích byly proti lokalitě Brno-Líšeň více než dvojnásobné pouze v doznívající epizodě zhoršených rozptylových podmínek (6. 11. 2015), dne 12. 11. 2015 byly pouze zhruba poloviční. V případě lokality Prace již byla situace horší, proti koncentracím benzo[*a*]pyrenu v Brně-Líšni byly 2x naměřeny 1,5 krát vyšší koncentrace, jednou téměř 4x vyšší a jednou téměř 5x vyšší. Nejhorší situace však byla v již zmíněných Chudčicích, kde v nejlepším případě byly koncentrace benzo[*a]*pyrenu 7,5 krát vyšší než v Brně-Líšni a v nejhorším případě 13,5 krát vyšší. Srovnatelné koncentrace měřily v tento den pouze lokality v aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek, lokalita Chudčice patřila mezi 3 nejznečištěnější lokality z hlediska benzo[*a*]pyrenu v tento den. Na vysokých koncentracích se promítla i epizoda zhoršených rozptylových podmínek a horší provětrávatelností obce Chudčice. 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 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 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 pětinásobek (31. 10. 2016) a následně až na desetinásobek (3. 11. 2016) koncentrací měřených v Brně-Líšni. Naměřené koncentrace souhrnně uvádí Tab. 1, podbarvením jsou rozlišeny jednotlivé roky. Grafické znázornění uvádí Obr. 7.

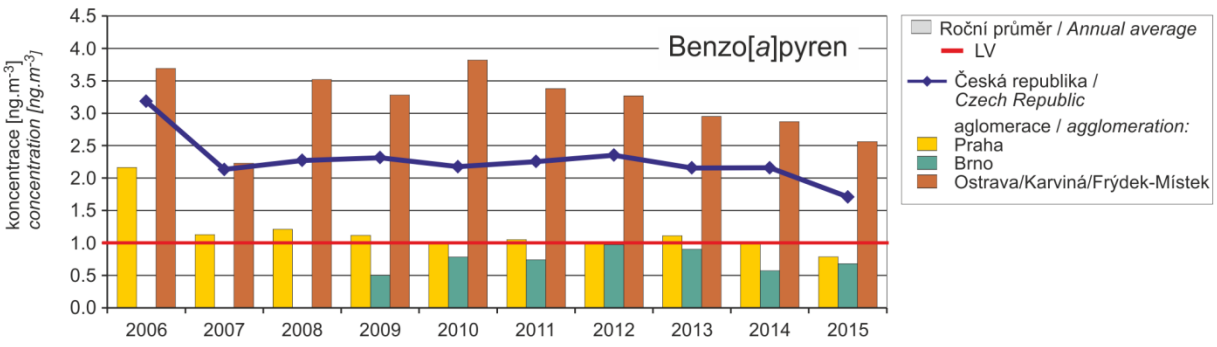
Z uvedeného vyplývá, že koncentrace karcinogenního benzo[*a*]pyrenu mohou být v Jihomoravském kraji vyšší, než uvádí mapy ČHMÚ (viz. kapitola Benzo[*a*]pyren ve studii „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016“ [1]). To je způsobeno malým počtem měřicích stanic, které jsou soustředěny do větších měst s vyšší hustotou obyvatel. V městech napojených na CZT však zpravidla vysoké koncentrace měřeny nejsou. Koncentrace v Brně či v Praze se pohybují zhruba na polovině hodnoty celorepublikového průměru (Obr. 8). Naproti tomu v topné sezóně se koncentrace v malých sídlech Jihomoravského kraje mohou pohybovat na úrovni koncentrací měřených v nejzatíženější oblasti ČR – aglomeraci O/K/F-M (Obr. 9). **Lokální topeniště tak díky transportu benzo[*a*]pyrenu zejména na jemných částicích $PM_{2,5}$ mohou významně a plošně znečišťovat celé území Jihomoravského kraje.**

Tab. 1 – Denní koncentrace benzo[a]pyrenu (ng.m^{-3}) během kampaní na jednotlivých lokalitách a srovnání se stanicí SSIM Brno – Líšeň

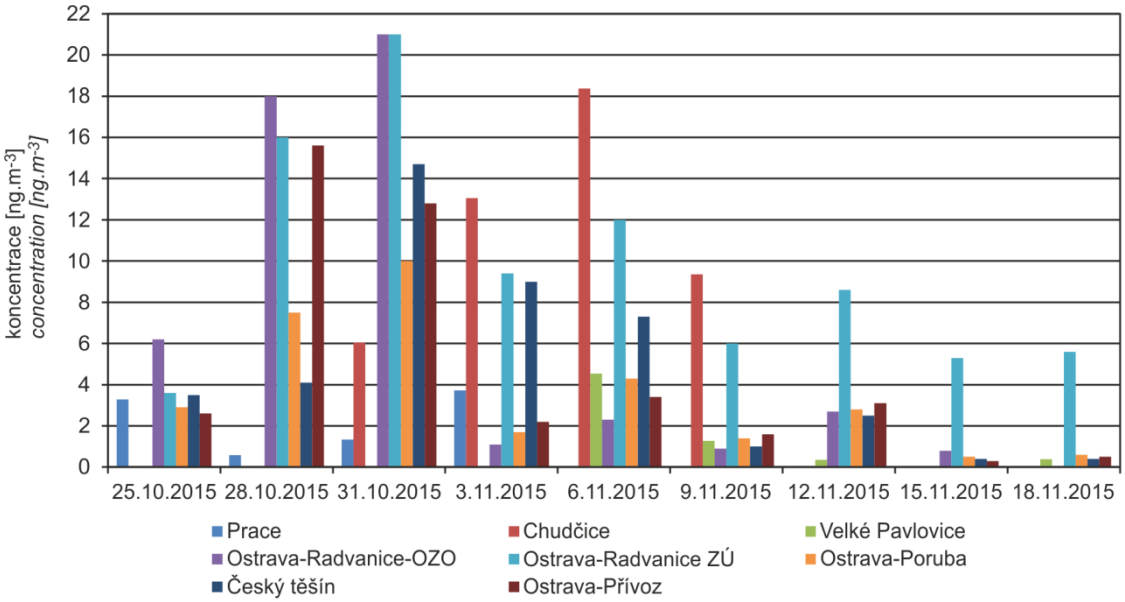
	25.10.2015	28.10.2015	31.10.2015	3.11.2015	6.11.2015	9.11.2015	12.11.2015	18.11.2015	7.10.2016	10.10.2016	13.10.2016	16.10.2016	22.10.2016	28.10.2016	31.10.2016	3.11.2016
Prace	3,3	0,6	1,3	3,7												
Chudčice			6,1	**13,1**	**18,4**	9,4										
Velké Pavlovice					4,5	1,3	0,4	0,4								
Babice 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



Obr. 7 – Srovnání koncentrací benzo[a]pyrenu v malých sídlech s lokalitou SSIM Brno – Líšeň



Obr. 8 – Trendy ročních charakteristik benzo[a]pyrenu na stanicích v aglomeracích a ve vztahu k celorepublikovému průměru (2006- 2015) [11]



Obr. 9 – Srovnání koncentrací benzo[a]pyrenu v malých sídlech Jihomoravského kraje s lokalitami v aglomeraci O/K/F-M během epizody se zhoršenými rozptylovými podmínkami, listopad 2015 [11]

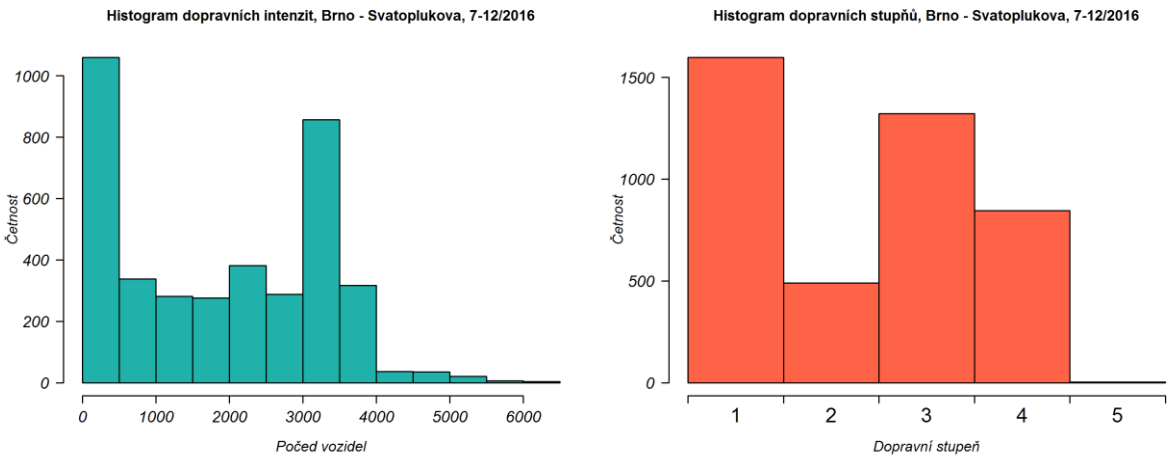
3 DOPRAVA

Dalším významným sektorem, ovlivňujícím kvalitu ovzduší v Jihomoravském kraji, je doprava. Na rozdíl od lokálních topenišť působí dlouhodobě, její vliv tak není omezen jen na topnou sezónu, doprava ovlivňuje koncentrace některých škodlivin v ovzduší celoročně.

Již dříve bylo v kapitolách u škodlivin PM či NO_X uvedeno, že nejvyšší koncentrace jsou měřeny na dopravních lokalitách. Na příkladu nejzatíženější dopravní lokality Brno – Svatoplukova již bylo v těchto kapitolách naznačeno, že zatímco NO_X jsou v této lokalitě ovlivňovány takřka výhradně, v případě PM k ovlivnění dochází, ale nejedná se o jediný zdroj PM v této lokalitě. A jak uvádí předcházející kapitola 2, zaměřená na lokální topeniště, v případě $PM_{2,5}$ může být ovlivnění dalšími zdroji poměrně významné.

Brněnské komunikace a.s., disponují zhruba od poloviny roku 2016 sensory na monitoring dopravy. Tyto sensory jsou rozmístěny na dopravně významných úsecích komunikací v Brně. Jedním z monitorovaných úseků je i komunikace Svatoplukova v blízkosti stanice Brno – Svatoplukova.

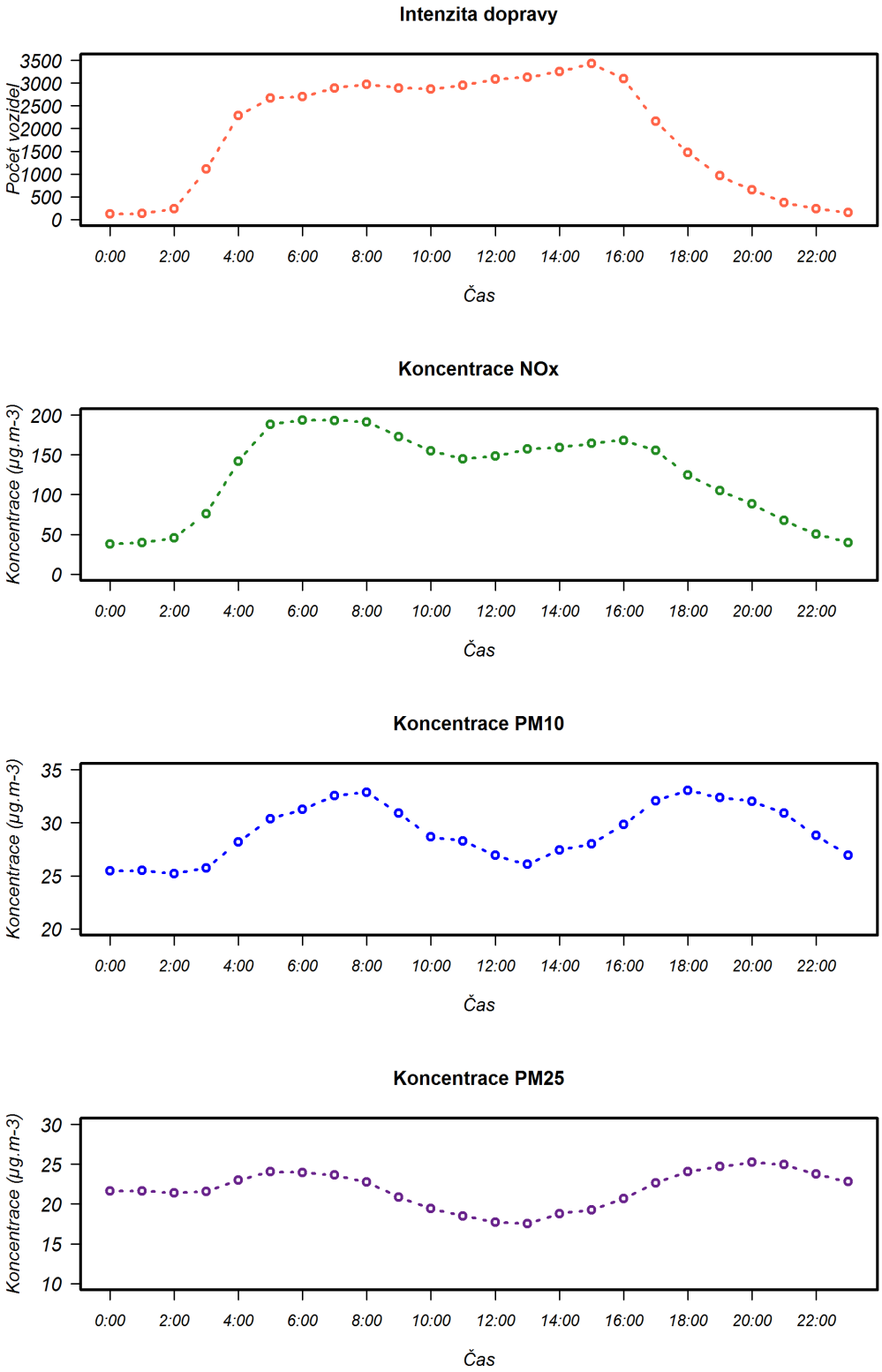
Pro potřeby posouzení vlivu dopravy v lokalitě Brno – Svatoplukova byla využita data za červenec až prosinec roku 2016. Pro hodnocení byla vždy použita celková intenzita, tedy součet intenzit v obou směrech. Při hodnocení dle dopravních stupňů byl vždy použit vyšší z obou směrů. Histogram intenzity dopravy a výskytu dopravních stupňů zobrazuje Obr. 10.



Obr. 10 – Histogram dopravních intenzit a histogram četností dopravních stupňů, lokalita Brno – Svatoplukova, červenec – prosinec 2016

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

Srovnání denního chodu intenzity dopravy a koncentrací NO_X, PM_{10} a $PM_{2,5}$ zobrazuje Obr. 11, týdenní chod pak zobrazuje Obr. 12.



Obr. 11 – Průměrný denní chod intenzity dopravy, koncentrací NO_X, koncentrací PM_{10} a koncentrací $PM_{2,5}$, Brno – Svatoplukova, červenec – prosinec 2016

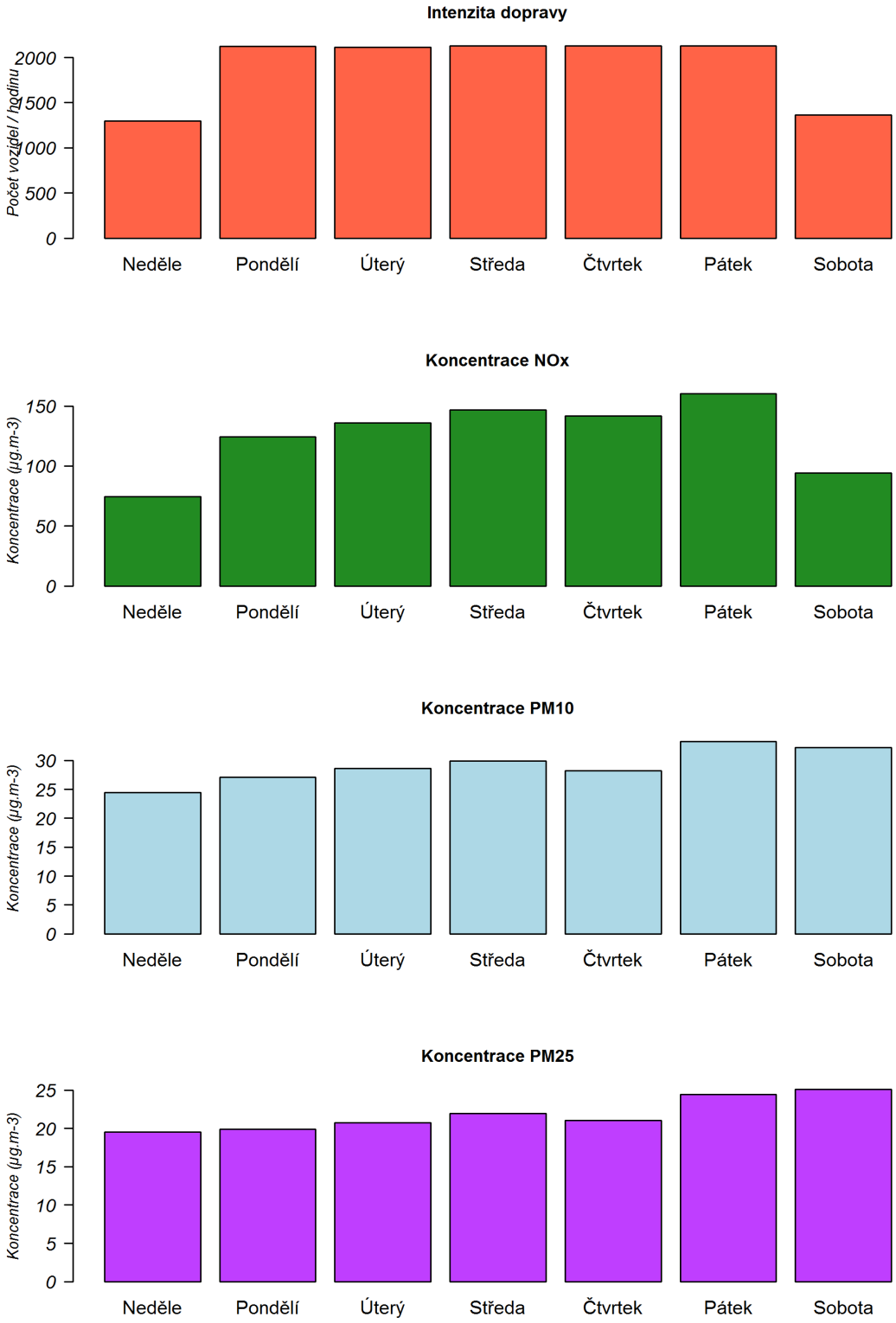
Z Obr. 11 je zřetelný nárůst intenzity dopravy kolem 3. hodiny UTC. Z velmi nízkých intenzit v nočních hodinách (zhruba 100 – 400 vozidel za hodinu) narostou intenzity na hodnoty kolem 3000 vozidel za

hodinu. Tento výrazný nárůst se odrazí ve velmi obdobném nárůstu koncentrací NO_X, které stoupnou z nočních hodnot do 50 µg·m^{-3} na denní hodnoty blížící se 200 µg·m^{-3}.

V případě koncentrací PM_{10} nedochází k tak zřetelnému nárůstu koncentrací, jako v případě NO_X. K růstu začne docházet ve stejném čase jako intenzita dopravy či koncentrace NO_X, růst však není tak razantní, je pouze potupný a k nejvyšší koncentraci dochází později než v případě NO_X. Poté dochází v případě PM_{10} na koncentrace podobné nočním hodinám, a to až do cca 13. hodiny UTC. Pak dochází k opětovnému růstu koncentrací, odpolední špička je na rozdíl od koncentrací NO_X hodnotově shodná s tou ranní a opět je posunuta do pozdějších hodin. Tento posuv může souviset se setrváním částic v ovzduší a postupné kumulace vlivem resuspenze, v odpoledních a večerních hodinách se v topné sezóně může na koncentracích podílet i sektor vytápění.

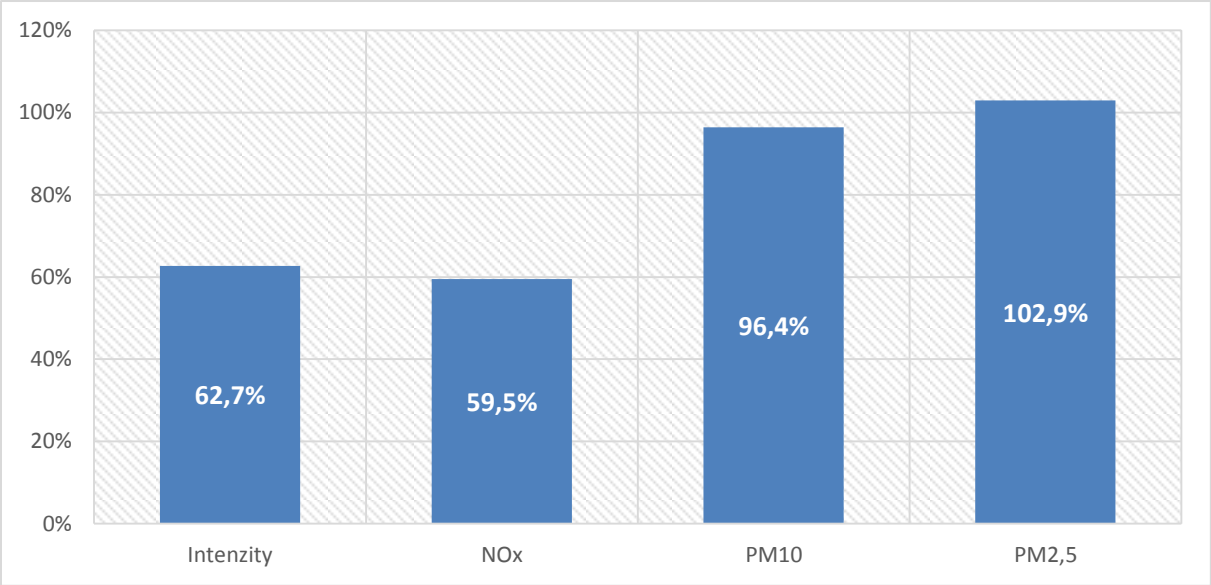
V případě jemnější frakce suspendovaných částic $PM_{2,5}$ je situace ještě odlišnější. Ranní nárůst koncentrací je pouze minimální (z 22 µg·m^{-3} v 2:00 UTC na 24 µg·m^{-3} v 5:00 UTC). Poté dojde k výraznějšímu poklesu koncentrací na hodnoty nižší, než jsou noční hodnoty (17,5 µg·m^{-3} v 13:00 UTC). Poté dochází opět k postupnému růstu koncentrací až ke kulminaci v 20:00 UTC (25 µg·m^{-3}). Z uvedeného vyplývá, že koncentrace $PM_{2,5}$ nejsou dopravou tolik ovlivněny. Souvisí to i s emisní bilancí (viz. kapitola Emise suspendovaných částic ve studii „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016“ [1]). Do koncentrací PM_{10} významněji zasahují otěry a abraze, v případě $PM_{2,5}$ jsou podstatnější exhalace. Jemnější částice jsou rovněž lépe transportovány na delší vzdálenosti, plošný vliv lokálních topenišť tak může jemnými částicemi výrazně ovlivňovat i tuto dopravní lokalitu tak, že nejvyšší koncentrace jsou měřeny ve večerních a nočních hodinách (viz. i Obr. 3). Svůj vliv mohou mít i meteorologické podmínky – přes den zpravidla panují lepší rozptylové podmínky, což může být zásadní moment v poklesu koncentrací $PM_{2,5}$ v denních hodinách. V případě vyšší otevřenosti lokality (pokud by nebyla umístěna v kaňonu zástavby) lze očekávat, že by koncentrace zejména $PM_{2,5}$ mohly být nižší díky lepšímu rozptylu.

Obdobně lze sledovat týdenní chod jednotlivých charakteristik, zejména pak rozdíl mezi pracovními dny a víkendem. Intenzity a koncentrace NO_X, PM_{10} a $PM_{2,5}$ v jednotlivých dnech týdne zobrazuje Obr. 12. Z grafů je patrné, že v pracovní dny je měřena v průměru vyšší intenzita dopravy, přičemž není velký rozdíl mezi jednotlivými dny. I v případě koncentrací NO_X jsou o víkendu měřeny nižší koncentrace, z pracovních dní jsou nejvyšší koncentrace měřeny v pátek. V případě suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ však výrazný rozdíl mezi pracovními dny a víkendy není, mírná variabilita v koncentracích přesto patrná je. Nejvyšší koncentrace PM_{10} jsou měřeny v pátek a v sobotu, nejvyšší koncentrace $PM_{2,5}$ pak v sobotu a v pátek.



Obr. 12 – Týdenní chod intenzity dopravy, koncentrací NO_X, koncentrací PM_{10} a koncentrací $PM_{2,5}$, Brno – Svatoplukova, červenec – prosinec 2016

Následující Obr. 13 znázorňuje víkendové charakteristiky relativně vztažené k hodnotám dosaženým v pracovních dnech (100 %).

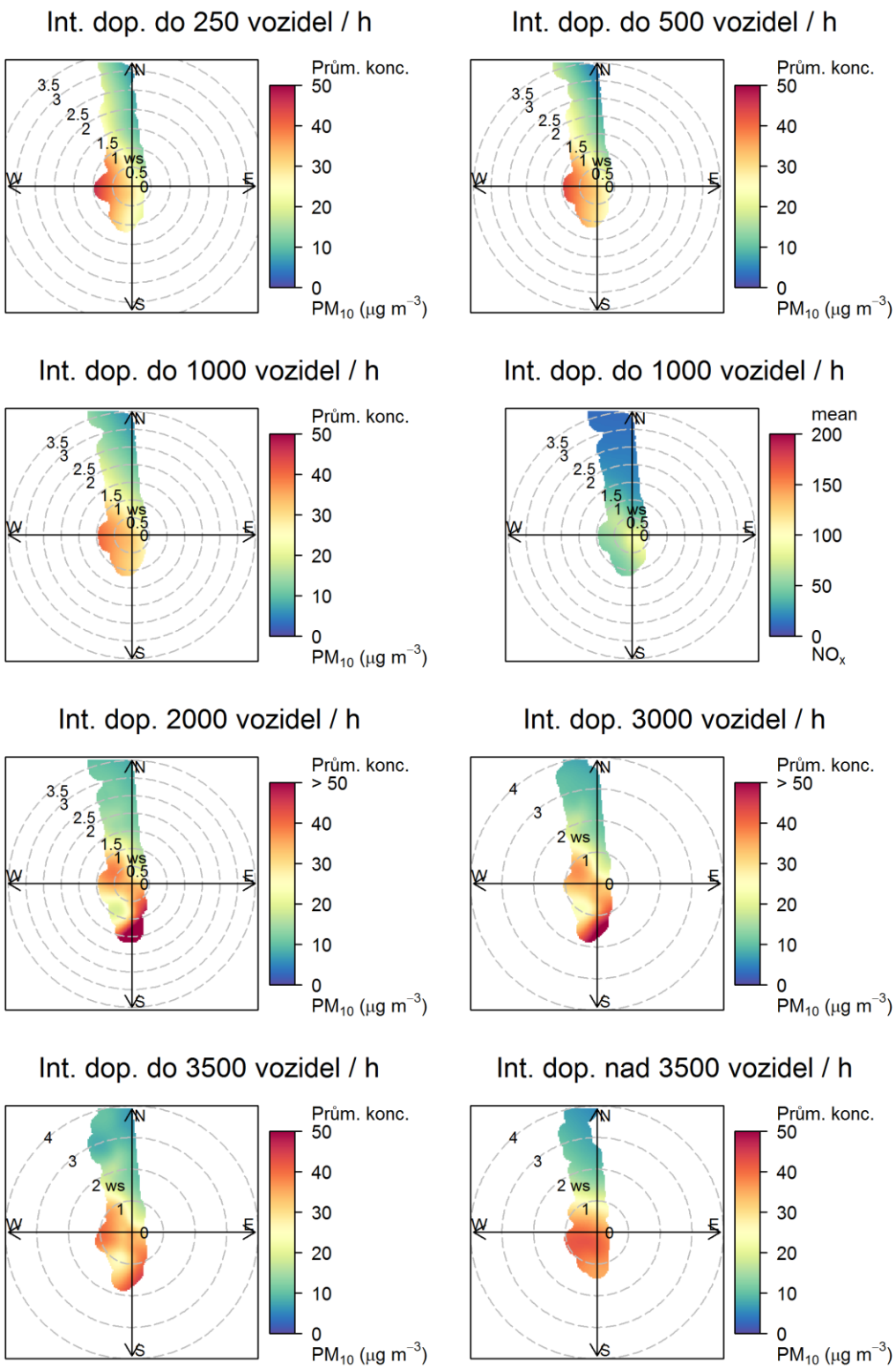


Obr. 13 – Relativní vztah intenzity dopravy a koncentrací NO_X, PM_{10} a $PM_{2,5}$ o víkendu k pracovním dnům (100 %)

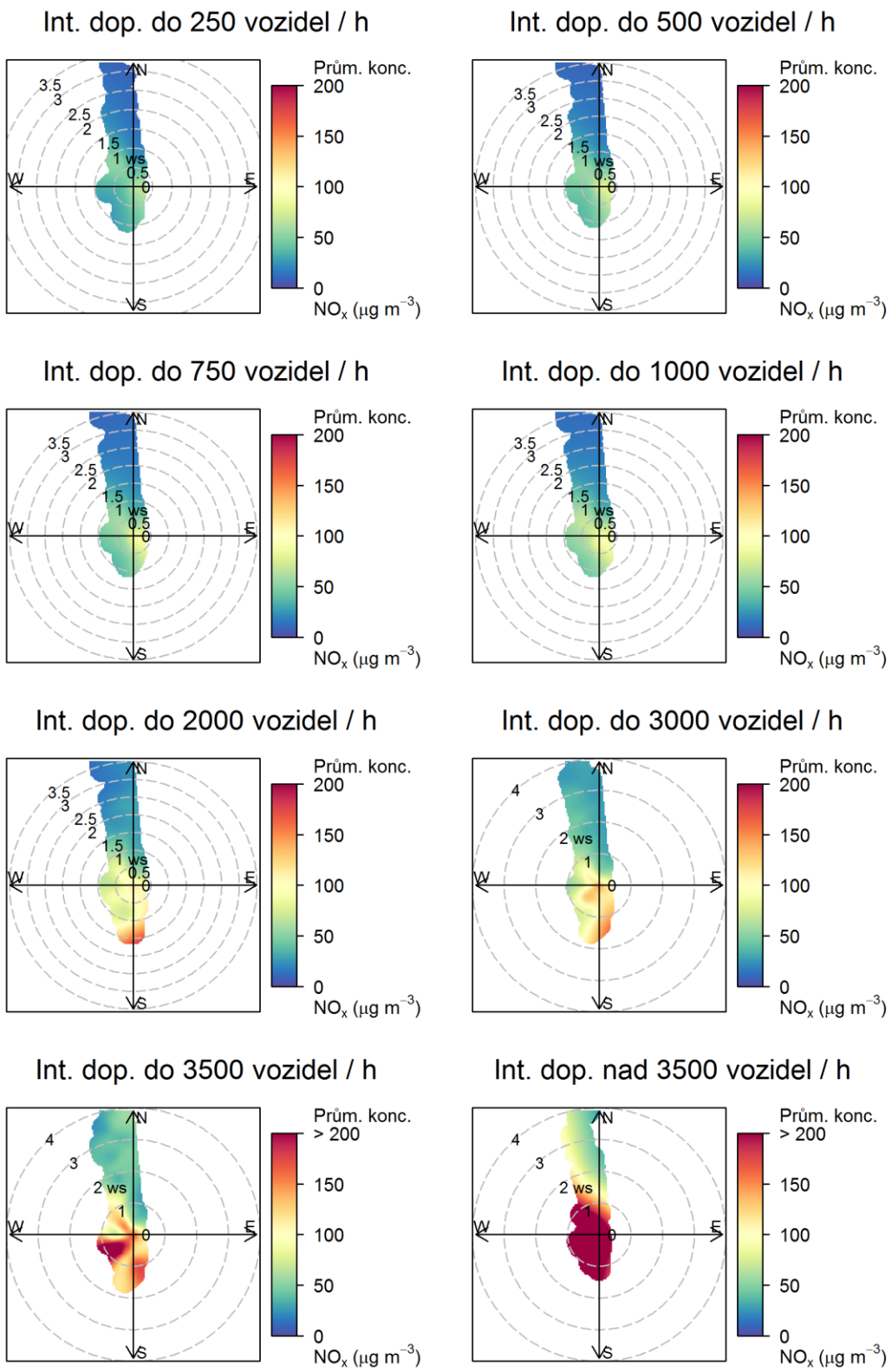
Z grafu je patrné, že pokles v intenzitách dopravy přibližně odpovídá poklesu koncentrací NO_X. Jak intenzity dopravy, tak koncentrace NO_X poklesly o víkendu na zhruba 60 % hodnot v pracovní dny. Avšak koncentrace PM_{10} při poklesu dopravy na 60 % klesly pouze nepatrně, koncentrace $PM_{2,5}$ se prakticky nezměnily. Na této situaci se zřejmě podílí fakt, že na koncentracích PM_{10} se významně podílí i další zdroje a velkou část tvoří regionální pozadí (viz. kapitola Průměrné roční koncentrace PM_{10} ve studii „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016“ [1]). Vliv dopravy se na koncentracích odráží v menší míře, pouze je lokálně navyšuje. **Ani výrazný pokles intenzity dopravy se tedy významně neodrazí v koncentracích PM.**

Výše uvedené potvrzují i následující koncentrační růžice pro PM_{10} (Obr. 14) a NO_X (Obr. 15), členěné dle maximálního počtu vozidel za hodinu. Zatímco v případě PM_{10} není viditelný trend závislosti na počtu vozidel, v případě NO_X ano. Z dopravně členěné koncentrační růžice vyplývá, že na výši koncentrací mají vliv jiné faktory, než je doprava, ta pouze koncentrace navyšuje, a to zřejmě již od nízkého počtu vozidel. Svůj vliv na této situaci bude mít zřejmě víření a resuspenze již sedimentovaných částic. Ovlivnění muže způsobovat i brždění před semafory. Z Obr. 16 je pak patrné, že zvýšené koncentrace jsou měřeny v zimních měsících, koncentrace PM_{10} tak spíše ovlivňuje topná sezóna, meteorologické podmínky a v případě dopravy např. resuspenze posypového materiálu (pokud je proschlý). Ze studie „Šíření látek znečišťujících ovzduší v okolí dopravních komunikací“ [5] pak vyplývá, že v případě PM_{10} dochází již po 30 m od rušné komunikace k významnému poklesu koncentrací na úroveň srovnatelnou s pozaďovými lokalitami.

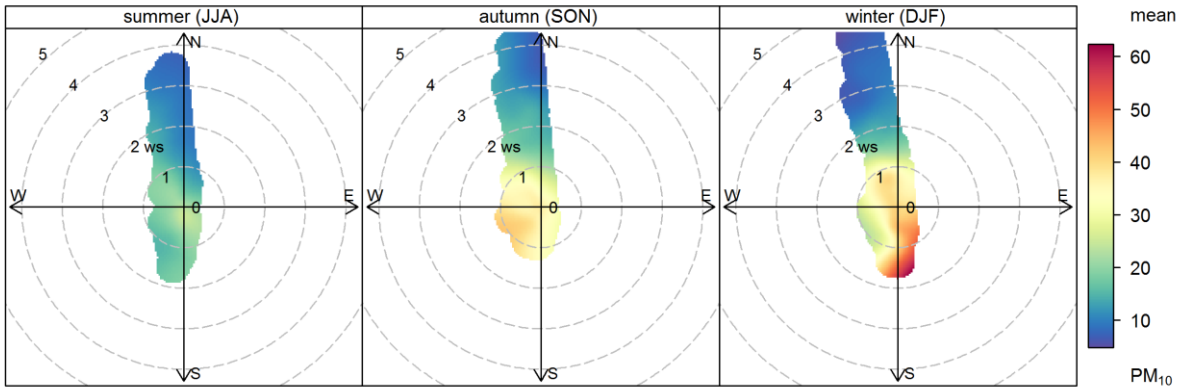
Naproti tomu v případě intenzitou dopravy členěné koncentrační růžice NO_X (Obr. 15) lze vysledovat narůstající koncentrace se zvyšující se intenzitou dopravy. Rovněž v případě oxidů dusíku byl v rámci studie „Šíření látek znečišťujících ovzduší v okolí dopravních komunikací“ [5] vysledován gradient úbytku koncentrací se vzdáleností od komunikace. Je-li lokalita otevřená, již po 30 – 50 metrech jsou měřeny zhruba poloviční koncentrace proti stanici přímo u komunikace.



Obr. 14 – Koncentrační růžice PM_{10}, členěná dle počtu vozidel, Brno – Svatoplukova, červenec – prosinec 2016

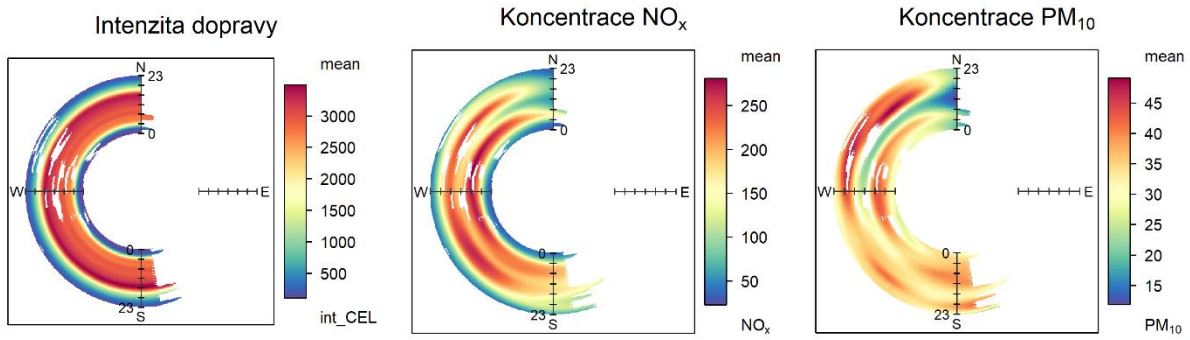


Obr. 15 – Koncentrační růžice NO_x, členěná dle počtu vozidel, Brno – Svatoplukova, červenec – prosinec 2016



Obr. 16 – Koncentrační růžice PM_{10} členěná dle ročních období, Brno – Svatoplukova, červenec – prosinec 2016

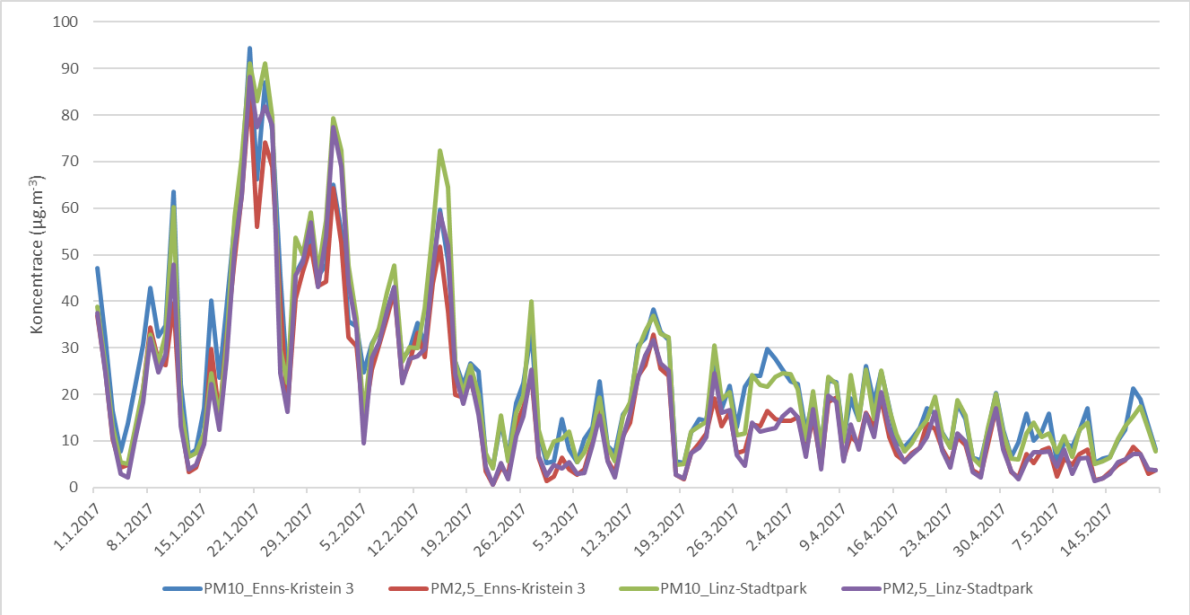
Propojenost intenzity dopravy a koncentrací NO_X dokumentuje i srovnání denních chodů (Obr. 17). Z denního chodu intenzity dopravy jsou patrné vysoké hodnoty mezi 5 UTC a 16 UTC. V těchto hodinách jsou rovněž zvýšené koncentrace NO_X. Naopak v nočních hodinách dochází v obou případech k poklesu. Koncentrace PM_{10} jsou celodenně mírně zvýšené z jižních až západních směrů, ze severozápadních směrů je patrná kulminace koncentrací až ve večerních hodinách.



Obr. 17 – Denní chod intenzity dopravy, koncentrací NO_X a koncentrací PM_{10}, Brno – Svatoplukova, červenec – prosinec 2016

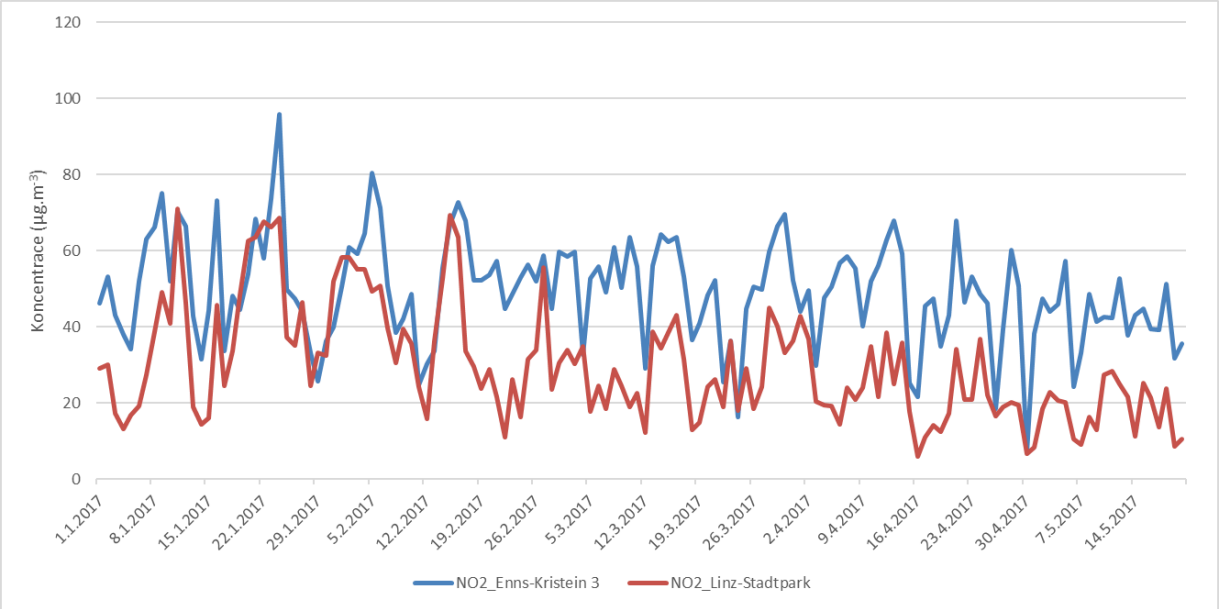
Vliv významných dopravních zdrojů na koncentrace škodlivin v jejich okolí popisuje samostatná studie "Šíření znečišťujících látek ovzduší v okolí dopravních komunikací", zpracovaná ČHMÚ Praha [5]. Dále je nyní možné na stránkách ČHMÚ sledovat i některé vybrané zahraniční stanice, z nichž za zmínku stojí hornorakouská stanice Enns-Kristein 3. Ta leží v těsné blízkosti rakouské dálnice A1 nedaleko Lince, v blízkosti dálničního sjezdu (Obr. 18). Hodnoty koncentrací škodlivin je možné srovnat s hodnotami městských pozaďových lokalit v cca 15 km vzdáleném Linci (např. Linz-Stadtpark). Hodinově jsou online dostupná data na portále ČHMÚ, přehled 24hodinových koncentrací PM_{10}, $PM_{2,5}$ a NO_2 uvádí Obr. 19 a Obr. 20. Z grafu na Obr. 19 je patrné, že koncentrace PM_{10} a $PM_{2,5}$ jsou na obou lokalitách téměř shodné a situace v blízkosti velmi rušné dálnice **s plynulým provozem** se téměř od pozaďových koncentrací v Linci neliší. Rovněž v Rakousku, stejně jako v Jihomoravském kraji, je patrná epizoda zvýšených koncentrací začátkem roku 2017, koncentrace však byly také na obou lokalitách totožné.

Obr. 18 – Dálniční stanice Enns-Kristein 3 nedaleko Lince, Hornorakousko



Obr. 19 – Srovnání koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ na dopravní stanici v blízkosti dálnice A1 Enns-Kristein 3 a městskou pozaďovou lokalitou Linz-Stadtpark, 1. 1. 2017 – 20. 5. 2017

Naproti tomu v případě koncentrací NO_2, které jsou výrazně spjaty s dopravou (exhalacemi), jsou již patrné vyšší koncentrace na dálniční stanici.



Obr. 20 – Srovnání koncentrací NO_2 na dopravní stanici v blízkosti dálnice A1 Enns-Kristein 3 a městskou pozaďovou lokalitou Linz-Stadtpark, 1. 1. 2017 – 20. 5. 2017

Z uvedeného vyplývá, že doprava má významný vliv na koncentrace oxidů dusíku, jichž je hlavním zdrojem (Emise oxidů dusíku v rámci studie „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016“ [1]**). Podstatně vyšší koncentrace jsou měřeny v „kaňonech“ tvořených zástavbou než v otevřené lokalitě. Koncentrace suspendovaných částic jsou na intenzitě dopravy závislé pouze málo, doprava navyšuje koncentrace suspendovaných částic, ale s narůstající intenzitou se téměř nemění. Míra ovlivnění koncentrace suspendovaných částic závisí především na plynulosti dopravy v blízkosti stanice, pokud je plynulost dopravy snížena semafory či kolonami, dochází k nárůstu koncentrací zejména PM_{10} vlivem otěrů a abraze vozovky, jemnější částice $PM_{2,5}$ jsou ovlivněny ještě méně. Koncentrace $PM_{2,5}$ jsou ještě méně ovlivněny dopravou a v rámci blízkého okolí jsou homogenní. Vyplývá to jak ze stanic měřících v blízkosti D0 a pražských pozaďových lokalit, tak z brněnských či plzeňských stanic, kde jsou rozdíly mezi dopravními a pozaďovými lokalitami z hlediska mediánu 24hodinových koncentrací pouze minimální** [5]**. Toto platí pro hmotnostní koncentraci, která je sledována legislativou. Z pohledu počtu částic, zejména těch ultra jemných, by pravděpodobně lokality v těsné blízkosti komunikací měřily vyšší hodnoty než lokality vzdálenější (30 – 60 m). Tyto ultra jemné částice však mají velmi nízkou hmotnost a v hmotnostní koncentraci se tedy téměř neprojeví** [12]**.**

Doprava výrazně ovlivňuje koncentrace NO_X, koncentrace lze korelovat s dopravou. V případě PM_{10} i NO_X lze vysledovat gradient úbytku koncentrací se vzdáleností od komunikace, v případě $PM_{2,5}$ tento gradient nalezen nebyl, koncentrace jsou téměř homogenní [5]**.**

4 VĚTRNÁ EROZE

V lokalitě Kuchařovice probíhalo od 1. 6. do 31. 12. 2016 měření suspendovaných částic frakce PM_{10} a $PM_{2,5}$ v kontinuálním režimu pro potřeby hodnocení vlivu větrné eroze na koncentrace částic v ovzduší [7]. Měření znečištění ovzduší suspendovanými částicemi bylo doplněno měřením meteorologických prvků profesionální meteorologické stanice Kuchařovice. Měřicí lokalita je ze všech stran obklopena zemědělskou půdou, leží mimo intravilán obce, takže přímé ovlivnění dopravou není žádné a lokálními topeništi pouze minimální.

Na základě měsíčních průměrů koncentrací suspendovaných částic vyplynulo, že v měsících červen – září jsou koncentrace PM_{10} ovlivněny větrnou erozí, v měsících říjen – prosinec už jen velmi málo. V případě $PM_{2,5}$ není vliv větrné eroze patrný. V teplejší části roku je tak zastoupení jemnější frakce $PM_{2,5}$ v PM_{10} pouze zhruba 50 %, v chladnější části roku až 90 %. Meteorologické podmínky v jednotlivých měsících významně ovlivňují koncentrace částic. Zejména teplota vzduchu, rychlost větru a přítomnost srážek se podílí na vývoji koncentrací suspendovaných částic a zastoupení jemnější frakce $PM_{2,5}$ v PM_{10}.

Vliv meteorologických podmínek se projevil i na úrovni průměrných denních koncentrací suspendovaných částic. Ve výjimečných případech, při vysoké teplotě, dostatečné rychlosti větru a bez přítomnosti srážek, dosáhly koncentrace PM_{10} hodnot vyšších než 50 $\mu g \cdot m^{-3}$. Větrná eroze tak přispěla k překročení hodnoty imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM_{10}.

Ze srovnání s dalšími lokalitami Jihomoravského kraje vyplývá, že koncentrace hrubší frakce PM_{10} patří v teplejší části roku k nejvyšším, a naopak v chladnější části roku k nejnižším. Koncentrace jemnější frakce $PM_{2,5}$, které nejsou větrnou erozí tolik ovlivněny, jsou v teplejší části roku zvýšené, ne však nejvyšší. V chladnější části roku opět patří k nejnižším.

Ze srovnání s lokalitou státní sítě imisního monitoringu ve Znojmě (cca 5 km vzdušnou čarou) se potvrzují výše uvedené skutečnosti. V teplejší části roku jsou všechny statistické ukazatele v Kuchařovicích proti lokalitě Znojmo zvýšené – v případě PM_{10} výrazněji, v případě $PM_{2,5}$ pouze velmi mírně. Naopak v chladnější části roku indikují všechny ukazatele výrazně nižší koncentrace suspendovaných částic v lokalitě Kuchařovice proti lokalitě Znojmo.

Koncentrační růžice, sestrojené z hodinových dat, pak opět potvrzují významný vliv větrné eroze na koncentrace suspendovaných částic v lokalitě Kuchařovice. Zejména teplotně členěné koncentrační růžice poukazují na to, že maximálních koncentrací PM_{10} je dosahováno při vyšších teplotách a dostatečných rychlostech větru, a tedy že koncentrace jsou zvýšené i díky větrné erozi. Při srovnání koncentrací jednotlivých frakcí suspendovaných částic v teplejší části roku je patrné, že jemnější frakce $PM_{2,5}$ je v PM_{10} zastoupena zhruba 50 %. Naopak v případě $PM_{2,5}$ kulminují koncentrace při nízkých teplotách pod 0 °C a při nízkých rychlostech větru. Tyto skutečnosti pak indikují vliv lokálních topenišť na zvýšené koncentrace $PM_{2,5}$, které v chladné části roku tvoří až 90 % hrubší frakce PM_{10} [7].

Vliv větrné eroze je v lokalitě Kuchařovice nejlépe pozorovatelný. Avšak z koncentračních růžic pro PM_{10}, uvedených v této studii, je patrné, že vliv větrné eroze je ve větší či menší míře pozorovatelný téměř na všech pozaďových stanicích SSIM (viz. kapitola Detailní analýza hodinových koncentrací PM na vybraných stanicích v rámci studie „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016“ [1]) [13].

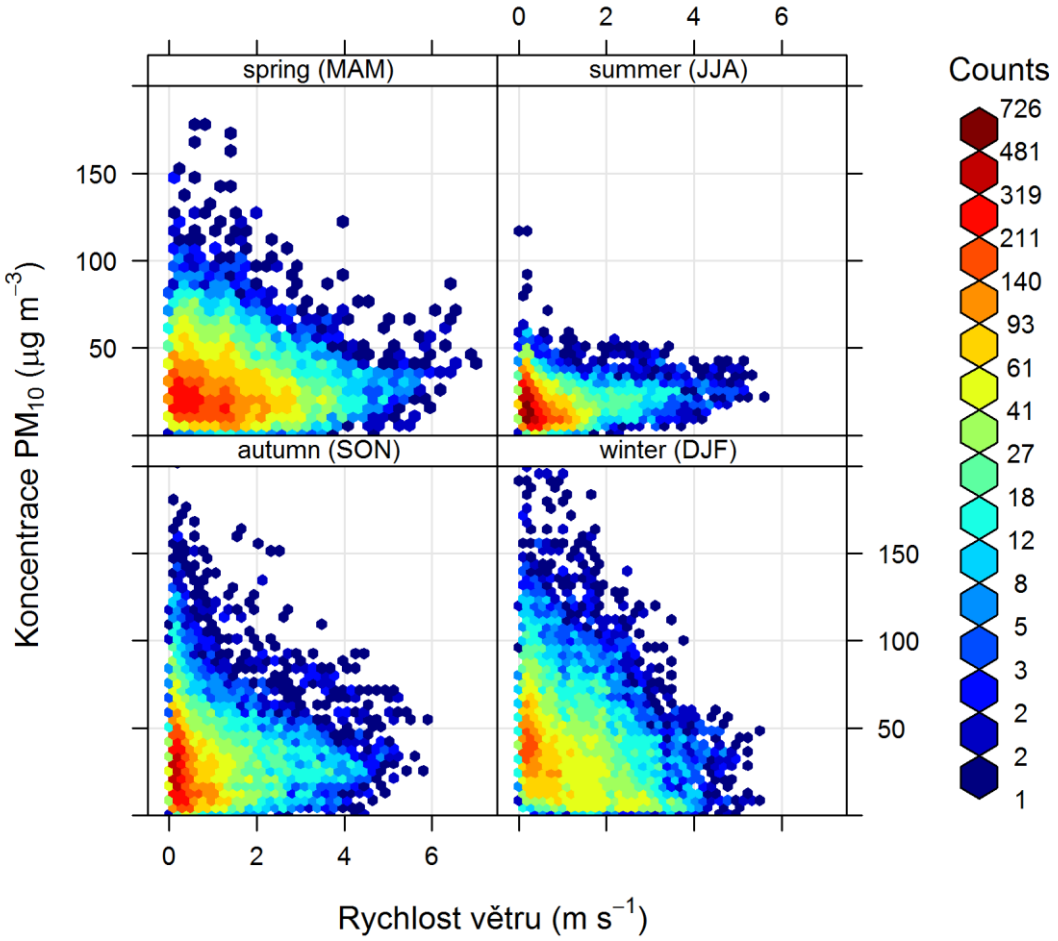
5 METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY

Meteorologické podmínky jsou v současnosti asi nejvýznamnějším faktorem ovlivňujícím koncentrace škodlivin v Jihomoravském kraji. I při zhruba stejných emisích mohou být vlivem rozdílných meteorologických podmínek koncentrace škodlivin velmi rozdílné, zvláště pokud se spojí několik faktorů dohromady. Velmi důležitou roli hrají teplotní inverze a s nimi spojené nízké rychlosti větru, důležitý je i smě proudění větru, teplota vzduchu, srážky a v případě troposférického ozónu i sluneční záření.

Inverze teploty vzduchu neboli **teplotní inverze** je meteorologický jev, kdy teplota vzduchu v některé vrstvě dolní atmosféry s výškou neklesá, ale stoupá. Pro dolní vrstvy atmosféry (troposféru) je charakteristické, že teplota vzduchu s výškou klesá, tzn. při zemském povrchu je vzduch teplejší než ve výšce. Je to způsobeno ohřevem o zemský povrch, který vydává teplo získané pohlceným slunečním zářením. Přenos tepla od zemského povrchu je provázen jevem zvaným konvekce, kdy ohřátý vzduch stoupá a na jeho místo se shora tlačí vzduch studený. Teplota stoupajícího vzduchu klesá s klesajícím tlakem ve větších výškách (adiabatický děj). Někdy však dochází k obrácení neboli inverzi teplotního gradientu. Lokální inverze například v údolí může být způsobena stékáním chladného vzduchu po svazích dolů. U dna kotliny se potom vytváří vrstva studeného vzduchu, v níž mnohdy dochází ke kondenzaci vodní páry a vzniku mlhy/nízké oblačnosti. Ve větším měřítku může inverzi způsobit nasunutí teplejší masy vzduchu nad vrstvu vzduchu studeného, čímž dojde k zastavení konvekčního proudění [14]. K inverzním situacím, trvajícím řadu dní, dochází zpravidla v podzimních a zimních měsících. Charakteristická je nízká oblačnost, zahalující nížiny, zatímco vystupující horské oblasti se těší jasnému a teplému počasí. Pod hranicí teplotní inverze dochází k stabilizaci atmosféry – panuje téměř bezvětří nebo pouze nízké rychlosti větru. Při těchto situacích nedochází k dostatečnému rozptylu škodlivin, naopak dochází k jejich kumulaci pod hladinou teplotní inverze, a tedy k růstu koncentrací škodlivin [15]. Rozrušení teplotní inverze a zlepšení rozptylových podmínek zpravidla způsobí až příchod fronty. Poté dojde zpravidla k rapidnímu poklesu koncentrací škodlivin na nízké hodnoty. Inverzní charakter počasí je zpravidla významným faktorem pro vznik smogových situací (viz. kapitola Smogový varovný a regulační systém v rámci studie „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016“ [1]).

Velmi nízké **rychlosti větru**, které bývají doprovodným jevem **teplotních inverzí**, se odrážejí v nárůstu koncentrací škodlivin v ovzduší. Velmi dobře je to patrné na některých koncentračních růžicích, kde maxima jsou situována ke středu růžice – do oblasti bezvětří a velmi nízkých rychlostí větru. Dobře patrné je to u teplotně členěných koncentračních růžic, kdy při nízkých teplotách a nízkých rychlostech větru bývají měřeny vysoké koncentrace PM či NO_2. Naopak v letních měsících při delších bezesrážkových epizodách, vyšších teplotách a vyšších rychlostech větru může docházet k větrné erozi, která může ovlivňovat koncentrace PM_{10} zejména v zemědělských oblastech [13], [7], [6]. K takovým patří i Jihomoravský kraj, proto je již na některých koncentračních růžicích popsán právě i vliv větrné eroze.

Vliv rychlosti větru na koncentrace PM_{10} dokumentuje Obr. 21. Pro názornost byla použita lokalita Brno – Lány, závislost byla dále členěna dle počtu výskytů a ročních období.

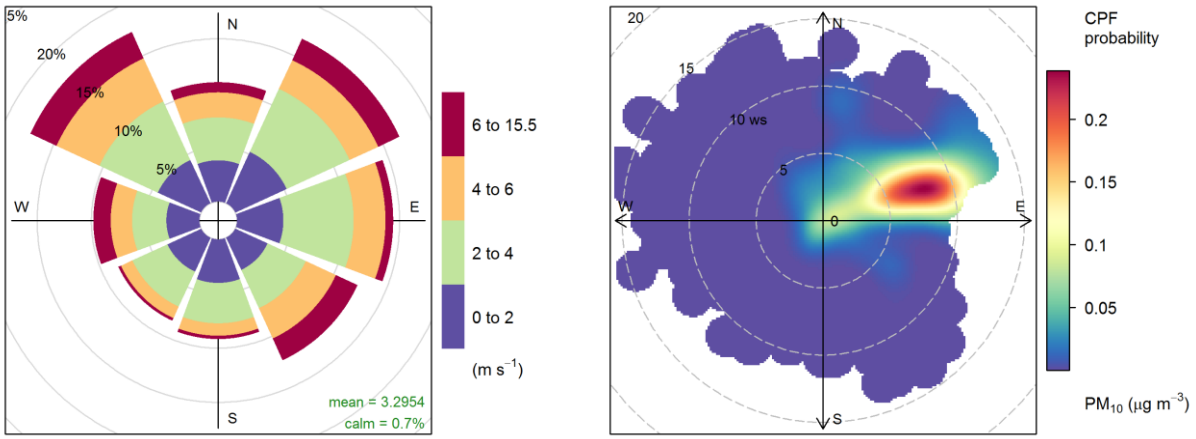


Obr. 21 – Závislost koncentrací PM_{10} na rychlosti větru, členěná dle počtu výskytů (Counts) a ročních období v lokalitě Brno – Lány, 2010 – 2016, spring (MAM) = jaro (březen, duben, květen), summer (JJA) = léto (červen, červenec, srpen), autumn (SON) = podzim (září, říjen, listopad) a winter (DJF) = zima (prosinec, leden, únor)

Z Obr. 21 je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou měřeny v podzimních a zimních měsících při nejnižších rychlostech větru. V zimních měsících je pak měřen vyšší počet těchto vysokých koncentrací při nízkých rychlostech větru. Naopak v letních měsících jsou i při nižších rychlostech větru měřeny obdobné koncentrace jako při vyšších rychlostech větru – zde se na zvýšených koncentracích může podílet i větrná eroze, takže i při vyšších rychlostech větru neklesají koncentrace až k velmi nízkým koncentracím.

Kromě rychlosti větru je pro koncentrace škodlivin velmi důležitý i **směr větru**. Pochopitelné to je zejména, pokud je v blízkosti významný zdroj znečištění ovzduší, který koncentrace škodlivin v měřicí lokalitě přímo ovlivňuje. Takovým příkladem může být významný liniový zdroj, uzavřený v kaňonu budov, který se významně promítne do koncentrací měřených škodlivin i koncentračních růžic. Tuto situaci velmi dobře reprezentuje lokalita Brno – Svatoplukova, zejména v případě koncentrací oxidů dusíku (viz. kapitola Detailní analýza hodinových koncentrací NO_2 na vybraných stanicích v rámci studie „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016“ [1]). Mimo toto přímé ovlivnění může směr větru výrazně naznačit vliv dálkového transportu a je také možné určit směr větru, ze kterého přichází např. 5 % nejvyšších koncentrací měřených v této lokalitě. Již v předchozím textu bylo zmíněno, že na všech pozaďových lokalitách byly měřeny nejvyšší průměrné koncentrace suspendovaných částic při severovýchodním proudění (někdy více severní, někdy více východní dle orografie terénu). To se shoduje i se zjištěními uvedenými v kapitole o smogovém

varovném a regulačním systému pro suspendované částice PM_{10} v rámci studie „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016“ [1]. Již zde bylo konstatováno, že smogové situace jsou vyhlašovány takřka výhradně při proudění ze severovýchodních směrů. Pro názornost je zde ještě zobrazena větrná růžice lokality Brno – Tuřany a koncentrační pravděpodobnostní růžice, která zobrazuje směry větru, při kterých dominují nejvyšší koncentrace PM_{10} – konkrétně 95. percentil, tedy 5 % nejvyšších koncentrací měřených v lokalitě Brno – Tuřany v letech 2010 – 2016 (Obr. 22).



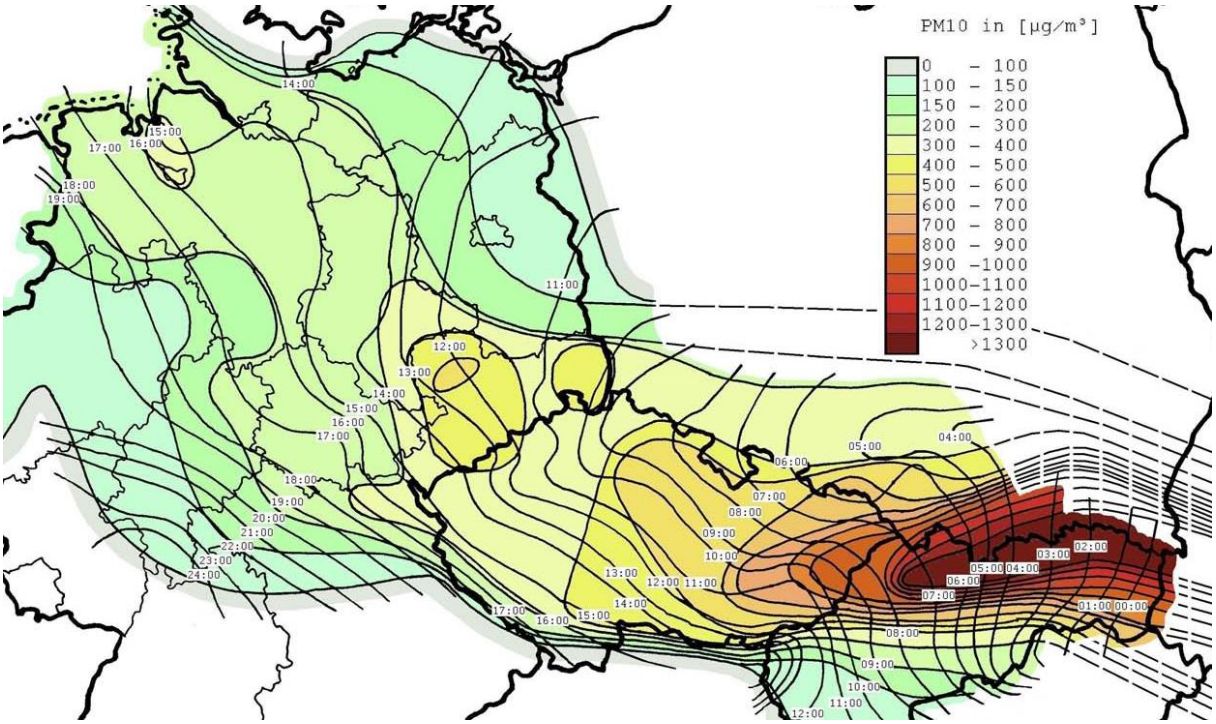
Obr. 22 – Větrná růžice v lokalitě Brno – Tuřany (vlevo) a pravděpodobnostní koncentrační růžice zobrazující směry větru s 5 % nejvyšších koncentrací PM_{10} v lokalitě Brno – Tuřany (koncentrace vyšší než 63 $\mu g \cdot m^{-3}$), 2010 – 2016

Z větrné růžice na Obr. 22 je patrné, že v lokalitě Brno – Tuřany jsou poměrně rovnoměrně zastoupeny všechny směry větru. Naproti tomu nejvyšší pravděpodobnost výskytu nejvyšších koncentrací PM_{10} je ze severovýchodních až východních směrů větru a rychlostech mezi cca 5 a 10 $m.s^{-1}$. Z ostatních směrů je pravděpodobnost výskytu vysokých koncentrací nulová, nebo velmi nízká. **Severovýchodní proudění a dálkový transport z těchto směrů jsou tak pro tuto lokalitu velmi významné. Obdobná situace je zaznamenána i na dalších pozaďových lokalitách Jihomoravského kraje, nejvyšší koncentrace na pozaďových stanicích lze tedy přisuzovat zejména dálkovému transportu z těchto směrů.**

Dalším velmi významným meteorologickým prvkem je **teplota**. Ta může ovlivňovat tvorbu škodlivin, např. troposférický ozón, suspendované částice – tvorba sekundárních atmosférických aerosolů (viz. následující kapitola). Mimo přímé působení působí i nepřímě – při nízkých teplotách vzniká potřeba topit, ke zdrojům emitujícím škodliviny celoročně se přidává sektor lokálních topenišť, čímž dojde k navýšení emisí zejména suspendovaných částic (viz. kapitola Emise suspendovaných částic ve studii „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016“ [1]). Při velmi nízkých teplotách je vytápění intenzivnější, což se může projevit i v měřených koncentracích. Teplotně členěné koncentrační růžice již byly uvedeny v kapitolách Detailní hodinové analýzy koncentrací pro jednotlivé škodliviny v rámci studie „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016“ [1]). Z teplotně členěných koncentračních růžic je zřejmé, že vysoké koncentrace PM_{10}, $PM_{2,5}$ a NO_2 lze očekávat při nízkých teplotách v topné sezóně, naopak vysoké koncentrace troposférického ozónu se vyskytují při vysokých teplotách za teplých a slunných dnů. Teplota a topná sezóna jsou z hlediska koncentrací suspendovaných částic významným faktorem i v případě dopravou velmi zatížené lokality Brno – Svatoplukova, zejména pak v případě jemnější frakce $PM_{2,5}$. Více viz. také kapitola 2.

6 DÁLKOVÝ TRANSPORT

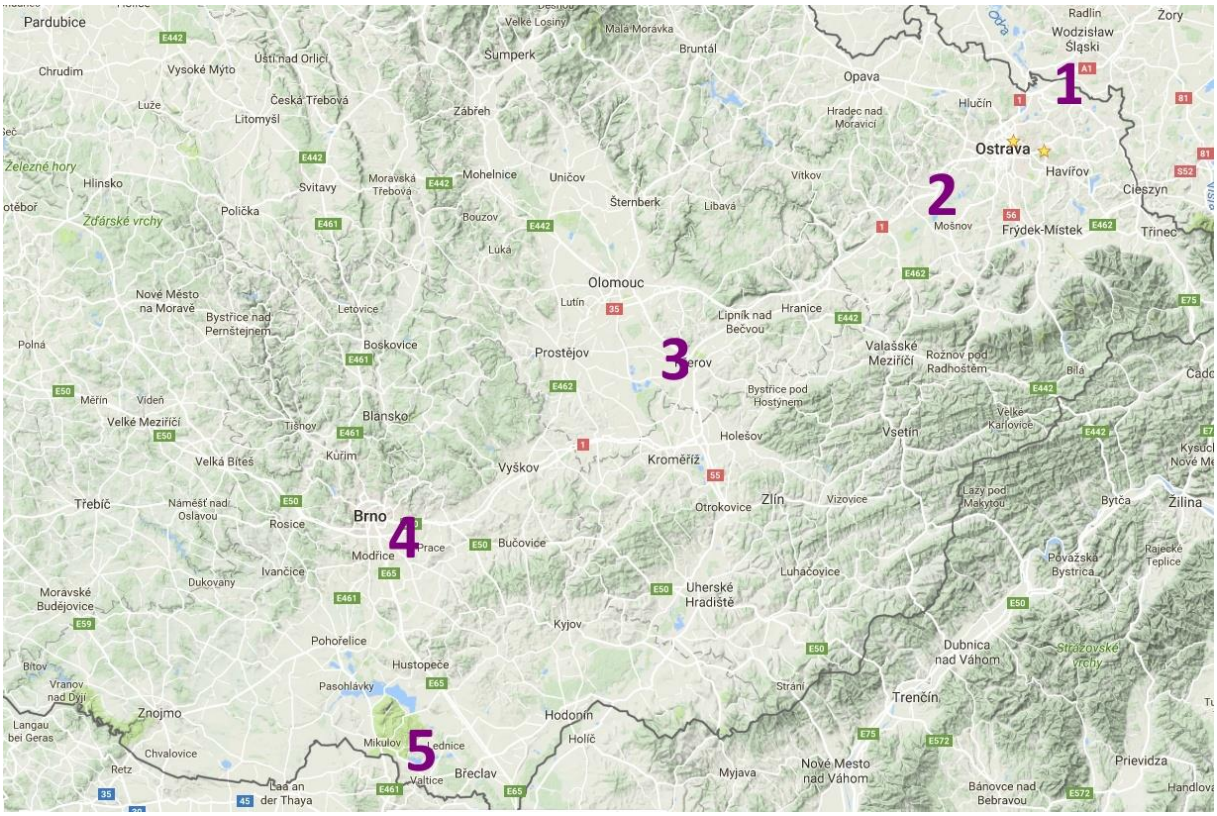
Dálkový transport je velmi úzce spjat s meteorologickými podmínkami a částečně již byl diskutován v předchozí kapitole. Kromě transportu škodlivin antropogenního původu může docházet i k přírodním jevům, které navyšují koncentrace škodlivin v kraji a může způsobit v některých případech i překročení hodnoty imisního limitu. Takovým příkladem může být prachová bouře původem z Ukrajiny v roce 2007, kdy došlo k výraznému nárůstu koncentrací suspendovaných částic ve střední Evropě (Obr. 23) [16].



Obr. 23 – Časoprostorový vývoj prašné bouře ve střední Evropě, 24. 3. 2007

Obdobně může koncentrace ovlivnit vulkanický prach v případě výbuchu sopky, či písečný prach ze Sahary. Ten naposledy výrazně ovlivnil koncentrace suspendovaných částic začátkem roku 2016. Začátkem třetí únorové dekády roku 2016 došlo ke vznosu písečných a prachových částic z pouště Sahara. Díky příznivému proudění byly tyto částice zaneseny přes Španělsko, Francii a jižní Německo až do střední Evropy. Trasa pohybu částic byla predikována řeckým transportním modelem SKIRON [17]. V predikovaných lokalitách pak došlo k nárůstu koncentrací suspendovaných částic, zejména pak hrubší frakce PM_{10}. Vysoké koncentrace byly měřeny na německých, hornorakouských a dolnorakouských stanicích, a také na stanicích v jižních Čechách a na jižní Moravě. Během několika hodin vzrostly z hodnot v řádu jednotek, až k hodnotám blížícím se 250 $\mu g \cdot m^{-3}$, a poté obdobně rychle jejich koncentrace klesla. Jednalo se zejména o hrubší frakce částic, výrazněji byly ovlivněny koncentrace PM_{10}. Chemická analýza odebraných vzorků potvrdila, že výrazně jsou zastoupeny zejména prvky charakteristické pro písečné a prašné částice Sahary. Velmi výrazný relativní nárůst v koncentracích zaznamenaly zejména hliník, vápník, hořčík a železo. Spolu s křemíkem a draslíkem tak tvořily tyto prvky až 20 % hmoty PM_{10}. V případě průměrných denních koncentrací částic došlo v několika lokalitách k překročení hodnoty 50 $\mu g \cdot m^{-3}$ a tedy k překročení hodnoty imisního limitu. Dálkový transport se tak může v případě některých lokalit podílet na překročení imisního limitu pro denní koncentraci PM_{10} [18].

V případě Jihomoravského kraje je velmi významný dálkový transport ze severovýchodních směrů (viz. předchozí kapitola). Následující Obr. 25 zobrazuje váženou koncentrační růžici, větrnou růžici a pravděpodobnostní koncentrační růžice zobrazující směry větru, ze kterých je měřeno 5 % nejvyšších koncentrací PM_{10}, pro vybrané moravské lokality. Jedná se o lokality **Věřňovice** (na hranici s Polskem), stanici **Studénka** (vstup do Moravské Brány), **Přerov** (Hornomoravský úval, ústí Moravské Brány), **Brno – Tuřany** (za Vyškovskou brázdou, vstup do aglomerace Brno) a **Mikulov – Sedlec** (hranice s Rakouskem). Je tak zmapována kompletní cesta po českém území při severovýchodním proudění (Obr. 24).



Obr. 24 – Mapa lokalit, 1 – Věřňovice, 2 – Studénka, 3 – Přerov, 4 – Brno – Tuřany, 5 – Mikulov – Sedlec

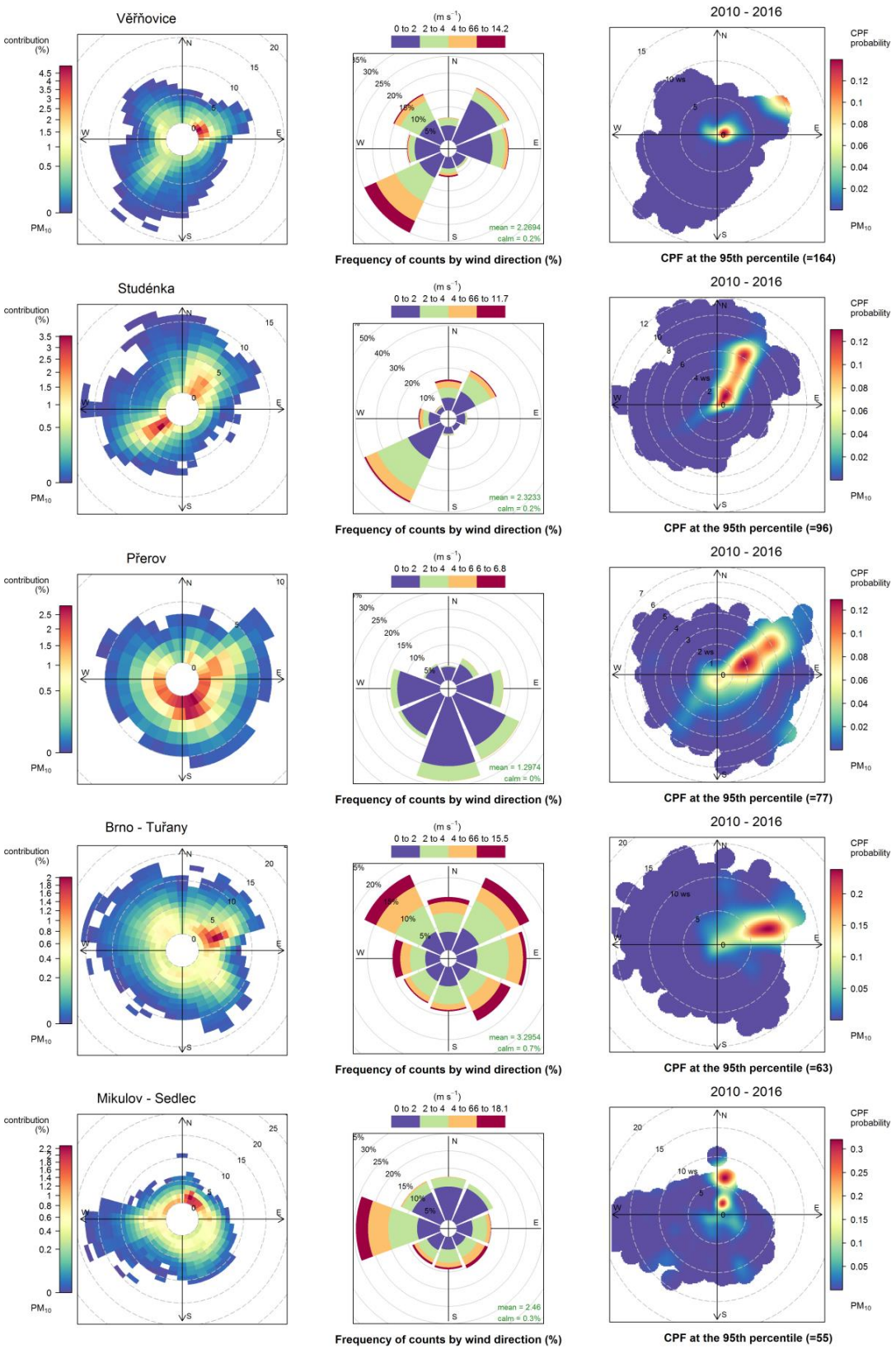
Z uvedených růžic je patrné, že se jednotlivé růžice liší charakteristikou rychlosti a směru větru (prostřední větrná růžice). V lokalitách Věřňovice a Studénka převládá jihozápadní proudění, doplněné je o severovýchodní proudění, případně další směry. Lokalita Přerov se vyznačuje zejména jižními směry s nízkými rychlostmi větru. Naopak lokalita Brno – Tuřany má zastoupeny téměř rovnoměrně všechny směry i s vyššími rychlostmi větru. V lokalitě Mikulov – Sedlec převládá západní proudění, ostatní směry jsou zastoupeny rovnoměrně, vyšší rychlosti větru lze očekávat z jižních směrů.

Přestože se větrné charakteristiky v jednotlivých lokalitách liší, **pro všechny tyto lokality platí, že 5 % nejvyšších koncentrací je měřeno při severovýchodním proudění** (viz. pravděpodobnostní koncentrační růžice vpravo). V lokalitě Věřňovice je to zejména při nejnižších rychlostech větru a bezvětří, lokalita leží v blízkosti silně znečištěné přeshraniční oblasti a panují zde specifické mikroklimatické podmínky. V ostatních lokalitách jsou vysoké koncentrace spojeny i s vyššími rychlostmi větru. Dálkový transport rovněž dokresluje snižující se koncentrace 95. percentilu měřených hodnot PM_{10}. **V případě lokality Věřňovice je 5 % hodnot s nejvyššími koncentracemi PM_{10} vyšší než 164 µg·m^{-3}, v případě lokality Studénka je to 96 µg·m^{-3}, v lokalitě Přerov má**

hodnota 95. percentilu koncentrací PM_{10} hodnotu 77 µg·m^{-3}, v lokalitě Brno – Tuřany je to 63 µg·m^{-3} a v lokalitě Mikulov – Sedlec překračuje 5 % nejvyšších koncentrací PM_{10} hodnotu jen 55 µg·m^{-3}. Z uvedeného je patrné, že postupem na jih koncentrace postupně slábnou, proti lokalitě Věřňovice je 95. percentil koncentrací PM_{10} v lokalitě Mikulov – Sedlec pouze třetinový.

Z hlediska vážených koncentračních růžic již opět dochází k mírným rozdílům. V případě lokality **Věřňovice**, přestože převládá jihozápadní proudění, je z hlediska váženého průměru nejvýznamnější severovýchodní směr. Ten je ve větrné růžici spolu s východním směrem rovněž významně zastoupen. Severovýchodní směr je zdrojem vysokých koncentrací, a tak přestože z něj neproudí vítr tak často, je nejvýznamnějším sektorem při nízkých rychlostech větru (špatné rozptylové podmínky). V lokalitě **Studénka** dominuje jihozápadní směr ve větrné růžici, což se projevilo i ve vážené koncentrační růžici. Z tohoto směru proudí vítr nejčastěji a přidává tedy nejvýznamnější příspěvek k celkovým koncentracím PM_{10} v této lokalitě. Jen o něco málo významný je však severovýchodní směr, ze kterého sice proudí vítr o polovinu případu méně než v případě jihozápadního směru, koncentrace z tohoto směru jsou však výrazně vyšší, takže vliv tohoto směru výrazně zvyšují. V případě, že by koncentrace ze severovýchodu byly dvojnásobné proti těm z jihovýchodu, byly by oba směry ve vážené koncentrační růžici rovnocenné. V lokalitě **Přerov** převažují jižní směry a nízké rychlosti větru. To se odrazilo i v nejvyšším příspěvku ke koncentracím PM_{10} právě z jižních směrů při nízké rychlosti větru. Ze severovýchodních směrů proudí vítr jen zhruba v 7 – 8 % případů, přesto z nich dle pravděpodobnostní růžice přichází ty nejvyšší koncentrace PM_{10}, a proto je severovýchodní směr ve vážené koncentrační růžici zastoupen podstatně více než např. severozápadní sektor, ze kterého proudí vítr zhruba stejně často. Lokalita **Brno – Tuřany** je ideální lokalitou pro analýzu vlivu směru proudění větru na koncentrace PM_{10}. Lokalita je velmi dobře provětrávaná, jednotlivé směry větru jsou zastoupeny přibližně rovnoměrně a jsou zde měřeny jak nízké, tak vysoké rychlosti směru větru. Přesto ve vážené koncentrační růžici jasně dominuje severovýchodní směr. To odpovídá i směru větru, ze kterého přicházejí nejvyšší koncentrace PM_{10}. Ostatní směry jsou již poměrně vyrovnané, mírně vyšší příspěvek ke koncentracím lze očekávat při nízkých rychlostech větru ze všech směrů. V případě lokality **Mikulov – Sedlec** převažuje západní proudění, přesto i vážené koncentrační růžici vévodí severovýchodní až severní proudění. Z toho plyne, že při západním proudění jsou měřeny jen nízké koncentrace PM_{10}, naopak při severovýchodním až severním proudění jsou měřeny vyšší koncentrace než ze všech ostatních směrů.

Z růžic tak vyplývá, že přestože severovýchodní proudění není převažující ani nejčastější proudění na žádné z lokalit, přichází z těchto směrů na všech lokalitách 5 % nejvyšších koncentrací PM_{10} a tento směr se i výrazně podílí na celkovém znečištění suspendovanými částicemi PM_{10} na všech lokalitách. Vzhledem k tomu, že se to týká i lokality Věřňovice, lze předpokládat, že výrazný vliv může mít i přeshraniční přenos škodlivin z Polska.



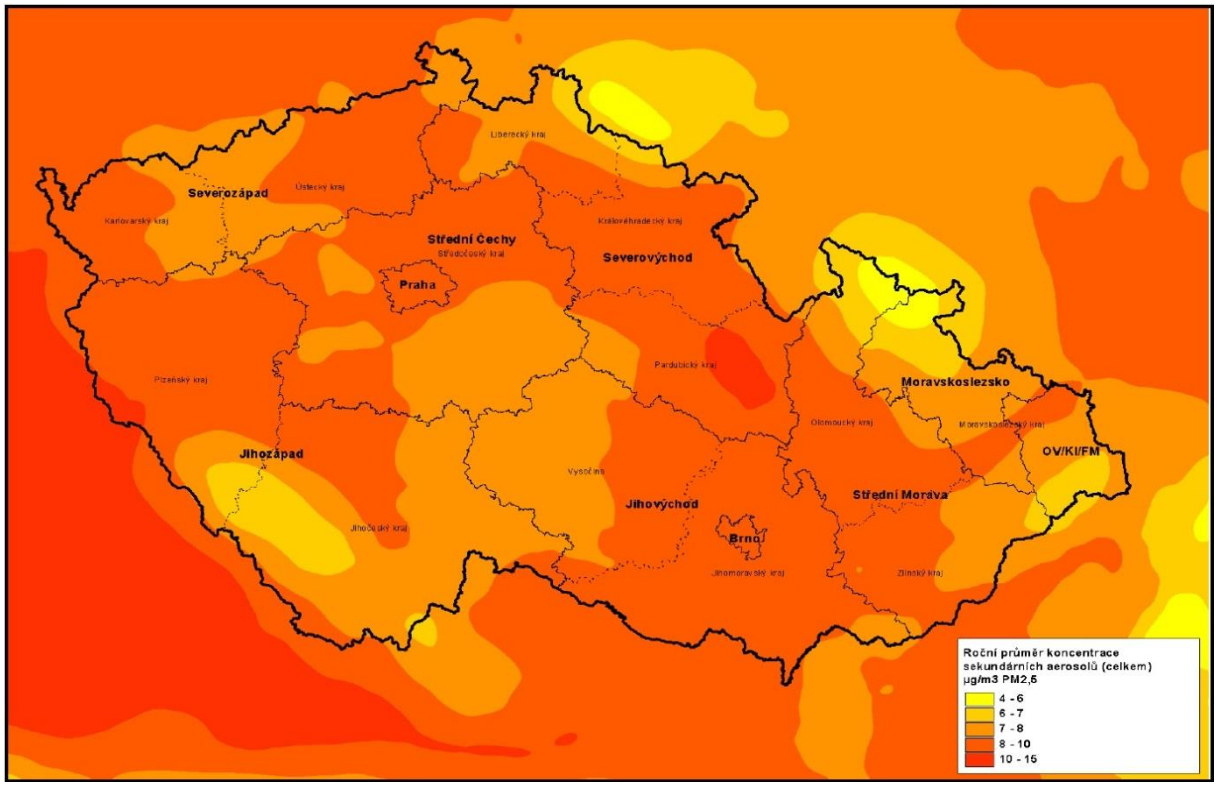
Obr. 25 – Vážené koncentrační růžice (vlevo), větrné růžice (uprostřed) a pravděpodobnostní koncentrační růžice zobrazující směry větru s 5 % nejvyšších koncentrací PM_{10} (vpravo) v lokalitách Věřňovice, Studénka, Přerov, Brno – Tuřany a Mikulov – Sedlec, 2010 – 2016

Do problematiky dálkového transportu lze do značné míry zahrnout i tzv. sekundární aerosoly, neboť vzhledem k délce transportních drah existuje jen slabá nebo žádná prostorová vazba mezi místem emise jejich prekurzorů a lokalitou dopadu. Sekundární aerosoly vznikají chemickou reakcí plynných složek atmosféry, vznik se často nazývá konverze plyn – částice (gas to particle conversion). Tímto procesem vznikají velmi malé částice, které se dále shlukují do větších celků.

Vzhledem k tomu, že prakticky veškeré sekundární aerosoly jsou tvořeny částicemi menšími než 2,5 µm, je jejich imisní příspěvek shodný k suspendovaným částicím frakcí $PM_{2,5}$ i PM_{10}.

Modelové pole imisních příspěvků sekundárních aerosolů k průměrným ročním koncentracím suspendovaných částic na území ČR uvádí Obr. 26.

Jak ukazuje Obr. 26, na většině území ČR se vypočtené hodnoty imisních příspěvků k ročním koncentracím suspendovaných částic ($PM_{2,5}$ i PM_{10}) pohybují převážně v rozmezí 7 – 10 $\mu g \cdot m^{-3}$. Nejnižší hodnoty v rozmezí 4 – 7 $\mu g \cdot m^{-3}$ se vyskytují částečně v hraničních horských oblastech Šumavy, Krkonoš a Jeseníku. Naopak nejvyšší příspěvky přesahující 10 $\mu g \cdot m^{-3}$ byly vypočteny na části území Pardubického kraje (Svitavsko) a částečně při státních hranicích v Plzeňském kraji [19].



Obr. 26 - Imisní příspěvky sekundárních aerosolů k průměrným ročním koncentracím suspendovaných částic na území ČR a v jejím okolí

7 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.

Na základě detailních analýz jednotlivých škodlivin byly identifikovány problémové oblasti či faktory ovlivňující kvalitu ovzduší v Jihomoravském kraji. Jako zásadní byly vyhodnoceny následující vlivy:

- **Lokální topeniště** – V Jihomoravském kraji se jedná o jeden z nejvýznamnějších emisních sektorů jak pro PM_{10}, tak pro $PM_{2,5}$, a to přesto, že jsou v provozu pouze v chladné části roku (topná sezóna) a bilance se provádí za kalendářní rok. Lokální topeniště a vytápění mají výrazný vliv na všech uvedených pozaďových lokalitách (Brno – Lány, Brno – Tuřany a Mikulov – Sedlec). V případě silně dopravou ovlivněné lokality Brno – Svatoplukova má lokální vytápění také svůj vliv, ale maxim koncentrací je dosahováno zásluhou intenzivní dopravy svedené do kaňonu zástavby. V případě jemnější frakce $PM_{2,5}$ je vliv ještě zřetelnější, např. i v případě dopravou ovlivněné lokality Brno – Svatoplukova jsou koncentrace v dopravních špičkách jen mírně vyšší než v noci, výrazně nejnižší koncentrace jsou pak kolem poledne. Na pozaďových lokalitách se lokální topeniště a vytápění mohou podílet na zvýšených koncentracích v noci zejména v topné sezóně. Všechny pozaďové lokality mají charakteristický denní chod s nízkými koncentracemi přes den a zvýšenými večer a v nočních hodinách. Dopravní lokalita má naopak denní chod koncentrací NO_2 svázán s intenzitou dopravy, maxim dosahuje při ranní a odpolední dopravní špičce. Nejvýznamnějším zdrojem jsou však lokální topeniště pro karcinogenní benzo[*a*]pyren a další PAH. V topné sezóně mohou být v malých obcích měřeny až několikanásobně vyšší koncentrace benzo[*a*]pyrenu, než jsou ve stejný den měřeny v Brně. Jak již bylo uvedeno výše, CZT a topení plynem se velmi výrazně podílí na pouze nízkých koncentrací benzo[*a*]pyrenu v Brně, a naopak topení pevnými palivy v malých obcích tyto koncentrace výrazně zvyšuje. Více viz. kapitola 2.

  Lokální topeniště mají během topné sezóny zásadní vliv na koncentrace PM_{10}, $PM_{2,5}$ a benzo[*a*]pyren. Během této části roku jsou schopny vyprodukovat obdobné nebo vyšší množství těchto škodlivin než ostatní sektory zdrojů znečišťování ovzduší. **Významný vliv lokálních topenišť tak lze očekávat v obcích, kde se vyskytují kotle na tuhá paliva, Brno nevyjímaje.** I zde je dostatečné množství lokálních topenišť nenapojených na CZT, které mohou ovlivňovat měření škodlivin v ovzduší, zdrojem škodlivin jsou i krby a krbová kamna. **Nejvýznamnější vliv mají lokální topeniště na kvalitu ovzduší při nízkých rychlostech větru (špatné rozptylové podmínky), kdy nízké komíny lokálních topenišť s nízkou teplotou spalin nejsou schopny škodliviny dostatečně rozptýlit. Škodliviny se tak drží převážně v intravilánech obcí.**

- **Doprava** – Doprava může lokálně navýšit koncentrace některých škodlivin v blízkosti nejvýznamnějších dopravních tahů. Kromě samotných exhalací z výfuku se na koncentracích suspendovaných částic výrazně podílí i otěry pneumatik a brzd a abraze vozovky. S tím souvisí, že PM_{10} výrazněji ovlivňuje na dopravní lokalitě Brno – Svatoplukova koncentrace PM_{10}, koncentrace $PM_{2,5}$ již méně. Ze studie "Šíření znečišťujících látek ovzduší v okolí dopravních komunikací" vyplývá, že koncentrace suspendovaných částic s rostoucí

vzdálenosti od vozovky relativně rychle poklesávají na úroveň místního pozadí. Zvýšené koncentrace PM lze tedy očekávat pouze **v těsné blízkosti komunikace** [5]. Z výsledků srovnání s intenzitou dopravy rovněž vyplývá, že i při poklesu intenzity dopravy o víkendu na zhruba 60 % téměř nedochází k poklesu koncentrací suspendovaných částic. Na koncentracích se tedy **výrazněji podílí resuspenze než samotné primární emise**. Významným vlivem je pak plynulost dopravy. V momentě, kdy plynulost dopravního proudu klesá v kolonách či na křižovatkách a semaforech, dochází k výraznému nárůstu emisí jak z otěrů při brždění, tak následně z exhalací při rozjezdu. Naopak pokud je doprava plynulá, můžou se koncentrace suspendovaných částic pohybovat na úrovni městského pozadí, a to i při měření v blízkosti dálnic. Výrazný vliv má naopak doprava na koncentrace oxidů dusíku v její blízkosti – koncentrace velmi dobře korelují s intenzitou dopravy. Pokles koncentrací NO_X o víkendu velice dobře koreluje s poklesem intenzity dopravy. Opět při vzdálenosti zhruba 30 – 50 m od komunikace dochází k výraznému poklesu koncentrací NO_X. Mezi dopravními lokalitami jsou patrné rozdíly právě v závislosti na otevřenosti terénu a plynulosti dopravy.
Doprava ovlivňuje koncentrace suspendovaných částic tím, že je navyšuje, s koncentracemi NO_X koreluje. V obou případech pak platí, že se vzdáleností od komunikace koncentrace logaritmicky klesají, regresní rovnice pro pokles koncentrací uvádí studie Šíření znečišťujících látek ovzduší v okolí dopravních komunikací“ [5]. **Výraznější vliv dopravy na koncentrace suspendovaných částic a NO_X lze očekávat v dopravou zatížených centrech měst, kde je doprava vedena kaňony zástavby a plynulost je narušena kolonami a křižovatkami, a dále pak v těsné blízkosti nejvýznamnějších komunikací v otevřeném terénu – výrazný pokles koncentrací PM_{10} nastává již po 30 metrech na hodnoty srovnatelné s pozaďovými hodnotami v lokalitě, koncentrace $PM_{2,5}$ jsou podstatně homogennější. V případě koncentrací NO_X byl zaznamenán po zhruba 30 – 50 m pokles koncentrací NO_X na polovinu.**

- **Větrná eroze** – Zemědělství a zemědělské práce jsou významným sektorem z hlediska emisí PM_{10}. Mimo samotné zemědělské práce je velice důležitým faktorem i větrná eroze. Pokud není půda zpevněná vegetačním krytem a jsou delší bezesrážkové epizody a vyšší teploty a rychlosti větru, mohou být koncentrace PM_{10} navýšeny o vliv větrné eroze. Tento jev se objevuje zejména na koncentračních růžicích PM_{10} pozaďových stanic. Jev byl podrobněji popsán pomocí rozptylové studie [6] či měřicí kampaní v Kuchařovicích [7].
  Zvýšené koncentrace PM_{10} vlivem větrné eroze lze očekávat v otevřené krajině s vyšším podílem zemědělské půdy ohrožené větrnou erozí [20]**. Výrazněji zasažena je jižní část Jihomoravského kraje, ovlivnění koncentrací PM_{10} větrnou erozí se týká zejména ORP Znojmo, Mikulov, Břeclav, Hodonín, Kyjov, Hustopeče, Pohořelice a Židlochovice. Částečně také Moravský Krumlov, Ivančice, Slavkov u Brna, Bučovice a Brno.**

- **Meteorologické podmínky** – Sice se nejedná o zdroj škodlivin, ale velmi výrazně ovlivňují jejich rozptyl, tvorbu částic, nutnost topit, a tedy produkovat emise, popř. ovlivňují dálkový transport. Většina škodlivin má sezónní trend, koncentrace suspendovaných částic, oxidů dusíku a benzo[*a*]pyrenu kulminují v zimě, maxim je dosahováno při nejnižších teplotách, kdy je intenzita topení nejvyšší. Výrazně jsou v těchto situacích koncentrace ovlivněny rychlostí větru. Pokud je bezvětří či pouze nízké rychlosti větru (často vlivem teplotní inverze), jsou dosahovány podstatně vyšší koncentrace, než pokud panují vyšší rychlosti větru a škodliviny jsou dobře rozptýleny. Pro koncentrace ozónu jsou zcela zásadní teplé slunné dny – tvorba ozónu je závislá na slunečním záření, vysokých koncentrací je tak dosahováno pouze v létech s teplými slunnými dny.

- **Dálkový transport** – Transport škodlivin v ovzduší je do značné míry také závislý na meteorologických podmínkách. Pro Jihomoravský kraj, ale v podstatě pro celé území Moravy je stěžejní severovýchodní proudění, ze kterého přichází nejvyšší koncentrace PM_{10} a rovněž má tento směr nejvýraznější podíl na průměrných koncentracích.

  Významný vliv dálkového transportu lze v Jihomoravském kraji očekávat zejména v nižších polohách v otevřené krajině. Při severovýchodním proudění natéká znečištěný vzduch do Jihomoravského kraje Vyškovskou bránou, při déletrvající epizodě pak může vyplnit nížinnou oblast od jižní části Brna až na hranici s Rakouskem. Část znečištění se pak do Jihomoravského kraje dostává nížinou podél řeky Moravy – Dolnomoravským úvalem. K ovlivnění koncentrací škodlivin tak dochází v ORP Veselí nad Moravou, Kyjov, Hodonín a Břeclav, zejména v níže položených oblastech.

Z uvedeného vyplývá, že pro vývoj kvality ovzduší v Jihomoravském kraji jsou zcela zásadní meteorologické podmínky, a to zejména v chladné části roku. Pokud jsou relativně teplé zimy, provětrávané, bez delších epizod s nepříznivými rozptylovými podmínkami, jsou plněny všechny imisní limity téměř na všech lokalitách. Výjimku mohou tvořit dopravní lokality, kde je nejméně plynulá doprava, ale i zde jde zpravidla pouze o těsné překročení imisního limitu pro suspendované částice. Dopravní lokality umístěné v kaňonu zástavby pak překračují imisní limity pro NO_2, zde je zcela zásadní omezit dopravu ve vyšší zástavbě a vést ji pokud možno mimo hustě zastavěné území otevřeným terénem. Naopak v případě zim s dlouhou topnou sezónou a nízkými teplotami, popř. s dlouhými epizodami se špatnými rozptylovými podmínkami vlivem teplotních inverzí, může docházet k překročení denního imisního limitu pro PM_{10} na velkém území kraje a tedy i na některých pozaďových lokalitách. Dlouhé epizody s nepříznivými rozptylovými podmínkami a severovýchodní proudění jsou nejčastější podmínky vedoucí k vyhlášení smogové situace pro PM_{10}.

Naopak v létě jsou koncentrace suspendovaných částic nízké, i na dopravních lokalitách se hodnoty pohybují na velmi podobných hodnotách jako pozaďové stanice. Zvyšovat je může za suchých teplých period větrná eroze. V letních měsících však velmi výrazně rostou koncentrace troposférického ozónu na pozaďových stanicích. Pokud je léto teplé s dlouhým slunečným svitem, může vést k překročení imisního limitu, v obzvláště horkých epizodách až k vyhlášení smogové situace.

V topné sezóně může být vážnější problém v malých obcích než ve větších městech s CZT. Kampaňová měření kvality ovzduší v malých sídlech Jihomoravského kraje prokázala, že koncentrace v těchto malých obcích jsou vyšší než v rezidenční části Brna, srovnatelné s koncentracemi v centru Brna a někdy i s nejzatíženějšími dopravními lokalitami. Z hlediska koncentrací benzo[*a*]pyrenu je situace ještě podstatně horší a prakticky ve všech malých obcích, kde kampaňové měření probíhalo, byly v topné sezóně naměřeny podstatně vyšší koncentrace než v Brně. Imisní monitoring často v těchto malých obcích chybí, zejména pak měření PAH, proto mohou být některé mapy z hlediska malých obcí podhodnocený. Zdrojem škodlivin jsou prakticky výhradně místní lokální topeniště.

8 SEZNAM ZKRATEK POUŽITÝCH V DOKUMENTU

ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
JMK	Jihomoravský kraj
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NMVOC	nemetanické těkavé organické látky
NO_2	oxid dusičitý
NO_X	oxidy dusíku, součet NO a NO_2 (v ppb)
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
SSIM	státní síť imisního monitoringu
SVRS	Smogový varovný a regulační systém
UTC	světový koordinovaný čas
VOC	těkavé organické látky

9 CITOVANÁ LITERATURA

[1] Bucek s.r.o., Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016, Brno: Jihomoravský kraj, 2017.

[2] D. C. Carslaw a J. Ropkins, „OpenAir-an R package for air quality data," *Environmental Modelling & Software,* Sv. %1 z %2Volume 27-28, pp. 52-61, 2012.

[3] I. Uria Tellaetxe a D. C. Carslaw, „Conditional bivariate probability function for source identification," *Environmental Modelling & Software,* sv. Volume 59, pp. 1 - 9, 2014.

[4] R. Skeřil a Š. Antošová, „Vliv dopravy na kvalitu ovzduší v Brně," v *Doprava, zdraví a životní prostředí*, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Brno, 2016.

[5] ČHMÚ, Šíření znečišťujících látek ovzduší v okolí dopravních komunikací, Praha, 2017.

[6] 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.

[7] R. Skeřil, Š. Antošová a G. Knozová, „Monitoring větrné eroze v lokalitě Kuchařovice," 2016. [Online]. Available: https://www.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?PubID=337479&TypeID=7.

[8] R. Skeřil a Š. Antošová, „Kvalita ovzduší v malých obcích Jihomoravského kraje během topné sezóny," v *Sborník konference Ovzduší 2017*, Brno, ISBN 978-80-210-8544-2, 2017.

[9] R. Skeřil a Š. Antošová, „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.

[10] R. Skeřil, Š. Antošová 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.

[11] 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.

[12] 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.

[13] G. Knozová a R. Skeřil, „Koncentrace tuhých částic v ovzduší v bezesrážkových epizodách v Brně (1996-2010)," v *Ovzduší 2011*, Brno, 2011.

[14] Wikipedia, „Inverze teploty vzduchu," 14 3 2016. [Online]. Available: https://cs.wikipedia.org/wiki/Inverze_teploty_vzduchu.

[15] J. Bednář, „Kompendium ochrany kvality ovzduší, část 1: Meteorologie," *Ochrana ovzduší 2/2003,* 2003.

[16] 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.

[17] U. o. Athens, „SKIRON – Dust Forecast Mediterranean – Europe, North Atlantic," 2016. [Online]. Available: http://forecast.uoa.gr/dustindx.php. [Přístup získán 23 2 2016].

[18] R. Skeřil, J. Keder, Š. Antošová a Š. Rychlík, „Epizoda zvýšených koncentrací suspendovaných částic PM10 pocházejících ze Sahary," *Meteorologické zprávy,* sv. 1, 2017.

[19] MŽP, „Program zlepšování kvality ovzduší zóna Jihovýchod - CZ06Z," 2016. [Online]. Available: http://www.mzp.cz/cz/kvalita_ovzdusi_jihovychod_2016.

[20] Č. VÚMOP, „Analýza a kvantifikace větrné eroze ve vztahu ke kvalitě ovzduší v JMK," 2012. [Online]. Available: http://www.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?PubID=5451&TypeID=2.