



# PROJEKT ISKOV 2019: CHOTĚBOŘ, KAMENICE NAD LIPOU, LEDEČ NAD SÁZAVOU A VELKÉ MEZIŘÍČÍ

28.2.2020

ENVITECH BOHEMIA, S.R.O.



# OBSAH

<b>1</b>	<b>POPIS MĚŘICÍCH LOKALIT, METODIKA A LEGISLATIVA .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>MĚŘICÍ LOKALITY .....</b>	<b>3</b>
1.1.1	CHOTĚBOŘ.....	3
1.1.2	KAMENICE NAD LIPOU .....	4
1.1.3	LEDEČ NAD SÁZAVOU .....	6
1.1.4	VELKÉ MEZÍŘÍČÍ .....	7
<b>1.2</b>	<b>METODIKA MĚŘENÍ.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3</b>	<b>PLATNÉ IMISNÍ LIMITY .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY V ROCE 2019 V ČR .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM<sub>10</sub> .....</b>	<b>12</b>
3.1.1	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE.....	14
3.1.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE .....	15
3.1.3	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE PM <sub>10</sub> .....	17
3.1.4	HODINOVÉ KONCENTRACE A DENNÍ CHOD .....	23
3.1.5	RŮŽICE – DETAILNÍ ANALÝZA HODINOVÝCH HODNOT .....	24
3.1.6	SROVNÁNÍ KONCENTRACÍ PM <sub>10</sub> S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍTĚ IMISNÍHO MONITORINGU.....	34
<b>3.2</b>	<b>SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM<sub>2,5</sub> .....</b>	<b>36</b>
3.2.1	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE.....	36
3.2.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE .....	37
3.2.3	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE PM <sub>2,5</sub> .....	39
3.2.4	HODINOVÉ KONCENTRACE A DENNÍ CHOD .....	43
3.2.5	RŮŽICE – DETAILNÍ ANALÝZA HODINOVÝCH HODNOT .....	44
3.2.6	SROVNÁNÍ KONCENTRACÍ PM <sub>2,5</sub> S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍTĚ IMISNÍHO MONITORINGU .....	53
<b>3.3</b>	<b>OXID DUSIČITÝ A OXIDY DUSÍKU .....</b>	<b>54</b>
3.3.1	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE.....	56
3.3.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE .....	57
3.3.3	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE NO <sub>2</sub> .....	59
3.3.4	HODINOVÉ KONCENTRACE A DENNÍ CHOD .....	63
3.3.5	RŮŽICE – DETAILNÍ ANALÝZA HODINOVÝCH HODNOT .....	64
3.3.6	SROVNÁNÍ KONCENTRACÍ NO <sub>2</sub> S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍTĚ IMISNÍHO MONITORINGU .....	73
<b>3.4</b>	<b>PŘÍZEMNÍ OZÓN.....</b>	<b>74</b>
<b>3.5</b>	<b>8HODINOVÉ KLOUZAVÉ PRŮMĚRY O<sub>3</sub> .....</b>	<b>74</b>
3.5.1	RŮŽICE – DETAILNÍ ANALÝZA HODINOVÝCH HODNOT .....	81
<b>3.6</b>	<b>BENZO[A]PYREN .....</b>	<b>90</b>
3.6.1	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE BENZO[A]PYRENU.....	91
3.6.2	MĚŘENÉ DENNÍ KONCENTRACE.....	92
<b>4</b>	<b>ZÁVĚRY .....</b>	<b>96</b>
<b>5</b>	<b>CITOVANÁ LITERATURA .....</b>	<b>97</b>
<b>6</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK POUŽITÝCH V DOKUMENTU.....</b>	<b>99</b>

# 1 POPIS MĚŘICÍCH LOKALIT, METODIKA A LEGISLATIVA

## 1.1 MĚŘICÍ LOKALITY

### 1.1.1 Chotěboř

Název lokality:	Chotěboř
Popis umístění:	TECHNICKÁ A LESNÍ SPRÁVA CHOTĚBOŘ s. r. o., Sokolohradská 167
Zeměpisné souřadnice:	49°42'43.525"N, 15°41'11.641"E
Nadmořská výška:	515 m
Měřené látky:	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PAH
Meteorologické prvky:	ano



Obr. 1 – Přehledová mapa umístění lokality, Chotěboř, projekt ISKOV, rok 2019

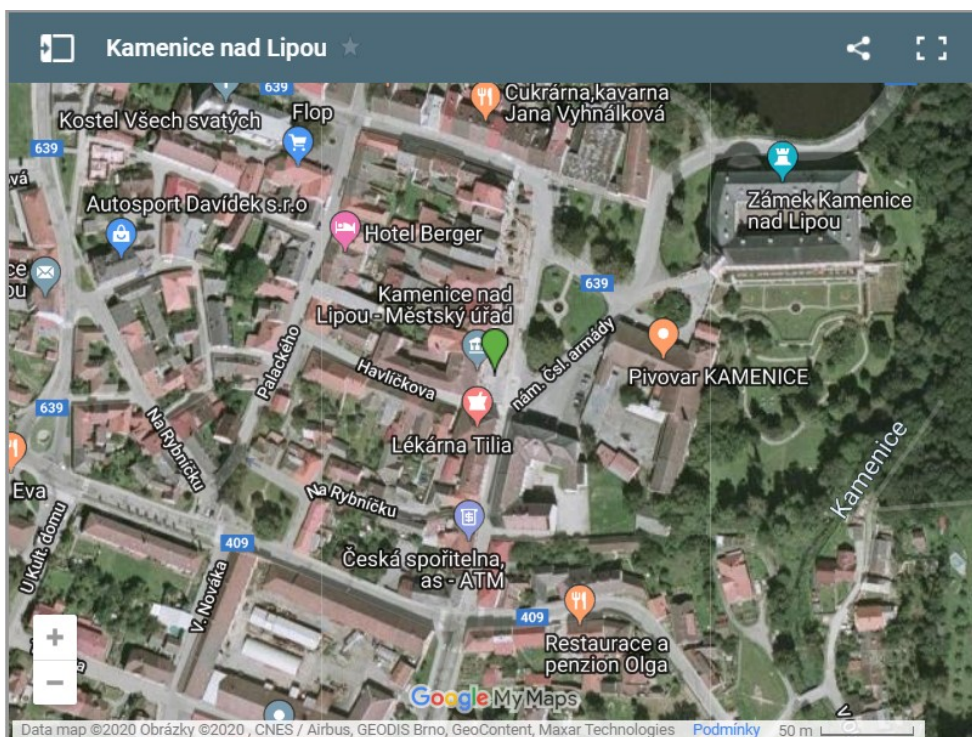




Obr. 2 – Lokalita Chotěboř, projekt ISKOV, rok 2019

### 1.1.2 Kamenice nad Lipou

Název lokality:	Kamenice nad Lipou
Popis umístění:	Před radnicí na Náměstí Československé Armády č.p.52
Zeměpisné souřadnice:	49°18'06.465"N, 15°04'37.924"E
Nadmořská výška:	561 m
Měřené látky:	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub>
Meteorologické prvky:	ano



Obr. 3 – Přehledová mapka umístění lokality, Kamenice nad Lipou, projekt ISKOV, rok 2019

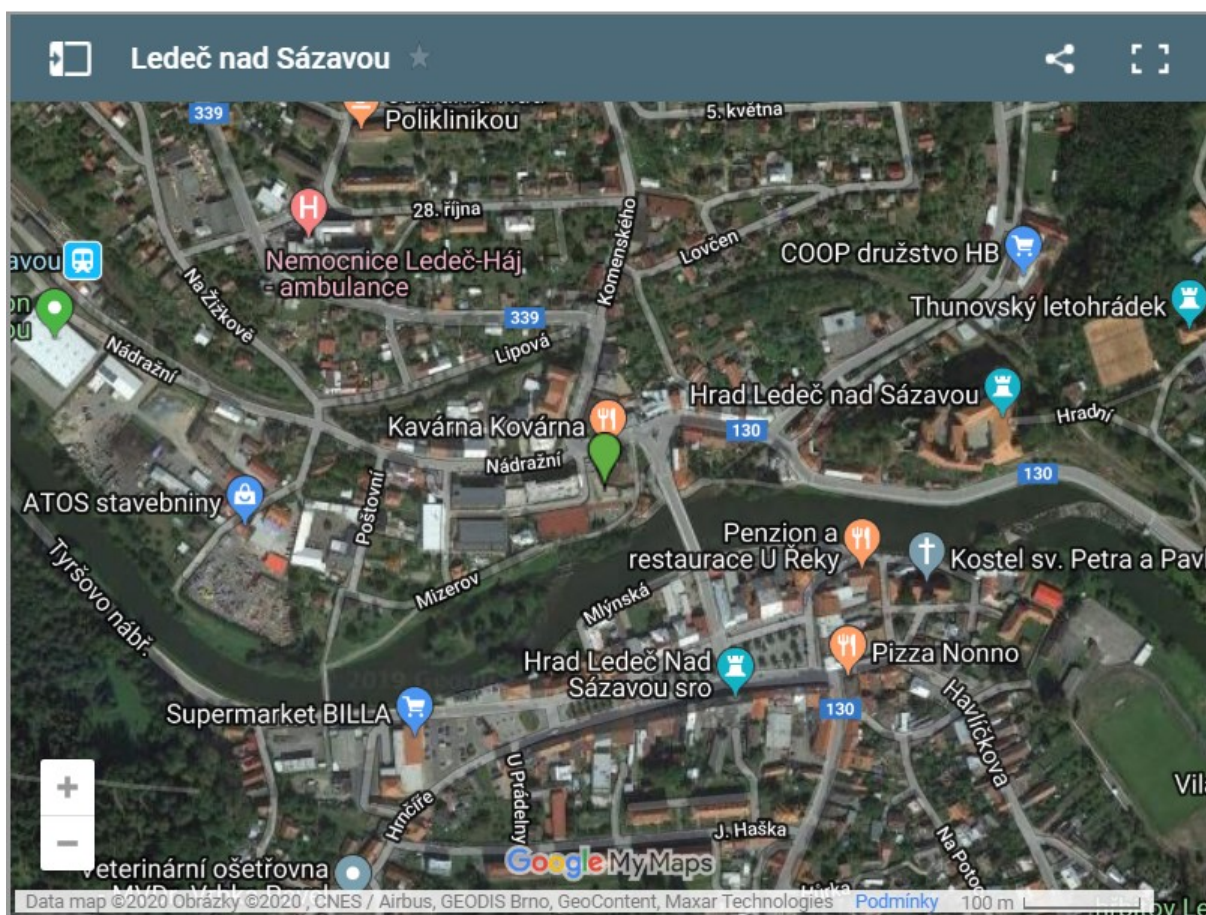


Obr. 4 – Lokalita Kamenice nad Lipou, projekt ISKOV, rok 2019



### 1.1.3 Ledeč nad Sázavou

Název lokality:	Ledeč nad Sázavou
Popis umístění:	Areál školního hřiště
Zeměpisné souřadnice:	49°41'46.509"N, 15°16'34.806"E
Nadmořská výška:	365 m
Měřené látky:	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub>
Meteorologické prvky:	ano



Obr. 5 – Přehledová mapa umístění lokality, Ledeč nad Sázavou, projekt ISKOV, rok 2019

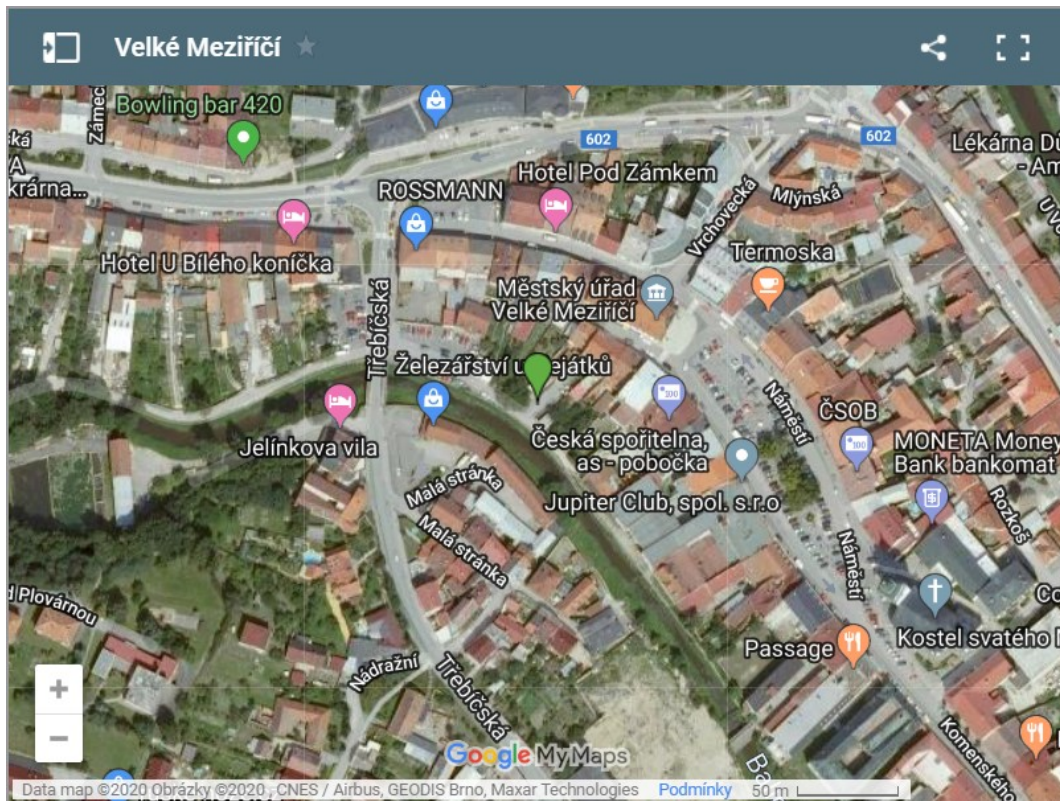


Obr. 6 – Lokalita Ledeč nad Sázavou, projekt ISKOV, rok 2019

#### 1.1.4 Velké Meziříčí

Název lokality:	Velké Meziříčí
Popis umístění:	V blízkosti Náměstí
Zeměpisné souřadnice:	49°21'17.849"N, 16°00'40.861"E
Nadmořská výška:	425 m
Měřené látky:	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PAH
Meteorologické prvky:	ano





Obr. 7 – Přehledová mapa umístění lokality, Velké Meziříčí, projekt ISKOV, rok 2019



Obr. 8 – Lokalita Velké Meziříčí, projekt ISKOV, rok 2019

## 1.2 METODIKA MĚŘENÍ

- Pro kontinuální měření prachu frakce PM<sub>10</sub> byla použita ekvivalentní metoda podle ČSN EN 16450:2019 "Kvalita ovzduší – Automatické měřicí systémy pro stanovení aerosolových částic (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>)", a to metoda optická, gravimetrická případně frekvenční.
- Pro stacionární měření oxidu siřičitého byla použita referenční metoda podle české technické normy EN 14212:2005 "Kvalita vnějšího ovzduší – Normalizovaná metoda měření oxidu siřičitého ultrafialovou fluorescencí".
- Pro stacionární měření oxidu dusičitého a oxidů dusíku byla použita referenční metoda podle české technické normy EN 14211:2005 "Kvalita vnějšího ovzduší – Normalizovaná metoda měření koncentrací oxidu dusičitého a oxidů dusíku chemiluminiscencí".
- Pro stacionární měření troposférického ozonu byla použita referenční metoda podle české technické normy EN 14625:2005 "Kvalita vnějšího ovzduší – Normalizovaná metoda měření koncentrace ozonu ultrafialovou fotometrií".
- Pro odběr vzorků a analýzu polycyklických aromatických uhlovodíků byla použita referenční metoda podle technické normy ISO 12884:2000 "Stanovení sumy (plynná a pevná fáze) polycyklických aromatických uhlovodíků ve vnějším ovzduší – Odběr na filtry a sorbent s analýzou metodou plynové chromatografie/hmotnostní spektrometrie".
- Všechny metody jsou součástí platných SOP pro ovzduší akreditovaných ČIA Praha a autorizovaných MŽP ČR.

### 1.3 PLATNÉ IMISNÍ LIMITY

Platné imisní limity a povolený počet překročení limitních hodnot za kalendářní rok určuje aktuální platná legislativa<sup>1</sup> (Tab. 1 – Tab. 3).

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

ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKA	DOBA PRŮMĚROVÁNÍ	IMISNÍ LIMIT	MAXIMÁLNÍ POVOLENÝ POČET PŘEKROČENÍ
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM <sub>10</sub>	24 hodin	50 µg.m <sup>-3</sup>	35
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM <sub>10</sub>	1 kalendářní rok	40 µg.m <sup>-3</sup>	
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM <sub>2,5</sub>	1 kalendářní rok	25 µg.m <sup>-3</sup>	
OXID DUSIČITÝ NO <sub>2</sub>	1 hodina	200 µg.m <sup>-3</sup>	18
OXID DUSIČITÝ NO <sub>2</sub>	1 kalendářní rok	40 µg.m <sup>-3</sup>	

Tab. 2 – Imisní limity pro celkový obsah znečišťující látky v částicích PM<sub>10</sub> vyhlášené pro ochranu zdraví lidí

ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKA	DOBA PRŮMĚROVÁNÍ	IMISNÍ LIMIT
BENZO[A]PYREN (BAP)	1 kalendářní rok	1 ng.m <sup>-3</sup>

Tab. 3 – Imisní limit pro troposférický ozón

ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKA	DOBA PRŮMĚROVÁNÍ	IMISNÍ LIMIT	MAXIMÁLNÍ POVOLENÝ POČET PŘEKROČENÍ
OCHRANA ZDRAVÍ LIDÍ	maximální denní osmihodinový klouzavý průměr	120 µg.m <sup>-3</sup>	25x v průměru za 3 roky

<sup>1</sup> Zákon č. 201/2015 Sb. o ochraně ovzduší ze dne 2. května 2015

## 2 METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY V ROCE 2019 V ČR

---

**Rok 2019 byl s průměrnou teplotou 9,5 °C** a s odchylkou +1,6 °C od normálu 1981–2010 (a +2,0 °C od normálu 1961–1990) **mimořádně nadnormální**, podobně jako předchozí roky 2018, 2015 a 2014, roky 2016 a 2017 byly jen silně nadnormální. Rok 2019 se v řadě teplotních průměrů pro území České republiky stal po roce 2018 druhým nejteplejším rokem. Teplotní odchylka od normálu 1981-2010 v jednotlivých měsících kolísala od +5,2 °C v červnu, teplotně mimořádně nadnormální měsíc, až po -1,6 °C v květnu, který tak byl měsícem teplotně podnormálním a jediným měsícem se zápornou odchylkou od průměru 1961-1990. V průběhu roku byly pouze měsíce leden a září teplotně normální. Únor, červenec říjen a prosinec byly teplotně nadnormální, březen, duben srpen a listopad byly silně nadnormální.

Roční srážkový úhrn 637 mm zařazuje rok mezi roky **srážkově normální** (normál za období 1981–2010 je v Česku 686 mm). Nejvíce srážek, v průměru 91 mm, což bylo 123 % normálu, napadlo v České republice v květnu a nejméně, v průměru jen 25 mm, to je 53 % normálu, v dubnu. Leden a květen tak byly srážkově nadnormální, duben a červen podnormální měsíce a osm zbývajících měsíců bylo srážkově normálních. Měsíce březen, září a říjen měly úhrn vyšší, než jsou průměrné hodnoty, zůstaly však v normálním intervalu, měsíce duben, červenec, srpen, listopad a prosinec měly úhrn nižší, než je normál, ale jsou klasifikovány jako měsíce srážkově normální.

Denní imisní limit  $PM_{10}$  byl v roce 2019 překročen na 10 stanicích AIM, přičemž na počtu překročení hodnoty imisního limitu se nejvíce podílel měsíc únor. Maximální povolený počet překročení (25x v průměru za tři roky) hodnoty imisního limitu pro maximální denní 8hodinovou koncentraci  $O_3$  ( $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) byl překročen na 38 stanicích z 67. S koncem roku 2019 je možné navíc vyhodnotit i překročení ročních imisních limitů, a to pro průměrnou roční koncentraci suspendovaných částic  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  a oxidu dusičitého. Na základě neverifikovaných dat ze stanic automatizovaného imisního monitoringu (AIM) ČHMÚ a dalších dodavatelů imisních dat lze konstatovat, že imisní limit pro průměrnou roční koncentraci  $PM_{10}$  nebyl překročen na žádné ze 119 stanicích AIM, imisní limit pro průměrnou roční koncentraci  $PM_{2,5}$  byl překročen na dvou stanicích (venkovská stanice Věřňovice a průmyslová stanice Ostrava-Radvanice ZÚ) z 81 stanic AIM a imisní limit pro průměrnou roční koncentraci  $NO_2$  byl překročen na jediné (dopravní stanice Praha 2-Legerova (hot spot)) ze 100 stanic AIM. V roce 2019 bylo vyhlášeno pět smogových situací a dvě regulace z důvodu vysokých koncentrací  $PM_{10}$  (vše v měsíci lednu) a šest smogových situací z důvodu vysokých koncentrací přízemního ozonu  $O_3$  (pět situací v červnu a jedna v červenci) [1].



## 3 VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ

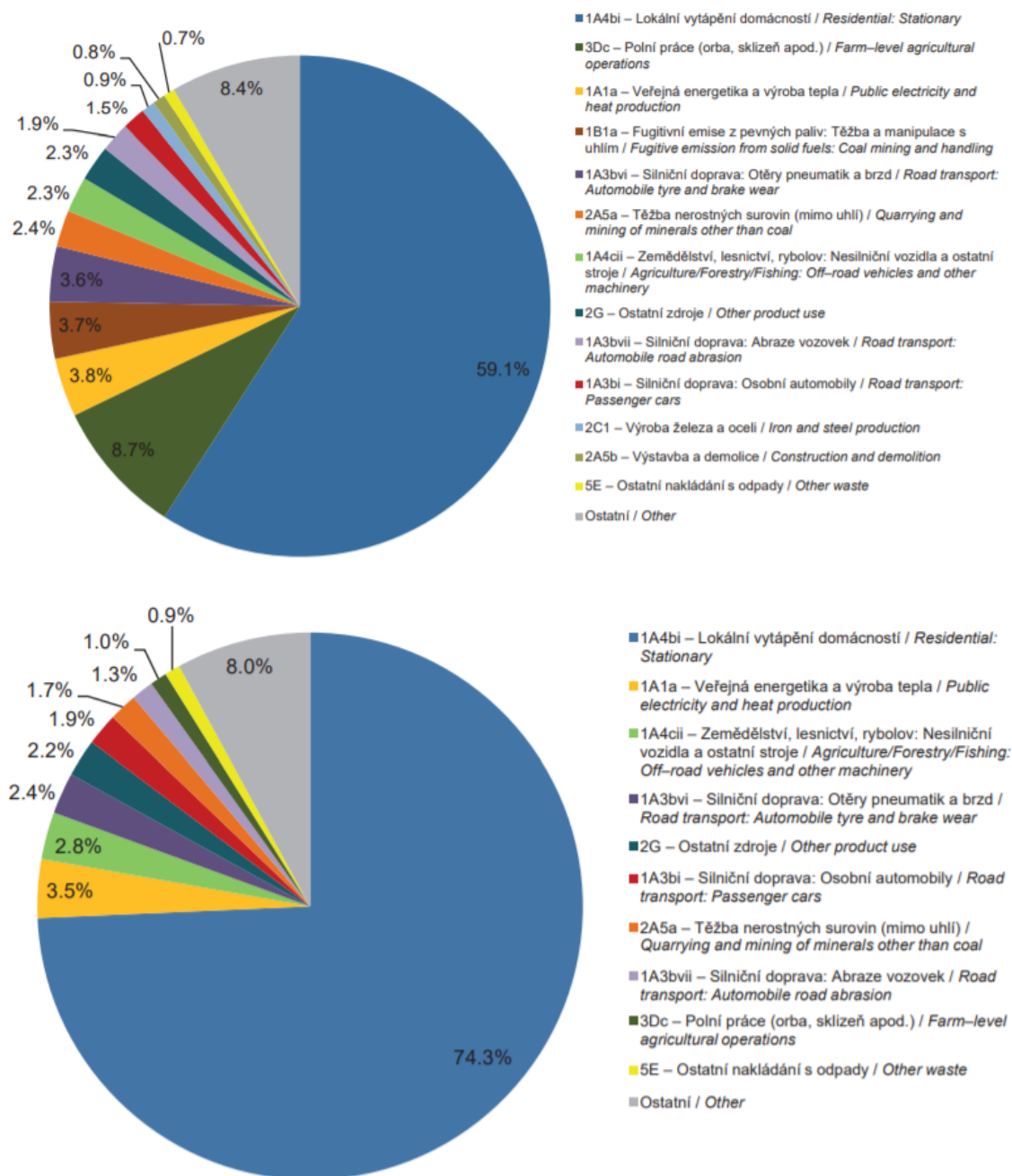
---

### 3.1 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM<sub>10</sub>

Obecná část této kapitoly platí také pro částice PM<sub>2,5</sub>. Suspendované částice PM<sub>10</sub> jsou tvořeny směsí pevných a kapalných částic o aerodynamickém průměru menším než 10 μm, v případě PM<sub>2,5</sub> o průměru menším než 2,5 μm. Suspendované částice mohou být tvořeny různými chemickými složkami a jejich vliv na lidské zdraví a životní prostředí se odvíjí od jejich složení. Jejich součástí mohou být i polycyklické aromatické uhlovodíky a těžké kovy. Roční imisní limit PM<sub>10</sub> je 40 μg·m<sup>-3</sup>. **Hodnota imisního limitu** pro průměrnou 24hodinovou koncentraci PM<sub>10</sub> je 50 μg·m<sup>-3</sup>. Legislativa připouští na daném místě (měřicí stanici) maximálně 35 překročení hodnoty denního imisního limitu za kalendářní rok; při vyšším počtu je **imisní limit** považován za překročený [2]. Roční imisní limit pro PM<sub>2,5</sub> má hodnotu 25 μg·m<sup>-3</sup>. Po roce 2020 však dojde ke zpřísnění tohoto imisního limitu na 20 μg·m<sup>-3</sup> [3], [4].

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 μm [5], [6].

Mezi hlavní zdroje emisí částic v roce 2017 patřil v rámci celé ČR sektor *1A4bi – Lokální vytápění domácností*, který se podílel na znečišťování ovzduší v celorepublikovém měřítku látkami PM<sub>10</sub> 59,1 % a PM<sub>2,5</sub> 74,3 %. Mezi další významné zdroje emisí PM<sub>10</sub> patřil sektor *3Dc – Polní práce*, kde tyto emise vznikají při obdělávání půdy, sklizni a čištění zemědělských plodin. Tento sektor představoval 8,7 % emisí PM<sub>10</sub>. *Doprava* se na emisích PM<sub>10</sub> podílela 10,7 % a na emisích PM<sub>2,5</sub> 10,3 % [7].



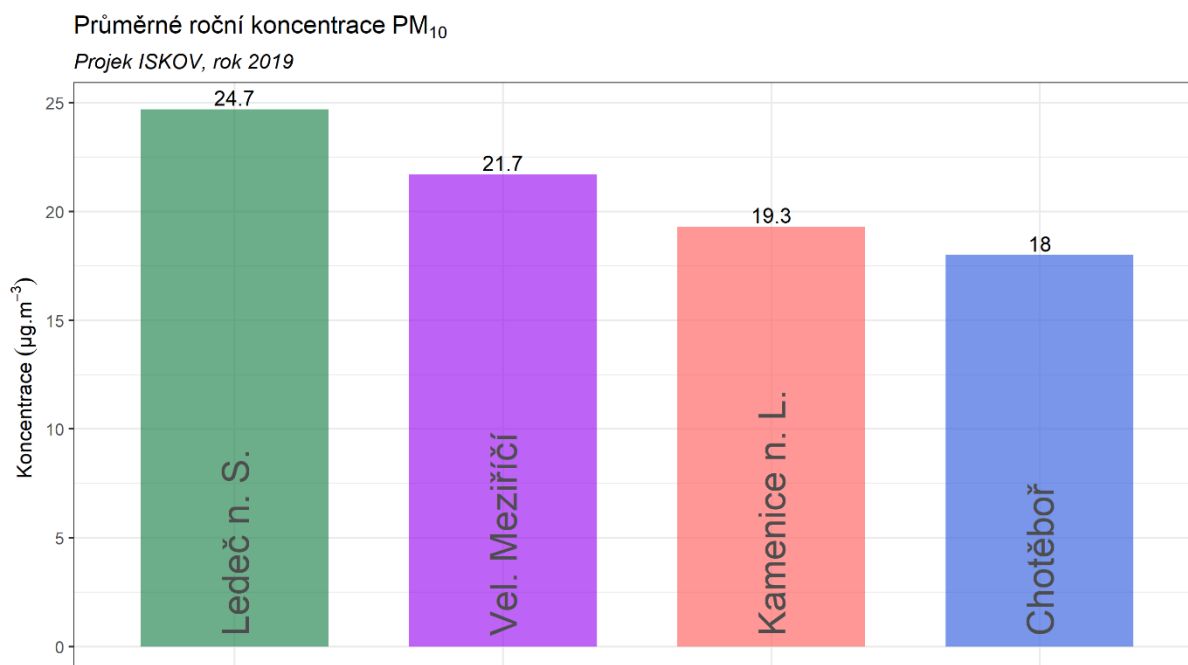
Obr. 9 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích PM<sub>10</sub> (nahore) a PM<sub>2,5</sub> (dole) v ČR, rok 2017 [7]

### 3.1.1 Průměrná roční koncentrace

Průměrné roční koncentrace, naměřené v jednotlivých lokalitách, zobrazuje následující Tab. 4, graficky je pak znázorňuje Obr. 10.

Tab. 4 – Průměrná roční koncentrace  $PM_{10}$ , projekt ISKOV, rok 2019

LOKALITA	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE $PM_{10}$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )
CHOTĚBOŘ	18
KAMENICE N. L.	19,3
LEDEČ N. S.	24,7
VEL. MEZIŘÍČÍ	21,7



Obr. 10 – Průměrná roční koncentrace  $PM_{10}$ , projekt ISKOV, rok 2019

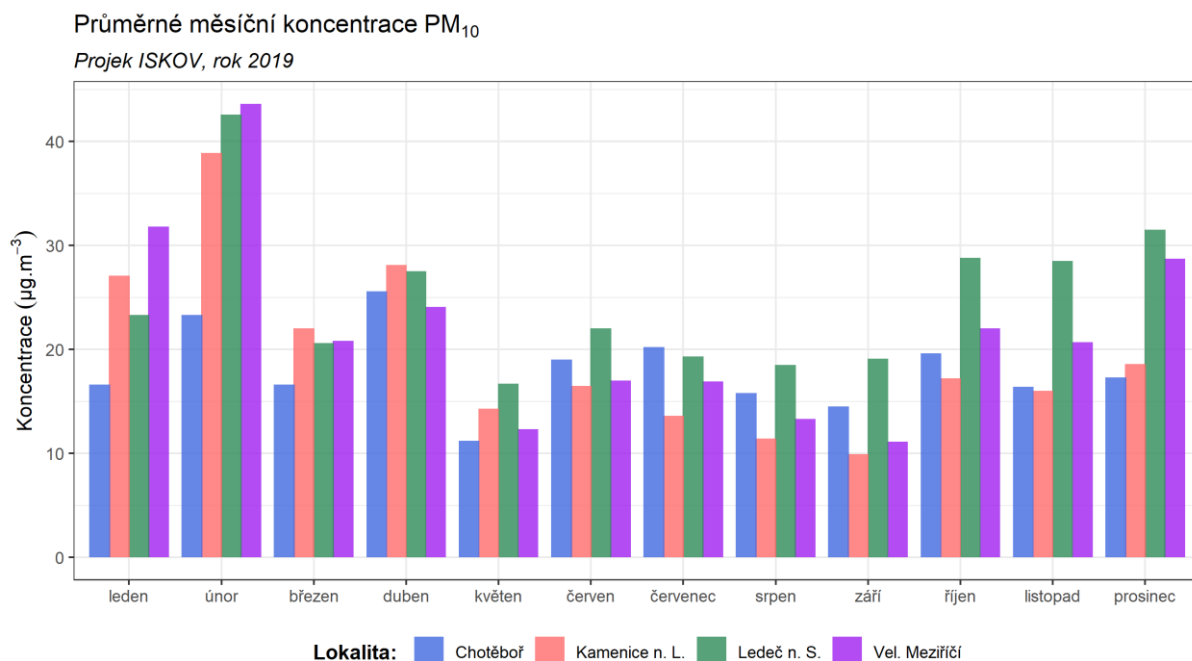
Z uvedeného vyplývá, že nejvyšší průměrná roční koncentrace  $PM_{10}$  byla naměřena v lokalitě Ledec nad Sázavou, nejnižší pak v lokalitě Chotěboř. **Ani na jedné lokalitě nedošlo k překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci  $PM_{10}$  ( $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ).**

### 3.1.2 Průměrné měsíční koncentrace

Průměrné měsíční koncentrace, naměřené v jednotlivých lokalitách v roce 2019, zobrazuje následující Tab. 5, graficky je pak znázorňuje Obr. 11. Z grafu je dobře patrné, že nejvyšší koncentrace PM<sub>10</sub> byly měřeny na všech lokalitách v únoru, březnu a listopadu. Obecně lze konstatovat, že v topné sezóně jsou koncentrace PM<sub>10</sub> na všech lokalitách výrazně vyšší než v letních měsících. Vliv majoritního zdroje prašnosti, tedy lokálních topenišť, je dobře patrný. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace PM<sub>10</sub> byla naměřena v únoru v lokalitě Velké Meziříčí a měla hodnotu 43,6  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Statistické zpracování průměrných denních koncentrací PM<sub>10</sub> v jednotlivých měsících a lokalitách uvádí Obr. 12.

Tab. 5 – Průměrné měsíční koncentrace PM<sub>10</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

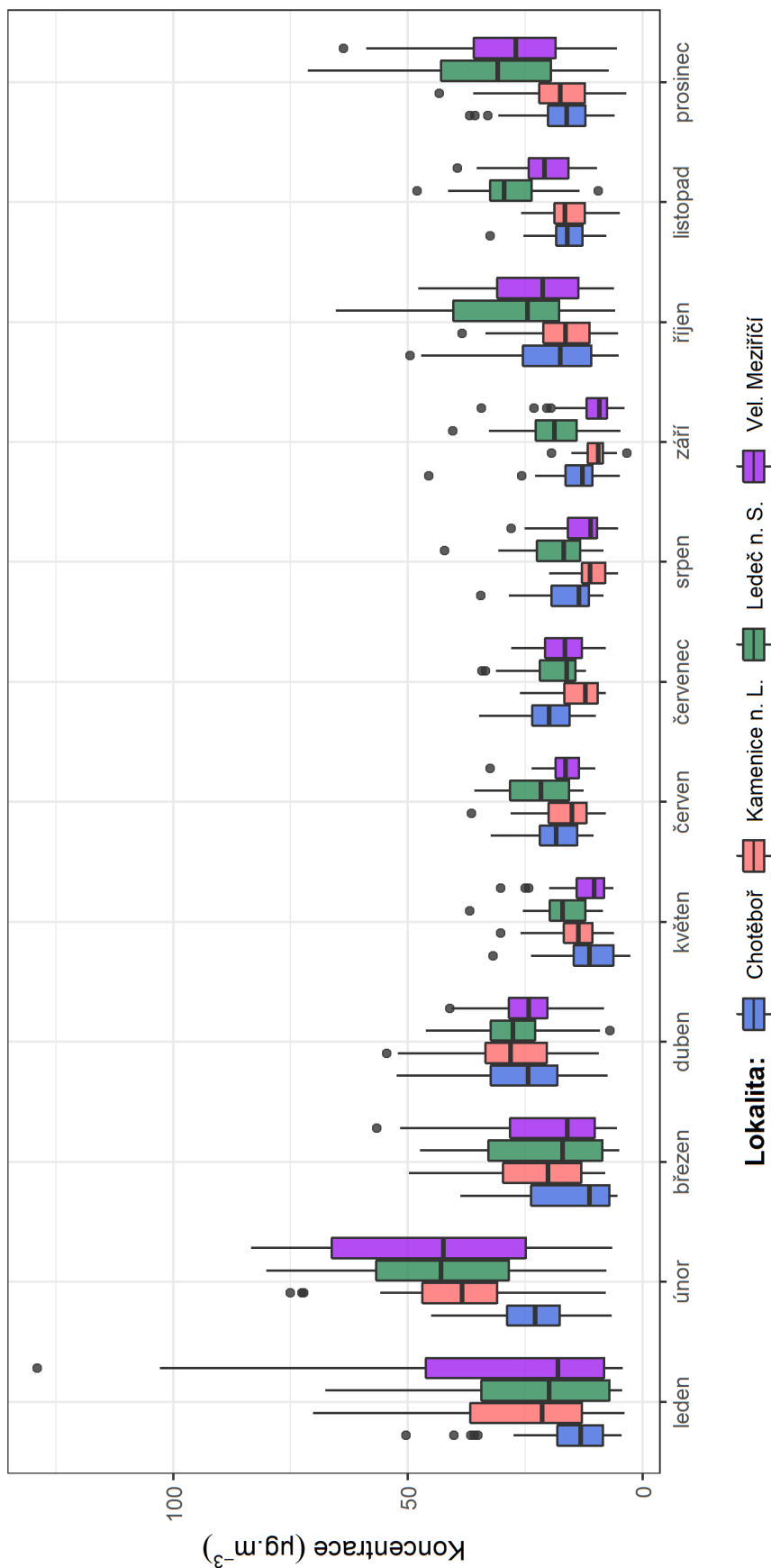
MĚSÍC	CHOTĚBOŘ	KAMENICE N. L.	LEDEČ N. S.	VEL. MEZIŘÍČÍ
LEDEN	16,6	27,1	23,3	31,8
ÚNOR	23,3	38,9	42,6	43,6
BŘEZEN	16,6	22	20,6	20,8
DUBEN	25,6	28,1	27,5	24,1
KVĚTEN	11,2	14,3	16,7	12,3
ČERVEN	19	16,5	22	17
ČERVENEC	20,2	13,6	19,3	16,9
SRPEN	15,8	11,4	18,5	13,3
ZÁŘÍ	14,5	9,9	19,1	11,1
ŘÍJEN	19,6	17,2	28,8	22
LISTOPAD	16,4	16	28,5	20,7
PROSINEC	17,3	18,6	31,5	28,7



Obr. 11 – Průměrné měsíční koncentrace PM<sub>10</sub>, projekt ISKOV, rok 2019



Statistické zpracování průměrných denních koncentrací PM<sub>10</sub> v jednotlivých měsících  
 Projekt ISKOV, rok 2019



Obr. 12 – Statistické zpracování průměrných denních koncentrací PM<sub>10</sub> v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2019

### 3.1.3 Průměrné denní koncentrace PM<sub>10</sub>

Jak již bylo uvedeno, legislativa z hlediska denních průměrů PM<sub>10</sub> sleduje 36. nejvyšší denní koncentraci za kalendářní rok, která pokud překročí hodnotu 50 µg·m<sup>-3</sup>, dojde k překročení imisního limitu. Hodnoty 36. nejvyšších denních koncentrací PM<sub>10</sub> ze všech lokalit uvádí následující Tab. 6.

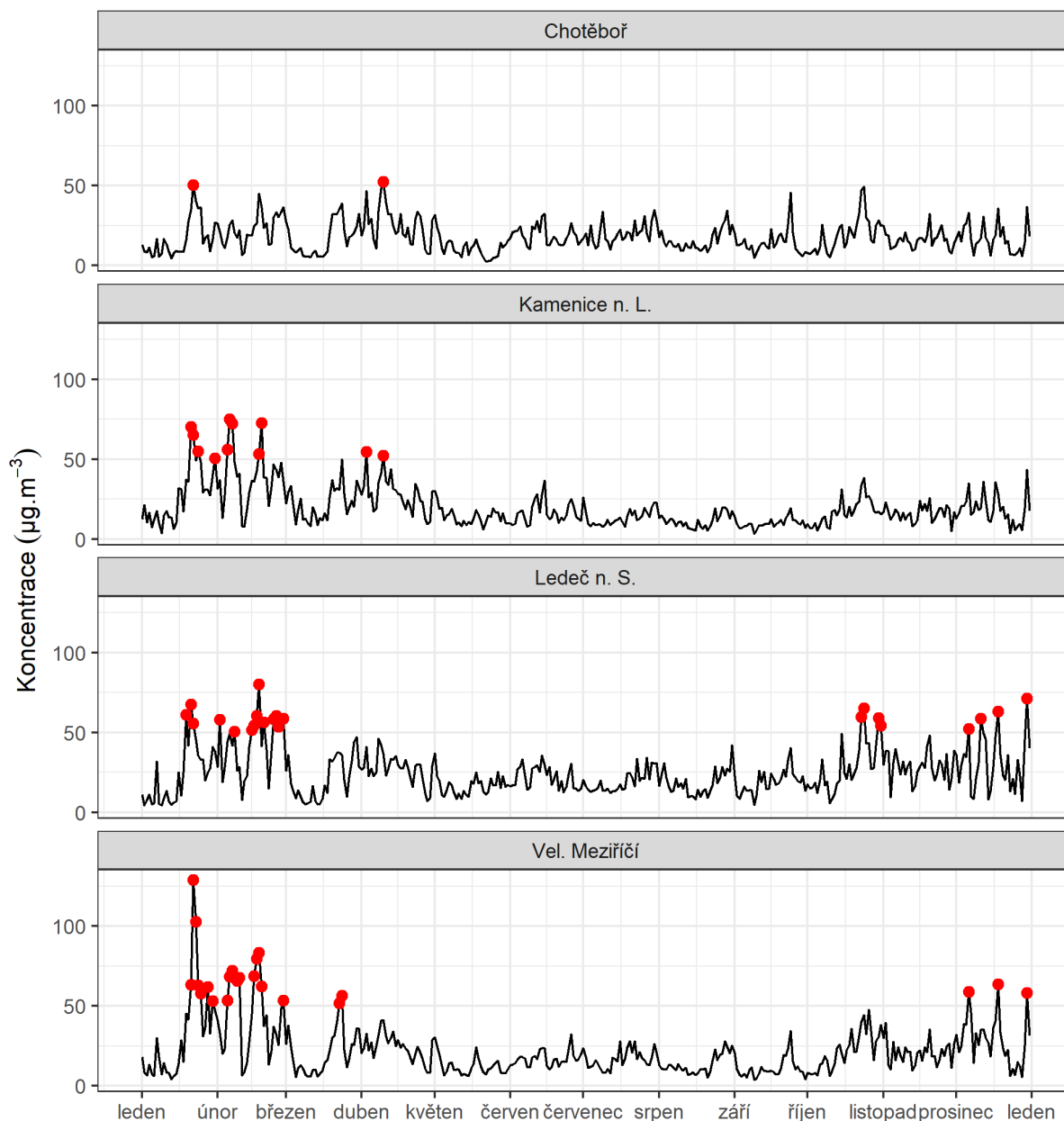
Tab. 6 – 36 nejvyšších průměrných denních koncentrací PM<sub>10</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

POŘADÍ	CHOTĚBOŘ	KAMENICE N. L.	LEDEČ N. S.	VEL. MEZIŘÍČÍ
1	52,4	75,1	80,2	129
2	50,4	72,6	71,3	102,8
3	49,5	72,2	67,6	83,4
4	48,1	70,2	65,3	79,6
5	47,2	65,2	63,2	72,2
6	46,7	55,9	61,2	68,9
7	45,6	54,9	60,5	68,5
8	45	54,5	60,4	67,7
9	40,2	53,4	59,9	67,7
10	39,2	52,1	59	65,7
11	38,8	50,4	58,8	63,7
12	36,9	49,8	58,7	63,2
13	36,6	49,2	58,5	63,1
14	36,5	48,1	58,2	62,2
15	36,4	48,1	58	61,8
16	35,9	47,7	56,3	58,9
17	35,7	46,7	55,8	58,3
18	35,2	43,6	54,4	58
19	35,1	43,3	54,4	56,6
20	34,8	43,3	53,7	53,4
21	34,5	42,8	52,2	53,3
22	34,1	41,4	51,5	53
23	33,9	41	50,6	51,6
24	33,9	40,8	49,7	48,2
25	33,5	39	49,3	47,8
26	33,5	38,8	49,2	47,2
27	33	38,8	48,1	46
28	32,7	38,4	47,4	45,2
29	32,6	38,2	47,3	45
30	32,5	37,4	46,2	44,4
31	32,5	37	45,8	44,1
32	32,4	36,9	45,6	41,6
33	32,3	36,6	45,5	41,1
34	32,3	36,5	44,3	40,9
35	32,1	36,5	44,2	40,7
<b>36</b>	32,1	36,1	43,4	40,7

**Z Tab. 6 je dobře patrné, že v žádné z lokalit nedošlo k překročení imisního limitu.** Nejvíce krát byla hodnota imisního limitu překročena v lokalitách Ledeč nad Sázavou a Velké Meziříčí (23x), nejméně pak v lokalitě Chotěboř (2x). Výskyt těchto dnů s překročením hodnoty imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM<sub>10</sub> pak zobrazuje následující Obr. 13.

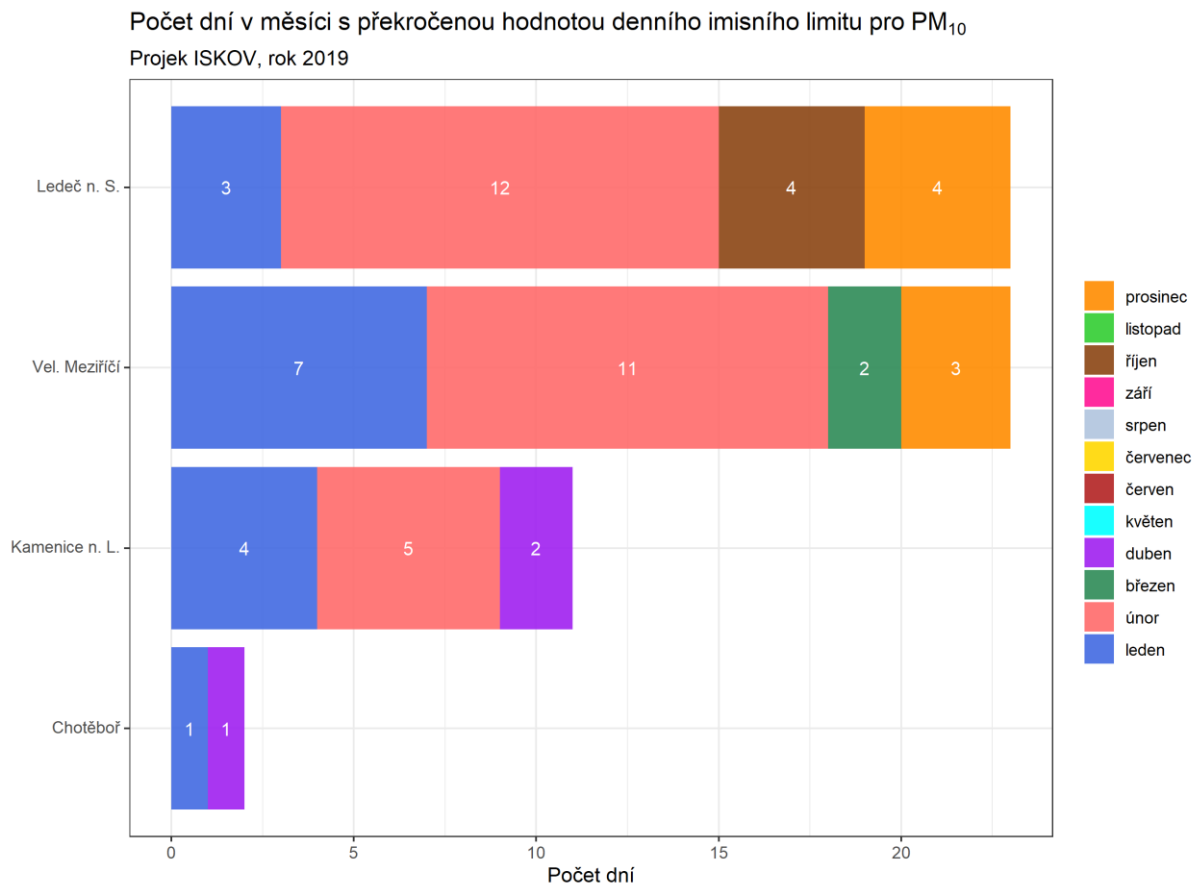
### Výskyt dní s překročenou hodnotou denního imisního limitu pro PM<sub>10</sub>

Projekt ISKOV, rok 2019



Obr. 13 – Vývoj průměrných denních koncentrací PM<sub>10</sub> včetně výskytu dní s koncentracemi vyššími než 50 µg·m<sup>-3</sup>, projekt ISKOV, rok 2019

Souhrnně pak počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM<sub>10</sub> uvádí následující Obr. 14. Z něj je dobře patrné, že nejvíce se na překračování podílely měsíce únor a březen.

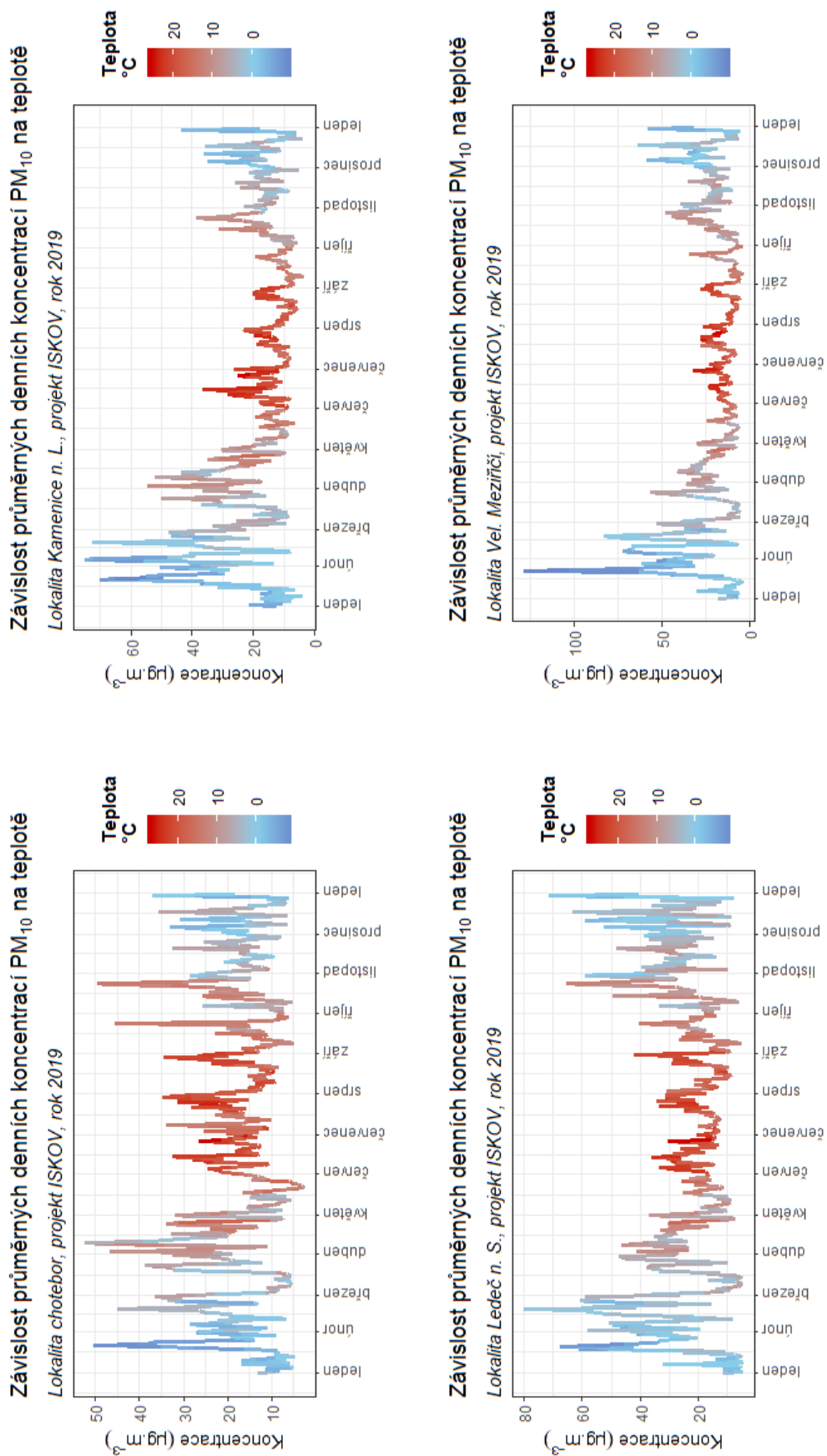


Obr. 14 – Počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro denní koncentraci PM<sub>10</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

Na následujících Obr. 15 – Obr. 17 je zobrazen vliv sledovaných meteorologických veličin (průměrné denní hodnoty teploty vzduchu, rychlosti větru a relativní vlhkosti vzduchu) na měřené průměrné denní koncentrace PM<sub>10</sub> ve všech lokalitách.

Z grafů je velmi dobře patrné že nejvyšší koncentrace PM<sub>10</sub> jsou měřeny při nejnižších teplotách (nejvyšší potřeba topit), vyšší koncentrace jsou měřeny při nižších rychlostech větru (vlivem bezvětří dochází k horšímu rozptýlu znečištění) a vyšších relativních vlhkostech vzduchu.

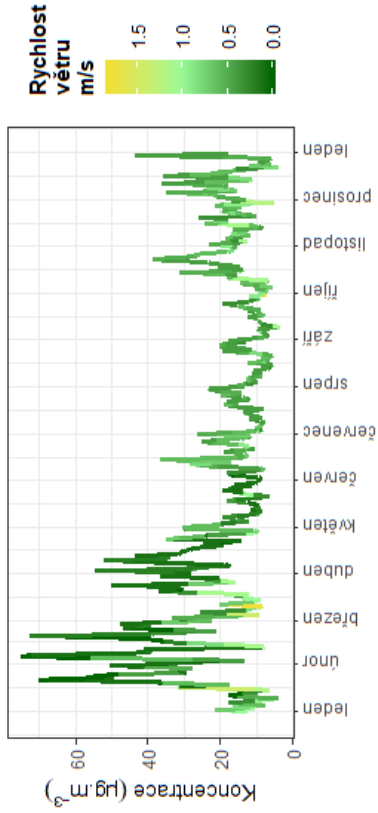




Obr. 15 – Vliv teploty vzduchu na průměrné denní koncentrace PM<sub>10</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

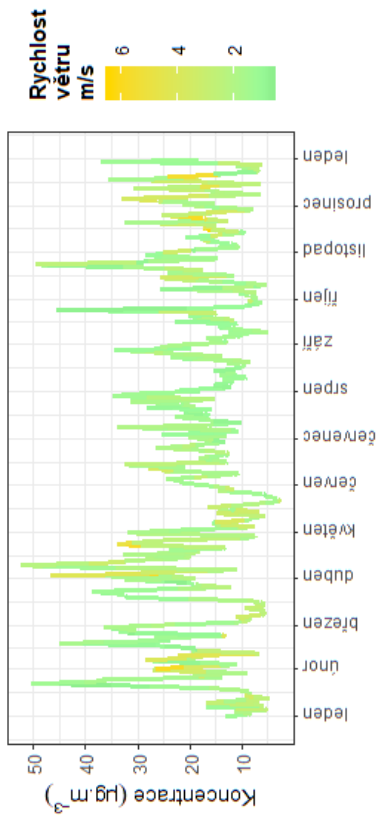
Závislost průměrných denních koncentrací PM<sub>10</sub> na rychlosti větru

Lokalita Kamenice n. L., projekt ISKOV, rok 2019



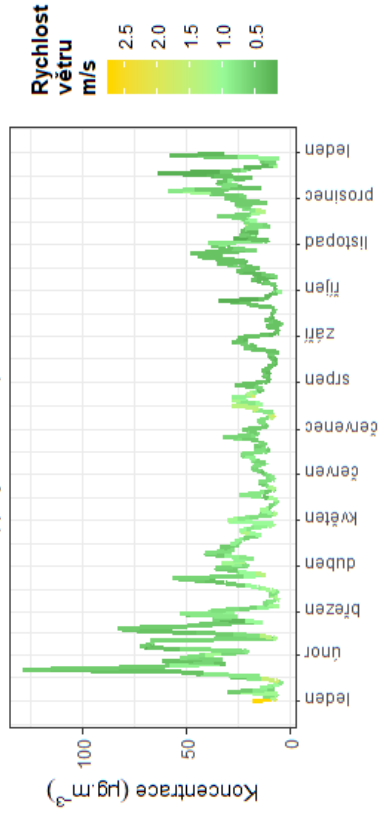
Závislost průměrných denních koncentrací PM<sub>10</sub> na rychlosti větru

Lokalita chotebor, projekt ISKOV, rok 2019



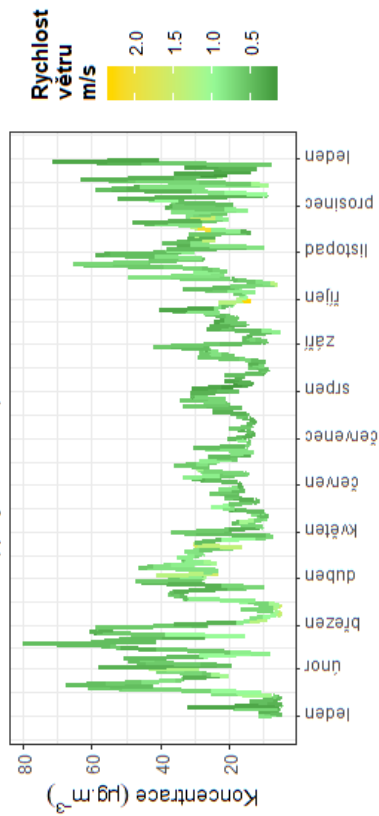
Závislost průměrných denních koncentrací PM<sub>10</sub> na rychlosti větr

Lokalita Vel. Meziříčí, projekt ISKOV, rok 2019



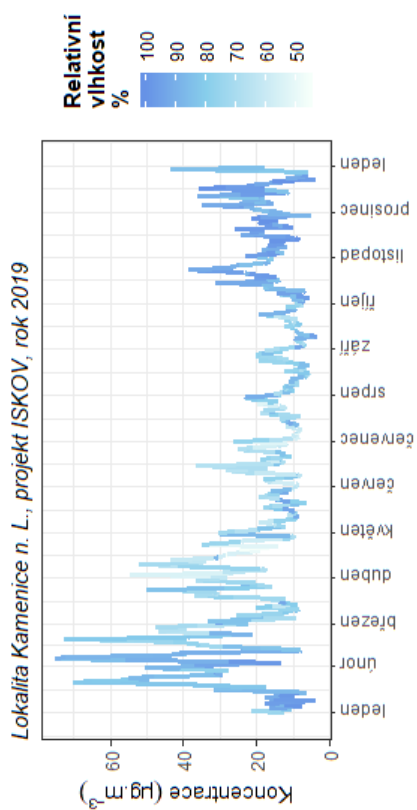
Závislost průměrných denních koncentrací PM<sub>10</sub> na rychlosti větru

Lokalita Leděč n. S., projekt ISKOV, rok 2019

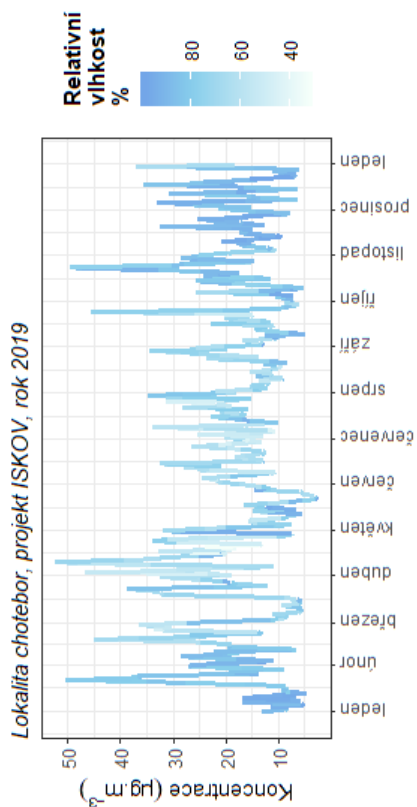


Obr. 16 – Vliv rychlosti větru na průměrné denní koncentrace PM<sub>10</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

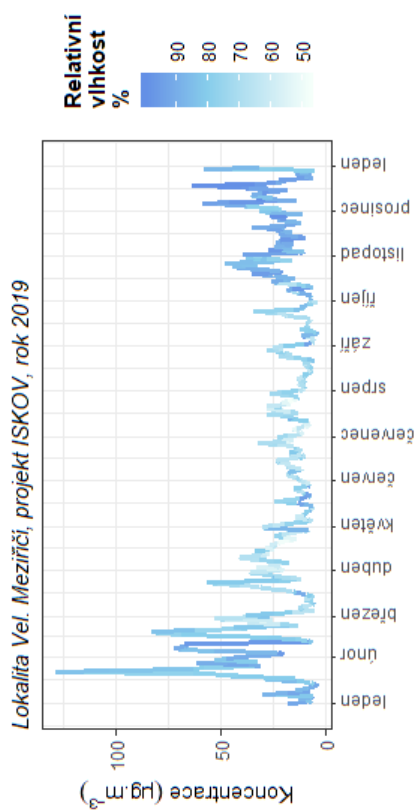
Závislost průměrných denních koncentrací  $PM_{10}$  na relativní vlhko



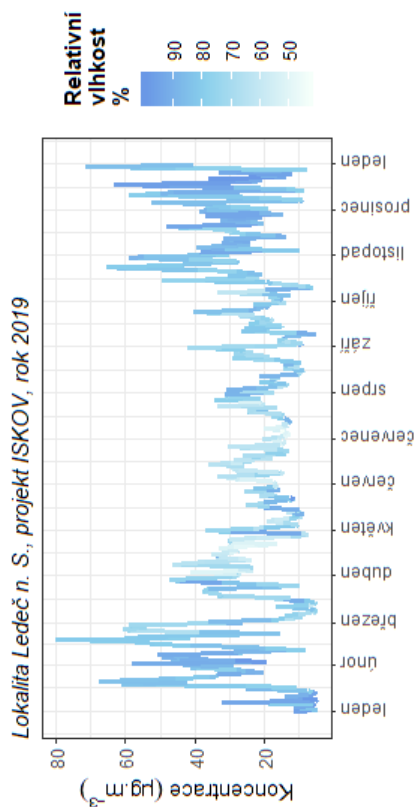
Závislost průměrných denních koncentrací  $PM_{10}$  na relativní vlhkosť



Závislost průměrných denních koncentrací  $PM_{10}$  na relativní vlhko



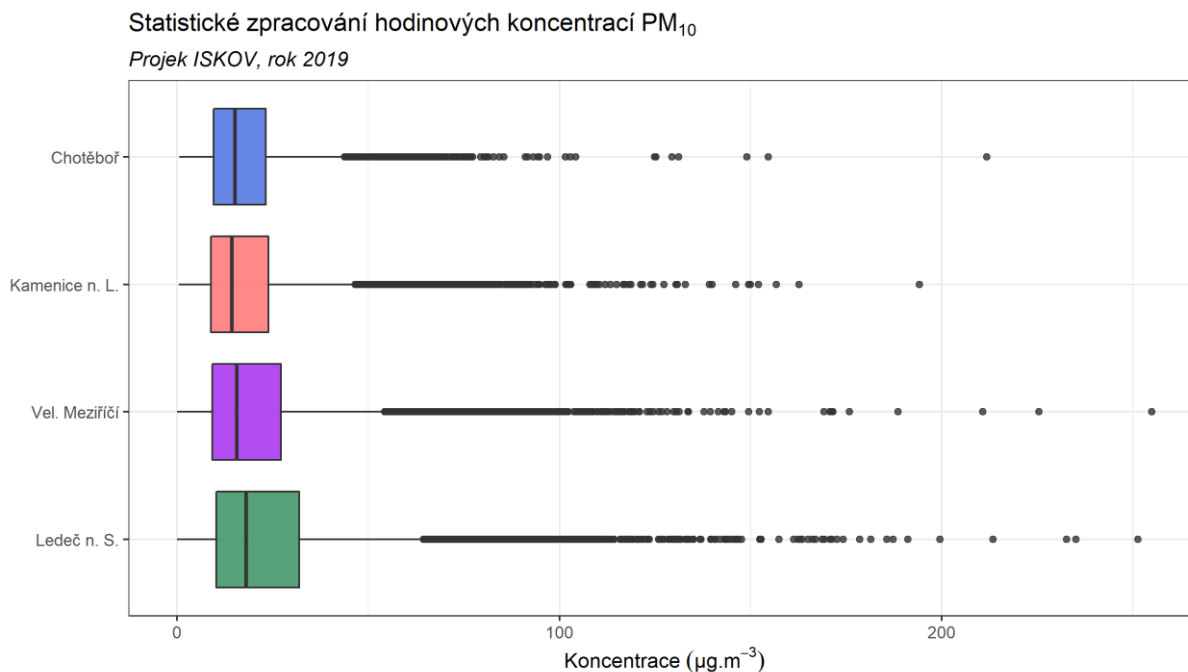
Závislost průměrných denních koncentrací  $PM_{10}$  na relativní vlhkosť



Obr. 17 – Vliv relativní vlhkosti vzduchu na průměrné denní koncentrace  $PM_{10}$ , projekt ISKOV, rok 2019

### 3.1.4 Hodinové koncentrace a denní chod

Suspendované částice nemají pro hodinové koncentrace imisní limit, přesto je tato charakteristika důležitá pro interpretaci dat. Uvádět samostatně hodinové koncentrace nemá smysl (8760 hodnot za rok), proto je zde pouze statistické zpracování hodinových hodnot pomocí krabicových grafů (Obr. 18).



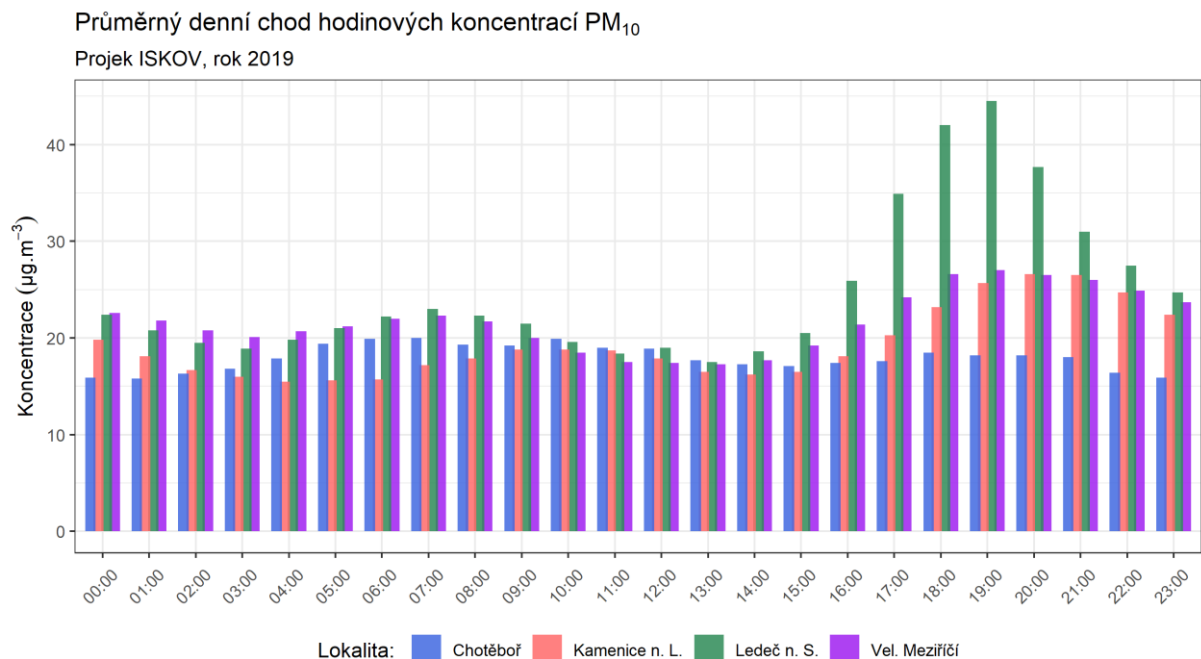
Obr. 18 – Statistické zpracování hodinových koncentrací PM<sub>10</sub> v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2019

Z grafu je patrné, že mediány koncentrací zhruba sledují trend průměrných hodnot. Zajímavé jsou zde některé odlehlé hodnoty. V podstatě ve všech lokalitách se vyskytují odlehlé hodnoty koncentrací okolo  $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , nejvíce jich však je v Ledči a ve Velkém Meziříčí, kdy ojediněle nastoupala hodnota hodinové koncentrace až k  $250 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Takto vysoká koncentrace mohla být důsledkem zhoršených rozptylových podmínek, emisí z lokálních topenišť ve večerních hodinách.

Nejvyšší koncentrace v lokalitě Ledeč nad Sázavou byla naměřena dne 19. 1. 2019 v 17 hodin a měla hodnotu  $251,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Nejvyšší koncentrace v lokalitě Kamenice nad Lipou byla naměřena 6. 2. 2019 v 22:00 a měla hodnotu  $194,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , nejvyšší koncentrace v lokalitě Chotěboř byla naměřena 9. 7. 2019 v 08:00 a měla hodnotu  $211,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a nejvyšší koncentrace v lokalitě Velké Meziříčí byla naměřena 22. 1. 2019 v 18:00 a měla hodnotu  $255 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Společné pro tyto lokality je, že nejvyšší hodnoty byly dosaženy v odpoledních až večerních hodinách v topné sezóně, kdy se lidé vrací z práce a zatápějí. Výjimkou je pouze lokalita Chotěboř, kdy bylo maxima dosaženo v létě v ranních hodinách a velmi pravděpodobně tak došlo vlivem nějakého lokálního ovlivnění v těsné blízkosti měření.

Z hlediska hodinových koncentrací je velmi zajímavou a užitečnou charakteristikou průměrný denní chod hodinových koncentrací. Ten umožňuje zjistit v kterou část dne jsou zpravidla měřeny nejvyšší koncentrace (Obr. 19).





Obr. 19 – Průměrný denní chod hodinových koncentrací PM<sub>10</sub>, projekt ISKOV, rok 2019. Čas je uváděn v UTC

Z grafu je velmi dobře patrné, že v lokalitách Lukavec, Kamenice nad Lipou a Ledec nad Sázavou gradují koncentrace v odpoledních a večerních hodinách – tedy v době zatápění po návratu z práce. Obzvláště v Ledci nad Sázavou narouští koncentrace ve večerních hodinách velmi významně. V kamenici nad Lipou je rovněž zřetelně vyšší, než v průběhu dne, v lokalitě Velké Meziříčí není rozdíl tak patrný.

V lokalitě Chotěboř jsou koncentrace během celého dne poměrně vyrovnané, nejnižší jsou v odpoledních hodinách a v noci.

### 3.1.5 Růžice – detailní analýza hodinových hodnot

V této podkapitole budou pro všechny lokality připraveny větrné a koncentrační růžice. Větrná růžice bude kromě směrů větru členěna rovněž dle rychlostí větru, které jsou pro koncentrace škodlivin důležité.

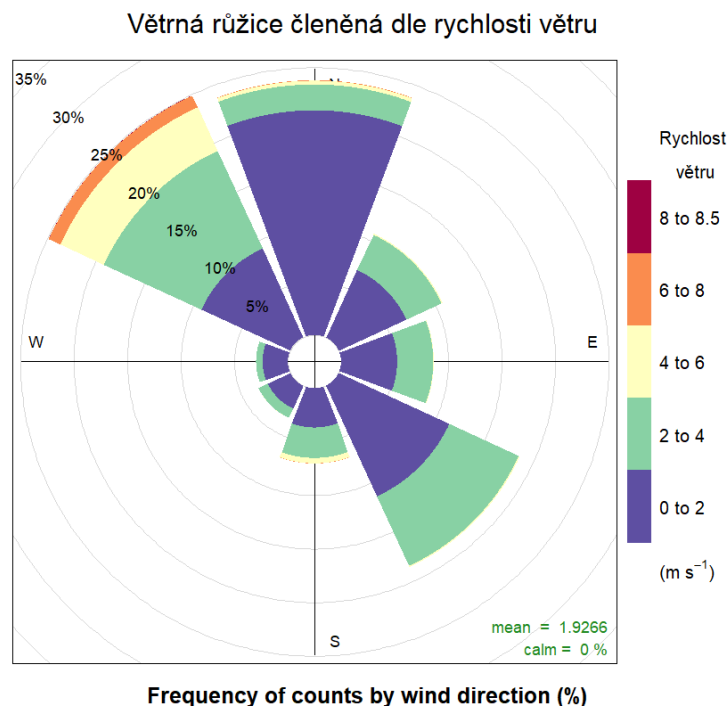
Koncentrační růžice jsou nástroj pro analýzu znečištění ovzduší na základě meteorologických charakteristik. Pro jejich konstrukci jsou použita hodinová data meteorologických prvků a koncentrací škodlivin. Vychází se z větrné růžice, do polárních souřadnic se ukládá jednak směr větru jako u klasické větrné růžice, a dále pak rychlost větru – ve středu růžice je bezvětří, s rostoucí vzdáleností od středu roste rychlost větru. Pro jednotlivé rychlosti a směry větru je pak v koncentrační růžici zprůměrována koncentrace dané škodliviny, naměřená vždy při daných rychlostech a směrech větru. Koncentrace je vyjádřena barevnou škálou.

Základní koncentrační růžice tak ukazuje, při jakých rychlostech a směrech větru jsou v průměru dosahovány (nejvyšší) koncentrace. Vážená koncentrační růžice pak vypočte

vážený průměr (tzn., že je vzata v úvahu také četnost výskytu), a dává tak informaci, jakým procentem se jednotlivé směry větru podílí na měřených koncentracích dané škodliviny.

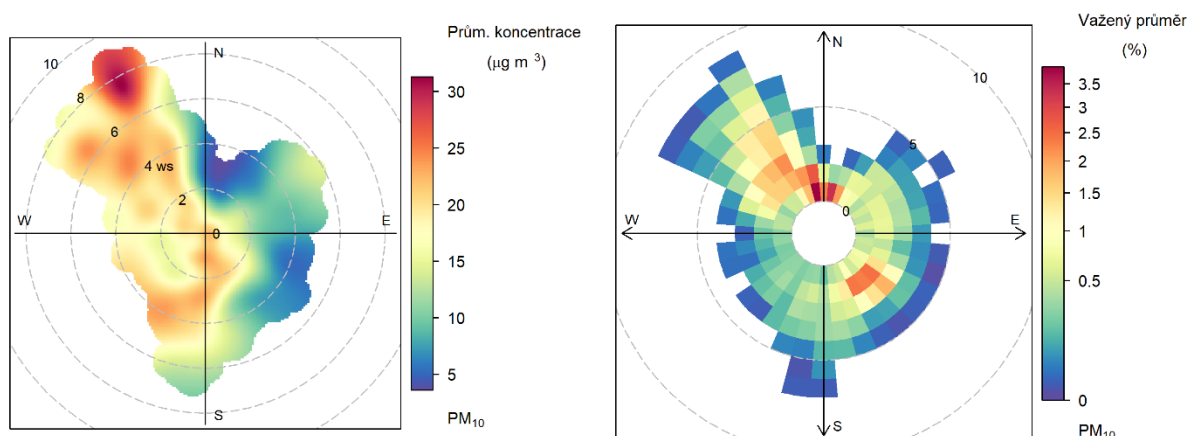
### 3.1.5.1 Chotěboř

Na Obr. 20 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Chotěboř*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severních až severozápadních směrů. Lokalita je dobře provětrávaná, byly měřeny i vyšší rychlosti větru. Bezvětří se v této lokalitě prakticky nevyskytuje. Průměrná rychlost proudění větru byla cca  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



Obr. 20 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Chotěboř, rok 2019

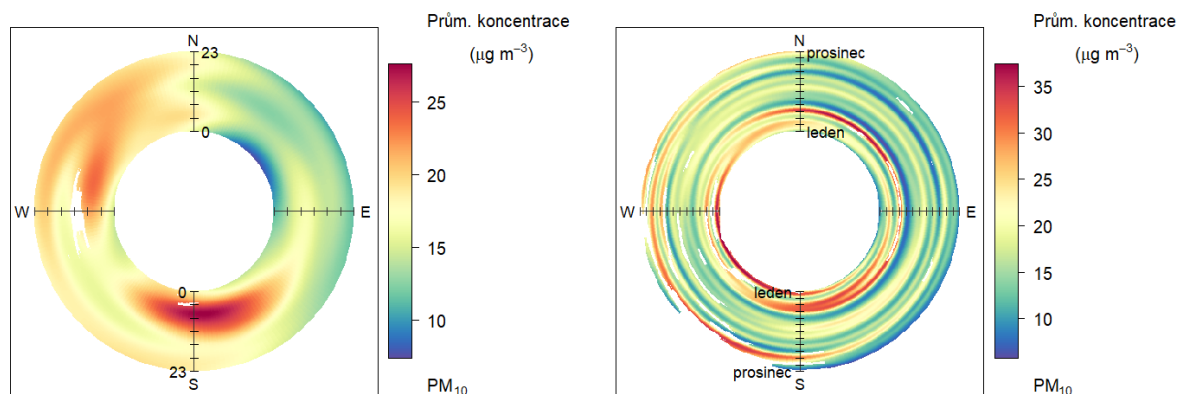
Následující Obr. 21 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro  $\text{PM}_{10}$  v lokalitě *Chotěboř*.



Obr. 21 – Koncentrační růžice  $\text{PM}_{10}$ , lokalita Chotěboř, rok 2019

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze severozápadu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností PM<sub>10</sub> přišlo ze severních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

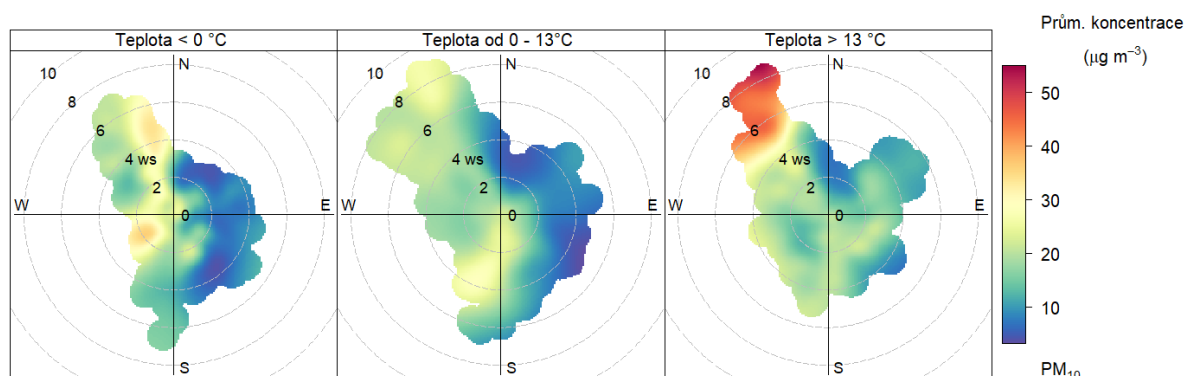
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu Chotěboř je tento denní chod vynesena na Obr. 22.



Obr. 22 – Denní a roční chod koncentrací PM<sub>10</sub> členěný dle směru větru, lokalita Chotěboř, rok 2019

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací PM<sub>10</sub> je důležitý zejména jižní směr větru v ranních a dopoledních hodinách. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace především v topné sezóně.

Následující Obr. 23 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0 °C, prostřední růžice zobrazuje koncentrace PM<sub>10</sub> při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.



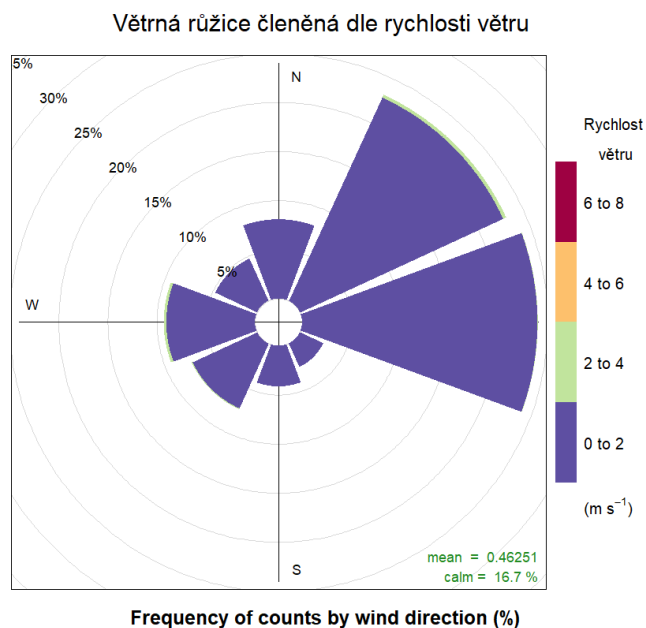
Obr. 23 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Chotěboř, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že nejvyšší koncentrace byly měřeny při vyšších teplotách než 13 °C a vysokých rychlostech větru ze severozápadu. To může souviset např. s větrnou erozí.

Zvýšené koncentrace jsou pak měřeny i pteplotách pod nulou ze severozápadních a jihozápadních směrů.

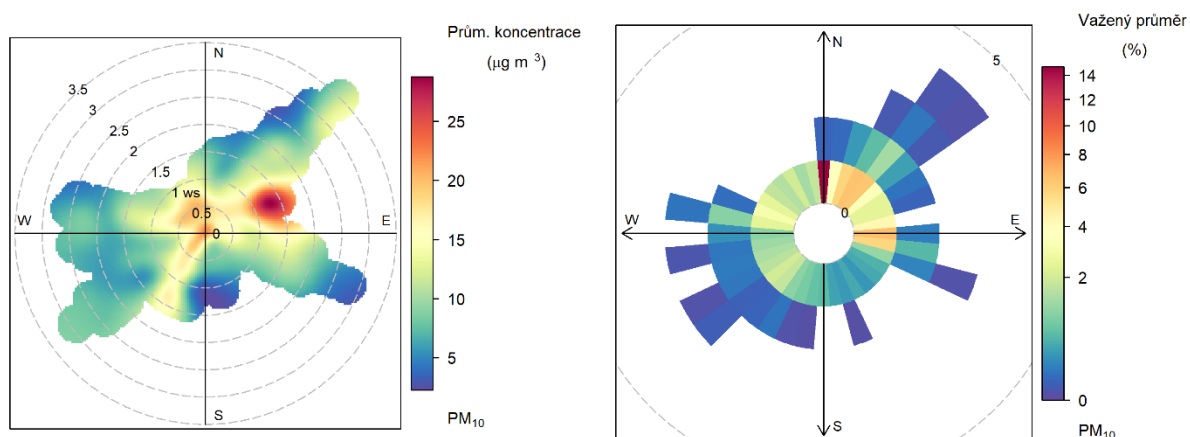
### 3.1.5.2 Kamenice nad Lipou

Na Obr. 24 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Kamenice nad Lipou*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především z východních a severovýchodních směrů, vyšší rychlosti větru než  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  pak byly zaznamenány pouze ojediněle ze severovýchodních směrů. Bezvětrí panovalo zhruba v 16,7 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



Obr. 24 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Kamenice nad Lipou, rok 2019

Následující Obr. 25 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro  $\text{PM}_{10}$  v lokalitě *Kamenice nad Lipou*.

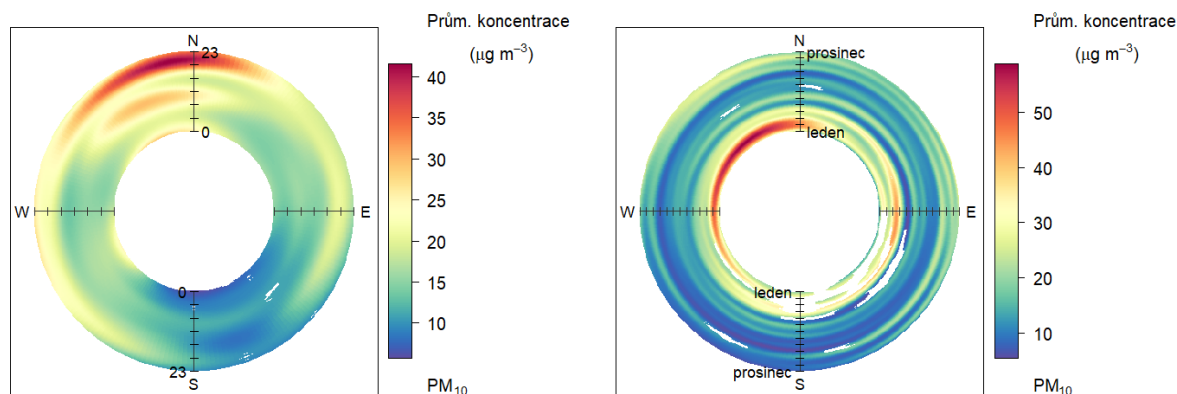


Obr. 25 – Koncentrační růžice  $\text{PM}_{10}$ , lokalita Kamenice nad Lipou, rok 2019



Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění z východu až severovýchodu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností PM<sub>10</sub> přišlo ze severních a východních směrů.

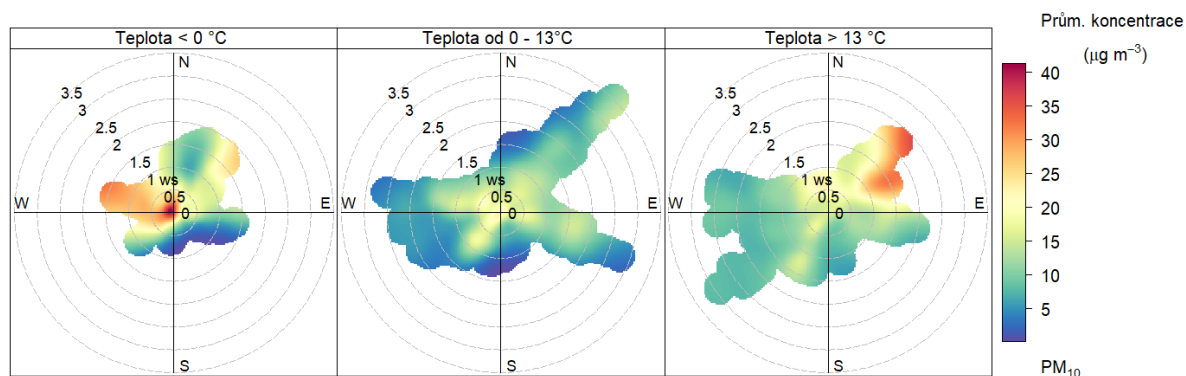
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Kamenice nad Lipou* je tento denní chod vynesena na Obr. 26.



Obr. 26 – Denní a roční chod koncentrací PM<sub>10</sub> členěný dle směru větru, lokalita *Kamenice nad Lipou*, rok 2019

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací PM<sub>10</sub> je důležitý zejména severní směr větru. Maxima jsou pak dosahována zejména ve večerních a nočních hodinách. To může souviset se zatápěním lidí v obci po návratu z práce. Navíc jsou v noci obecně horší rozptylové podmínky. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace pouze v topné sezóně.

Následující Obr. 27 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0 °C, prostřední růžice zobrazuje koncentrace PM<sub>10</sub> při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

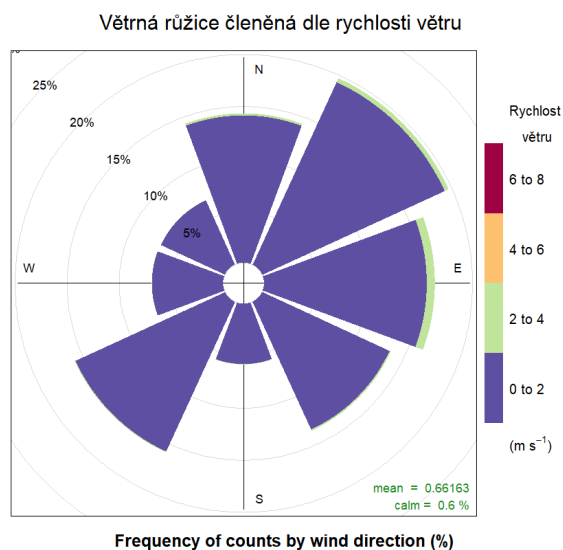


Obr. 27 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Kamenice nad Lipou*, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že nejvyšší koncentrace jsou takřka výhradně měřeny při teplotách nižších, než je bod mrazu, zejména při bezvětří. Při teplotách nad 0 °C jsou měřeny mírně vyšší koncentrace pouze při proudění z východu. Při teplotách nad 13 °C jsou měřeny zvýšené koncentrace při proudění ze severovýchodu a vyšších rychlostech větru, což může souviset s větrnou erozí.

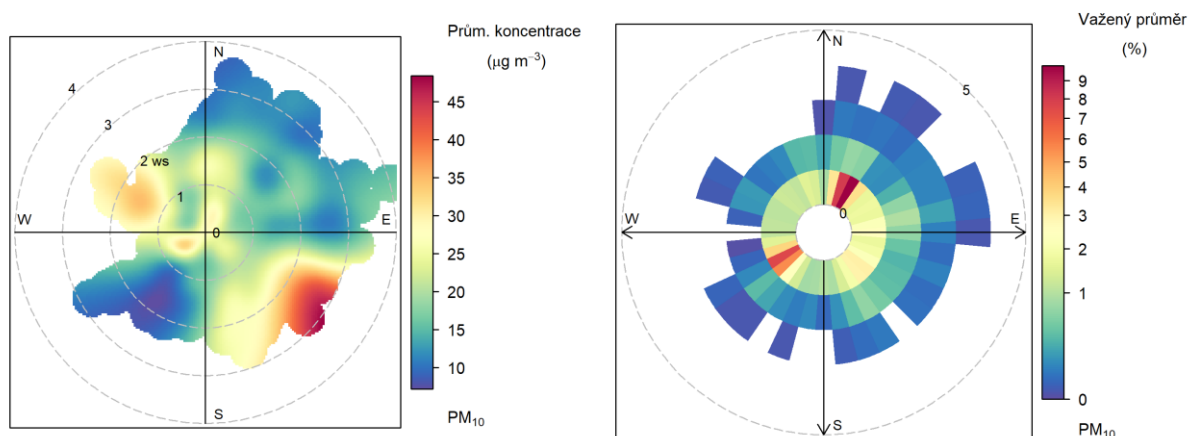
### 3.1.5.3 Leděč nad Sázavou

Na Obr. 28 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Leděč nad Sázavou*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká téměř ze všech směrů, méně zastoupeny jsou jižní, západní a severozápadní směr. Vyšší rychlosti větru než 2 m·s<sup>-1</sup> pak byly zaznamenány převážně z východních směrů. Bezvětří panovalo zhruba v 0,6 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 0,6 m·s<sup>-1</sup>.



Obr. 28 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita *Leděč nad Sázavou*, rok 2019

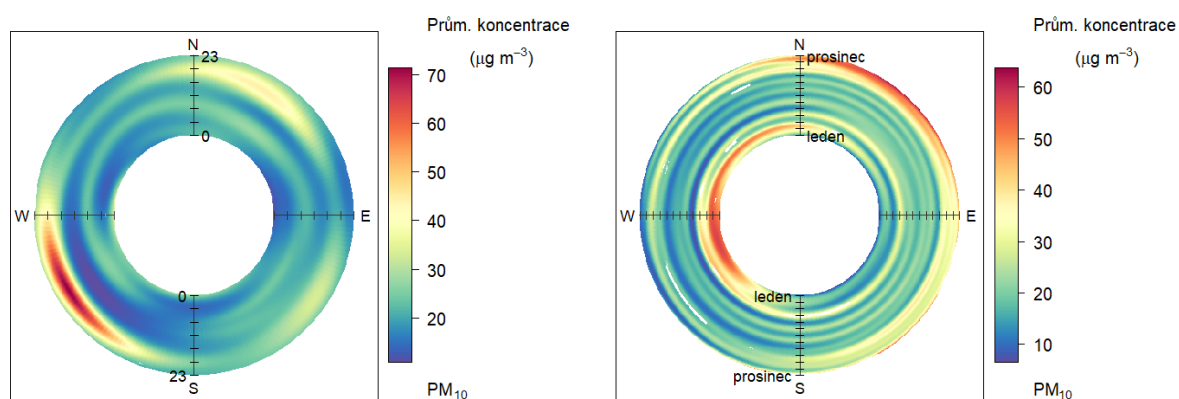
Následující Obr. 29 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro PM<sub>10</sub> v lokalitě *Leděč nad Sázavou*.



Obr. 29 – Koncentrační růžice PM<sub>10</sub>, lokalita *Leděč nad Sázavou*, rok 2019

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze jihovýchodu při vyšších rychlostech větru. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností PM<sub>10</sub> přišlo ze severních a jihozápadních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

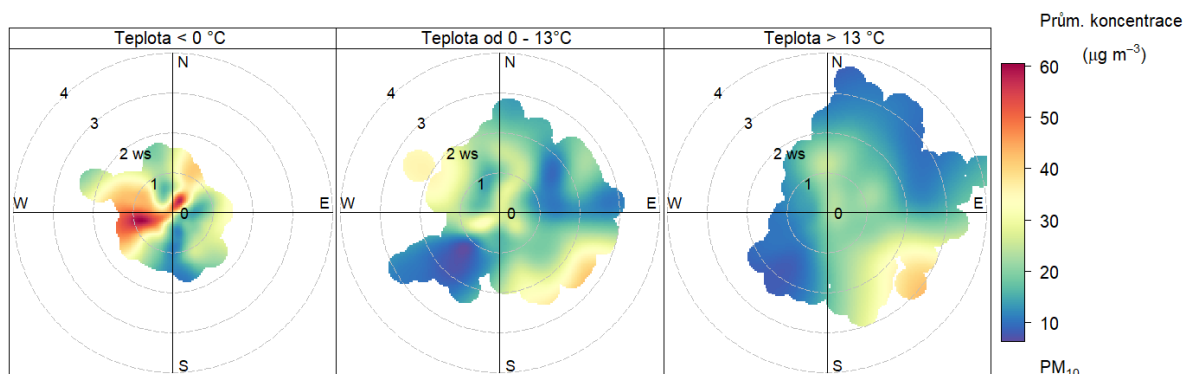
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Ledeč nad Sázavou* je tento denní chod vynesena na Obr. 30.



Obr. 30 – Denní a roční chod koncentrací PM<sub>10</sub> členěný dle směru větru, lokalita *Ledeč nad Sázavou*, rok 2019

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací PM<sub>10</sub> je důležitý zejména jihozápadní směr větru. Maxima jsou pak dosahována zejména ve večerních a nočních hodinách. To může souviset se zatápěním lidí v obci po návratu z práce. Navíc jsou v noci obecně horší rozptylové podmínky. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace pouze v topné sezóně.

Následující Obr. 31 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0 °C, prostřední růžice zobrazuje koncentrace PM<sub>10</sub> při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

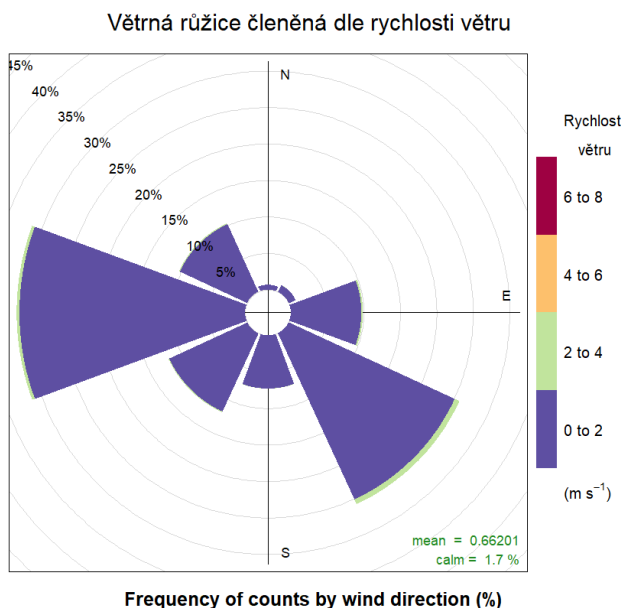


Obr. 31 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Leděč nad Sázavou, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že při teplotách pod 0 °C jsou měřeny vysoké koncentrace při proudění ze západu až jihozápadu a severovýchodu. Z ostatních směrů jsou pouze zvýšené. Při teplotách nad 0 °C jsou opět měřeny vyšší koncentrace pouze při severním proudění a převážně vyšších rychlostech větru. Při teplotách nad 13 °C jsou měřeny vysoké koncentrace při jihovýchodním proudění a vyšších rychlostech větru. Tyto vysoké koncentrace mohou souviset také se zemědělskou činností a větrnou erozí. Ta souvisí zejména se suchým a teplým počasím a vyššími rychlostmi větru, což může být právě tento případ.

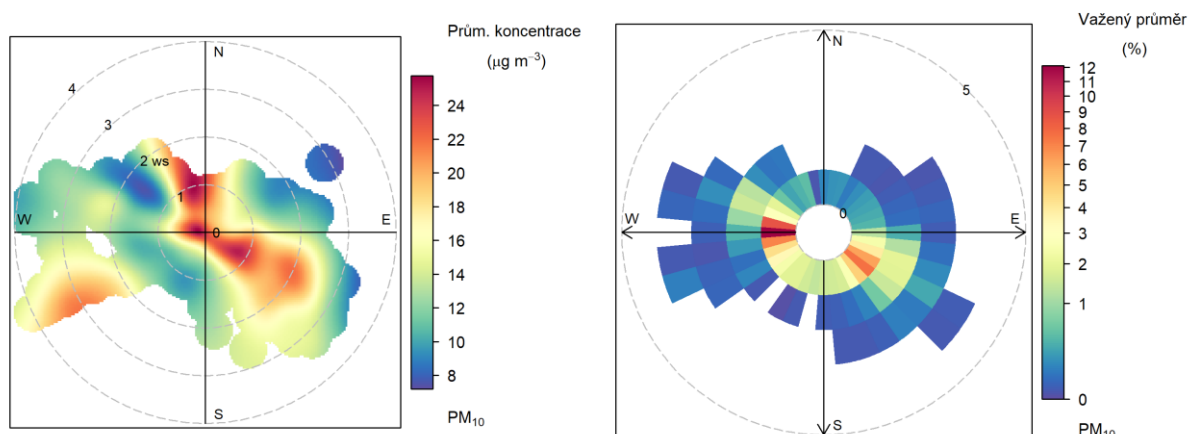
### 3.1.5.4 Velké Meziříčí

Na Obr. 32 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Velké Meziříčí*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze západních a jihovýchodních směrů, vyšší rychlosti větru než 2 m·s<sup>-1</sup> takřka nebyly zaznamenány. Bezvětří panovalo zhruba v 1,7 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 0,6 m·s<sup>-1</sup>.



Obr. 32 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Velké Meziříčí, rok 2019

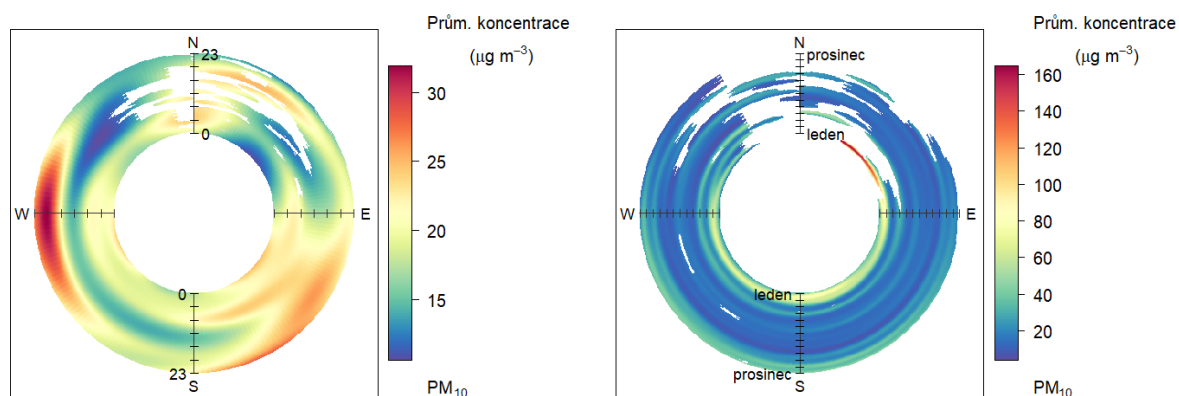
Následující Obr. 33 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro PM<sub>10</sub> v lokalitě Velké Meziříčí.



Obr. 33 – Koncentrační růžice PM<sub>10</sub>, lokalita Velké Meziříčí, rok 2019

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze severu a z východu až jihovýchodu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností PM<sub>10</sub> přišlo ze západních a jihovýchodních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu Velké Meziříčí je tento denní chod vynesena na Obr. 34.

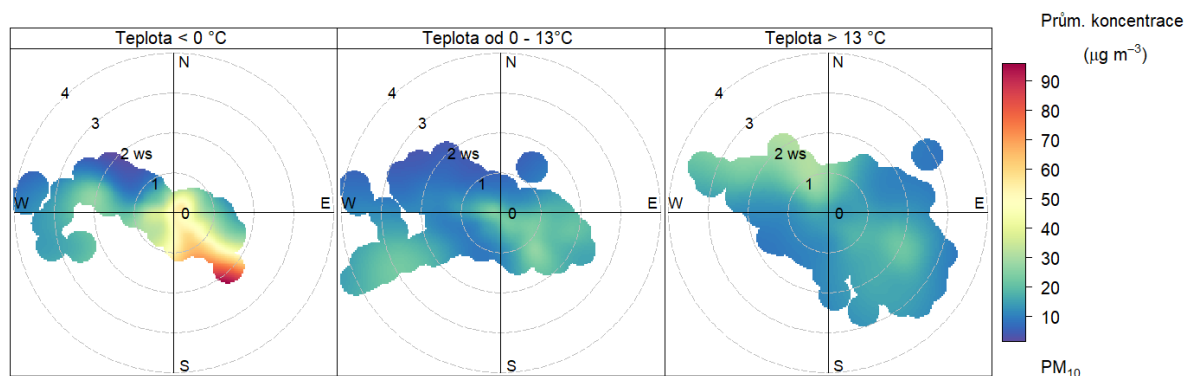


Obr. 34 – Denní a roční chod koncentrací PM<sub>10</sub> členěný dle směru větru, lokalita Velké Meziříčí, rok 2019

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací PM<sub>10</sub> je důležitý zejména západní a jihovýchodní směr větru. Maxima jsou pak dosahována zejména ve večerních a nočních hodinách. To může souviset se zatápěním po návratu lidí z práce. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace převážně v topné sezóně.



Následující Obr. 35 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0 °C, prostřední růžice zobrazuje koncentrace PM<sub>10</sub> při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.



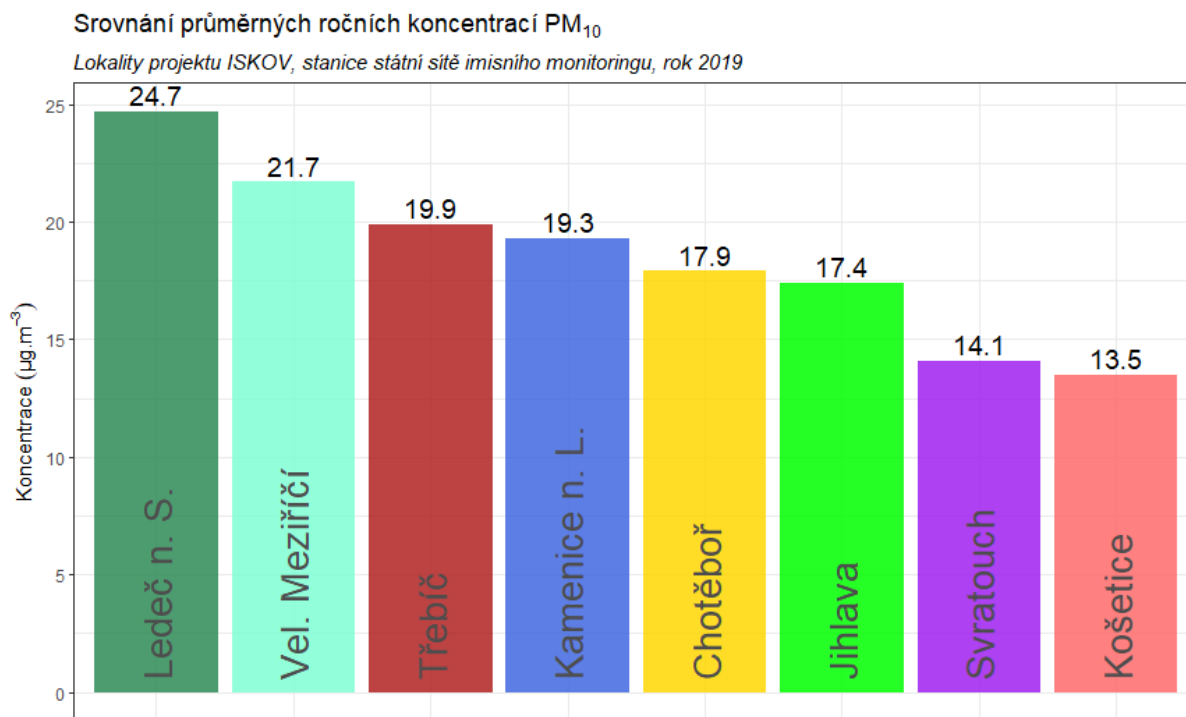
Obr. 35 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Velké Meziříčí, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že při teplotách pod 0 °C jsou měřeny vysoké koncentrace při proudění z jihovýchodu, z ostatních směrů jsou pouze zvýšené. Při teplotách nad 0 °C resp. při teplotách nad 13 °C jsou koncentrace pouze velmi nízké.

### 3.1.6 Srovnání koncentrací PM<sub>10</sub> s lokalitami státní sítě imisního monitoringu

V následujících grafech na Obr. 36 a Obr. 37 je zobrazeno srovnání měřicích lokalit projektu ISKOV s lokalitami státní sítě imisního monitoringu (SSIM) Jihlava a Košetice. První z grafů srovnává průměrné roční koncentrace PM<sub>10</sub>, druhý pak počet dní s překročením hodnoty imisního limitu pro denní koncentraci PM<sub>10</sub>.

Z grafu na Obr. 36 je patrné, že koncentrace PM<sub>10</sub> se pohybovaly v rozmezí 18 – 24,4 µg·m<sup>-3</sup>. Nejvyšší hodnotu naměřila lokalita Ledec nad Sázavou. Nejnižší koncentrace byla zaznamenána v lokalitách Svratouch a Košetice.

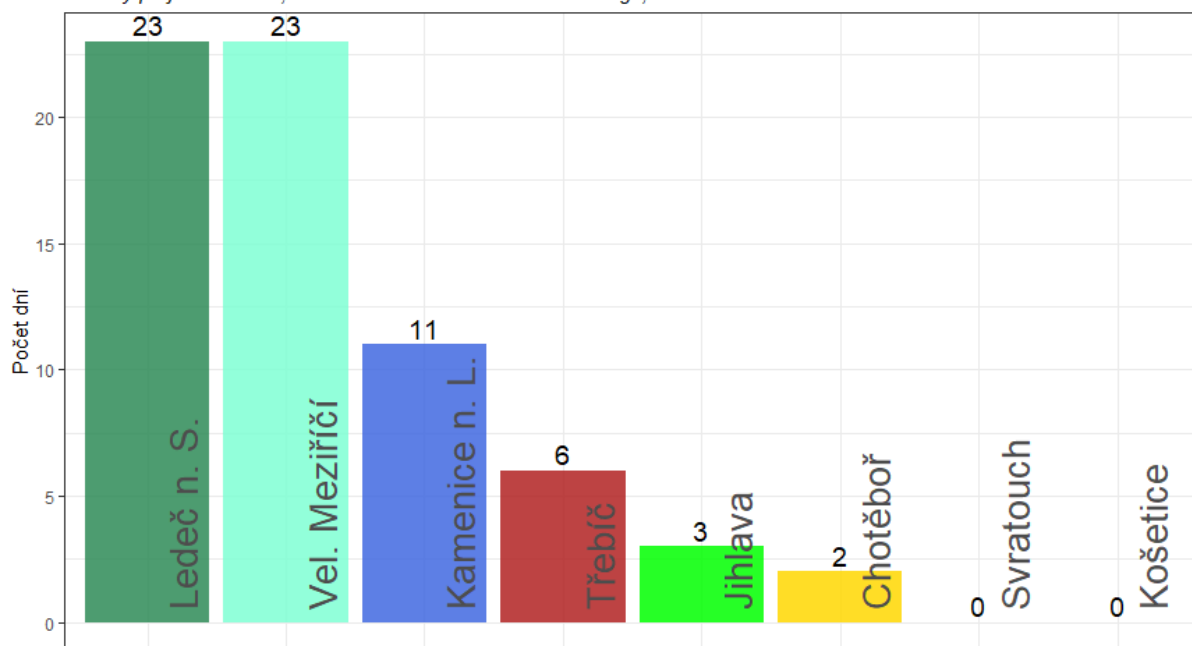


Obr. 36 – Srovnání průměrných ročních koncentrací PM<sub>10</sub>, lokality projektu ISKOV a lokality SSIM, rok 2019

V případě počtu dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM<sub>10</sub> zaznamenaly nejvyšší počet těchto dní lokality Ledec nad Sázavou a Velké Meziříčí. Naopak lokality Košetice a Svratouch nepřekročily hodnotu imisního limitu pro denní koncentrace PM<sub>10</sub> ani jednou.

Srovnání počtu dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro denní koncentrace PM<sub>10</sub>

Lokality projektu ISKOV, stanice státní sítě imisního monitoringu, rok 2019



Obr. 37 – Srovnání počtu dní s překročenou hodnotou denního imisního limitu PM<sub>10</sub>, lokality projektu ISKOV a lokality SSIM, rok 2019

## 3.2 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM<sub>2,5</sub>

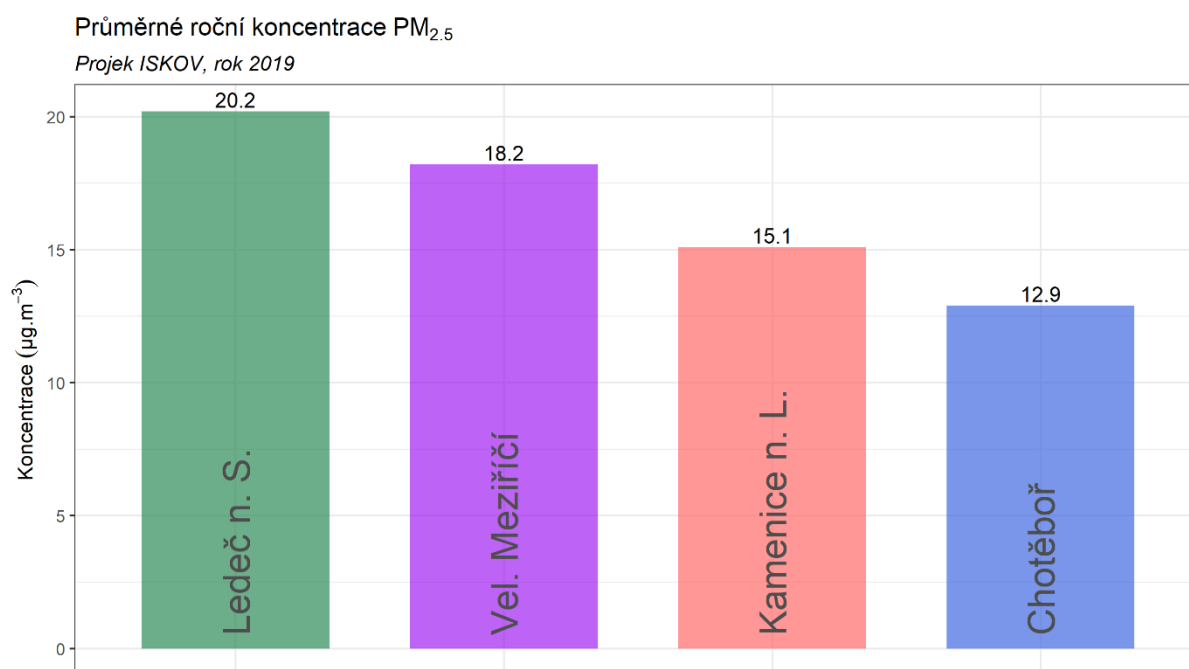
Obecná část, včetně legislativních požadavků a emisí je uvedena v kapitole o PM<sub>10</sub>.

### 3.2.1 Průměrná roční koncentrace

Průměrné roční koncentrace, naměřené v jednotlivých lokalitách, zobrazuje následující Tab. 7, graficky je pak znázorňuje Obr. 38.

Tab. 7 – Průměrná roční koncentrace PM<sub>2,5</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

LOKALITA	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE PM <sub>2,5</sub> (µg·m <sup>-3</sup> )
CHOTĚBOŘ	12,9
KAMENICE N. L.	15,1
LEDEČ N. S.	20,2
VEL. MEZIŘÍČÍ	18,2



Obr. 38 – Průměrná roční koncentrace PM<sub>2,5</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

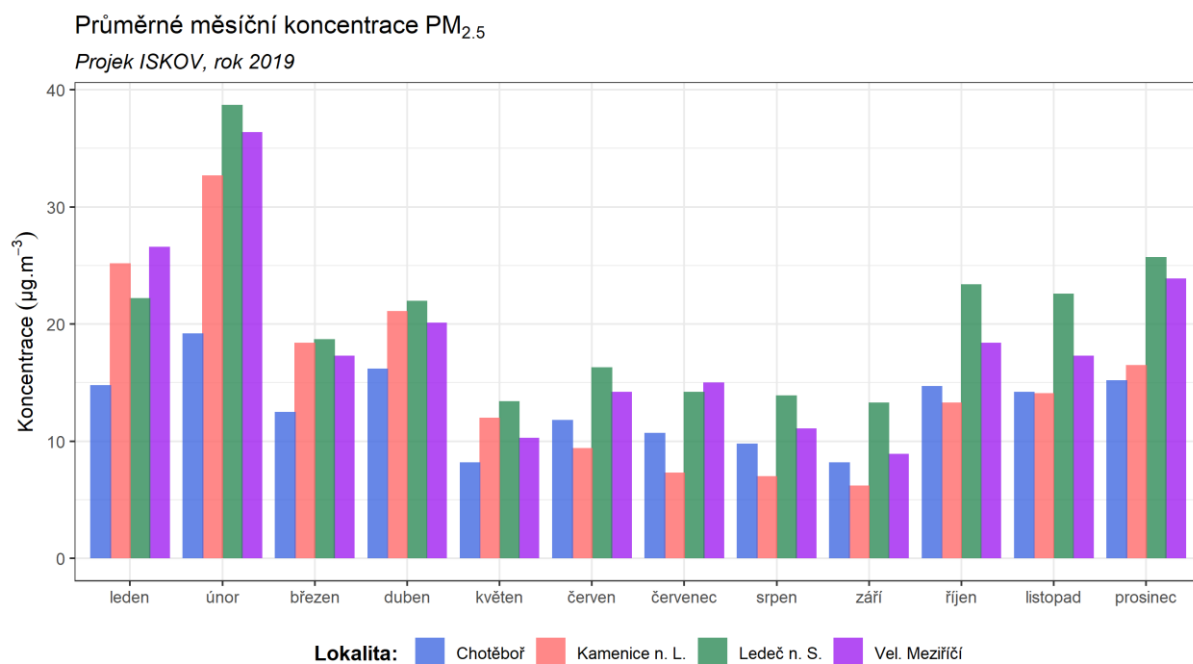
Z uvedeného vyplývá, že nejvyšší průměrná roční koncentrace PM<sub>2,5</sub> byla naměřena v lokalitě Ledec nad Sázavou, nejnižší pak v lokalitě Chotěboř. **Ani na jedné lokalitě nedošlo k překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci PM<sub>2,5</sub> (25 µg·m<sup>-3</sup>), zpřísněný imisní limit platný od roku 2020 (20 µg·m<sup>-3</sup>) byl překročen pouze v lokalitě Ledec nad Sázavou o 0,2 µg·m<sup>-3</sup>.**

### 3.2.2 Průměrné měsíční koncentrace

Průměrné měsíční koncentrace, naměřené v jednotlivých lokalitách v roce 2019, zobrazuje následující Tab. 8, graficky je pak znázorňuje Obr. 39. Z grafu je dobře patrné, že nejvyšší koncentrace PM<sub>2,5</sub> byly měřeny na všech lokalitách v únoru, březnu a listopadu. Obecně lze konstatovat, že v topné sezóně jsou koncentrace PM<sub>2,5</sub> na všech lokalitách výrazně vyšší než v letních měsících. Vliv majoritního zdroje prašnosti, tedy lokálních topenišť, je dobře patrný. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace PM<sub>2,5</sub> byla naměřena v lokalitě Ledec nad Sázavou a měla hodnotu 38,7  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Tab. 8 – Průměrné měsíční koncentrace PM<sub>2,5</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

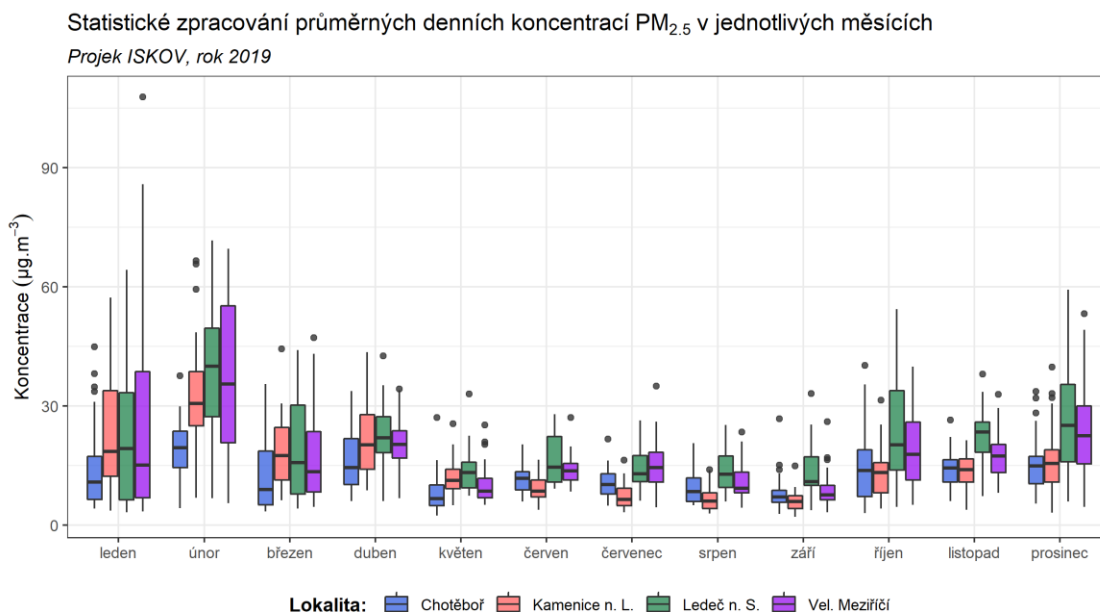
MĚSÍC	CHOTĚBOŘ	KAMENICE N. L.	LEDEČ N. S.	VEL. MEZIŘÍČÍ
LEDEN	14,8	25,2	22,2	26,6
ÚNOR	19,2	32,7	38,7	36,4
BŘEZEN	12,5	18,4	18,7	17,3
DUBEN	16,2	21,1	22	20,1
KVĚTEN	8,2	12	13,4	10,3
ČERVEN	11,8	9,4	16,3	14,2
ČERVENEC	10,7	7,3	14,2	15
SRPEN	9,8	7	13,9	11,1
ZÁŘÍ	8,2	6,2	13,3	8,9
ŘÍJEN	14,7	13,3	23,4	18,4
LISTOPAD	14,2	14,1	22,6	17,3
PROSINEC	15,2	16,5	25,7	23,9



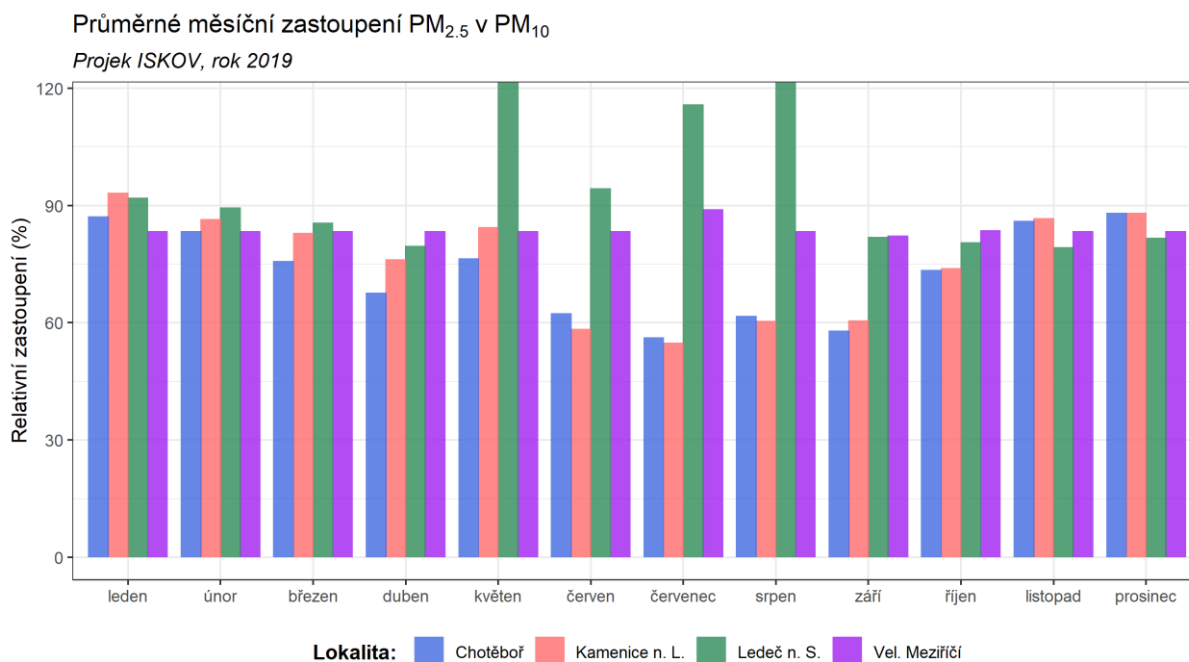
Obr. 39 – Průměrné měsíční koncentrace PM<sub>2,5</sub>, projekt ISKOV, rok 2019



Statistické zpracování průměrných denních koncentrací PM<sub>2,5</sub> v jednotlivých měsících a lokalitách uvádí Obr. 40. Následující Obr. 41 pak zobrazuje průměrné zastoupení PM<sub>2,5</sub> v PM<sub>10</sub>. Z grafu vyplývá, že v topné sezóně je PM<sub>10</sub> podstatně více tvořena jemnou frakcí PM<sub>2,5</sub>, než v letních měsících. Výjimkou je lokalita Velké Meziříčí, kde se poměry po celý rok příliš neliší. A v lokalitě Ledeč nad Sázavou naopak množství PM<sub>2,5</sub> převyšovalo množství PM<sub>10</sub>. K tomu může docházet kvůli rozdílným odběrům, je patrné, že i v letních měsících byly v této lokalitě měřeny zvýšené koncentrace PM<sub>2,5</sub>. To může souviset s provozem významného zdroje v obci.



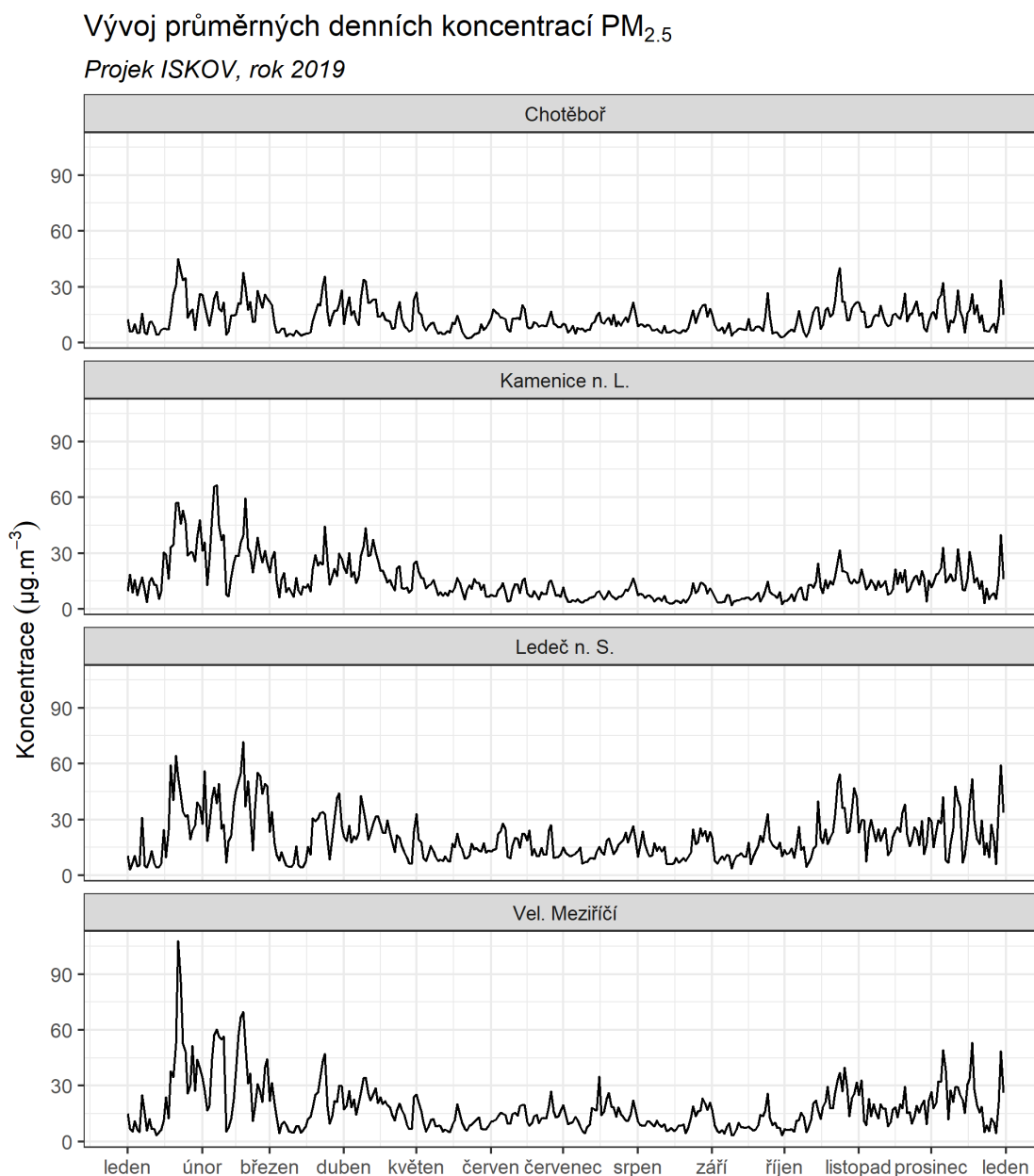
Obr. 40 – Statistické zpracování průměrných denních koncentrací PM<sub>2,5</sub> v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2019



Obr. 41 – Průměrné měsíční zastoupení PM<sub>2,5</sub> v PM<sub>10</sub> (%) v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2019

### 3.2.3 Průměrné denní koncentrace PM<sub>2,5</sub>

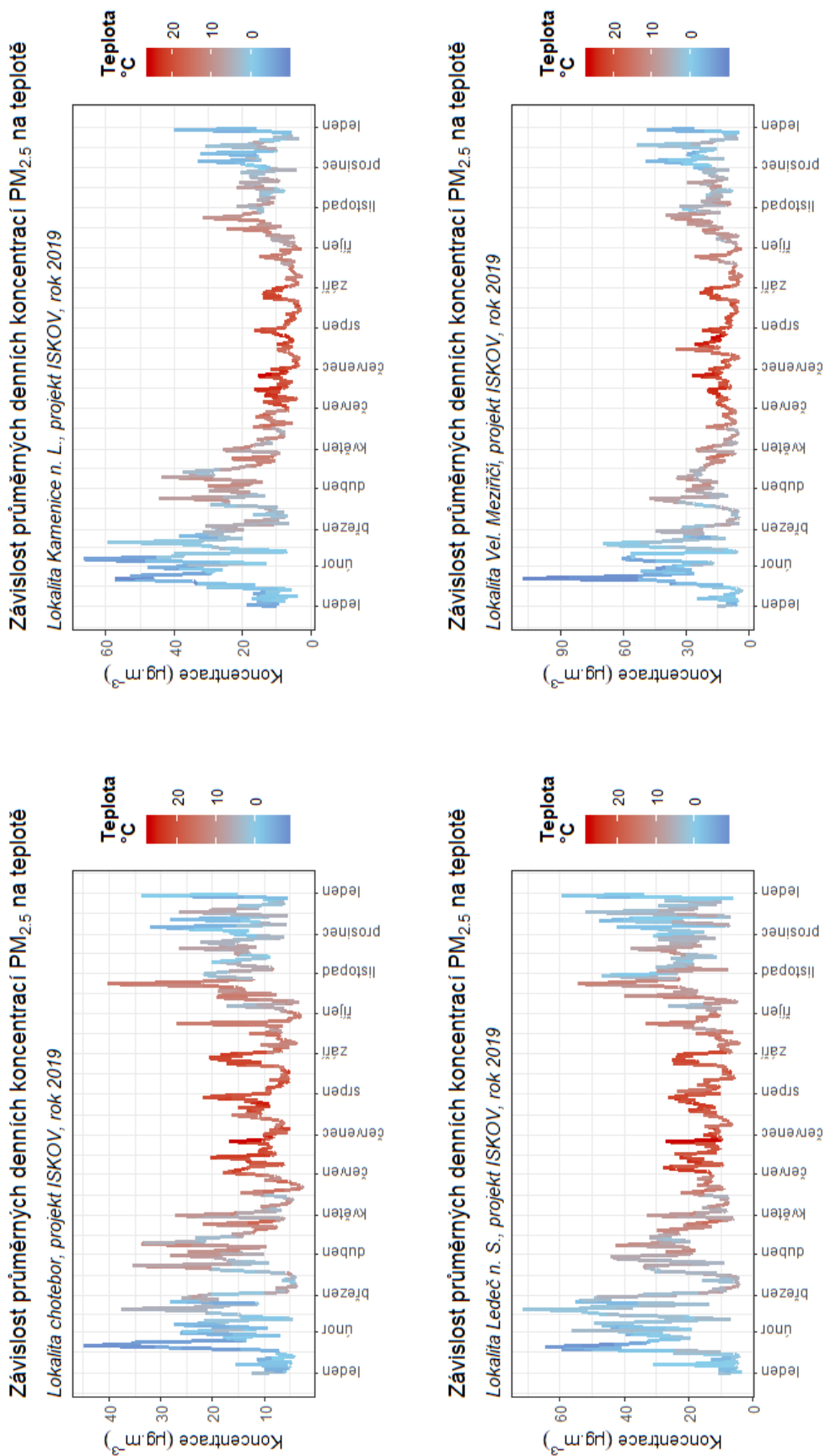
Na rozdíl od PM<sub>10</sub> není v legislativě ukotven imisní limit pro průměrné denní koncentrace PM<sub>2,5</sub>. Vývoj průměrných denních koncentrací PM<sub>2,5</sub> v roce 2019 zobrazuje následující Obr. 42.



Obr. 42 – Vývoj průměrných denních koncentrací PM<sub>2,5</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

Na následujících Obr. 43 – Obr. 45 je zobrazen vliv sledovaných meteorologických veličin (průměrné denní hodnoty teploty vzduchu, rychlosti větru a relativní vlhkosti vzduchu) na měřené průměrné denní koncentrace PM<sub>2,5</sub> ve všech lokalitách.

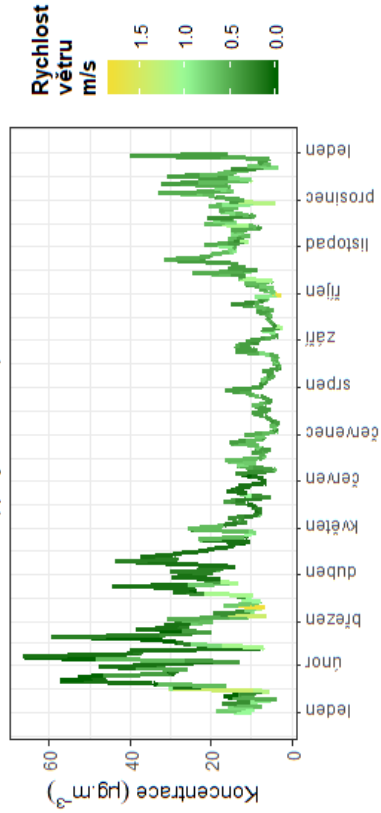
Z grafů je velmi dobře patrné že nejvyšší koncentrace PM<sub>2,5</sub> jsou měřeny při nejnižších teplotách (nejvyšší potřeba topit), vyšší koncentrace jsou měřeny při nižších rychlostech větru (vlivem bezvětří dochází k horšímu rozptýlu znečištění) a vyšších relativních vlhkostech vzduchu.



Obr. 43 – Vliv teploty vzduchu na průměrné denní koncentrace PM<sub>2.5</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

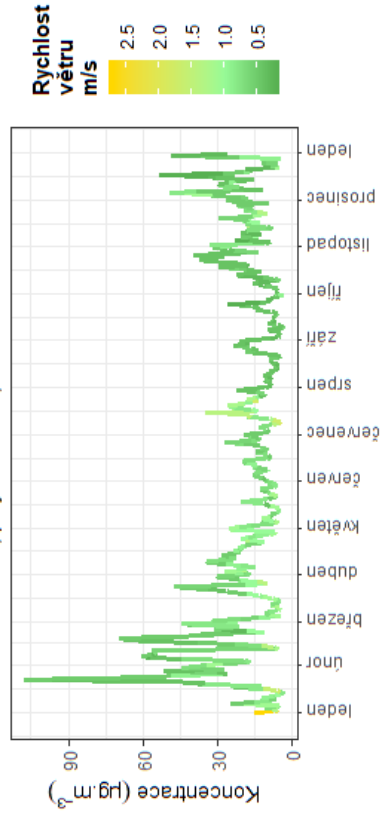
Závislost průměrných denních koncentrací  $PM_{2,5}$  na rychlosti větru

Lokalita Kamenice n. L., projekt ISKOV, rok 2019



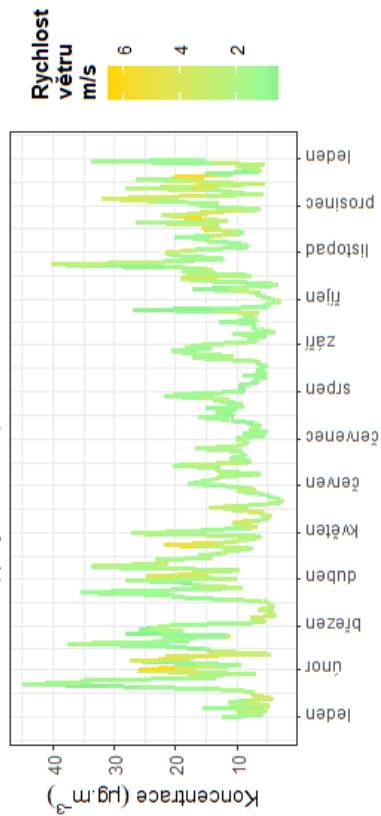
Závislost průměrných denních koncentrací  $PM_{2,5}$  na rychlosti větru

Lokalita Vel. Meziříčí, projekt ISKOV, rok 2019



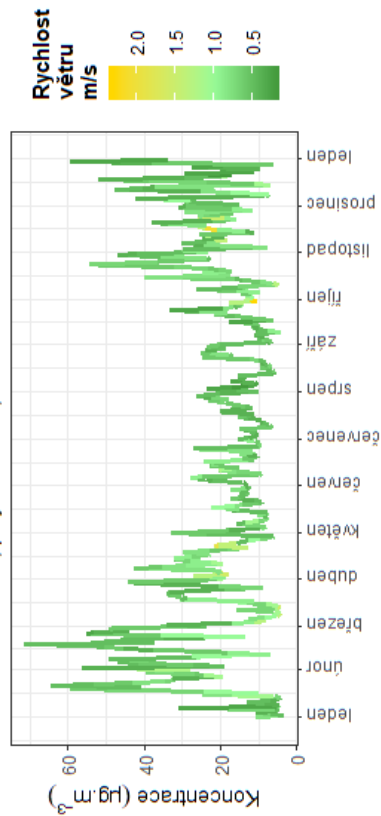
Závislost průměrných denních koncentrací  $PM_{2,5}$  na rychlosti větru

Lokalita chotěboř, projekt ISKOV, rok 2019



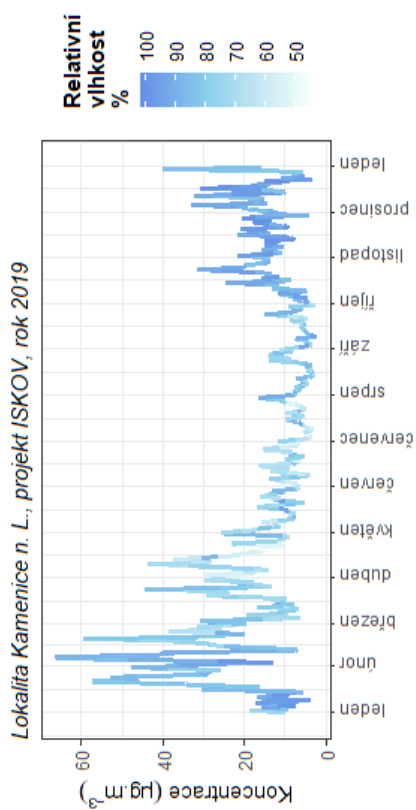
Závislost průměrných denních koncentrací  $PM_{2,5}$  na rychlosti větru

Lokalita Ledec n. S., projekt ISKOV, rok 2019

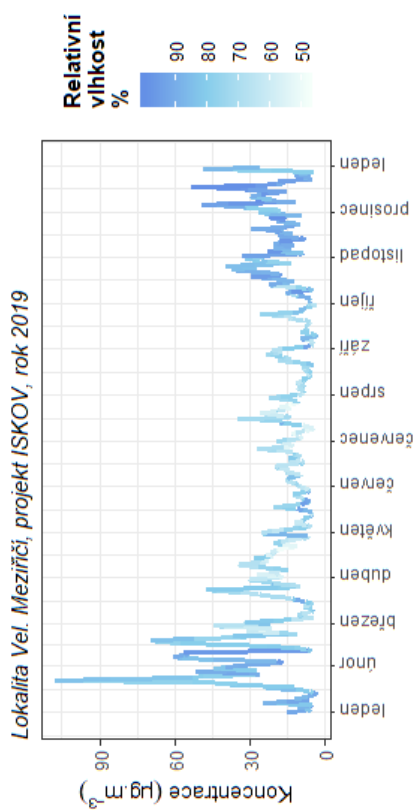


Obr. 44 – Vliv rychlosti větru na průměrné denní koncentrace  $PM_{2,5}$ , projekt ISKOV, rok 2019

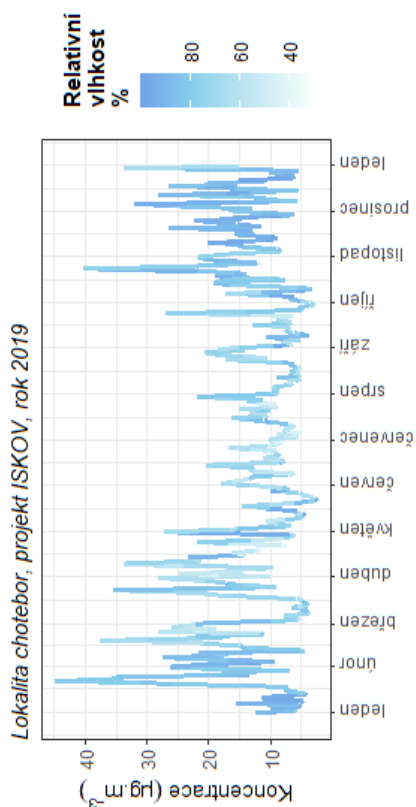
Závislost průměrných denních koncentrací  $PM_{2.5}$  na relativní vlhkost



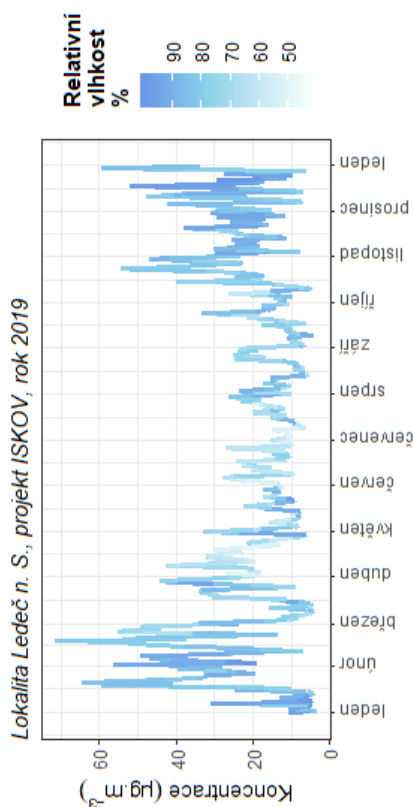
Závislost průměrných denních koncentrací  $PM_{2.5}$  na relativní vlhkost



Závislost průměrných denních koncentrací  $PM_{2.5}$  na relativní vlhkost



Závislost průměrných denních koncentrací  $PM_{2.5}$  na relativní vlhkost

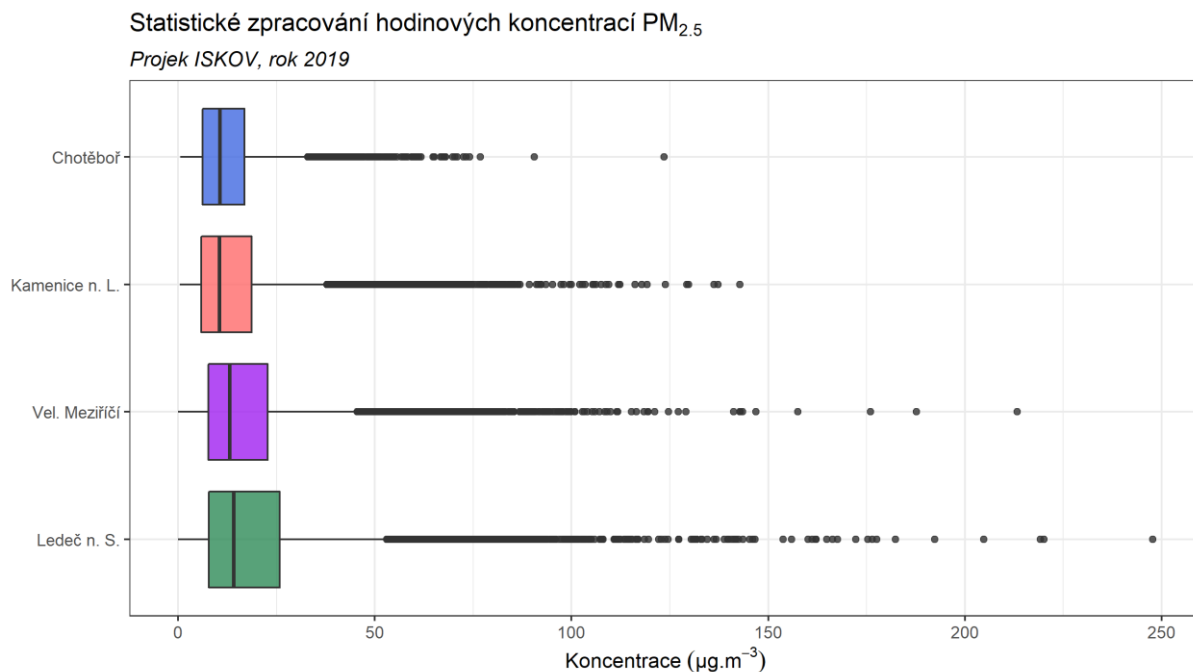


Obr. 45 – Vliv relativní vlhkosti vzduchu na průměrné denní koncentrace  $PM_{2.5}$ , projekt ISKOV, rok 2019



### 3.2.4 Hodinové koncentrace a denní chod

Suspendované částice nemají pro hodinové koncentrace imisní limit, přesto je tato charakteristika důležitá pro interpretaci dat. Uvádět samostatně hodinové koncentrace nemá smysl (8760 hodnot za rok), proto je zde pouze statistické zpracování hodinových hodnot pomocí krabicových grafů (Obr. 46).

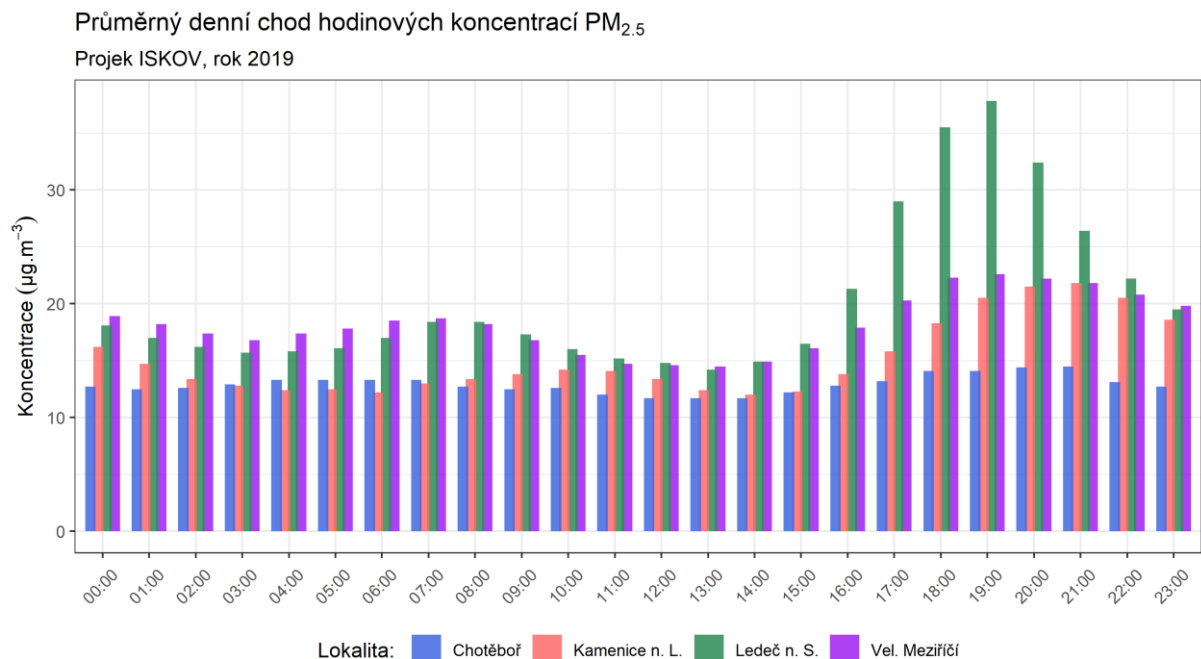


Obr. 46 – Statistické zpracování hodinových koncentrací PM<sub>2,5</sub> v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2019

Z grafu je patrné, že mediány koncentrací zhruba sledují trend průměrných hodnot. Zajímavé jsou zde některé odlehlé hodnoty. V lokalitě Ledeč nad Sázavou byla naměřena nejvyšší hodnota 19. 1. 2019 v 17:00 hodin podobně jako v případě PM<sub>10</sub>, kdy koncentrace dosáhly až na hodnotu 247,8 µg·m<sup>-3</sup>. Takto vysoká koncentrace mohla být důsledkem zhoršených rozptylových podmínek, emisí z lokálních topenišť ve večerních hodinách.

Rovněž v dalších lokalitách se vyskytly vysoké hodinové koncentrace. Nejvyšší koncentrace v lokalitě Kamenice nad Lipou byla naměřena 29. 1. 2019 v 23:00 a měla hodnotu 142,8 µg·m<sup>-3</sup>, nejvyšší koncentrace v lokalitě Chotěboř byla naměřena 14. 12. 2019 v 15:00 a měla hodnotu 123,5 µg·m<sup>-3</sup> a nejvyšší koncentrace v lokalitě Velké Meziříčí byla naměřena 22. 1. 2019 v 18:00 a měla hodnotu 213,3 µg·m<sup>-3</sup>.

Z hlediska hodinových koncentrací je velmi zajímavou a užitečnou charakteristikou průměrný denní chod hodinových koncentrací. Ten umožňuje zjistit v kterou část dne jsou zpravidla měřeny nejvyšší koncentrace (Obr. 47).



Obr. 47 – Průměrný denní chod hodinových koncentrací PM<sub>2,5</sub>, projekt ISKOV, rok 2019. Čas je uváděn v UTC

Z grafu je velmi dobře patrné, že v lokalitách Lukavec, Kamenice nad Lipou i Ledec nad Sázavou gradují koncentrace v odpoledních a večerních hodinách – tedy v době zatápění po návratu z práce. Nejvíce je to patrné na lokalitě Ledec nad Sázavou.

V lokalitě Chotěboř jsou rozdíly v denním chodu pouze malé. Lokální topeniště zřejmě nebudou mít na měřené koncentrace takový vliv, jako ve zbývajících obcích, svůj vliv může mít také dobré provětrávání lokality.

### 3.2.5 Růžice – detailní analýza hodinových hodnot

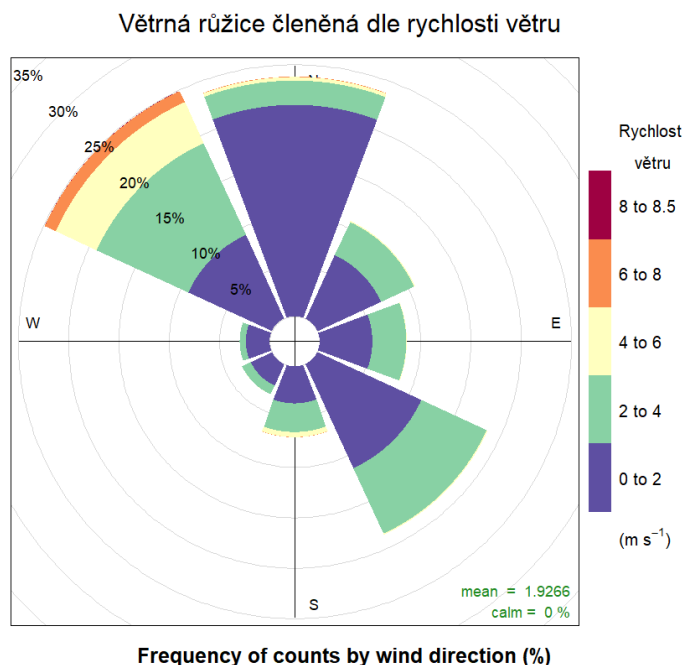
V této podkapitole budou pro všechny lokality připraveny větrné a koncentrační růžice. Větrná růžice bude kromě směrů větru členěna rovněž dle rychlostí větru, které jsou pro koncentrace škodlivin důležité.

Koncentrační růžice jsou nástroj pro analýzu znečištění ovzduší na základě meteorologických charakteristik. Pro jejich konstrukci jsou použita hodinová data meteorologických prvků a koncentrací škodlivin. Vychází se z větrné růžice, do polárních souřadnic se ukládá jednak směr větru jako u klasické větrné růžice, a dále pak rychlost větru – ve středu růžice je bezvětří, s rostoucí vzdáleností od středu roste rychlost větru. Pro jednotlivé rychlosti a směry větru je pak v koncentrační růžici zprůměrována koncentrace dané škodliviny, naměřená vždy při daných rychlostech a směrech větru. Koncentrace je vyjádřena barevnou škálou.

Základní koncentrační růžice tak ukazuje, při jakých rychlostech a směrech větru jsou v průměru dosahovány (nejvyšší) koncentrace. Vážená koncentrační růžice pak vypočte vážený průměr (tzn., že je vzata v úvahu také četnost výskytu), a dává tak informaci, jakým procentem se jednotlivé směry větru podílí na měřených koncentracích dané škodliviny.

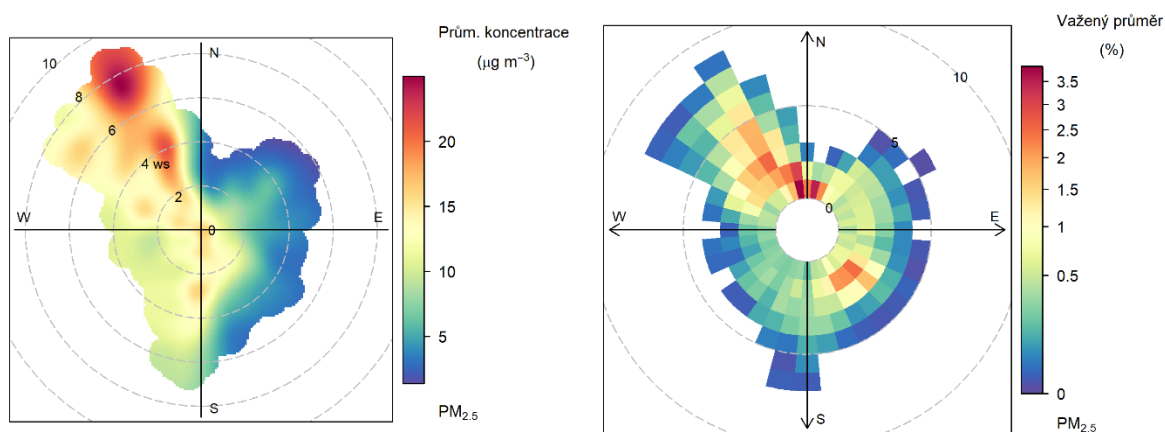
### 3.2.5.1 Chotěboř

Na Obr. 48 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Chotěboř*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severních až severozápadních směrů. Lokalita je dobře provětrávaná, byly měřeny i vyšší rychlosti větru. Bezvětří se v této lokalitě prakticky nevyskytuje. Průměrná rychlost proudění větru byla cca  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



Obr. 48 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Chotěboř, rok 2019

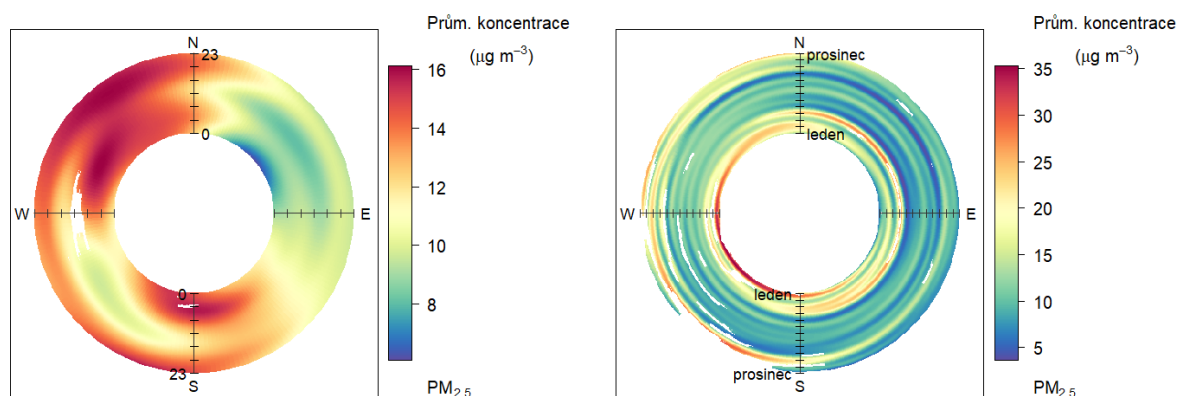
Následující Obr. 49 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro  $\text{PM}_{2,5}$  v lokalitě *Chotěboř*.



Obr. 49 – Koncentrační růžice  $\text{PM}_{2,5}$ , lokalita Chotěboř, rok 2019

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze severozápadu a vyšších rychlostech větru. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností  $\text{PM}_{2,5}$  přišlo ze severních a jihovýchodních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

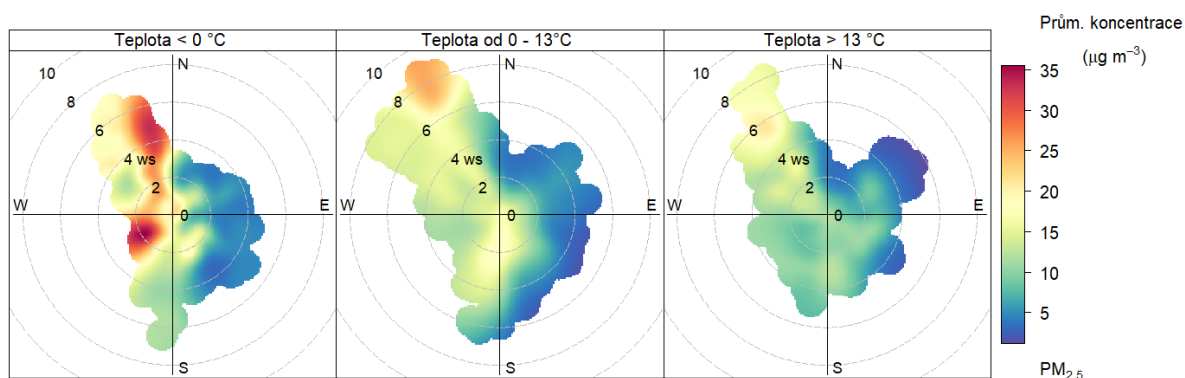
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu Chotěboř je tento denní chod vynesena na Obr. 50.



Obr. 50 – Denní a roční chod koncentrací  $PM_{2,5}$  členěný dle směru větru, lokalita Chotěboř, rok 2019

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací  $PM_{2,5}$  je důležitý zejména severozápadní a dále také jižní směr větru. Maxima jsou pak dosahována ze severozápadu celodenně, i když večerní hodiny dominují. To může souviset se zatápěním lidí v obci po návratu z práce. Navíc jsou v noci obecně horší rozptylové podmínky. Z jižních směrů jsou to noční a brzké ranní hodiny. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace pouze v topné sezóně.

Následující Obr. 51 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , prostřední růžice zobrazuje koncentrace  $PM_{2,5}$  při teplotách v intervalu od 0 do  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



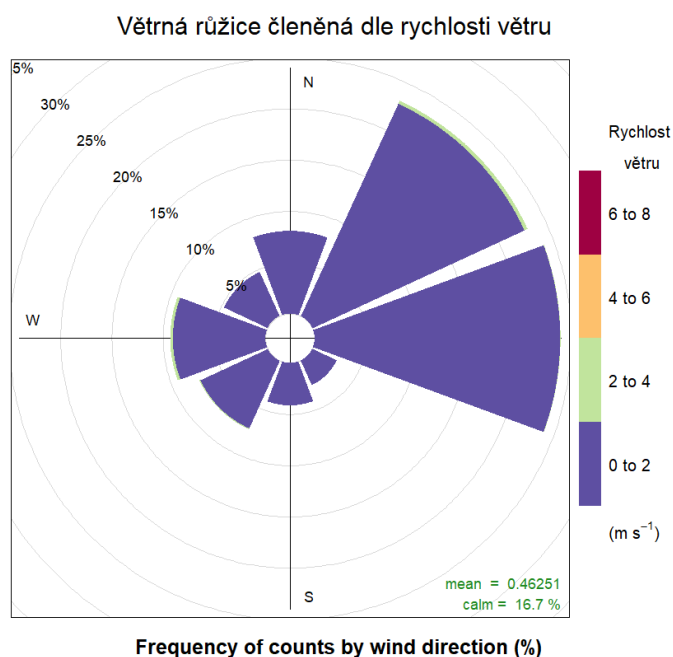
Obr. 51 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Chotěboř, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že vysoké koncentrace jsou často měřeny při teplotách nižších, než je bod mrazu, a vždy při proudění ze severu až západu. Při západním proudění ani při těchto nízkých teplotách nejsou měřeny vysoké koncentrace. Při teplotách nad  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  jsou

měřeny vyšší koncentrace pouze při proudění ze severozápadu a vyšších rychlostech větru. Při teplotách nad 13 °C jsou měřeny pouze mírně zvýšené koncentrace při proudění ze severozápadu a vyšších rychlostech větru.

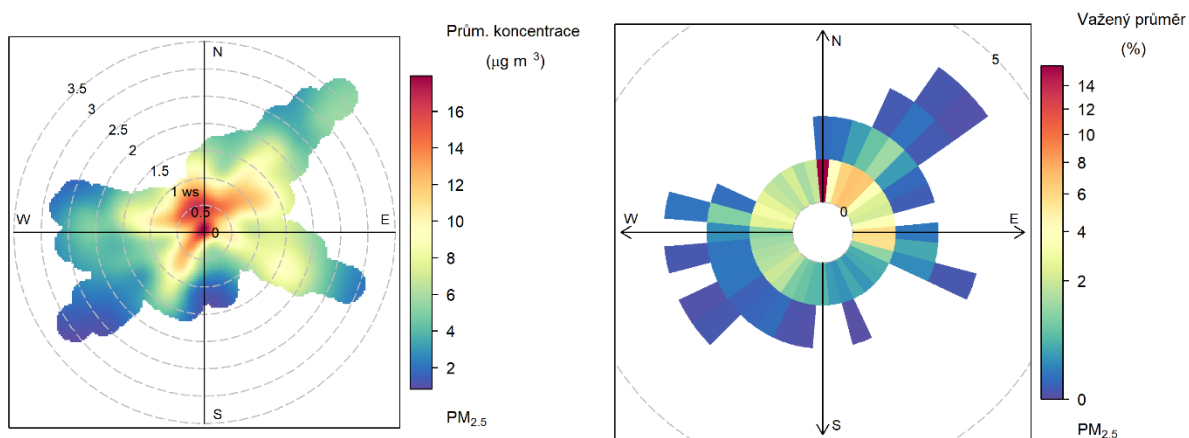
### 3.2.5.2 Kamenice nad Lipou

Na Obr. 52 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Kamenice nad Lipou*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především z východních a severovýchodních směrů, vyšší rychlosti větru než 2 m·s<sup>-1</sup> pak byly zaznamenány pouze ojediněle ze severovýchodních směrů. Bezvětrí panovalo zhruba v 16,7 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 0,5 m·s<sup>-1</sup>.



Obr. 52 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Kamenice nad Lipou, rok 2019

Následující Obr. 53 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro PM<sub>2,5</sub> v lokalitě *Kamenice nad Lipou*.

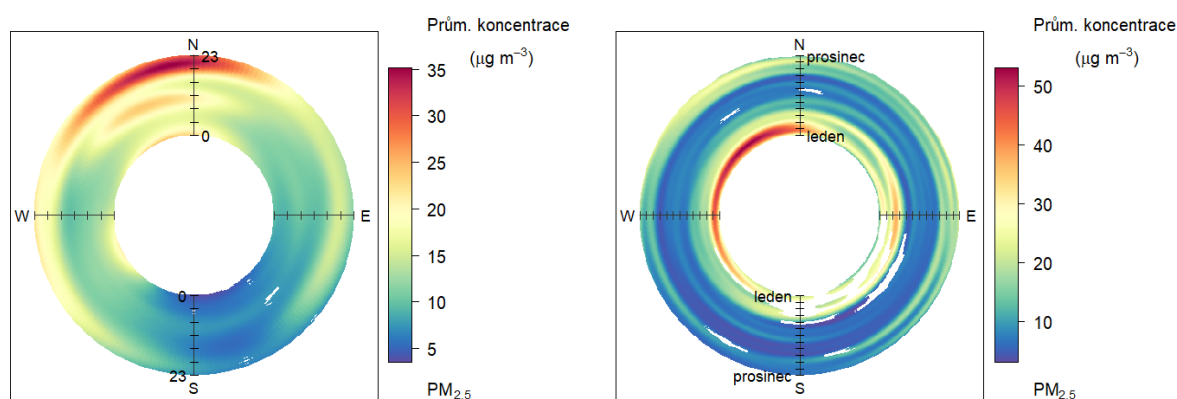


Obr. 53 – Koncentrační růžice PM<sub>2,5</sub>, lokalita Kamenice nad Lipou, rok 2019



Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze severních směrů a jihozápadu, vždy však při velmi nízkých rychlostech větru až bezvětří. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností PM<sub>2,5</sub> přišlo ze severních a východních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

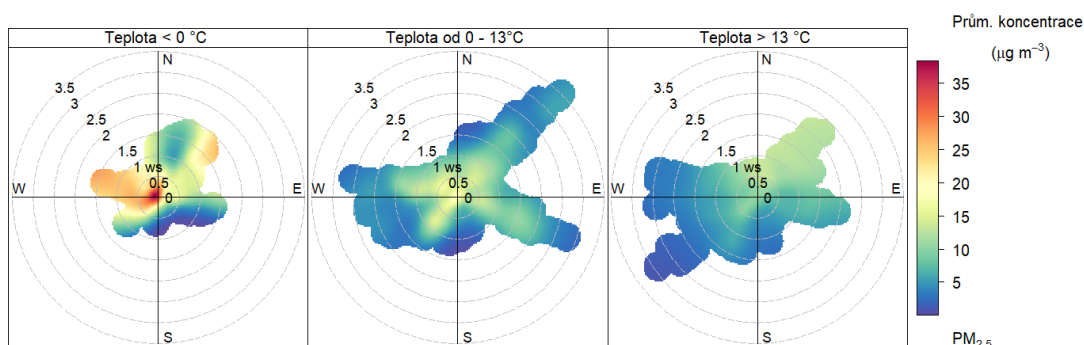
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Kamenice nad Lipou* je tento denní chod vynesena na Obr. 54.



Obr. 54 – Denní a roční chod koncentrací PM<sub>2,5</sub> členěný dle směru větru, lokalita *Kamenice nad Lipou*, rok 2019

Z obrázku je patrné, že z hlediska vysokých koncentrací PM<sub>2,5</sub> je důležitý zejména severozápadní směr větru. Maxima jsou pak dosahována zejména ve večerních hodinách. To může souviset se zatápěním lidí v obci po návratu z práce. Navíc jsou v noci obecně horší rozptylové podmínky. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace pouze v teplé sezóně.

Následující Obr. 55 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0 °C, prostřední růžice zobrazuje koncentrace PM<sub>2,5</sub> při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

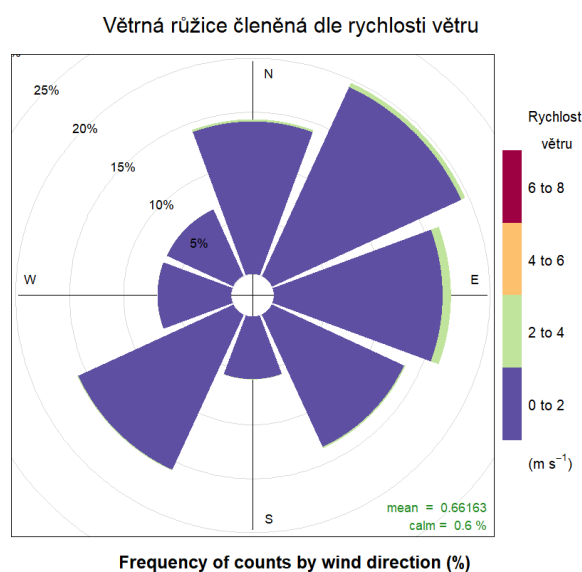


Obr. 55 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Kamenice nad Lipou*, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že vysoké koncentrace jsou takřka výhradně měřeny při teplotách nižších, než je bod mrazu. Při teplotách nad 0 °C jsou měřeny mírně vyšší koncentrace pouze při velmi nízkých rychlostech větru. Při teplotách nad 13 °C jsou měřeny pouze nízké koncentrace PM<sub>2,5</sub>.

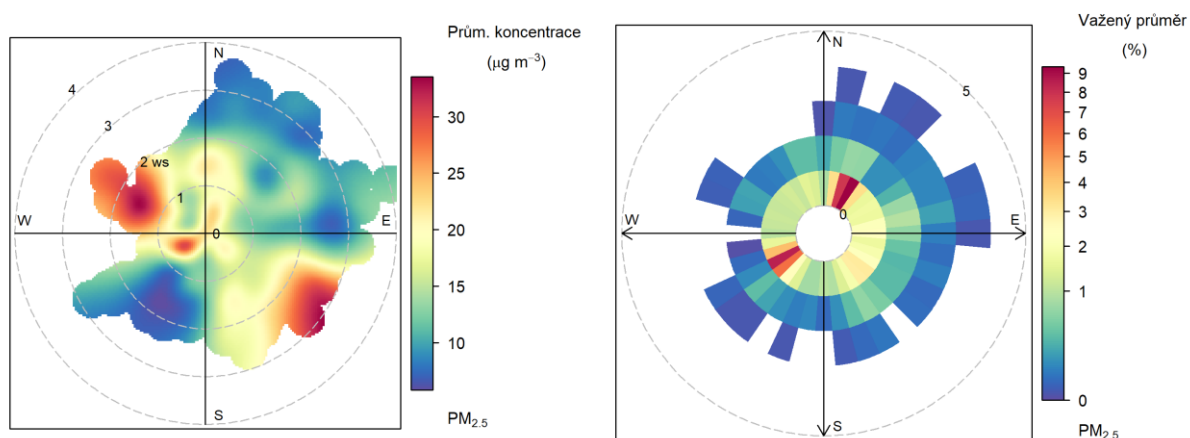
### 3.2.5.3 Leděč nad Sázavou

Na Obr. 56 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Leděč nad Sázavou*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká téměř ze všech směrů, méně zastoupeny jsou jižní, západní a severozápadní směr. Vyšší rychlosti větru než 2 m·s<sup>-1</sup> pak byly zaznamenány převážně z východních směrů. Bezvětří panovalo zhruba v 0,6 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 0,6 m·s<sup>-1</sup>.



Obr. 56 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Leděč nad Sázavou, rok 2019

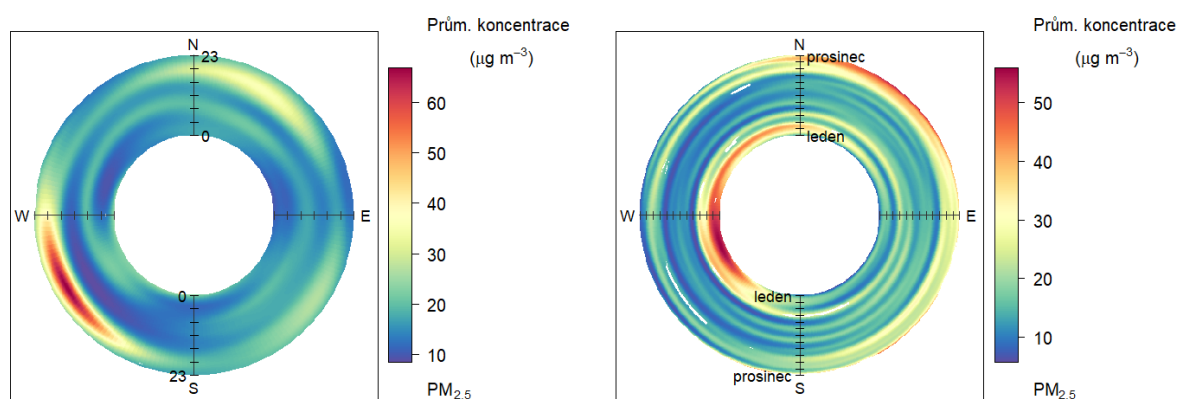
Následující Obr. 57 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro PM<sub>2,5</sub> v lokalitě *Leděč nad Sázavou*.



Obr. 57 – Koncentrační růžice PM<sub>2,5</sub>, lokalita Leděč nad Sázavou, rok 2019

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze severozápadu a jihovýchodu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností PM<sub>2,5</sub> přišlo ze severovýchodních a jihozápadních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

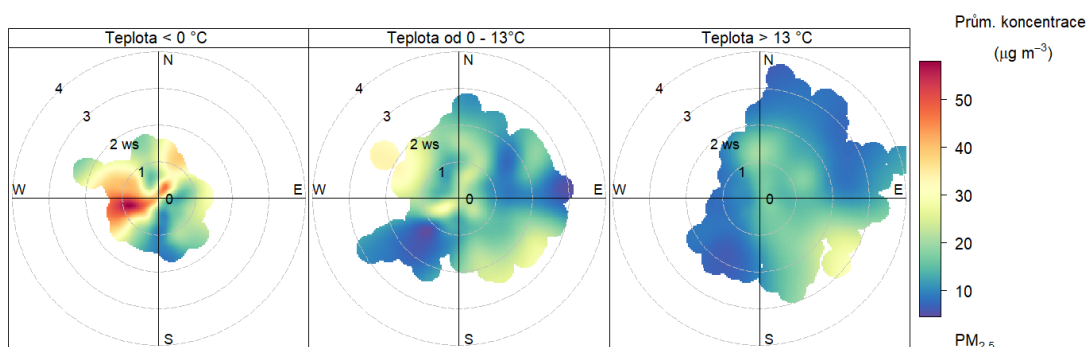
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Ledeč nad Sázavou* je tento denní chod vynesena na Obr. 58.



Obr. 58 – Denní a roční chod koncentrací PM<sub>2,5</sub> členěný dle směru větru, lokalita *Ledeč nad Sázavou*, rok 2019

Z obrázku je patrné, že z hlediska vysokých koncentrací PM<sub>2,5</sub> je důležitý zejména jihozápadní a severovýchodní směr větru. Maxima jsou pak dosahována zejména ve večerních a nočních hodinách. To může souviset se zatápěním lidí v obci po návratu z práce. Navíc jsou v noci obecně horší rozptylové podmínky. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace pouze v teplé sezóně.

Následující Obr. 59 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0 °C, prostřední růžice zobrazuje koncentrace PM<sub>2,5</sub> při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

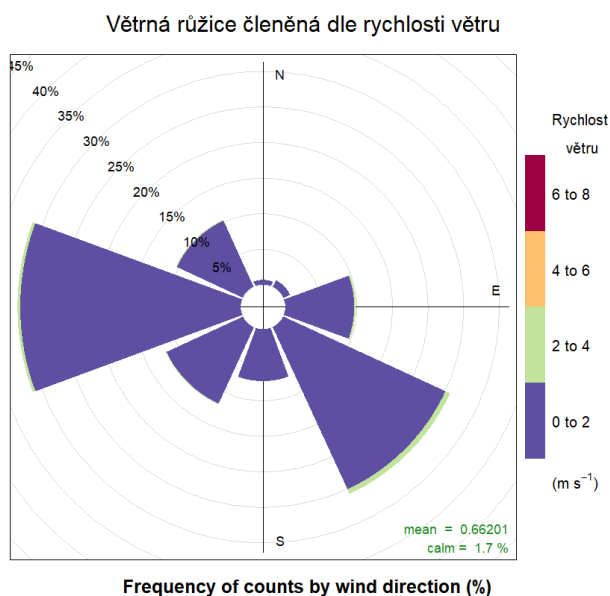


Obr. 59 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Ledeč nad Sázavou*, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že při teplotách pod 0 °C jsou měřeny vysoké koncentrace při proudění ze západu až jihozápadu, z ostatních směrů jsou pouze zvýšené. Při teplotách nad 0 °C jsou opět měřeny mírně vyšší koncentrace. Při teplotách nad 13 °C jsou měřeny pouze velmi nízké koncentrace PM<sub>2,5</sub>.

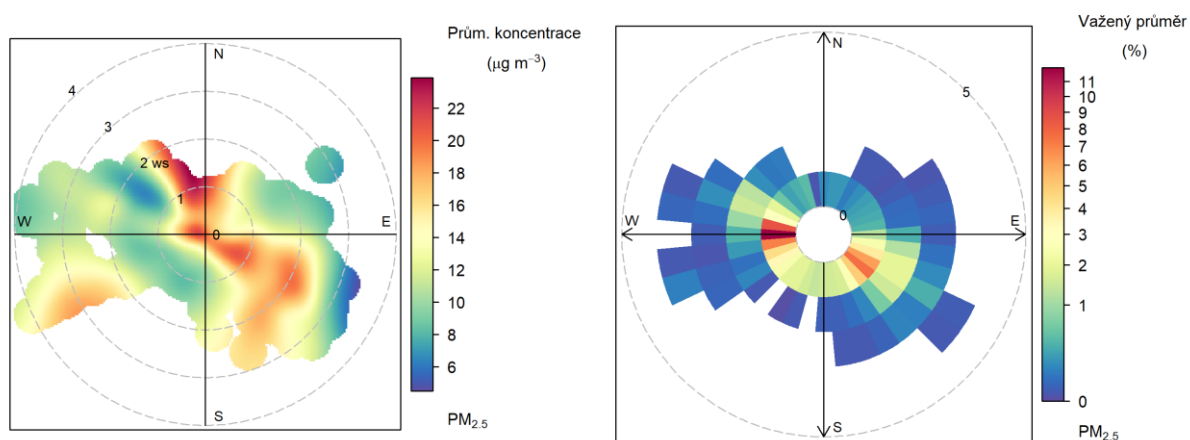
### 3.2.5.4 Velké Meziříčí

Na Obr. 60 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Velké Meziříčí*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze západních a jihovýchodních směrů, vyšší rychlosti větru než 2 m·s<sup>-1</sup> takřka nebyly zaznamenány. Bezvětrí panovalo zhruba v 1,7 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 0,6 m·s<sup>-1</sup>.



Obr. 60 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Velké Meziříčí, rok 2019

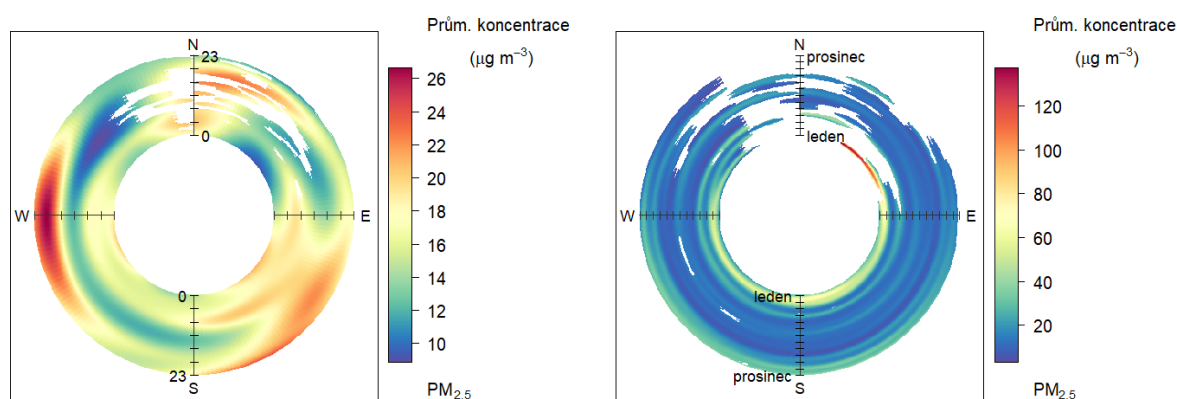
Následující Obr. 61 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro PM<sub>2,5</sub> v lokalitě *Velké Meziříčí*.



Obr. 61 – Koncentrační růžice PM<sub>2,5</sub>, lokalita Velké Meziříčí, rok 2019

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze severu a dále z východu až jihovýchodu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností PM<sub>2,5</sub> přišlo ze západních a jihovýchodních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

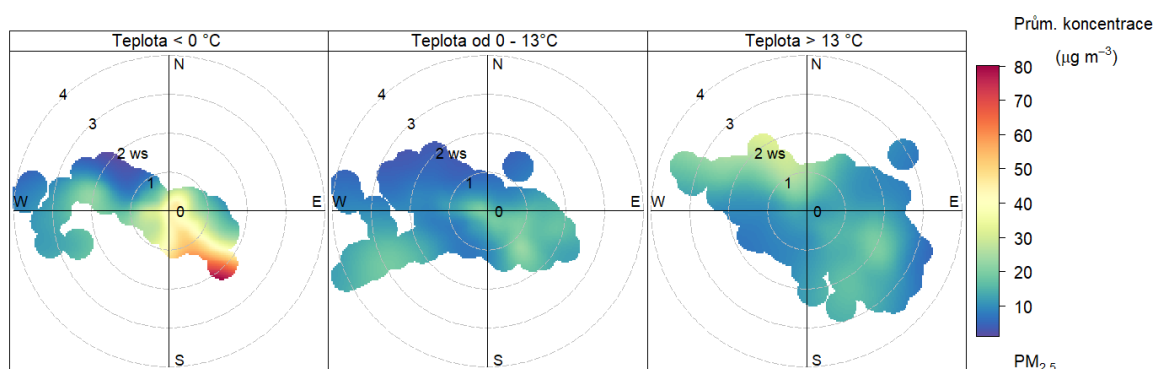
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Velké Meziříčí* je tento denní chod vynesena na Obr. 62.



Obr. 62 – Denní a roční chod koncentrací PM<sub>2,5</sub> členěný dle směru větru, lokalita *Velké Meziříčí*, rok 2019

Z obrázku je patrné, že z hlediska vysokých koncentrací PM<sub>2,5</sub> je důležitý zejména západní a jihovýchodní směr větru. Maxima jsou pak dosahována zejména ve večerních a nočních hodinách. To může souviset s návratem lidí ze zaměstnání a zatápěním. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace převážně v topné sezóně.

Následující Obr. 63 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0 °C, prostřední růžice zobrazuje koncentrace PM<sub>2,5</sub> při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.



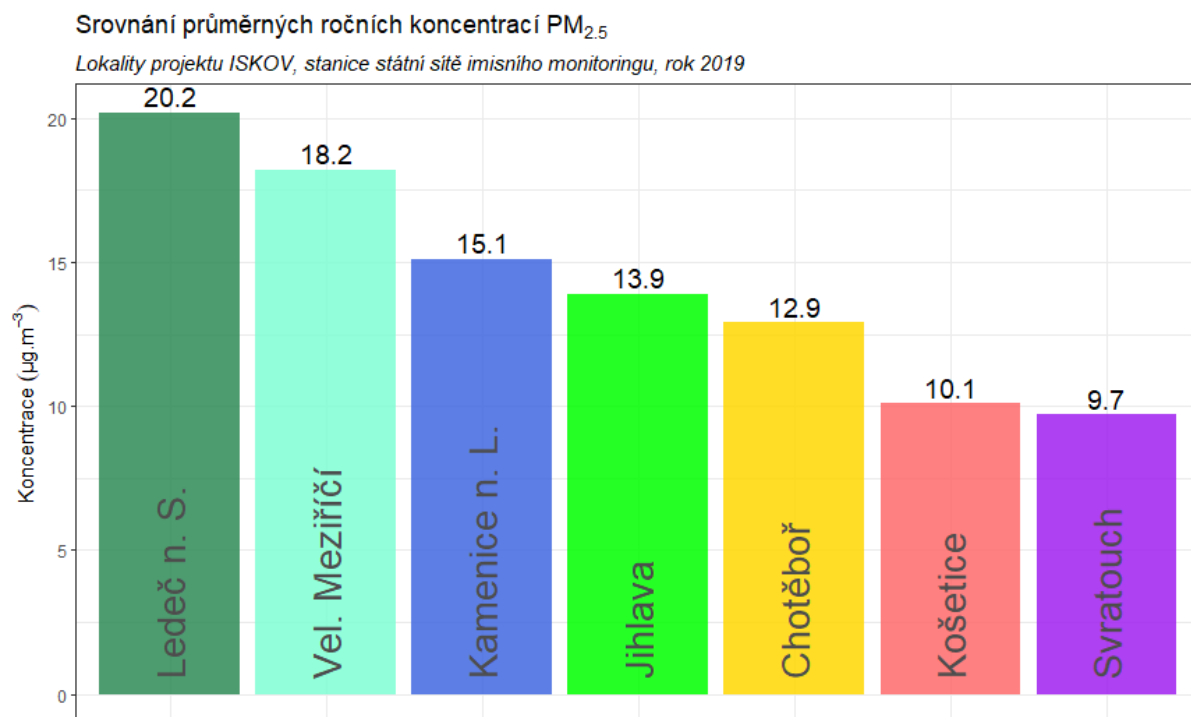
Obr. 63 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Velké Meziříčí*, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že při teplotách pod 0 °C jsou měřeny vysoké koncentrace při proudění z jihovýchodu, z ostatních směrů jsou pouze zvýšené. Při teplotách nad 0 °C i nad 13 °C jsou měřeny pouze nízké koncentrace PM<sub>2,5</sub>.

### 3.2.6 Srovnání koncentrací PM<sub>2,5</sub> s lokalitami státní sítě imisního monitoringu

V následujícím grafu na Obr. 64 je zobrazeno srovnání měřicích lokalit projektu ISKOV s lokalitami státní sítě imisního monitoringu (SSIM) Jihlava a Košetice. Graf srovnává průměrné roční koncentrace PM<sub>2,5</sub>.

Nejvyšší hodnotu průměrné roční koncentrace PM<sub>2,5</sub> naměřila lokalita Ledeč nad Sázavou. Nejnižší hodnotu průměrné roční koncentrace PM<sub>2,5</sub> zaznamenaly opět lokality Košetice a Svatouch.



Obr. 64 – Srovnání průměrných ročních koncentrací PM<sub>2,5</sub>, lokality projektu ISKOV a lokality SSIM, rok 2019



### 3.3 OXID DUSIČITÝ A OXIDY DUSÍKU

Při sledování a hodnocení kvality venkovního ovzduší se pod termínem oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ) rozumí směs oxidu dusnatého ( $\text{NO}$ ) a oxidu dusičitého ( $\text{NO}_2$ ) [8].

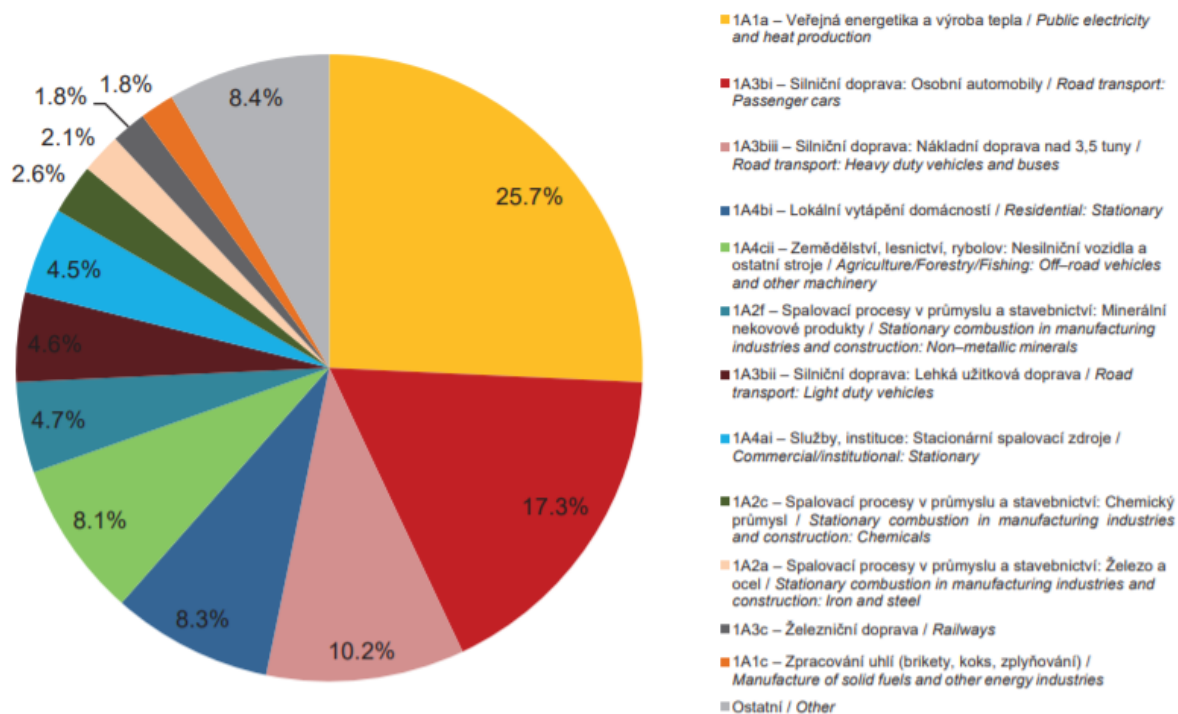
Pro oxid dusičitý jsou v příloze 1 zákona o ochraně ovzduší [3] uvedeny dva imisní limity. Pro průměrnou roční koncentraci a pro hodinovou koncentraci, která může být za kalendářní rok 18 x překročena [2]. K překročení ročního imisního limitu  $\text{NO}_2$  dochází v ČR pouze na omezeném počtu stanic, a to na dopravně exponovaných lokalitách aglomerací a velkých měst. Lze předpokládat, že k překročení imisních limitů může docházet i na dalších dopravně exponovaných místech, kde není prováděno měření.

Více než 90 % z celkových oxidů dusíku ve venkovním ovzduší je emitováno ve formě  $\text{NO}$ .  $\text{NO}_2$  vzniká relativně rychle reakcí  $\text{NO}$  s přízemním ozonem nebo s radikály typu  $\text{HO}_2$ , popř.  $\text{RO}_2$  [9]. Řadou chemických reakcí se část  $\text{NO}_x$  přemění na  $\text{HNO}_3/\text{NO}_3^-$ , které jsou z atmosféry odstraňovány suchou a mokrou atmosférickou depozicí. Pozornost je věnována  $\text{NO}_2$  z důvodu jeho negativního vlivu na lidské zdraví. Hraje také klíčovou roli při tvorbě fotochemických oxidantů.

V Evropě vznikají emise  $\text{NO}_x$  převážně z antropogenních spalovacích procesů, kde  $\text{NO}$  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  $\text{NO}_x$  vzniká ze spalování přímo ve formě  $\text{NO}_2$ . Přírodní emise  $\text{NO}_x$  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 [10].

Expozice zvýšeným koncentracím  $\text{NO}_2$  ovlivňuje plicní funkce a způsobuje snížení imunity [11].

Největší množství emisí  $\text{NO}_x$  pochází z dopravy. Sektory *1A3bi – Silniční doprava: Osobní automobily*, *1A3biii – Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5 t*, *1A3bii – Lehká užitková vozidla* a *1A4cii – Zemědělství, lesnictví, rybolov: Nesilniční vozidla a ostatní stroje* se na celorepublikových emisích  $\text{NO}_x$  v roce 2017 podílely 40,1 %. Ze sektoru *1A1a – Veřejná energetika a výroba tepla* bylo do ovzduší vneseno 25,7 % emisí  $\text{NO}_x$  [7].



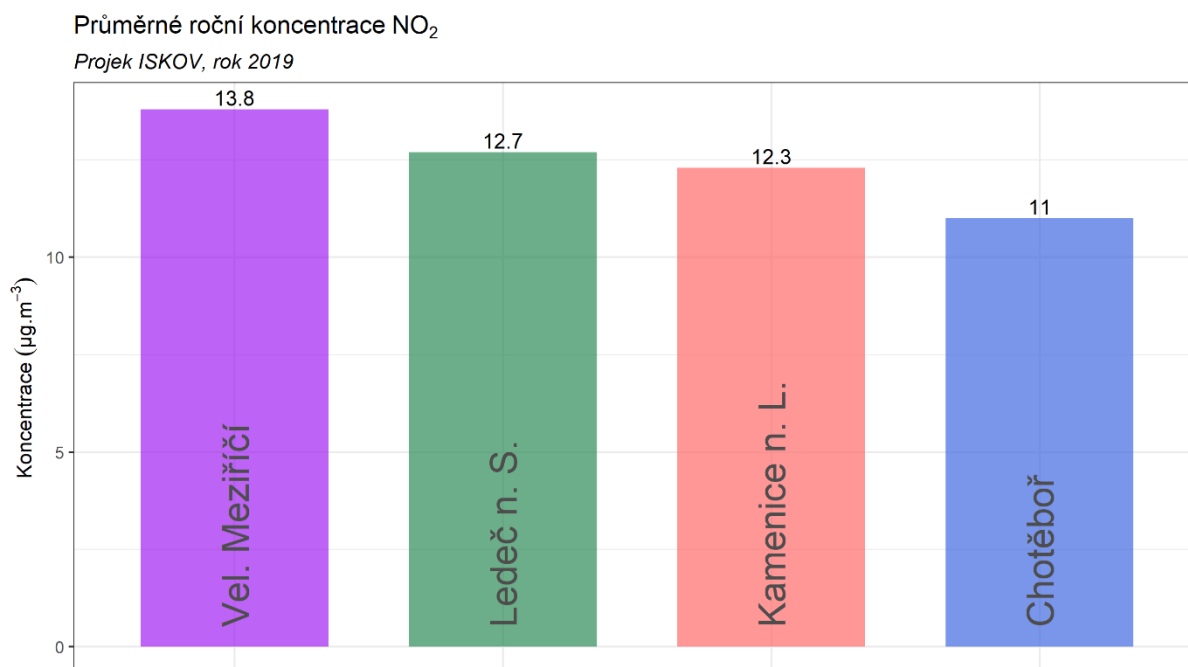
Obr. 65 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích NO<sub>x</sub> v ČR, rok 2017 [7]

### 3.3.1 Průměrná roční koncentrace

Průměrné roční koncentrace, naměřené v jednotlivých lokalitách, zobrazuje následující Tab. 9, graficky je pak znázorňuje Obr. 66.

Tab. 9 – Průměrná roční koncentrace NO<sub>2</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

LOKALITA	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE NO <sub>2</sub> (µg·m <sup>-3</sup> )
CHOTĚBOŘ	11
KAMENICE N. L.	12,3
LEDEČ N. S.	12,7
VEL. MEZIŘÍČÍ	13,8



Obr. 66 – Průměrná roční koncentrace NO<sub>2</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

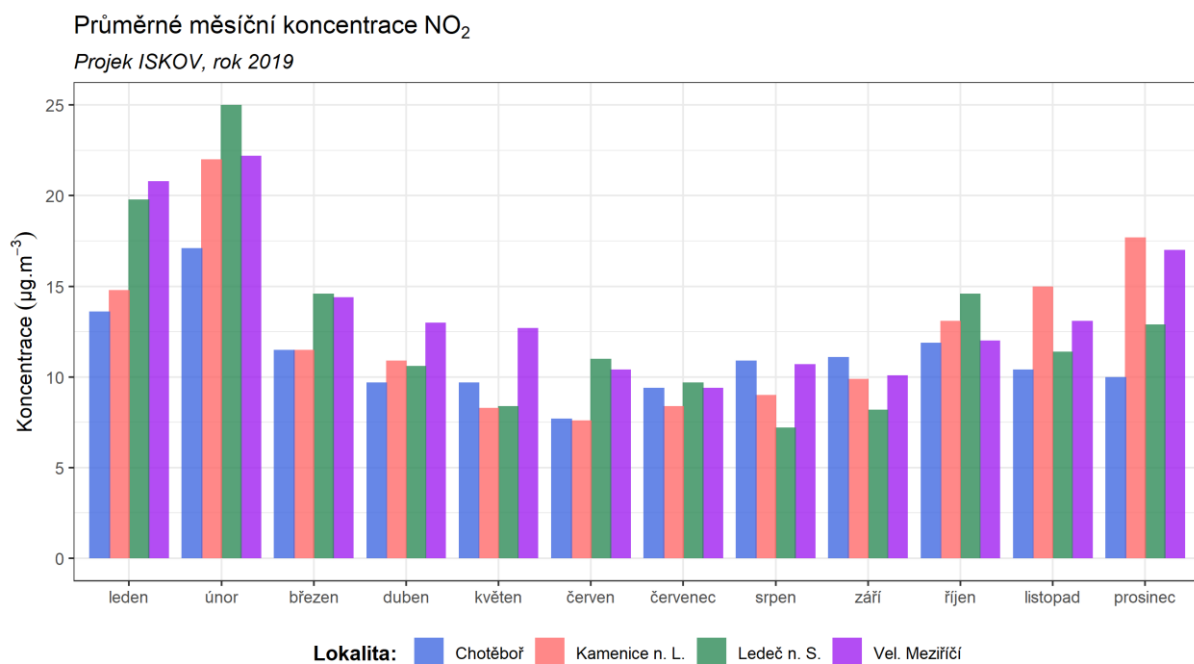
Z uvedeného vyplývá, že nejvyšší průměrná roční koncentrace NO<sub>2</sub> byla naměřena v lokalitě Velké Meziříčí, nejnižší pak v lokalitě Chotěboř. **Ani na jedné lokalitě nedošlo k překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci NO<sub>2</sub> (40 µg·m<sup>-3</sup>).**

### 3.3.2 Průměrné měsíční koncentrace

Průměrné měsíční koncentrace, naměřené v jednotlivých lokalitách v roce 2019, zobrazuje následující Tab. 10, graficky je pak znázorňuje Obr. 67. Z grafu je dobře patrné, že nejvyšší koncentrace NO<sub>2</sub> byly měřeny na všech lokalitách v únoru, březnu a listopadu. Obecně lze konstatovat, že v topné sezóně jsou koncentrace NO<sub>2</sub> na všech lokalitách výrazně vyšší než v letních měsících. Vliv majoritního zdroje prašnosti, tedy lokálních topenišť, je dobře patrný. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace NO<sub>2</sub> byla naměřena v lokalitě Ledec nad Sázavou a měla hodnotu 25 µg·m<sup>-3</sup>.

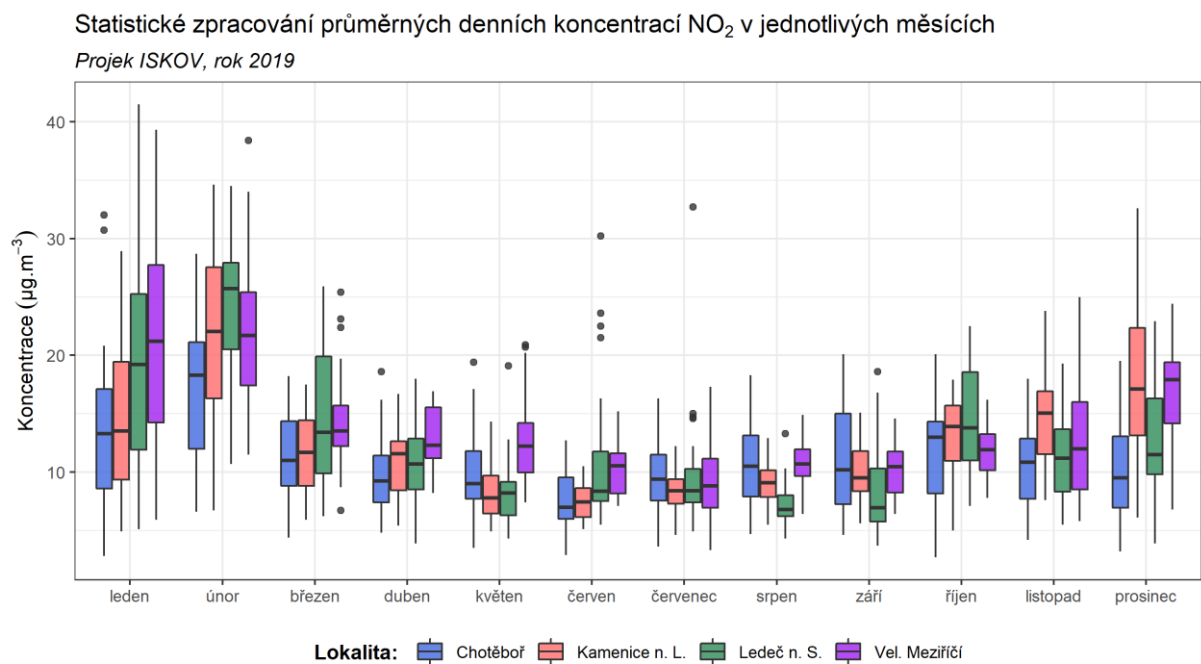
Tab. 10 – Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

MĚSÍC	CHOTĚBOŘ	KAMENICE N. L.	LEDEČ N. S.	VEL. MEZIŘÍČÍ
LEDEN	13,6	14,8	19,8	20,8
ÚNOR	17,1	22	25	22,2
BŘEZEN	11,5	11,5	14,6	14,4
DUBEN	9,7	10,9	10,6	13
KVĚTEN	9,7	8,3	8,4	12,7
ČERVEN	7,7	7,6	11	10,4
ČERVENEC	9,4	8,4	9,7	9,4
SRPEN	10,9	9	7,2	10,7
ZÁŘÍ	11,1	9,9	8,2	10,1
ŘÍJEN	11,9	13,1	14,6	12
LISTOPAD	10,4	15	11,4	13,1
PROSINEC	10	17,7	12,9	17



Obr. 67 – Průměrné měsíční koncentrace NO<sub>2</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

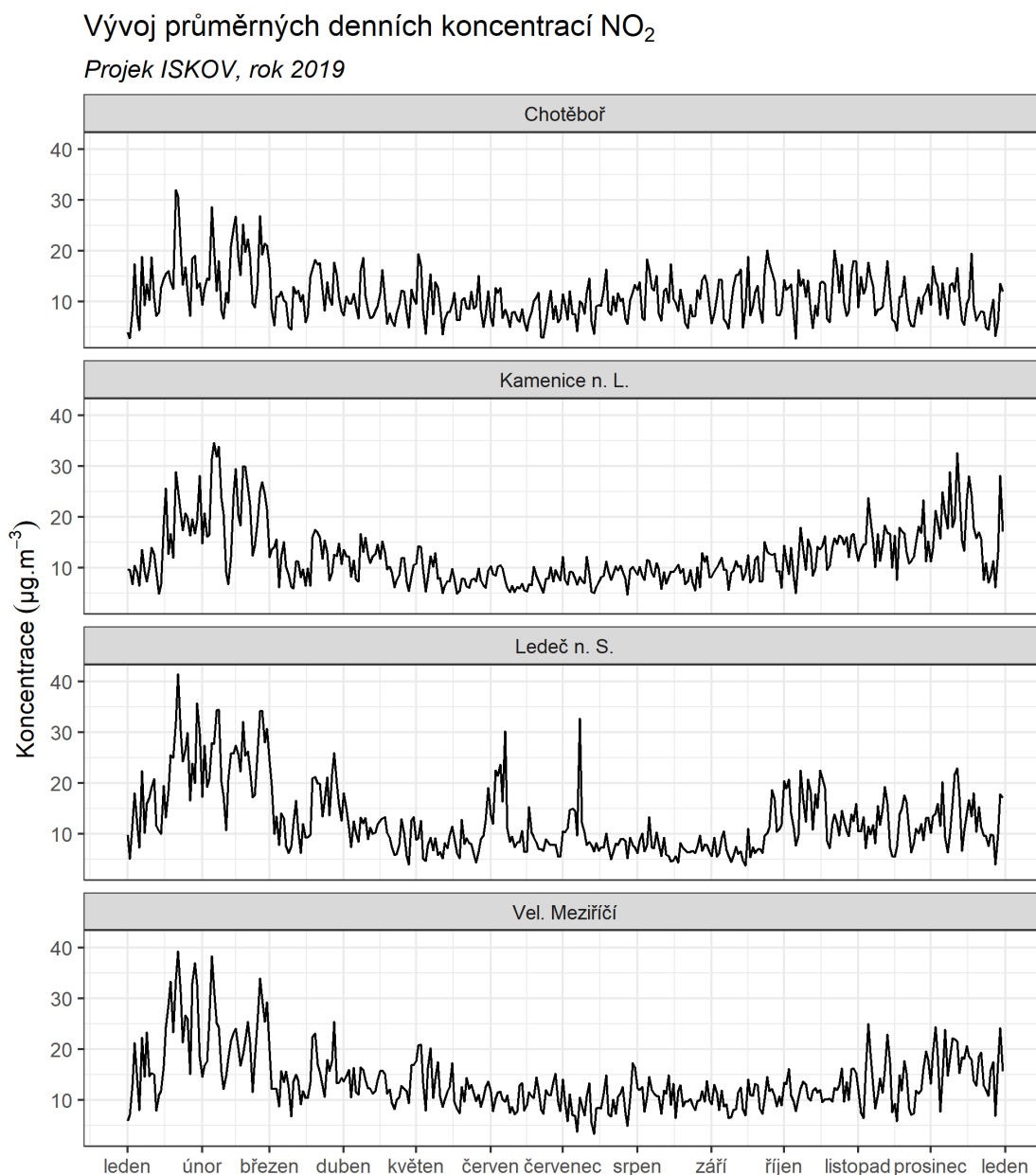
Statistické zpracování průměrných denních koncentrací  $\text{NO}_2$  v jednotlivých měsících a lokalitách uvádí Obr. 68.



Obr. 68 – Statistické zpracování průměrných denních koncentrací  $\text{NO}_2$  v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2019

### 3.3.3 Průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub>

V legislativě není ukotven imisní limit pro průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub>. Vývoj průměrných denních koncentrací NO<sub>2</sub> v roce 2019 zobrazuje následující Obr. 69.

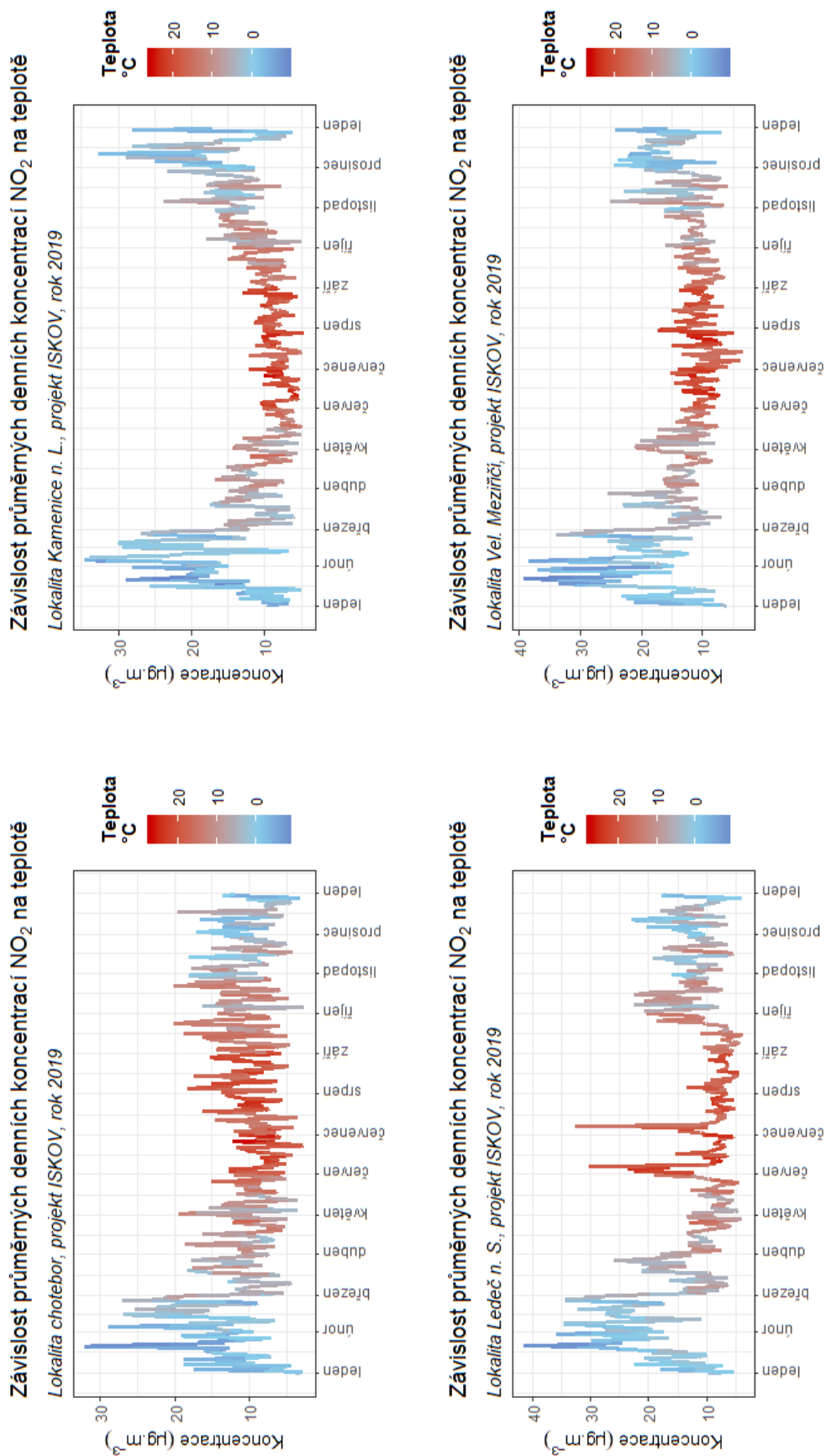


Obr. 69 – Vývoj průměrných denních koncentrací NO<sub>2</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

Na následujících Obr. 70 – Obr. 72 je zobrazen vliv sledovaných meteorologických veličin (průměrné denní hodnoty teploty vzduchu, rychlosti větru a relativní vlhkosti vzduchu) na měřené průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub> ve všech lokalitách.

Z grafů je velmi dobře patrné že nejvyšší koncentrace NO<sub>2</sub> jsou měřeny při nejnižších teplotách (nejvyšší potřeba topit), vyšší koncentrace jsou měřeny při nižších rychlostech větru (vlivem bezvětří dochází k horšímu rozptylu znečištění) a vyšších relativních vlhkostech vzduchu.

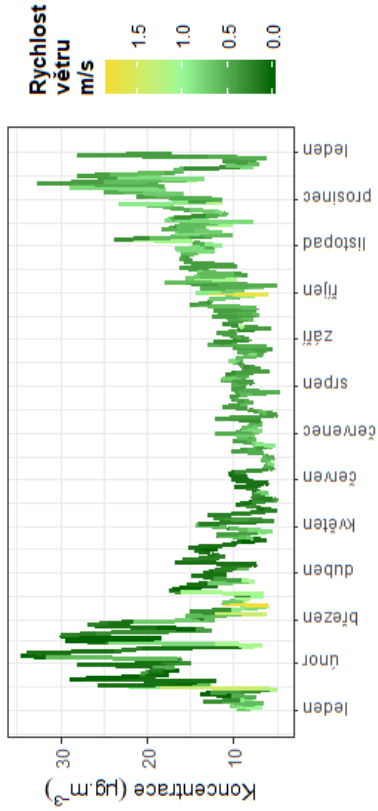




Obr. 70 – Vliv teploty vzduchu na průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

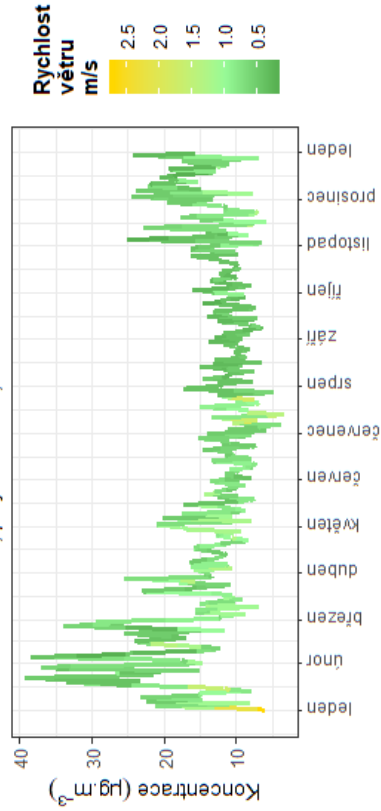
Závislost průměrných denních koncentrací NO<sub>2</sub> na rychlosti větru

Lokalita Kamenice n. L., projekt ISKOV, rok 2019



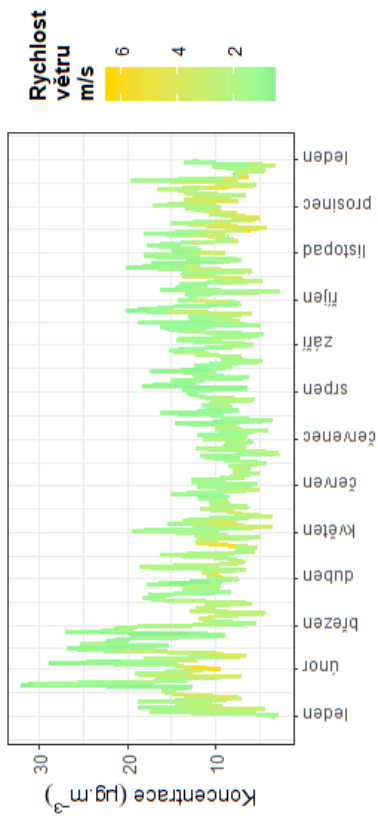
Závislost průměrných denních koncentrací NO<sub>2</sub> na rychlosti větru

Lokalita Vel. Meziříčí, projekt ISKOV, rok 2019



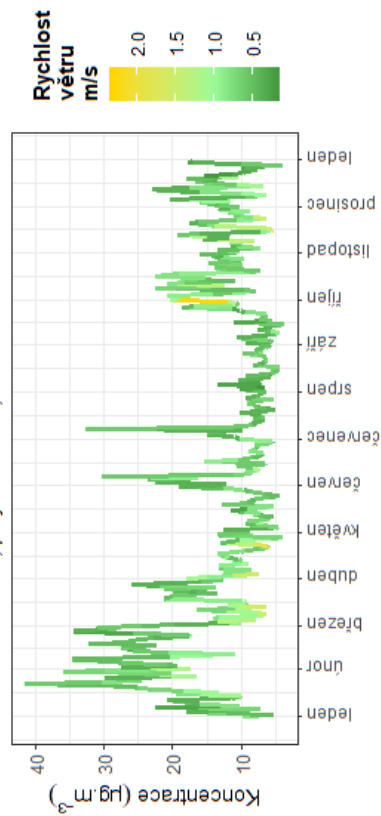
Závislost průměrných denních koncentrací NO<sub>2</sub> na rychlosti větru

Lokalita chotebor, projekt ISKOV, rok 2019



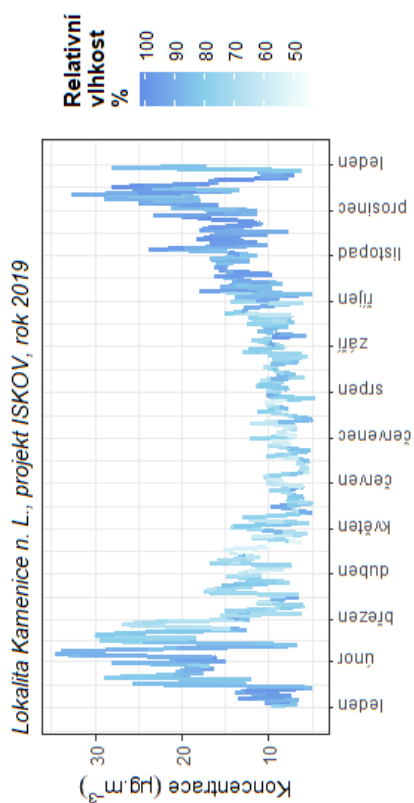
Závislost průměrných denních koncentrací NO<sub>2</sub> na rychlosti větru

Lokalita Leděč n. S., projekt ISKOV, rok 2019

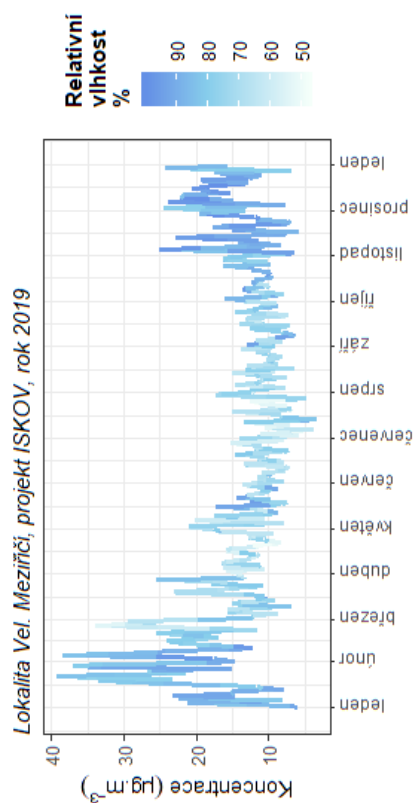


Obr. 71 – Vliv rychlosti větru na průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

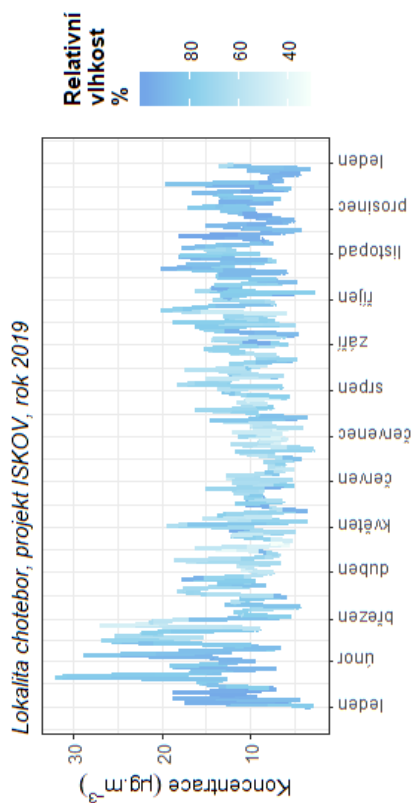
Závislost průměrných denních koncentrací NO<sub>2</sub> na relativní vlhkost



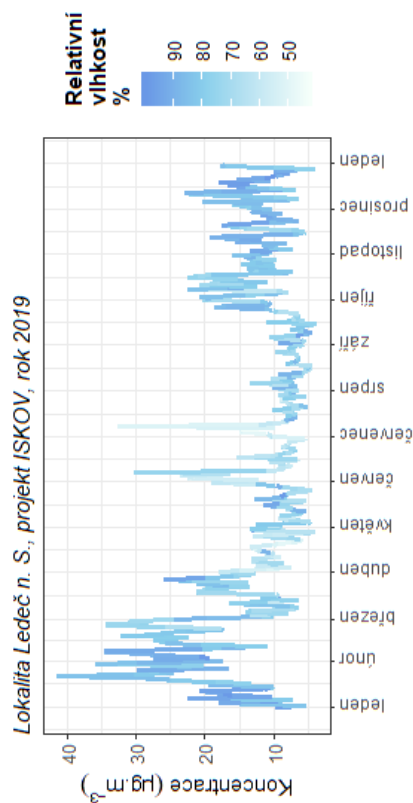
Závislost průměrných denních koncentrací NO<sub>2</sub> na relativní vlhkost



Závislost průměrných denních koncentrací NO<sub>2</sub> na relativní vlhkosti



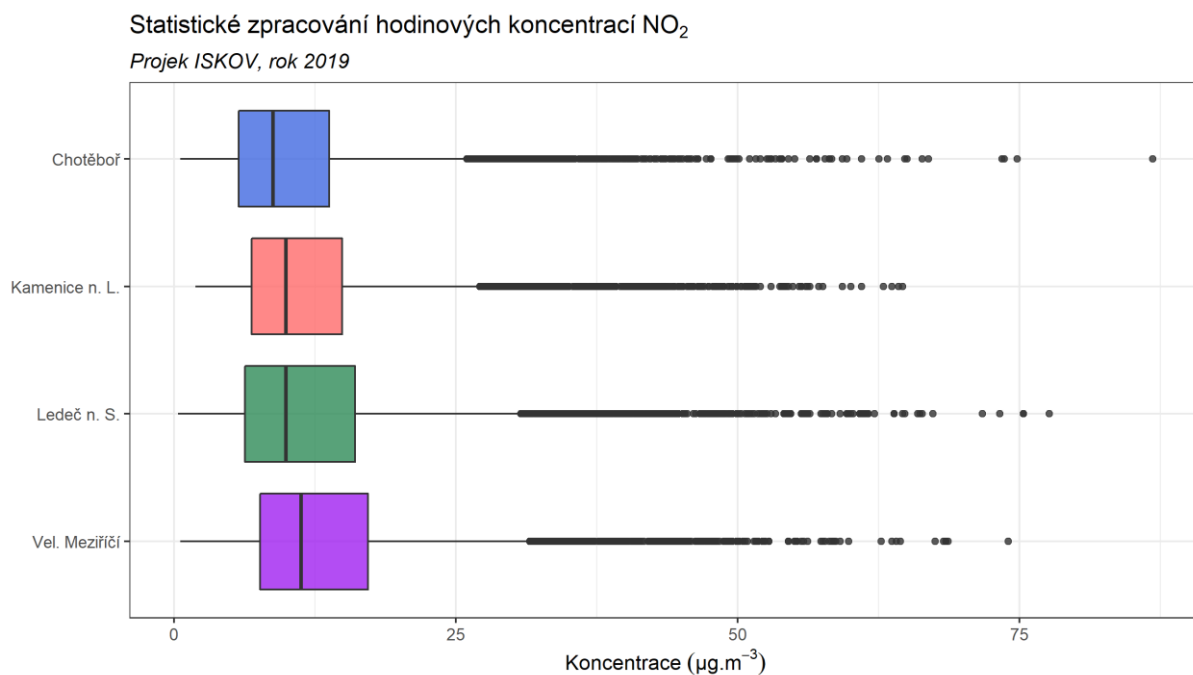
Závislost průměrných denních koncentrací NO<sub>2</sub> na relativní vlhkosti



Obr. 72 – Vliv relativní vlhkosti vzduchu na průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

### 3.3.4 Hodinové koncentrace a denní chod

Oxid dusičitý má legislativou stanovený imisní limit pro hodinové koncentrace. Sledována je 19. nejvyšší průměrná hodinová koncentrace za kalendářní rok, která nesmí překročit hodnotu  $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Uvádět samostatně hodinové koncentrace nemá smysl (8760 hodnot za rok), proto je zde pouze statistické zpracování hodinových hodnot pomocí krabicových grafů (Obr. 73), které je pro vyhodnocení dostačující.

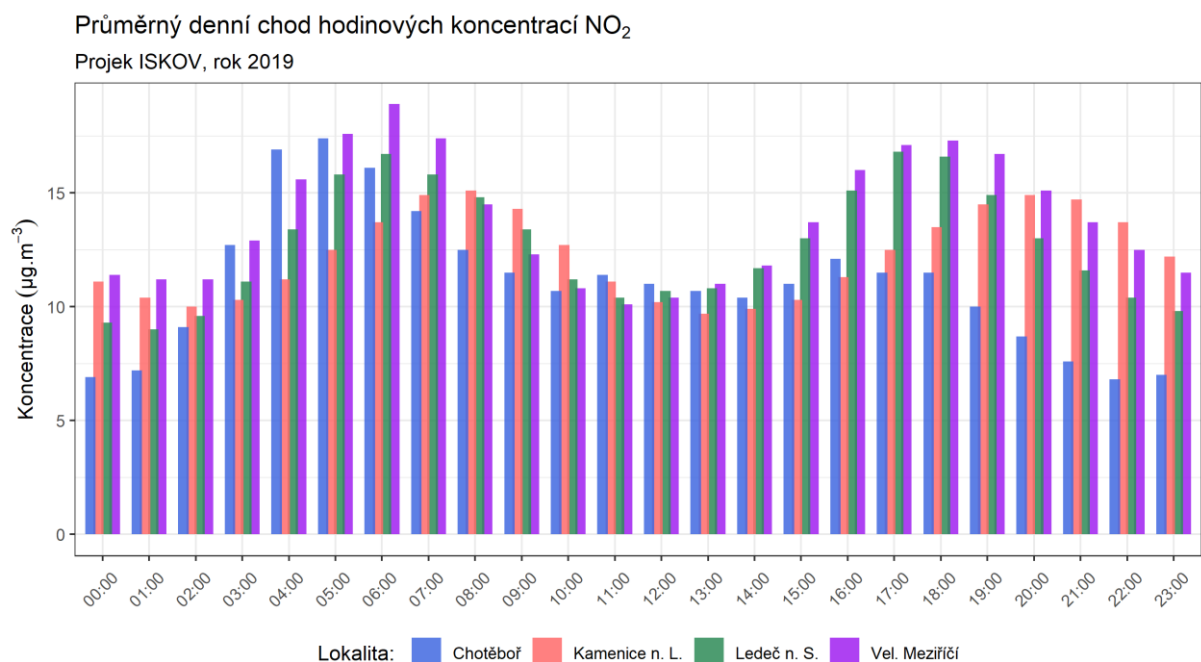


Obr. 73 – Statistické zpracování hodinových koncentrací  $\text{NO}_2$  v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2019

Z grafu je patrné, že mediány koncentrací zhruba sledují trend průměrných hodnot. **Důležité však je, že ani v jedné lokalitě nepřekročila maximální hodnota hodinových koncentrací hodnotu imisního limitu, natož pak 19. nejvyšší hodnota. Maximální naměřené hodnoty nedosáhly ani poloviny hodnoty imisního limitu.**

V lokalitě Velké Meziříčí byla naměřena nejvyšší hodnota 30. 1. 2019 v 17:00, kdy koncentrace dosáhly na hodnotu  $74 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Nejvyšší koncentrace v lokalitě Kamenice nad Lipou byla naměřena 8. 7. 2019 v 9:00 a měla hodnotu  $64,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , nejvyšší koncentrace v lokalitě Chotěboř byla naměřena 28. 1. 2019 v 16:00 a měla hodnotu  $86,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a nejvyšší koncentrace v lokalitě Ledec nad Sázavou byla naměřena 8. 7. 2019 v 09:00 a měla hodnotu  $77,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Z hlediska hodinových koncentrací je velmi zajímavou a užitečnou charakteristikou průměrný denní chod hodinových koncentrací. Ten umožňuje zjistit v kterou část dne jsou zpravidla měřeny nejvyšší koncentrace (Obr. 74).



Obr. 74 – Průměrný denní chod hodinových koncentrací NO<sub>2</sub>, projekt ISKOV, rok 2019. Čas je uváděn v UTC

Z grafu je velmi dobře patrné, že v průběhu dne dochází ke dvěma maximům, výraznější nastává ráno mezi 4. a 6. hodinou UTC, odpolední maximum pak nastává mezi 16. až 18. hodinou UTC. Tato maxima lze spojit jednak s ranní a odpolední dopravní špičkou, ale také s dobou, kdy se zatápí. Tyto dva faktory zřejmě hrají svou roli v nárůstu koncentrací NO<sub>2</sub> na všech lokalitách. Vyšší hodnoty jsou měřeny v dopravou zatíženějších lokalitách. Přes den jsou koncentrace podstatně nižší, část koncentrací oxidů dusíku se mimo jiné spotřebovává na tvorbu přízemního ozónu. V noci koncentrace neklesají tak výrazně jako přes den, což je jednak důsledek nepřítomnosti slunečního záření, nutného pro fotochemické reakce oxidů dusíku v atmosféře, a dále pak také důsledek emisí z vytápění.

### 3.3.5 Růžice – detailní analýza hodinových hodnot

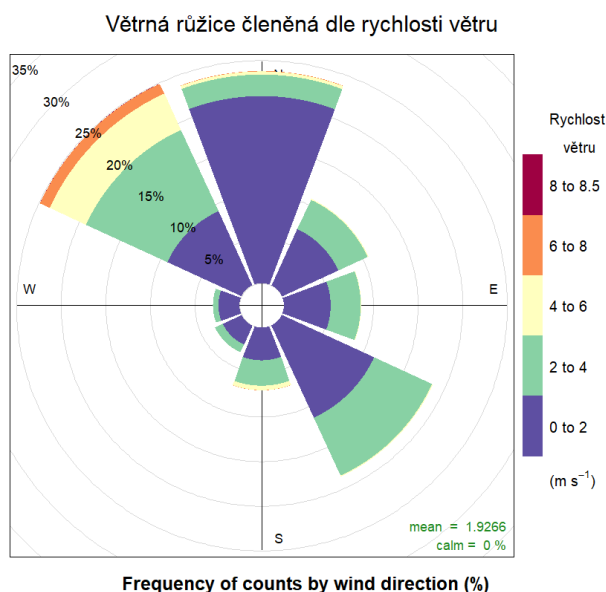
V této podkapitole budou pro všechny lokality připraveny větrné a koncentrační růžice. Větrná růžice bude kromě směrů větru členěna rovněž dle rychlostí větru, které jsou pro koncentrace škodlivin důležité.

Koncentrační růžice jsou nástroj pro analýzu znečištění ovzduší na základě meteorologických charakteristik. Pro jejich konstrukci jsou použita hodinová data meteorologických prvků a koncentrací škodlivin. Vychází se z větrné růžice, do polárních souřadnic se ukládá jednak směr větru jako u klasické větrné růžice, a dále pak rychlost větru – ve středu růžice je bezvětří, s rostoucí vzdáleností od středu roste rychlost větru. Pro jednotlivé rychlosti a směry větru je pak v koncentrační růžici zprůměrována koncentrace dané škodliviny, naměřená vždy při daných rychlostech a směrech větru. Koncentrace je vyjádřena barevnou škálou.

Základní koncentrační růžice tak ukazuje, při jakých rychlostech a směrech větru jsou v průměru dosahovány (nejvyšší) koncentrace. Vážená koncentrační růžice pak vypočte vážený průměr (tzn., že je vzata v úvahu také četnost výskytu), a dává tak informaci, jakým procentem se jednotlivé směry větru podílí na měřených koncentracích dané škodliviny.

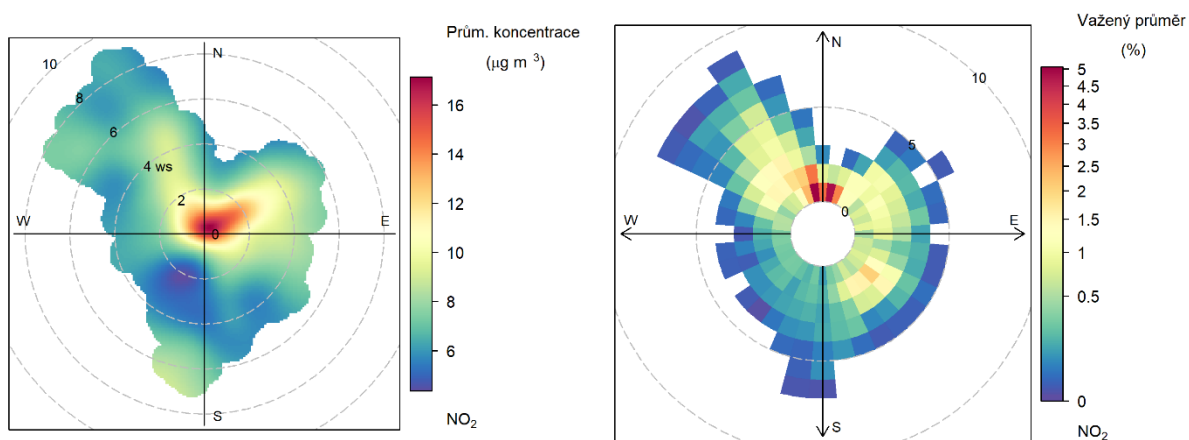
### 3.3.5.1 Chotěboř

Na Obr. 75 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Chotěboř*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severních až severozápadních směrů. Lokalita je dobře provětrávaná, byly měřeny i vyšší rychlosti větru. Bezvětří se v této lokalitě prakticky nevyskytuje. Průměrná rychlost proudění větru byla cca  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



Obr. 75 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Chotěboř, rok 2019

Následující Obr. 76 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro  $\text{NO}_2$  v lokalitě *Chotěboř*.

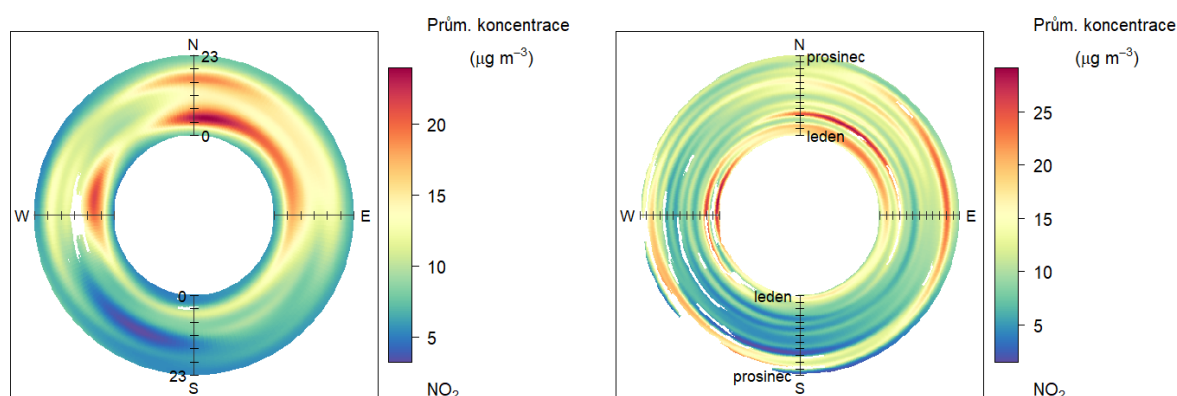


Obr. 76 – Koncentrační růžice  $\text{NO}_2$ , lokalita Chotěboř, rok 2019



Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze severovýchodu až severozápadu a při nízkých rychlostech větru. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění NO<sub>2</sub> přišlo ze severních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

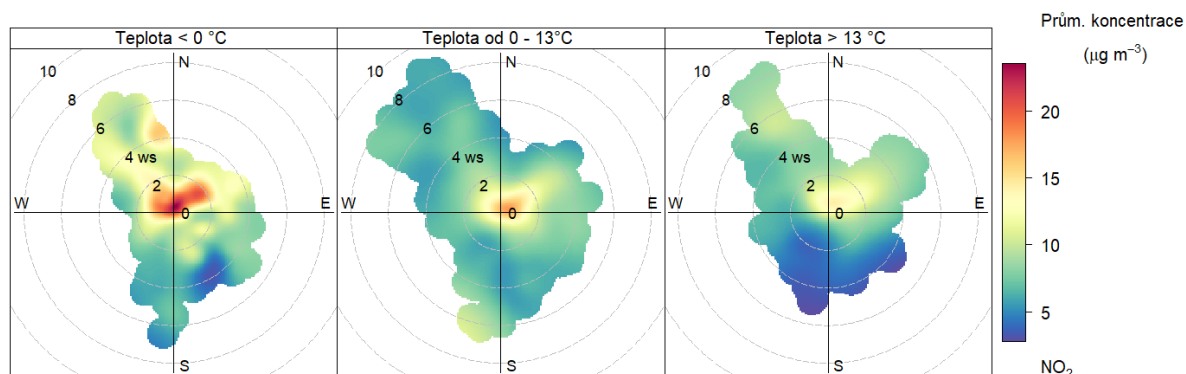
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu Chotěboř je tento denní chod vynesena na Obr. 77.



Obr. 77 – Denní a roční chod koncentrací NO<sub>2</sub> členěný dle směru větru, lokalita Chotěboř, rok 2019

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací NO<sub>2</sub> je důležitá ranní a odpolední špička zejména ze severního až severovýchodního směr větru. Maxima jsou pak dosahována zejména v ranních hodinách. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace převážně v topné sezóně.

Následující Obr. 78 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0 °C, prostřední růžice zobrazuje koncentrace NO<sub>2</sub> při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

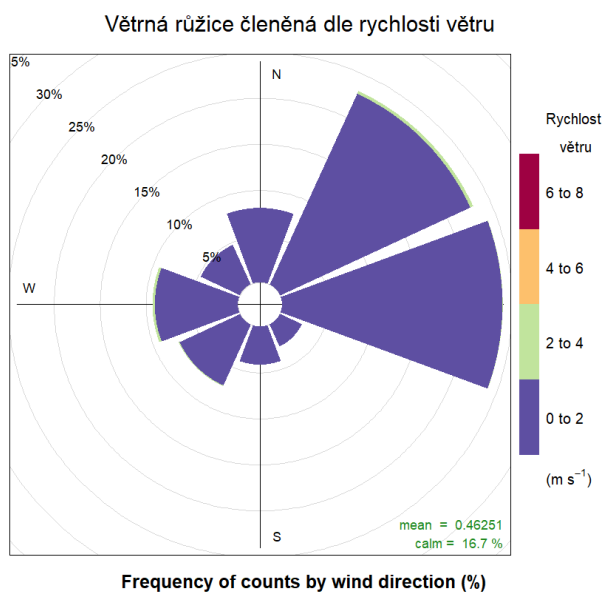


Obr. 78 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Chotěboř, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že vysoké koncentrace jsou při teplotách nižších, než je bod mrazu, měřeny při nízkých rychlostech větru až bezvětří. Při vyšších teplotách jsou měřeny zvýšené koncentrace NO<sub>2</sub> ze severních směrů při nízkých rychlostech větru.

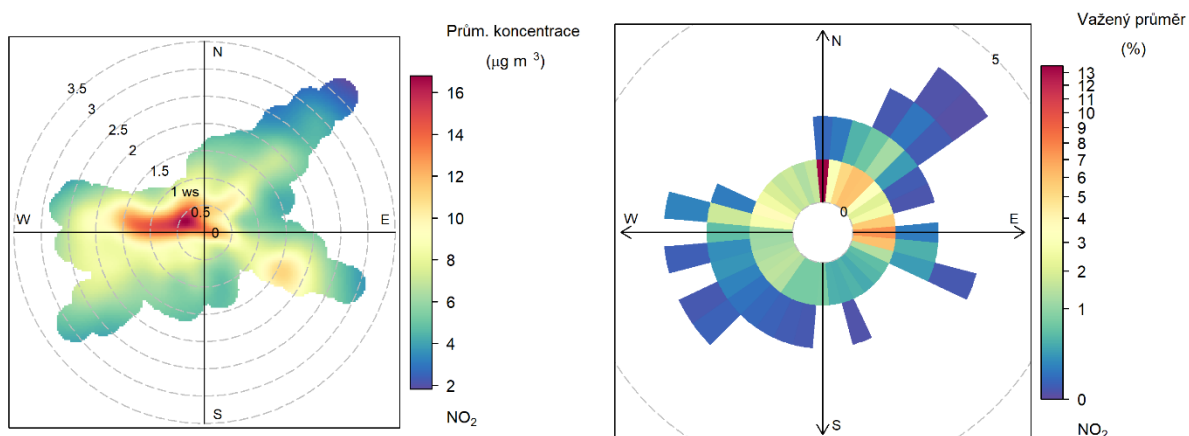
### 3.3.5.2 Kamenice nad Lipou

Na Obr. 79 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Kamenice nad Lipou*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především z východních a severovýchodních směrů, vyšší rychlosti větru než 2 m·s<sup>-1</sup> pak byly zaznamenány pouze ojediněle ze severovýchodních směrů. Bezvětří panovalo zhruba v 16,7 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 0,5 m·s<sup>-1</sup>.



Obr. 79 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Kamenice nad Lipou, rok 2019

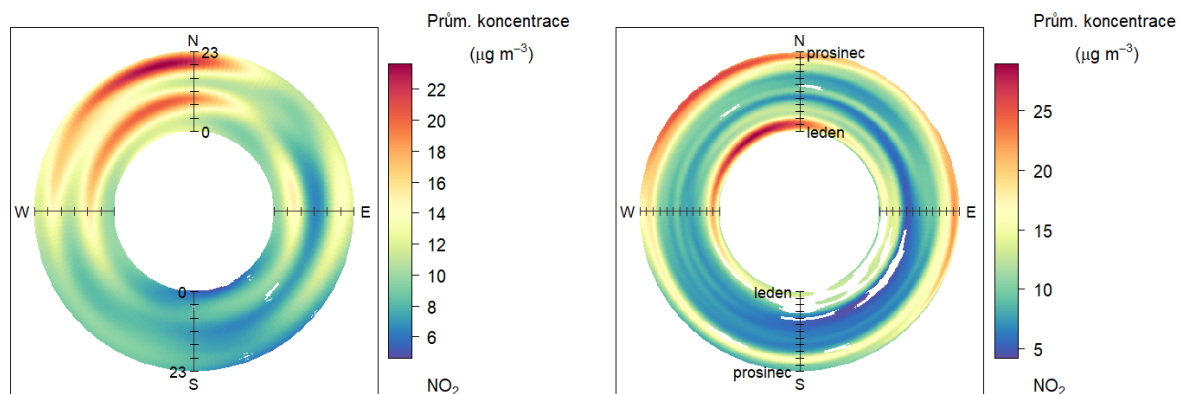
Následující Obr. 80 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro NO<sub>2</sub> v lokalitě *Kamenice nad Lipou*.



Obr. 80 – Koncentrační růžice NO<sub>2</sub>, lokalita Kamenice nad Lipou, rok 2019

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze západu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění NO<sub>2</sub> přišlo ze severních a východních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

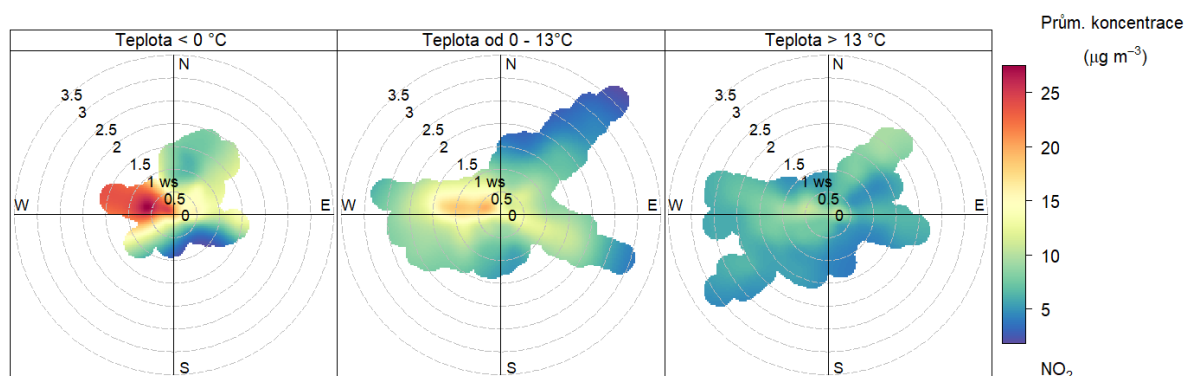
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Kamenice nad Lipou* je tento denní chod vynesena na Obr. 81.



Obr. 81 – Denní a roční chod koncentrací NO<sub>2</sub> členěný dle směru větru, lokalita *Kamenice nad Lipou*, rok 2019

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací NO<sub>2</sub> je důležitý zejména severozápadní až severní směr větru. Maxima jsou pak dosahována zejména v době dopravních špiček, vyšší koncentrace jsou měřeny v odpoledních až večerních hodinách, kdy se k dopravě přidává také vytápění domácností. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace pouze v topné sezóně.

Následující Obr. 82 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0 °C, prostřední růžice zobrazuje koncentrace NO<sub>2</sub> při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

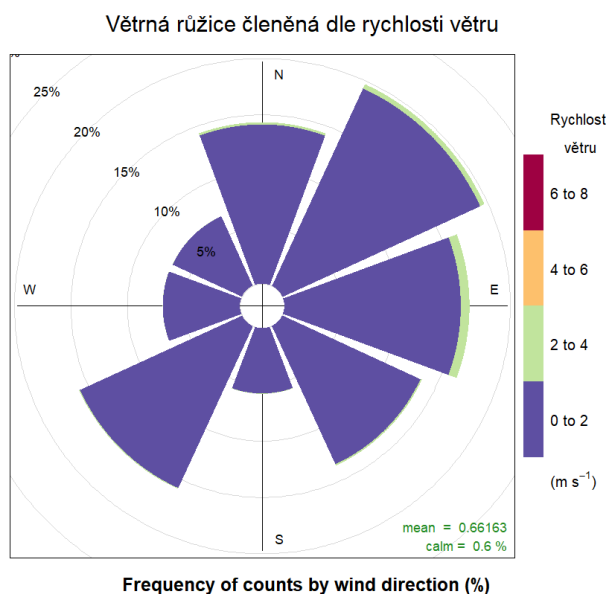


Obr. 82 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Kamenice nad Lipou*, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že vysoké koncentrace jsou takřka výhradně měřeny při teplotách nižších, než je bod mrazu ze západních směrů. Při teplotách nad 0 °C jsou ještě měřeny mírně vyšší koncentrace, při teplotách nad 13 °C jsou koncentrace jen velmi nízké.

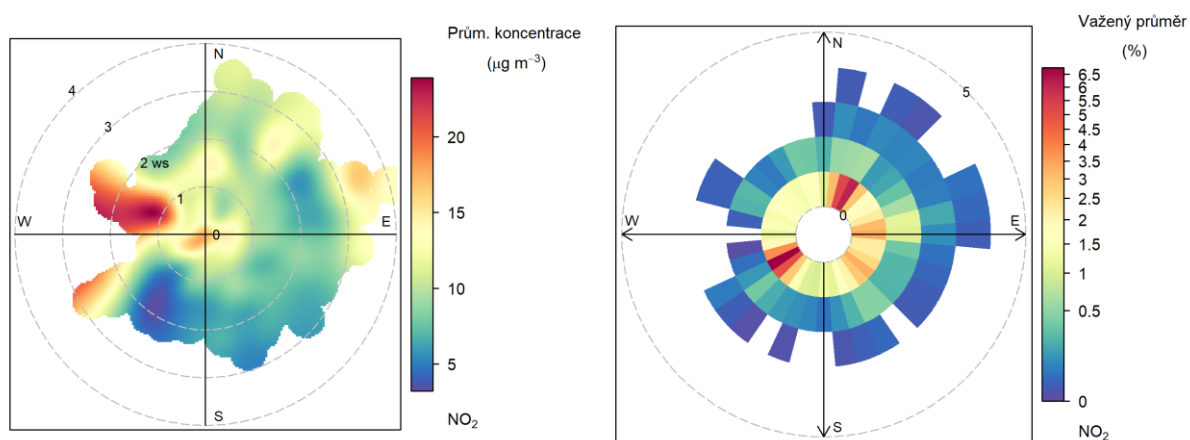
### 3.3.5.3 Ledeč nad Sázavou

Na Obr. 83 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Ledeč nad Sázavou*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká téměř ze všech směrů, méně zastoupeny jsou jižní, západní a severozápadní směr. Vyšší rychlosti větru než 2 m·s<sup>-1</sup> pak byly zaznamenány převážně z východních směrů. Bezvětrí panovalo zhruba v 0,6 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 0,6 m·s<sup>-1</sup>.



Obr. 83 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Ledeč nad Sázavou, rok 2019

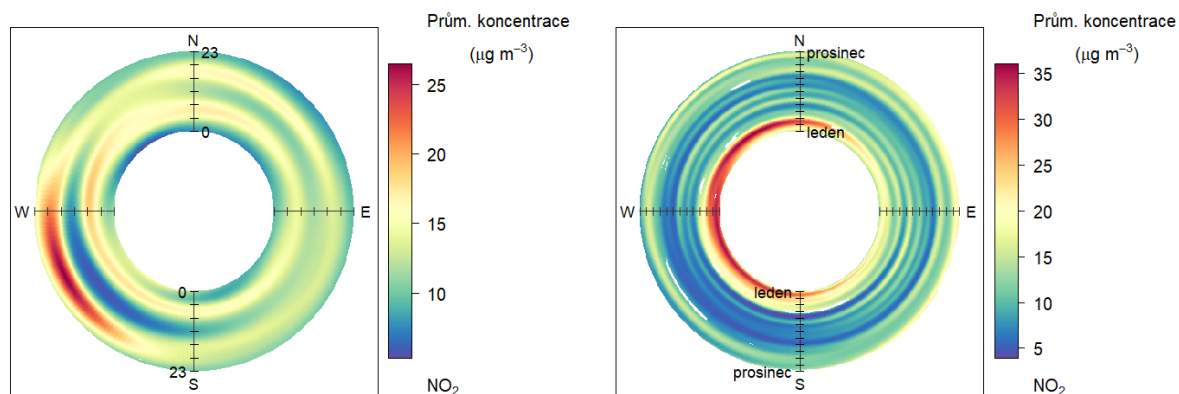
Následující Obr. 84 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro NO<sub>2</sub> v lokalitě *Ledeč nad Sázavou*.



Obr. 84 – Koncentrační růžice NO<sub>2</sub>, lokalita Ledeč nad Sázavou, rok 2019

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze západu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění NO<sub>2</sub> přišlo ze severovýchodních a jihozápadních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

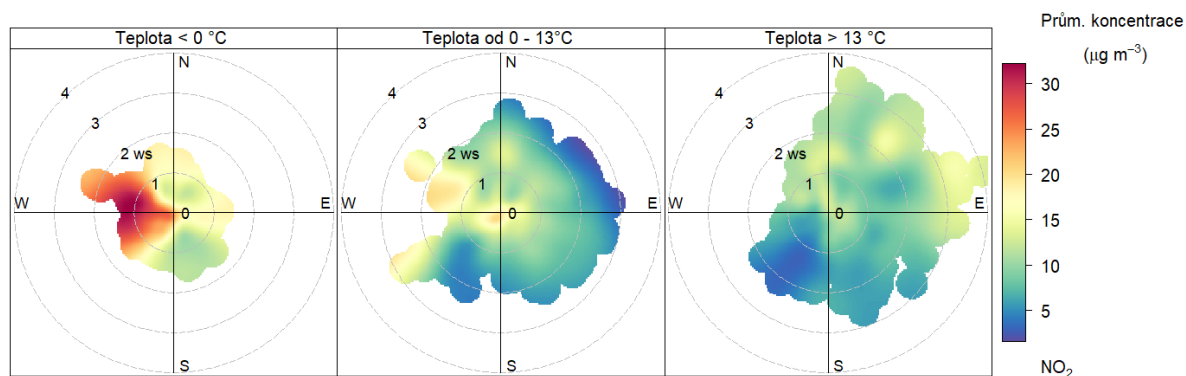
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Ledeč nad Sázavou* je tento denní chod vynesena na Obr. 85.



Obr. 85 – Denní a roční chod koncentrací NO<sub>2</sub> členěný dle směru větru, lokalita *Ledeč nad Sázavou*, rok 2019

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací NO<sub>2</sub> jsou důležité zejména večerní hodiny, a to téměř ze západních až jihozápadních směrů. To může souviset se zatápním lidí v obci po návratu z práce. Navíc jsou v noci obecně horší rozptylové podmínky. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace pouze v topné sezóně.

Následující Obr. 86 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0 °C, prostřední růžice zobrazuje koncentrace NO<sub>2</sub> při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

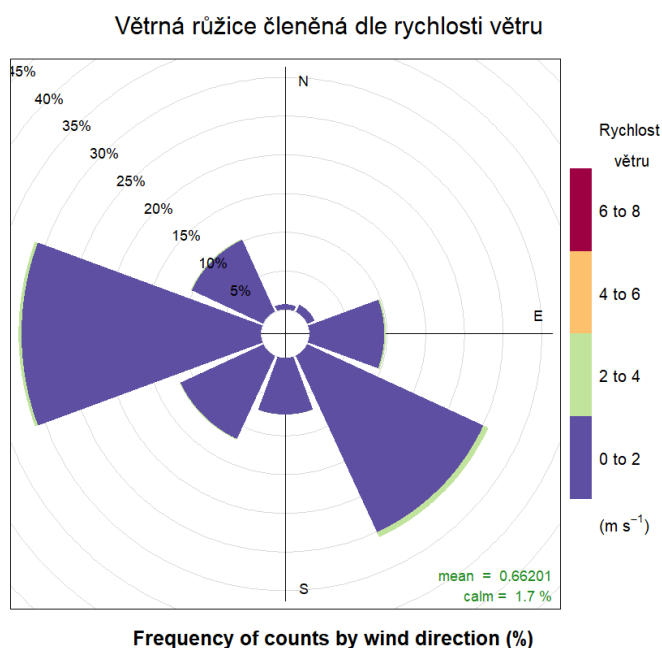


Obr. 86 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Ledeč nad Sázavou*, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že při teplotách pod 0 °C jsou měřeny zvýšené koncentrace při proudění ze západu, z ostatních směrů jsou pouze zvýšené. Při teplotách nad 0 °C i při teplotách nad 13 °C jsou měřeny pouze nízké koncentrace NO<sub>2</sub>.

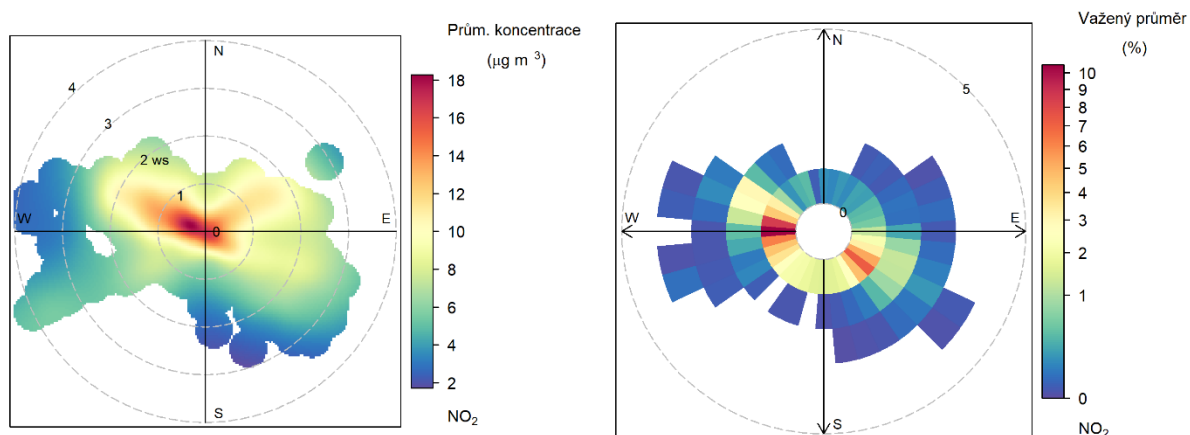
### 3.3.5.4 Velké Meziříčí

Na Obr. 87 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Velké Meziříčí*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze západních a jihovýchodních směrů, vyšší rychlosti větru než 2 m·s<sup>-1</sup> takřka nebyly zaznamenány. Bezvětří panovalo zhruba v 1,7 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 0,6 m·s<sup>-1</sup>.



Obr. 87 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Velké Meziříčí, rok 2019

Následující Obr. 88 zobrazuje koncentrační a vážený koncentrační růžici pro NO<sub>2</sub> v lokalitě *Velké Meziříčí*.

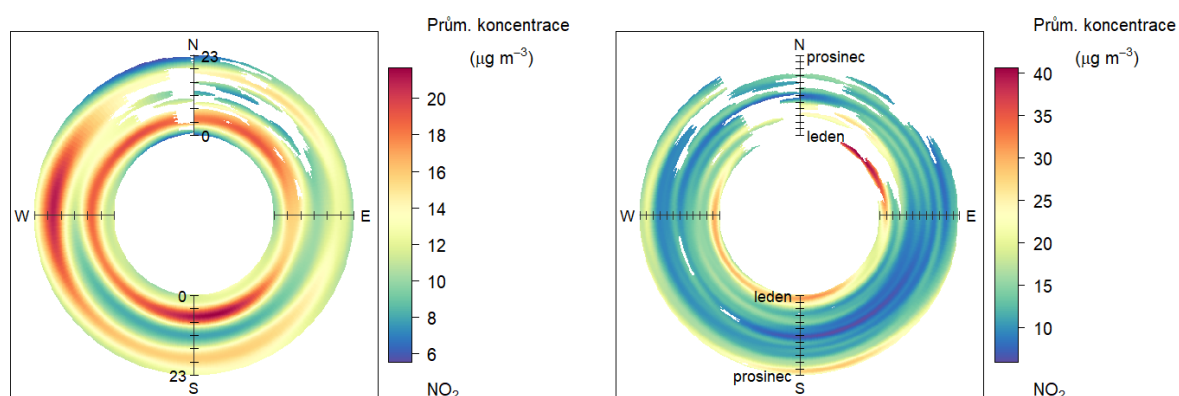


Obr. 88 – Koncentrační růžice NO<sub>2</sub>, lokalita Velké Meziříčí, rok 2019



Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při velmi proudění ze severozápadu až západu a nízkých rychlostech větru. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění NO<sub>2</sub> přišlo ze západních a jihovýchodních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

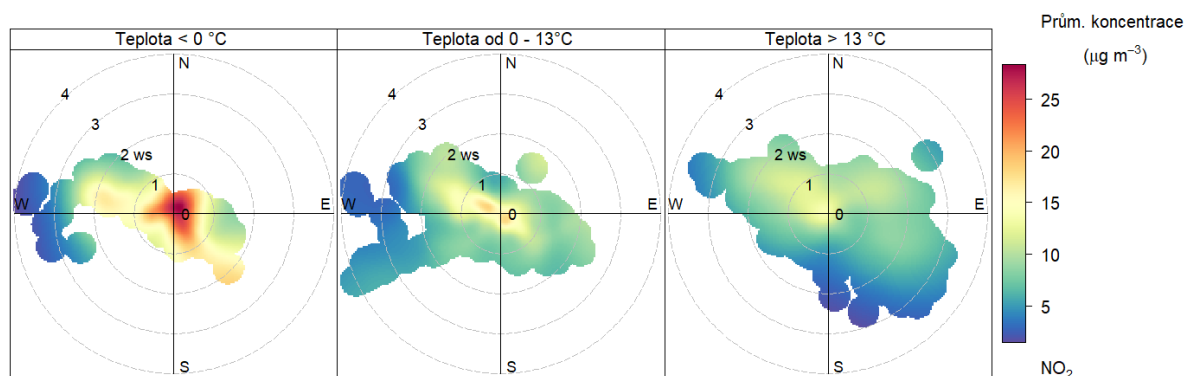
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Velké Meziříčí* je tento denní chod vynesena na Obr. 89.



Obr. 89 – Denní a roční chod koncentrací NO<sub>2</sub> členěný dle směru větru, lokalita *Velké Meziříčí*, rok 2019

Z obrázku je patrné, že z hlediska vysokých koncentrací NO<sub>2</sub> je důležitý zejména západní a jižní směr větru. Maxima jsou pak dosahována zejména v ranních a večerních hodinách. To může souviset s dopravní špičkou při návratu z práce a také se zatápěním lidí v obci po návratu z práce. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace převážně v topné sezóně (jižní směry pouze v topné sezóně), ale nejen v ní, což může souviset se zatížením dopravou.

Následující Obr. 90 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0 °C, prostřední růžice zobrazuje koncentrace NO<sub>2</sub> při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.



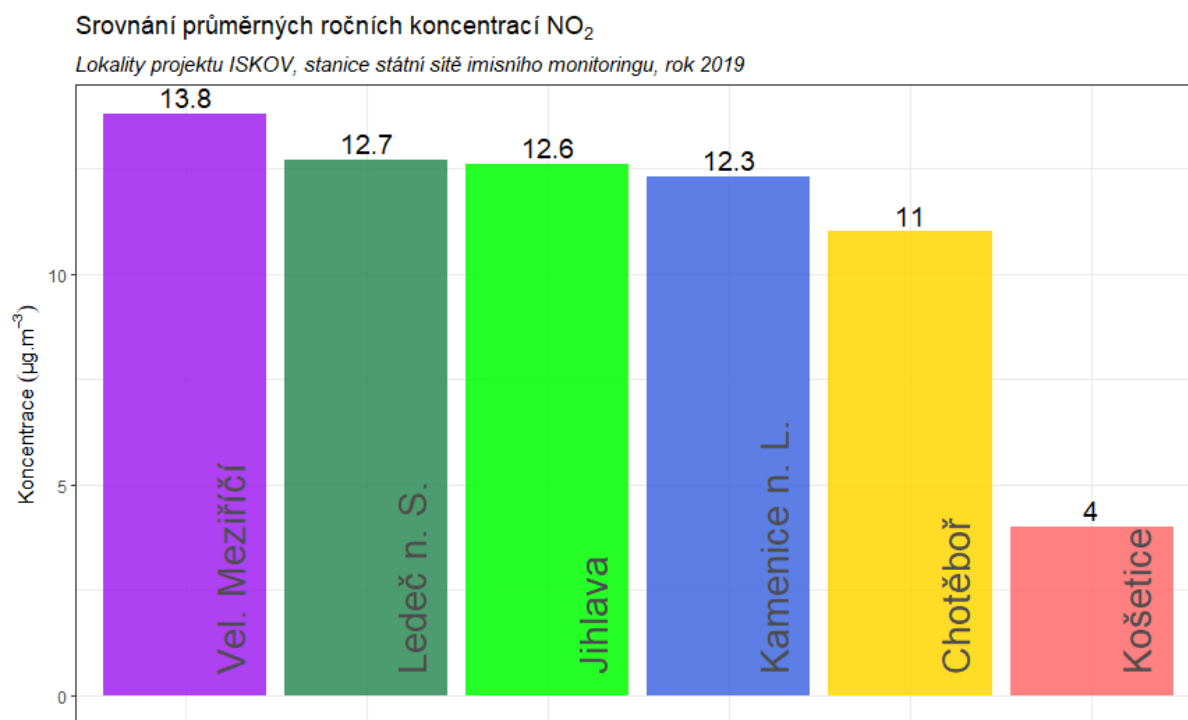
Obr. 90 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Velké Meziříčí*, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že při teplotách pod 0 °C jsou měřeny vysoké koncentrace při bezvětří a při proudění ze severních a jihovýchodních směrů. Při teplotách nad 0 °C jsou opět měřeny zvýšené koncentrace pouze při bezvětří.

### 3.3.6 Srovnání koncentrací NO<sub>2</sub> s lokalitami státní sítě imisního monitoringu

V následujícím grafu na Obr. 91 je zobrazeno srovnání měřicích lokalit projektu ISKOV s lokalitami státní sítě imisního monitoringu (SSIM). Graf srovnává průměrné roční koncentrace NO<sub>2</sub>.

V případě koncentrací NO<sub>2</sub> naměřila nejvyšší roční průměrnou hodnotu lokalita Velké Meziříčí. Nejnižší hodnoty průměrné roční koncentrace NO<sub>2</sub> byly naměřeny v lokalitě Košetice.



Obr. 91 – Srovnání průměrných ročních koncentrací NO<sub>2</sub>, lokality projektu ISKOV a lokality SSIM, rok 2019

### 3.4 PŘÍZEMNÍ OZÓN

Přízemní ozón  $O_3$  nemá v atmosféře vlastní významný zdroj. Jedná se o tzv. sekundární látku vznikající v celé řadě velmi komplikovaných nelineárních fotochemických reakcí [12]. Prekurzory  $O_3$  jsou oxidy dusíku ( $NO_x$ ) a nemetanické těkavé organické látky (NMVOC), v globálním měřítku hrají roli i metan ( $CH_4$ ) a oxid uhelnatý (CO). Důležitou reakcí je fotolýza  $NO_2$  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  $O_3$ . Současně probíhá titrace  $O_3$  oxidem dusnatým za vzniku  $NO_2$  a  $O_2$ . Pokud je při této reakci  $O_3$  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  $O_3$  z prekurzorů nezáleží pouze na absolutním množství prekurzorů, ale i na jejich vzájemném poměru [13]. V oblastech, kde je režim limitovaný  $NO_x$ , charakterizovaný relativně nízkými koncentracemi  $NO_x$  a vysokými koncentracemi VOC, narůstají koncentrace  $O_3$  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  $O_3$  s rostoucími koncentracemi  $NO_x$  a nárůstu koncentrací  $O_3$  s rostoucími koncentracemi VOC. Oblasti s vysokým poměrem  $NO_x/VOC$  jsou typicky znečištěné oblasti okolo center velkých měst. Závislost vzniku  $O_3$  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  $O_3$  hrají nejen koncentrace prekurzorů, ale i meteorologické podmínky [14]. Imisní koncentrace  $O_3$  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  $O_3$  mohou zvyšovat i epizodicky v důsledku průniku stratosférického  $O_3$  do troposféry a též při bouřkách. V poslední době se též zvyšuje význam dálkového přenosu  $O_3$  v rámci proudění na severní polokouli do Evropy a Severní Ameriky ze zdrojových oblastí jihovýchodní Asie.  $O_3$  je z atmosféry odstraňován reakcí s NO a suchou depozicí.

### 3.5 8HODINOVÉ KLOUZAVÉ PRŮMĚRY $O_3$

Z hlediska ochrany kvality ovzduší stanovuje příloha 1, bod 4 zákona o ochraně ovzduší [2] 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.**

Jelikož se ve všech lokalitách měří pouze jeden rok, uvádí následující Tab. 11 v sestupném pořadí 26 nejvyšších 8hodinových klouzavých průměrů koncentrací O<sub>3</sub> za den v roce 2019. Z tabulky vyplývá, že Lokalita Velké Meziříčí překročila imisní limit 120 µg·m<sup>-3</sup>, ostatní lokality tak vysokých hodnot nedosahovaly a imisní limit dodržely, i když lokalita Chotěboř se mu velmi přiblížila. Srovnání 26. nejvyšších 8hodinových klouzavých průměrů koncentrací O<sub>3</sub> za den přehledně zobrazuje Obr. 92. Vývoj maximálních denních 8hodinových klouzavých průměrů O<sub>3</sub> v roce 2013 v jednotlivých lokalitách pak zobrazuje Obr. 94.

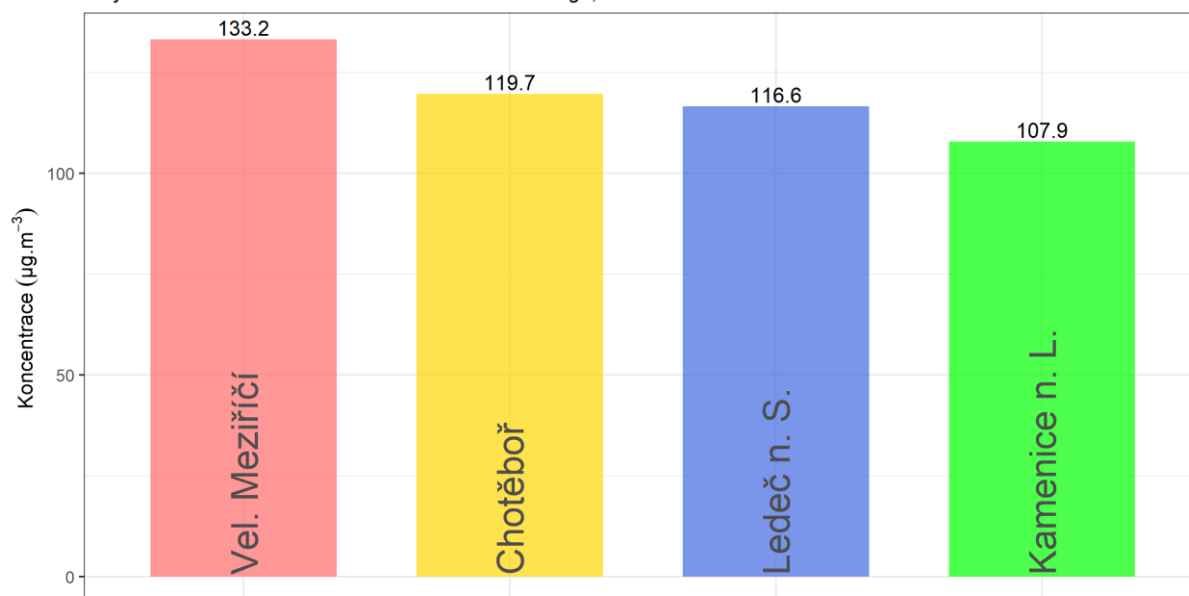
Maximální 8hodinové klouzavé průměry koncentrací O<sub>3</sub> v jednotlivých měsících zobrazuje Obr. 93. Vysoké hodnoty v letních měsících souvisí s delším slunečním svitem a vyššími teplotami, tj. podmínkami vhodnými pro tvorbu troposférického ozónu.

Tab. 11 – Vyhodnocení 26 nejvyšších 8hodinových klouzavých průměrů O<sub>3</sub> za den, projekt ISKOV, rok 2019

POŘADÍ	CHOTĚBOŘ	KAMENICE N. L.	LEDEČ N. S.	VEL. MEZIŘÍČÍ
1	140,1	127,9	132,3	166,1
2	137,5	127,6	130,8	157,4
3	134,7	125,5	129,3	152,7
4	132,7	120,7	128,4	151,9
5	132	120,3	128,1	151,8
6	131,3	120	127,7	149,4
7	130	119,7	127,4	147,6
8	129,9	119,4	127,1	146,5
9	129,7	116,9	126,6	145,8
10	128,9	116,3	126,5	143,8
11	128,5	116,3	123,6	142,9
12	126,7	116	122,9	142,3
13	126,6	116	121,7	142,1
14	126,3	115,7	121	141,3
15	124,2	115	120,7	141
16	123,4	114,1	120,3	140
17	123,2	113,8	120,3	139,3
18	122,5	113,2	120,3	137,9
19	121,9	112,1	119,3	137,8
20	121,5	111,5	118,6	137,7
21	121,4	111,5	118,6	136,1
22	121,4	109,6	118,4	136
23	120,9	109	118,3	135,8
24	120,7	108,2	118	135,2
25	120,2	108,1	117,9	134,6
26	<b>119,7</b>	<b>107,9</b>	<b>116,6</b>	<b>133,2</b>

26. nejvyšší 8hodinový klouzavý průměr koncentrací O<sub>3</sub> za den

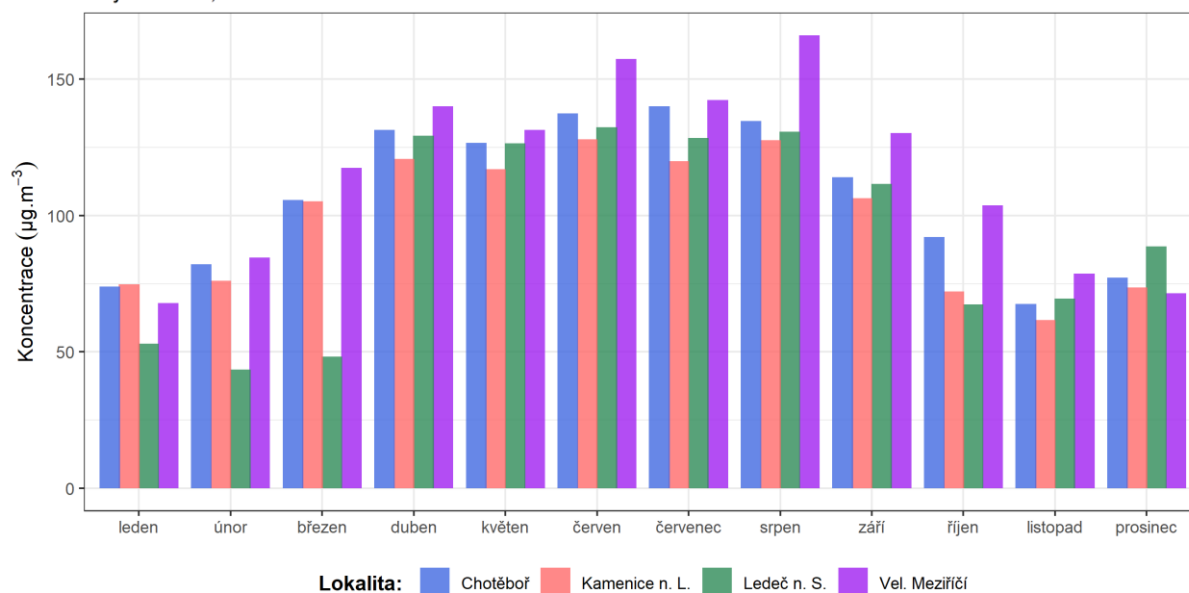
Projekt ISKOV a stanice státní sítě imisního monitoringu, rok 2019



Obr. 92 – 26. nejvyšší 8hodinový klouzavý průměr O<sub>3</sub> za den, projekt ISKOV a stanice státní sítě imisního monitoringu, rok 2019

Maximální měsíční 8hodinový klouzavý průměr koncentrací O<sub>3</sub>

Projekt ISKOV, rok 2019

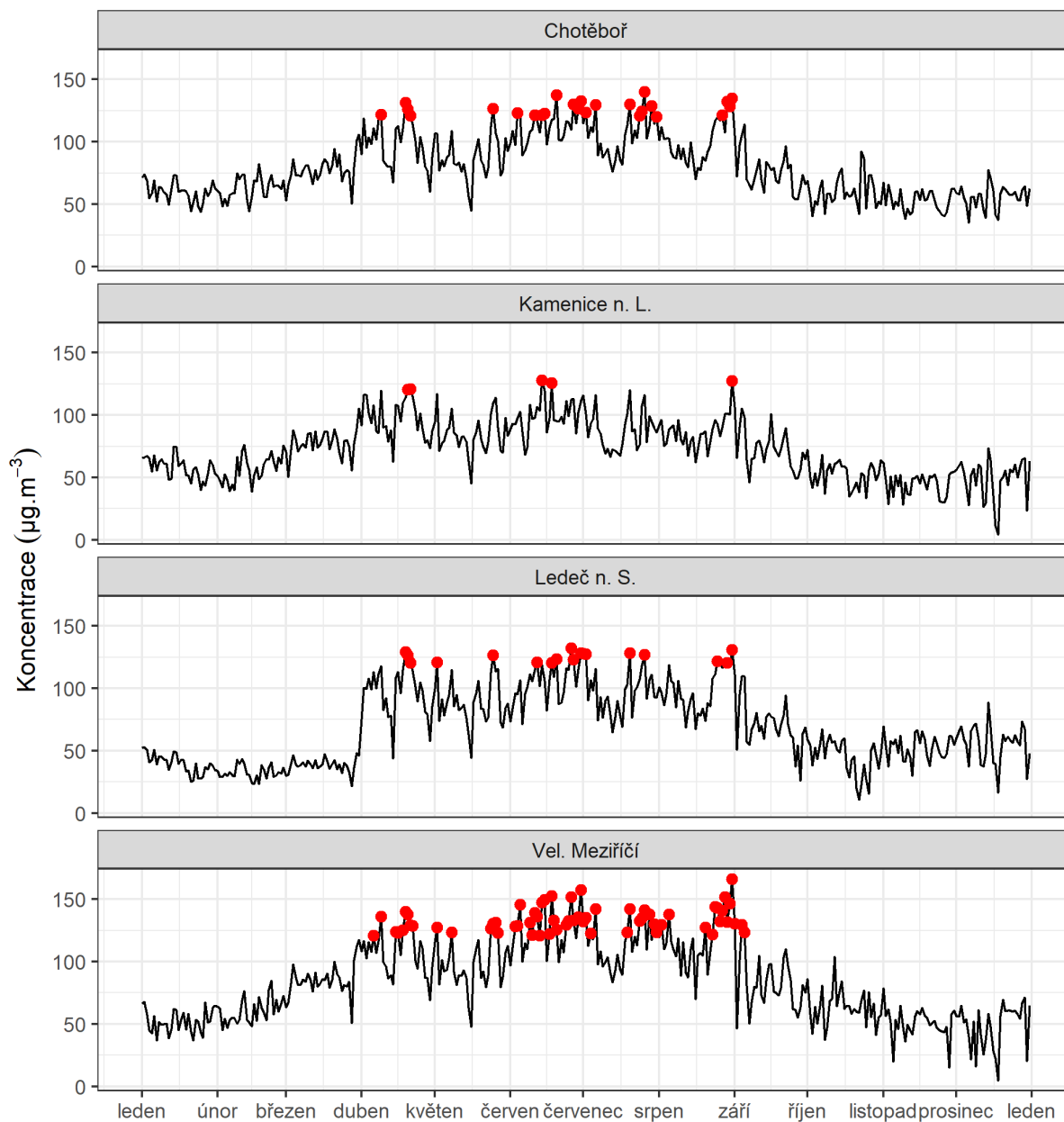


Obr. 93 – Maximální 8hodinový klouzavý průměr O<sub>3</sub> za den v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2019

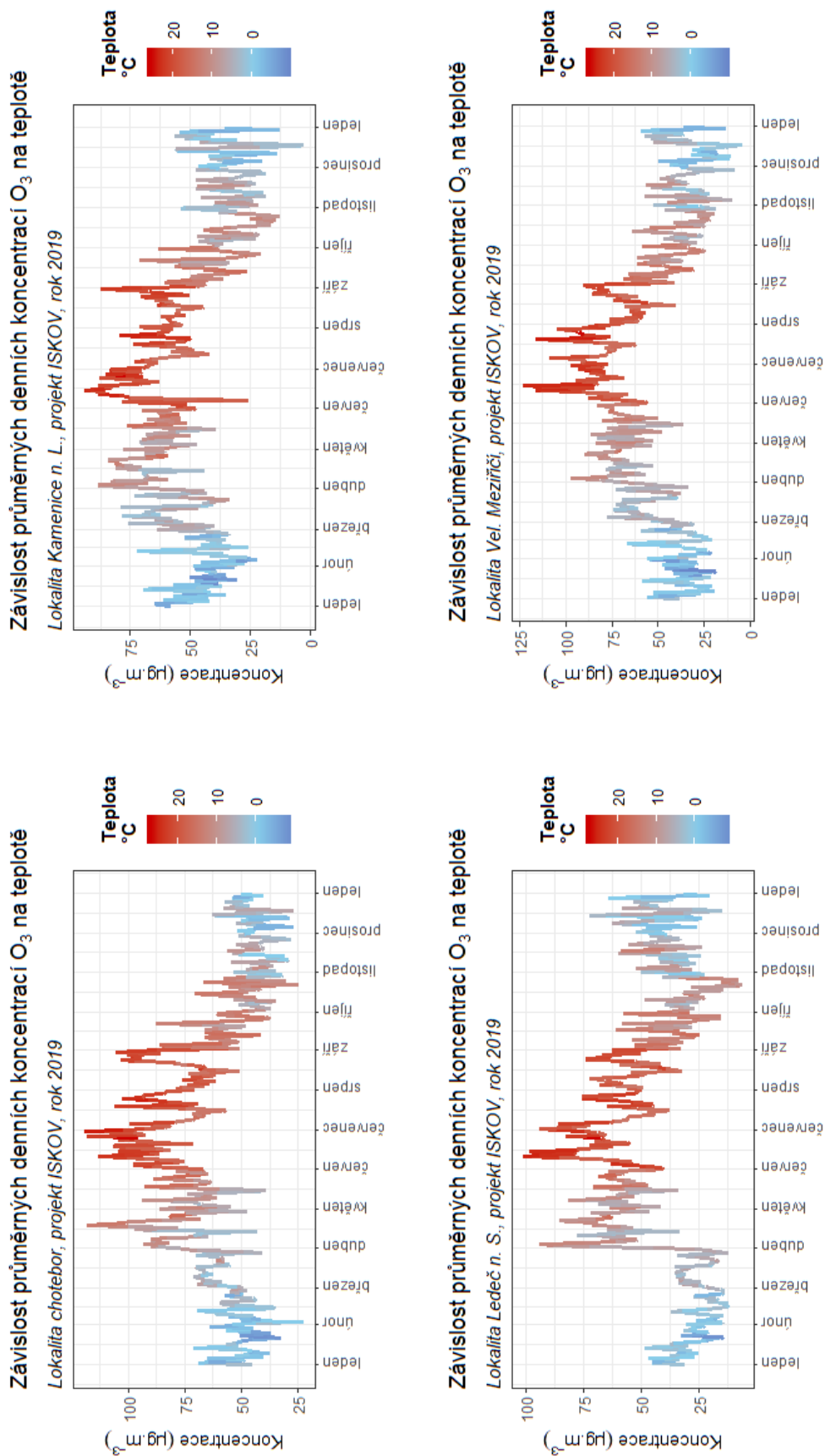
Na Obr. 95 – Obr. 97 je zobrazena závislost průměrných denních koncentrací O<sub>3</sub> na meteorologických veličinách. Je velmi dobře patrné, že vysoké koncentrace O<sub>3</sub> se vyskytují zejména při vysokých teplotách a nižších relativních vlhkostech vzduchu.

## Vývoj maximálních 8h klouzavých průměrů koncentrací O<sub>3</sub> za den

Projek ISKOV, rok 2019



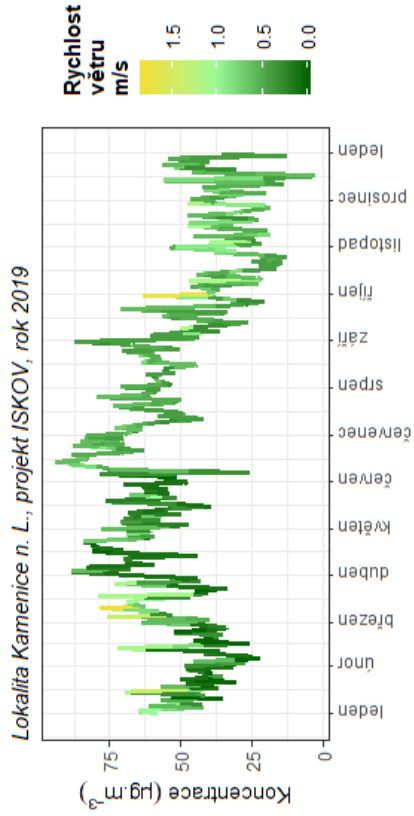
Obr. 94 – Vývoj maximálních 8hodinových klouzavých průměrů O<sub>3</sub> za den včetně vyznačení dnů s koncentracemi nad 120 µg·m<sup>-3</sup> (červeně) a nad 180 µg·m<sup>-3</sup> (fialově), projekt ISKOV, rok 2019



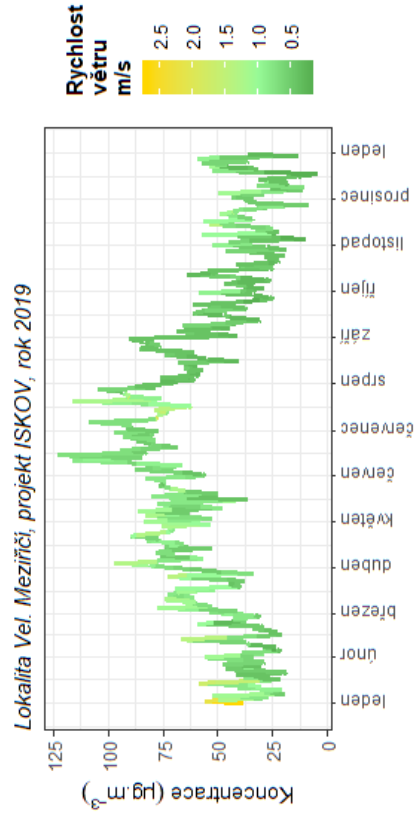
Obr. 95 – Vliv teploty vzduchu na průměrné denní koncentrace  $O_3$ , projekt ISKOV, rok 2019



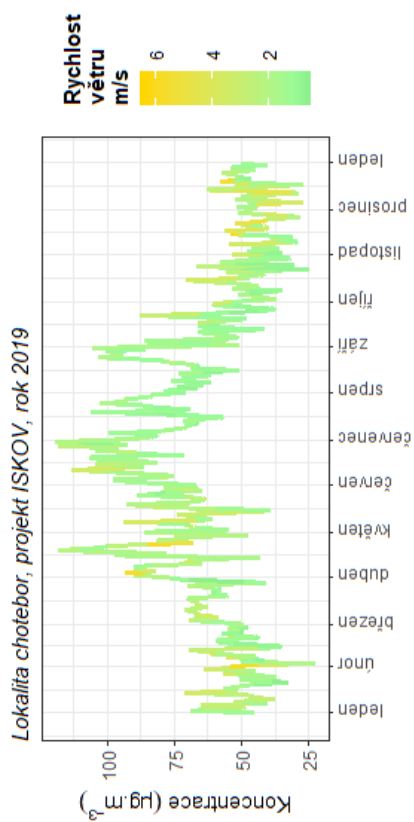
Závislost průměrných denních koncentrací  $O_3$  na rychlosti větru



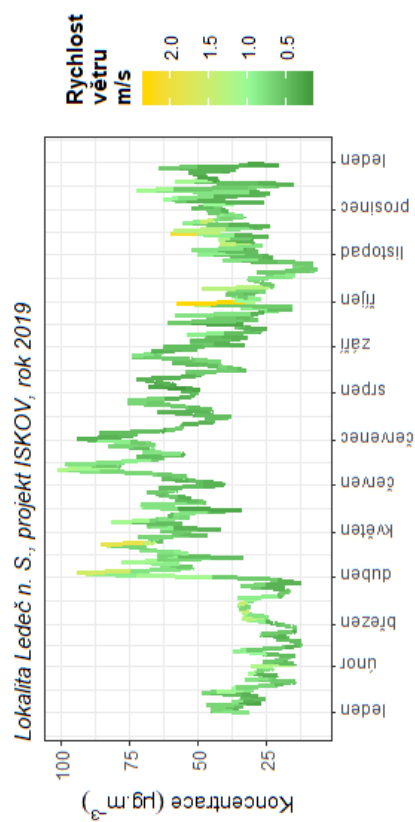
Závislost průměrných denních koncentrací  $O_3$  na rychlosti větru



Závislost průměrných denních koncentrací  $O_3$  na rychlosti větru

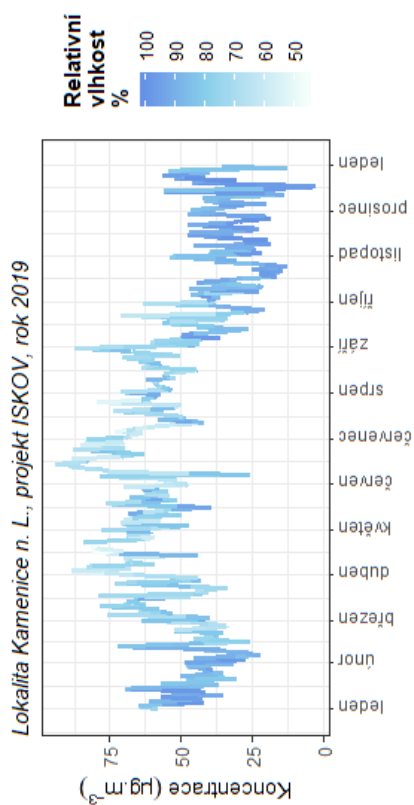


Závislost průměrných denních koncentrací  $O_3$  na rychlosti větru

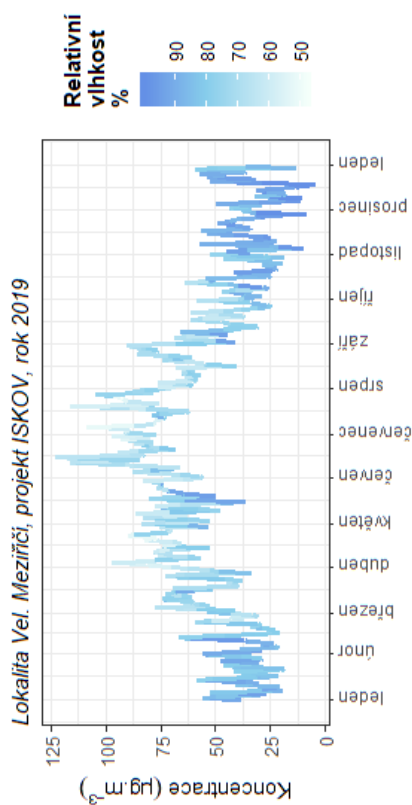


Obr. 96 – Vliv rychlosti větru na průměrné denní koncentrace  $O_3$ , projekt ISKOV, rok 2019

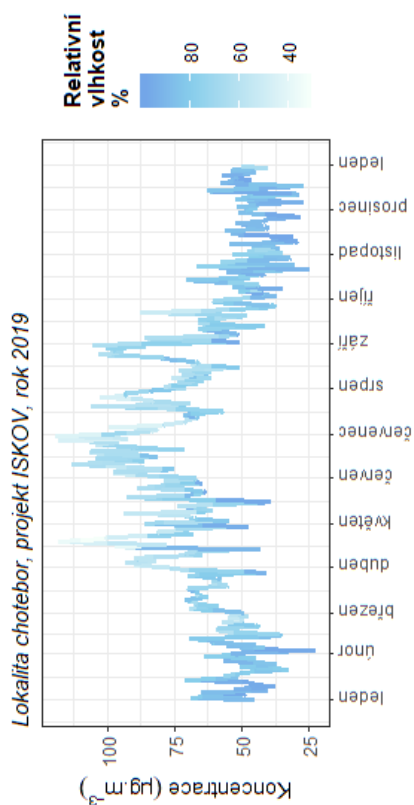
Závislost průměrných denních koncentrací O<sub>3</sub> na relativní vlhkosti



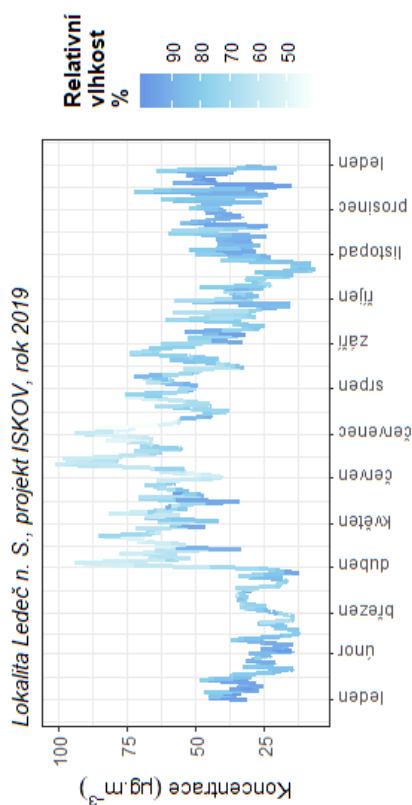
Závislost průměrných denních koncentrací O<sub>3</sub> na relativní vlhkosti



Závislost průměrných denních koncentrací O<sub>3</sub> na relativní vlhkosti



Závislost průměrných denních koncentrací O<sub>3</sub> na relativní vlhkosti



Obr. 97 – Vliv relativní vlhkosti vzduchu na průměrné denní koncentrace O<sub>3</sub>, projekt ISKOV, rok 2019

### 3.5.1 Růžice – detailní analýza hodinových hodnot

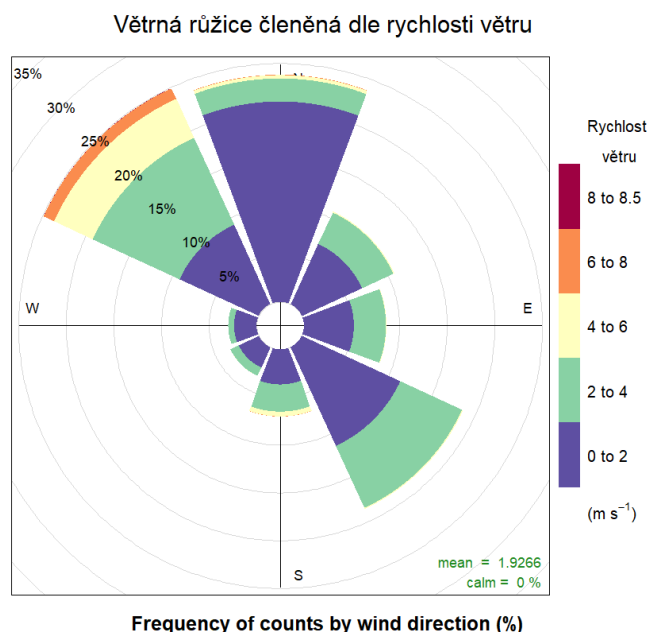
V této podkapitole budou pro všechny lokality připraveny větrné a koncentrační růžice. Větrná růžice bude kromě směrů větru členěna rovněž dle rychlostí větru, které jsou pro koncentrace škodlivin důležité.

Koncentrační růžice jsou nástroj pro analýzu znečištění ovzduší na základě meteorologických charakteristik. Pro jejich konstrukci jsou použita hodinová data meteorologických prvků a koncentrací škodlivin. Vychází se z větrné růžice, do polárních souřadnic se ukládá jednak směr větru jako u klasické větrné růžice, a dále pak rychlost větru – ve středu růžice je bezvětří, s rostoucí vzdáleností od středu roste rychlost větru. Pro jednotlivé rychlosti a směry větru je pak v koncentrační růžici zprůměrována koncentrace dané škodliviny, naměřená vždy při daných rychlostech a směrech větru. Koncentrace je vyjádřena barevnou škálou.

Základní koncentrační růžice tak ukazuje, při jakých rychlostech a směrech větru jsou v průměru dosahovány (nejvyšší) koncentrace. Vážená koncentrační růžice pak vypočte vážený průměr (tzn., že je vzata v úvahu také četnost výskytu), a dává tak informaci, jakým procentem se jednotlivé směry větru podílí na měřených koncentracích dané škodliviny.

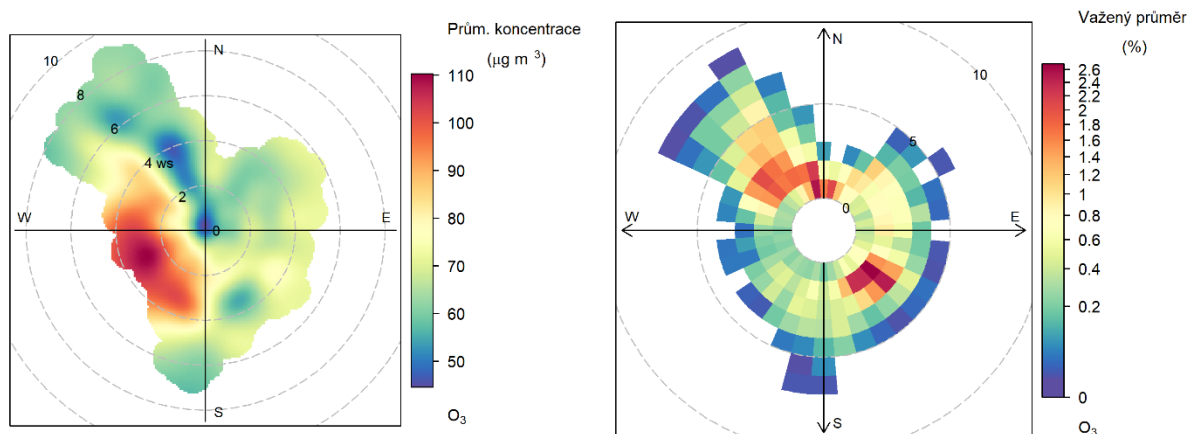
#### 3.5.1.1 Chotěboř

Na Obr. 98 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Chotěboř*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severních až severozápadních směrů. Lokalita je dobře provětrávaná, byly měřeny i vyšší rychlosti větru. Bezvětří se v této lokalitě prakticky nevyskytuje. Průměrná rychlost proudění větru byla cca  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



Obr. 98 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Chotěboř, rok 2019

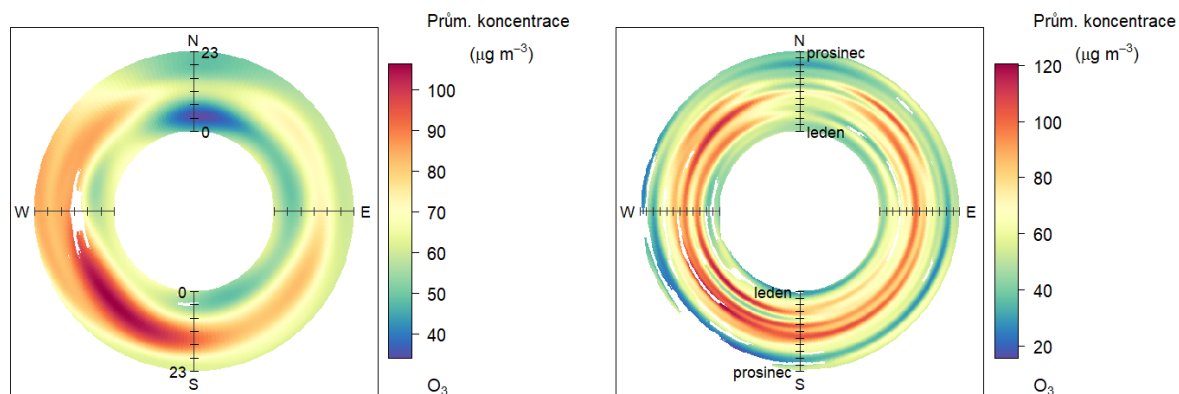
Následující Obr. 99 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro  $\text{O}_3$  v lokalitě *Chotěboř*.



Obr. 99 – Koncentrační růžice O<sub>3</sub>, lokalita Chotěboř, rok 2019

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění z jihozápadu až západu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění O<sub>3</sub> přišlo z jihovýchodních směrů a severovýchodních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

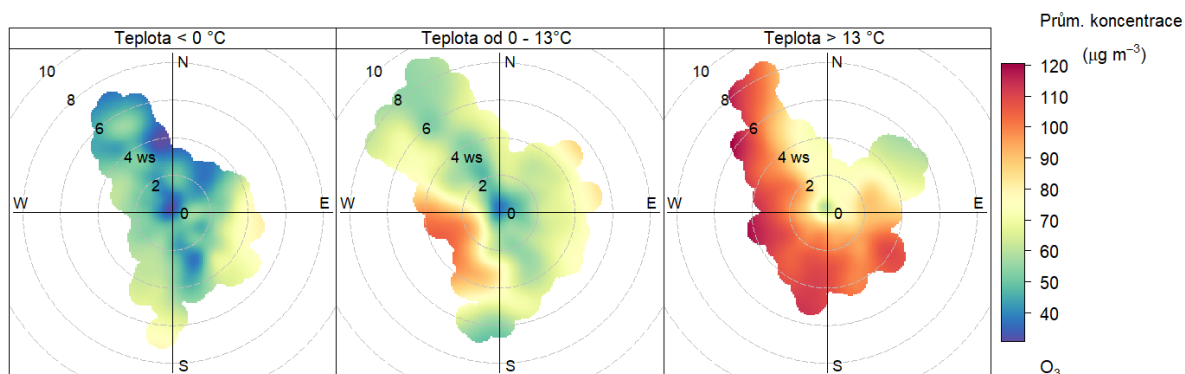
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu Chotěboř je tento denní chod vynesena na Obr. 100.



Obr. 100 – Denní a roční chod koncentrací O<sub>3</sub> členěný dle směru větru, lokalita Chotěboř, rok 2019

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací O<sub>3</sub> je důležitý sluneční svit, vysoké koncentrace se tak vyskytují především přes den a zejména při proudění z jihozápadu. Z hlediska ročního vývoje jsou maxima měřena v letních měsících, v chladné části roku jsou koncentrace nízké.

Následující Obr. 101 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0 °C, prostřední růžice zobrazuje koncentrace O<sub>3</sub> při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

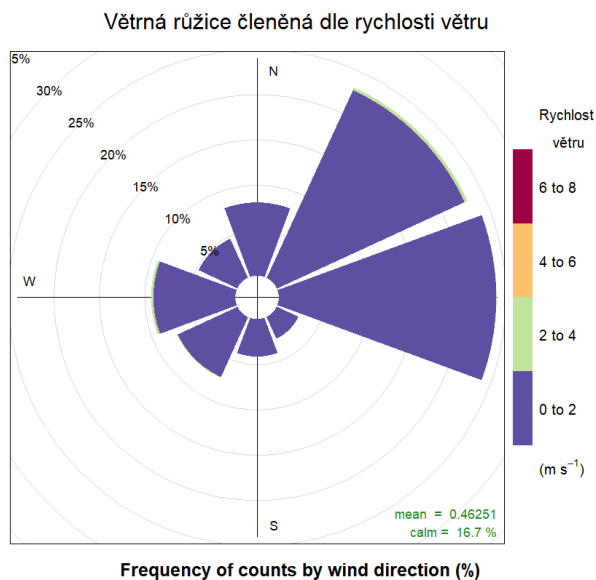


Obr. 101 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Chotěboř, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že vysoké koncentrace jsou měřeny takřka výhradně při teplotách nad 13 °C, kdy lze očekávat mimo jiné také dostatek slunečního svitu pro tvorbu přízemního ozónu.

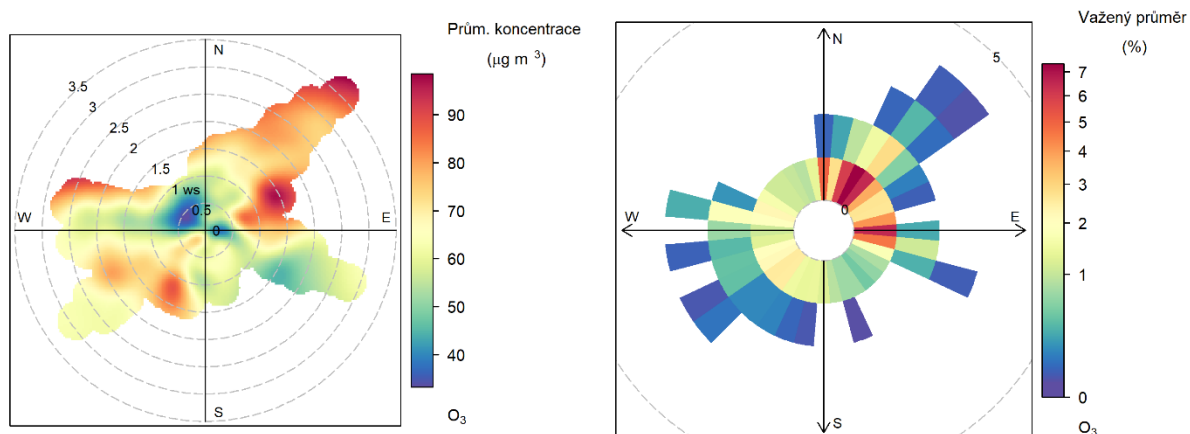
### 3.5.1.2 Kamenice nad Lipou

Na Obr. 102 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu Kamenice nad Lipou. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především z východních a severovýchodních směrů, vyšší rychlosti větru než 2 m·s<sup>-1</sup> pak byly zaznamenány pouze ojediněle ze severovýchodních směrů. Bezvětří panovalo zhruba v 16,7 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 0,5 m·s<sup>-1</sup>.



Obr. 102 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Kamenice nad Lipou, rok 2019

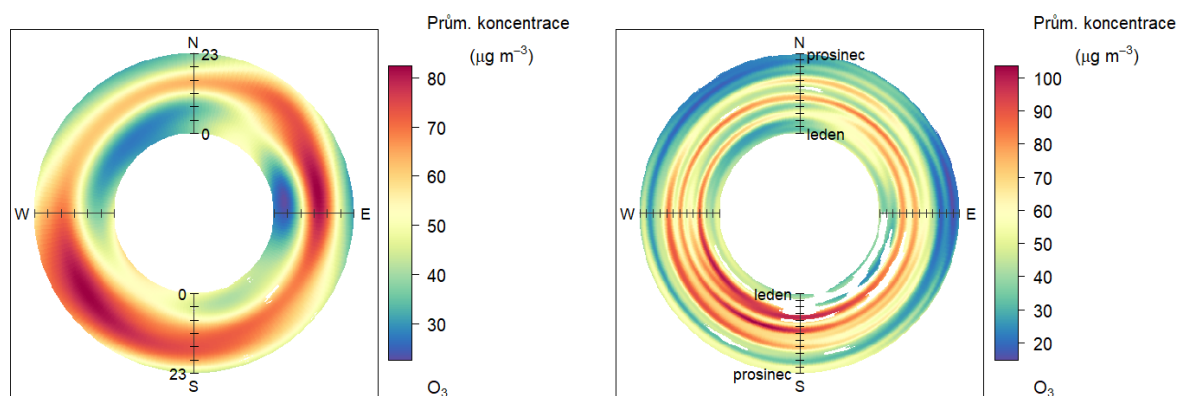
Následující Obr. 103 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro O<sub>3</sub> v lokalitě Kamenice nad Lipou.



Obr. 103 – Koncentrační růžice O<sub>3</sub>, lokalita Kamenice nad Lipou, rok 2019

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při vyšších rychlostech větru, zejména z východu a severovýchodu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění O<sub>3</sub> přišlo z východních a severovýchodních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu Kamenice nad Lipou je tento denní chod vynesena na Obr. 104.

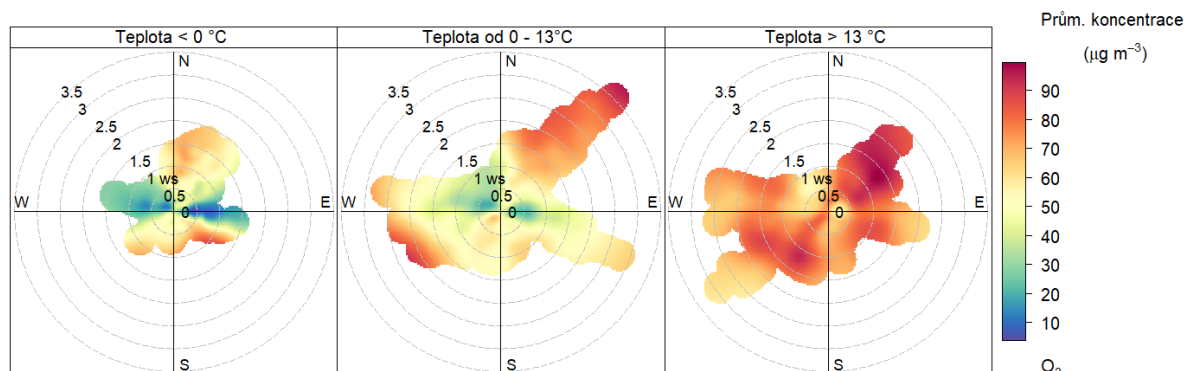


Obr. 104 – Denní a roční chod koncentrací O<sub>3</sub> členěný dle směru větru, lokalita Kamenice nad Lipou, rok 2019

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací O<sub>3</sub> je důležitý sluneční svit, vysoké koncentrace se tak vyskytují především přes den a zejména při proudění z východu či jihozápadu. Z hlediska ročního vývoje jsou maxima měřena v letních měsících, v chladné části roku jsou koncentrace nízké.

Následující Obr. 105 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0 °C,

prostřední růžice zobrazuje koncentrace O<sub>3</sub> při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

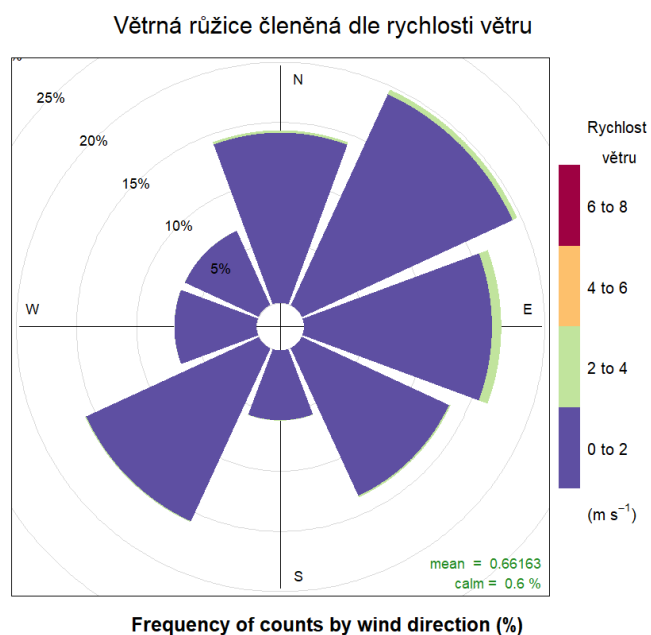


Obr. 105 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Kamenice nad Lipou, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že vysoké koncentrace jsou měřeny takřka výhradně při teplotách nad 13 °C, kdy lze očekávat mimo jiné také dostatek slunečního svitu pro tvorbu přízemního ozónu.

### 3.5.1.3 Ledec nad Sázavou

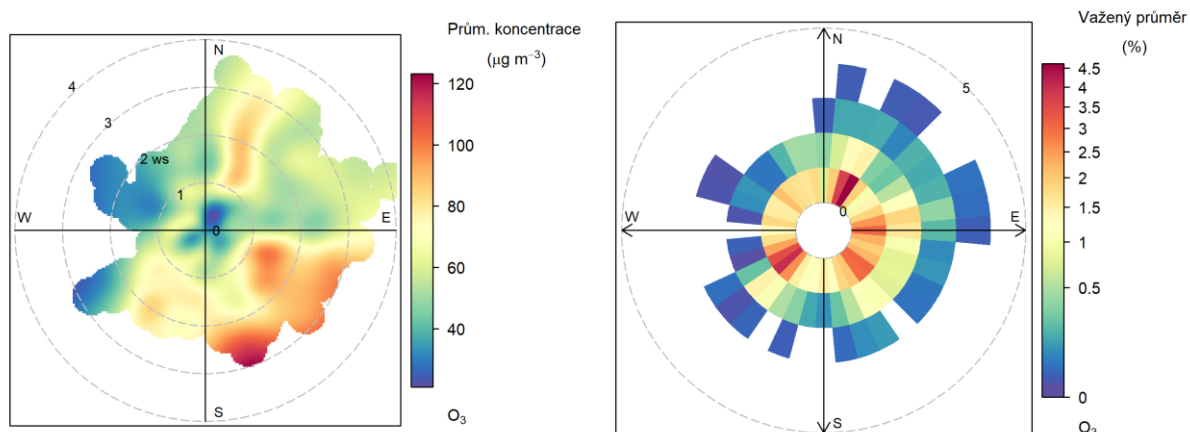
Na Obr. 106 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Ledec nad Sázavou*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká téměř ze všech směrů, méně zastoupeny jsou jižní, západní a severozápadní směr. Vyšší rychlosti větru než 2 m·s<sup>-1</sup> pak byly zaznamenány převážně z východních směrů. Bezvětrí panovalo zhruba v 0,6 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 0,6 m·s<sup>-1</sup>.



Obr. 106 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Ledec nad Sázavou, rok 2019



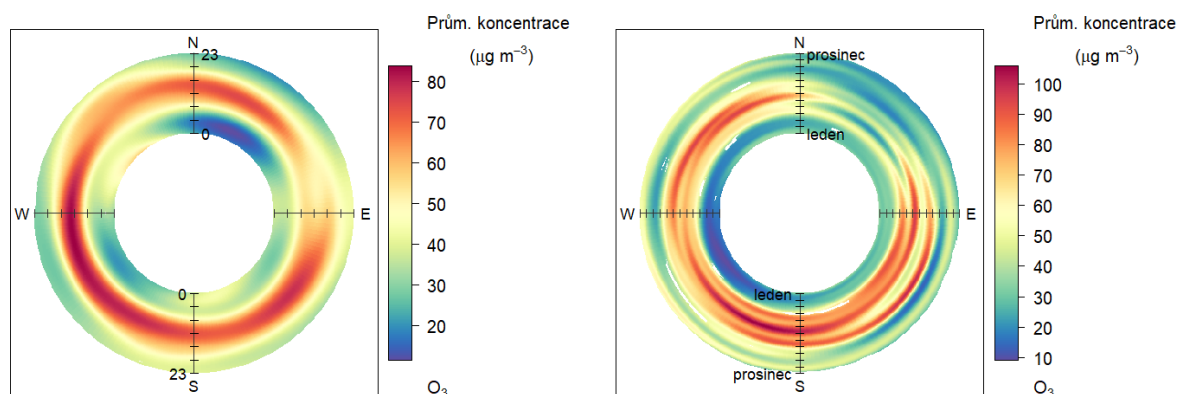
Následující Obr. 107 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro O<sub>3</sub> v lokalitě *Ledeč nad Sázavou*.



Obr. 107 – Koncentrační růžice O<sub>3</sub>, lokalita *Ledeč nad Sázavou*, rok 2019

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze jihu až jihovýchodu a vyšších rychlostech větru. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění O<sub>3</sub> přišlo ze sevovýchodních a jihozápadních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

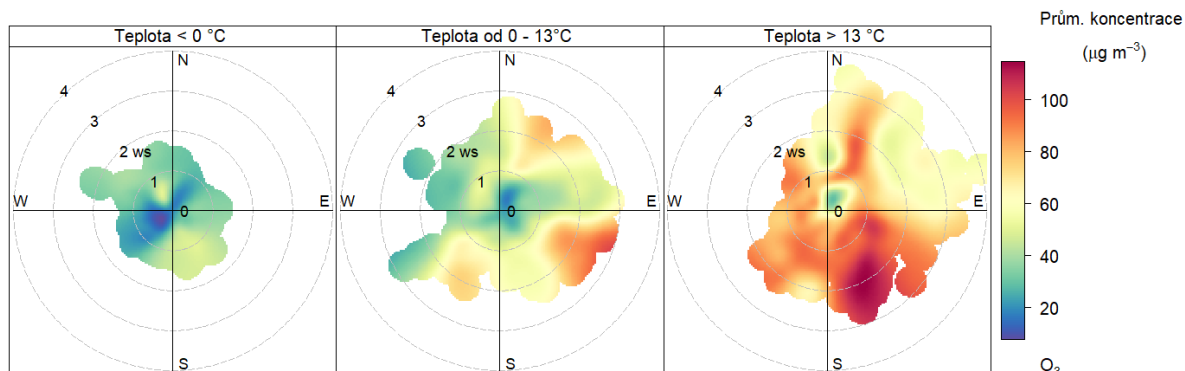
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Ledeč nad Sázavou* je tento denní chod vynesena na Obr. 108.



Obr. 108 – Denní a roční chod koncentrací O<sub>3</sub> členěný dle směru větru, lokalita *Ledeč nad Sázavou*, rok 2019

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací O<sub>3</sub> je důležitý sluneční svit, vysoké koncentrace se tak vyskytují především přes den a zejména při proudění ze západu a jihu. Z hlediska ročního vývoje jsou maxima měřena v letních měsících, v chladné části roku jsou koncentrace nízké.

Následující Obr. 109 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0 °C, prostřední růžice zobrazuje koncentrace O<sub>3</sub> při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

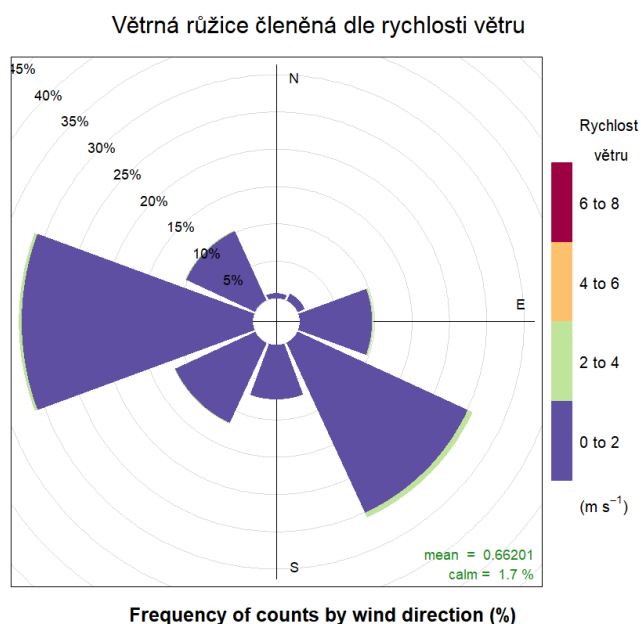


Obr. 109 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Leděč nad Sázavou, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že vysoké koncentrace jsou měřeny takřka výhradně při teplotách nad 13 °C, kdy lze očekávat mimo jiné také dostatek slunečního svitu pro tvorbu přízemního ozónu.

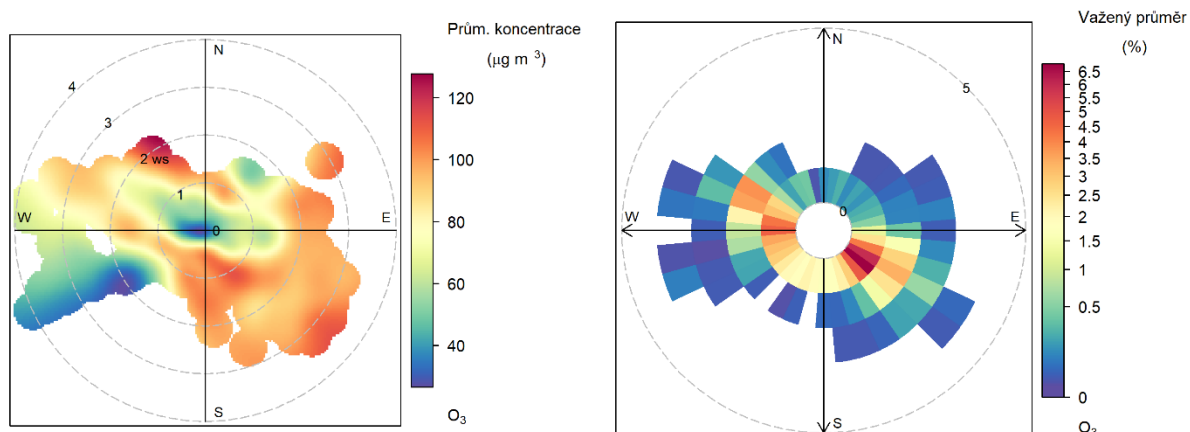
### 3.5.1.4 Velké Meziříčí

Na Obr. 110 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Velké Meziříčí*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze západních a jihovýchodních směrů, vyšší rychlosti větru než 2 m·s<sup>-1</sup> takřka nebyly zaznamenány. Bezvětří panovalo zhruba v 1,7 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 0,6 m·s<sup>-1</sup>.



Obr. 110 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Velké Meziříčí, rok 2019

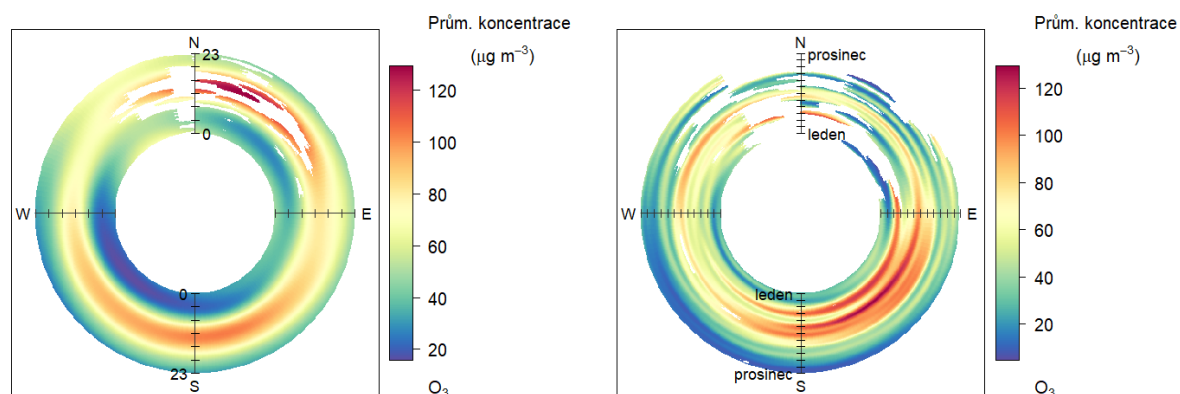
Následující Obr. 111 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro O<sub>3</sub> v lokalitě Velké Meziříčí.



Obr. 111 – Koncentrační růžice O<sub>3</sub>, lokalita Velké Meziříčí, rok 2019

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při jihovýchodním proudění a vyšších rychlostech větru. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění O<sub>3</sub> přišlo ze jihovýchodních a západních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

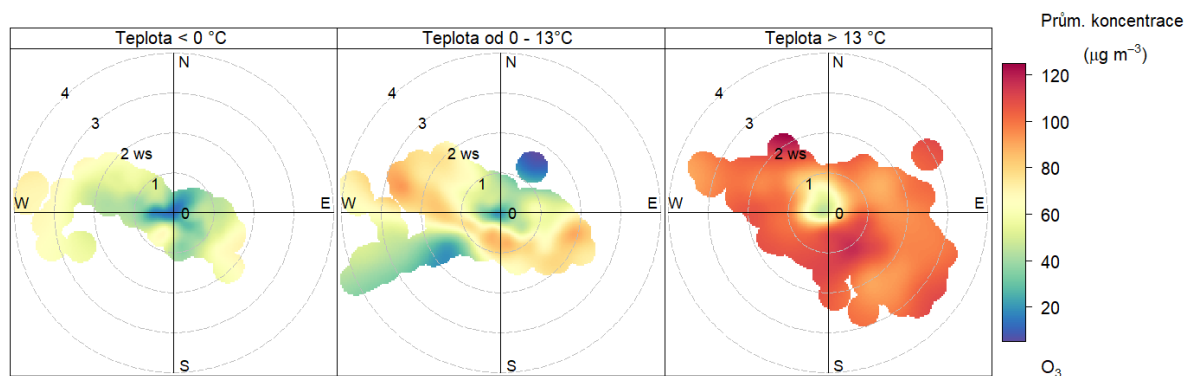
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu Velké Meziříčí je tento denní chod vynesena na Obr. 112.



Obr. 112 – Denní a roční chod koncentrací O<sub>3</sub> členěný dle směru větru, lokalita Velké Meziříčí, rok 2019

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací O<sub>3</sub> je důležitý sluneční svit, vysoké koncentrace se tak vyskytují především přes den a zejména při proudění ze severu nebo z jihu. Z hlediska ročního vývoje jsou maxima měřena v letních měsících, v chladné části roku jsou koncentrace nízké.

Následující Obr. 113 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0 °C, prostřední růžice zobrazuje koncentrace O<sub>3</sub> při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

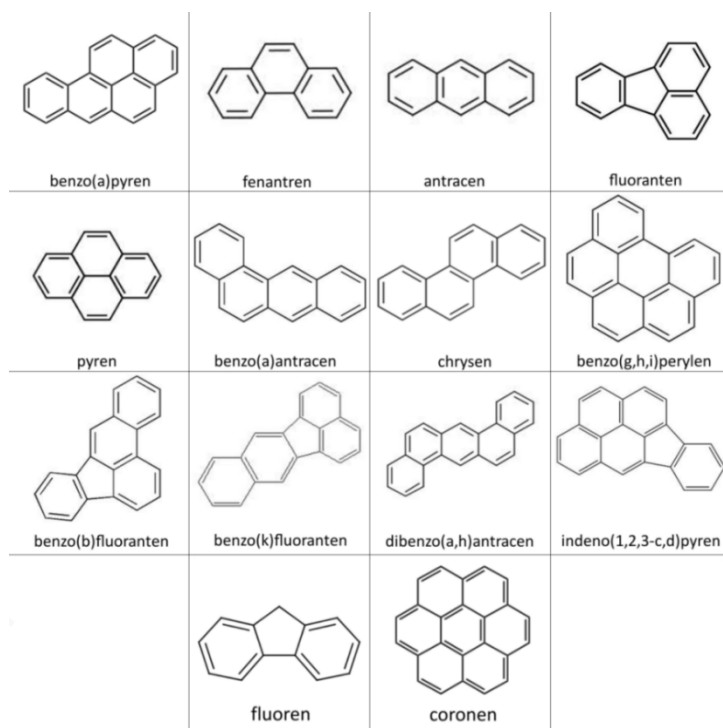


Obr. 113 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Velké Meziříčí, rok 2019

Z koncentračních růžic vyplývá, že vysoké koncentrace jsou měřeny takřka výhradně při teplotách nad 13 °C, kdy lze očekávat mimo jiné také dostatek slunečního svitu pro tvorbu přízemního ozónu.

### 3.6 BENZO[A]PYREN

Benzo[a]pyren je legislativním zástupcem polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH, Obr. 114). 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 koku a oceli).



Obr. 114 - Polycyklické aromatické uhlovodíky rutinně stanovované v imisích

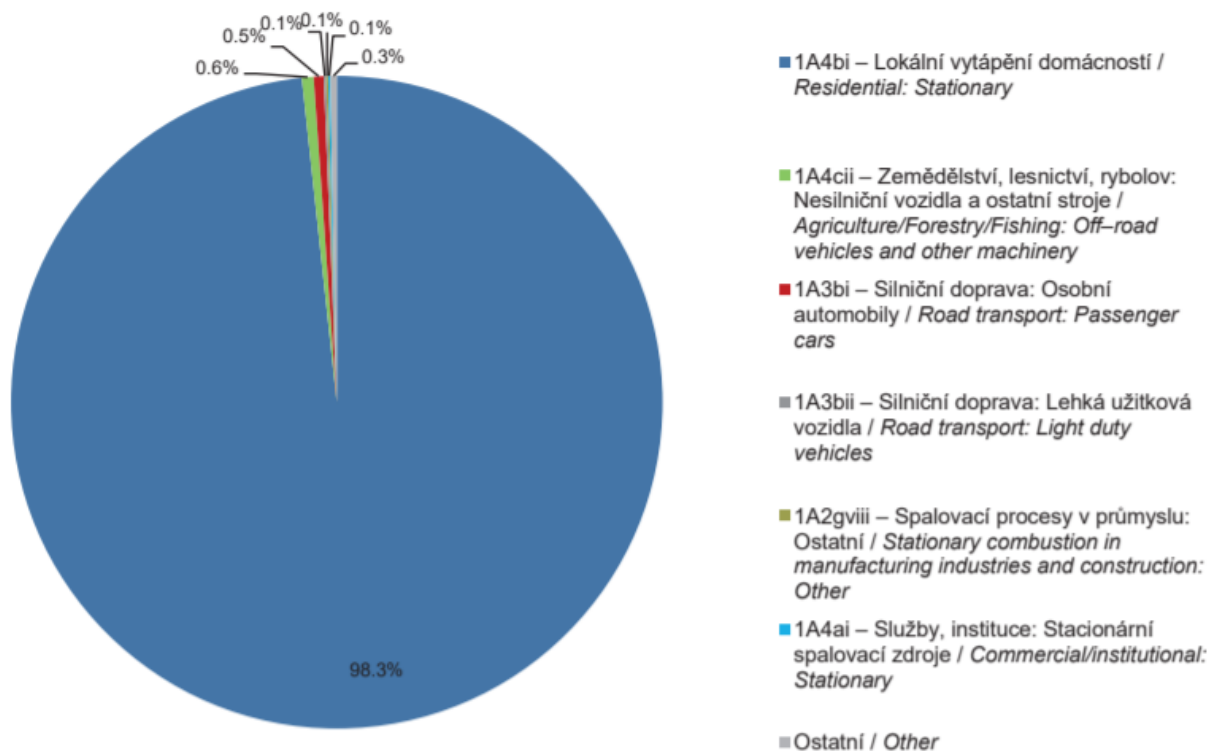
Přibližně 80–100 % PAH s pěti a více aromatickými jádry (tedy i benzo[a]pyren) je navázáno především na částice menší než 2,5 μm, tedy na tzv. jemnou frakci atmosférického aerosolu PM<sub>2,5</sub> (sorpce na povrchu částic). Tyto částice přetrvávají v atmosféře poměrně dlouhou dobu, což umožňuje jejich transport na velké vzdálenosti (stovky km) [15].

U benzo[a]pyrenu, stejně jako u některých dalších PAH, jsou prokázány karcinogenní účinky na lidský organismus [16].

Emise PAH, zastoupených 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. Proto se mezi nejvýznamnější zdroje 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 2017 v celorepublikovém měřítku podílel 98,3 %. Hlavní příčinou takto vysokého podílu je spalování pevných paliv, především uhlí, v kotlích starších typů (odhořivací a prohořivací způsob spalování). Podle výsledků statistického šetření ENERGO představovaly v roce 2015 odhořivací

a prohořivací kotle až 79 % všech kotlů na spalování pevných paliv v domácnostech ČR. Vliv sektoru dopravy je odhadován na 1,3 % (Obr. 115) [7].



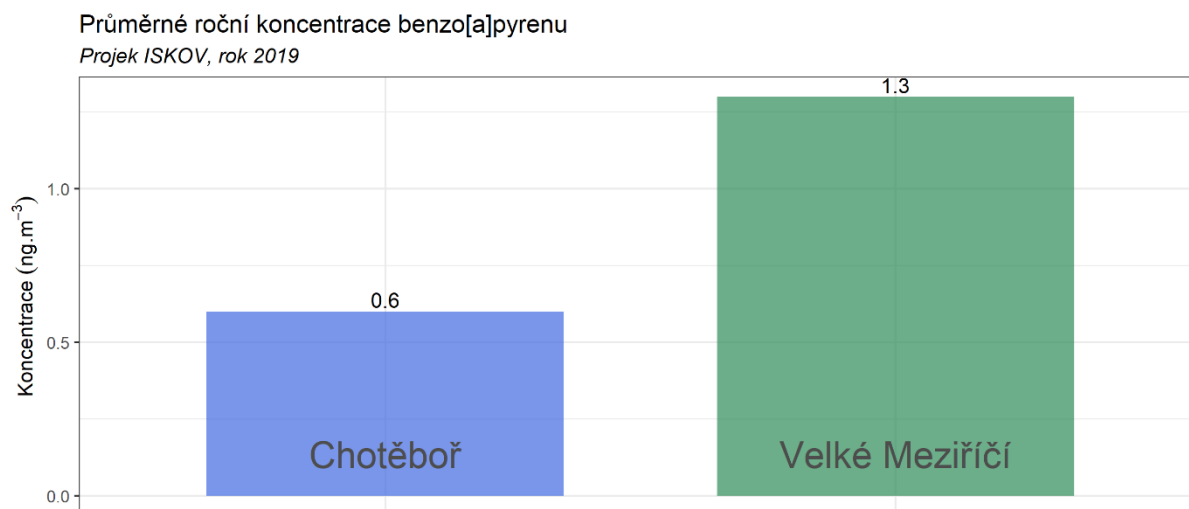
Obr. 115 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích benzo[a]pyrenu v ČR, rok 2017 [7]

### 3.6.1 Průměrná roční koncentrace benzo[a]pyrenu

Vzhledem k nízkému počtu odběrů zaměřených na topnou sezónu je vyhodnocení vůči imisnímu limitu pouze orientační. Průměrné roční koncentrace, naměřené v jednotlivých lokalitách, zobrazuje následující Tab. 12, graficky je pak znázorňuje Obr. 116.

Tab. 12 – Průměrná roční koncentrace benzo[a]pyrenu, projekt ISKOV, rok 2019

LOKALITA	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE BAP (ng·m <sup>-3</sup> )
CHOTĚBOŘ	0,6
LEDEČ NAD SÁZAVOU	1,3



Obr. 116 – Průměrná roční koncentrace benzo[a]pyrenu, projekt ISKOV, rok 2019

Z uvedeného vyplývá, že vyšší průměrná roční koncentrace benzo[a]pyrenu byla naměřena v lokalitě Velké Meziříčí. **V lokalitě Velké Meziříčí došlo k překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci benzo[a]pyrenu ( $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ), v lokalitě Chotěboř nikoliv.**

### 3.6.2 Měření denní koncentrace

V lokalitách Chotěboř a Velké Meziříčí proběhlo v roce 2019 vždy 18 jednodenních odběrů PAH, jejich koncentrace pak byly stanoveny laboratorně. Výsledky jsou uvedeny v následujících Tab. 13 a Tab. 14. Hodnoty uvozené znaménkem < značí, že koncentrace byly nižší, než je mez detekce metody (uvedená hodnota). V grafickém zpracování (Obr. 117 a Obr. 118) jsou tyto hodnoty nahrazeny polovinou meze detekce.



Tab. 13 – Měřené denní koncentrace PAH, lokalita Chotěboř, projekt ISKOV, rok 2019

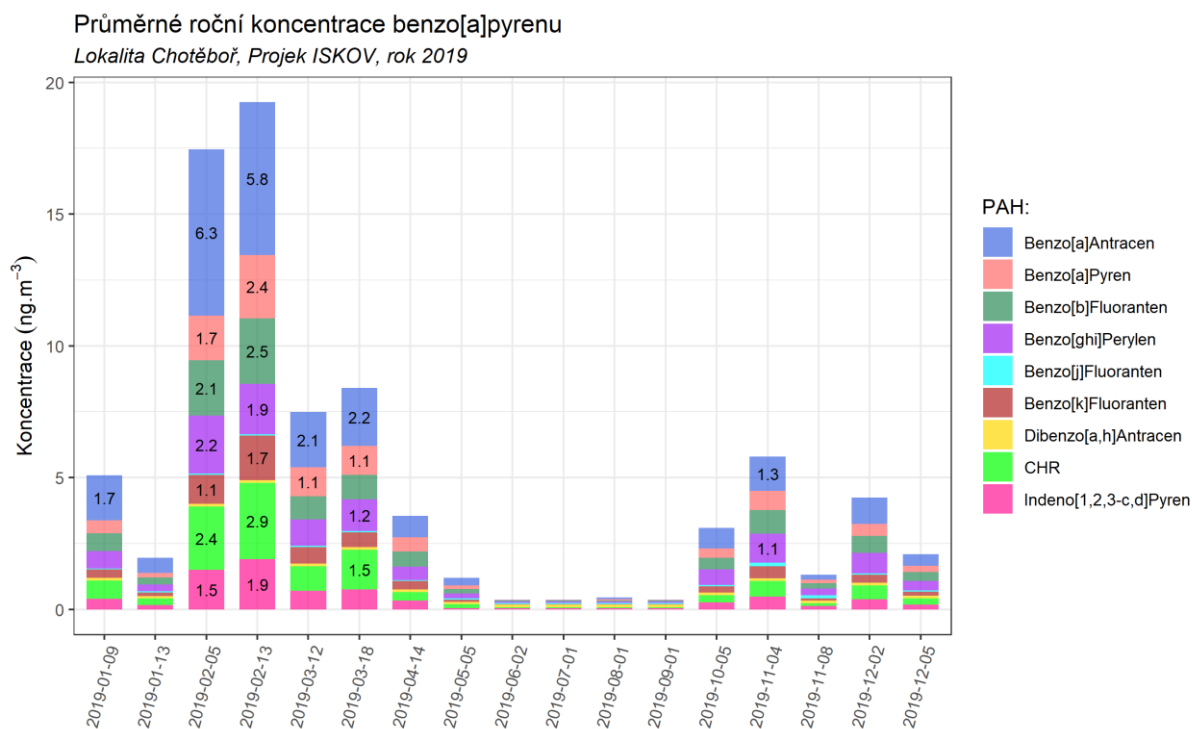
DATUM ODBĚRU OD	BENZO(A)ANTHRACEN	CHRYSEN	BENZO(B)FLUORANTEN	BENZO(K)FLUORANTEN	BENZO(A)PYREN	BENZO(GHI)PERYLEN	DIBENZO(AH)ANTHRACEN	INDENO(1,2,3-CD)PYREN	BENZO(J)FLUORANTEN
09.01.2019	1,7	0,69	0,67	0,32	0,50	0,65	<0,20	0,40	<0,10
13.01.2019	0,56	0,25	0,26	0,13	0,18	0,26	<0,20	0,16	<0,10
05.02.2019	6,3	2,4	2,1	1,1	1,7	2,2	<0,20	1,5	<0,10
13.02.2019	5,8	2,9	2,5	1,7	2,4	1,9	<0,20	1,9	<0,10
12.03.2019	2,1	0,93	0,88	0,62	1,1	1,0	<0,20	0,71	<0,10
18.03.2019	2,2	1,5	0,93	0,56	1,1	1,2	<0,20	0,76	<0,10
14.04.2019	0,80	0,32	0,57	0,32	0,55	0,50	<0,20	0,33	<0,10
05.05.2019	0,29	0,14	0,17	0,072	0,14	0,19	<0,20	<0,10	<0,10
02.06.2019	<0,050	<0,070	<0,070	<0,030	<0,030	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
01.07.2019	<0,050	<0,070	<0,070	<0,030	<0,030	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
01.08.2019	0,070	<0,070	<0,070	<0,030	0,047	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
01.09.2019	<0,050	<0,070	<0,070	<0,030	<0,030	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
05.10.2019	0,77	0,26	0,45	0,24	0,36	0,59	<0,20	0,27	<0,10
04.11.2019	1,3	0,60	0,89	0,45	0,74	1,1	<0,20	0,48	0,14
08.11.2019	0,19	0,11	0,20	0,083	0,13	0,26	<0,20	0,13	0,11
02.12.2019	1,0	0,53	0,63	0,30	0,46	0,79	<0,20	0,38	<0,10
05.12.2019	0,44	0,24	0,35	0,15	0,24	0,35	<0,20	0,18	<0,10
09.01.2019	1,7	0,69	0,67	0,32	0,50	0,65	<0,20	0,40	<0,10

Tab. 14 – Měřené denní koncentrace PAH, lokalita Velké Meziříčí, projekt ISKOV, rok 2019

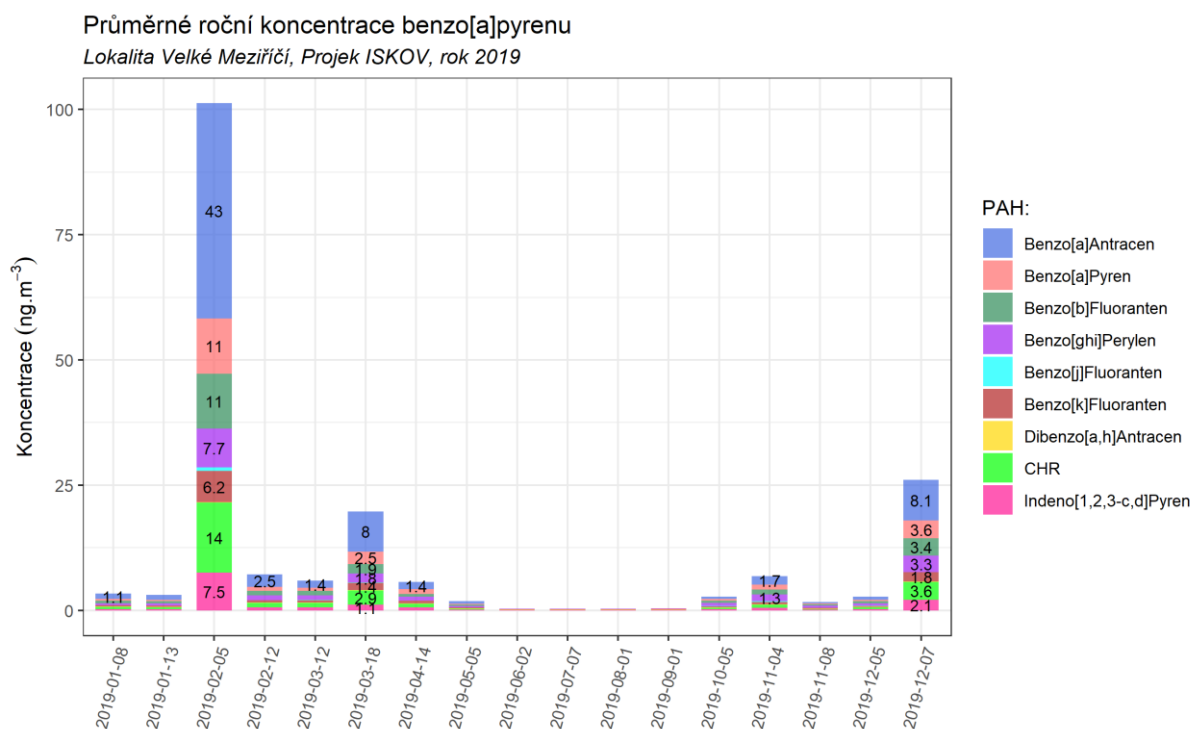
DATUM ODBĚRU OD	BENZO(A)ANTHRACEN	CHRYSEN	BENZO(B)FLUORANTEN	BENZO(K)FLUORANTEN	BENZO(A)PYREN	BENZO(GHI)PERYLEN	DIBENZO(AH)ANTHRACEN	INDENO(1,2,3-CD)PYREN	BENZO(J)FLUORANTEN
08.01.2019	1,1	0,46	0,50	0,19	0,34	0,35	<0,20	0,26	<0,10
13.01.2019	1,0	0,39	0,40	0,20	0,32	0,42	<0,20	0,24	<0,10
05.02.2019	43	14	11	6,2	11	7,7	<0,20	7,5	0,78
12.02.2019	2,5	0,88	0,88	0,45	0,81	0,92	<0,20	0,57	<0,10
12.03.2019	1,4	0,86	0,88	0,49	0,63	0,88	<0,20	0,61	<0,10
18.03.2019	8,0	2,9	1,9	1,4	2,5	1,8	<0,20	1,1	<0,10
14.04.2019	1,4	0,71	0,58	0,52	0,94	0,77	<0,20	0,57	<0,10
05.05.2019	0,50	0,20	0,27	0,13	0,20	0,24	<0,20	0,16	<0,10
02.06.2019	<0,050	<0,070	<0,070	<0,030	<0,030	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
07.07.2019	<0,050	<0,070	<0,070	<0,030	<0,030	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
01.08.2019	<0,050	<0,070	<0,070	<0,030	<0,030	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
01.09.2019	0,067	<0,070	<0,070	<0,030	0,051	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
05.10.2019	0,49	0,22	0,41	0,19	0,34	0,62	<0,20	0,26	0,11
04.11.2019	1,7	0,55	1,0	0,50	1,0	1,3	<0,20	0,55	0,17
08.11.2019	0,29	0,12	0,25	0,12	0,18	0,43	<0,20	0,15	<0,10
05.12.2019	0,61	0,33	0,40	0,17	0,32	0,51	<0,20	0,27	<0,10
07.12.2019	8,1	3,6	3,4	1,8	3,6	3,3	<0,20	2,1	<0,10
08.01.2019	1,1	0,46	0,50	0,19	0,34	0,35	<0,20	0,26	<0,10

Z naměřených hodnot je patrné, že vysoké koncentrace PAH se vyskytují takřka výhradně v topné sezóně. Vzhledem k tomu, že zcela majoritním zdrojem jsou lokální topeniště, jsou tyto výsledky pochopitelné. V letních měsících jsou koncentrace PAH takřka nulové, a to i v Lukavci, kde se v topné sezóně vyskytují velmi vysoké hodnoty koncentrací PAH.

Z grafů je rovněž patrné, že maximální hodnota sumy PAH byla naměřena dne 5. 2. 2019 ve Velkém Meziříčí. Koncentrace benzo[*a*]pyrenu dosáhla v tento den hodnoty 11 ng·m<sup>-3</sup>.



Obr. 117 – Měřené denní koncentrace PAH, lokalita Chotěboř, projekt ISKOV, rok 2019



Obr. 118 – Měřené denní koncentrace PAH, lokalita Velké Meziříčí, projekt ISKOV, rok 2019

## 4 ZÁVĚRY

---

- V roce 2019 probíhalo sledování kvality ovzduší ve 4 obcích kraje Vysočina. Jednalo se o obce Chotěboř, Kamenice nad Lipou, Ledec nad Sázavou a Velké Meziříčí.
- Ve všech lokalitách probíhalo kontinuální sledování kvality ovzduší z hlediska suspendovaných částic PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>, oxidů dusíku NO, NO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub>, a přízemního ozónu O<sub>3</sub>. V lokalitách Chotěboř a Velké Meziříčí dále probíhal odběr a následné laboratorní stanovení koncentrací polycyklických aromatických uhlovodíků.
- Průměrné roční koncentrace PM<sub>10</sub> nepřekročily na žádné z lokalit imisní limit. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v lokalitě Ledec nad Sázavou, nejnižší v lokalitě Chotěboř.
- Z hlediska imisního limitu pro denní koncentraci PM<sub>10</sub> rovněž nedošlo na žádné z lokalit k překročení imisního limitu. Legislativa povoluje pro denní průměry koncentrací PM<sub>10</sub> maximálně 35x za kalendářní rok překročit hodnotu imisního limitu 50 µg·m<sup>-3</sup>. Nejvyšší počet těchto překročení byl zaznamenán v lokalitách Ledec nad Sázavou a Velké Meziříčí, a to 23.
- Průměrné roční koncentrace PM<sub>2,5</sub> nepřekročily na žádné z lokalit imisní limit. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v lokalitě Ledec nad Sázavou. V této lokalitě by v případě stejného výsledku došlo v roce 2020 k překročení již zpřísněného imisního limitu pro tuto škodlivinu (20 µg·m<sup>-3</sup>). Nejnižší koncentrace byly naměřeny v lokalitě Chotěboř.
- Průměrné roční koncentrace NO<sub>2</sub> nepřekročily na žádné z lokalit imisní limit. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v lokalitě Velké Meziříčí, kde se hodnota pohybovala zhruba na úrovni 1/3 imisního limitu. Nejnižší koncentrace byly měřeny v lokalitě Chotěboř.
- Hodinová koncentrace NO<sub>2</sub> rovněž nebyla na žádné z lokalit překročena, obdobně jako tomu je ve zbytku ČR.
- Nejvyšší 8hodinový klouzavý průměr koncentrací ozónu byl naměřen v lokalitě Velké Meziříčí. V této lokalitě také došlo k překročení imisního limitu pro ochranu zdraví obyvatel. Ve zbylých lokalitách byl imisní limit dodržen.
- Koncentrace benzo[*a*]pyrenu byly sledovány pouze ve dvou lokalitách. V lokalitách Chotěboř a Velké Meziříčí byl 18x za rok odebrán vzorek ovzduší a laboratorně analyzován. Vzhledem k nízkému počtu odběrů zaměřených na topnou sezónu je vyhodnocení vůči imisnímu limitu pouze orientační. V lokalitě Velké Meziříčí došlo k překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci benzo[*a*]pyrenu (1 ng·m<sup>-3</sup>). V lokalitě Chotěboř byl imisní limit dodržen.
- Z výsledků vyplývá, že koncentrace škodlivin jsou významně ovlivněny meteorologickými podmínkami a s nimi souvisejícími zdroji škodlivin. Vysoké koncentrace prašnosti, oxidů dusíku a PAH byly měřeny takřka výhradně při nízkých teplotách – v topné sezóně. Lokální topeniště jsou nejvýznamnějším zdrojem prašnosti PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>, a také benzo[*a*]pyrenu na území ČR. Naopak nejvyšší koncentrace přízemního ozónu byly naměřeny v letních měsících, kdy bylo dostatek slunečního svitu a tepla, potřebného pro fotochemický vznik této látky v atmosféře.

## 5 CITOVANÁ LITERATURA

---

- [1] R. Tolasz, R. Črkal, H. Škáčková a L. Vlasáková, „Rok 2019 v Česku,“ ČHMÚ, 08 01 2020. [Online]. Available: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1578476196>.
- [2] *Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší*, 2012.
- [3] *Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší ve znění pozdějších předpisů, 2012 - 2017*, MŽP, 2012.
- [4] 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>.
- [5] U. EPA, „Particulate Matter (PM) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/pm-pollution>.
- [6] J. Keder, „Rozbor výsledků kontinuálního měření spekter velikostí částic analyzátory Grimm,“ v *Ovzduší 2007*, Brno, 2007.
- [7] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2018,“ 2019. [Online]. Available: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/18groc/gr18cz/IV.1.PM\\_CHMU2018.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/18groc/gr18cz/IV.1.PM_CHMU2018.pdf). [Přístup získán 2019].
- [8] USEPA, „Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/no2-pollution>.
- [9] P. WARNECK, *Chemistry of the natural atmosphere*, San Diego: Academic Press: ISBN 0-12-735632-0, 2000.
- [10] European Commission, „Position paper on air quality: nitrogen dioxide,“ 1997.
- [11] WHO, „Air quality guidelines for Europe, Second Edition,“ *WHO Regional Publications, European Series*, sv. No. 91, 2000.
- [12] 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.
- [13] J. Fiala a D. Závodský, „Chemické aspekty znečištěného ovzduší – troposférický ozon,“ v *Kompendium ochrany kvality ovzduší*, Praha, 2003.
- [14] I. Colbeck a A. R. Mackenzie, „Air Pollution by photochemical oxidants,“ *Air Quality Monographs*, č. Elsevier. ISBN 0-444-88542-0, 1994.
- [15] EEA, „Air quality in Europe — 2016 report,“ 2016. [Online]. Available: [https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016/at\\_download/file](https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016/at_download/file).
- [16] IARC, „List of classifications by alphabetical order. Agents Classified by the IARC Monographs,“ [Online]. Available: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf>.
- [17] ČHMÚ, „Kvalita ovzduší a rozptylové podmínky na území ČR, rok 2017,“ 04 04 2018. [Online]. Available: [http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/mes\\_zpravy/PROSINEC\\_2017.pdf](http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/mes_zpravy/PROSINEC_2017.pdf).

- [18] Vyhláška č. 330/2012 Sb. o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích, Praha, 2012.
- [19] P. THUNIS , B. DEGRAEUWE a E. PEDUZZI , „Urban PM2.5 Atlas: Air Quality in European cities,“ 10 2017. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/urban-pm25-atlas-air-quality-european-cities>.
- [20] T. Radim a a kol., „Rok 2018 v Česku,“ ČHMÚ, [Online]. Available: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1547039890>.
- [21] M. VOJTÍŠEK, „O provozu vznětových motorů a aerosolech jimi produkováných v městských aglomeracích,“ *Konference ČAS 2010. Sborník konference.*, č. ISBN: 978-80-86186-25-2, 2010.
- [22] ČHMÚ, kolektiv autorů, „Grafická ročenka 2017,“ Český hydrometeorologický ústav, 2018. [Online]. Available: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/Obsah\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/Obsah_CZ.html).

## 6 SEZNAM ZKRATEK POUŽITÝCH V DOKUMENTU

BaP, B(a)P	benzo[ <i>a</i> ]pyren, legislativní zástupce polycyklických aromatických uhlovodíků
CZT	centrální zásobování teplem
Eol	Klasifikace stanic vycházející z Rozhodnutí Rady 97/101/EC o výměně informací a kritérií pro Evropskou síť kvality ovzduší.
ISKOV	Informační systém kvality ovzduší kraje Vysočina
LV	limitní hodnota
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NO <sub>2</sub>	oxid dusičitý
NO <sub>x</sub>	oxidy dusíku, součet NO a NO <sub>2</sub> (v ppb)
O <sub>3</sub>	přízemní ozón
ORP	obec s rozšířenou působností
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky
PM <sub>2,5</sub>	suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 2,5 μm
PM <sub>10</sub>	suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 10 μm
SSIM	státní síť imisního monitoringu
UTC	světový koordinovaný čas