



PROJEKT ISKOV 2021: HUMPOLEC, NÁMĚŠŤ NAD OSLAVOU, NOVÉ MĚSTO NA MORAVĚ A OKŘÍŠKY

28.2.2022

ENVITECH BOHEMIA, S.R.O.

Obsah

1	POPIS MĚŘICÍCH LOKALIT, METODIKA A LEGISLATIVA	3
1.1	MĚŘICÍ LOKALITY	3
1.1.1	HUMPOLEC	3
1.1.2	NÁMĚŠŤ NAD OSLAVOU	4
1.1.3	NOVÉ MĚSTO NA MORAVĚ	6
1.1.4	OKŘÍŠKY	7
1.2	METODIKA MĚŘENÍ.....	9
1.3	PLATNÉ IMISNÍ LIMITY	10
2	METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY V ROCE 2021 V ČR	11
3	VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ	12
3.1	SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₁₀	12
3.1.1	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE	14
3.1.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE	15
3.1.3	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE PM ₁₀	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 ₁₀ S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍTĚ IMISNÍHO MONITORINGU.....	33
3.2	SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{2,5}	35
3.2.1	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE	35
3.2.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE	36
3.2.3	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE PM _{2,5}	38
3.2.4	HODINOVÉ KONCENTRACE A DENNÍ CHOD	42
3.2.5	RŮŽICE – DETAILNÍ ANALÝZA HODINOVÝCH HODNOT	43
3.2.6	SROVNÁNÍ KONCENTRACÍ PM _{2,5} S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍTĚ IMISNÍHO MONITORINGU	51
3.3	OXID DUSIČITÝ A OXIDY DUSÍKU	53
3.3.1	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE	54
3.3.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE	55
3.3.3	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE NO ₂	57
3.3.4	HODINOVÉ KONCENTRACE A DENNÍ CHOD	61
3.3.5	RŮŽICE – DETAILNÍ ANALÝZA HODINOVÝCH HODNOT	62
3.3.6	SROVNÁNÍ KONCENTRACÍ NO ₂ S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍTĚ IMISNÍHO MONITORINGU	71
3.4	PŘÍZEMNÍ OZÓN.....	72
3.5	8HODINOVÉ KLOUZAVÉ PRŮMĚRY O₃	72
3.5.1	RŮŽICE – DETAILNÍ ANALÝZA HODINOVÝCH HODNOT	79
3.5.2	SROVNÁNÍ KONCENTRACÍ O ₃ S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍTĚ IMISNÍHO MONITORINGU.....	88
3.6	BENZO[A]PYREN	89
3.6.1	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE BENZO[A]PYRENU.....	90
3.6.2	MĚŘENÉ DENNÍ KONCENTRACE	91
4	ZÁVĚRY	95
5	CITOVANÁ LITERATURA	96
6	SEZNAM ZKRATEK POUŽITÝCH V DOKUMENTU	98

1 POPIS MĚŘICÍCH LOKALIT, METODIKA A LEGISLATIVA

1.1 MĚŘICÍ LOKALITY

1.1.1 Humpolec

Název lokality:	Humpolec
Popis umístění:	ulice Vilová (parkoviště u hotelu „Na Plovárně“)
GPS souřadnice:	49.5345469N, 15.3591892E
Nadmořská výška:	540 m. n. m.
Měřené látky:	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PAH
Meteorologické prvky:	ano

Měřicí vůz stál v blízkosti hotel Na Plovárně u koupaliště na parkovací ploše. V okolí je především zástavba rodinnými domy



Obr. 1 – Přehledová mapka umístění lokality, Humpolec, projekt ISKOV, rok 2021



Obr. 2 – Lokalita Humpolec, projekt ISKOV, rok 2021

1.1.2 Náměšť nad Oslavou

Název lokality:	Náměšť n. O.
Popis umístění:	areál Základní školy na Husově ulici
Zeměpisné souřadnice:	49°12'42.2"N, 16°08'42.9"E
Nadmořská výška:	403 m
Měřené látky:	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO, NO ₂ , NO _x , O ₃
Meteorologické prvky:	ano

Měřicí stanice stála v areálu ZŠ, v blízkosti je vodní plocha, obytné domy, dopravní komunikace.



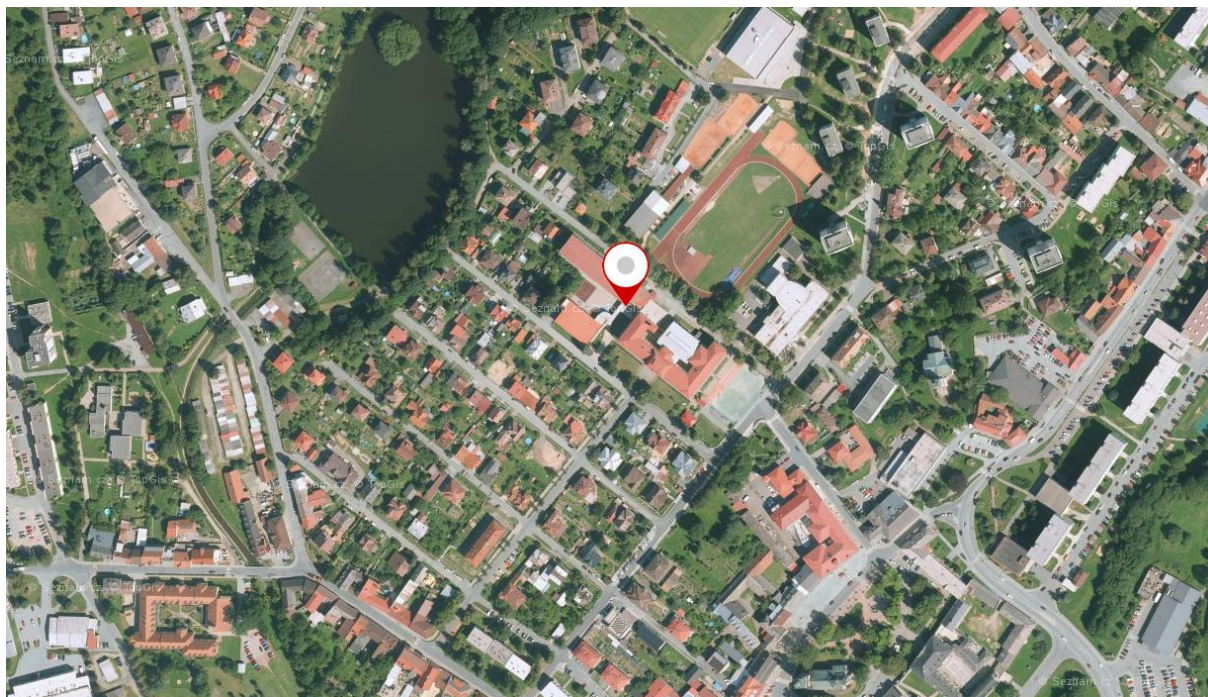
Obr. 3 – Přehledová mapka umístění lokality, Náměšť nad Oslavou, projekt ISKOV, rok 2021



Obr. 4 – Lokalita Náměšť nad Oslavou, projekt ISKOV, rok 2021

1.1.3 Nové Město na Moravě

Název lokality:	Nové Město n. M.
Popis umístění:	areál základní školy na ulici Leandra Čecha
Zeměpisné souřadnice:	49°33'50.6"N, 16°04'19.8"E
Nadmořská výška:	610 m
Měřené látky:	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO, NO ₂ , NO _x , O ₃
Meteorologické prvky:	ano



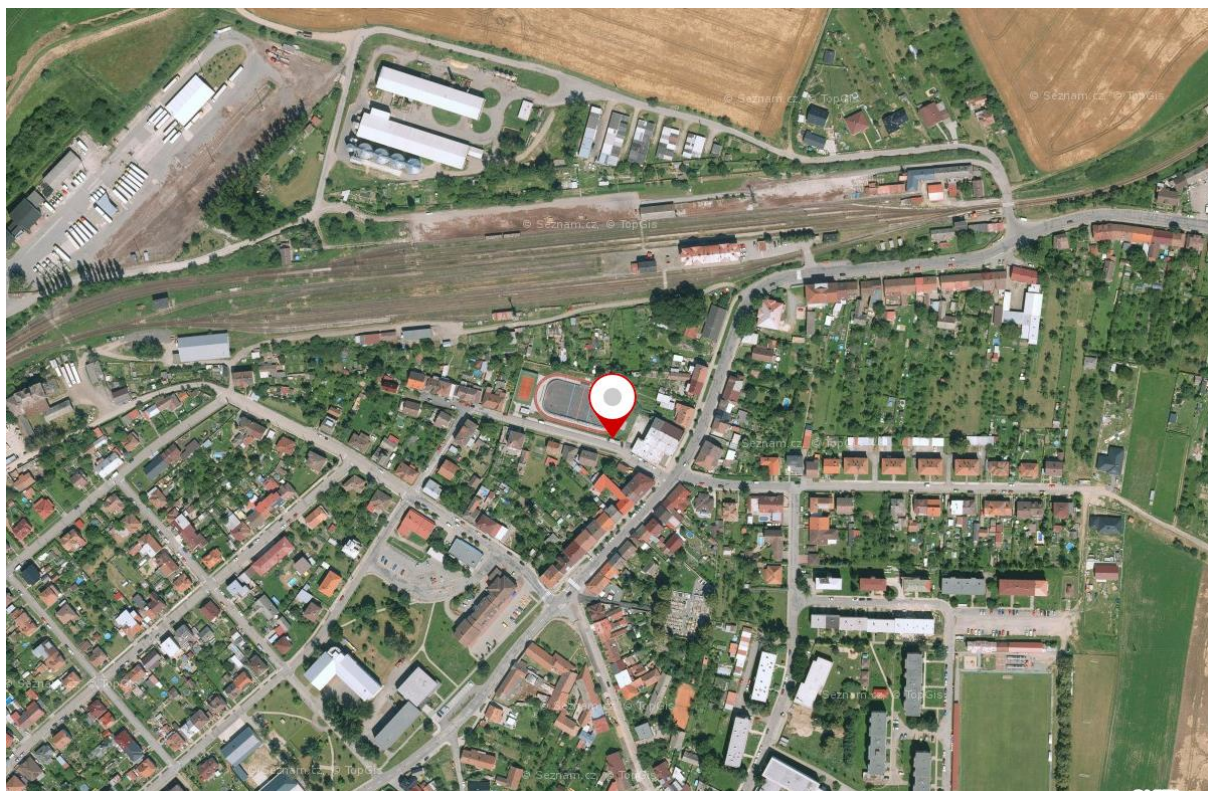
Obr. 5 – Přehledová mapka umístění lokality, Nové Město na Moravě, projekt ISKOV, rok 2021



Obr. 6 – Lokalita Nové Město na Moravě, projekt ISKOV, rok 2021

1.1.4 Okříšky

Název lokality:	Okříšky
Popis umístění:	Okříšky, ulice Tyršova (areál sportoviště)
Zeměpisné souřadnice:	49.2465378N, 15.7698467E
Nadmořská výška:	480 m
Měřené látky:	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PAH
Meteorologické prvky:	ano



Obr. 7 – Přehledová mapka umístění lokality, Okříšky, projekt ISKOV, rok 2021



Obr. 8 – Lokalita Okříšky, projekt ISKOV, rok 2021

1.2 METODIKA MĚŘENÍ

- Pro kontinuální měření prachu frakce PM₁₀ byla použita ekvivalentní metoda podle ČSN EN 16450:2021 " Kvalita ovzduší – Automatické měřicí systémy pro stanovení aerosolových částic (PM₁₀, PM_{2,5})", 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 legislativa¹ (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 ₁₀	24 hodin	50 µg.m ⁻³	35
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM ₁₀	1 kalendářní rok	40 µg.m ⁻³	
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM _{2,5}	1 kalendářní rok	20 µg.m ⁻³	
OXID DUSÍČITÝ NO ₂	1 hodina	200 µg.m ⁻³	18
OXID DUSÍČITÝ NO ₂	1 kalendářní rok	40 µg.m ⁻³	

Tab. 2 – Imisní limity pro celkový obsah znečišťující látky v částicích PM₁₀ vyhlášené pro ochranu zdraví lidí

ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKA	DOBA PRŮMĚROVÁNÍ	IMISNÍ LIMIT
BENZO[A]PYREN (BAP)	1 kalendářní rok	1 ng.m ⁻³

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 ⁻³	25x v průměru za 3 roky

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

2 METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY V ROCE 2021 V ČR

Rok 2021 byl s průměrnou teplotou 8,0 °C a s odchylkou +0,1 °C od normálu 1981–2010 (+0,5 °C od normálu 1961–1990 a –0,4 °C od připravovaného normálu za období 1991–2021) **normální**, roky 2019, 2018, 2015 a 2014 byly mimořádně nadnormální, rok 2021 silně nadnormální a roky 2016 a 2017 nadnormální. Od posledního teplotně normálního roku 2013 s průměrnou teplotou 7,9 °C jsme tedy zaznamenali sedm let charakterizovaných různými stupni odchylky nad průměrem. Teplotní odchylka od normálu 1981–2010 v jednotlivých měsících kolísala od +3,0 °C v červnu, teplotně silně nadnormální měsíc, až po –2,5 °C v dubnu, který tak byl měsícem teplotně silně podnormálním. V průběhu roku byla většina měsíců (leden, únor, březen, červenec, říjen, listopad a prosinec) teplotně normální. Září byl teplotně nadnormální, srpen podnormální, duben a květen silně podnormální.

Roční srážkový úhrn 678 mm zařazuje rok mezi roky srážkově normální (normál za období 1981–2010 je v Česku 686 mm). Nejvíce srážek, v průměru 107 mm, což bylo 122 % normálu, napadlo v Česku v červenci a nejméně, v průměru jen 19 mm, to je 44 % normálu, v říjnu. Červenec je i tak klasifikován jako měsíc srážkově normální, stejně jako dalších šest měsíců (leden, únor, duben, červen, listopad a prosinec). Nadnormální úhrn srážek byl zaznamenán jen v květnu a srpnu, srážkově podnormální byl březen a říjen, září bylo srážkově silně podnormální.

Denní imisní limit PM_{10} byl v roce 2021 překročen na čtyřech stanicích ze 117, přičemž na počtu překročení hodnoty imisního limitu se nejvíce podílel měsíc únor. Maximální povolený počet překročení ($25\times$ v průměru za tři roky) hodnoty imisního limitu pro maximální denní 8hodinovou koncentraci O_3 ($120\ \mu g\cdot m^{-3}$) byl překročen na šesti stanicích z 68.

S koncem roku je možné vyhodnotit i překročení ročních imisních limitů, a to pro průměrnou roční koncentraci suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ a NO_2 . Na základě neverifikovaných dat ze stanic automatizovaného imisního monitoringu ČHMÚ a dalších dodavatelů imisních dat lze konstatovat, že imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM_{10} nebyl překročen na žádné ze 128 stanicí AIM, přičemž nejvyšší roční průměrná koncentrace $34,4\ \mu g\cdot m^{-3}$ byla naměřena na průmyslové stanici Ostrava-Radvanice ZÚ. Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci $PM_{2,5}$ byl překročen na deseti stanicích z 87 stanicí AIM. Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci NO_2 nebyl překročen na žádné stanici z 98, přičemž nejvyšší koncentrace $35,2\ \mu g\cdot m^{-3}$ byla dosažena na dopravní stanici Brno-Úvoz (hot spot).

V roce 2021 byla 27. až 29. prosince vyhlášena jediná smogová situace, a to v aglomeraci O/K/F-M bez Třinecka z důvodu vysokých koncentrací PM_{10} [1].

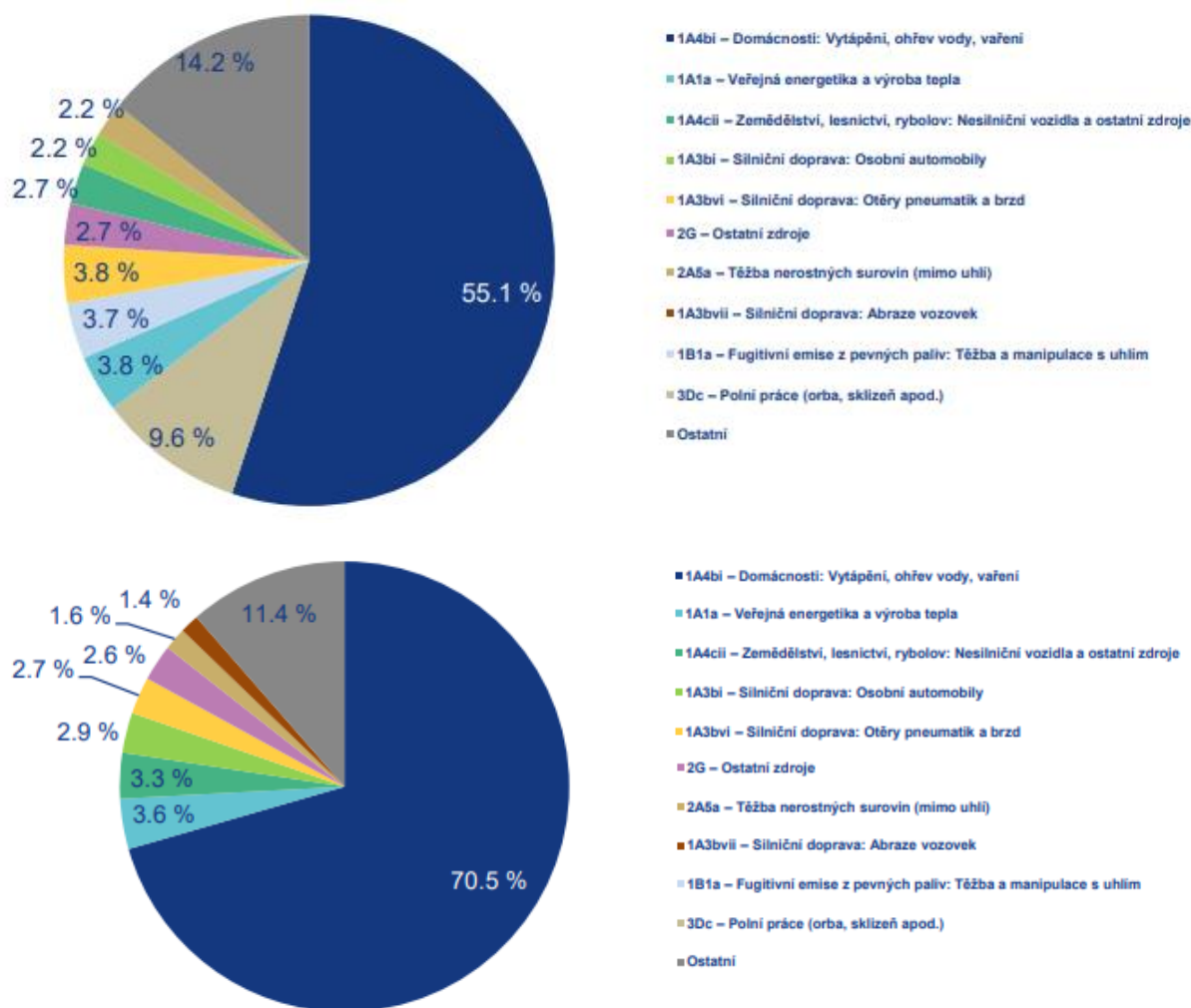
3 VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ

3.1 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₁₀

Obecná část této kapitoly platí také pro částice PM_{2,5}. Suspendované částice PM₁₀ jsou tvořeny směsí pevných a kapalných částic o aerodynamickém průměru menším než 10 µm, v případě PM_{2,5} 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 PM₁₀ je 40 µg·m⁻³. **Hodnota imisního limitu** pro průměrnou 24hodinovou koncentraci PM₁₀ je 50 µg·m⁻³. 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_{2,5} má nově od roku 2021 hodnotu 20 µg·m⁻³ [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 2019 patřil sektor *1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření*, který se podílel na znečišťování ovzduší v celorepublikovém měřítku látkami PM₁₀ 55,1 % a PM_{2,5} 70,5 %. Mezi další významné zdroje emisí PM₁₀ patřil sektor *3Dc – Polní práce*, kde tyto emise vznikají při zpracování půdy, sklizni a čištění zemědělských plodin. Tento sektor představoval 9,6 % emisí PM₁₀. Z hlediska účinku na lidské zdraví jsou velkým rizikem emise částic pocházející z dopravy, především ze spalování paliv ve vznětových motorech, které produkují částice o velikosti jednotek až stovek nanometrů [7]. Mobilní zdroje se na emisích PM₁₀ v roce 2019 podílely 12,2 % a na emisích PM_{2,5} také 12,2 % [8].



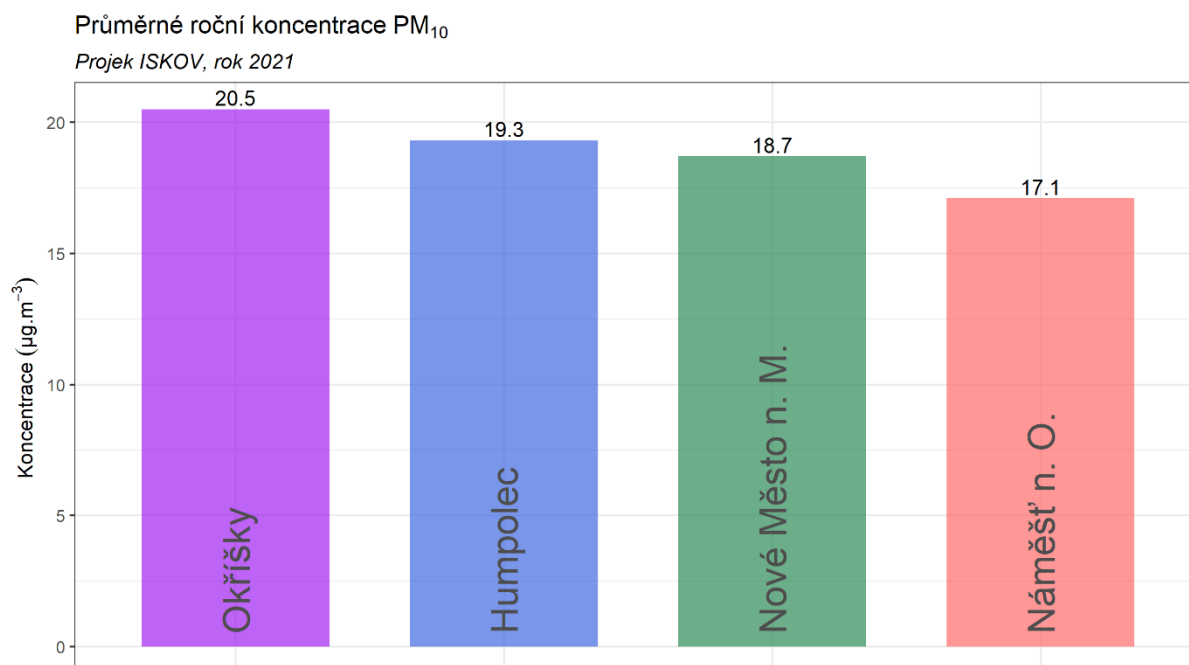
Obr. 9 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích PM_{10} (nahore) a $PM_{2,5}$ (dole) v ČR, rok 2019 [8].

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 2021

LOKALITA	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE PM_{10} ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
HUMPOLEC	19,3
NÁMĚŠŤ NAD OSLAVOU	17,1
NOVÉ MĚSTO NA MORAVĚ	18,7
OKŘÍŠKY	20,5



Obr. 10 – Průměrná roční koncentrace PM_{10} , projekt ISKOV, rok 2021

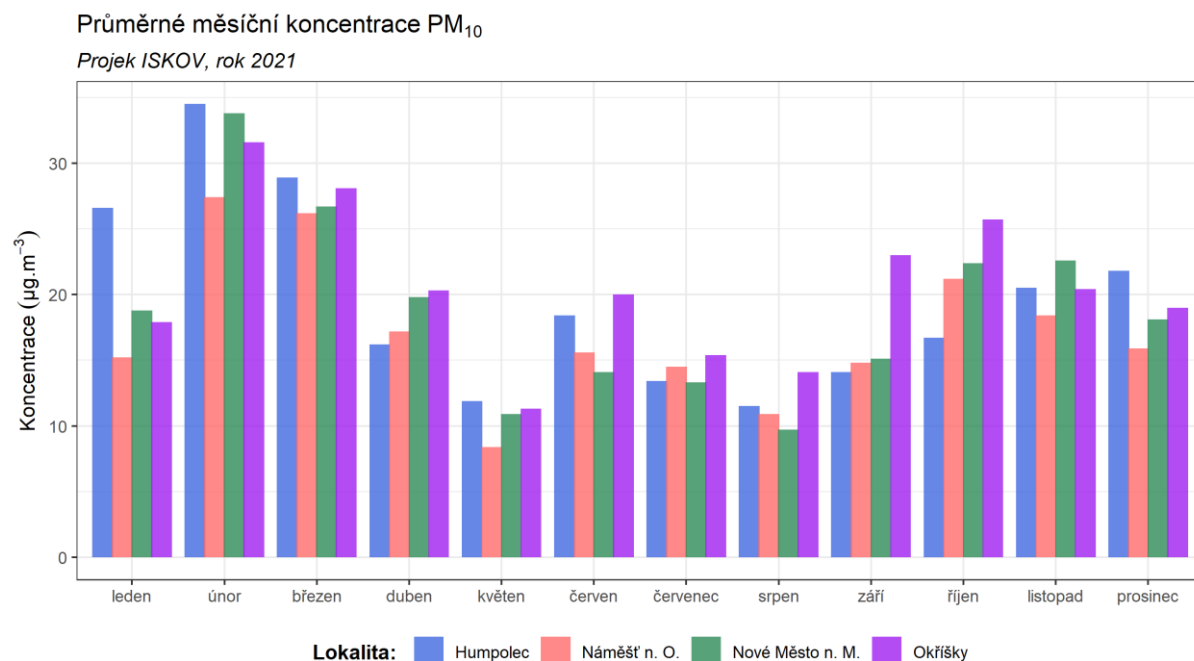
Z uvedeného vyplývá, že nejvyšší průměrná roční koncentrace PM_{10} byla naměřena v lokalitě Okříšky, nejnižší pak v lokalitě Náměšť nad Oslavou. **Ani na jedné lokalitě nedošlo k překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci PM_{10} ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).**

3.1.2 Průměrné měsíční koncentrace

Průměrné měsíční koncentrace, naměřené v jednotlivých lokalitách v roce 2021, zobrazuje následující Tab. 5, graficky je pak znázorňuje Obr. 11. Z grafu je dobře patrné, že nejvyšší koncentrace PM₁₀ byly měřeny na všech lokalitách v únoru a březnu. Obecně lze konstatovat, že v topné sezóně jsou koncentrace PM₁₀ na všech lokalitách výrazně vyšší než v letních měsících. Vliv majoritního zdroje prašnosti, tedy lokálních topenišť, je dobře patrný. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace PM₁₀ byla naměřena v listopadu v lokalitě Humpolec a měla hodnotu 34,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Statistické zpracování průměrných denních koncentrací PM₁₀ v jednotlivých měsících a lokalitách uvádí Obr. 12.

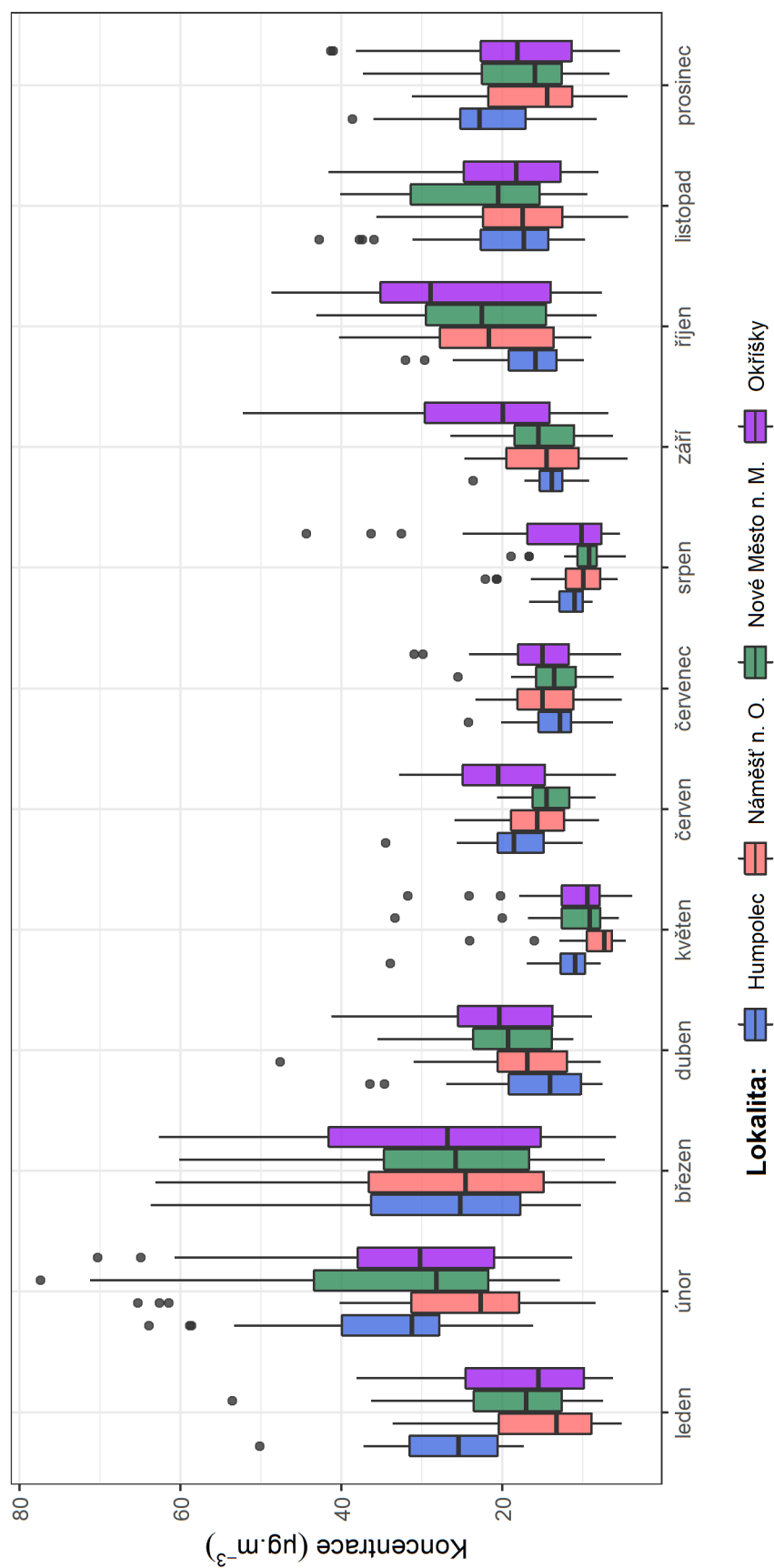
Tab. 5 – Průměrné měsíční koncentrace PM₁₀, projekt ISKOV, rok 2021

MĚSÍC	HUMPOLEC	NÁMĚŠŤ NAD OSLAVOU	NOVÉ MĚSTO A MORAVĚ	OKŘÍŠKY
LEDEN	26,6	15,2	18,8	17,9
ÚNOR	34,5	27,4	33,8	31,6
BŘEZEN	28,9	26,2	26,7	28,1
DUBEN	16,2	17,2	19,8	20,3
KVĚTEN	11,9	8,4	10,9	11,3
ČERVEN	18,4	15,6	14,1	20
ČERVENEC	13,4	14,5	13,3	15,4
SRPEN	11,5	10,9	9,7	14,1
ZÁŘÍ	14,1	14,8	15,1	23
ŘÍJEN	16,7	21,2	22,4	25,7
LISTOPAD	20,5	18,4	22,6	20,4
PROSINEC	21,8	15,9	18,1	19



Obr. 11 – Průměrné měsíční koncentrace PM₁₀, projekt ISKOV, rok 2021

Statistické zpracování průměrných denních koncentrací PM_{10} v jednotlivých měsících
Projekt ISKOV, rok 2021



Obr. 12 – Statistické zpracování průměrných denních koncentrací PM_{10} v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2021

3.1.3 Průměrné denní koncentrace PM₁₀

Jak již bylo uvedeno, legislativa z hlediska denních průměrů PM₁₀ sleduje 36. nejvyšší denní koncentraci za kalendářní rok, která pokud překročí hodnotu 50 µg·m⁻³, dojde k překročení imisního limitu. Hodnoty 36. nejvyšších denních koncentrací PM₁₀ ze všech lokalit uvádí následující Tab. 6.

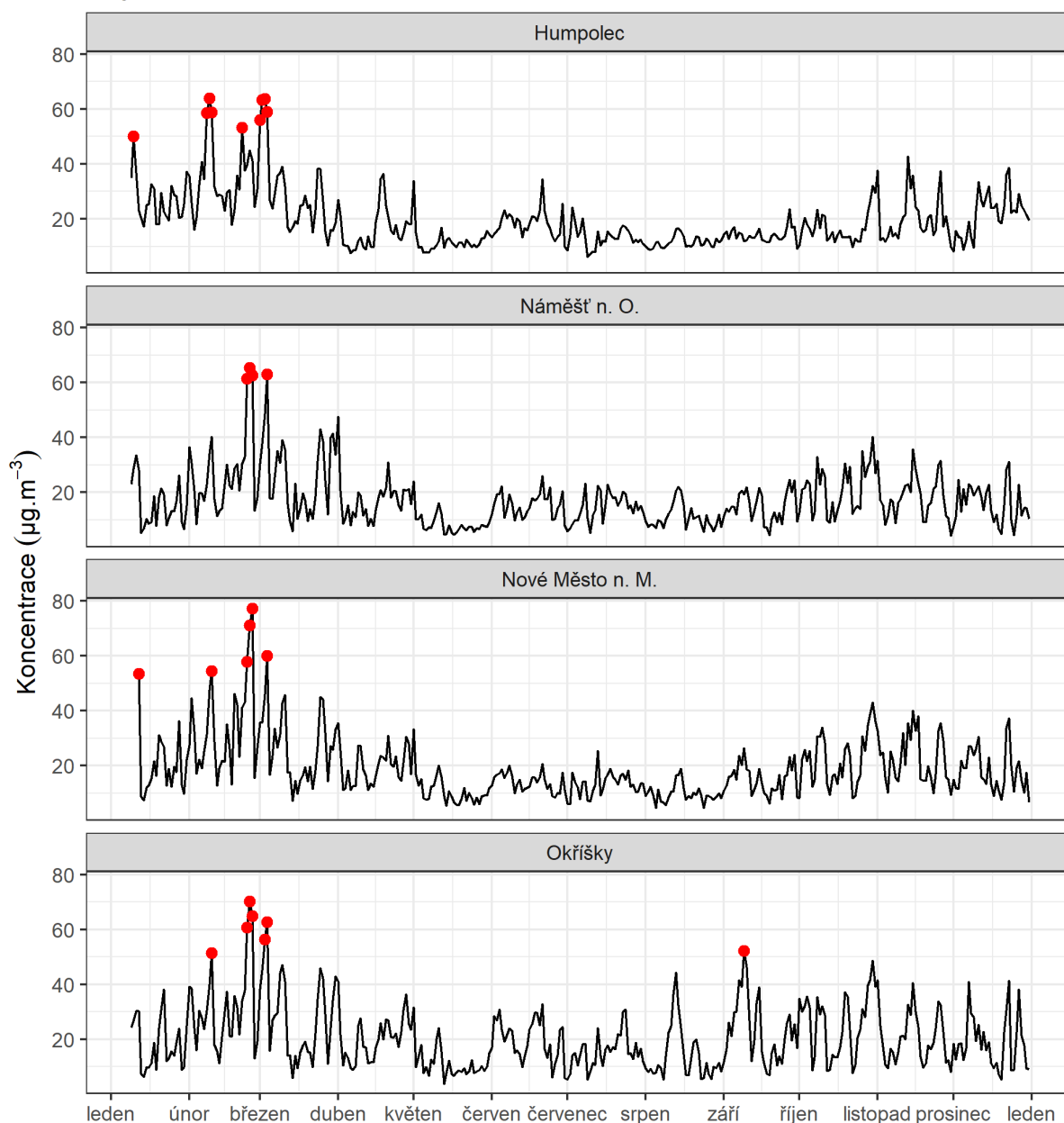
Tab. 6 – 36 nejvyšších průměrných denních koncentrací PM₁₀, projekt ISKOV, rok 2021

POŘADÍ	HUMPOLEC	NÁMĚŠŤ NAD OSLAVOU	NOVÉ MĚSTO NA MORAVĚ	OKŘÍŠKY
1	63,9	65,3	77,4	70,3
2	63,7	63,1	71,2	64,9
3	63,4	62,6	60,1	62,7
4	59,1	61,4	57,9	60,7
5	58,8	48,5	54,5	56,3
6	58,6	47,6	53,5	52,2
7	56	43,1	47,7	51,4
8	53,3	41,4	46,2	48,7
9	50,1	40,3	46,1	47
10	44,9	40,2	45,8	46,3
11	42,7	40,1	45	45,9
12	41,2	39,1	44,6	45
13	40,8	38,7	44,2	44,3
14	39,6	37,6	43,1	44,1
15	39,1	36,4	43	42,9
16	38,6	35,6	42,9	42,1
17	38,3	35,6	42,2	41,6
18	38,3	35,1	41,3	41,6
19	37,7	35,1	40,1	41,6
20	37,6	34,1	38,8	41,3
21	37,4	33,7	38,2	41,2
22	37,2	33,6	37,3	41,1
23	36,9	33	36,3	41
24	36,8	32,9	36,1	40,5
25	36,4	31,5	35,8	40
26	36	31,5	35,8	39,5
27	35,9	31,4	35,6	39,2
28	35,9	31,2	35,5	39,2
29	35,6	31,1	35,5	39,2
30	35,6	31	35,1	38,9
31	34,8	30,7	34,7	38,6
32	34,6	30,7	34	38,3
33	34,5	30,6	33,7	38,2
34	34,5	30,6	33,6	38,1
35	33,9	30,4	33,3	37,7
36	33,4	30,3	33,1	37,4

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 Humpolec (9x). V lokalitě Okříšky došlo k 7 překročením, v lokalitě Nové Město na Moravě k 6 překročením a nejméně pak v lokalitě Náměšť nad Oslavou (4x). Výskyt těchto dnů s překročenou hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ pak zobrazuje následující Obr. 13.

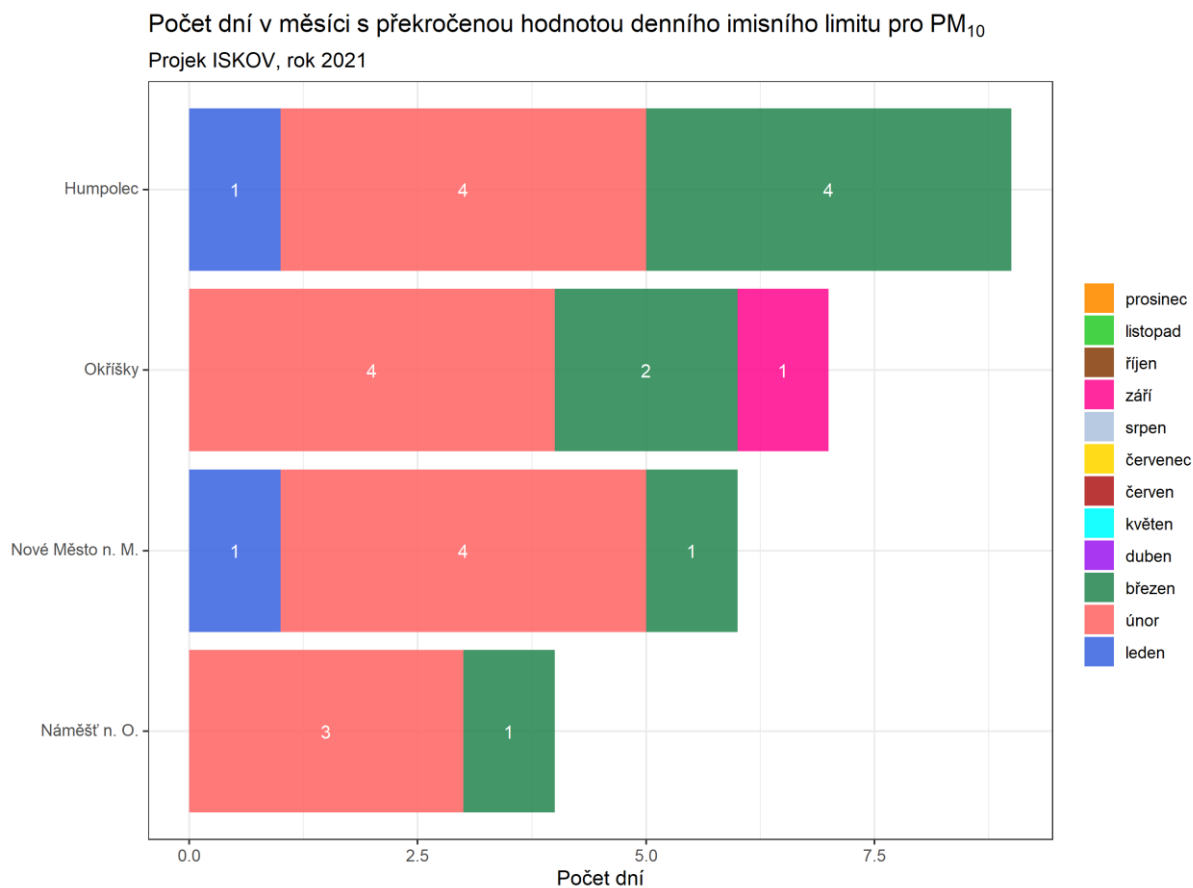
Výskyt dní s překročenou hodnotou denního imisního limitu pro PM₁₀

Projek ISKOV, rok 2021



Obr. 13 – Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁₀ včetně výskytu dní s koncentracemi vyššími než 50 µg·m⁻³, projekt ISKOV, rok 2021

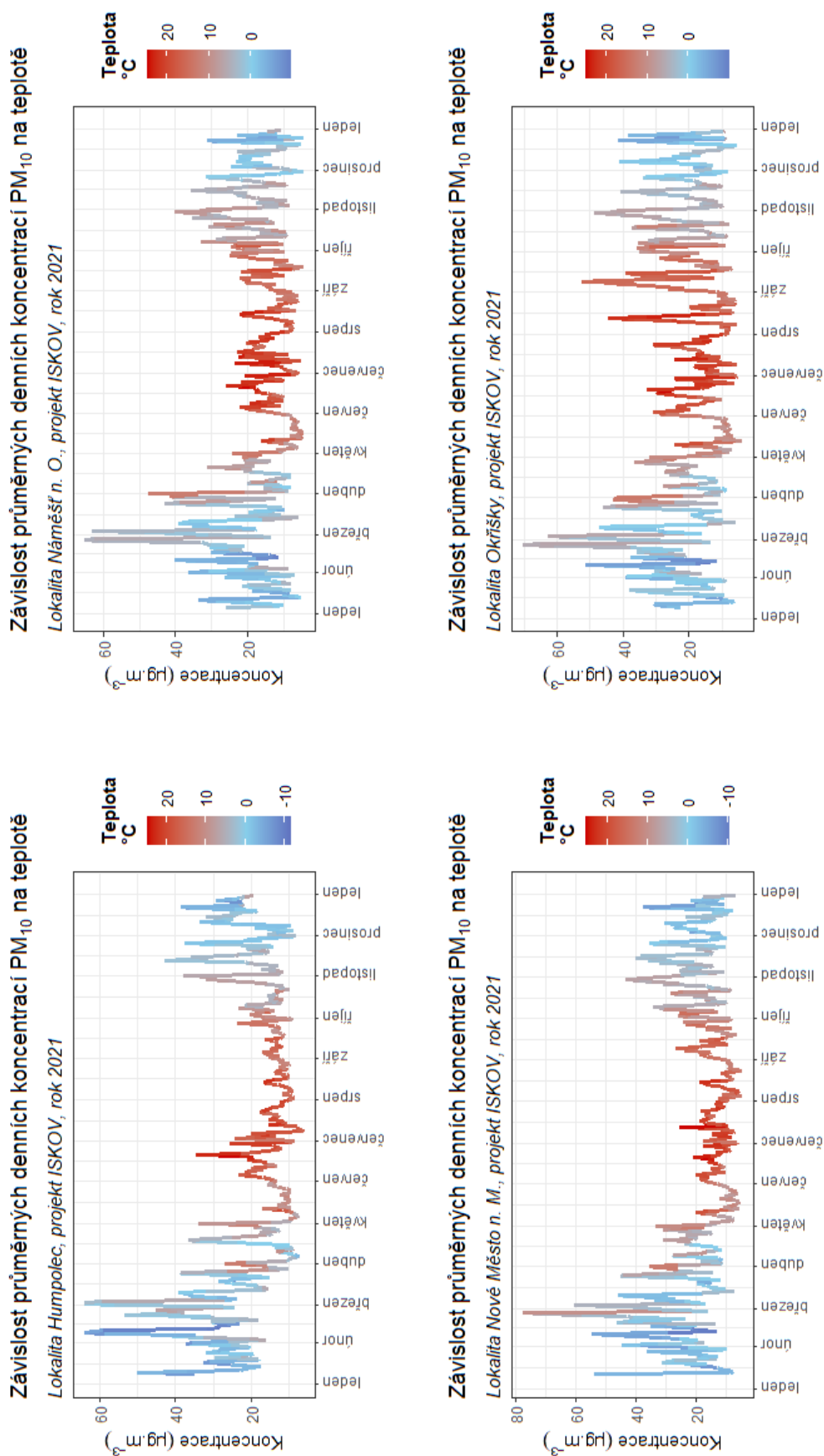
Souhrnně pak počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ uvádí následující Obr. 14. Z něj je dobře patrné, že nejvíce se na překračování podílely měsíce únor a březen.



Obr. 14 – Počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro denní koncentraci PM₁₀, projekt ISKOV, rok 2021

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 PM₁₀ ve všech lokalitách.

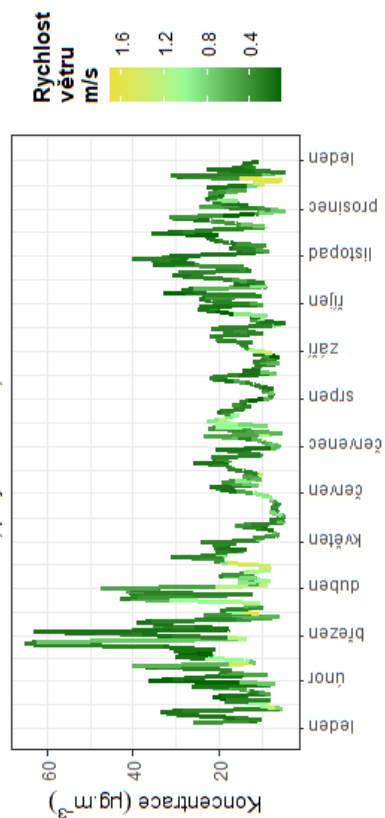
Z grafů je velmi dobře patrné že nejvyšší koncentrace PM₁₀ jsou měřeny při nejnižších teplotách (nejvyšší potřeba topit), vyšší koncentrace jsou měřeny při nižších rychlostech větru (vlivem bezvětří dochází k horšímu rozptylu znečištění) a vyšších relativních vlhkostech vzduchu.



Obr. 15 – Vliv teploty vzduchu na průměrné denní koncentrace PM_{10} , projekt ISKOV, rok 2021

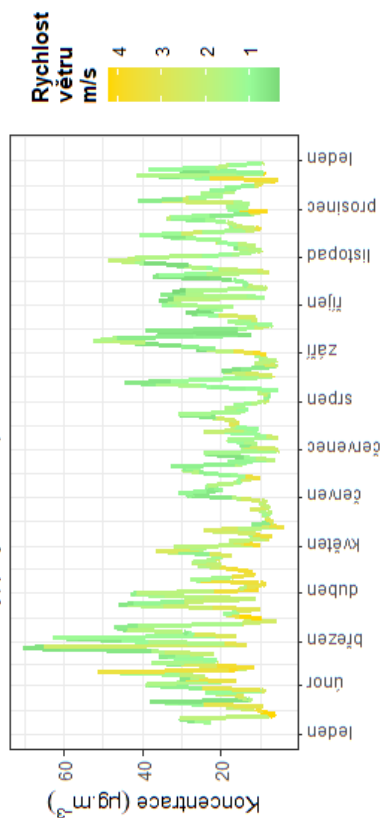
Závislost průměrných denních koncentrací PM_{10} na rychlosti větru

Lokalita Náměšť n. O., projekt ISKOV, rok 2021



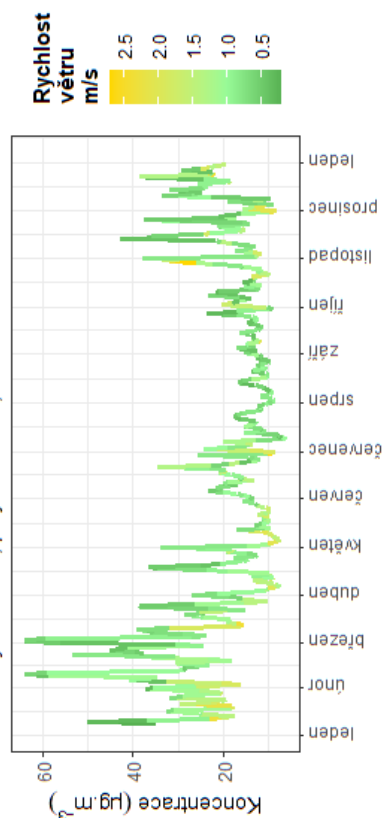
Závislost průměrných denních koncentrací PM_{10} na rychlosti větru

Lokalita Okříšky, projekt ISKOV, rok 2021



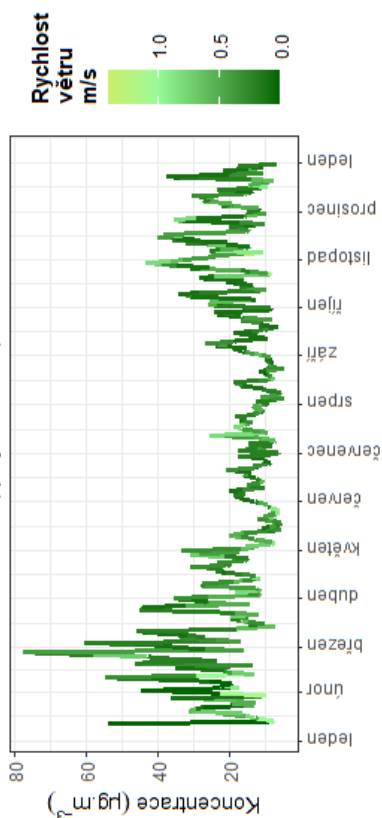
Závislost průměrných denních koncentrací PM_{10} na rychlosti větru

Lokalita Bytčice n. P., projekt ISKOV, rok 2021



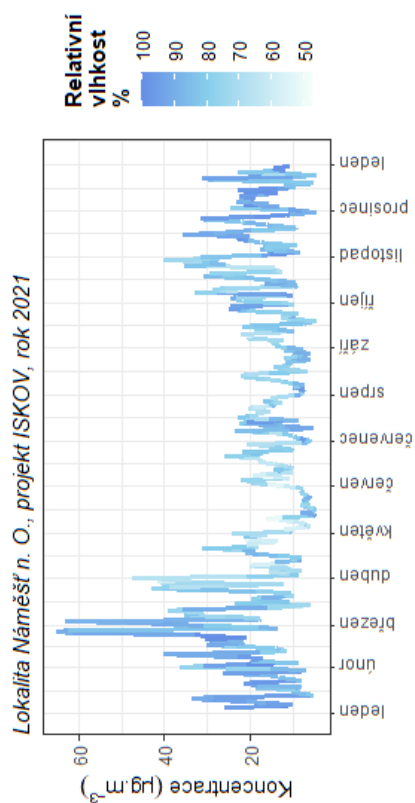
Závislost průměrných denních koncentrací PM_{10} na rychlosti větru

Lokalita Nové Město n. M., projekt ISKOV, rok 2021

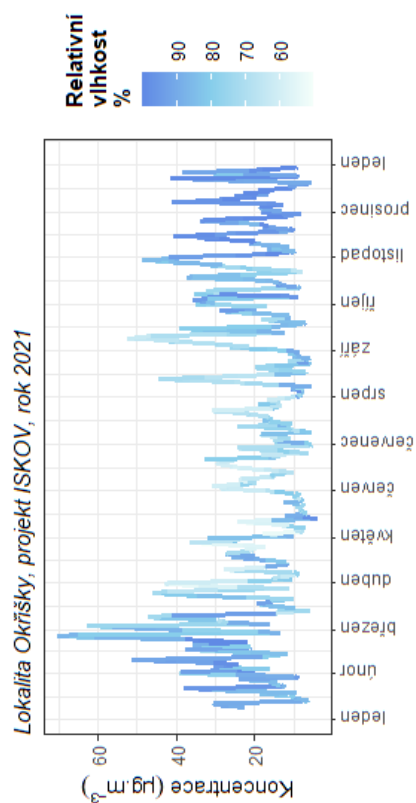


Obr. 16 – Vliv rychlosti větru na průměrné denní koncentrace PM_{10} , projekt ISKOV, rok 2021

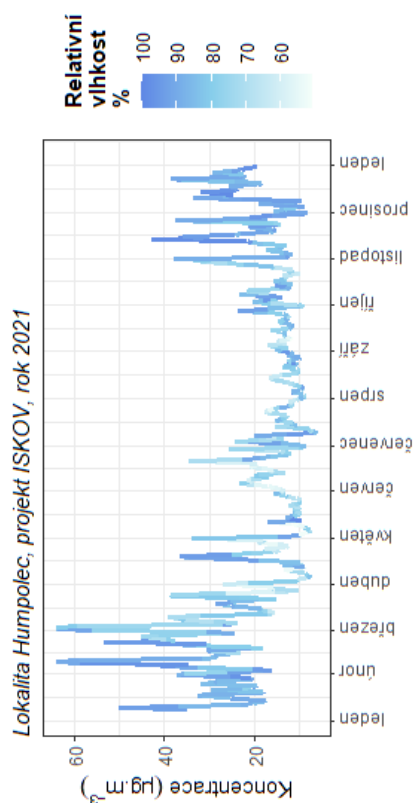
Závislost průměrných denních koncentrací PM_{10} na relativní vlhkost



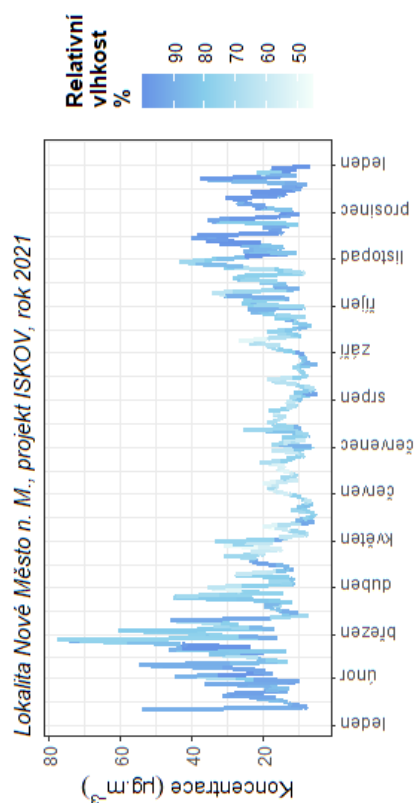
Závislost průměrných denních koncentrací PM_{10} na relativní vlhkost



Závislost průměrných denních koncentrací PM_{10} na relativní vlhkost



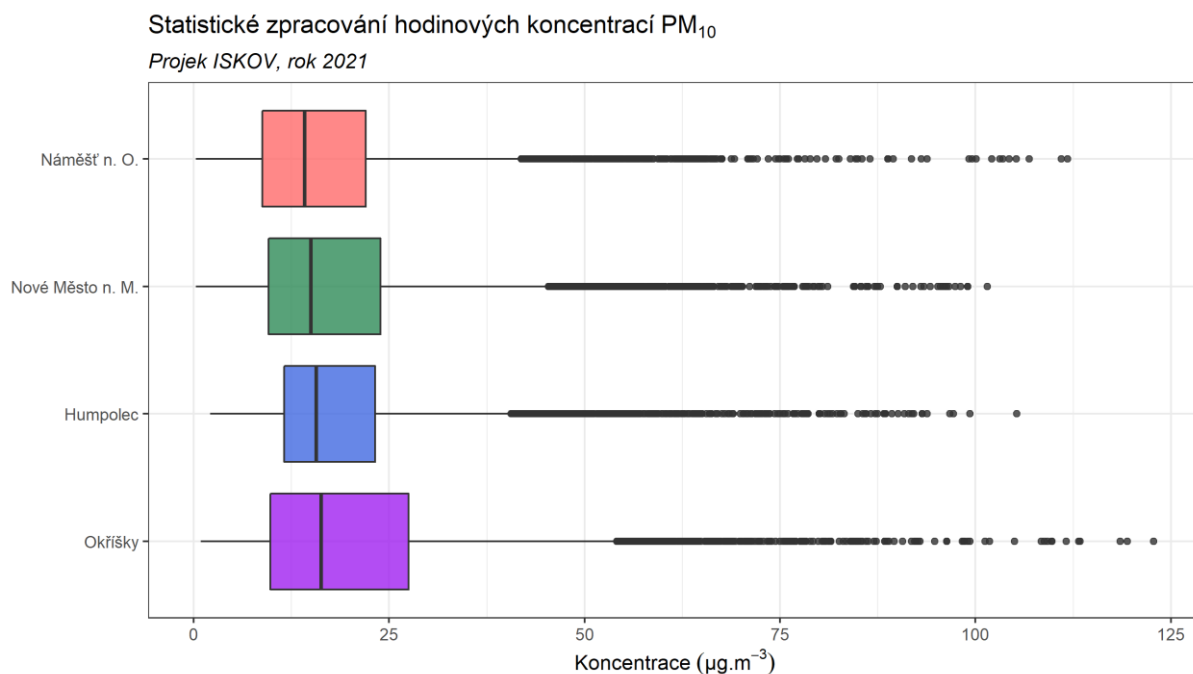
Závislost průměrných denních koncentrací PM_{10} na relativní vlhkost



Obr. 17 – Vliv relativní vlhkosti vzduchu na průměrné denní koncentrace PM_{10} , projekt ISKOV, rok 2021

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).

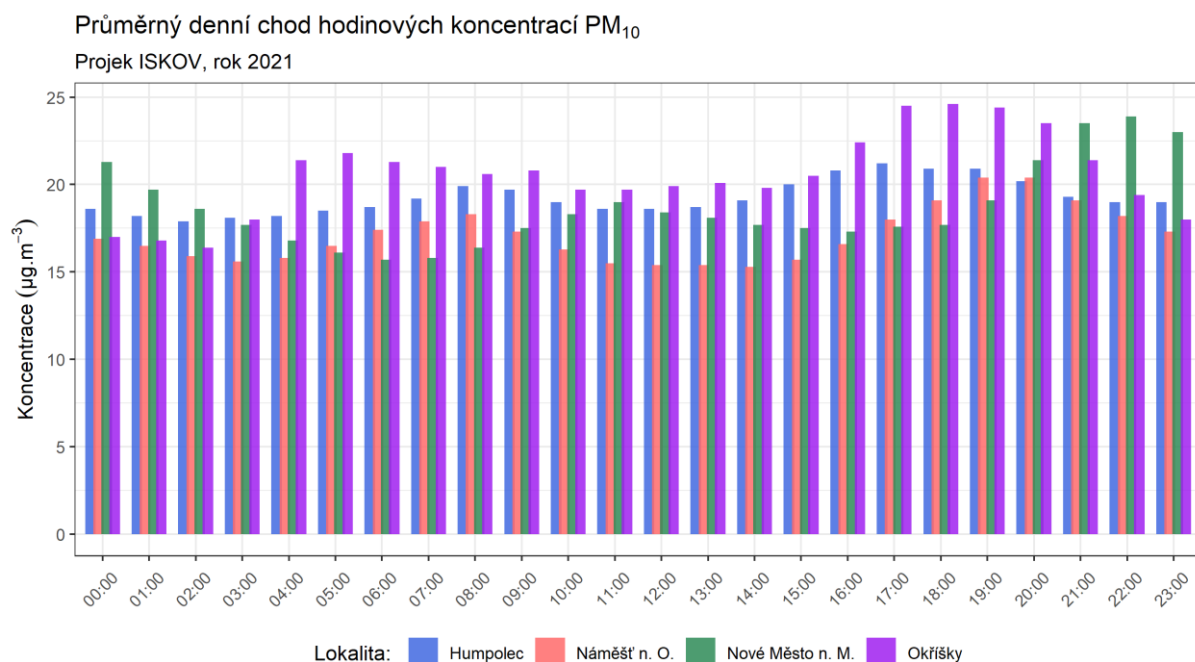


Obr. 18 – Statistické zpracování hodinových koncentrací PM₁₀ v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2021

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 100–120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, nejvíce jich však je v lokalitě Okříšky, kdy ojediněle nastoupala hodnota hodinové koncentrace až k 125 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Takto vysoká koncentrace mohla být důsledkem zhoršených rozptylových podmínek, emisí z lokálních topenišť ve večerních hodinách.

Nejvyšší hodinová koncentrace v lokalitě Náměšť nad Oslavou byla naměřena 1. 4. 2021 v 9:00 a měla hodnotu 111,8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší koncentrace v lokalitě Nové Město na Moravě byla naměřena dne 26. 2. 2021 v 8:00 hodin a měla hodnotu 101,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší koncentrace v lokalitě Humpolec byla naměřena 2. 3. 2021 o půlnoci a měla hodnotu 105,3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a nejvyšší koncentrace v lokalitě Okříšky byla naměřena 25. 2. 2021 v 17:00 a měla hodnotu 122,8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

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. 19).



Obr. 19 – Průměrný denní chod hodinových koncentrací PM₁₀, projekt ISKOV, rok 2021. Čas je uváděn v UTC

Z grafu je velmi dobře patrné, že ve všech lokalitách gradují koncentrace v odpoledních a večerních hodinách – tedy v době zatápění po návratu z práce.

3.1.5 Růžice – detailní analýza hodinových hodnot

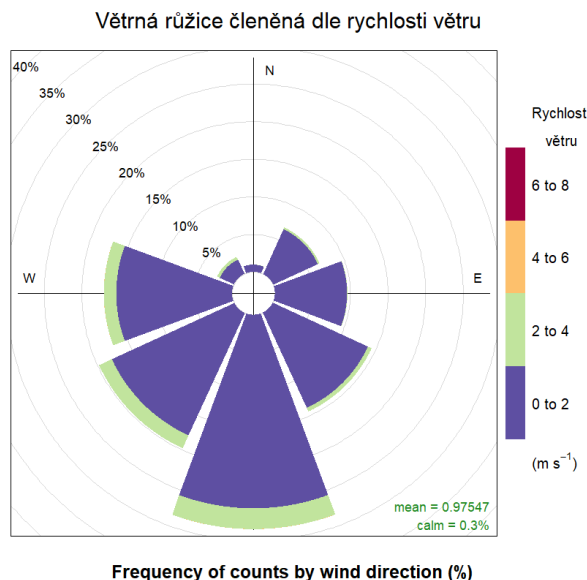
V této podkapitole budou pro všechny lokality připraveny větrné a koncentrační růžice. Větrná růžice bude kromě směrů větru členěna rovněž dle rychlostí větru, které jsou pro koncentrace škodlivin důležité.

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.

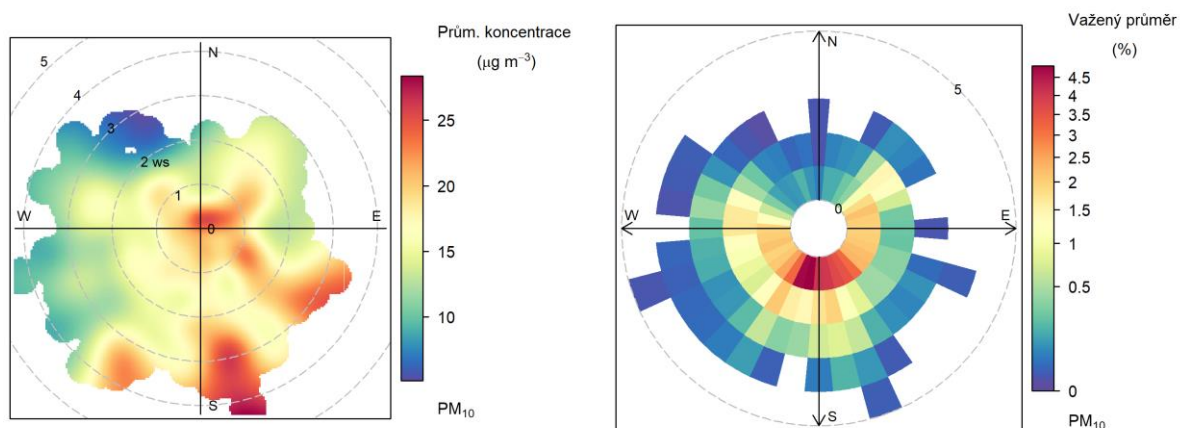
3.1.5.1 Humpolec

Na Obr. 20 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Humpolec*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především jižních a dále pak jihozápadních a západních směrů. Bezvětrí se v této lokalitě vyskytovalo zhruba v 0,3 % času. Průměrná rychlost proudění větru byla cca $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 20 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Humpolec, rok 2021

Následující Obr. 21 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro PM_{10} v lokalitě *Humpolec*.

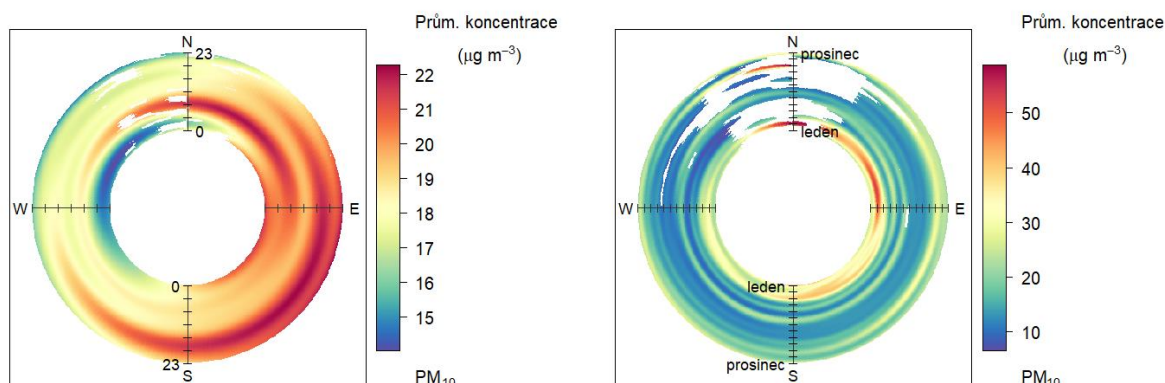


Obr. 21 – Koncentrační růžice PM_{10} , lokalita Humpolec, rok 2021

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění z jihu a jihovýchodu, či při bezvětrí. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností PM_{10} přišlo z jižních 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

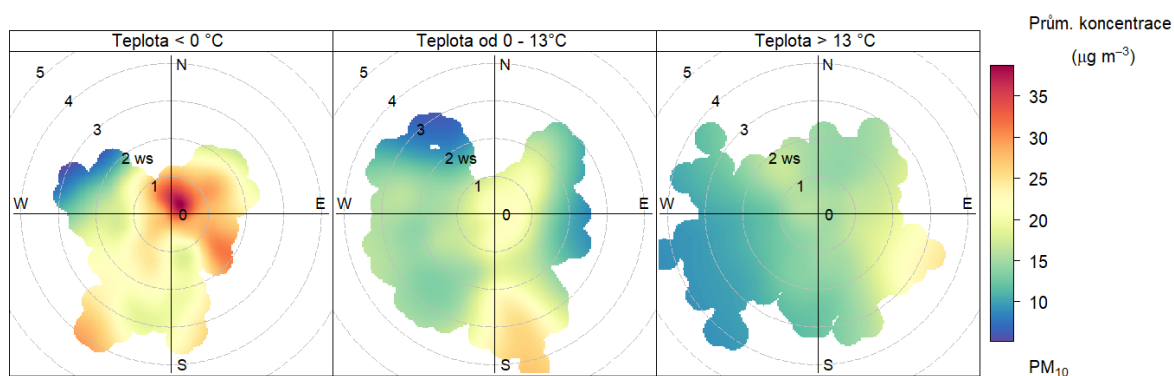
a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Humpolec* je tento denní chod vynesena na Obr. 22.



Obr. 22 – Denní a roční chod koncentrací PM_{10} členěný dle směru větru, lokalita *Humpolec*, rok 2021

Z obrázku je patrné, že z hlediska vysokých koncentrací PM_{10} je důležitý zejména jižní, jihovýchodní až východní směr větru především večerní a noční hodiny. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace především v topné sezóně a důležitý je východní směr proudění větru.

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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, prostřední růžice zobrazuje koncentrace PM_{10} při teplotách v intervalu od 0 do $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

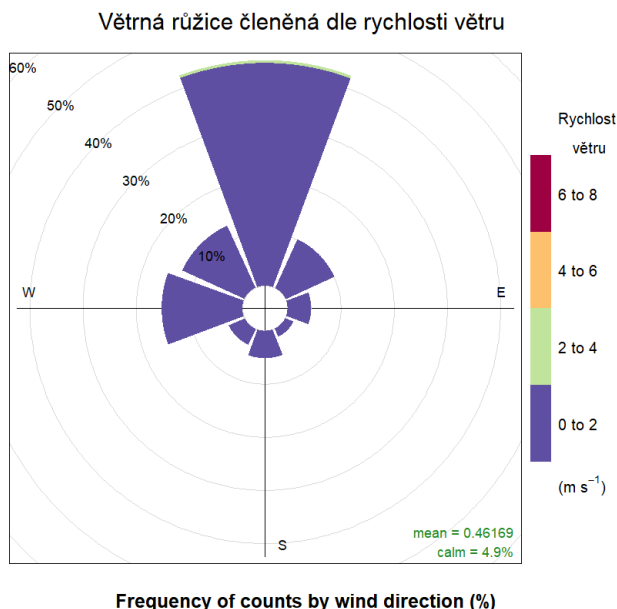


Obr. 23 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Humpolec*, rok 2021

Z koncentračních růžic vyplývá, že nejvyšší koncentrace byly měřeny při teplotách pod bodem mrazu a bezvětří nebo severním až severovýchodním prouděním. Vysoké koncentrace pak byly měřeny také při teplotách nad $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vyšších rychlostech větru z jihu až jihovýchodu. To může souviset např. s větrnou erozí.

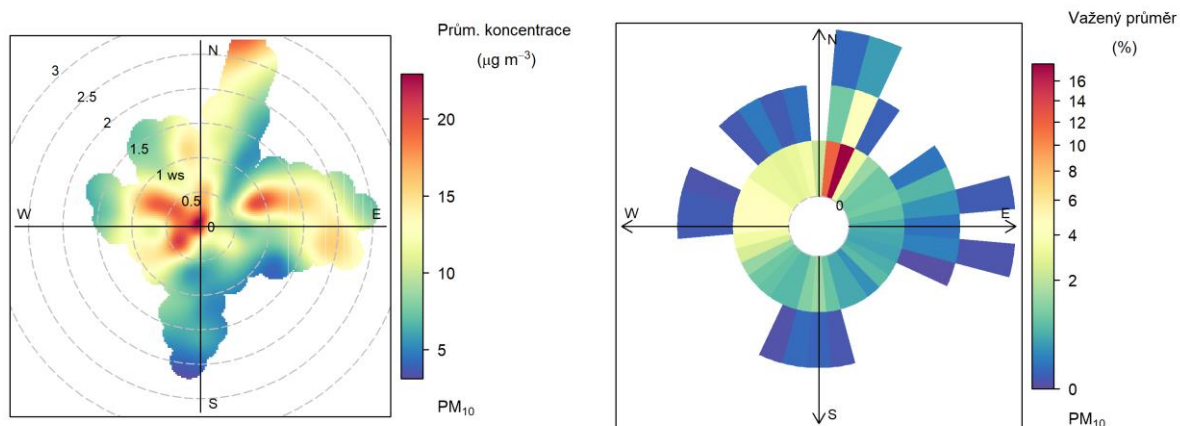
3.1.5.2 Náměšť nad Oslavou

Na Obr. 24 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Náměšť nad Oslavou*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severních směrů, vyšší rychlosti větru než $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ nebyly téměř zaznamenány. Bezvětrí panovalo zhruba v 4,9 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 24 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Náměšť nad Oslavou, rok 2021

Následující Obr. 25 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro PM_{10} v lokalitě *Náměšť nad Oslavou*.

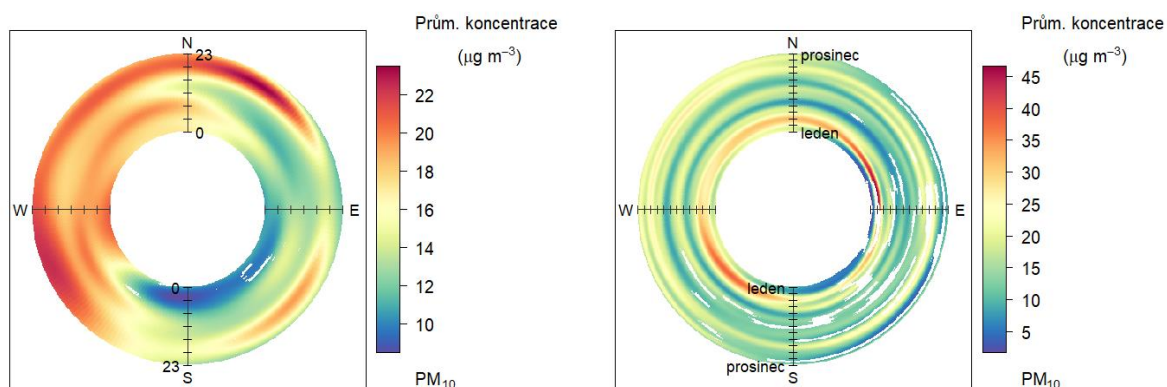


Obr. 25 – Koncentrační růžice PM_{10} , lokalita Náměšť nad Oslavou, rok 2021

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při bezvětrí, popř. při proudění ze západu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností PM_{10} přišlo ze severních až severovýchodních směrů, odkud 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.

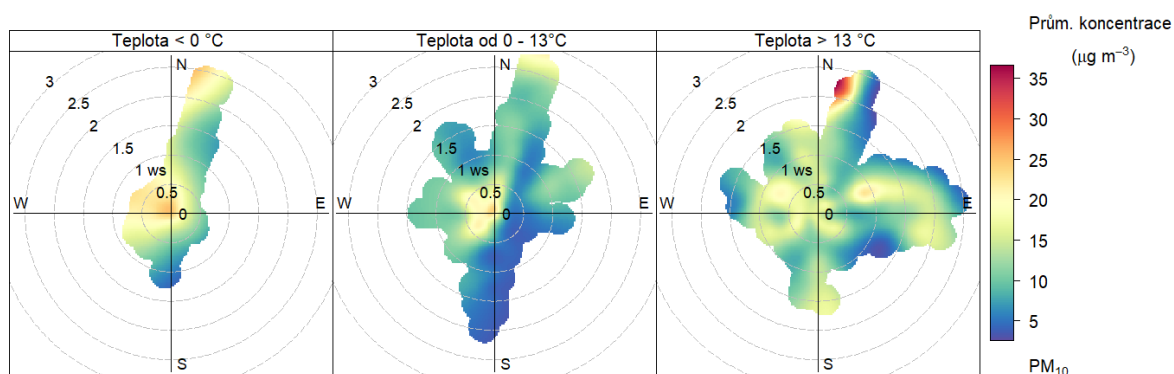
Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Náměšť nad Oslavou* je tento denní chod vynesena na Obr. 26.



Obr. 26 – Denní a roční chod koncentrací PM₁₀ členěný dle směru větru, lokalita *Náměšť nad Oslavou*, rok 2021

Z obrázku je patrné, že z hlediska vysokých koncentrací PM₁₀ je důležitý zejména severní až západní směr větru. Maxima jsou pak dosahována zejména ve večerních a nočních hodinách, při proudění ze západu i v průběhu dne. 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 růžice, 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 PM₁₀ při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

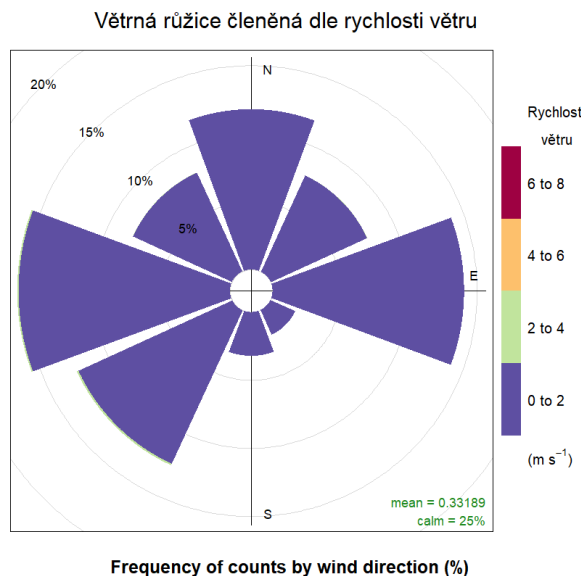


Obr. 27 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Náměšť nad Oslavou*, rok 2021

Z koncentračních růžic vyplývá, že nejvyšší koncentrace byly měřeny při teplotách na 13 °C a severním proudění s rychlostmi nad 2 m·s⁻¹. Pravděpodobně šlo o jednorázové ovlivnění. Zvýšené koncentrace jsou měřeny při nízkých teplotách a bezvětří, což jsou charakteristické podmínky pro teplotní inverzi.

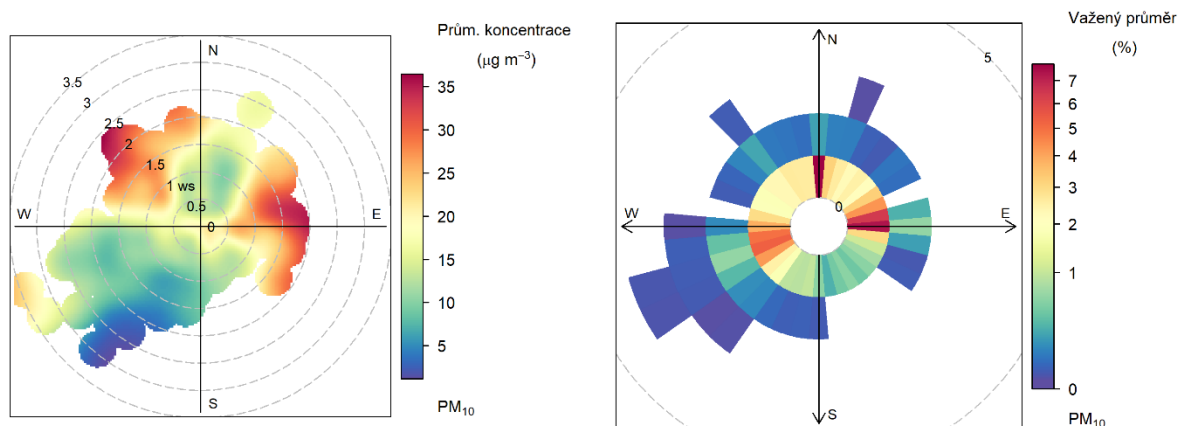
3.1.5.3 Nové Město na Moravě

Na Obr. 28 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Nové Město na Moravě*. Z růžice je patrné, že lokalita je poměrně rovnoměrně provětrávaná ze všech směrů s výjimkou jihovýchodních a jižních. Vyšší rychlosti větru než $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pak byly zaznamenány pouze výjimečně. Bezvětří panovalo zhruba v 25 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 28 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Nové Město na Moravě, rok 2021

Následující Obr. 29 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro PM_{10} v lokalitě *Nové Město na Moravě*.

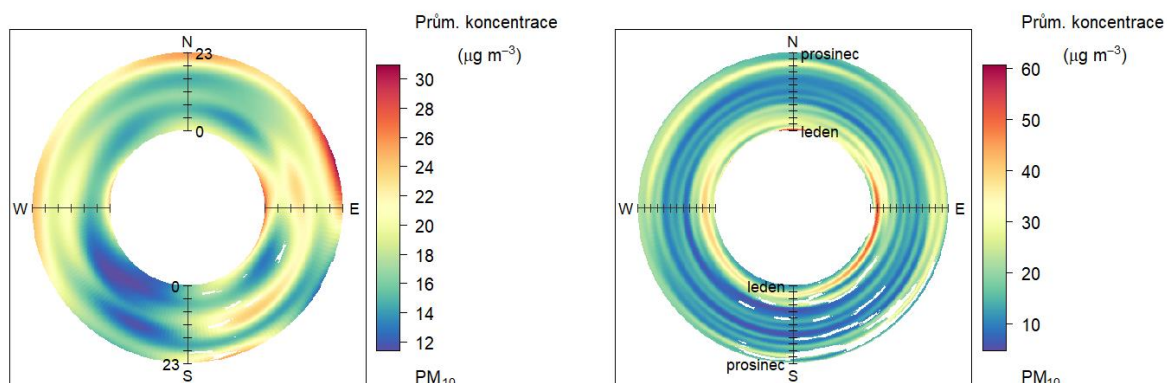


Obr. 29 – Koncentrační růžice PM_{10} , lokalita Nové Město na Moravě, rok 2021

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění z východu, resp. severozápadu a při vyšších rychlostech větru. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností PM_{10} 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

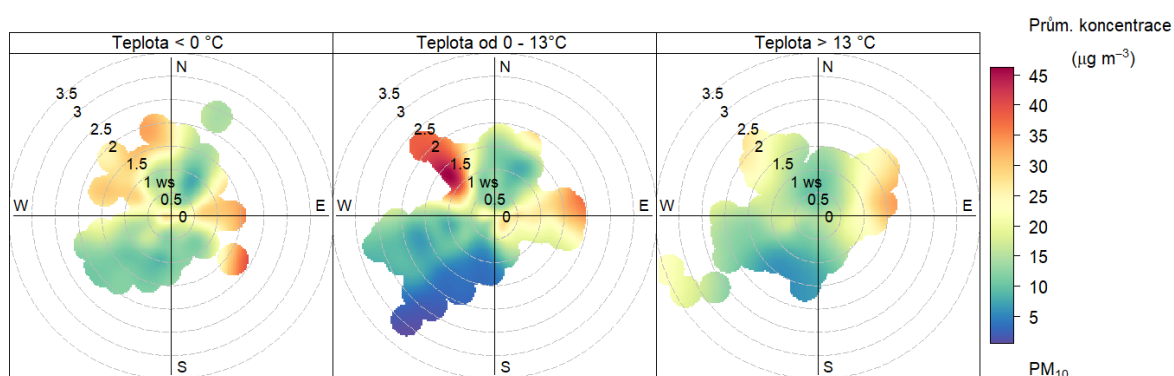
a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Nové Město na Moravě* je tento denní chod vynesena na Obr. 30.



Obr. 30 – Denní a roční chod koncentrací PM₁₀ členěný dle směru větru, lokalita *Nové Město na Moravě*, rok 2021

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací PM₁₀ je důležitý zejména severovýchodní směr větru. Maxima jsou pak dosahována zejména v 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 růžice, 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 PM₁₀ při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

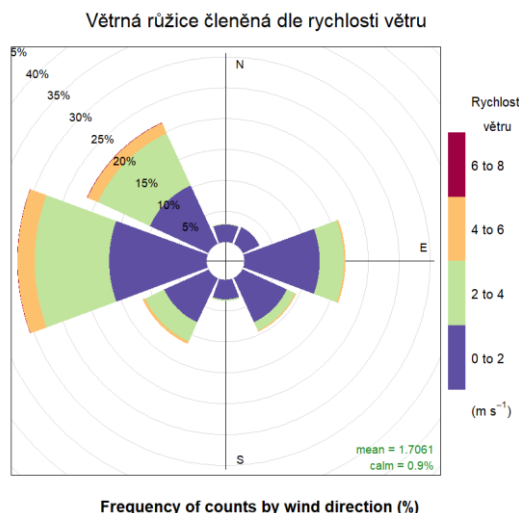


Obr. 31 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Nové Město na Moravě*, rok 2021

Z koncentračních růžic vyplývá, že při teplotách pod 0 °C jsou měřeny zvýšené koncentrace při proudění z jihovýchodu či severozápadu. Při teplotách do 13 °C jsou měřeny vysoké koncentrace při severozápadním proudění a vyšších rychlostech větru. Při teplotách nad 13 °C jsou zvýšené koncentrace při proudění z východu.

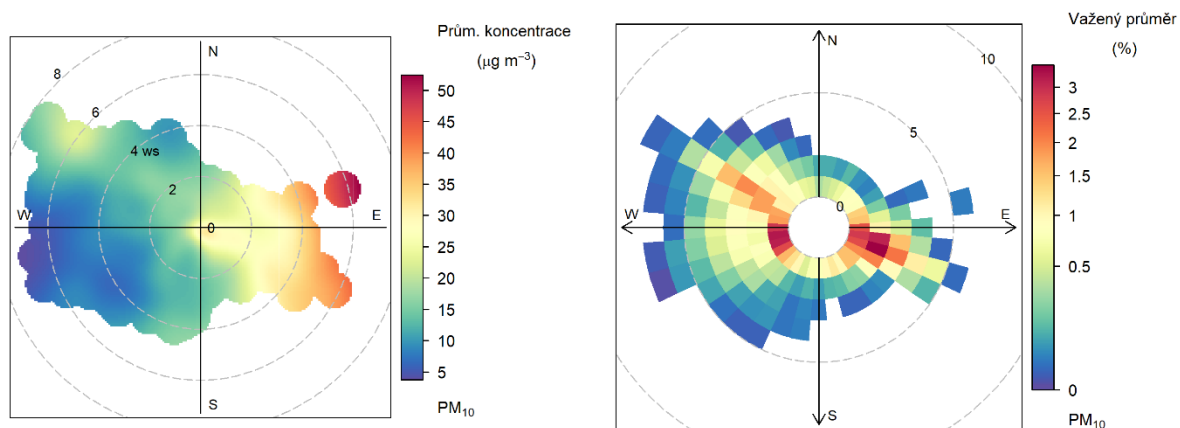
3.1.5.4 Okříšky

Na Obr. 32 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Okříšky*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze západních a severozápadních směrů, vyšší rychlosti větru než $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ byly měřeny při proudění právě z těchto směrů. Bezvětří panovalo zhruba v 0,9 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $1,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 32 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Okříšky, rok 2021

Následující Obr. 33 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro PM_{10} v lokalitě *Okříšky*.

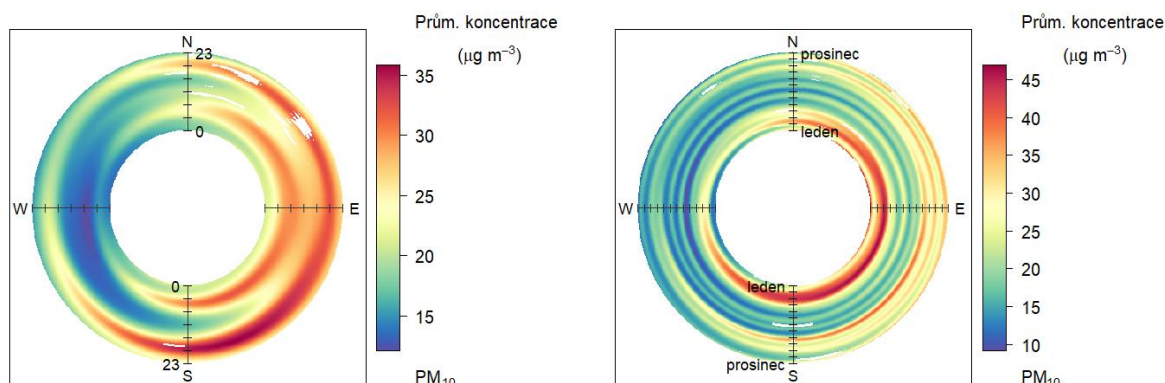


Obr. 33 – Koncentrační růžice PM_{10} , lokalita Okříšky, rok 2021

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění z východu až jihovýchodu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností PM_{10} přišlo západních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji, a dále pak ze směru východních, kde byly měřeny maxima.

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

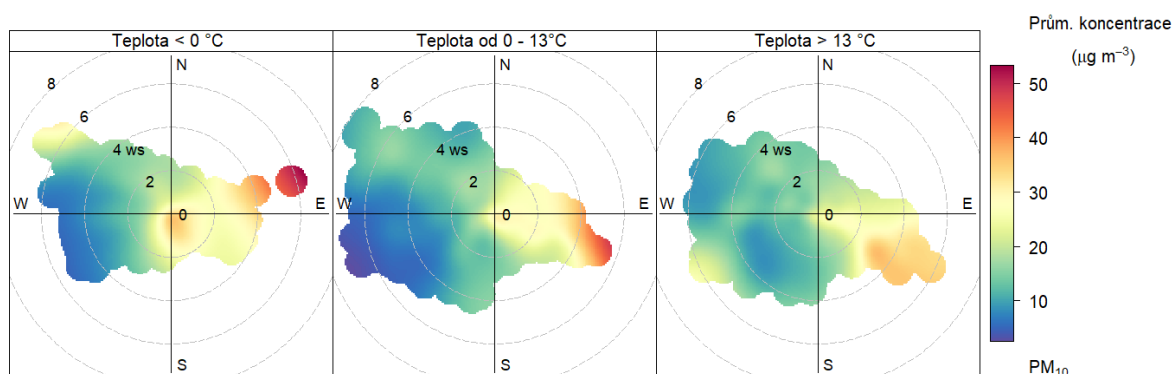
a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Okříšky* je tento denní chod vynesena na Obr. 34.



Obr. 34 – Denní a roční chod koncentrací PM_{10} členěný dle směru větru, lokalita *Okříšky*, rok 2021

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací PM_{10} je důležitý zejména východní až jižní 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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, prostřední růžice zobrazuje koncentrace PM_{10} při teplotách v intervalu od 0 do $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.



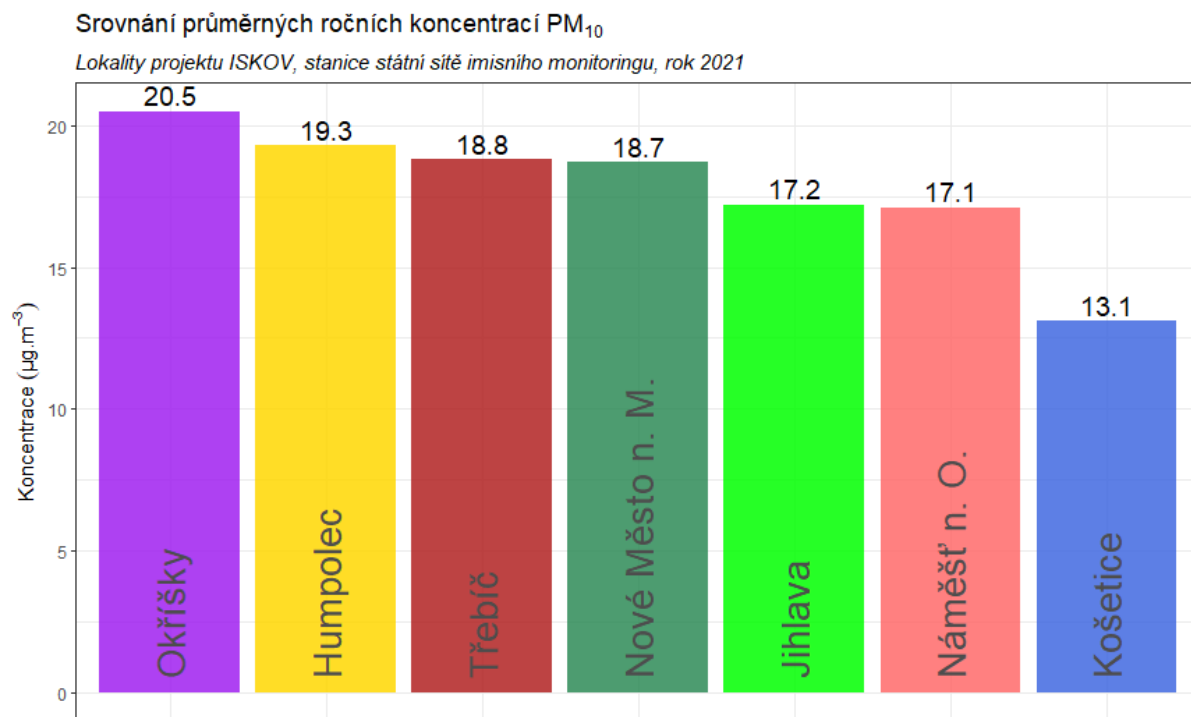
Obr. 35 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Okříšky*, rok 2021

Z koncentračních růžic vyplývá, že při všech teplotách lze pozorovat maxima koncentrací při proudění z východu, zvýšené koncentrace jsou rovněž při nízkých teplotách a bezvětří, což jsou charakteristické podmínky pro teplotní inverzi.

3.1.6 Srovnání koncentrací PM₁₀ s lokalitami státní sítě imisního monitoringu

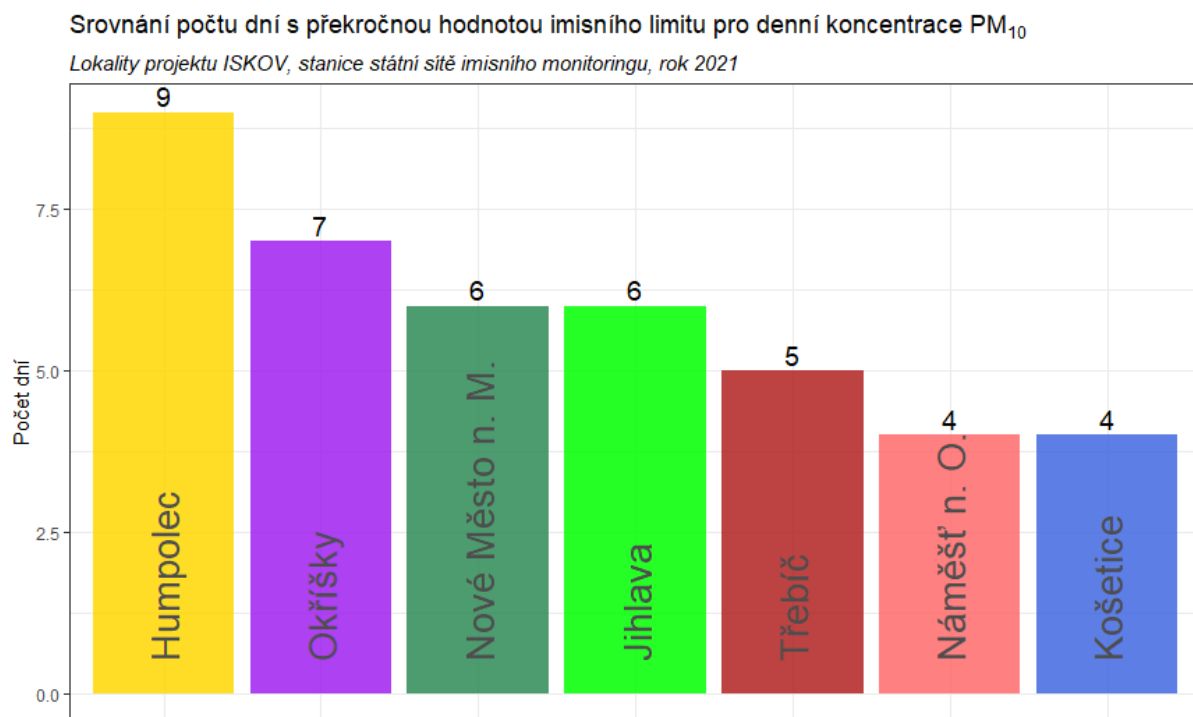
V následujících grafech na Obr. 36 a Obr. 37 je zobrazeno srovnání měřicích lokalit projektu ISKOV s lokalitami státní sítě imisního monitoringu (SSIM) v kraji Vysočina. První z grafů srovnává průměrné roční koncentrace PM₁₀, druhý pak počet dní s překročením hodnoty imisního limitu pro denní koncentraci PM₁₀.

Z grafu na Obr. 36 je patrné, že koncentrace PM₁₀ se pohybovaly v rozmezí 13–21 µg·m⁻³. Nejvyšší hodnotu naměřila lokalita Okříšky. Nejnížší koncentrace byla zaznamenána v lokalitě Košetice.



Obr. 36 – Srovnání průměrných ročních koncentrací PM₁₀, lokality projektu ISKOV a lokality SSIM, rok 2021

V případě počtu dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ zaznamenaly nejvyšší počet těchto dní lokality Humpolec a Okříšky. I tak byl počet překročení velmi nízký, povolený počet překročení (35) byl plněn s velkou rezervou na všech lokalitách. Nejméně překročení (4) bylo zaznamenáno v lokalitách Náměšť nad Oslavou a Košetice.



Obr. 37 – Srovnání počtu dní s překročenou hodnotou denního imisního limitu PM₁₀, lokality projektu ISKOV a lokality SSIM, rok 2021

3.2 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{2,5}

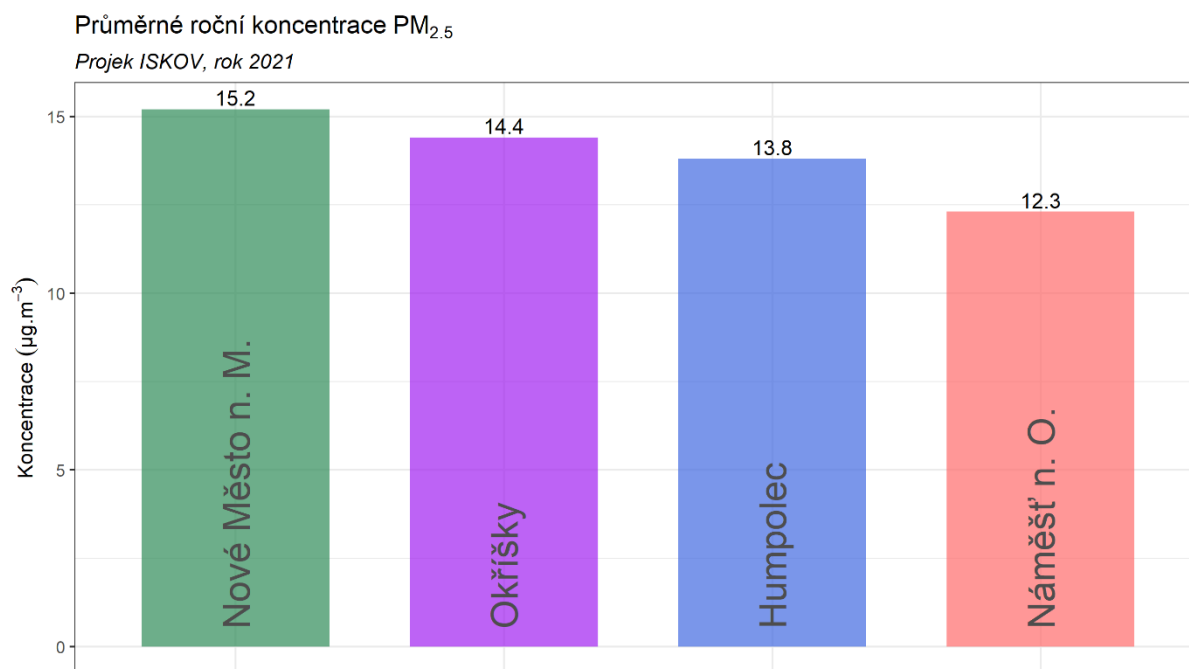
Obecná část, včetně legislativních požadavků a emisí je uvedena v kapitole o PM₁₀.

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_{2,5}, projekt ISKOV, rok 2021

LOKALITA	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE PM _{2,5} (μg·m ⁻³)
HUMPOLEC	13,8
NÁMĚŠŤ NAD OSLAVOU	12,3
NOVÉ MĚSTO NA MORAVĚ	15,2
OKŘÍŠKY	14,4



Obr. 38 – Průměrná roční koncentrace PM_{2,5}, projekt ISKOV, rok 2021

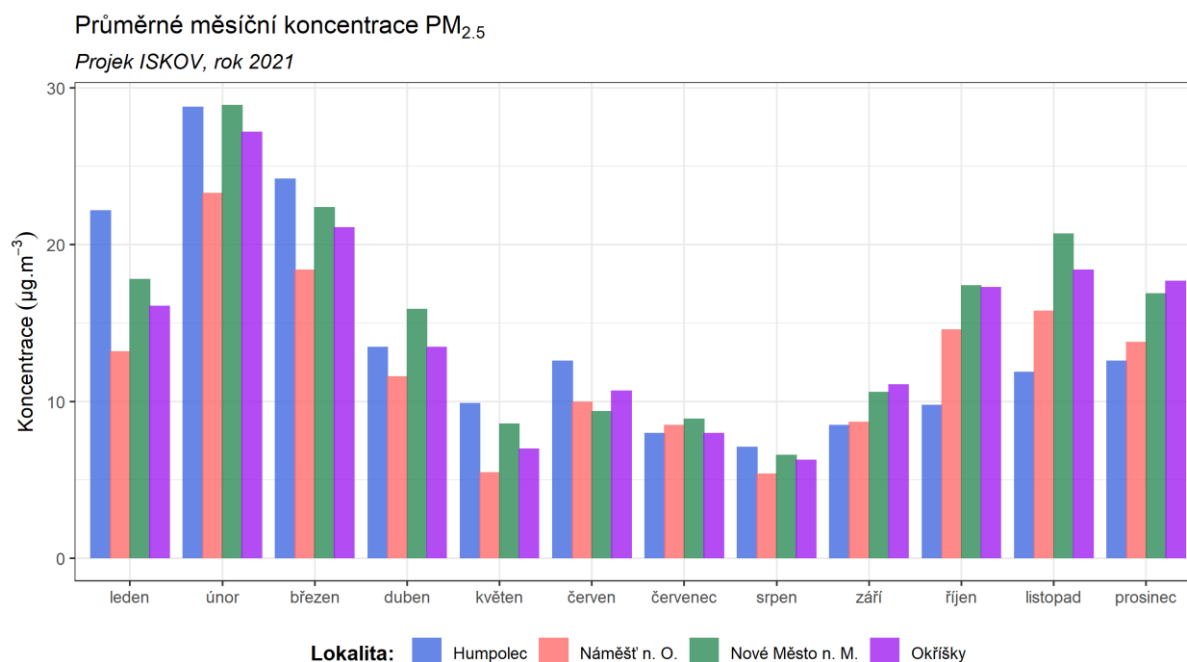
Z uvedeného vyplývá, že nejvyšší průměrná roční koncentrace PM_{2,5} byla naměřena v lokalitě Nové Město na Moravě, nejnižší pak v lokalitě Náměšť nad Oslavou. **Ani na jedné lokalitě nedošlo k překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci PM_{2,5} (20 μg·m⁻³).**

3.2.2 Průměrné měsíční koncentrace

Průměrné měsíční koncentrace, naměřené v jednotlivých lokalitách v roce 2021, zobrazuje následující Tab. 8, graficky je pak znázorňuje Obr. 39. Z grafu je dobře patrné, že nejvyšší koncentrace $PM_{2,5}$ byly měřeny v únoru a březnu. Obecně lze konstatovat, že v topné sezóně jsou koncentrace $PM_{2,5}$ na všech lokalitách výrazně vyšší než v letních měsících. Vliv majoritního zdroje prašnosti, tedy lokálních topenišť, je dobře patrný. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace $PM_{2,5}$ byla naměřena v lokalitě Nové Město na Moravě v únoru a měla hodnotu $28,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tab. 8 – Průměrné měsíční koncentrace $PM_{2,5}$, projekt ISKOV, rok 2021

MĚSÍC	HUMPOLEC	NÁMĚŠŤ NAD OSLAVOU	NOVÉ MĚSTO NA MORAVĚ	OKŘÍŠKY
LEDEN	22,2	13,2	17,8	16,1
ÚNOR	28,8	23,3	28,9	27,2
BŘEZEN	24,2	18,4	22,4	21,1
DUBEN	13,5	11,6	15,9	13,5
KVĚTEN	9,9	5,5	8,6	7
ČERVEN	12,6	10	9,4	10,7
ČERVENEC	8	8,5	8,9	8
SRPEN	7,1	5,4	6,6	6,3
ZÁŘÍ	8,5	8,7	10,6	11,1
ŘÍJEN	9,8	14,6	17,4	17,3
LISTOPAD	11,9	15,8	20,7	18,4
PROSINEC	12,6	13,8	16,9	17,7

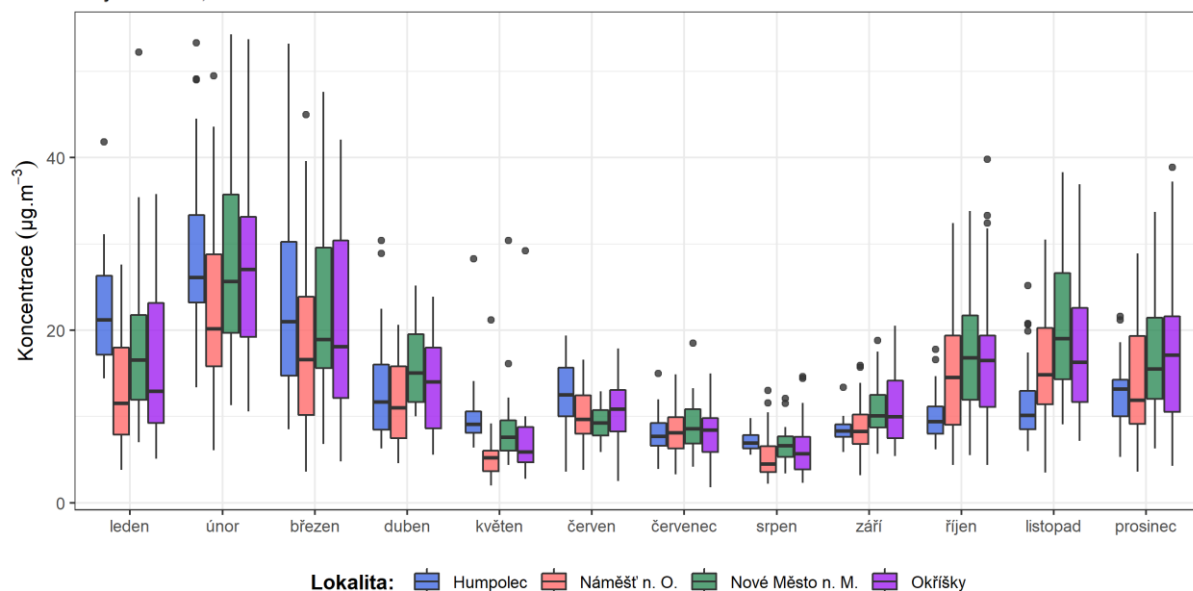


Obr. 39 – Průměrné měsíční koncentrace $PM_{2,5}$, projekt ISKOV, rok 2021

Statistické zpracování průměrných denních koncentrací $PM_{2,5}$ v jednotlivých měsících a lokalitách uvádí Obr. 40. Následující Obr. 41 pak zobrazuje průměrné zastoupení $PM_{2,5}$ v PM_{10} . Z grafu vyplývá, že v topné sezóně je PM_{10} podstatně více tvořena jemnou frakcí $PM_{2,5}$, než v letních měsících. V zimních měsících je téměř celá PM_{10} tvořena frakcí $PM_{2,5}$.

Statistické zpracování průměrných denních koncentrací $PM_{2,5}$ v jednotlivých měsících

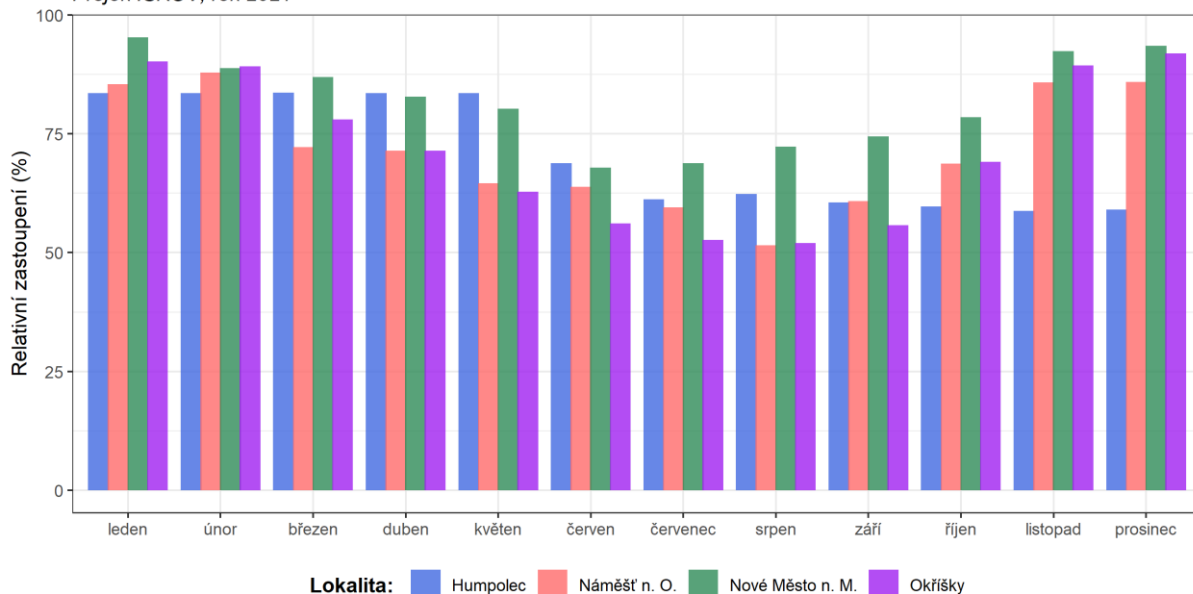
Projek ISKOV, rok 2021



Obr. 40 – Statistické zpracování průměrných denních koncentrací $PM_{2,5}$ v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2021

Průměrné měsíční zastoupení $PM_{2,5}$ v PM_{10}

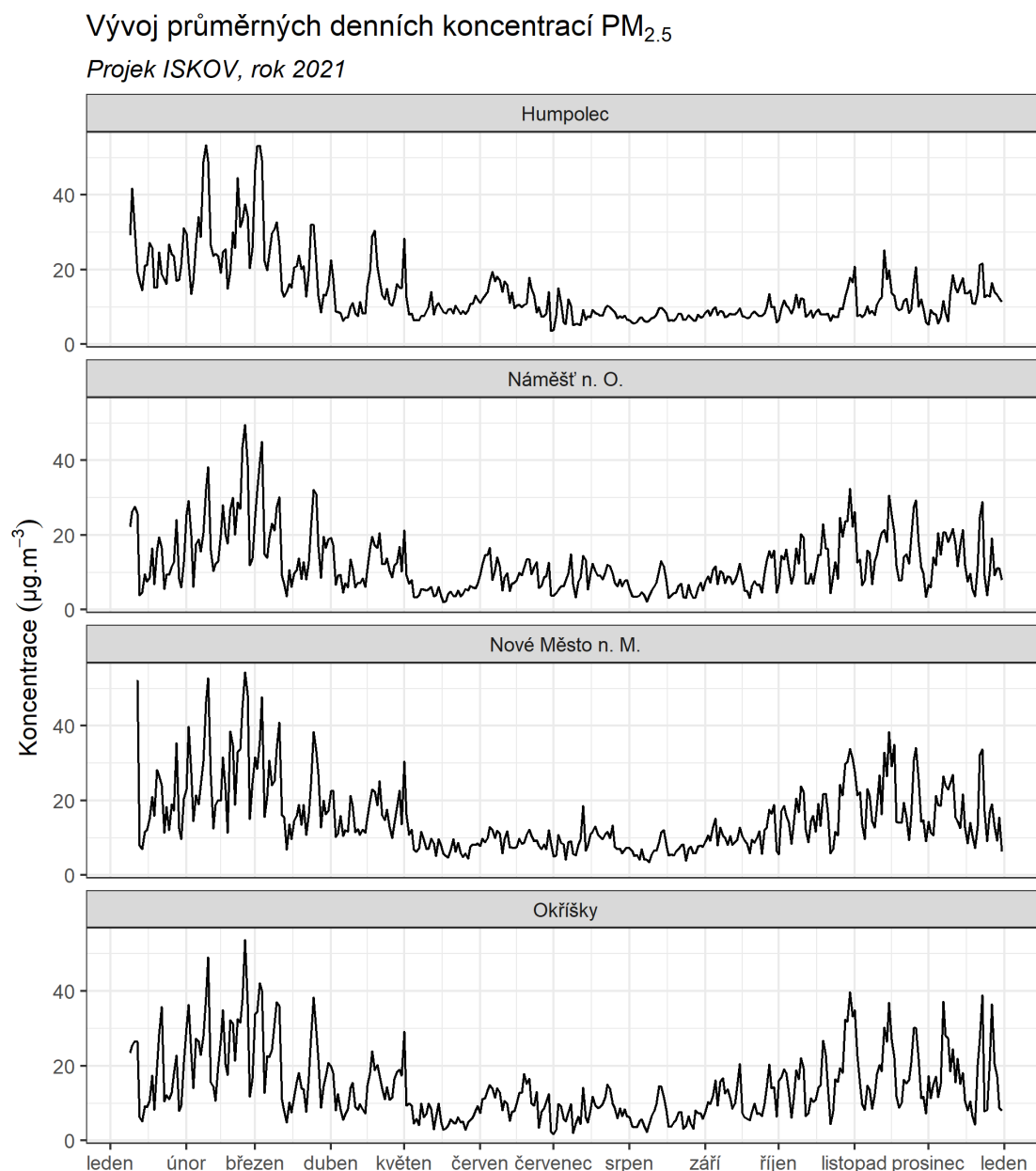
Projek ISKOV, rok 2021



Obr. 41 – Průměrné měsíční zastoupení $PM_{2,5}$ v PM_{10} (%) v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2021

3.2.3 Průměrné denní koncentrace PM_{2,5}

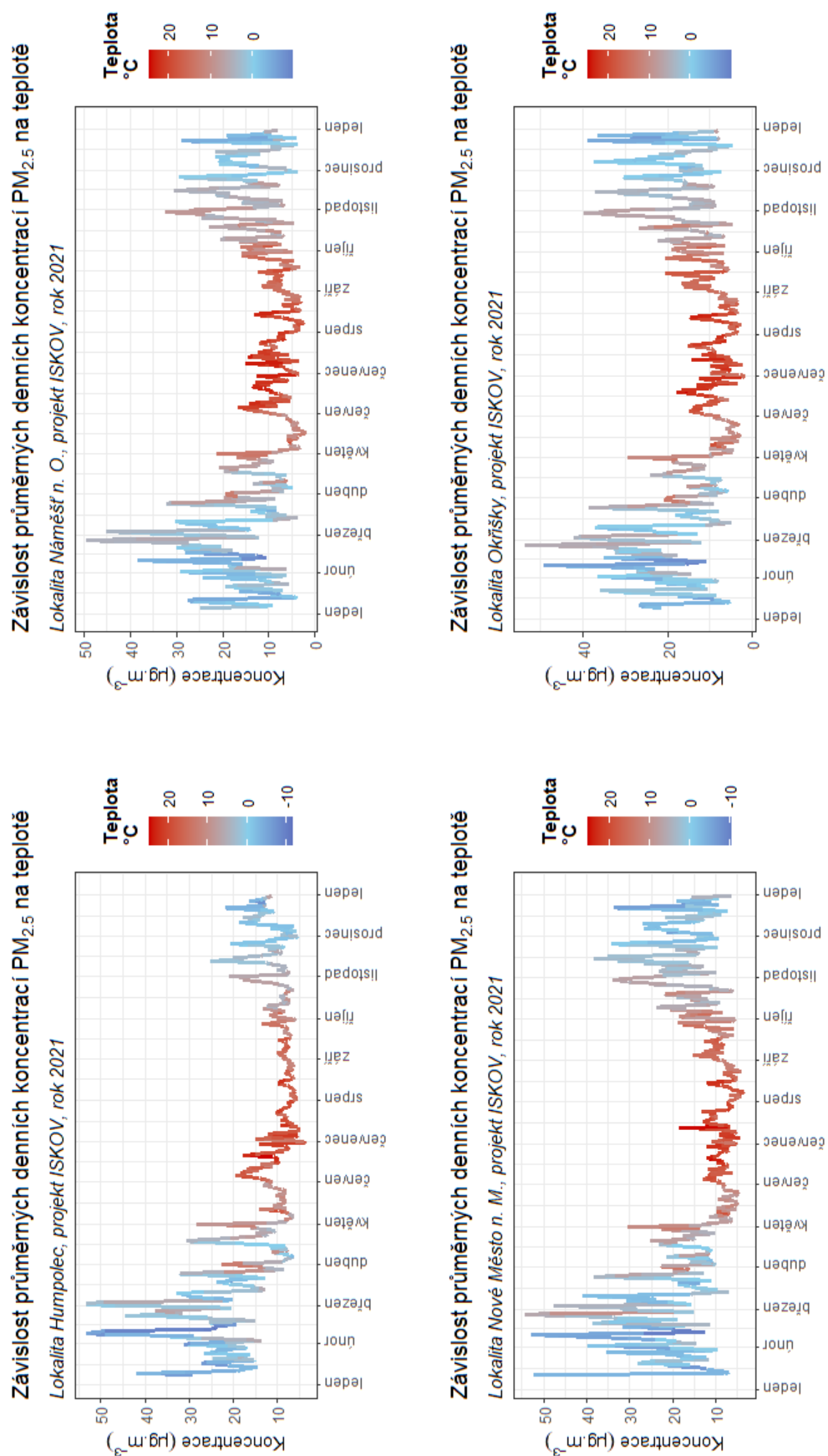
Na rozdíl od PM₁₀ není v legislativě ukotven imisní limit pro průměrné denní koncentrace PM_{2,5}. Vývoj průměrných denních koncentrací PM_{2,5} v roce 2021 zobrazuje následující Obr. 42.



Obr. 42 – Vývoj průměrných denních koncentrací PM_{2,5}, projekt ISKOV, rok 2021

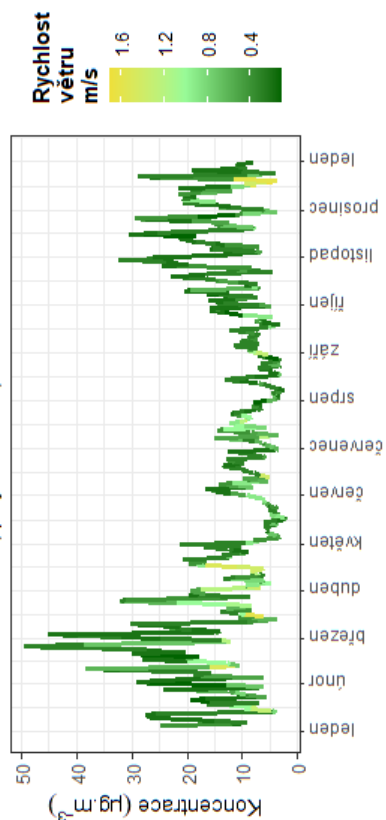
Na následujících Obr. 43 – Obr. 45 je zobrazen vliv sledovaných meteorologických veličin (průměrné denní hodnoty teploty vzduchu, rychlosti větru a relativní vlhkosti vzduchu) na měřené průměrné denní koncentrace PM_{2,5} ve všech lokalitách.

Z grafů je velmi dobře patrné že nejvyšší koncentrace PM_{2,5} 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.

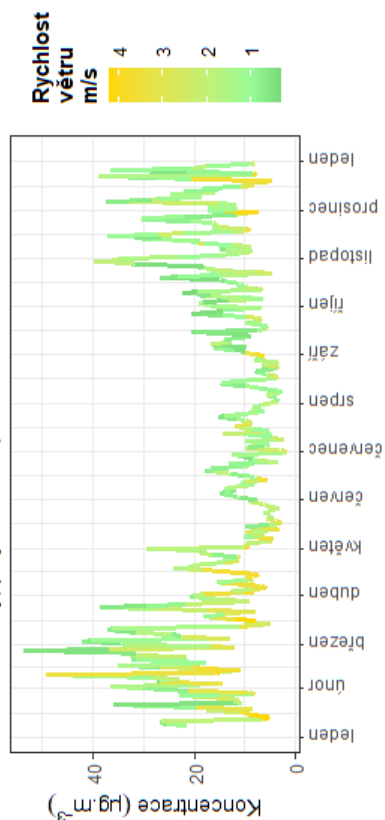


Obr. 43 – Vliv teploty vzduchu na průměrné denní koncentrace $PM_{2.5}$, projekt ISKOV, rok 2021

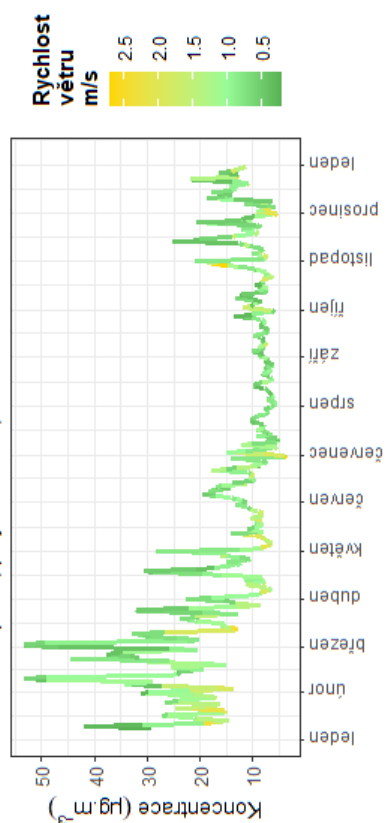
Závislost průměrných denních koncentrací $PM_{2.5}$ na rychlosti větru
Lokalita Náměstí n. O., projekt ISKOV, rok 2021



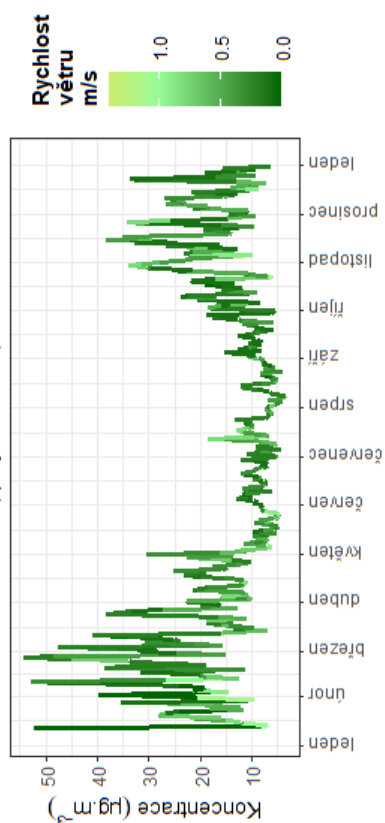
Závislost průměrných denních koncentrací $PM_{2.5}$ na rychlosti větru
Lokalita Okříšky, projekt ISKOV, rok 2021



Závislost průměrných denních koncentrací $PM_{2.5}$ na rychlosti větru
Lokalita Humpolec, projekt ISKOV, rok 2021



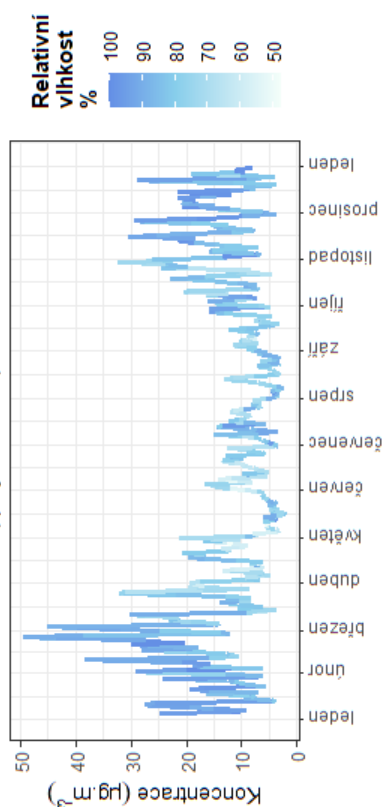
Závislost průměrných denních koncentrací $PM_{2.5}$ na rychlosti větru
Lokalita Nové Město n. M., projekt ISKOV, rok 2021



Obr. 44 – Vliv rychlosti větru na průměrné denní koncentrace $PM_{2.5}$, projekt ISKOV, rok 2021

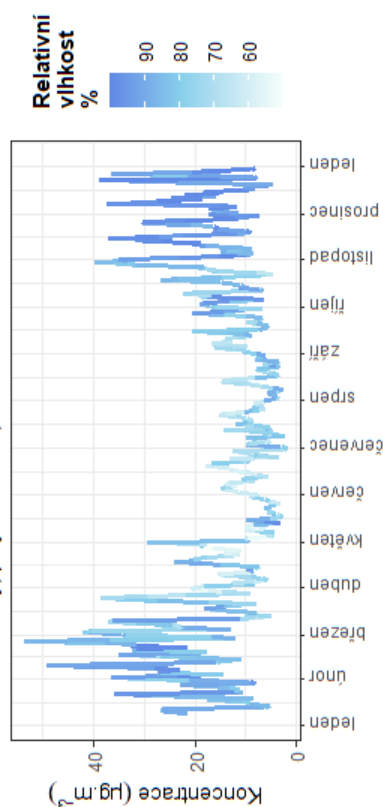
Závislost průměrných denních koncentrací $PM_{2.5}$ na relativní vlhkost

Lokalita Náměšť n. O., projekt ISKOV, rok 2021



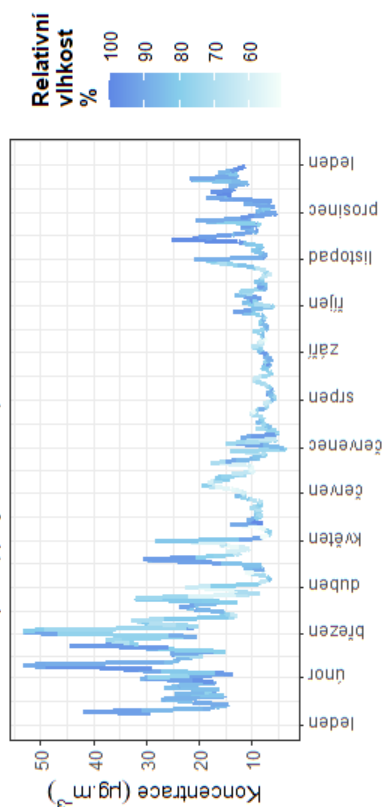
Závislost průměrných denních koncentrací $PM_{2.5}$ na relativní vlhkost

Lokalita Okříšky, projekt ISKOV, rok 2021



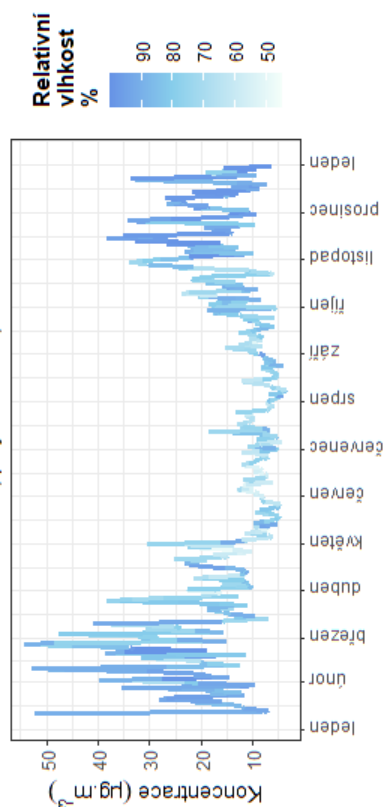
Závislost průměrných denních koncentrací $PM_{2.5}$ na relativní vlhkost

Lokalita Humpolec, projekt ISKOV, rok 2021



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

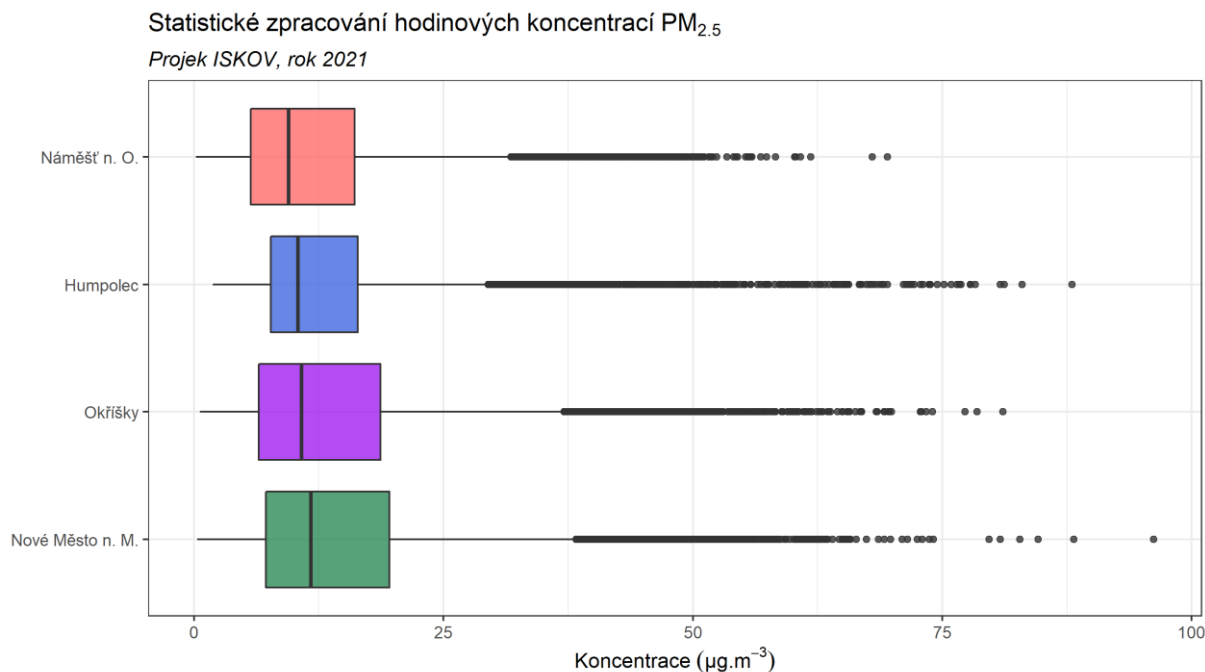
Lokalita Nové Město n. M., projekt ISKOV, rok 2021



Obr. 45 – Vliv relativní vlhkosti vzduchu na průměrné denní koncentrace $PM_{2.5}$, projekt ISKOV, rok 2021

3.2.4 Hodinové koncentrace a denní chod

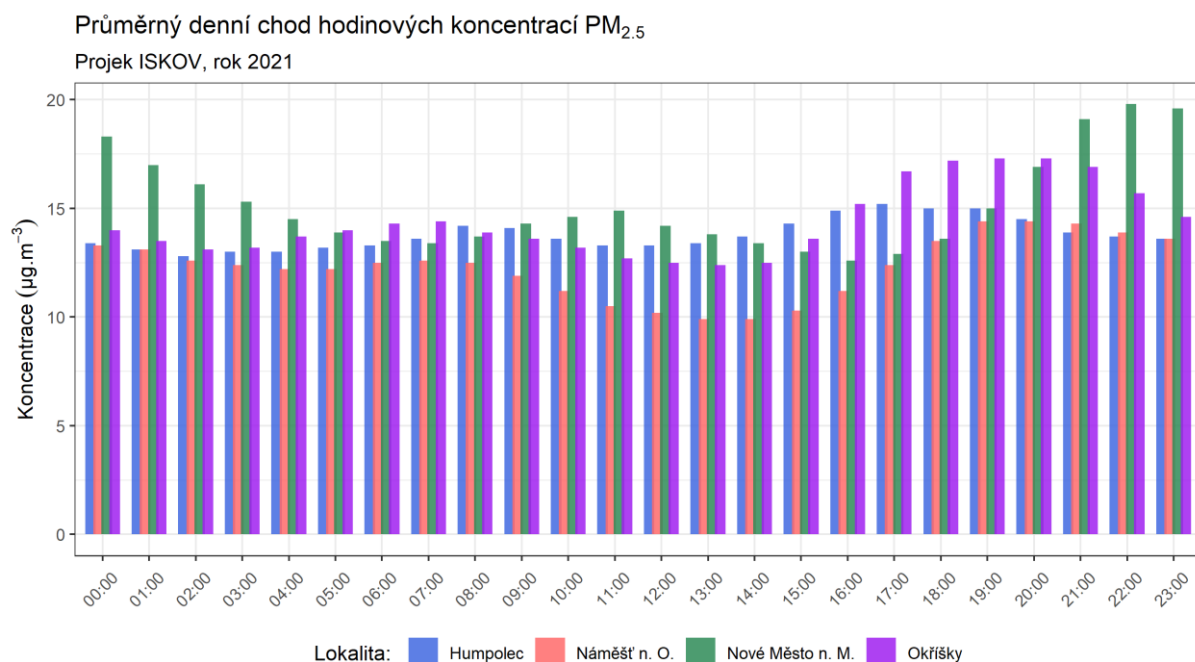
Suspendované částice nemají pro hodinové koncentrace imisní limit, přesto je tato charakteristika důležitá pro interpretaci dat. Uvádět samostatně hodinové koncentrace nemá smysl (8760 hodnot za rok), proto je zde pouze statistické zpracování hodinových hodnot pomocí krabicových grafů (Obr. 46).



Obr. 46 – Statistické zpracování hodinových koncentrací PM_{2,5} v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2021

Z grafu je patrné, že mediány koncentrací zhruba sledují trend průměrných hodnot. Zajímavé jsou zde některé odlehlé hodnoty. V lokalitě Nové Město na Moravě byly hodinově měřeny odlehlé v blízkosti $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v lokalitě Náměšť nad Oslavou pouze okolo $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší naměřená hodnota v lokalitě Nové Město na Moravě byla zaimenána 12. 1. 2021 v 21:00 hodin, koncentrace PM_{2,5} dosáhla $96,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. V dalších třech lokalitách se vyskytly nižší maximální hodinové koncentrace. Nejvyšší koncentrace v lokalitě Náměšť nad Oslavou byla naměřena 25. 2. 2021 v 18:00 a měla hodnotu $69,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, nejvyšší koncentrace v lokalitě Humpolec byla naměřena 2. 3. 2021 o půlnoci a měla hodnotu $88 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a nejvyšší koncentrace v lokalitě Okříšky byla naměřena 19. 2. 2021 v 22:00 a měla hodnotu $81,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

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. 47).



Obr. 47 – Průměrný denní chod hodinových koncentrací PM_{2.5}, projekt ISKOV, rok 2021. Čas je uváděn v UTC

Z grafu je velmi dobře patrné, že ve všech lokalitách gradují koncentrace v odpoledních a večerních hodinách – tedy v době zatápění po návratu z práce. Nejvíce je to patrné na lokalitě Náměšť nad Oslavou.

3.2.5 Růžice – detailní analýza hodinových hodnot

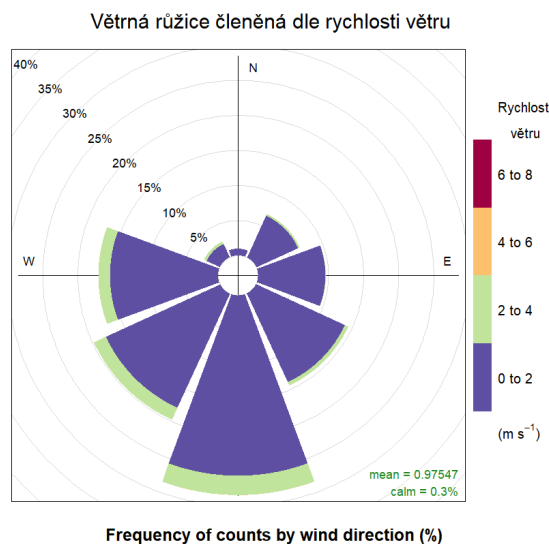
V této podkapitole budou pro všechny lokality připraveny větrné a koncentrační růžice. Větrná růžice bude kromě směrů větru členěna rovněž dle rychlostí větru, které jsou pro koncentrace škodlivin důležité.

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.

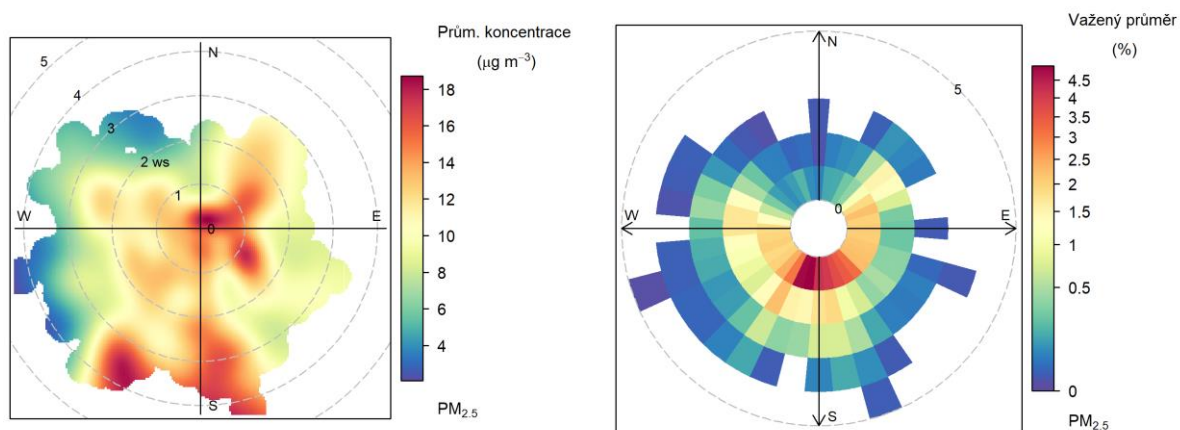
3.2.5.1 Humpolec

Na Obr. 48 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Humpolec*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především jižních a dále pak jihozápadních a západních směrů. Bezvětrí se v této lokalitě vyskytovalo zhruba v 0,3 % času. Průměrná rychlost proudění větru byla cca $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 48 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Humpolec, rok 2021

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

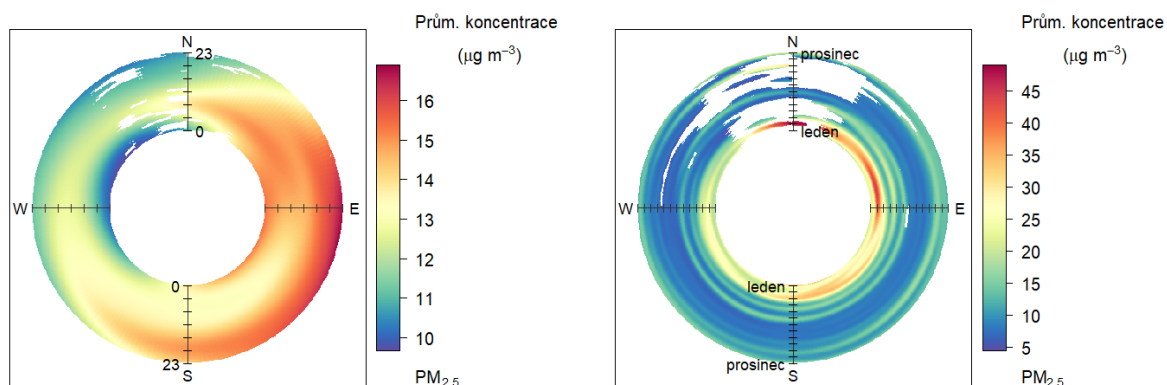


Obr. 49 – Koncentrační růžice $\text{PM}_{2,5}$, lokalita Humpolec, rok 2021

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění z jihu a východu, či při bezvětrí. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností $\text{PM}_{2,5}$ přišlo z jižních 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

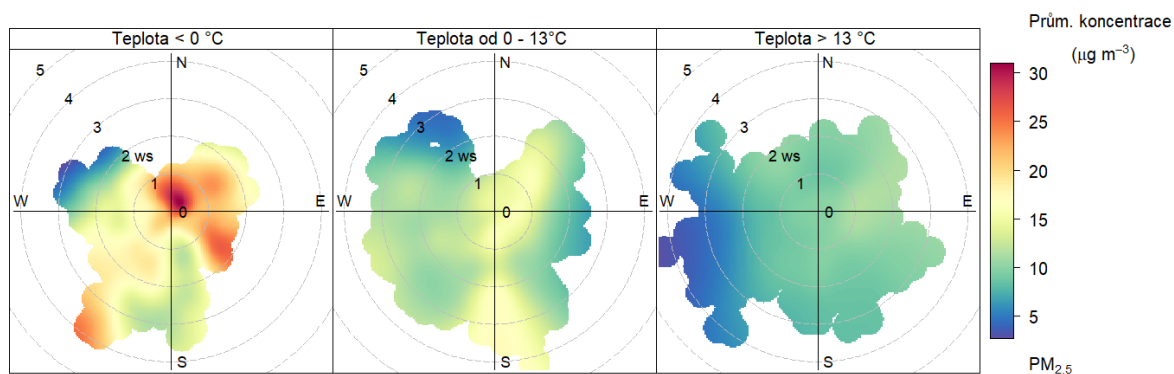
a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Humpolec* je tento denní chod vynesena na Obr. 50.



Obr. 50 – Denní a roční chod koncentrací $PM_{2,5}$ členěný dle směru větru, lokalita Humpolec, rok 2021

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací $PM_{2,5}$ je důležitý zejména východní až jihovýchodní směr větru. Maxima jsou pak dosahována 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. 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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

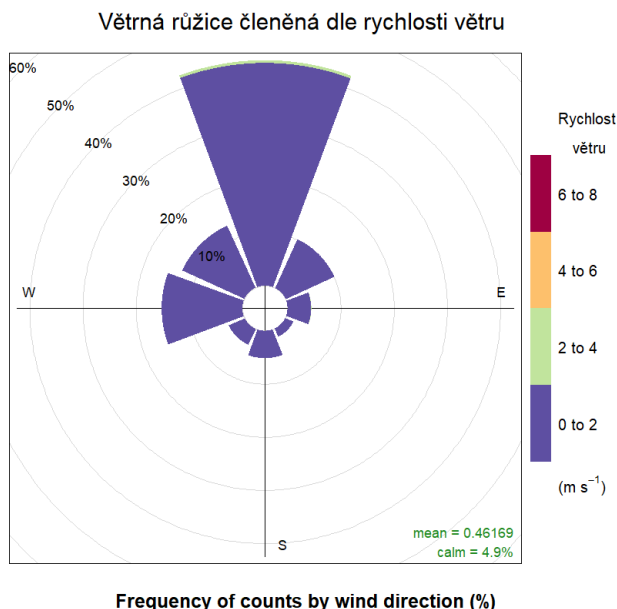


Obr. 51 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Humpolec, rok 2021

Z koncentračních růžic vyplývá, že vysoké koncentrace jsou často měřeny při teplotách nižších, než je bod mrazu, a zejména při bezvětří či východním až jihovýchodním proudění. Při teplotách nad $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou měřeny pouze mírně zvýšené koncentrace při proudění z jihu a vyšších rychlostech větru.

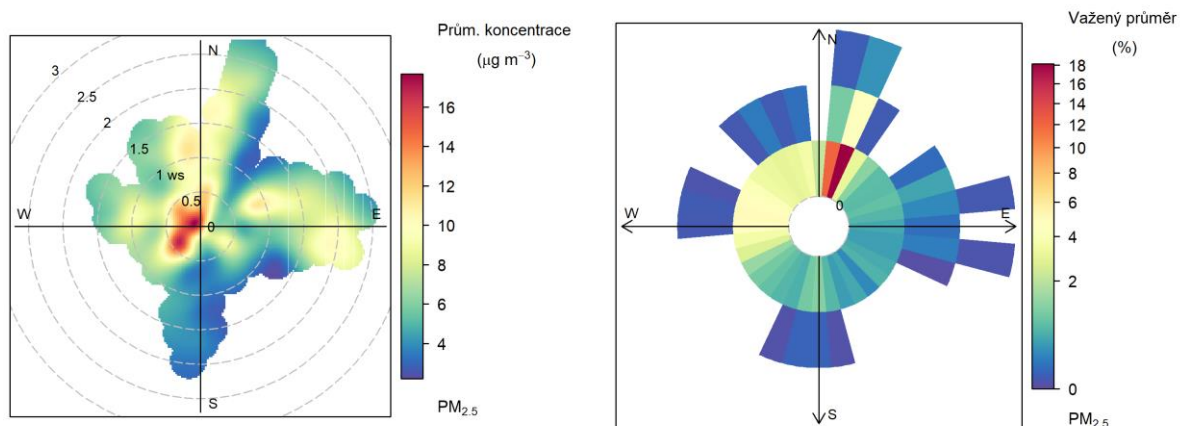
3.2.5.2 Náměšť nad Oslavou

Na Obr. 52 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Náměšť nad Oslavou*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severních směrů, vyšší rychlosti větru než $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ nebyly téměř zaznamenány. Bezvětří panovalo zhruba v 4,9 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 52 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita *Náměšť nad Oslavou*, rok 2021

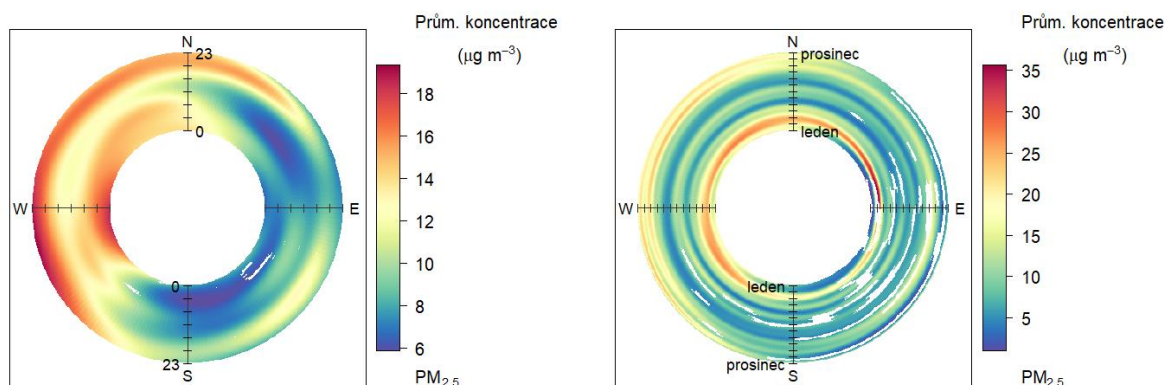
Následující Obr. 53 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro $\text{PM}_{2,5}$ v lokalitě *Náměšť nad Oslavou*.



Obr. 53 – Koncentrační růžice $\text{PM}_{2,5}$, lokalita *Náměšť nad Oslavou*, rok 2021

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

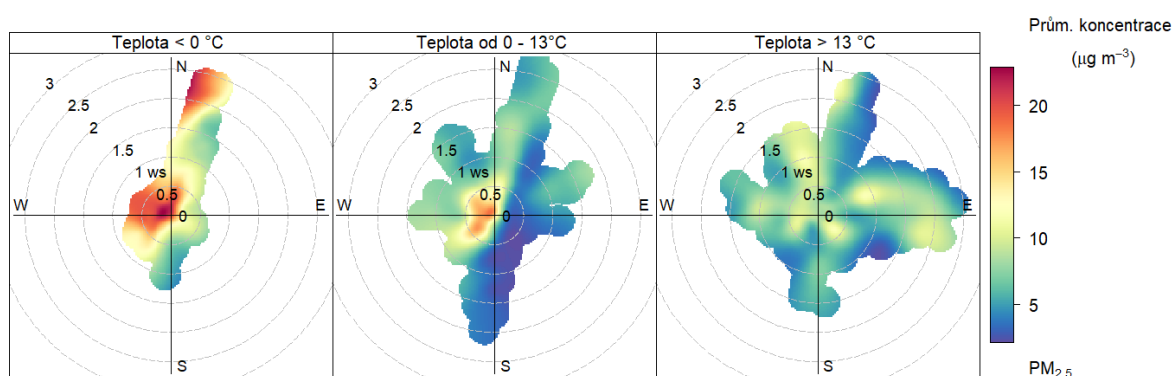
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp.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



Obr. 54 – Denní a roční chod koncentrací $PM_{2,5}$ členěný dle směru větru, lokalita *Náměšť nad Oslavou*, rok 2021

Z obrázku je patrné, že z hlediska vysokých koncentrací $PM_{2,5}$ je důležitý zejména západní 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. 55 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

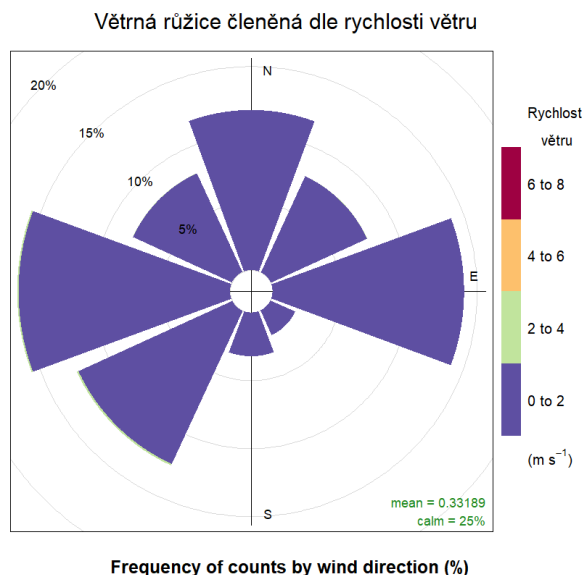


Obr. 55 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Náměšť nad Oslavou*, rok 2021

Z koncentračních růžic vyplývá, že nejvyšší koncentrace jsou takřka výhradně měřeny při teplotách nižších, než je bod mrazu, zejména při bezvětrí, popř. západním či severním prouděním. Při teplotách nad $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou vyšší koncentrace měřeny pouze při bezvětrí.

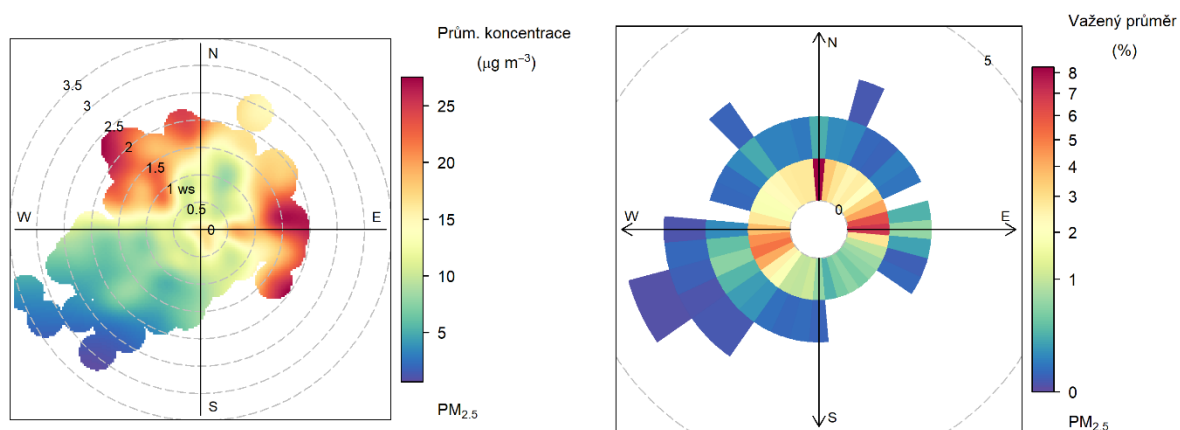
3.2.5.3 Nové Město na Moravě

Na Obr. 56 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Nové Město na Moravě*. Z růžice je patrné, že lokalita je poměrně rovnoměrně provětrávaná ze všech směrů s výjimkou jihovýchodních a jižních. Vyšší rychlosti větru než $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pak byly zaznamenány pouze výjimečně. Bezvětrí panovalo zhruba v 25 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 56 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Nové Město na Moravě, rok 2021

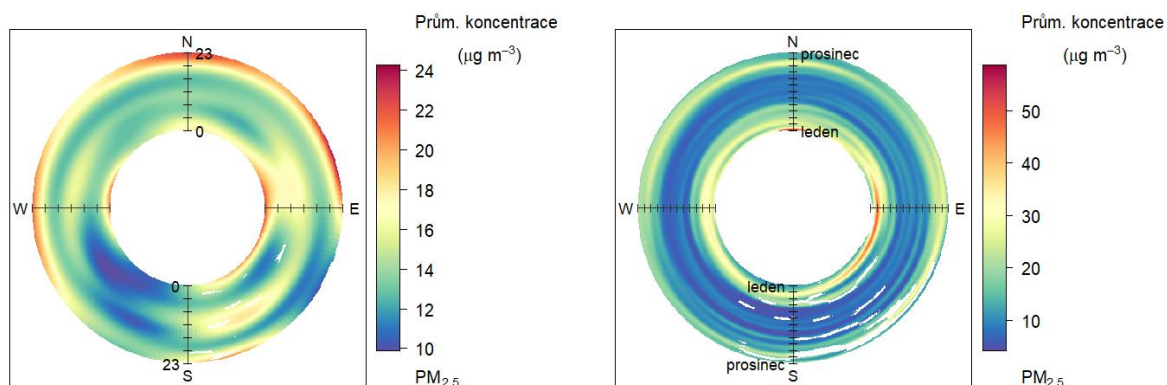
Následující Obr. 57 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro $\text{PM}_{2,5}$ v lokalitě *Nové Město na Moravě*.



Obr. 57 – Koncentrační růžice $\text{PM}_{2,5}$, lokalita Nové Město na Moravě, rok 2021

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

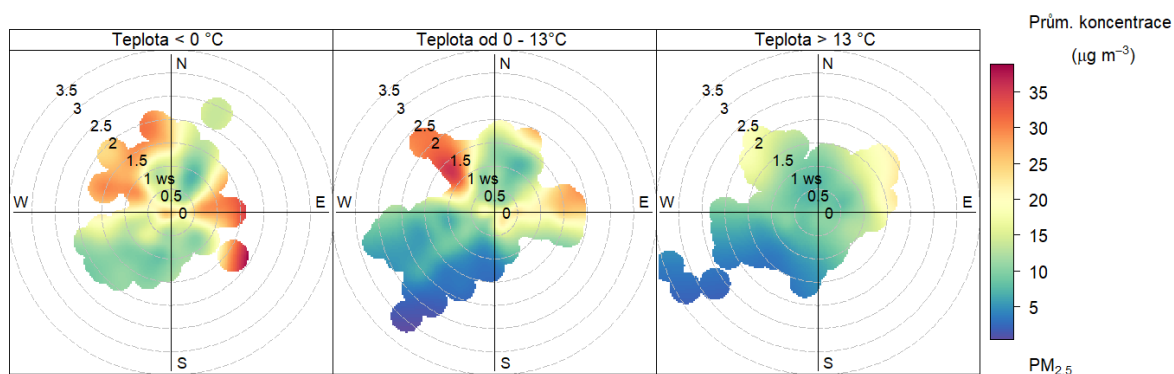
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp.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



Obr. 58 – Denní a roční chod koncentrací $PM_{2,5}$ členěný dle směru větru, lokalita *Nové Město na Moravě*, rok 2021

Z obrázku je patrné, že z hlediska vysokých koncentrací $PM_{2,5}$ je důležitý zejména severní až severovýchodní směr větru. Maxima jsou pak dosahována zejména v 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. 59 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

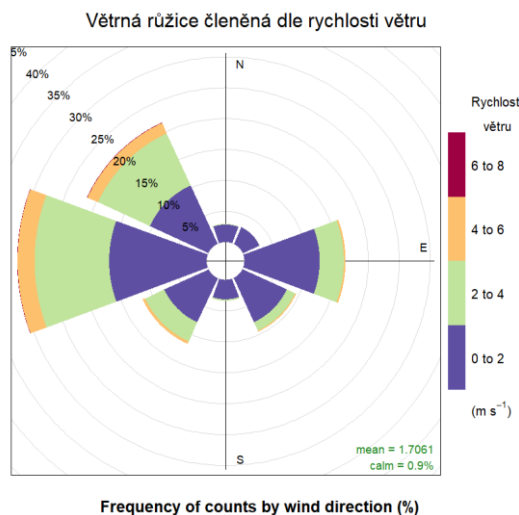


Obr. 59 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Nové Město na Moravě*, rok 2021

Z koncentračních růžic vyplývá, že při teplotách pod $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou měřeny zvýšené koncentrace při proudění ze severozápadu či východu. Při teplotách nad $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou měřeny zvýšené koncentrace při proudění z východu.

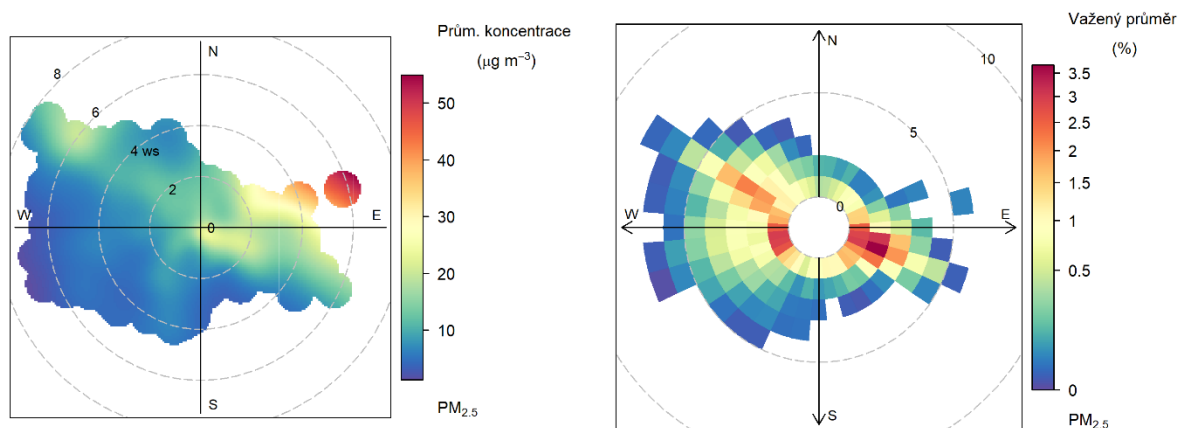
3.2.5.4 Okříšky

Na Obr. 60 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Okříšky*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze západních a severozápadních směrů, vyšší rychlosti větru než $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ byly měřeny při proudění právě z těchto směrů. Bezvětří panovalo zhruba v 0,9 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $1,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 60 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita *Okříšky*, rok 2021

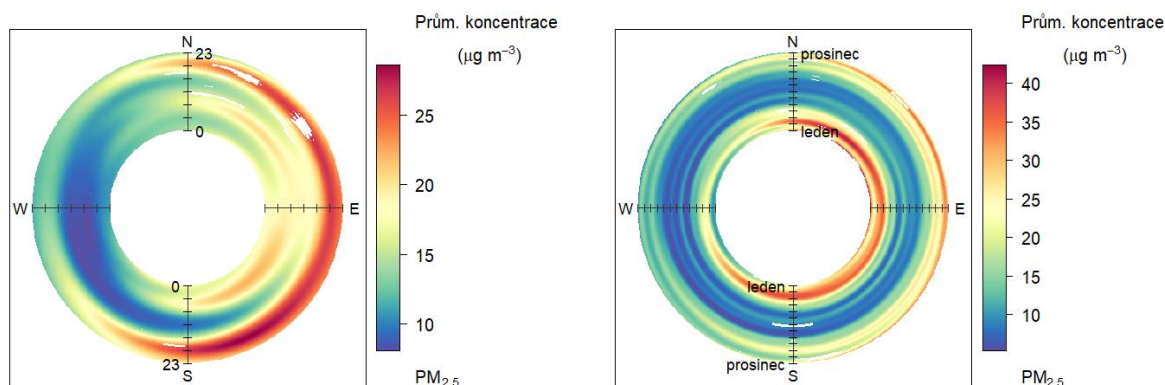
Následující Obr. 61 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro $\text{PM}_{2,5}$ v lokalitě *Okříšky*.



Obr. 61 – Koncentrační růžice $\text{PM}_{2,5}$, lokalita *Okříšky*, rok 2021

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

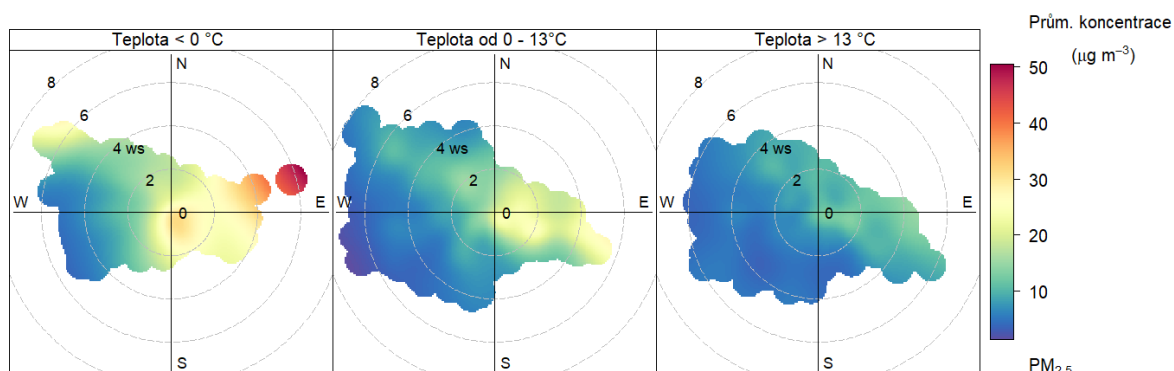
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp.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



Obr. 62 – Denní a roční chod koncentrací $PM_{2,5}$ členěný dle směru větru, lokalita Okříšky, rok 2021

Z obrázku je patrné, že z hlediska vysokých koncentrací $PM_{2,5}$ je důležitý zejména východní 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. 63 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.



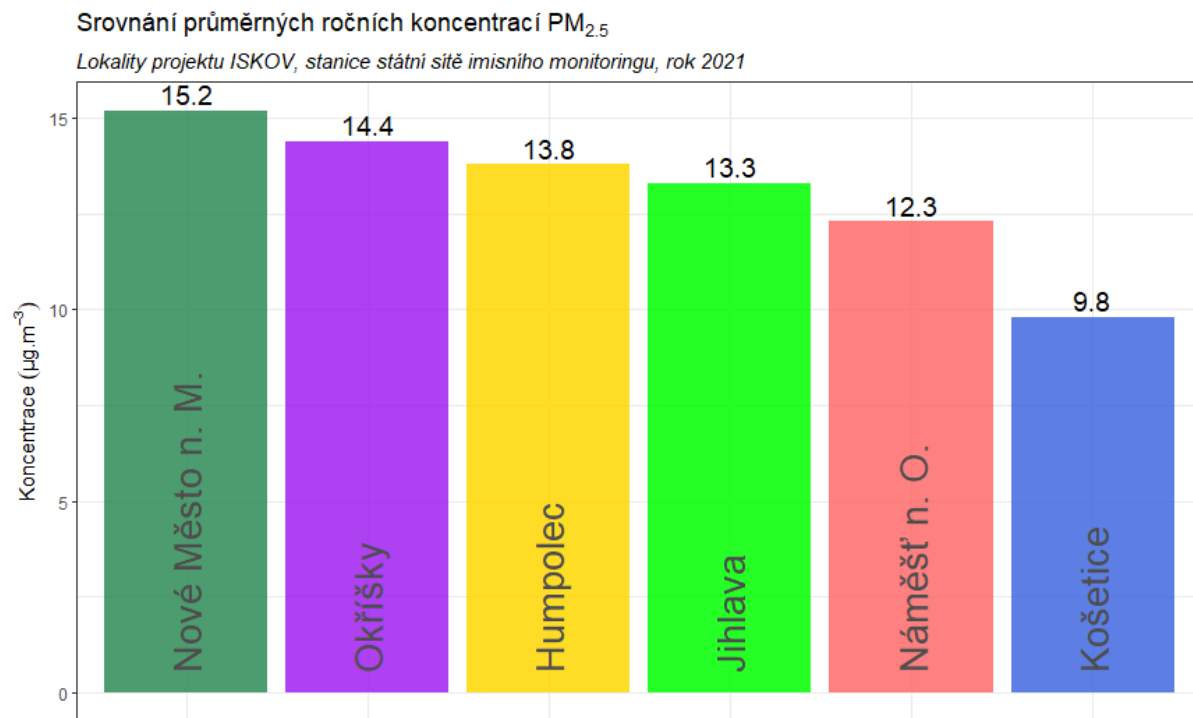
Obr. 63 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Okříšky, rok 2021

Z koncentračních růžic vyplývá, že při teplotách pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou měřeny zvýšené koncentrace při bezvětří a proudění z východu. Při teplotách nad $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou koncentrace pouze mírné, při teplotách nad $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou koncentrace velmi nízké.

3.2.6 Srovnání koncentrací $PM_{2,5}$ 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) kraje Vysočina. Graf srovnává průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$.

Nejvyšší hodnotu průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$ naměřila lokalita Nové Město na Moravě. Nejnižší hodnotu průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$ zaznamenala opět lokalita.



Obr. 64 – Srovnání průměrných ročních koncentrací $PM_{2,5}$, lokality projektu ISKOV a lokality SSIM, rok 2021

3.3 OXID DUSIČITÝ A OXIDY DUSÍKU

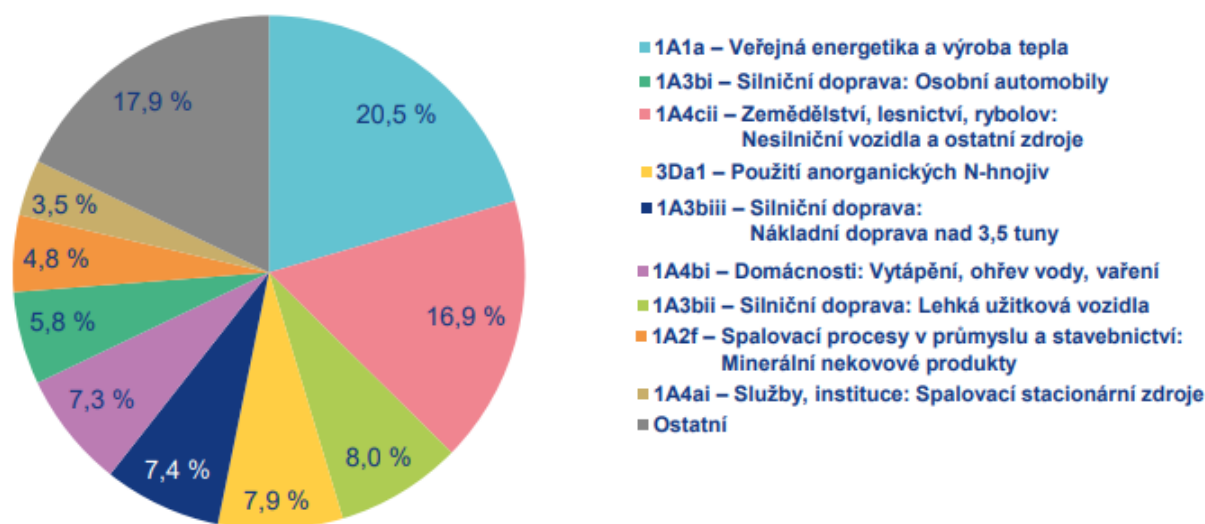
Při sledování a hodnocení kvality venkovního ovzduší se pod termínem oxidy dusíku (NO_x) rozumí směs oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO_2) [9].

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 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 NO . NO_2 vzniká relativně rychle reakcí NO s přízemním ozonem nebo s radikály typu HO_2 , popř. RO_2 [10]. Řadou chemických reakcí se část NO_x přemění na $\text{HNO}_3/\text{NO}_3^-$, které jsou z atmosféry odstraňovány suchou a mokrou atmosférickou depozicí. Pozornost je věnována NO_2 z důvodu jeho negativního vlivu na lidské zdraví. Hraje také klíčovou roli při tvorbě fotochemických oxidantů.

V Evropě vznikají emise NO_x převážně z antropogenních spalovacích procesů, kde NO vzniká reakcí mezi dusíkem a kyslíkem ve spalovaném vzduchu a částečně i oxidací dusíku z paliva. Hlavní antropogenní zdroje představuje především silniční doprava (významný podíl má ovšem i doprava letecká a vodní) a dále spalovací procesy ve stacionárních zdrojích. Méně než 10 % celkových emisí NO_x vzniká ze spalování přímo ve formě NO_2 . Přírodní emise NO_x vznikají převážně z půdy, vulkanickou činností a při vzniku blesků. Jsou poměrně významné z globálního pohledu, z pohledu Evropy však představují méně než 10 % celkových emisí [11].

Expozice zvýšeným koncentracím NO_2 ovlivňuje plicní funkce a způsobuje snížení imunity [12].



Obr. 65 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích NO_x v ČR, rok 2019 [8]

Největší množství emisí NO_x pochází z mobilních zdrojů. Sektory 1A3bi – Silniční doprava: Osobní automobily, 1A4cii – Zemědělství, lesnictví, rybolov: Nesilniční vozidla a ostatní stroje, 1A3biii – Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5t a 1A3bii – Lehká užitková vozidla se na

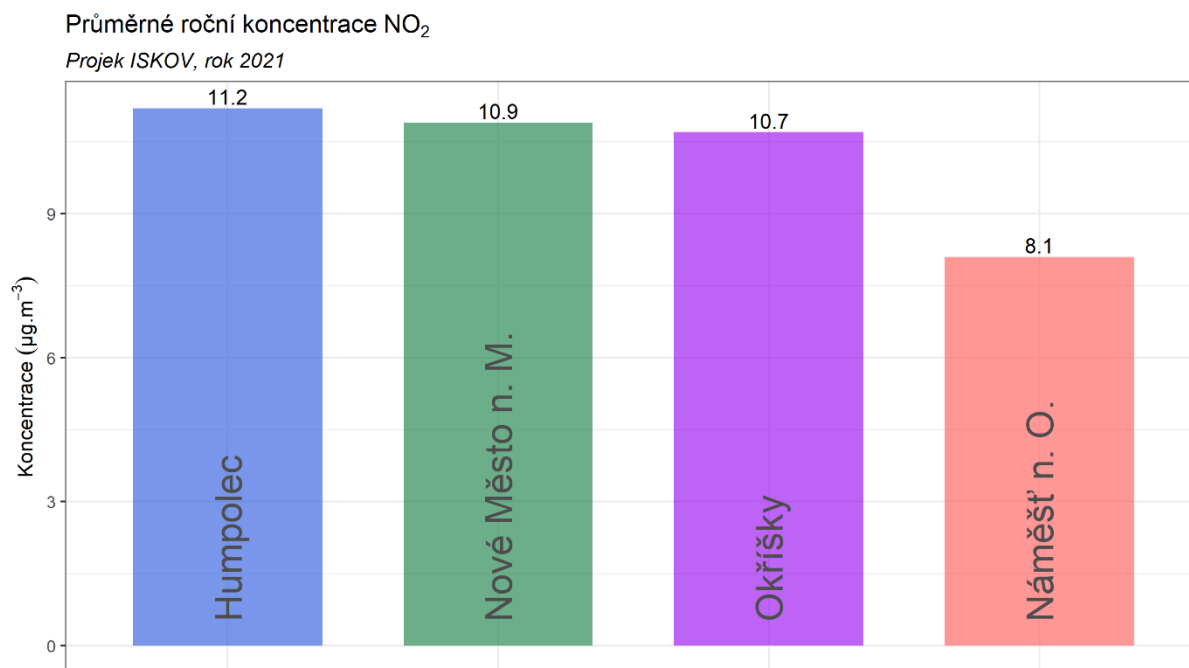
celorepublikových emisích NO_x v roce 2019 podílely 38,1 %. Ze sektoru 1A1a – Veřejná energetika a výroba tepla bylo do ovzduší vneseno 20,5 % emisí NO_x . Nově byly v celém období dopočteny emise sektoru Použití anorganických N-hnojiv, které se v roce 2019 na celkových emisích podílely 7,9 % [8].

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_2 , projekt ISKOV, rok 2021

LOKALITA	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE NO_2 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
HUMPOLEC	11,2
NÁMĚŠŤ NAD OSLAVOU	8,1
NOVÉ MĚSTO NA MORAVĚ	10,9
OKŘÍŠKY	10,7



Obr. 66 – Průměrná roční koncentrace NO_2 , projekt ISKOV, rok 2021

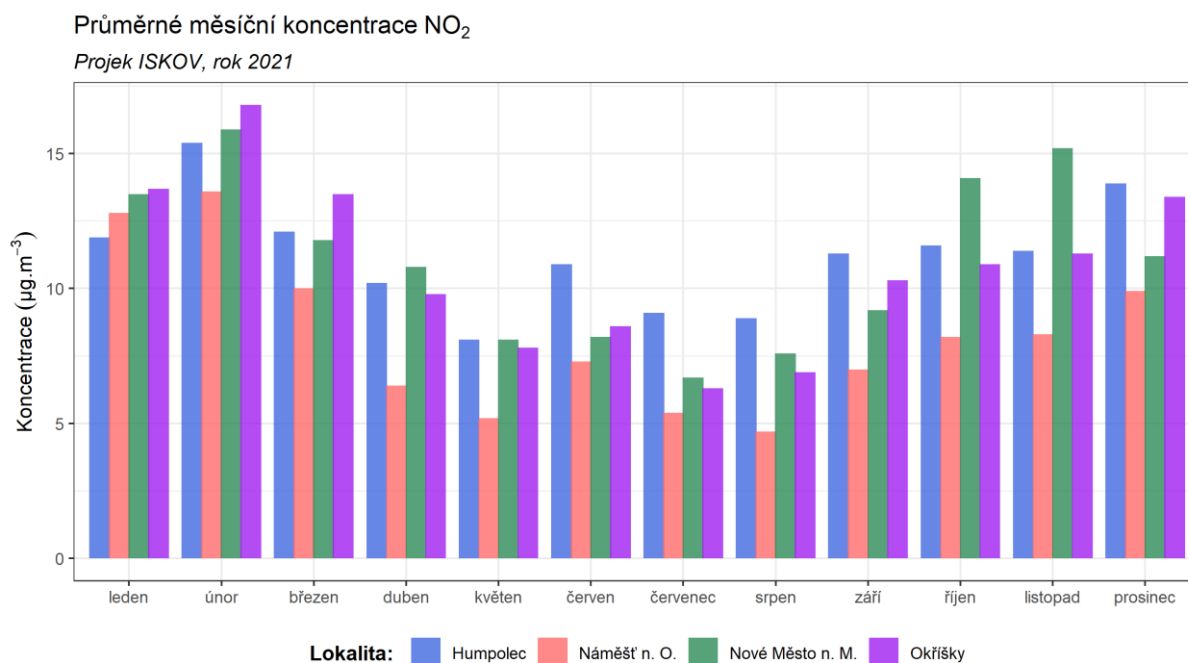
Z uvedeného vyplývá, že nejvyšší průměrná roční koncentrace NO_2 byla naměřena v lokalitě Humpolec, nejnižší pak v lokalitě Náměšť nad Oslavou. **Ani na jedné lokalitě nedošlo k překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci NO_2 ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).**

3.3.2 Průměrné měsíční koncentrace

Průměrné měsíční koncentrace, naměřené v jednotlivých lokalitách v roce 2021, zobrazuje následující Tab. 10, graficky je pak znázorňuje Obr. 67. Z grafu je dobře patrné, že nejvyšší koncentrace NO₂ byly měřeny na všech lokalitách v únoru a listopadu. Obecně lze konstatovat, že v topné sezóně jsou koncentrace NO₂ na všech lokalitách mírně vyšší než v letních měsících. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace NO₂ byla naměřena v lokalitě Okříšky v únoru a měla hodnotu 16,8 µg·m⁻³.

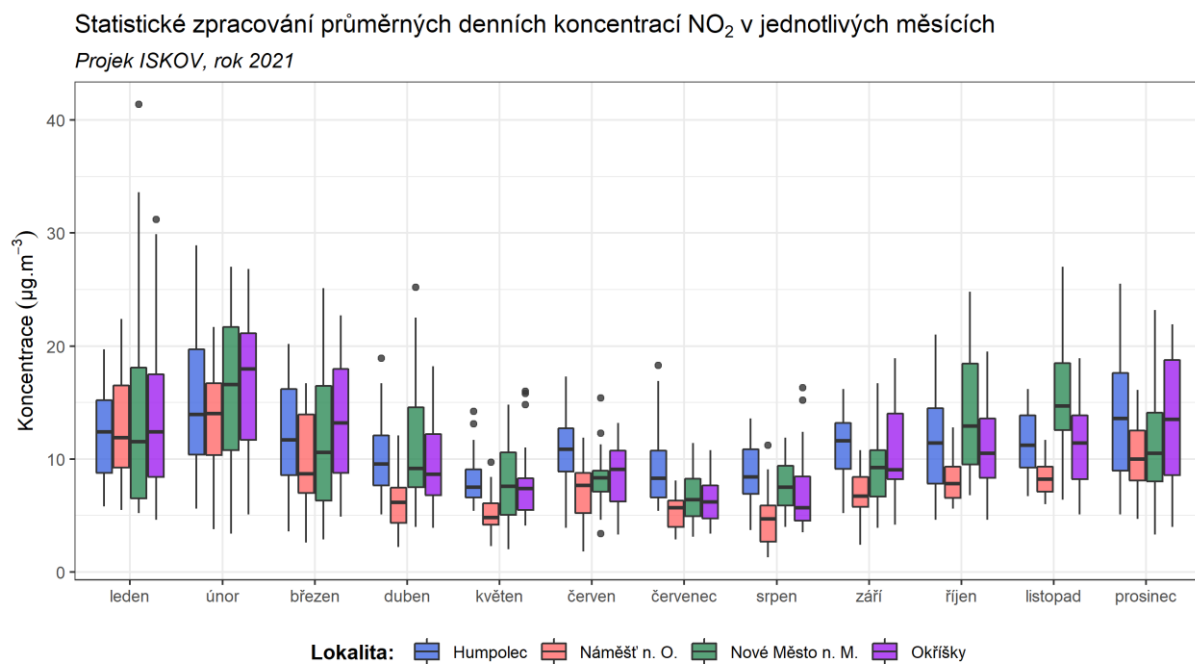
Tab. 10 – Průměrné měsíční koncentrace NO₂, projekt ISKOV, rok 2021

MĚSÍC	HUMPOLEC	NÁMĚŠŤ NAD OSLAVOU	NOVÉ MĚSTO NA MORAVĚ	OKŘÍŠKY
LEDEN	11,9	12,8	13,5	13,7
ÚNOR	15,4	13,6	15,9	16,8
BŘEZEN	12,1	10	11,8	13,5
DUBEN	10,2	6,4	10,8	9,8
KVĚTEN	8,1	5,2	8,1	7,8
ČERVEN	10,9	7,3	8,2	8,6
ČERVENEC	9,1	5,4	6,7	6,3
SRPEN	8,9	4,7	7,6	6,9
ZÁŘÍ	11,3	7	9,2	10,3
ŘÍJEN	11,6	8,2	14,1	10,9
LISTOPAD	11,4	8,3	15,2	11,3
PROSINEC	13,9	9,9	11,2	13,4



Obr. 67 – Průměrné měsíční koncentrace NO₂, projekt ISKOV, rok 2021

Statistické zpracování průměrných denních koncentrací NO_2 v jednotlivých měsících a lokalitách uvádí Obr. 68.



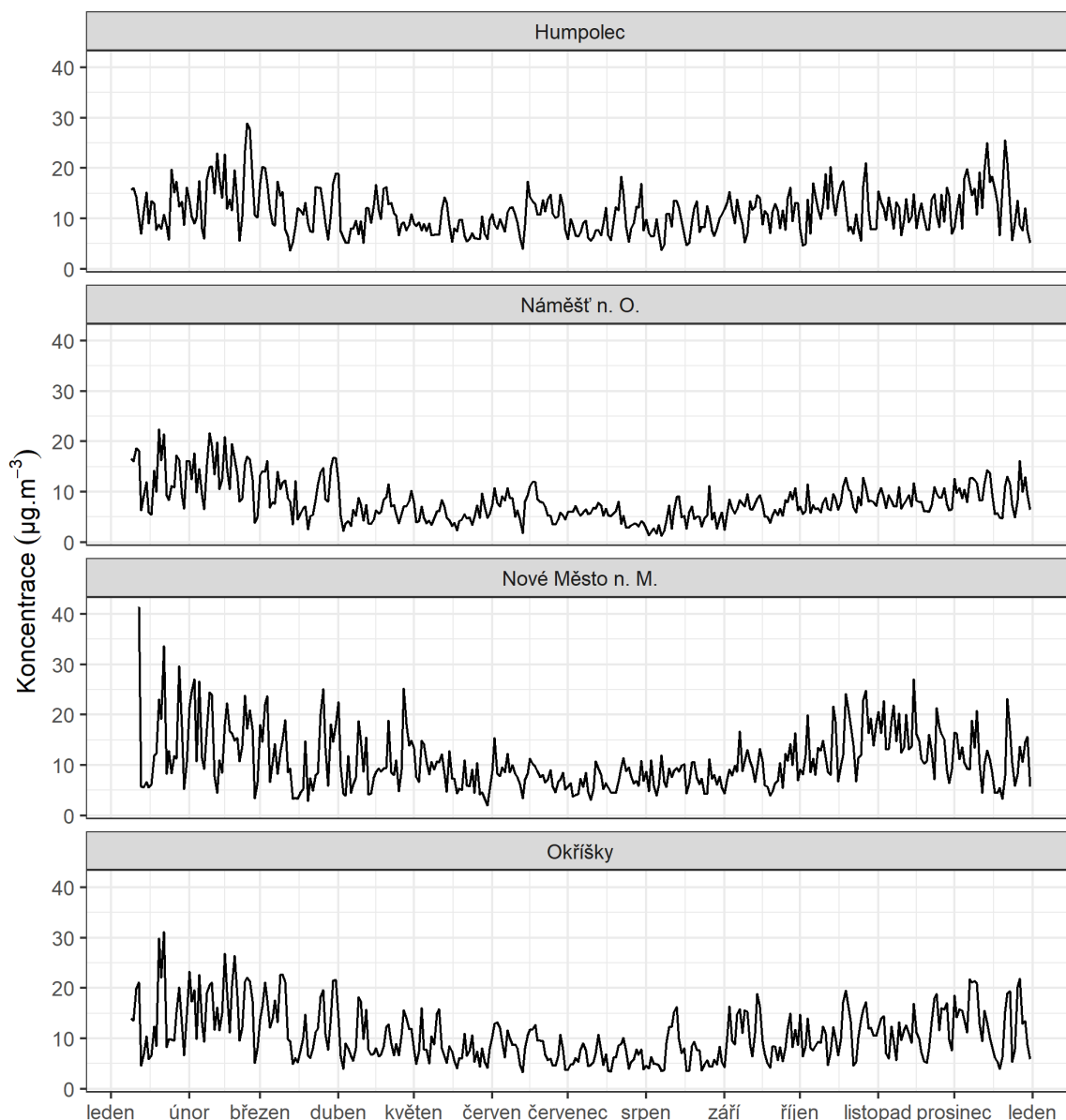
Obr. 68 – Statistické zpracování průměrných denních koncentrací NO_2 v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2021

3.3.3 Průměrné denní koncentrace NO₂

V legislativě není ukotven imisní limit pro průměrné denní koncentrace NO₂. Vývoj průměrných denních koncentrací NO₂ v roce 2021 zobrazuje následující Obr. 69.

Vývoj průměrných denních koncentrací NO₂

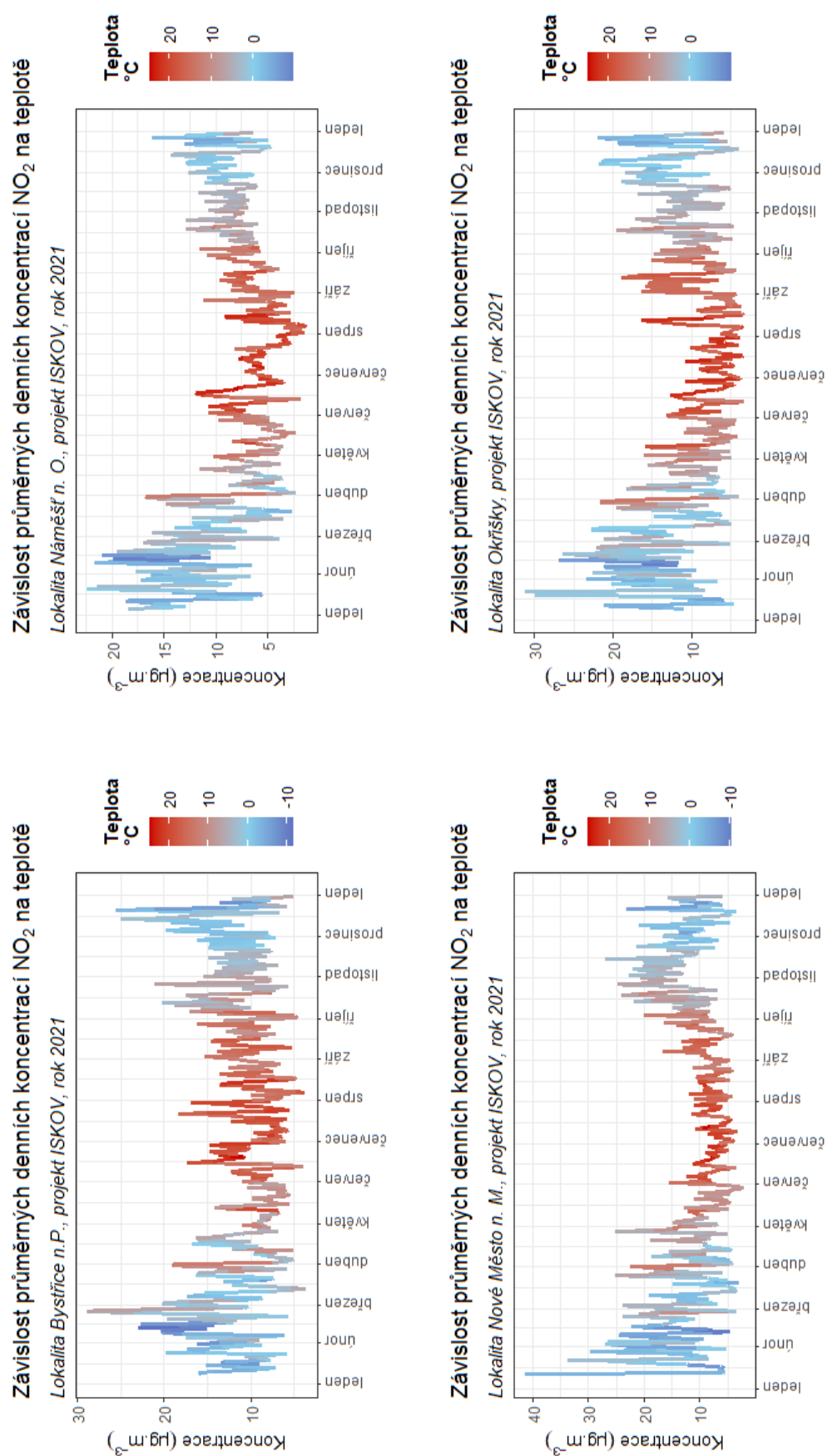
Projek ISKOV, rok 2021



Obr. 69 – Vývoj průměrných denních koncentrací NO₂, projekt ISKOV, rok 2021

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 NO₂ ve všech lokalitách.

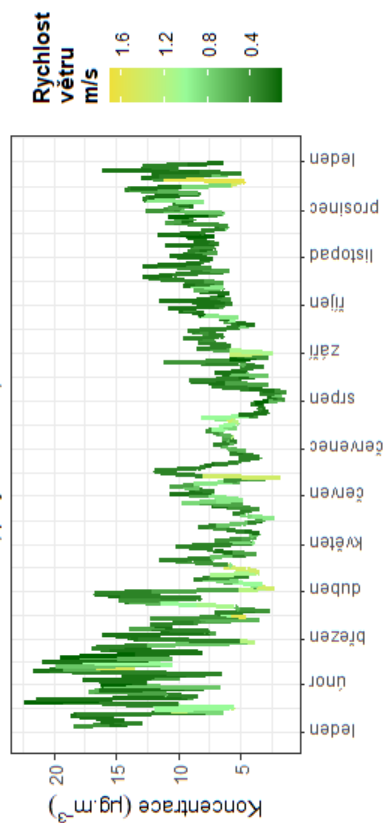
Z grafů je velmi dobře patrné že nejvyšší koncentrace NO₂ jsou měřeny při nejnižších teplotách (nejvyšší potřeba topit), vyšší koncentrace jsou měřeny při nižších rychlostech větru (vlivem bezvětří dochází k horšímu rozptylu znečištění) a vyšších relativních vlhkostech vzduchu.



Obr. 70 – Vliv teploty vzduchu na průměrné denní koncentrace NO₂, projekt ISKOV, rok 2021

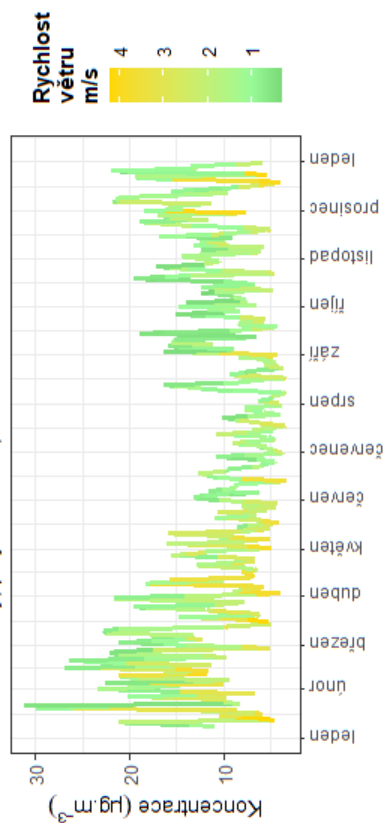
Závislost průměrných denních koncentrací NO_2 na rychlosti větru

Lokalita Náměšť n. O., projekt ISKOV, rok 2021



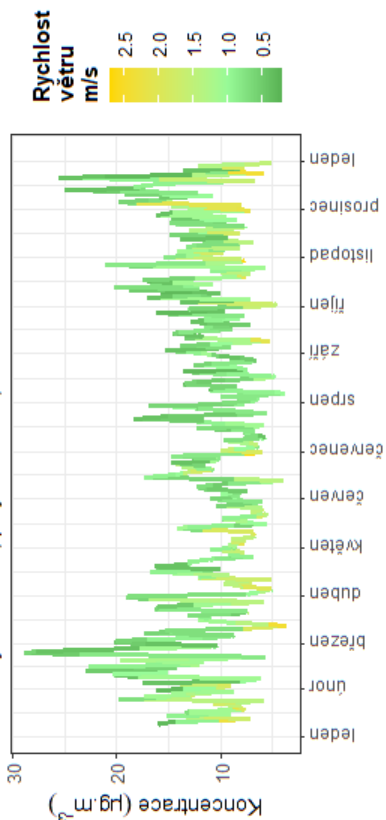
Závislost průměrných denních koncentrací NO_2 na rychlosti větru

Lokalita Okříšky, projekt ISKOV, rok 2021



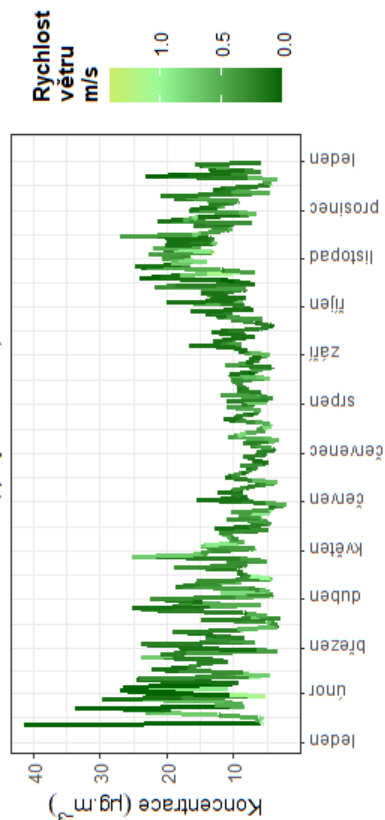
Závislost průměrných denních koncentrací NO_2 na rychlosti větru

Lokalita Bystřice n. P., projekt ISKOV, rok 2021



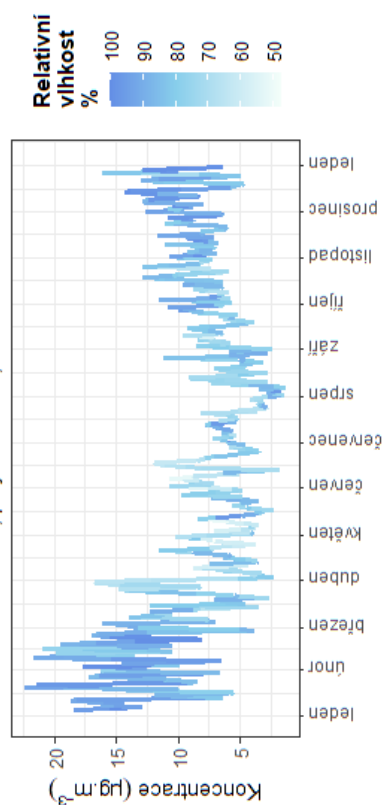
Závislost průměrných denních koncentrací NO_2 na rychlosti větru

Lokalita Nové Město n. M., projekt ISKOV, rok 2021

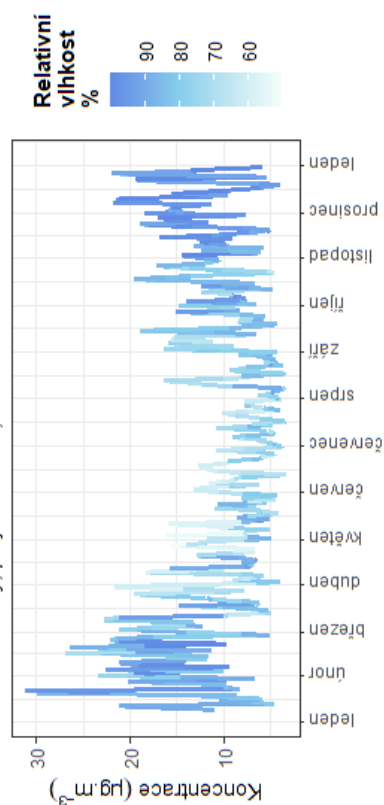


Obr. 71 – Vliv rychlosti větru na průměrné denní koncentrace NO_2 , projekt ISKOV, rok 2021

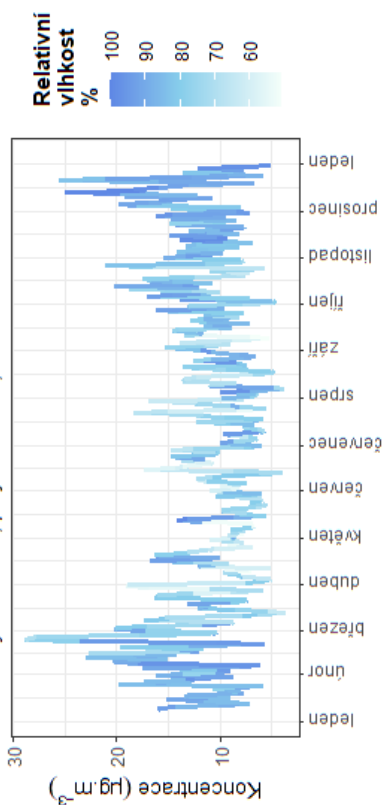
Závislost průměrných denních koncentrací NO_2 na relativní vlhkost
Lokalita Náměstí n. O., projekt ISKOV, rok 2021



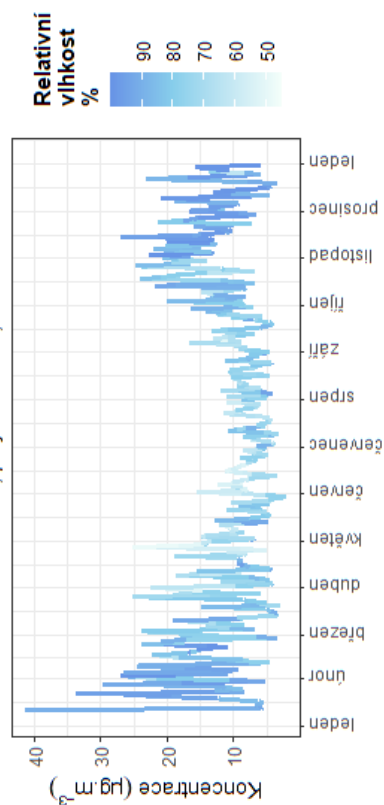
Závislost průměrných denních koncentrací NO_2 na relativní vlhkost
Lokalita Okříšky, projekt ISKOV, rok 2021



Závislost průměrných denních koncentrací NO_2 na relativní vlhkosti
Lokalita Bystřice n. P., projekt ISKOV, rok 2021



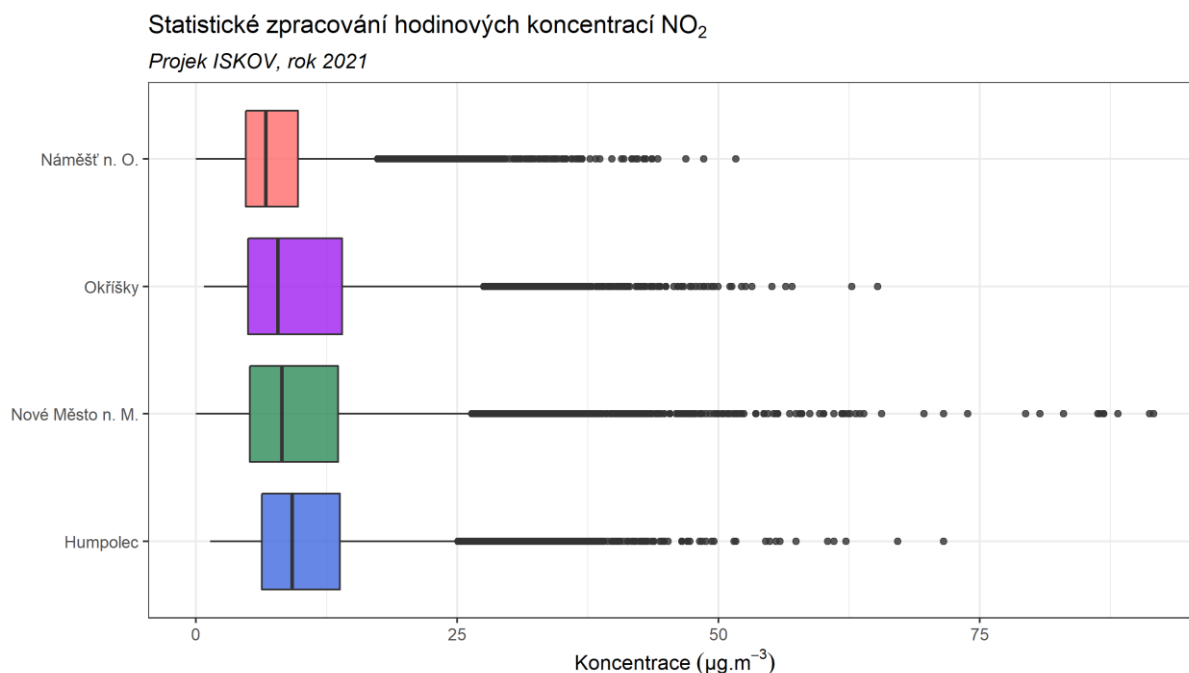
Závislost průměrných denních koncentrací NO_2 na relativní vlhkosti
Lokalita Nové Město n. M., projekt ISKOV, rok 2021



Obr. 72 – Vliv relativní vlhkosti vzduchu na průměrné denní koncentrace NO_2 , projekt ISKOV, rok 2021

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.

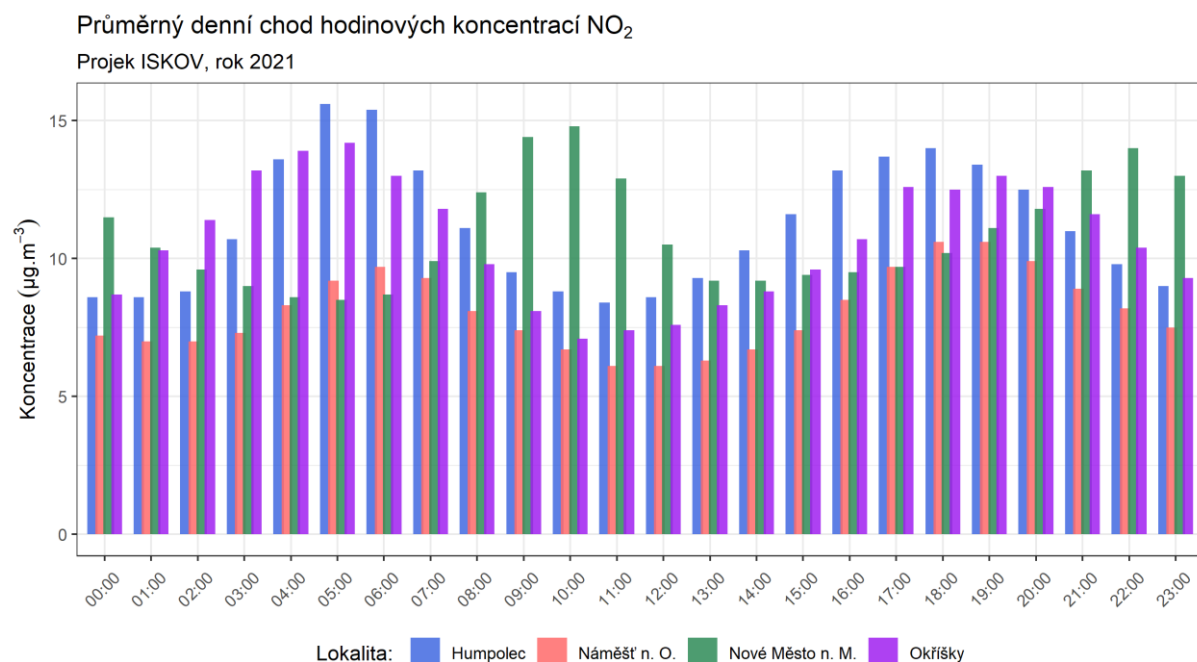


Obr. 73 – Statistické zpracování hodinových koncentrací NO_2 v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2021

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 ($200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).**

V lokalitě Okříšky byla naměřena nejvyšší hodnota 28. 11. 2021 v 15:00, kdy koncentrace dosáhly na hodnotu $65,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší koncentrace v lokalitě Náměšť nad Oslavou byla naměřena 2. 3. 2021 v 18:00 a měla hodnotu $51,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, nejvyšší koncentrace v lokalitě Humpolec byla naměřena 24. 2. 2021 v 8:00 a měla hodnotu $71,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a nejvyšší koncentrace v lokalitě Nové Město na Moravě byla naměřena 31. 10. 2021 v 10:00 a měla hodnotu $91,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

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 NO₂, projekt ISKOV, rok 2021. 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. V případě lokality Nové Město na Moravě jsou tato maxima mírně opožděna. 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 NO₂ na všech 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

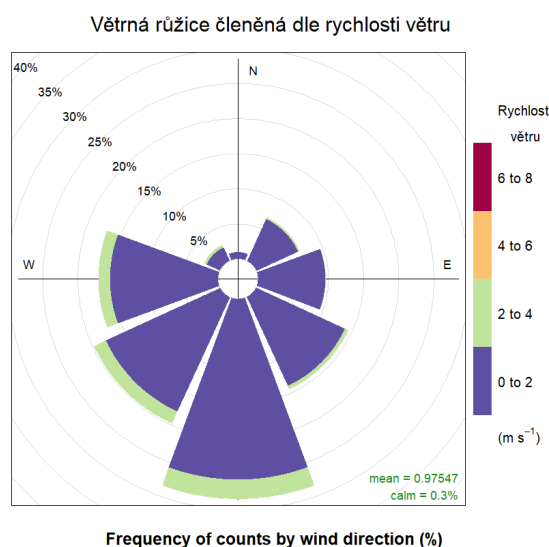
V této podkapitole budou pro všechny lokality připraveny větrné a koncentrační růžice. Větrná růžice bude kromě směrů větru členěna rovněž dle rychlostí větru, které jsou pro koncentrace škodlivin důležité.

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.

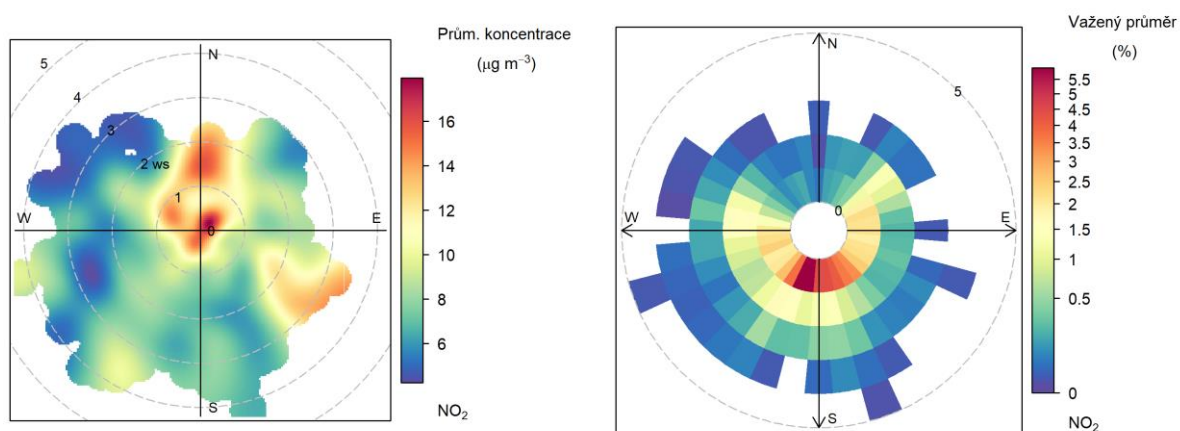
3.3.5.1 Humpolec

Na Obr. 75 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Humpolec*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především jižních a dále pak jihozápadních a západních směrů. Bezvětrí se v této lokalitě vyskytovalo zhruba v 0,3 % času. Průměrná rychlost proudění větru byla cca $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 75 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Humpolec, rok 2021

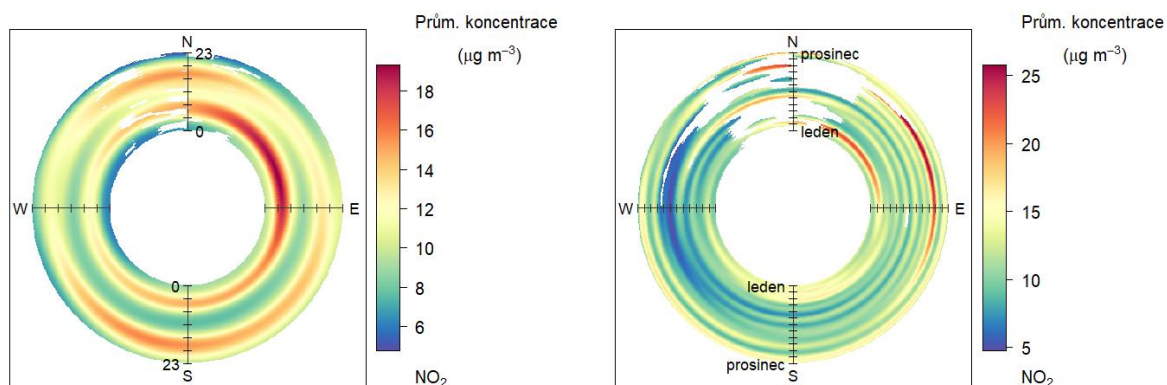
Následující Obr. 76 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro NO_2 v lokalitě *Humpolec*.



Obr. 76 – Koncentrační růžice NO_2 , lokalita Humpolec, rok 2021

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při bezvětrí, a dále pak při proudění ze severu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění NO_2 přišlo ze jižních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

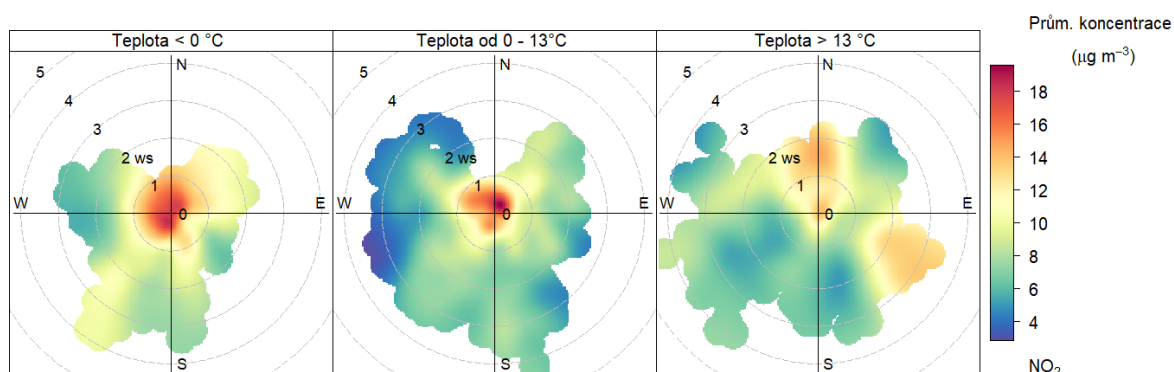
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp.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



Obr. 77 – Denní a roční chod koncentrací NO_2 členěný dle směru větru, lokalita *Humpolec*, rok 2021

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací NO_2 je důležitá ranní a odpolední špička zejména z východního až severovýchodního směru 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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, prostřední růžice zobrazuje koncentrace NO_2 při teplotách v intervalu od 0 do $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

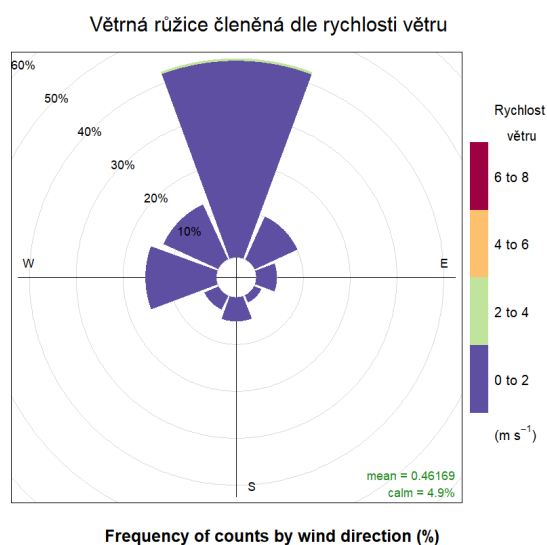


Obr. 78 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Humpolec*, rok 2021

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_2 rovněž při bezvětří. Při teplotách nad 13°C rovněž z jihovýchodu.

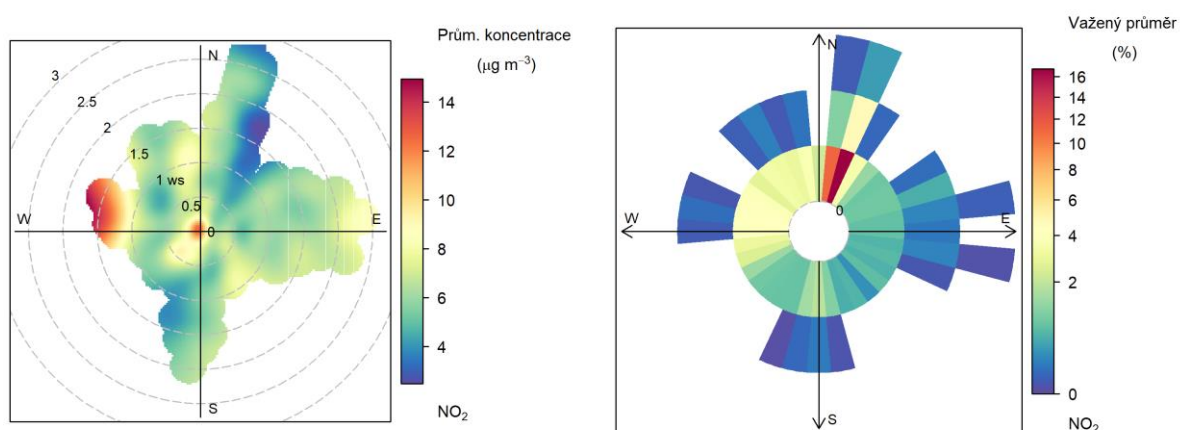
3.3.5.2 Náměšť nad Oslavou

Na Obr. 79 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Náměšť nad Oslavou*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severních směrů, vyšší rychlosti větru než $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ nebyly téměř zaznamenány. Bezvětří panovalo zhruba v 4,9 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $0,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 79 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Náměšť nad Oslavou, rok 2021

Následující Obr. 80 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro NO_2 v lokalitě *Náměšť nad Oslavou*.

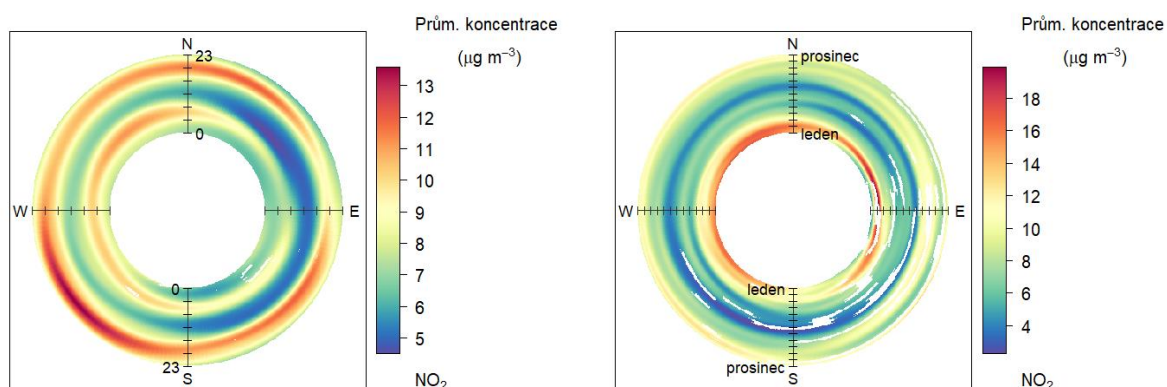


Obr. 80 – Koncentrační růžice NO_2 , lokalita Náměšť nad Oslavou, rok 2021

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při bezvětří, dále také při západním proudění a vyšších rychlostech větru. Vážená koncentrační růžice pak

ukazuje, že nejvíce znečištění NO_2 přišlo ze severních směrů– z těchto směrů foukalo nejčastěji.

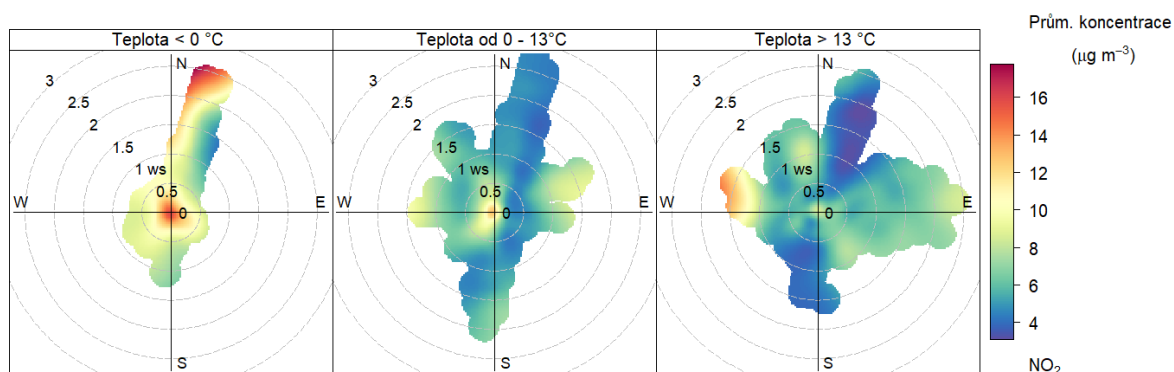
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp.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



Obr. 81 – Denní a roční chod koncentrací NO_2 členěný dle směru větru, lokalita *Náměšť nad Oslavou*, rok 2021

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací NO_2 je důležitý zejména jihozápadní 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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, prostřední růžice zobrazuje koncentrace NO_2 při teplotách v intervalu od 0 do $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

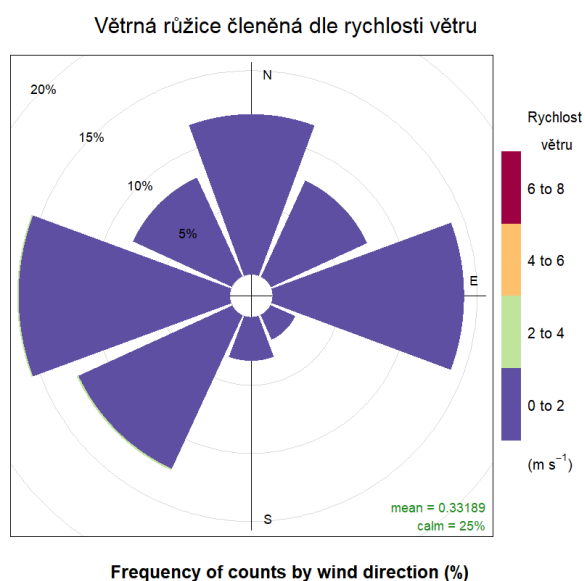


Obr. 82 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Náměšť nad Oslavou*, rok 2021

Z koncentračních růžic vyplývá, že vysoké koncentrace jsou takřka výhradně měřeny při teplotách nižších, než je bod mrazu při bezvětří, popř. při proudění ze severních směrů. Při teplotách nad 0 °C jsou ještě měřeny mírně vyšší koncentrace pouze při bezvětří, při teplotách nad 13 °C jsou koncentrace jen velmi nízké s výjimkou proudění ze západu a vyšších rychlostí větru.

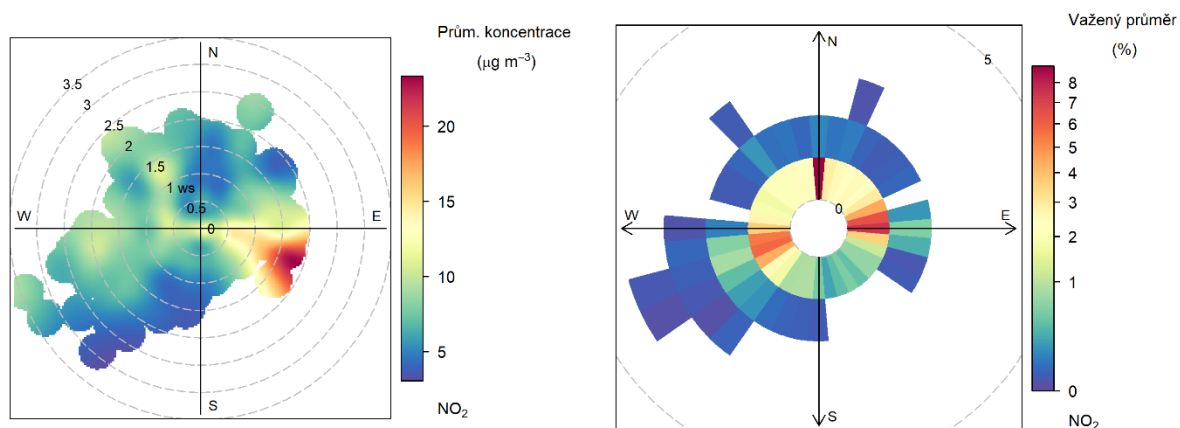
3.3.5.3 Nové Město na Moravě

Na Obr. 83 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Nové Město na Moravě*. Z růžice je patrné, že lokalita je poměrně rovnoměrně provětrávaná ze všech směrů s výjimkou jihovýchodních a jižních. Vyšší rychlosti větru než $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ pak byly zaznamenány pouze výjimečně. Bezvětří panovalo zhruba v 25 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 83 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Nové Město na Moravě, rok 2021

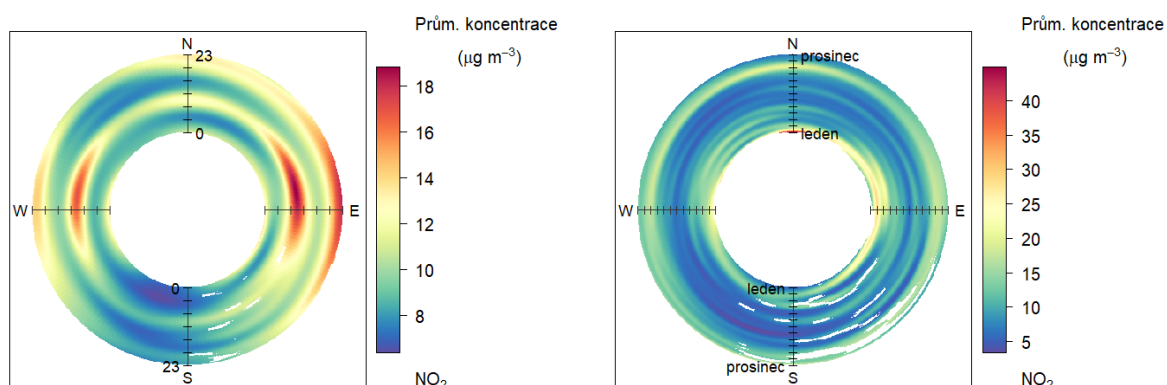
Následující Obr. 84 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro NO_2 v lokalitě *Nové Město na Moravě*.



Obr. 84 – Koncentrační růžice NO_2 , lokalita Nové Město na Moravě, rok 2021

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při bezvětrí, popř. při proudění z jihovýchodu a vyšších rychlostech větru. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění NO_2 přišlo ze severních a východních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

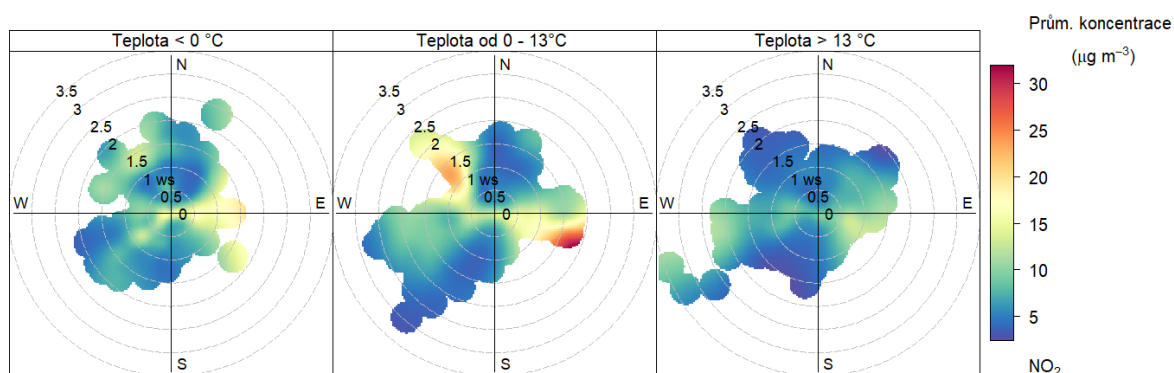
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp.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



Obr. 85 – Denní a roční chod koncentrací NO_2 členěný dle směru větru, lokalita *Nové Město na Moravě*, rok 2021

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací NO_2 jsou důležité zejména ranní a večerní hodiny, a to z východních a západních směrů. To může souviset s dopravními špičkami a se zatápěním lidí v obci po návratu z práce. 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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, prostřední růžice zobrazuje koncentrace NO_2 při teplotách v intervalu od 0 do $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

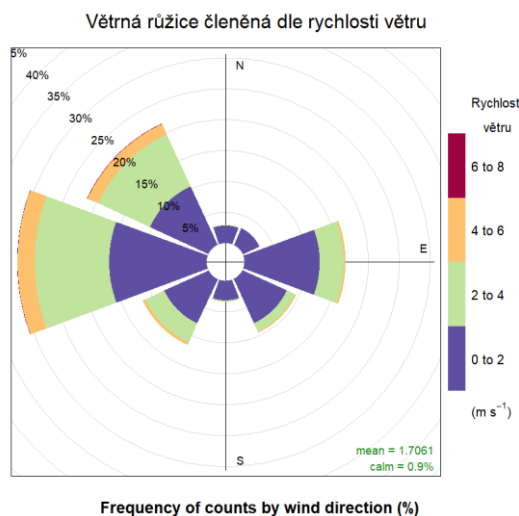


Obr. 86 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Nové Město na Moravě*, rok 2021

Z koncentračních růžic vyplývá, že při teplotách pod 0 °C jsou měřeny zvýšené koncentrace při nízkých rychlostech větru a při proudění z jihovýchodu. Při teplotách do 13 °C jsou měřeny maxima při proudění větru z jihovýchodu a vyšších rychlostech větru. Při teplotách nad 13 °C jsou měřeny pouze nízké koncentrace NO₂.

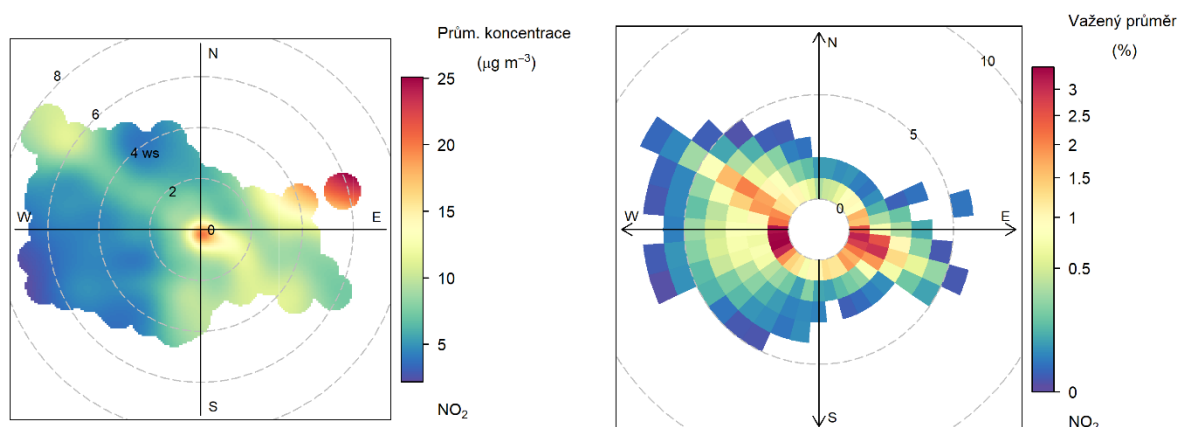
3.3.5.4 Okříšky

Na Obr. 87 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Okříšky*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze západních a severozápadních směrů, vyšší rychlosti větru než 4 m·s⁻¹ byly měřeny při proudění právě z těchto směrů. Bezvětří panovalo zhruba v 0,9 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 1,7 m·s⁻¹.



Obr. 87 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Okříšky, rok 2021

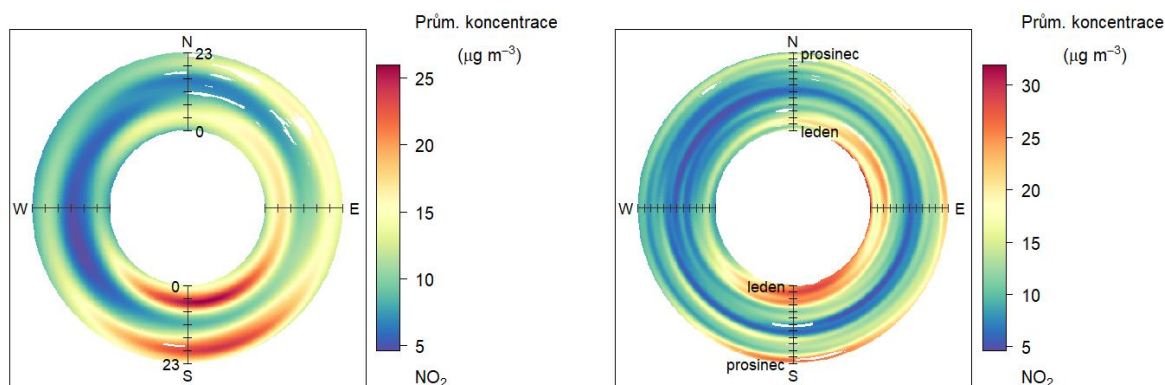
Následující Obr. 88 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro NO₂ v lokalitě *Okříšky*.



Obr. 88 – Koncentrační růžice NO₂, lokalita Okříšky, rok 2021

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění z východu a při bezvětří. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění NO_2 přišlo ze západních, popř. východních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

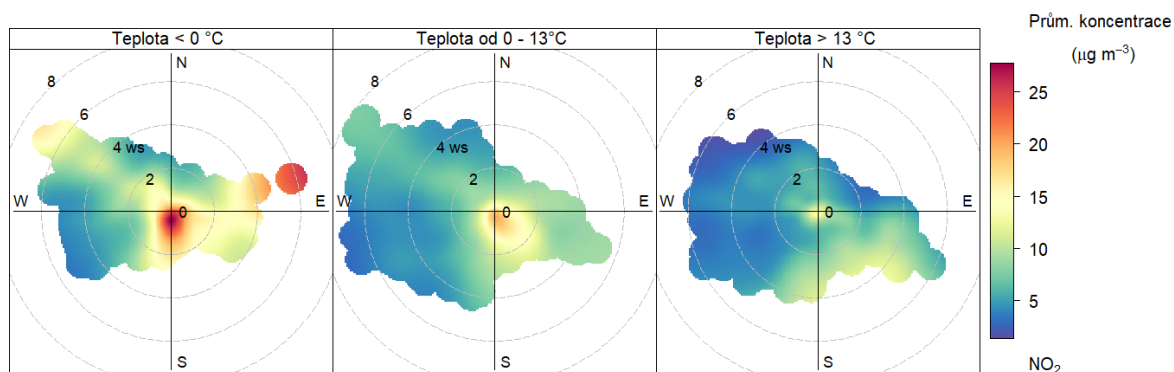
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp.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



Obr. 89 – Denní a roční chod koncentrací NO_2 členěný dle směru větru, lokalita Okříšky, rok 2021

Z obrázku je patrné, že z hlediska vysokých koncentrací NO_2 je důležitý zejména jižní až jihovýchodní 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 a převážně z jižních směrů.

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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, prostřední růžice zobrazuje koncentrace NO_2 při teplotách v intervalu od 0 do $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.



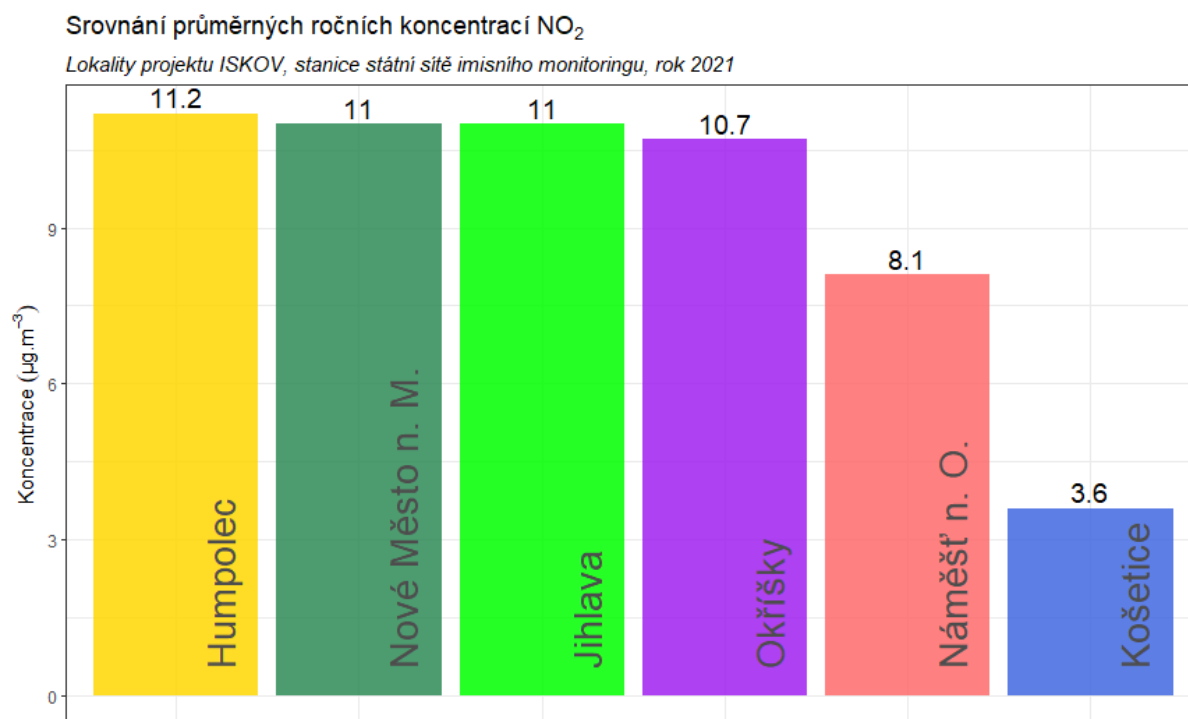
Obr. 90 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Okříšky, rok 2021

Z koncentračních růžic vyplývá, že při teplotách pod 0 °C jsou měřeny vysoké koncentrace při bezvětrí a při proudění z východních směrů. Při teplotách nad 0 °C jsou opět měřeny zvýšené koncentrace pouze při bezvětrí, při teplotách nad 13 °C jsou mírně zvýšené koncentrace z jihovýchodu.

3.3.6 Srovnání koncentrací NO₂ 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 NO₂.

V případě koncentrací NO₂ naměřila nejvyšší roční průměrnou hodnotu lokalita Humpolec. Velmi podobné koncentrace naměřily i další lokality s výjimkou Košetic – ty naměřily nejnižší hodnoty průměrné roční koncentrace NO₂.



Obr. 91 – Srovnání průměrných ročních koncentrací NO₂, lokality projektu ISKOV a lokality SSIM, rok 2021

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 [13]. 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 [14]. 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 [15]. 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 $120 \mu g \cdot m^{-3}$, 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_3 za den v roce 2021. Z tabulky vyplývá, že žádná lokalita nepřekročila imisní limit $120 \mu g \cdot m^{-3}$, nejvíce překročení bylo zaznamenáno v lokalitě Humpolec (17). Srovnání 26. nejvyšších 8hodinových klouzavých průměrů koncentrací O_3 za den přehledně zobrazuje Obr. 92.

Maximální 8hodinové klouzavé průměry koncentrací O_3 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.

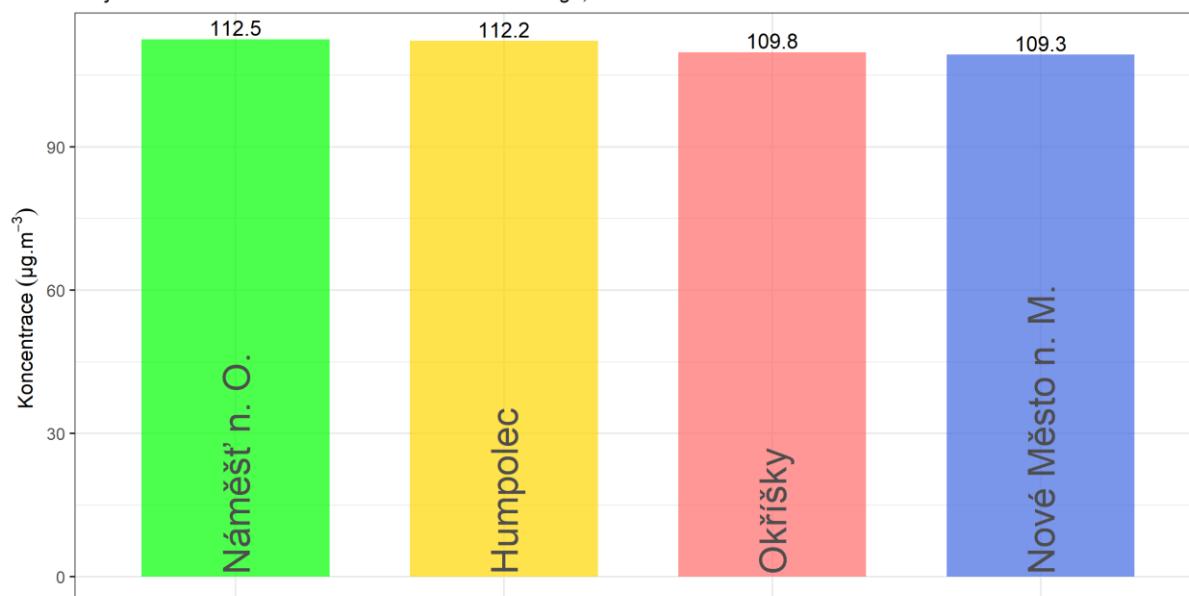
Vývoj maximálních denních 8hodinových klouzavých průměrů O_3 v roce 2021 v jednotlivých lokalitách pak zobrazuje Obr. 94.

Tab. 11 – Vyhodnocení 26 nejvyšších 8hodinových klouzavých průměrů O_3 za den, projekt ISKOV, rok 2021

POŘADÍ	HUMPOLEC	NÁMĚŠŤ NAD OSLAVOU	NOVÉ MĚSTO NA MORAVĚ	OKŘÍŠKY
1	143,6	139	126,6	131,1
2	137,5	138,5	124,3	130
3	135,2	131,9	123,1	125,5
4	134,8	130,8	121,8	124,3
5	134,8	130,3	120,2	123,4
6	131,6	128,4	119,7	123
7	130,8	126,9	119,5	122,3
8	129,7	125,4	117,6	119,6
9	128,8	123,5	116,8	118
10	128,5	122,2	115,9	117,8
11	126,8	122,2	115,2	117,6
12	126,5	121,9	114,3	117,5
13	126,1	120	114,3	116,9
14	126,1	119,6	112,9	115,7
15	124,4	117,9	112,8	115,5
16	123,1	117,2	112,6	115,5
17	122,8	116,7	112,4	115,2
18	119,4	116,6	112,3	115,1
19	118,9	116,5	112,2	114
20	118,5	116,2	111,7	112,9
21	116,1	115,8	110,6	111,6
22	114,4	114,9	110,5	111,5
23	114,4	113,4	110,5	111,3
24	114	113,2	110	110,7
25	113,2	113	109,5	110,4
26	112,2	112,5	109,3	109,8

26. nejvyšší 8hodinový klouzavý průměr koncentrací O_3 za den

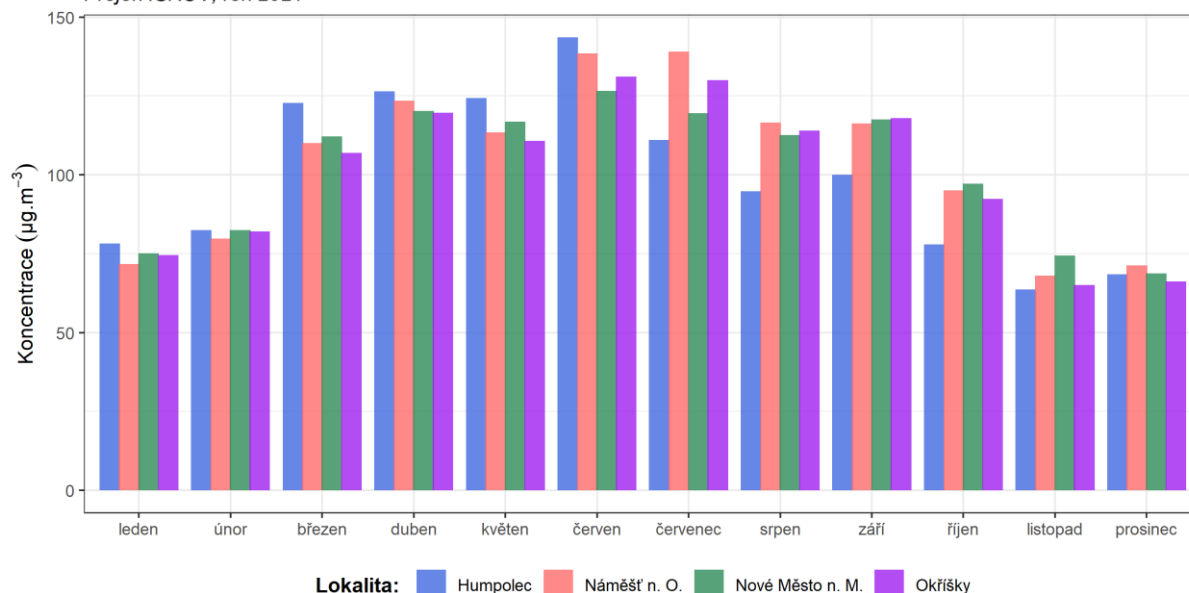
Projekt ISKOV a stanice státní sítě imisního monitoringu, rok 2021



Obr. 92 – 26. nejvyšší 8hodinový klouzavý průměr O_3 za den, projekt ISKOV a stanice státní sítě imisního monitoringu, rok 2021

Maximální měsíční 8hodinový klouzavý průměr koncentrací O_3

Projekt ISKOV, rok 2021

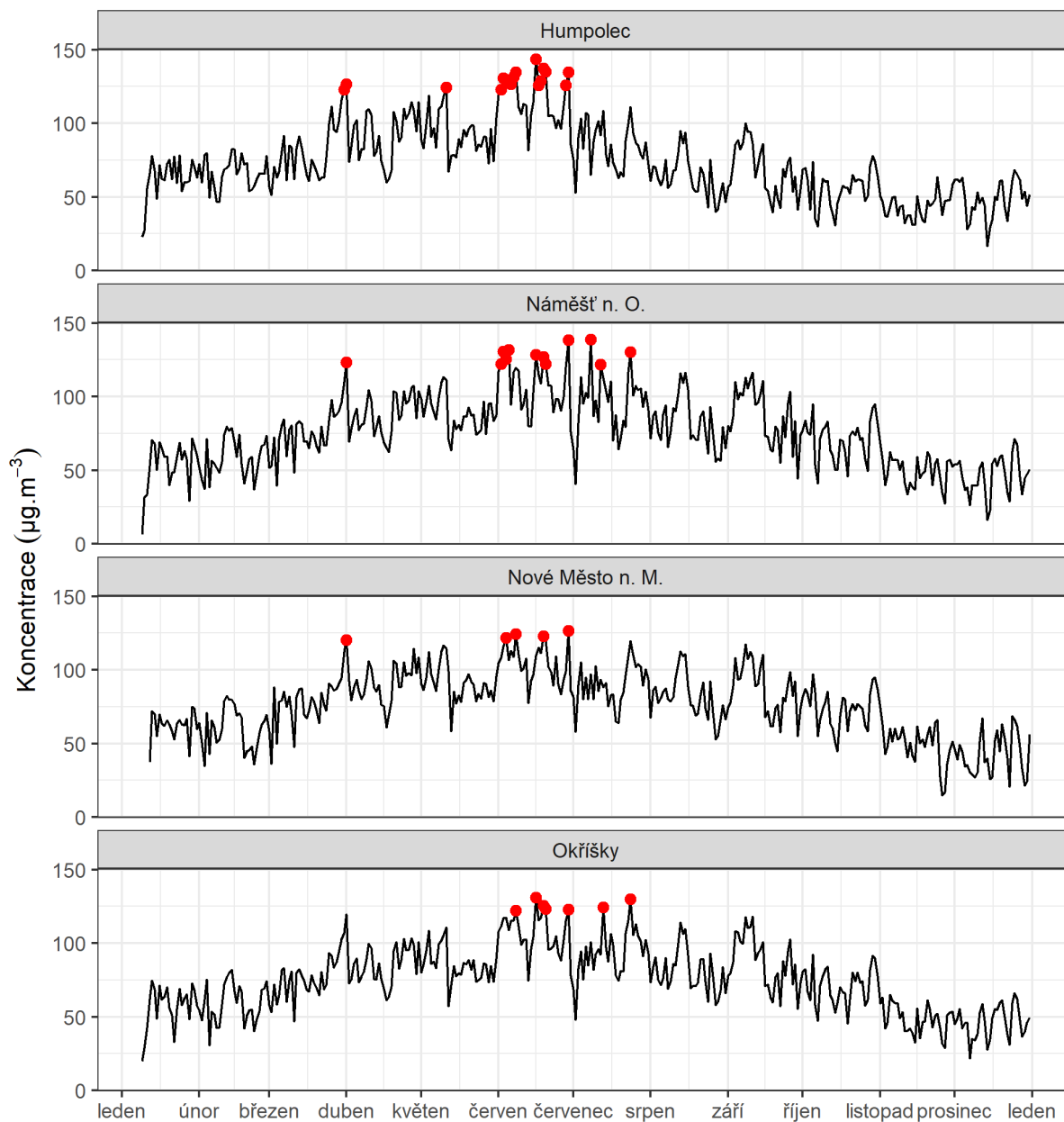


Obr. 93 – Maximální 8hodinový klouzavý průměr O_3 za den v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2021

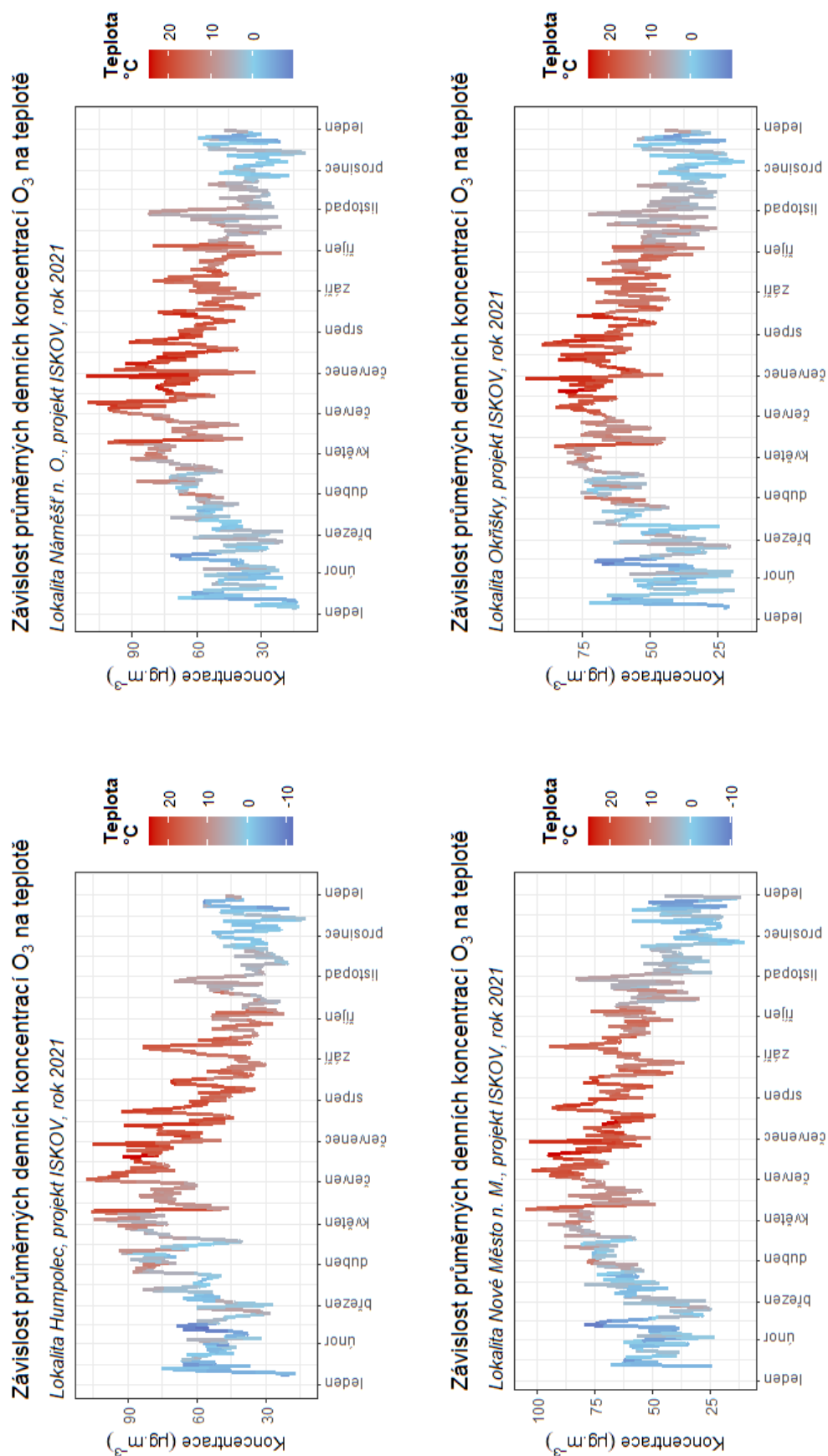
Na Obr. 95 – Obr. 97 je zobrazena závislost průměrných denních koncentrací O_3 na meteorologických veličinách. Je velmi dobře patrné, že vysoké koncentrace O_3 se vyskytují zejména při vysokých teplotách a nižších relativních vlhkostech vzduchu.

Vývoj maximálních 8h klouzavých průměrů koncentrací O₃ za den

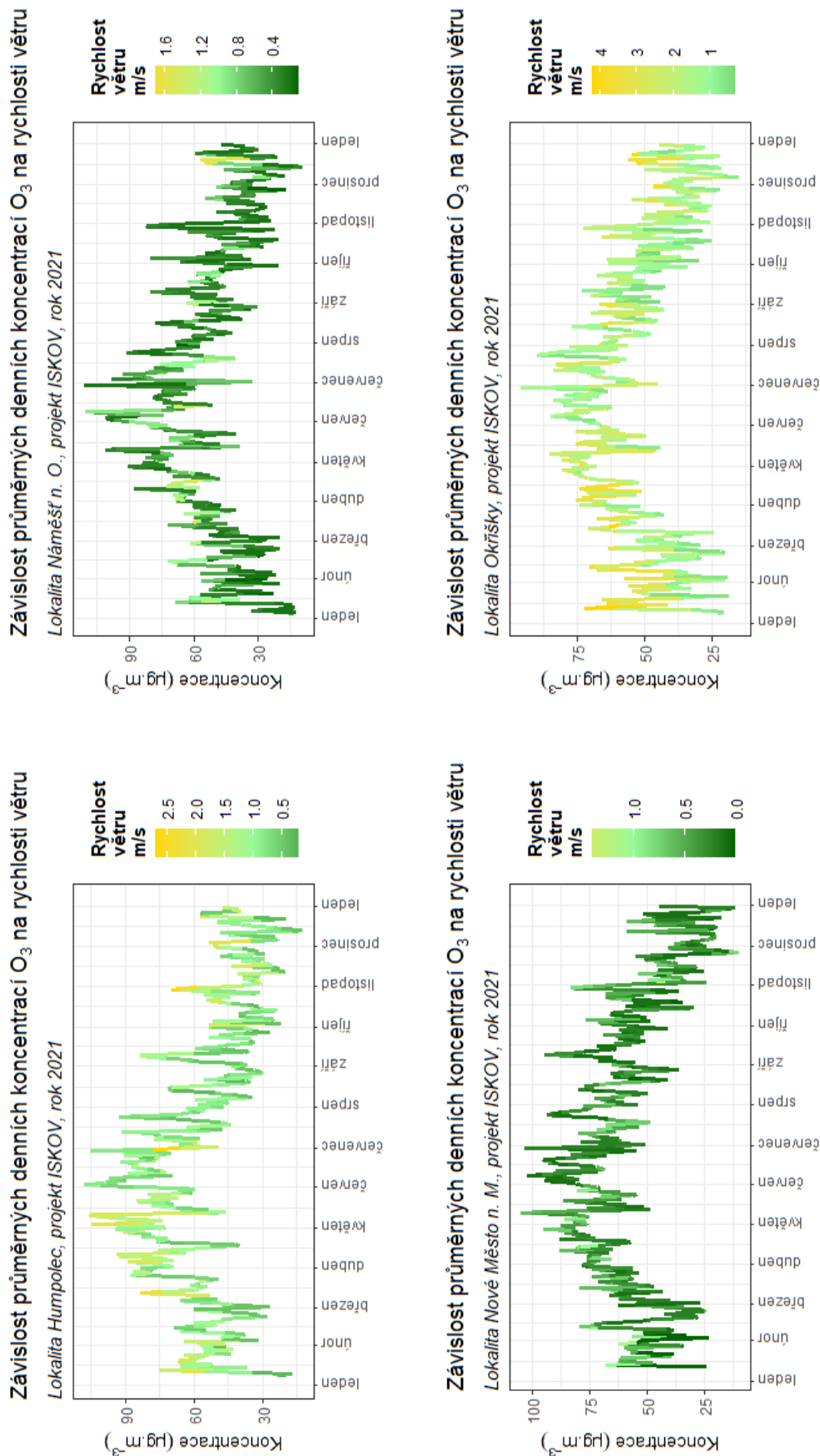
Projek ISKOV, rok 2021



Obr. 94 – Vývoj maximálních 8hodinových klouzavých průměrů O₃ za den včetně vyznačení dnů s koncentracemi nad 120 µg·m⁻³ (červeně) a nad 180 µg·m⁻³ (fialově), projekt ISKOV, rok 2021

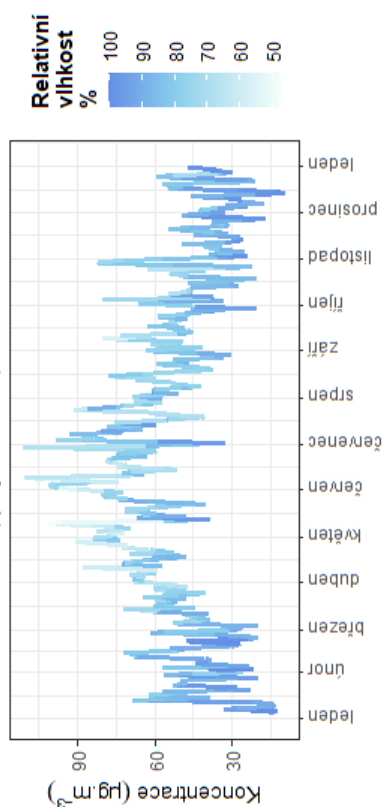


Obr. 95 – Vliv teploty vzduchu na průměrné denní koncentrace O₃, projekt ISKOV, rok 2021

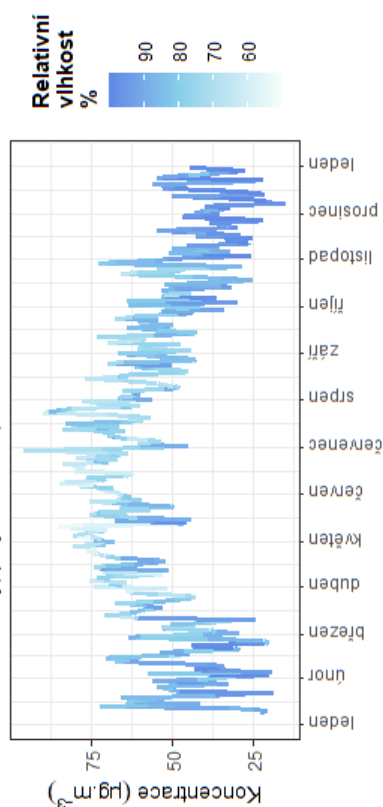


Obr. 96 – Vliv rychlosti větru na průměrné denní koncentrace O_3 , projekt ISKOV, rok 2021

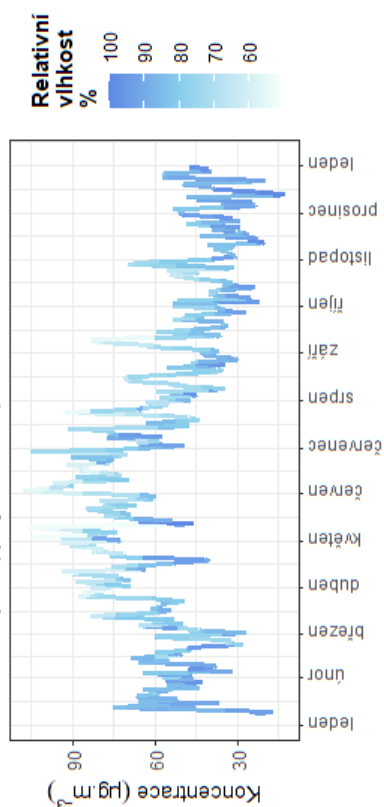
Závislost průměrných denních koncentrací O_3 na relativní vlhkosti
Lokalita Náměstí n. O., projekt ISKOV, rok 2021



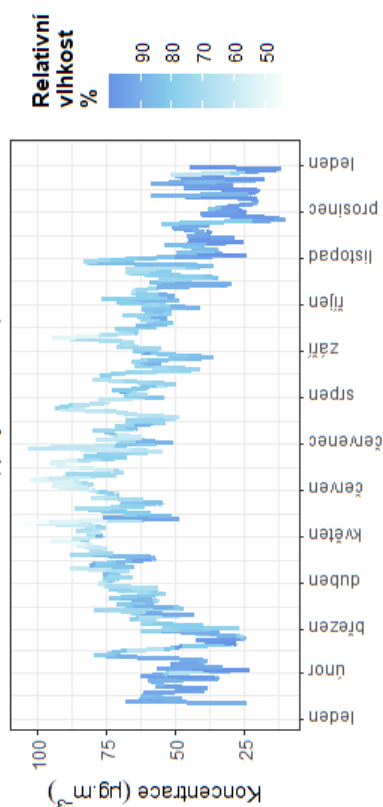
Závislost průměrných denních koncentrací O_3 na relativní vlhkosti
Lokalita Okříšky, projekt ISKOV, rok 2021



Závislost průměrných denních koncentrací O_3 na relativní vlhkosti
Lokalita Humpolec, projekt ISKOV, rok 2021



Závislost průměrných denních koncentrací O_3 na relativní vlhkosti
Lokalita Nové Město n. M., projekt ISKOV, rok 2021



Obr. 97 – Vliv relativní vlhkosti vzduchu na průměrné denní koncentrace O_3 , projekt ISKOV, rok 2021

3.5.1 Růžice – detailní analýza hodinových hodnot

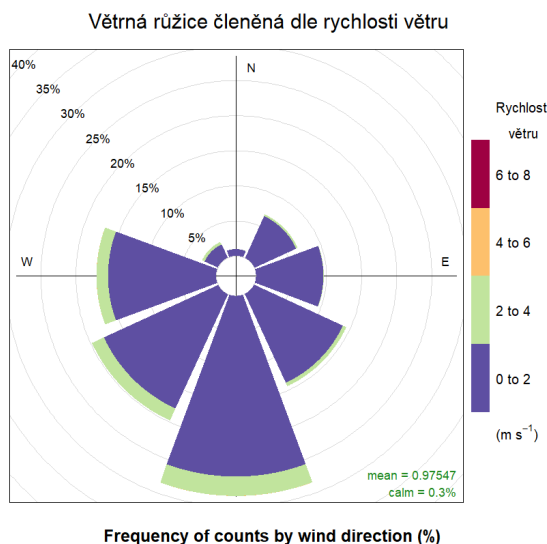
V této podkapitole budou pro všechny lokality připraveny větrné a koncentrační růžice. Větrná růžice bude kromě směrů větru členěna rovněž dle rychlostí větru, které jsou pro koncentrace škodlivin důležité.

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.

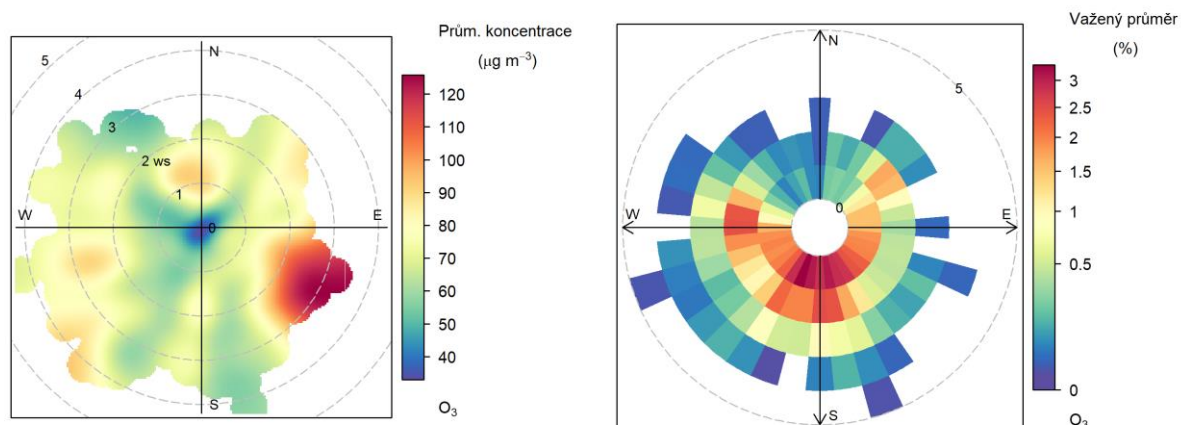
3.5.1.1 Humpolec

Na Obr. 98 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Humpolec*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především jižních a dále pak jihozápadních a západních směrů. Bezvětří se v této lokalitě vyskytovalo zhruba v 0,3 % času. Průměrná rychlost proudění větru byla cca $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 98 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Humpolec, rok 2021

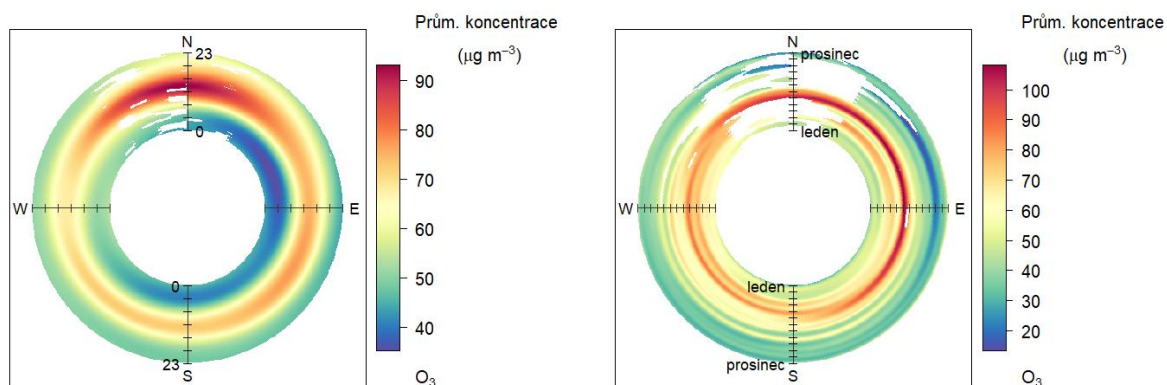
Následující Obr. 99 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro O_3 v lokalitě *Humpolec*.



Obr. 99 – Koncentrační růžice O_3 , lokalita Humpolec, rok 2021

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění z jihovýchodu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění O_3 přišlo z jižních směrů.

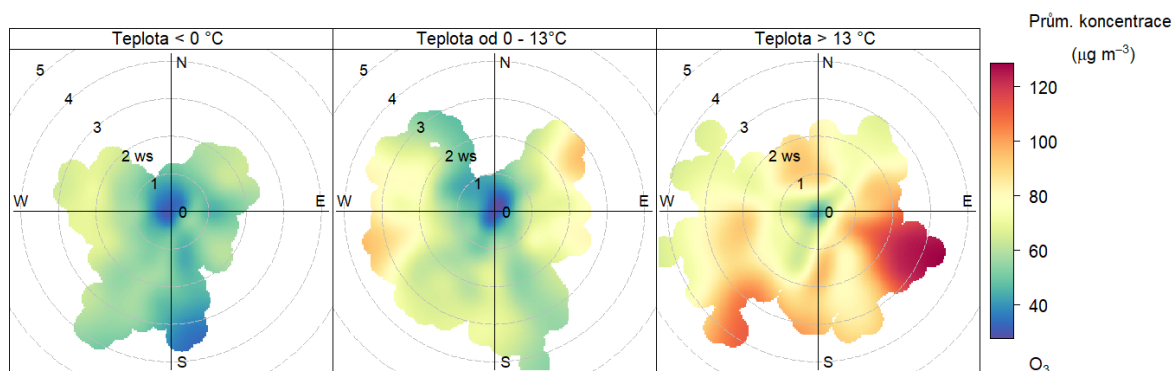
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp.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



Obr. 100 – Denní a roční chod koncentrací O_3 členěný dle směru větru, lokalita Humpolec, rok 2021

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací O_3 je důležitý sluneční svit, vysoké koncentrace se tak vyskytují především přes den a zejména při proudění ze severu. Z hlediska ročního vývoje jsou maxima měřena v teplých 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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, prostřední růžice zobrazuje koncentrace O_3 při teplotách v intervalu od 0 do $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

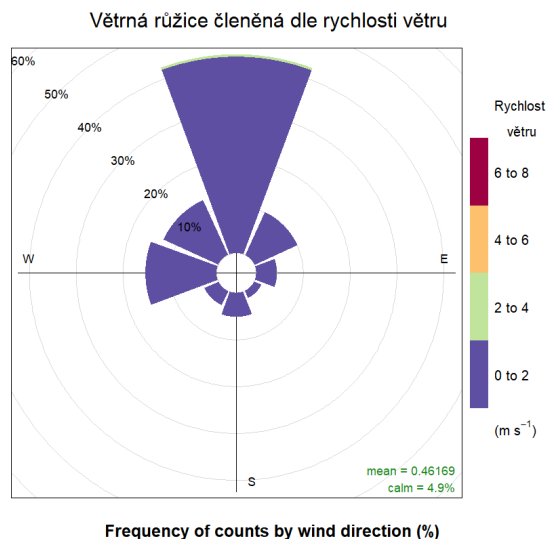


Obr. 101 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Humpolec, rok 2021

Z koncentračních růžic vyplývá, že vysoké koncentrace jsou měřeny převážně při teplotách nad 13 °C, kdy lze očekávat mimo jiné také dostatek slunečního svitu pro tvorbu přízemního ozónu. Maxima byla dosahována při proudění z jihovýchodu.

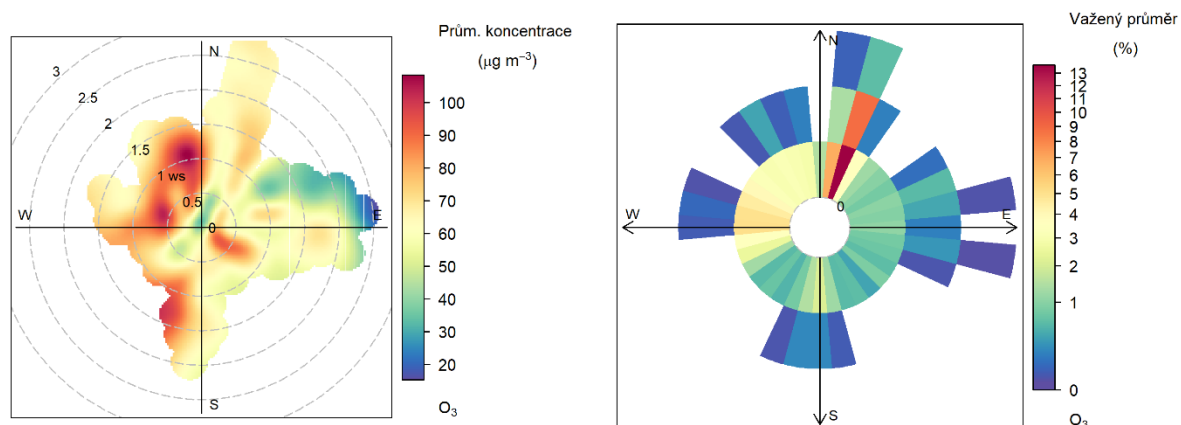
3.5.1.2 Náměšť nad Oslavou

Na Obr. 102 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Náměšť nad Oslavou*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severních směrů, vyšší rychlosti větru než 2 m·s⁻¹ nebyly téměř zaznamenány. Bezvětrí panovalo zhruba v 4,9 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 0,5 m·s⁻¹.



Obr. 102 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Náměšť nad Oslavou, rok 2021

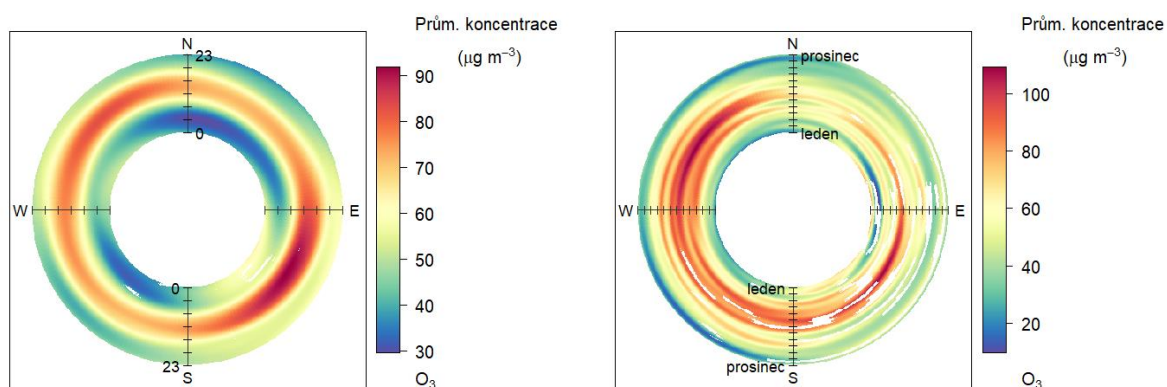
Následující Obr. 103 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro O₃ v lokalitě *Náměšť nad Oslavou*.



Obr. 103 – Koncentrační růžice O_3 , lokalita Náměšť nad Oslavou, rok 2021

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při vyšších rychlostech větru, zejména ze severu, západu a jihozápadu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění O_3 přišlo ze 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 Náměšť nad Oslavou je tento denní chod vynesena na Obr. 104.

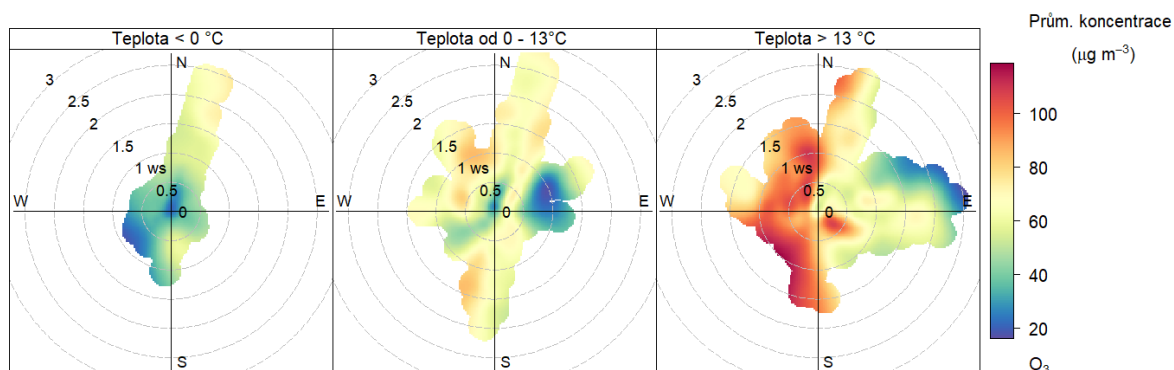


Obr. 104 – Denní a roční chod koncentrací O_3 členěný dle směru větru, lokalita Náměšť nad Oslavou, rok 2021

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací O_3 je důležitý sluneční svit, vysoké koncentrace se tak vyskytují především přes den a zejména při proudění z jihovýchodu. 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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,

prostřední růžice zobrazuje koncentrace O_3 při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

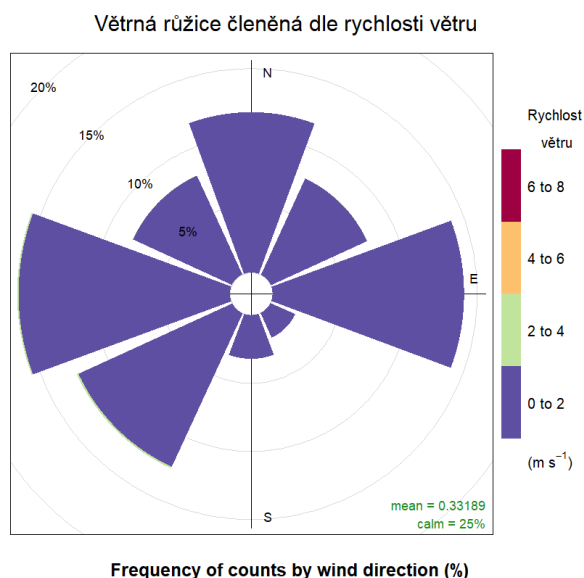


Obr. 105 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Náměšť nad Oslavou, rok 2021

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. Maxima jsou dosahována při proudění ze západních až jižních směrů.

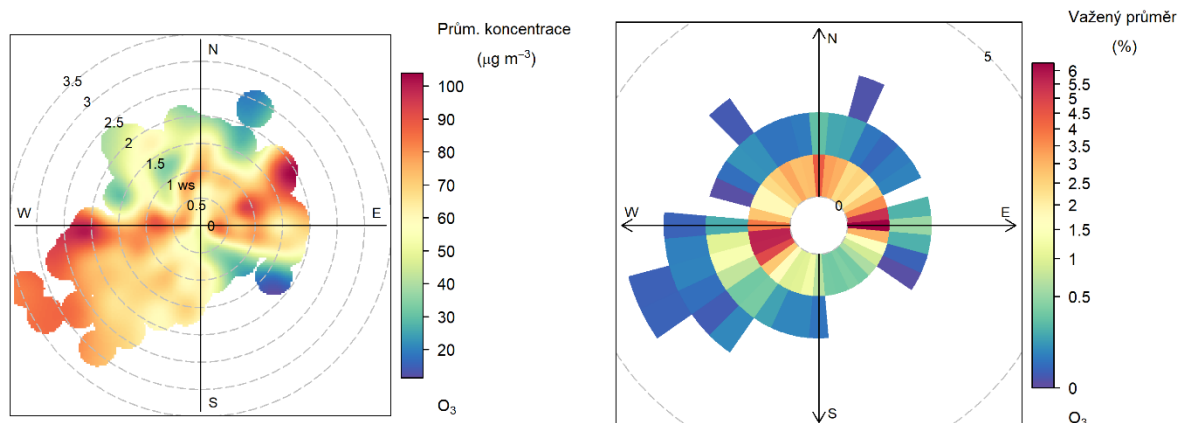
3.5.1.3 Nové Město na Moravě

Na Obr. 106 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu Nové Město na Moravě. Z růžice je patrné, že lokalita je poměrně rovnoměrně provětrávaná ze všech směrů s výjimkou jihovýchodních a jižních. Vyšší rychlosti větru než $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ pak byly zaznamenány pouze výjimečně. Bezvětří panovalo zhruba v 25 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 106 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Nové Město na Moravě, rok 2021

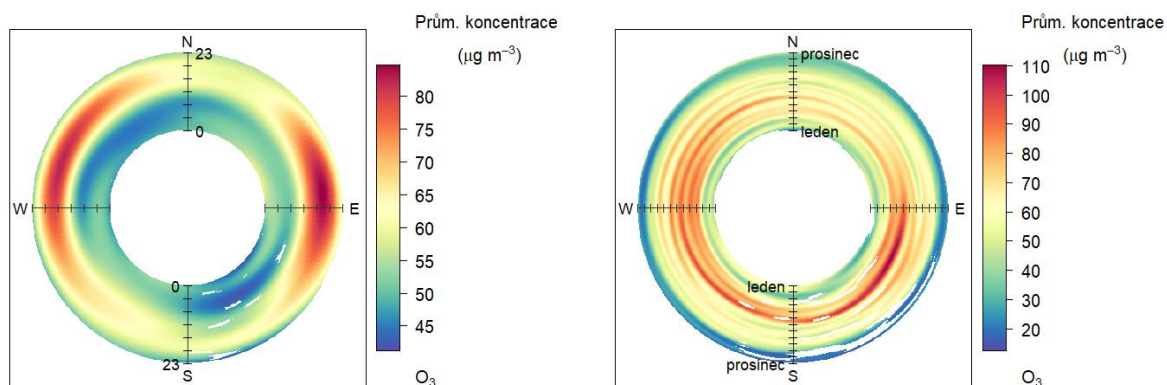
Následující Obr. 107 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro O_3 v lokalitě Nové Město na Moravě.



Obr. 107 – Koncentrační růžice O_3 , lokalita Nové Město na Moravě, rok 2021

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze severovýchodu a západu, a spíše vyšších rychlostech větru. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění O_3 přišlo ze západních 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 Nové Město na Moravě je tento denní chod vynesena na Obr. 108.

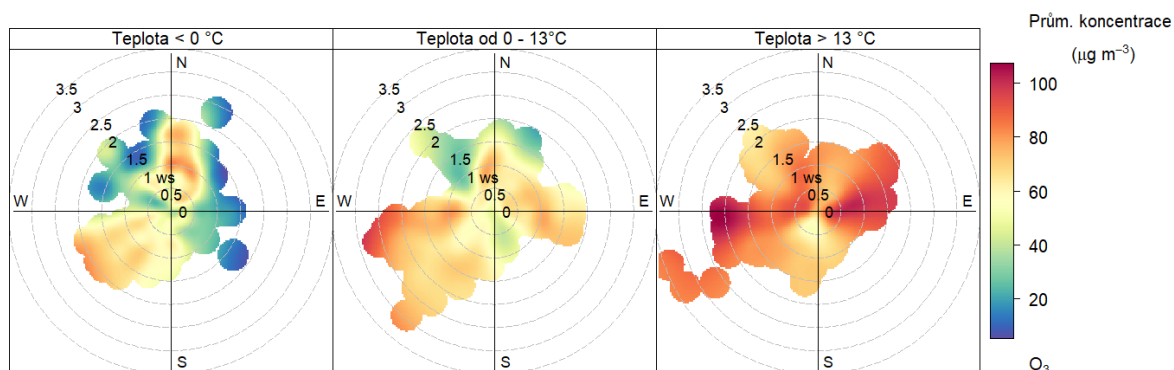


Obr. 108 – Denní a roční chod koncentrací O_3 členěný dle směru větru, lokalita Nové Město na Moravě, rok 2021

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací O_3 je důležitý sluneční svit, vysoké koncentrace se tak vyskytují především přes den a zejména při proudění z východu a západu. Z hlediska ročního vývoje jsou maxima měřena v letních měsících především z jihovýchodních směrů, 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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,

prostřední růžice zobrazuje koncentrace O_3 při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

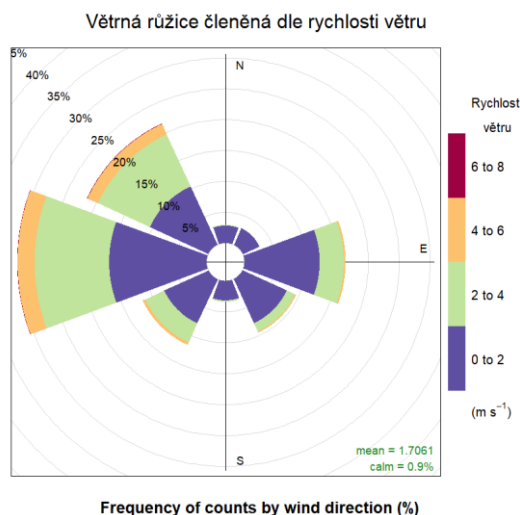


Obr. 109 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Nové Město na Moravě, rok 2021

Z koncentračních růžic vyplývá, že vysoké koncentrace jsou měřeny nejčastěji při teplotách nad 13 °C, kdy lze očekávat mimo jiné také dostatek slunečního svitu pro tvorbu přízemního ozónu. Zvýšené koncentrace při proudění ze západu lze však pozorovat i při nižších teplotách.

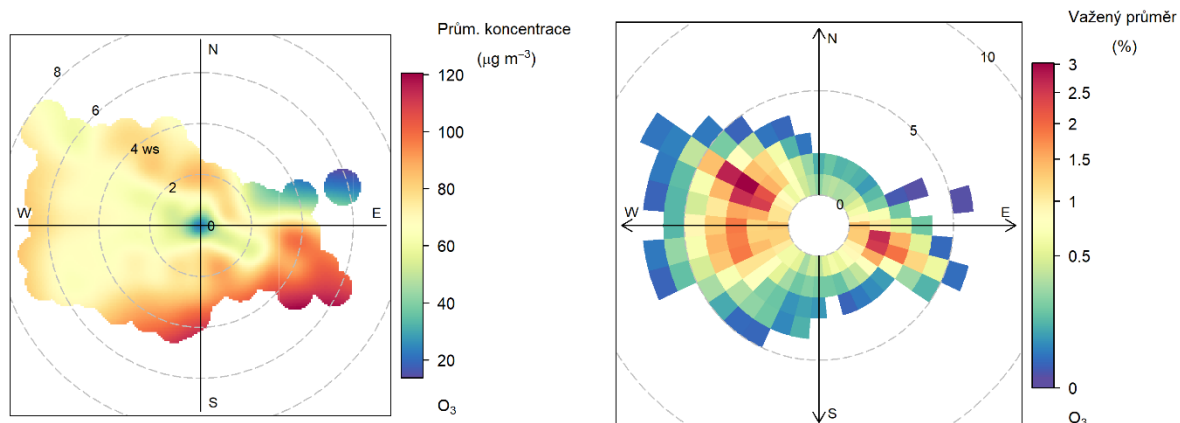
3.5.1.4 Okříšky

Na Obr. 110 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Okříšky*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze západních a severozápadních směrů, vyšší rychlosti větru než 4 m·s⁻¹ byly měřeny při proudění právě z těchto směrů. Bezvětří panovalo zhruba v 0,9 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 1,7 m·s⁻¹.



Obr. 110 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Okříšky, rok 2021

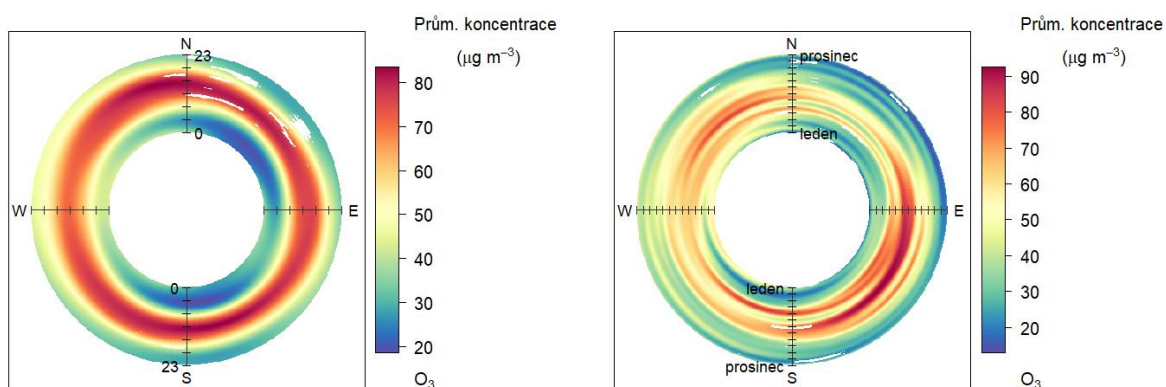
Následující Obr. 111 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro O_3 v lokalitě *Okříšky*.



Obr. 111 – Koncentrační růžice O_3 , lokalita Okříšky, rok 2021

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při jižním až jihovýchodním proudění a vyšších rychlostech větru. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění O_3 přišlo ze severozápadních 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 Okříšky je tento denní chod vynesena na Obr. 112.



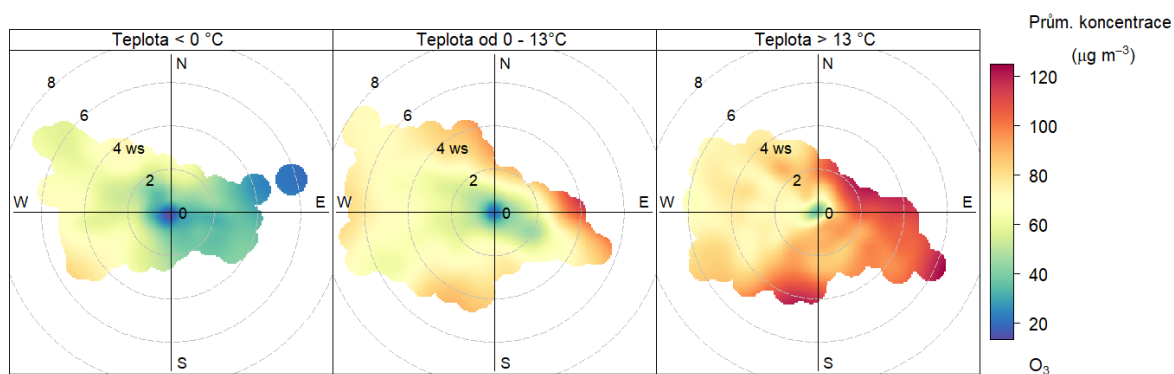
Obr. 112 – Denní a roční chod koncentrací O_3 členěný dle směru větru, lokalita Okříšky, rok 2021

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací O_3 je důležitý sluneční svit, vysoké koncentrace se tak vyskytují především přes den, a to při proudění ze všech světových stran. Z hlediska ročního vývoje jsou maxima měřena v letních měsících, a především jihovýchodním prouděním.

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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,

prostřední růžice zobrazuje koncentrace O₃ při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.

Z koncentračních růžic vyplývá, že vysoké koncentrace jsou měřeny při teplotách nad 13 °C a jižním až východním proudění, kdy lze očekávat mimo jiné také dostatek slunečního svitu pro tvorbu přízemního ozónu. Avšak vysoké koncentrace lze zaznamenat i v teplotním intervalu 0–13 °C ve dnech s dostatkem slunečního svitu a prouděním ze severu nebo jihu.

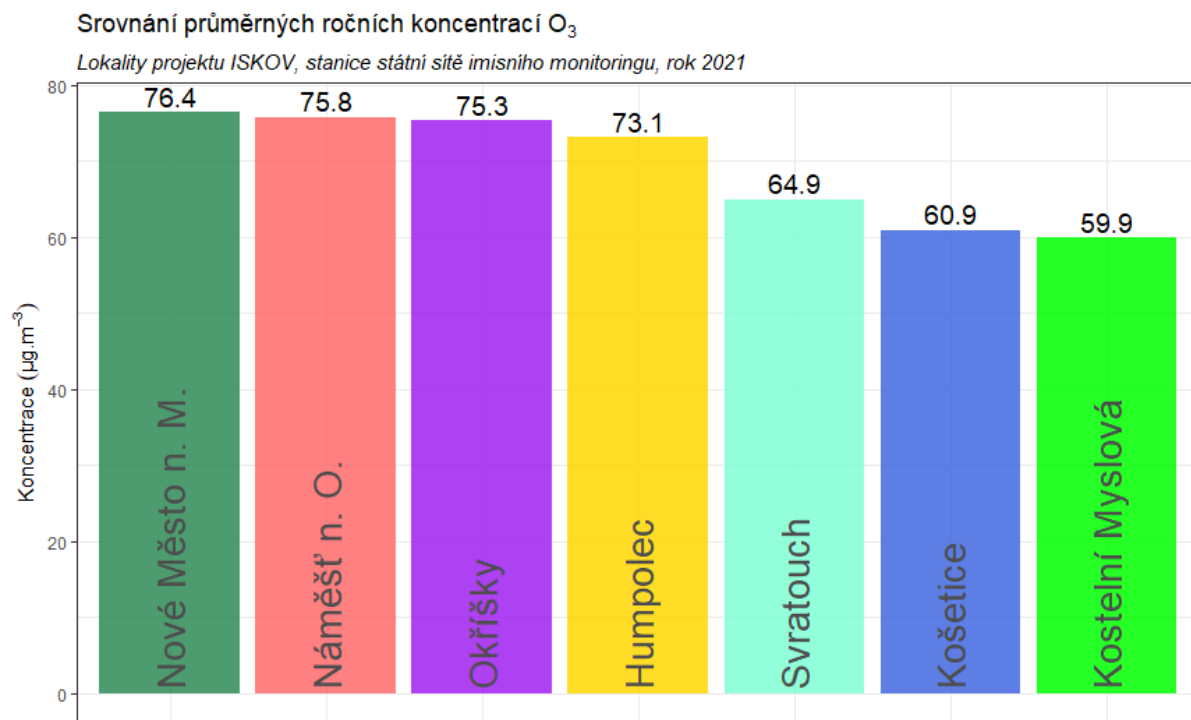


Obr. 113 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Okříšky, rok 2021

3.5.2 Srovnání koncentrací O_3 s lokalitami státní sítě imisního monitoringu

V následujícím grafu na Obr. 114 je zobrazeno srovnání měřicích lokalit projektu ISKOV s lokalitami státní sítě imisního monitoringu (SSIM). Graf srovnává průměrné roční koncentrace O_3 .

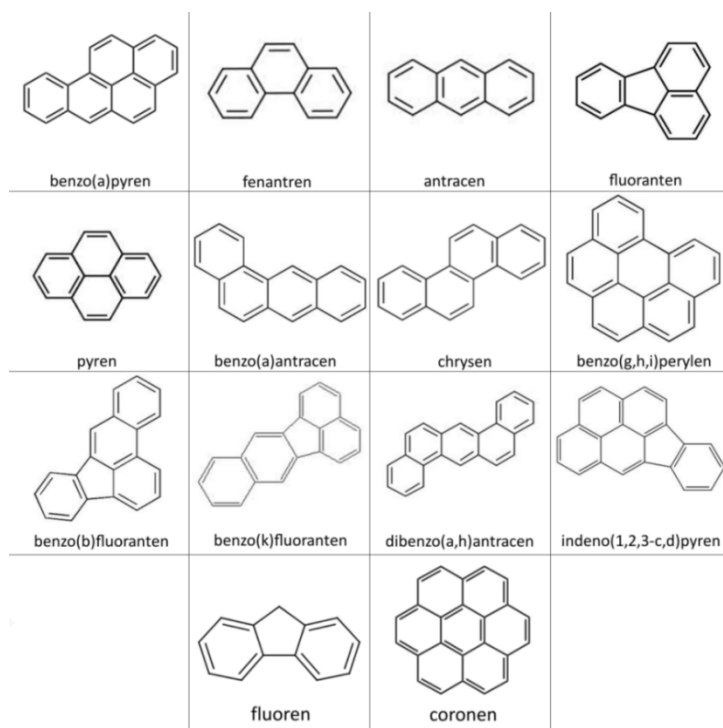
V případě koncentrací O_3 naměřila nejvyšší roční průměrnou hodnotu lokality Nové Město na Moravě a Náměšť nad Oslavou, nejnižší hodnoty pak lokality Košetice a Kostelní Myslová.



Obr. 114 – Srovnání průměrných ročních koncentrací O_3 , lokality projektu ISKOV a lokality SSIM, rok 2021

3.6 BENZO[A]PYREN

Benzo[a]pyren je legislativním zástupcem polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH, Obr. 115). Přírodní hladina pozadí benzo[a]pyrenu může být s výjimkou výskytu lesních požárů téměř nulová. Jeho antropogenním zdrojem, stejně jako ostatních PAH, je jednak nedokonalé spalování fosilních paliv jak ve stacionárních (domácí topeniště – zcela majoritní zdroj emisí) tak i v mobilních zdrojích (motory spalující naftu), ale také průmyslová výroba (výroba koksu a oceli).



Obr. 115 - Polycyklické aromatické uhlovodíky rutinně stanovované v imisích

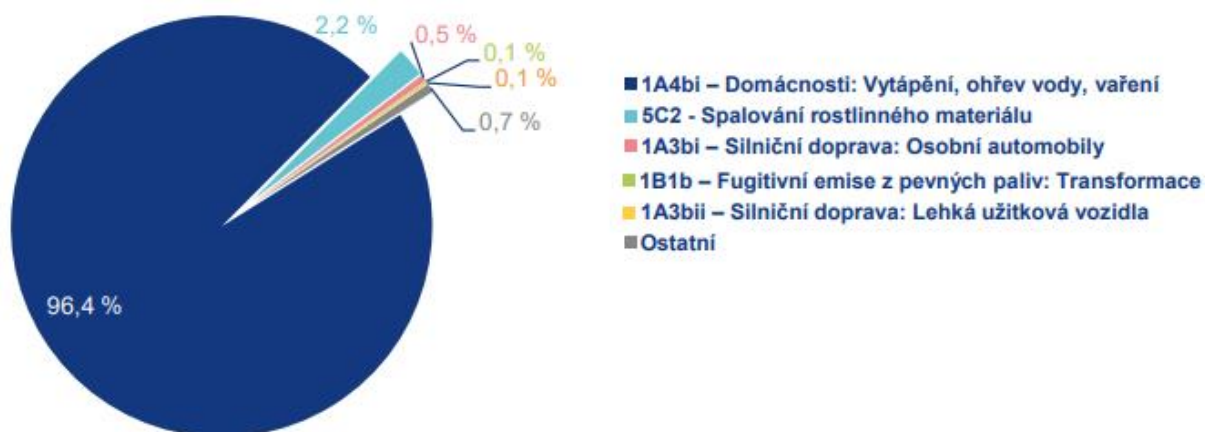
Přibližně 80–100 % PAH s pěti a více aromatickými jádry (tedy i benzo[a]pyren) je navázáno především na částice menší než 2,5 μm , tedy na tzv. jemnou frakci atmosférického aerosolu $\text{PM}_{2,5}$ (sorpce na povrchu částic). Tyto částice přetrvávají v atmosféře poměrně dlouhou dobu, což umožňuje jejich transport na velké vzdálenosti (stovky km) [16].

U benzo[a]pyrenu, stejně jako u některých dalších PAH, jsou prokázány karcinogenní účinky na lidský organismus [17].

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 $^{\circ}\text{C}$. Proto se mezi nejvýznamnější zdroje řadí spalování pevných paliv v kotlích nižších výkonů, především v domácích topeništích, a doprava.

Sektor 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření se na emisích benzo[a]pyrenu v roce 2019 v celorepublikovém měřítku podílel 96,4 %. Hlavní příčinou takto vysokého podílu je spalování pevných paliv, především uhlí, v kotlích starších typů (odhořivací a prohořivací způsob spalování). Vzhledem k dominantnímu podílu sektoru 1A4bi jsou emise

benzo[a]pyrenu rozloženy na území obydlené zástavby celé ČR. Nově byl pro celé období proveden odhad emisí ze spalování rostlinného materiálu (NFR 5C2), které se podílí v roce 2019 na celkových emisích 2,24 %. Vliv dopravy se uplatňuje především podél dálnic, komunikací s intenzivní dopravou a na území větších městských celků. Vliv sektoru dopravy je odhadován na 0,6 % (Obr. 116) [8].



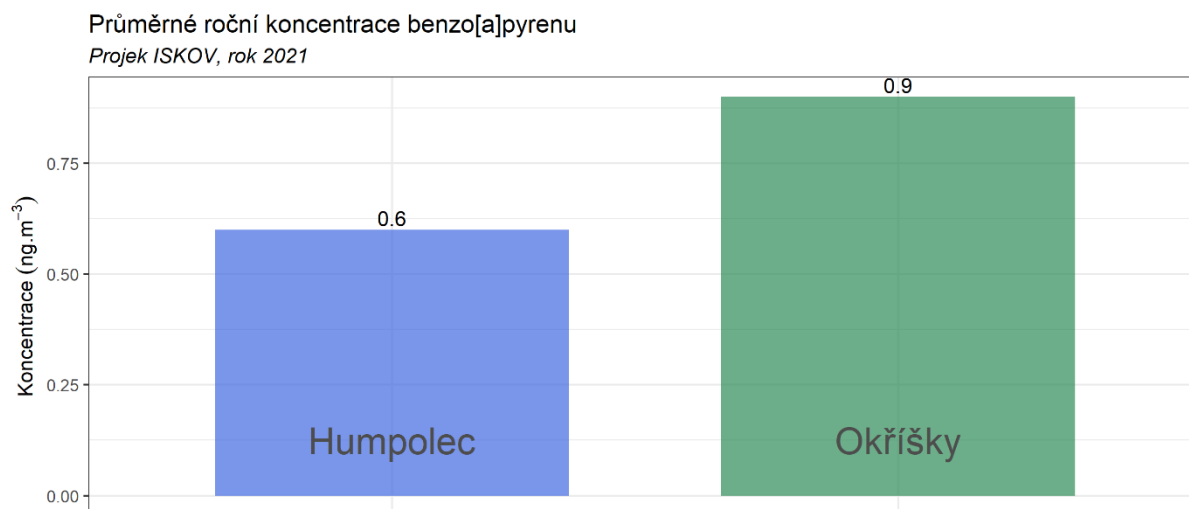
Obr. 116 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích benzo[a]pyrenu v ČR, rok 2019 [8]

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. 117.

Tab. 12 – Průměrná roční koncentrace benzo[a]pyrenu, projekt ISKOV, rok 2021

LOKALITA	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE BAP ($\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$)
HUMPOLEC	0,6
OKŘÍŠKY	0,9



Obr. 117 – Průměrná roční koncentrace benzo[a]pyrenu, projekt ISKOV, rok 2021

Z uvedeného vyplývá, že vyšší průměrná roční koncentrace benzo[a]pyrenu byla naměřena v lokalitě Okříšky. **Obě lokality dodržely imisní limit pro průměrnou roční koncentraci benzo[a]pyrenu (1 ng·m⁻³).**

3.6.2 Měření denní koncentrace

V lokalitách Humpolec a Náměšť nad Oslavou proběhlo v roce 2021 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. 118 a Obr. 119) jsou tyto hodnoty nahrazeny polovinou meze detekce.

Tab. 13 – Měřené denní koncentrace PAH, lokalita Humpolec, projekt ISKOV, rok 2021

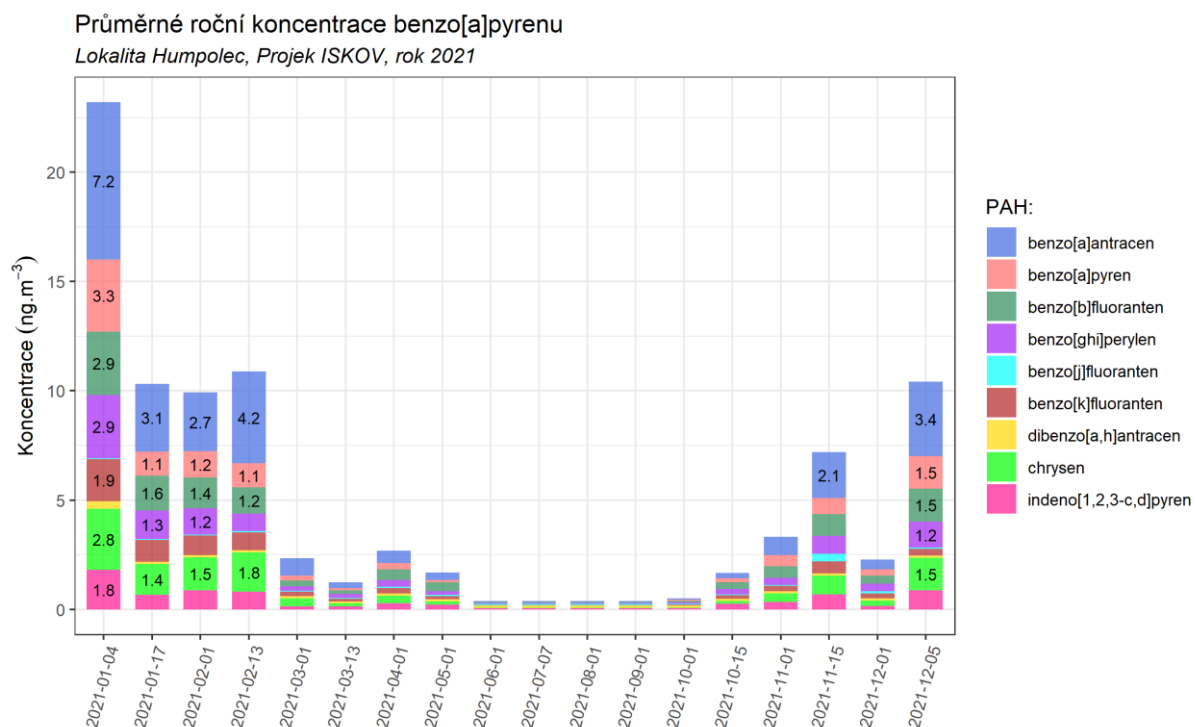
DATUM ODBĚRU OD	benzo(a)anthracen	benzo(a)pyren	benzo(b)fluoranten	benzo(ghi)perylene	benzo(j)fluoranten	benzo(k)fluoranten	dibenzo(ah)anthracen	chrysen	indeno(123-cd)pyren
04.01.2021	7,2	3,3	2,9	2,9	<0,10	1,9	0,36	2,8	1,8
17.01.2021	3,1	1,10	1,60	1,3	<0,10	1,00	<0,20	1,40	0,67
01.02.2021	2,7	1,2	1,4	1,2	<0,10	0,90	<0,20	1,5	0,88
13.02.2021	4,2	1,1	1,20	0,8	<0,10	0,83	<0,20	1,80	0,80
01.03.2021	0,8	0,2	0,3	0,2	<0,10	0,20	<0,20	0,37	0,13
13.03.2021	0,3	0,11	0,16	0,18	<0,10	0,11	<0,20	0,13	0,14
01.04.2021	0,58	0,28	0,49	0,31	<0,10	0,25	<0,20	0,35	0,28
01.05.2021	0,34	0,120	0,39	0,18	<0,10	0,150	<0,20	0,14	0,22
01.06.2021	<0,050	<0,030	<0,070	<0,10	<0,10	<0,030	<0,20	<0,070	<0,10
07.07.2021	<0,050	<0,030	<0,070	<0,10	<0,10	<0,030	<0,20	<0,070	<0,10
01.08.2021	<0,050	<0,030	<0,070	<0,10	<0,10	<0,030	<0,20	<0,070	<0,10
01.09.2021	<0,050	<0,030	<0,070	<0,10	<0,10	<0,030	<0,20	<0,070	<0,10
01.10.2021	0,06	0,04	0,07	<0,10	<0,10	0,03	<0,20	<0,070	<0,10
15.10.2021	0,25	0,18	0,30	0,25	<0,10	0,15	<0,20	0,13	0,26
01.11.2021	0,8	0,5	0,53	0,3	<0,10	0,24	<0,20	0,39	0,3
15.11.2021	2,1	0,75	1,00	0,81	0,35	0,54	<0,20	0,86	0,69
01.12.2021	0,46	0,28	0,36	0,35	0,11	0,21	<0,20	0,26	0,15

Tab. 14 – Měřené denní koncentrace PAH, lokalita Okříšky, projekt ISKOV, rok 2021

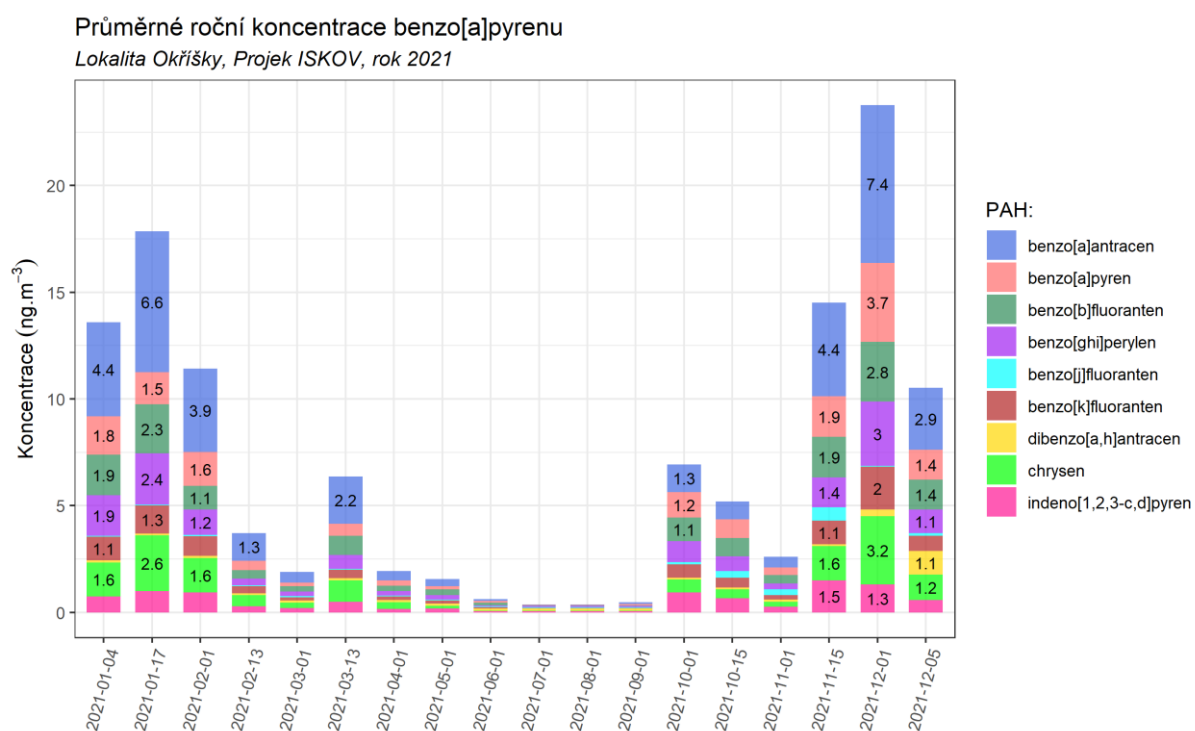
DATUM ODBĚRU OD	benzo(a)anthracen	benzo(a)pyren	benzo(b)fluoranten	benzo(ghi)perylene	benzo(j)fluoranten	benzo(k)fluoranten	dibenzo(ah)anthracen	chrysen	indeno(123-cd)pyren
04.01.2021	4,4	1,8	1,9	1,9	<0,10	1,10	<0,20	1,6	0,74
17.01.2021	6,6	1,5	2,3	2,4	<0,10	1,3	<0,20	2,6	1,0
01.02.2021	3,9	1,60	1,10	1,2	<0,10	0,93	<0,20	1,60	0,94
13.02.2021	1,30	0,44	0,39	0,3	<0,10	0,32	<0,20	0,52	0,28
01.03.2021	0,49	0,18	0,25	0,21	<0,10	0,16	<0,20	0,24	0,21
13.03.2021	2,2	0,6	0,9	0,6	<0,10	0,4	<0,20	1,0	0,50
01.04.2021	0,5	0,24	0,26	0,20	<0,10	0,17	<0,20	0,30	0,17
01.05.2021	0,34	0,15	0,27	0,20	<0,10	0,14	<0,20	0,12	0,19
01.06.2021	0,094	0,078	0,12	<0,10	<0,10	0,053	<0,20	<0,070	<0,10
01.07.2021	<0,050	<0,030	<0,070	<0,10	<0,10	<0,030	<0,20	<0,070	<0,10
01.08.2021	<0,050	<0,030	<0,070	<0,10	<0,10	<0,030	<0,20	<0,070	<0,10
01.09.2021	0,077	0,054	<0,070	<0,10	<0,10	<0,030	<0,20	<0,070	<0,10
01.10.2021	1,3	1,200	1,100	0,98	0,12	0,610	<0,20	0,6	0,93
15.10.2021	0,84	0,87	0,86	0,69	0,31	0,46	<0,20	0,41	0,66
01.11.2021	0,50	0,36	0,38	0,29	0,27	0,20	<0,20	0,23	0,27
15.11.2021	4,4	1,9	1,9	1,4	0,62	1,1	<0,20	1,6	1,50
01.12.2021	7,4	3,70	2,80	3,00	<0,10	2,00	0,32	3,20	1,30
05.12.2021	2,90	1,40	1,40	1,10	0,13	0,71	1,1	1,20	0,58

Z naměřených hodnot je patrné, že vyšší 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.

Z grafů je rovněž patrné, že maximální hodnota sumy PAH byla naměřena v lokalitě Humpolec dne 4. 1. 2021, v lokalitě Okříšky pak 1. 12. 2021. Koncentrace benzo[a]pyrenu dosáhly v tento den hodnoty 3,3 resp. 3,7 ng·m⁻³.



Obr. 118 – Měřené denní koncentrace PAH, lokalita Humpolec, projekt ISKOV, rok 2021



Obr. 119 – Měřené denní koncentrace PAH, lokalita Okříšky, projekt ISKOV, rok 2021

4 ZÁVĚRY

- V roce 2021 probíhalo sledování kvality ovzduší ve 4 obcích kraje Vysočina. Jednalo se o obce Humpolec, Náměšť nad Oslavou, Nové Město na Moravě a Okříšky.
- Ve všech lokalitách probíhalo kontinuální sledování kvality ovzduší z hlediska suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$, oxidů dusíku NO, NO_2 a NO_x , a přízemního ozónu O_3 . V lokalitách Humpolec a Okříšky dále probíhal odběr a následné laboratorní stanovení koncentrací polycyklických aromatických uhlovodíků.
- Průměrné roční koncentrace PM_{10} nepřekročily na žádné z lokalit imisní limit. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v lokalitě Okříšky, nejnižší v lokalitě Náměšť nad Oslavou.
- Z hlediska imisního limitu pro denní koncentraci PM_{10} rovněž nedošlo na žádné z lokalit k překročení imisního limitu. Legislativa povoluje pro denní průměry koncentrací PM_{10} maximálně 35x za kalendářní rok překročit hodnotu imisního limitu $50 \mu g \cdot m^{-3}$. Nejvyšší počet těchto překročení byl zaznamenán v lokalitě Humpolec, a to 9.
- Průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$ nepřekročily na žádné z lokalit imisní limit ($20 \mu g \cdot m^{-3}$). Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v lokalitě Nové Město na Moravě. Nejnižší koncentrace byly naměřeny v lokalitě Náměšť nad Oslavou.
- Průměrné roční koncentrace NO_2 nepřekročily na žádné z lokalit imisní limit. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v lokalitě Humpolec, kde se hodnota pohybovala zhruba na úrovni 1/4 imisního limitu. Nejnižší koncentrace byly měřeny v lokalitě Náměšť nad Oslavou.
- Hodinová koncentrace NO_2 rovněž nebyla na žádné z lokalit překročena, obdobně jako tomu je ve zbytku ČR.
- Nejvyšší 8hodinový klouzavý průměr koncentrací ozónu byl naměřen v lokalitě Humpolec. 26. nejvyšší hodnota pak byla nejvyšší v lokalitě Náměšť nad Oslavou. V žádné z lokalit nebyl imisní limit překročen.
- Koncentrace benzo[a]pyrenu byly sledovány pouze ve dvou lokalitách. V lokalitách Humpolec a Okříšky 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 obou lokalitách byl dodržen imisní limit pro průměrnou roční koncentraci benzo[a]pyrenu ($1 ng \cdot m^{-3}$). Vysoké koncentrace byly měřeny převážně v topné sezóně, nejvyšší pak začátkem ledna, resp. prosince.
- 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_{10} a $PM_{2,5}$, 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 a H. Škáchová, „Rok 2021 v Česku,“ INFOMET, 12 01 2022. [Online]. Available: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1641983653>.
- [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 analyzátoru Grimm,“ v *Ovzduší 2007*, Brno, 2007.
- [7] V. Michal, „O provozu vznětových motorů a aerosolech jimi produkováných v městských aglomeracích,“ v *Konference ČAS 2010. Sborník konference*, Praha, 2010.
- [8] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020, ISBN: ISBN 978-80-7653-023-2,“ ČHMÚ, 2021. [Online]. Available: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/Obsah_CZ.html.
- [9] USEPA, „Nitrogen Dioxide (NO2) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/no2-pollution>.
- [10] P. WARNECK, *Chemistry of the natural atmosphere*, San Diego: Academic Press: ISBN 0-12-735632-0, 2000.
- [11] European Commission, „Position paper on air quality: nitrogen dioxide,“ 1997.
- [12] WHO, „Air quality guidelines for Europe, Second Edition,“ *WHO Regional Publications, European Series*, sv. No. 91, 2000.
- [13] 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.
- [14] J. Fiala a D. Závodský, „Chemické aspekty znečištěného ovzduší – troposférický ozon,“ v *Kompendium ochrany kvality ovzduší*, Praha, 2003.
- [15] I. Colbeck a A. R. Mackenzie, „Air Pollution by photochemical oxidants,“ *Air Quality Monographs*, č. Elsevier. ISBN 0-444-88542-0, 1994.
- [16] EEA, „Air quality in Europe — 2016 report,“ 2016. [Online]. Available: https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016/at_download/file.
- [17] IARC, „List of classifications by alphabetical order. Agents Classified by the IARC Monographs,“ [Online]. Available: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf>.
- [18] 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.
- [19] Vyhláška č. 330/2012 Sb. o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích, Praha, 2012.
- [20] 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>.

- [21] T. Radim a kol., „Rok 2018 v Česku,“ ČHMÚ, [Online]. Available: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1547039890>.
- [22] M. VOJTÍŠEK, „O provozu vznětových motorů a aerosolech jimi produkovaných v městských aglomeracích,“ *Konference ČAS 2010. Sborník konference.*, č. ISBN: 978-80-86186-25-2, 2010.
- [23] 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.
- [24] 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. [Přístup získán 2019].
- [25] R. Tolasz, R. Črkal, H. Škáchová a L. Vlasáková, „Rok 2019 v Česku,“ ČHMÚ, 08 01 2020. [Online]. Available: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1578476196>.
- [26] R. Tolasz a et al, „Rok 2020 v Česku,“ ČHMÚ, 13 01 2021. [Online]. Available: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1610534207>.
- [27] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2019, ISBN: ISBN 978-80-7653-009-6,“ ČHMÚ, 2020. [Online]. Available: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/Obsah_CZ.html.

6 SEZNAM ZKRATEK POUŽITÝCH V DOKUMENTU

BaP, B(a)P	benzo[a]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 ₂	oxid dusičitý
NO _x	oxidy dusíku, součet NO a NO ₂ (v ppb)
O ₃	přízemní ozón
ORP	obec s rozšířenou působností
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky
PM _{2,5}	suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 2,5 µm
PM ₁₀	suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 10 µm
SSIM	státní síť imisního monitoringu
UTC	světový koordinovaný čas



**Hodnocení zdravotních rizik
„Projekt ISKOV, etapa 2021“**

Zadavatel:

Název firmy: Krajský úřad Kraje Vysočina
Sídlo firmy: Žižkova 57, 587 33 Jihlava, Česká republika
IČO: 70890749

Zpracovatel:

MUDr. Ivan Tomášek

držitel osvědčení o autorizaci k hodnocení zdravotních rizik podle zákona č. 258/2000 Sb.,
č. autorizované osoby 041/08

Osoba odborně způsobilá pro oblast posuzování vlivů na veřejné zdraví podle vyhlášky MZ ČR
č.353/2004 Sb. (Č.j. 15776-OVZ-32.1-29.3.13, pořadové číslo osvědčení 1/2013).

E-mail: Ivan.tomasek@zuova.cz

Telefon: (+420) 596 200 184

Ostrava, únor, 2021

OBSAH

Úvod a zadání	3
Metodický přístup k hodnocení.....	3
Popis území zařazeného do hodnocení.....	4
Identifikace a charakterizace nebezpečnosti	5
Aerosol (PM ₁₀ /PM _{2,5}).....	5
Oxid dusičitý (NO ₂)	9
Benzo(a)pyren	11
Hodnocení expozice a charakterizace rizika.....	12
Kvantifikovaný odhad nekarcinogenního zdravotního rizika z expozic aerosolu	15
Předčasná celková úmrtnost	17
Nemocnost.....	18
Porovnání nemocnosti a úmrtnosti v roce 2021 s dřívější etapou v letech 2012-2017	20
Kvantifikovaný odhad zdravotního rizika toxických účinků NO ₂	21
Kvantifikovaný odhad karcinogenního rizika z expozic benzo(a)pyrenu	22
Závěr	23
Nejistoty	25
Použité informační zdroje	26

Seznam Tabulek

Tabulka 1: Charakteristika sídel a měřících míst v projektu ISKOV, etapa 2021 (Kraj Vysočina, 2022)	4
Tabulka 2: Původní a nové doporučené hodnoty WHO	8
Tabulka 3: Expoziční koncentrace látek (průměrné roční a za pětileté období) a jejich porovnání s doporučenými hodnotami WHO a limitními hodnotami	13
Tabulka 4: Změna expoziční situace v roce 2021 (průměrné roční koncentrace) oproti expoziční situaci za pětileté období 2012-2017 (průměrné koncentrace za pětileté období)	14
Tabulka 5: Vztahy používané ke kvantifikaci úmrtnosti a nemocnosti ve vztahu k expozicím PM _{2,5} a PM ₁₀	15
Tabulka 6: Základní frekvence výskytu nemocnosti v populaci	16
Tabulka 7: Věková struktura obyvatelstva v kraji Vysočina (ČSÚ, 2021)	17
Tabulka 8: Předčasná úmrtnost v populaci ve vztahu k expozičním hodnotám PM _{2,5} v sídlech (za 1 rok, na 1000 osob)	17
Tabulka 9: Odhad ztráty let života (YLL) v dospělé populaci (nad 30 let věku) ve vztahu k expozičním hodnotám PM ₁₀ v sídlech (za 1 rok v dospělé populaci na 1000 osob)	18
Tabulka 10: Prevalence bronchitis v populaci dětí (6-12 let) ve vztahu k průměrným hodnotám PM ₁₀ v roce 2021 (za 1 rok na 1000 osob)	18
Tabulka 11: Incidence astmatických symptomů v populaci astmatických dětí (5-19 let) ve vztahu k průměrným hodnotám PM ₁₀ v roce 2021 (za 1 rok na 1000 osob)	19
Tabulka 12: Incidence chronické bronchitis v dospělé populaci (18 let a více) ve vztahu k expozičním hodnotám PM ₁₀ v roce 2021 (za 1 rok na 1000 osob)	19
Tabulka 13: Počet dnů s omezenou aktivitou v celé populaci ve vztahu k expozičním hodnotám PM _{2,5} v roce 2021 (za 1 rok na 1000 osob)	20
Tabulka 14: Počet případů hospitalizací z kardiovaskulárních a respiračních příčin v celé populaci ve vztahu k expozičním hodnotám PM _{2,5} v roce 2021 (za 1 rok na 1000 osob)	20
Tabulka 15: Změna indikátorů zdravotních rizik v roce 2021 oproti stavu v předchozím hodnocení za období 2012 - 2017	21
Tabulka 16: Kvantifikace karcinogenního rizika benzo(a)pyrenu v populaci v sídlech za 1 rok ve vztahu k expozičním hodnotám v roce 2021 (na 1000 obyvatel)	22

Úvod a zadání

Hodnocení zdravotních rizik je zpracováno pro projekt ISKOV. Předmětem této etapy je posouzení míry zdravotního rizika z expozic PM₁₀, PM_{2,5}, oxidu dusičitého (NO₂) benzo(a)pyrenu (BaP), pro obyvatelstvo 4 obcí kraje Vysočina (Okříšky, Nové Město na Moravě, Náměšť nad Oslavou, Humpolec) v roce 2021.

Metodický přístup k hodnocení

Posouzení vlivu na zdraví platí pro běžné podmínky a nevztahuje se na případy mimořádných událostí nebo havárií. Uplatněné postupy vychází z metodik, jež jsou v současné době používány pro tento typ posouzení. Pro kvantifikaci karcinogenního rizika (BaP) byla použita metodika Americké agentury pro ochranu životního prostředí (US EPA), která umožňuje stanovení zdravotního rizika ve vztahu k různým typům expozice. Kvantifikovaný odhad zdravotního rizika z expozic PM₁₀, PM_{2,5} byl proveden metodikou Světové zdravotnické organizace (WHO) s využitím vztahů ze Směrnice WHO pro vnější ovzduší, projektů HRAPIE (Health risks of air pollution in Europe) a ExternE Evropské komise. V případě NO₂ bylo provedeno prosté srovnání s doporučenou hodnotou WHO. Uvedené postupy posouzení jsou v souladu s odpovídající platnou českou legislativou.

Metoda posouzení vlivu na zdraví probíhá v následných krocích:

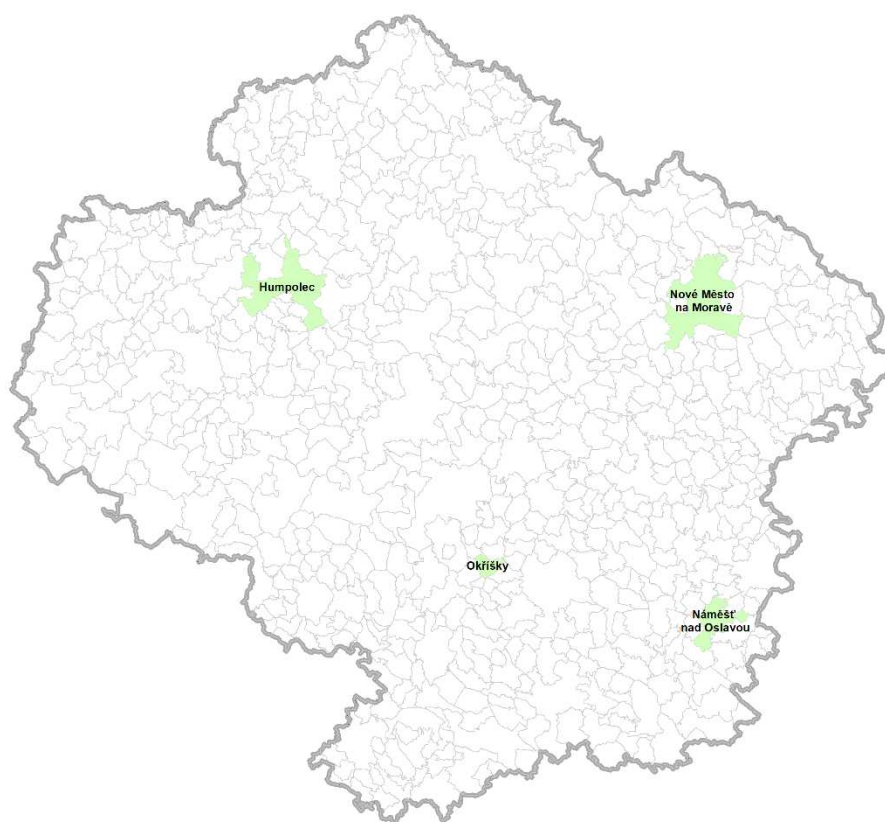
Identifikace a charakterizace nebezpečnosti – podstatou je stanovení nebezpečnosti látek na základě dostupných informací v literatuře a kvantifikace vztahu mezi dávkou a rozsahem škodlivého účinku. Cílem je získání základních parametrů pro charakterizaci rizika. V rámci charakterizace nebezpečnosti se zohledňují dva typy účinků - prahový (většinou pro nekarcinogenní látky – škodlivé účinky je možné očekávat až při překročení jisté expozice) a bezprahový (karcinogenní látky, aerosol – škodlivé účinky se mohou projevit při jakékoliv úrovni expozice). Smyslem této kapitoly je rovněž prezentovat odpovídající zdravotně zdůvodnitelné referenční hodnoty (tj. meze pro průměrnou celoživotní expozici, jejíž nepřekračování pravděpodobně nebude znamenat poškození zdraví lidí). Referenční hodnoty stanovené ve vztahu ke zdravotním účinkům nemusí být shodné s limitními hodnotami danými platnou legislativou (celospolečensky dohodnuté nejvyšší mezní koncentrace, jež zahrnují určitou úroveň rizika, která je však pro společnost akceptovatelná).

Hodnocení expozice a charakterizace rizika – posouzení intenzity, četnosti a trvání možné expozice (kontakt organismu s danou látkou). Toto posouzení spočívá především ve vytipování možných expozičních cest, velikosti a složení exponované populace (viz kapitola základní charakteristika příjemců rizik), expozičních scénářů a kvantifikaci expozice. Účelem charakterizace rizika je shrnout všechny dostupné údaje a informace získané v předchozích krocích hodnocení, které mohou přispět k posouzení míry a rozsahu rizika.

V ČR je metodika hodnocení zdravotních rizik předmětem autorizace dle zákona č. 258/2000 Sb. a odborné způsobilosti pro oblast posuzování vlivů na veřejné zdraví dle zákona č.100/2001 Sb., ve znění zákona č.93/2004 Sb., a vyhlášky MZ č. 353/2005.

Popis území zařazeného do hodnocení

V etapě projektu realizované v roce 2021 probíhalo měření ve 4 sídlech kraje Vysočina. Tato sídla jsou znázorněna na obr. č. 1 a jejich charakteristika je uvedena v tabulce 1.



Obrázek 1: Lokalizace sídel zařazených do projektu ISKOV etapy 2021

Tabulka 1: Charakteristika sídel a měřících míst v projektu ISKOV, etapa 2021 (Kraj Vysočina, 2022)

Lokalita	Počet obyvatel k 1.1.2017	Vliv dopravy	Plynořikovaná oblast	Lokální zdroje	Výraznější zdroj další	Zaměření sledované lokality
Okříšky	2058	ANO	ANO	ANO	NE	LT
Nové Město na Moravě	10110	minimálně	ANO	ANO	NE	LT
Náměšť nad Oslavou	4871	ANO	ANO	ANO	NE	LT/PZ
Humpolec	10850	ANO	ANO	ANO	NE	D/PZ

LT – lokální topeniště, PZ – průmyslové zdroje, D – doprava

Informace o charakterizaci sídel byla převzata z Informačního systému kvality ovzduší v kraji Vysočina (Kraj Vysočina, 2022). Ve většině těchto sídel se uvádí lokální zdroje, plynořikace, neexistence dalších výraznějších zdrojů znečištění a vliv dopravy (pouze v Novém Městě na Moravě je vliv dopravy uváděn jako minimální). Podle zaměření reprezentuje Humpolec lokalitu s dopravní zátěží, Náměšť nad Oslavou průmyslovou lokalitu a Okříšky a Nové Město na Moravě lokalitu s převažujícím vlivem lokálních zdrojů. Podle počtu obyvatel je ze zařazených sídel největší Humpolec (10850 obyvatel) a

Nové Město na Moravě (10110 obyvatel). Mezi menší sídla patří Náměšť nad Oslavou (4871 obyvatel) a zejména Okříšky (2058 obyvatel).

Identifikace a charakterizace nebezpečnosti

Aerosol ($PM_{10}/PM_{2,5}$)

Původcem aerosolu v ovzduší jsou přírodní i antropogenní zdroje (spalovací procesy, průmyslová výroba, doprava). Aerosol je do ovzduší emitován buď přímo (primární aerosol) nebo přeměnou plynných prekursorů (sekundární aerosol). Toxicita aerosolu je dána řadou faktorů, např. chemickým složením, velikostí a původem aj. Součástí aerosolu mohou být i různé další látky (např. těžké kovy, síra, karbon, minerální látky, organické látky, ale také pyl, bakterie, spory plísní aj.). Větší částice (např. ze spalování, eroze půdy, cest, abraze pneumatik a brzdových destiček automobilů aj.) o aerodynamickém $>10\ \mu\text{m}$ sedimentují relativně rychle (minuty-hodiny) a jsou přenášeny na vzdálenosti v řádu kilometrů. Jemné částice o aerodynamickém průměru menší než $2,5\ \mu\text{m}$, na jejichž vzniku se podílí také jiné plynné prekursory (NO , SO_2 , VOC amoniak aj.), perzistují v atmosféře dlouho (dny – týdny) a mohou být přenášeny na vzdálenosti v řádu tisíců kilometrů.

SZÚ (SZÚ, 2020) uvádí pro rok 2020 následující hodnoty středních ročních hmotnostních koncentrací $PM_{10}/PM_{2,5}$ pro:

- přírodní pozadí v ČR $11,4/8,6\ \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- pozadí ve městech (bez dopravy a průmyslu) $16,6/11,9\ \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- venkovské oblasti s vlivem zemědělské činnosti (bez dopravy a průmyslu) $15,8/12,8\ \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- venkovské oblasti – obytné zóny s nízkým až středním vlivem dopravy $17,3 - 22,9/12,4\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Z hlediska možných zdravotních účinků částic je významná jejich velikost, složení a doba expozice. Částice s aerodynamickým průměrem větším než $10\ \mu\text{m}$ nepronikají hluboko do dýchacích cest a většinou jsou odstraněny z dýchacího traktu, než mohou způsobit závažnější zdravotní projevy. Částice s průměrem menším než $10\ \mu\text{m}$ pronikají do horních cest dýchacích a plic (PM_{10}). Do plicních sklípků pronikají částice s průměrem menším než $2,5\ \mu\text{m}$.

PM je vlastně směs, jejíž složení hraje významnou úlohu ve vztahu k účinkům na zdraví. Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (IARC) zařadila znečištěné venkovní ovzduší a jeho komponentu PM do skupiny látek karcinogenních pro člověka (skupina 1) pro kritický účinek karcinomu plic ve vztahu k dlouhodobé expozici PM (IARC, 2013). Také byla zjištěna souvislost mezi znečištěním venkovního ovzduší a nárůstem rakoviny močového traktu/močového měchýře. Za karcinogenní účinek by mohly být odpovědné látky, které jsou součástí směsi PM-například polyaromatické uhlovodíky (PAU).

Krátkodobé i dlouhodobé expozice $PM_{2,5}$ vedou ke zvýšení úmrtnosti a nemocnosti na choroby kardiovaskulárního systému. S pokračujícím výzkumem však narůstá poznání dalších možných účinků na zdraví (vrozené vady, Alzheimerova nemoc a neurologická postižení, poruchy kognitivních funkcí u dětí, vliv na reprodukci, vznik diabetu u dospělé populace aj.), (WHO, 2013; US EPA, 2018; Rückerl et al., 2011).

Člověk může být exponován PM krátkodobě, v řádu hodin až dnů nebo dlouhodobě, po dobu jednoho roku nebo celého života. Závěry ukazují, že krátkodobé expozice vyvolávají rychlý nástup akutních účinků v řádu hodin a dnů následujících po expozici (zvýšený výskyt zánětlivých onemocnění plic, zvýšený výskyt příznaků onemocnění dýchacího systému-kašel, bronchitida, nepříznivý účinek na kardiovaskulární systém, zvýšené užívání léků u astmatiků, vzestup hospitalizace v důsledku zhoršení stávajících chronických onemocnění kardiovaskulárního a respiračního traktu, vzestup úmrtnosti). Dlouhodobé expozice se nepovažují jen za sumu krátkodobých expozic. Jejich účinky jsou rozsáhlejší a závažnější (vzestup onemocnění dolních cest dýchacích u dětí i dospělých, snížení plicních funkcí u dětí i dospělých, vzestup chronického obstrukčního bronchopulmonálního onemocnění, snížení očekávané délky života hlavně v důsledku kardiovaskulární úmrtnosti, úmrtnosti na onemocnění dýchacího systému a pravděpodobně i na zhoubné nádory plic), (WHO, 2013). Rovněž opakované expozice mohou vést k závažnějším zdravotním účinkům než jednorázové expozice.

Dělení účinků podle délky expozice je však ve skutečnosti jen čistě teoretickou záležitostí. Oba typy expozic totiž působí současně a účinky se vzájemně doplňují. Dlouhodobé expozice senzitivizují populaci ve vztahu ke krátkodobým účinkům, které se pak mohou následně projevit vznikem závažných klinických stavů (infarkt, mozková mrtvice, oběhové selhání, arytmie aj.). Příhodnější se proto zdá označení „akutně chronické účinky“ ve vztahu ke všem typům expozic PM (Brook et al., 2010).

Hlavním biologickým mechanismem působení jemných částic je vyvolání oxidačního stresu prostřednictvím vzniku reaktivních kyslíkových radikálů (Brook et al., 2010). Kyslíkové radikály odpovídají nebo se spolupodílí na vzniku pestré multiorgánové patologie (např. zánětlivé změny v plicích, systémový zánět, poškození cévních stěn, arterioskleróza, diabetes a neurodegenerativní onemocnění). Dalším z mechanismů je narušení rovnováhy autonomního nervového systému (sympatikus/parasympatikus), které se může projevit zvýšením krevního tlaku, poruchami srdečního rytmu a vazokonstrikcí (zúžením cév). Uvádí se i působení samotných částic PM (nanočástice) a jejich složek (organické látky, kovy) na komponenty krve a cévní stěny, např. prokoagulační a trombogenní změny. Uvedené mechanismy působí většinou v komplexu (WHO, 2015).

Poslední poznatky dávají do souvislosti expozici PM_{2,5} ve vztahu ke vzniku celé řady patologických stavů kardiovaskulárního systému jako je srdeční selhání (chorobný stav, při kterém je narušena čerpací funkce srdce), ischemická cévní mozková příhoda (způsobená ucpáním tepny krevní sraženinou), případně i dalších subklinických stavů se závažnými důsledky (např. vznik trombózy a poruch koagulace, zvýšení krevního tlaku, poškození cévní stěny, rozvoj arteriosklerózy, variabilita srdečního rytmu aj.). Poškození (fisura, ruptura) koronárního aterosklerotického plátu v koronárních artériích vede k výrazné protrombotické aktivitě, při které se uvolňuje řada faktorů, které podporují vznik trombu, nasedajícího po postiženou aterosklerotickou lézi. Tím dochází k částečné nebo úplné obstrukci postižené tepny s následnou ischemií myokardu v jejím povodí; není-li krevní průtok dostatečně rychle obnoven, začnou ischemické kardiomyocyty odumírat a vzniká srdeční infarkt (Ošťádal, 2012).

Pro působení částic PM₁₀ je charakteristická přítomnost jak jemných částic frakce do 2,5 μm, tak i hrubší frakce 2,5-10 μm. Poslední poznatky spojují zejména krátkodobé expozice částicím hrubé frakce PM_{2,5-10} s účinky na dýchací a kardiovaskulární systém a s předčasnou úmrtností a dlouhodobé účinky této frakce s respirační nemocností a úmrtností. Účinky pro tuto frakci jsou pozorovány nezávisle na účincích PM_{2,5}, vzhledem k různým místům působení těchto částic v dýchacím systému a tím i různým

biologickým mechanismům jejich účinku. Kvantifikace tohoto rizika prozatím není dostatečně propracována, vzhledem k absenci příslušných zdravotně zdůvodnitelných referenčních hodnot.

Hrubší částice vyvolávají dráždění sliznice dýchacích cest. Toto dráždění se může projevit změnou struktury i funkce řasinkové tkáně, zvýšenou produkcí hlenu a sníženou samočisticí schopností dýchacího ústrojí. Tyto změny oslabují přirozené obranné mechanismy, usnadňují vznik infekce. Recidivující akutní zánětlivá onemocnění mohou vést ke vzniku chronického zánětu průdušek a chronické obstrukční nemoci plic s následným přetížením pravé srdeční komory a oběhovým selháváním. Chronický zánět může také vést ke karcinogenezi.

Rozvoj patologie je však individuální a ovlivňuje jej řada faktorů. Všeobecně WHO odhaduje, že znečištění životního prostředí (včetně znečištění ovzduší PM) může mít zhruba 20 % vliv na zdraví. Dalšími determinantami jsou genetické faktory (10 - 15 %), úroveň zdravotnictví (10 - 15 %) a způsob života (50 %). Mezi rizikové skupiny se řadí především lidé s existujícím plicním a srdečním onemocněním, lidé s diabetem, starší lidé a děti. Děti představují rizikovou skupinu vzhledem k větší citlivosti na inhalované znečišťující látky v důsledku vývoje plicní tkáně, imunitního systému a vyšší pohybové aktivity. Děti s existujícím onemocněním plic (především astmatem) jsou ve větším riziku než děti bez tohoto onemocnění (WHO, 2005). Naopak nebylo potvrzeno, že by expozice PM₁₀ způsobovala vznik nových případů astmatu.

Současná znalost účinků PM na zdraví vychází z epidemiologických studií a jejich metaanalýz. Studie časových řad, které se zabývají účinky krátkodobých expozic, jsou realizovány ve velkých městech na rozsáhlých populačních souborech. Chybí informace o venkovských oblastech. Obvykle nezohledňují ani variabilitu PM mezi městy. Kohortové studie se zaměřují na zkoumání dlouhodobých účinků PM ve vztahu ke zdraví. Zkoumá se zdravotní stav určité kohorty a měření škodlivin v ovzduší v místě výskytu kohorty. Tyto studie nejsou reprezentativní pro celou populaci a jsou zatíženy nedostatečnou znalostí expozice v rámci geografického území. V mnoha především starších studiích účinků chronických expozic není ani dostatečně zohledňován možný akutní účinek a nelze tudíž věrohodně stanovit, zdali se nejedná o kumulativní účinek akutních expozic (Shi et al., 2016).

Velké národní a nadnárodní společnosti vydávají Směrnice a stanoviska ke znečištění ovzduší a PM, která slouží jako zdroj relevantních informací a zdravotně zdůvodnitelných referenčních hodnot. US EPA publikovala v roce 2018 Integrované vědecké hodnocení (ISA) pro PM (US EPA, 2018). K ochraně lidského zdraví US EPA stanovila primární standardy pro PM_{2,5} v případě ročních průměrných koncentrací 12 µg/m³ a v případě denních koncentrací 35 µg/m³ (US EPA, 2016).

WHO od roku 1987 vydává Směrnici pro kvalitu ovzduší. Pravidelně ji v časových intervalech aktualizuje, aby odpovídala současnému stavu poznání. Jedná se o soubor doporučených limitních hodnot založený na vědeckých důkazech (tzv. evidence-based) pro konkrétní látky znečišťující ovzduší, jejichž cílem je pomoci zemím dosáhnout takové kvality ovzduší, která by poskytla odpovídající ochranu veřejného zdraví. Nová aktualizace Směrnice byla vydána v roce 2021. Nahradila původní Směrnici z roku 2005 (WHO, 2005). Její součástí jsou aktualizované doporučené hodnoty pro PM_{2,5}, PM₁₀, ozón, oxid dusičitý, oxid siřičitý. Tato směrnice vstoupila v platnost k datu jejího vydání, tj. září 2021. Doporučené hodnoty uvedené v nové Směrnici z roku 2021 i dřívější směrnici z roku 2005 (dnes již neplatné) jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Původní a nové doporučené hodnoty WHO

Látka	Doba průměrování	GV WHO 2005 (WHO, 2005)	GV WHO 2021 (WHO, 2021)
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM_{2,5}	roční	10	5
	24 hod	25	15
PM₁₀	roční	20	15
	24 hod	50	45
NO₂	roční	40	10
	24 hod	-	25
	1 hod	200	-

Tato aktualizace vychází z odborných závěrů studií publikovaných po roce 2005 s vysokou případně střední mírou jistoty vztahu mezi expozicí znečišťující látkou a vyvoláním konkrétního zdravotního účinku. Pro dlouhodobé účinky PM_{2,5}/PM₁₀ WHO vychází z metaanalýzy studií úmrtnosti (Chen & Hoek, 2020), která spojuje zvýšení:

- koncentrace PM_{2,5} na každých 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se vzestupem úmrtnosti v exponované populaci o 8 % (95 % CI: 6 – 9 %)
- koncentrace PM₁₀ na každých 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se vzestupem:
celkové úmrtnosti o 4 % (95 % CI: 3 - 6 %),
kardiovaskulární úmrtnosti o 6 % (95 % CI: 1 – 10 %),
respirační úmrtnosti o 12 % (95 % CI: 6 – 19 %)
úmrtnosti na karcinom plic o 8 % (95 % CI: 4 – 13 %).

Tato metanalýza také uvádí lineární vztah pro CR funkci (vztah mezi koncentrací a účinkem) s náznakem supralinearity, tj. strmějšího nárůstu rizika při nižších úrovních expozice.

Ani doporučené hodnoty WHO však nepředstavují bezpečnou mez z hlediska vlivu na zdraví a zahrnují jistou míru rizika, jež je považována za všeobecně akceptovatelnou. U bezprahově působících látek, mezi něž se řadí i PM, lze předpokládat účinek již při nízkých koncentracích blízko nule.

Direktiva kvality ovzduší (Direktiva 2008/50/EC) Evropské unie stanovuje závazné limity PM₁₀ pro ochranu zdraví (denní mezní hodnota 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - může být překročena 35x za rok; roční mezní hodnota 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a cílovou hodnotu pro PM_{2,5} (roční mezní hodnota 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

V české národní legislativě je imisní limit pro PM₁₀ uveden v zákonu č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší a souvisejících předpisech. Imisní limit lze v tomto případě považovat za mez přijatelného rizika, nikoliv za bezpečný práh. Imisní limit pro krátkodobé (24 hod) koncentrace PM₁₀ je 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (aritmetický průměr). Jeho hodnota nesmí být překročena více než 35krát za kalendářní rok. Imisní limit pro dlouhodobé (roční) koncentrace PM₁₀ je 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (aritmetický průměr). Imisní limit pro dlouhodobé (roční) koncentrace PM_{2,5} je 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (aritmetický průměr) za kalendářní rok.

Oxid dusičitý (NO₂)

Hlavním zdrojem antropogenních emisí oxidů dusíku do ovzduší je spalování fosilních paliv ve stacionárních emisních zdrojích (při vytápění a v elektrárnách) a v motorových vozidlech (ve spalovacích motorech). Ve většině případů je do ovzduší emitován oxid dusnatý (NO), který se rychle přeměňuje na oxid dusičitý (NO₂), jež se chová jako prekurzor celé řady sekundárních částic a reakčních produktů jako je ozón. NO₂ je považován za účinný indikátor směsi škodlivých látek z dopravy v ovzduší.

SZÚ (SZÚ, 2020) uvádí pro rok 2020 následující hodnoty středních ročních hmotnostních koncentrací NO₂ pro:

- přírodní pozadí v ČR 4,4 µg/m³,
- pozadí ve městech (bez dopravy a průmyslu) 13,2 µg/m³,
- venkovské oblasti s vlivem zemědělské činnosti (bez dopravy a průmyslu) 9,3 µg/m³,
- venkovské oblasti – obytné zóny s nízkým až středním vlivem dopravy 12,9 µg/m³.

Jedinou relevantní cestou expozice u člověka je inhalace. NO₂ je vysoce reaktivní plyn, který se v dolních cestách dýchacích rozkládá na NO, HNO₃ a HNO₂ s toxickým účinkem na malé alveolární buňky v plicích a řasinkových buněk dýchacích cest. Působením dochází ke vzniku volných radikálů v terminálních bronchiolách, jež způsobují oxidaci proteinů a peroxidaci lipidů a následně vedou k poškození buněčné membrány. NO₂ také poškozuje makrofágy a tímto i imunitu, čímž narušuje obranný mechanismus proti vzniku infekcí.

Zdravotní rizika vyplývají buď z působení NO₂ samého nebo z působení jeho reakčních produktů (ozónu a sekundárních částic). Současný stav znalostí expozic NO₂ a jejich důsledků na úmrtnost a nemocnost je limitován skutečnostmi, že část pozorovaných účinků NO₂ může jít na vrub působení ostatních polutantů – PM a ozónu, se kterými se NO₂ vyskytuje v komplexu. Například. metaanalýza Faustini et al. (2014) zjistila podobné účinky PM_{2,5} i NO₂ ve vztahu k celkové úmrtnosti. Autoři dospěli k závěru, že účinek dlouhodobých expozic NO₂ by mohl být ve vztahu k úmrtnosti přinejmenším stejně významný jako účinek PM_{2,5}.

Účinek NO₂ závisí na inhalované koncentraci, trvání expozice a době, jež uplynula od expozice. Všeobecně se uvádí, že expozice pod 1800 µg/m³ nevyvolávají účinky u zdravých osob (Bylin 1985, Folinsbee, 1978). US EPA však nově uvádí, že krátkodobé expozice NO₂ v délce trvání 30 min – 24 hod mohou působit dráždivě a vyvolávat zánět dýchacích cest i u zdravých osob (US EPA, 2011).

Děti, astmatici a pacienti s chronickou obstrukční plicní chorobou se řadí mezi rizikové skupiny, u nichž mohou vznikat zdravotní projevy již po působení menších dávek NO₂ ve venkovním prostředí než u zdravých osob. Při hodnotách 180 µg/m³ dochází u astmatiků ke zvýšení reaktivnosti dýchacích cest, jež následně vede ke zúžení dýchacích cest a zrychlení dechu v důsledku inhalace jiných dráždivých látek. Pro vyvolání podobných stavů u zdravých osob by bylo zapotřebí desetkrát vyšších koncentrací (Folinsbee, 1992).

Dlouhodobé expozice NO₂ mohou vést ke snížení dýchacích funkcí u dětí a dospělých (u pacientů s chronickým obstrukčním plicním onemocněním – CHOBPN - při koncentraci 540 µg/m³),

predisponovat exponované jedince ke vzniku chronických onemocnění dýchacích cest (chronická bronchitis), plic (CHOBPN) a infekcí.

NO₂ může sloužit jako marker dalších znečišťujících látek ve vztahu k dopravě, např. těkavých organických sloučenin, aldehydů apod. EPA našla naznačující důkazy nikoliv však příčinné souvislosti mezi krátkodobými koncentracemi NO₂ v ovzduší a celkovou úmrtností (US EPA, 2015).

Jak ukázal projekt REVIHAAP, krátkodobé expozice NO₂ se však mohou i přímo podílet na vzniku některých projevů onemocnění dýchacího systému (WHO, 2013). US EPA se přiklání k závěru, že současné důkazy ukazují na příčinný vztah mezi krátkodobými koncentracemi NO₂ a jejich účinkem na dýchací systém (US EPA, 2015).

Pozitivní vztah je rovněž zaznamenán mezi krátkodobými expozicemi NO₂ a počtem hospitalizací a návštěv pohotovosti z kardiovaskulárních a kardiálních příčin (COMEAP, 2015). US EPA ve svém přezkumu našla naznačující důkazy i o vztahu k dalším kardiovaskulárním diagnózám, které však prozatím neoznačuje jako příčinné (US EPA, 2015).

Studie rovněž ukazují na statisticky významný vztah mezi krátkodobými koncentracemi NO₂ ve volném ovzduší a celkovou i specifickou úmrtností (COMEAP, 2015). Tato asociace přetrvává i po adjustaci na účinky PM₁₀ a v některých studiích i PM_{2,5} a černý kouř. REVIHAAP však nedošel v tomto směru k jednoznačným závěrům, vzhledem k tomu, že se doposud nevyloučilo, zda se nejedná spíše o vliv ultrajemných částic (WHO, 2013).

V případě dlouhodobých expozic studie ukazují na jejich vztah k celkové úmrtnosti, úmrtnosti, na kardiovaskulární onemocnění, snížení plicních funkcí a výskytu příznaků onemocnění dýchacího systému u dětí. Stále však existují nejasnosti ohledně příčinné souvislosti, vzhledem k silné korelaci s jinými znečišťujícími látkami (COMEAP, 2015). Projekt REVIHAAP vychází ze známých účinků krátkodobých koncentrací na úmrtnost a nemocnost a dochází k závěru, že i u dlouhodobých koncentrací NO₂ je naznačen kauzální vztah k úmrtnosti (WHO, 2013). US EPA se přiklání k názoru, že kauzální vztah mezi dlouhodobou expozicí NO₂ a účinky na dýchací systém je pravděpodobný, v případě kardiovaskulárních účinků a celkové úmrtnosti se však v současnosti spíše jedná o pouhé náznaky (US EPA, 2015).

Evropské studie ESCAPE prokázaly statisticky významný vztah mezi dlouhodobou expozicí NO₂ a změnami plicních funkcí u dětí, výskytem infekcí dýchacích cest v raném dětství i vlivy na plicní funkce u dospělých osob (ESCAPE, 2014).

Metaanalýza Huangfu & Atkinsona (2020), ze které vycházela WHO pro aktualizaci příslušné části své Směrnice, uvádí na každých 10 µg/m³ NO₂ vzestup:

- celkové úmrtnosti o 2 % (95 % CI: 1 – 4 %) (střední váha důkazů),
- úmrtnosti na CHOPN o 3 % (95 % CI: 1 – 4 %) (vysoká váha důkazů)
- úmrtnosti na infekce dýchacího systému (respirační infekce) o 3 % (95 % CI: 1 – 5 %) (střední váha důkazů),
- úmrtnost na akutní infekce dolních cest dýchacích o 6 % (95 % CI: 2 – 10 %) (střední váha důkazů).

Autoři rovněž uvádí možný supralineární vztah, tj. strmější nárůst rizika při nižších úrovních expozice NO₂.

Aktualizovaná Směrnice kvality vnějšího ovzduší WHO uvádí doporučenou hodnotu pro krátkodobé (24 - hodinové) koncentrace NO₂ 25 µg/m³ a pro dlouhodobé (průměrné roční) koncentrace NO₂ 10 µg/m³ ve vnějším ovzduší (WHO, 2021). Jak ukazuje tabulka 2, v případě doporučené hodnoty pro dlouhodobou koncentraci NO₂ se jedná o čtyřnásobné snížení oproti předchozí hodnotě ve Směrnici z roku 2005 (40 µg/m³)! Důvodem pro toto snížení jsou novější poznatky o působení NO₂ na zdraví při nízkých koncentracích i vyloučení studií hodnotících vliv NO₂ na zdraví ve vnitřním prostředí, které byly v předchozích verzích směrnice zařazeny do souboru podkladů, ze kterých vycházelo odvození doporučené hodnoty.

V české národní legislativě jsou imisní limity pro NO₂ v souladu s doporučeními WHO a jsou uvedeny v zákonu č. 201/2012 Sb., kterým se stanoví imisní limity a podmínky a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší (krátkodobý imisní limit (1 - hodinový) 200 µg/m³ - hodnota nesmí být překročena více než 18krát za kalendářní rok a dlouhodobý imisní limit (průměrný roční) 40 µg/m³).

Benzo(a)pyren

Benzo(a)pyren (BaP) je nejvýznamnějším představitelem polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU), rozsáhlé skupiny organických sloučenin, které jsou málo rozpustné ve vodě a vysoce rozpustné v tucích. PAU vznikají při pyrolytických procesech, zejména při nedokonalém spalování organického materiálu jak v průmyslu, tak v domácnostech (nedokonalé spalování uhlí a ropy, plynu, odpadů, motorová doprava, vaření a kouření tabáku). Dominantními zdroji PAU, zvláště BaP jsou koksovy. Z ostatních zdrojů jsou rovněž významné ocelárny, hliníkárný, doprava a lokální topeniště (WHO, 1998). Většina PAU adsorbuje v ovzduší na prachové částice. V ovzduší reagují PAU s ozónem, oxidy dusíku a oxidem siřičitým za vzniku nitro-PAU a dinitro-PAU. Hlavním zdrojem PAU pro expozici člověka je potrava. Část kontaminace pochází z atmosférické depozice PAU na obilí, ovoce a zeleninu.

Nejvýznamnější z polycyklických aromatických uhlovodíků je BaP. WHO udává, že průměrná koncentrace BaP v ovzduší ve velkých evropských městech se pohybuje v rozmezí 1-10 ng/m³, ve venkovských oblastech je menší než 1 ng/m³ (WHO, 2000). Novější evropské údaje ukazují, že na většině území západní Evropy se průměrné roční koncentrace BaP pohybují pod limitní hodnotou EU (1 ng/m³). Nadlimitní koncentrace jsou všude tam, kde se v převážné míře využívají tuhá paliva k vytápění v domácích topeništích, v místech s hutním a koksárenským průmyslem a místech s dopravní zátěží. Uvedený stav je běžný v centrální a východní Evropě.

SZÚ (SZÚ, 2020) uvádí pro rok 2020 následující hodnoty středních ročních hmotnostních koncentrací BaP pro:

- přírodní pozadí v ČR 0,26 ng/m³,
- pozadí ve městech (bez dopravy a průmyslu) 0,49 ng/m³,
- venkovské oblasti s vlivem zemědělské činnosti (bez dopravy a průmyslu) 0,76 ng/m³,
- venkovské oblasti – obytné zóny s nízkým až středním vlivem dopravy 2,59 ng/m³.

Nejběžnější cesta vstupu BaP do lidského organismu je přes respirační trakt. Z experimentů na zvířatech byla prokázána řada nepříznivých účinků expozic polycyklických aromatických uhlovodíků, např. imunotoxicita, genotoxicita, karcinogenita a reprodukční toxicita. Epidemiologické studie u pracovníků koksoven, výroben svítiplynu a hliníkáren prokázaly vliv inhalační expozice PAU (včetně BaP) na vznik rakoviny plic. BaP byl klasifikován jako prokázaný lidský karcinogen (IARC – skupina 1), (IARC, 2010). Hodnocení je založeno na řadě pádných důkazů z experimentů u mnoha živočišných druhů, potvrzujících karcinogenitu a podporovaných i konzistentními a koherentními mechanistickými důkazy z experimentálních a humánních studií, které jsou dostatečně biologicky věrohodné, aby bylo možné považovat BaP za látku karcinogenní pro člověka (IARC, 2010).

BaP jako karcinogen nemá stanovenou žádnou bezpečnou úroveň expozice. WHO uvádí na základě výsledků epidemiologických studií u pracovníků koksoven jednotku karcinogenního rizika (UCR) v hodnotě $8,7 \times 10^{-5}$ vztaženou k celoživotní expozici 1 ng/m^3 (WHO, 2000). Celoživotní riziko karcinogenních účinků na úrovni 1 případu na 1 milion osob (tj. matematicky vyjádřeno 1×10^{-6}), představující všeobecně přijatelné riziko, odpovídá koncentraci $0,012 \text{ ng/m}^3$. Analogicky riziko karcinogenních účinků na úrovni 1×10^{-4} a 1×10^{-5} odpovídá koncentraci BaP $1,2 \text{ ng/m}^3$, respektive $0,12 \text{ ng/m}^3$. V platné legislativě ČR (zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší) i EU je jako imisní limit stanovena hodnota 1 ng/m^3 . Imisní limit však lze považovat pouze za mez přijatelného rizika nikoliv za bezpečný práh.

Hodnocení expozice a charakterizace rizika

Podkladem k hodnocení expozice a charakterizace zdravotního rizika v roce 2021 jsou průměrné roční imisní koncentrace:

- $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2,5}$ - vypočtené na základě celoročního měření ve čtyřech sídlech (Envitech, 2021)
- PAU, vypočtené pro 2 sídla – Okříšky a Humpolec - na základě 18 rovnoměrně rozložených měření v roce (Envitech, 2021).

Stanovení průměrné roční koncentrace na základě kampaňovitého měření rovnoměrně rozloženého v roce česká legislativa v platném znění sice připouští, avšak z hlediska vlivu na zdraví lze takto získanou hodnotu považovat jen za orientační, protože zcela neodráží variabilitu výskytu znečišťujících látek v ovzduší v průběhu roku.

Naměřené koncentrace látek v roce 2021 i za období 2012-2017, odpovídající doporučené hodnoty WHO a limitní hodnoty dle české legislativy v platném znění jsou uvedeny v tabulce 3. Podrobnější informace k imisnímu měření a těmto hodnotám jsou uvedeny v příslušné zprávě k měření. GV WHO představuje mez, jejíž dodržení znamená všeobecně přijatelné riziko. Překročení této meze je spojeno se zvýšením zdravotního rizika. Limitní hodnota (LH) představuje mez, jejíž dodržení je spojeno s celospolečensky přijatelnou úrovní rizika, tj. určitou mírou rizika, která je ještě společností tolerována. Překročení LH ČR znamená, že riziko se stává pro dotčenou populaci celospolečensky nepřijatelné.

Tabulka 3: Expoziční koncentrace látek (průměrné roční a za pětileté období) a jejich porovnání s doporučenými hodnotami WHO a limitními hodnotami

	2021				2012-2017			
	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	BaP	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	BaP
	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[ng/m ³]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[ng/m ³]
GV WHO	10	15	5	*				
LH	40	40	20	1				
Okříšky	10,7	20,5	14,4	0,9	11,4	23,2	19	0,7
Nové Město na Moravě	10,9	18,6	15,1		13,5	20,6	16,7	
Náměšť nad Oslavou	8,1	17,1	12,3		17,9	22,6	17,8	
Humpolec	11,2	19,3	13,8	0,6	14	18,2	15,4	1,1

překročení příslušné referenční hodnoty ve vztahu ke zdraví (GV WHO) nejsou data

tučně červeně – překročení limitní hodnoty dle české legislativy v platném znění

LH – Limitní hodnota (Zákon č. 201/2012 Sb.)

GV WHO – doporučená hodnota WHO (WHO, 2021)

* - GV WHO nestanovena, všeobecně přijatelná úroveň karcinogenního rizika (LICR 1x10⁻⁶) odpovídá průměrné roční koncentraci 0,012 ng/m³ (WHO, 2000)

Z tabulky 3 je patrné, že průměrná koncentrace PM₁₀ v roce 2021 překročila ve všech sídlech doporučenou hodnotu WHO, stanovenou k ochraně zdraví (GV_{PM10} = 15 µg/m³). Zdravotní riziko z expozic PM₁₀ v roce 2021 lze tedy ve všech sídlech považovat za zvýšené. V žádném sídle nebyla překročena limitní hodnota PM₁₀ podle současné české legislativy v platném znění (LH_{PM10}=40 µg/m³). Ve všech 4 sídlech je proto možné riziko považovat za celospolečensky přijatelné.

Průměrná koncentrace PM_{2,5} v roce 2021 překročila ve všech čtyřech sídlech doporučenou hodnotu WHO (GV_{PM2,5} = 5 µg/m³). Zdravotní riziko lze tedy považovat v těchto sídlech za zvýšené. V žádném sídle nebyla překročena limitní hodnota PM_{2,5} podle současné české legislativy v platném znění (LH_{PM2,5}=20 µg/m³). Toto riziko je proto možné zároveň považovat za celospolečensky přijatelné.

Průměrná roční koncentrace NO₂ překročila ve třech sídlech (Okříšky, Nové Město na Moravě a Humpolec) doporučenou hodnotu WHO (GV_{NO2} = 10 µg/m³). Zdravotní riziko v těchto sídlech lze proto považovat za zvýšené. V jednom sídle (Náměšť nad Oslavou) byla doporučená hodnota WHO pro průměrnou roční koncentraci NO₂ dodržena, zdravotní riziko v tomto sídle je nízké, tj. přijatelné. V žádném sídle nebyla překročena limitní hodnota NO₂ podle současné české legislativy v platném znění (LH_{NO2} = 40 µg/m³). Ve všech sídlech je proto riziko možné zároveň považovat za celospolečensky přijatelné.

Výrazně přísnější hodnocení zdravotních rizik PM₁₀, PM_{2,5} a NO₂ v této etapě ISKOV souvisí se změnou zdravotně zdůvodnitelných referenčních hodnot – doporučených hodnot WHO v aktualizaci Směrnice pro vnější ovzduší. Pro toto dlouho očekávané snížení se WHO rozhodla z důvodu narůstajících důkazů o škodlivosti těchto látek při koncentracích ve vnějším ovzduší pod úrovní doporučených hodnot z předchozí směrnice z roku 2015. Doporučené hodnoty WHO z aktualizované Směrnice z roku 2021 je nyní nutné považovat za cílové hodnoty z hlediska dosažení ochrany zdraví populace a měla by k nim být cílena opatření na národní, regionální i místní úrovni. V současnosti je zřejmé, že doporučená hodnota WHO pro dlouhodobé expozice PM₁₀/PM_{2,5} pravděpodobně nebude

dodržena nikde v ČR, protože ji překračuje i hodnota střední roční hmotnostní koncentrace $PM_{10}/PM_{2,5}$ pro přírodní pozadí, jak ji uvádí SZÚ (SZÚ, 2020). V případě NO_2 je pravděpodobnější, že doporučená hodnota WHO pro dlouhodobé koncentrace by mohla být v některých případech v ČR dodržena, a to pro přírodní pozadí nebo ve venkovských oblastech s vlivem zemědělské činnosti bez dopravy a průmyslu. Při zahrnutí nízkého až středního vlivu dopravy ve venkovských oblastech nebo v případě pozadí ve městech (bez dopravy a průmyslu!) by však již mohlo docházet k jejímu překračování.

V případě benzo(a)pyrenu WHO nestanovila ve směrnici doporučené hodnoty. Důvodem je, že se jedná o karcinogenní látku s bezprahovým mechanismem účinku. Výskyt těchto látek v ovzduší by měl být co nejnižší. Limitní hodnota dle platné legislativy v ČR ($LH = 1 \text{ ng/m}^3$), nebyla v roce 2021 překročena v ani jednom ze sídel, ve kterých probíhalo měření (Okříšky, Humpolec). Zdravotní riziko z expozic BaP je proto možné považovat v obou sídlech za celospolečensky přijatelné.

V tabulce 4 je uvedena změna hodnot látek za rok 2021 (průměrné roční koncentrace) oproti hodnotám za pětileté období 2012-2017 (průměrné koncentrace za pětileté období).

Tabulka 4: Změna expoziční situace v roce 2021 (průměrné roční koncentrace) oproti expoziční situaci za pětileté období 2012-2017 (průměrné koncentrace za pětileté období)

	NO_2	PM_{10}	$PM_{2,5}$	BaP	NO_2	PM_{10}	$PM_{2,5}$	BaP
	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	$[\text{ng}/\text{m}^3]$	%	%	%	%
Okříšky	-0,7	-2,7	-4,6	+0,2	-6,5	-13,2	-31,9	+22,2
Nové Město n. Mor.	-2,6	-2	-1,6		-23,9	-10,8	-10,6	
Náměšť n. Oslavou	-9,8	-5,5	-5,5		-121	-32,2	-44,7	
Humpolec	-2,8	+1,1	-1,6	-0,5	-25	+5,7	-11,6	-83,3

Srovnání ukazuje, že v roce 2021 byly ve většině sídel naměřené hodnoty látek nižší než za období 2012-2017, s výjimkou PM_{10} v Humpolci (+5,7 %) a BaP v Okříškách (+22,2 %), kde byly naměřené hodnoty v roce 2021 vyšší, než za období 2012-2017. Nejvýznamnější pokles z těchto sídel je zaznamenán v Náměšti nad Oslavou (NO_2 o 121 %, PM_{10} o 32,2 %, $PM_{2,5}$ o 44,7 %).

Vzhledem k aktuálním poznatkům (IARC - PM i znečištěné ovzduší jako celek zařazeno do skupiny 1 látek s prokázanými karcinogenními účinky u člověka) je však potřeba zdůraznit, že ani doporučené hodnoty již nepředstavují bezpečnou mez z hlediska účinků na zdraví a obecně by se na PM mělo nahlížet jako na škodlivinu s bezprahovým účinkem jako v případě ostatních látek s karcinogenním účinkem. Doporučená hodnota již zahrnuje jistou míru rizika. V souladu s těmito poznatky je tedy žádoucí dosahovat maximálního možného snížení úrovně PM.

Expoziční hodnoty nelze srovnat s hodnotami středních hmotnostních koncentrací pro ČR jak je zpracovává SZÚ, a které jsou považovány za referenční hodnoty ve vztahu k úrovni výskytu látek v jednotlivých prostředích v ČR. Toto porovnání by bylo možné jen za předpokladu, že by měřící místa byla kategorizována podle metodiky Národní referenční laboratoře pro venkovní ovzduší SZÚ. Tato kategorizace však nebyla provedena.

Kvantifikovaný odhad nekarcinogenního zdravotního rizika z expozic aerosolu

Metodika hodnocení zdravotních rizik neposkytuje exaktní výpočty rizika, ale odhady míry rizika, které jsou zatíženy nejistotou vycházející z podstaty výpočtu i komplexnosti problematiky. Tyto nejistoty je potřeba brát v úvahu zejména tehdy, pokud se klade důraz na vlastní hodnoty rizika místo porovnávání změn rizika. Autor proto doporučuje spíše porovnávat hodnoty rizika v jednotlivých sídlech v čase případně vzájemně mezi sebou, nežli hodnotit vlastní hodnotu rizika získanou na základě kvantifikovaného odhadu pro každé sídlo.

Odhad vlivu PM₁₀ na zdraví (pro vybrané zdravotní ukazatele) je založen na výpočtu počtu případů úmrtí a onemocnění, ke kterým dojde vlivem zvýšení koncentrací aerosolu. Kvantifikace nemocnosti a úmrtnosti vychází z hodnot průměrných ročních koncentrací látek. Celková úmrtnost se kvantifikuje na základě hodnot expoziční koncentrace PM_{2,5}. Nemocnost se kvantifikuje pro jednotlivé ukazatele na základě expozičních hodnot PM₁₀ nebo PM_{2,5}. Ke kvantifikaci se používají doporučené vztahy WHO (WHO, 2013; Holland, 2014) založené na hodnotách relativního rizika (RR) nebo poměru šancí (OR) a výskytu, prevalenci nebo incidenci příslušného indikátoru. Tyto informace pocházejí z epidemiologických studií a velkých metaanalýz. Tyto vztahy vyjadřují zvýšení úmrtnosti a nemocnosti (počty případů, dnů apod.) u celé nebo jen určité části populace (specifických věkových skupin) za příslušné časové období (1 rok), související se změnou koncentrace aerosolu o 10 µg/m³ případně 1 µg/m³). Přehled použitých vztahů uvádí tabulka 5.

Tabulka 5: Vztahy používané ke kvantifikaci úmrtnosti a nemocnosti ve vztahu k expozicím PM_{2,5} a PM₁₀

Ukazatel	RR/OR
Vztahy účinku na 10 µg/m ³ PM _{2,5}	
Celková úmrtnost ^a	RR 1,08 (95 % CI 1,06-1,09)
Hospitalizace z kardiovaskulárních příčin ^b	RR 1,0091 (95 % CI 1,0017-1,0166)
Hospitalizace z respiračních příčin ^b	RR 1,019 (95 % CI 0,9982-1,0402)
Dny s omezenou aktivitou ^{*b}	RR 1,047 (95 % CI 1,042-1,053)
Vztahy účinku na 10 µg/m ³ PM ₁₀	
Incidence chronické bronchitis u dospělých ve věku 18+ ^b	RR 1,117 (95 % CI 1,040-1,189)
Prevalence bronchitis u dětí 6 - 12 let ^b	OR 1.08 (95 % CI 0,98-1,19)
Incidence astmatických symptomů u astmat. dětí 5 - 19 let ^b	OR 1.028 (95 % CI 1.006-1,051)
Vztah na 1 µg/m ³ PM ₁₀ , osobu, rok	
Roky ztraceného života (YLL) u dospělých ve věku 30+ ^c	0,004

^a WHO, 2021

^b WHO, 2013; Holland, 2014

^c ExternE, 2005

^{*} odečítá se prevalence bronchitis u dětí a incidence astmatických symptomů u astmatických dětí

Obecně vztahy umožňují získat představu o rozsahu a významnosti zdravotního účinku. Existují sice výhrady k jejich používání, např. malý počet výchozích studií, malé populace nebo geografické odlišnosti, avšak s přibývajícimi poznatky a výsledky epidemiologických studií nebo jejich metaanalýz

se tyto vztahy postupně zpřesňují a aktualizují. V poslední době došlo ke změně vztahu WHO pro celkovou úmrtnost. V případě indikátoru prevalence bronchitis u dětí není vztah statisticky významný, proto výsledky kvantifikace za pomoci tohoto vztahu je možné považovat pouze za orientační.

Úmrtnost lze kvantifikovat dvěma různými způsoby. Jednak výpočtem příslušného ukazatele na základě hodnot $PM_{2,5}$, ale také pomocí ukazatele ztracených let života (YLL - Years of Life Lost)¹ na základě hodnot PM_{10} . Výsledky obou metod (výpočet ukazatele úmrtnosti a YLL) není možné porovnávat v důsledku rozdílné metodiky výpočtu. Doposud se předpokládalo, že výpočet YLL lépe charakterizuje účinek znečištění ovzduší ve vztahu k chronické úmrtnosti u dospělé populace. Aktualizací vztahu WHO pro celkovou úmrtnost došlo ke změně jak vlastní hodnoty, tak i zaměření na celou populaci, místo jen na dospělé populaci >30 let jako tomu bylo doposud. Prozatím nelze určit, jaký bude mít tato aktualizace vliv na případnou změnu přístupu hodnocení úmrtnosti. Z tohoto důvodu je úmrtnost hodnocena oběma metodickými přístupy.

Vlastní kvantifikace účinku je součinem koncentrace (s odečtem příslušných hodnot pro pozadí – pro $PM_{2,5}$ 5 $\mu g/m^3$ a PM_{10} 10 $\mu g/m^3$) frakce populace (se zohledněním věkové skupiny a rizika), základní frekvence výskytu (incidence, prevalence, výskyt případů nebo počty dnů aj.) a příslušného vztahu koncentrace a účinku. Odhady základní frekvence výskytu, použité v tomto HRA, jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6: Základní frekvence výskytu nemocnosti v populaci

Ukazatel	Základní frekvence výskytu za 1 rok
Celková standardizovaná úmrtnost^a	607,9 úmrtí/ 100 000 osob
Hospitalizace – kardiovaskulární^b	2816 případů/100 000 osob
Hospitalizace – respirační^b	1228 případů/100 000 osob
Dny s omezenou aktivitou (RADs)^b	19 dnů/osoba
Incidence chronické bronchitis u dospělých^b	3,9 případů/1 000 dospělých osob
Prevalence bronchitis u dětí^b	18,6 %
Incidence astmatických symptomů u astmatických dětí^b	Prevalence těžké formy astmatu 4,9 %; denní incidence 17 %

a Regionální zpravodajství NZIS pro kraj Vysočinu: Celková mortalita v krajích a okresech 2017 (ÚZIS, 2018). Prozatím nebyl oficiálně publikován novější údaj!

b WHO, 2013; Holland, 2014

Přesné údaje o populaci ve všech sídlech nejsou známy. Toto hodnocení je založeno na předpokladu, že věková struktura populace je shodná s aktualizovanou věkovou strukturou obyvatelstva kraje Vysočina (stav k 20.12.2021), kterou uvádí ČSÚ ve Statistické ročence kraje Vysočina 2021 (ČSÚ, 2021 – internetový zdroj), kterou ve zjednodušené podobě uvádí tabulka 7.

¹ Ukazatel YLL vychází z předpokladu, že expozice znečištěnému ovzduší může u některých populačních skupin (především citlivých populačních skupin, tj. dětí, osob s chronickým onemocněním dýchacího a kardiovaskulárního systému a starších osob) vyvolat zdravotní obtíže, jež ve svém důsledku mohou vést až k předčasnému úmrtí a tímto pádem i ke zkrácení délky života.

Tabulka 7: Věková struktura obyvatelstva v kraji Vysočina (ČSÚ, 2021)

Věková skupina	proporce obyvatel
	%
5-19	15
6-12	7,2
18+	82
30+	69

Předpokládá se smíšená populace všech věkových skupin včetně citlivých skupin populace z hlediska vlivů znečištěného ovzduší na zdraví (děti, starší osoby, chronicky nemocní). Zdravotní rizika jsou kvantifikována na celkovou velikost populace 1000 osob pro každé sídlo, aby bylo možné jejich srovnávání.

Předčasná celková úmrtnost

Kvantifikovaný odhad předčasné úmrtnosti v jednotlivých sídlech v roce 2021 v procentech i počtech případů v dospělé populaci na 1000 obyvatel ve vztahu k expozičním hodnotám $PM_{2,5}$ ukazuje tabulka 8.

Tabulka 8: Předčasná úmrtnost v populaci ve vztahu k expozičním hodnotám $PM_{2,5}$ v sídlech (za 1 rok, na 1000 osob)

Sídlo	Předčasná úmrtnost			
	2021		2012-2017	
	%	Počet případů	%	Počet případů
Okříšky	5.8%	0.35	8.7%	0.53
Nové Město na Moravě	6.3%	0.38	7.3%	0.44
Náměšť nad Oslavou	4.5%	0.28	7.9%	0.48
Humpolec	5.5%	0.33	6.4%	0.39

Expozice $PM_{2,5}$ v roce 2021 mohla představovat zvýšení rizika předčasné úmrtnosti v dospělé populaci sídel o 4,5 – 6,3 % (tj. 0,28 - 0,38 případu) za rok na 1000 osob. Rozdíl v předčasné úmrtnosti mezi sídlem s nejnižší úmrtností (Náměšť nad Oslavou) a nejvyšší úmrtností (Nové Město na Moravě) ve vztahu k expoziční koncentraci $PM_{2,5}$ je 1,7 %, což odpovídá přibližně počtu 0,11 úmrtí v dospělé populaci na 1000 osob za rok.

Interpretace úmrtnosti je obtížná, protože obecně neexistují referenční hodnoty, které by umožnily vyhodnotit míru závažnosti. NRL pro venkovní ovzduší Centra zdraví a životního prostředí SZÚ uvádí v každoročně v tabulkách středních ročních hmotnostních koncentrací pro hodnocené kategorie městských stanic hodnoty odhady nárůstu předčasné úmrtnosti ve vztahu k příslušné kategorii měřících míst. Předpokladem pro toto porovnání je však kategorizace měřících míst podle metodiky SZÚ. V tomto projektu jsou však sídla zařazena do vlastních kategorií, které sice jsou pro účely měření dostatečné, avšak s kategoriemi SZÚ nekorespondují. Na tuto skutečnost už bylo poukazováno v minulých hodnoceních. Vzhledem k tomu, že nedošlo k žádné změně v kategorizaci stanic, není ani možné porovnat hodnoty úmrtnosti v sídlech s hodnotami SZÚ.

Odhad ztráty let života (YLL) je vyjádřen ve dnech na osobu a rok a letech na populaci za rok v dospělé populaci (nad 30 let věku) na 1000 osob ve vztahu k expozičním hodnotám PM₁₀ v jednotlivých sídlech v roce 2021 je uveden v tabulce 9.

Tabulka 9: Odhad ztráty let života (YLL) v dospělé populaci (nad 30 let věku) ve vztahu k expozičním hodnotám PM₁₀ v sídlech (za 1 rok v dospělé populaci na 1000 osob)

Sídlo	Odhadovaná ztráta let života (YLL) za jeden rok			
	2021		2012-2017	
	dny na osobu	roky na populaci	dny na osobu	roky na populaci
Okříšky	3.0	5.7	3.4	6.4
Nové Město na Moravě	2.7	5.1	3.0	5.7
Náměšť nad Oslavou	2.5	4.7	3.3	6.2
Humpolec	2.8	5.3	2.7	5.0

Odhad ukazatele ztracených let života ve vztahu k expozici PM₁₀ ukazuje, že v populaci sídel mohlo dojít ke ztrátě let života na každého obyvatele za rok přibližně v rozsahu 2,5-3 dny, tj. 4,7-5,7 let v celé dospělé populaci na 1000 osob.

Nemocnost

Kvantifikovaný odhad prevalence bronchitis v populaci dětí (6-12 let) na 1000 osob za jeden rok ve vztahu k expozičním hodnotám PM₁₀ v roce 2021 ukazuje tabulka 10.

Tabulka 10: Prevalence bronchitis v populaci dětí (6-12 let) ve vztahu k průměrným hodnotám PM₁₀ v roce 2021 (za 1 rok na 1000 osob)

Sídlo	Prevalence bronchitis u dětí			
	2021		2012-2017	
	%	počet dnů	%	počet dnů
Okříšky	6.74%	329	8.47%	414
Nové Město na Moravě	5.52%	270	6.80%	332
Náměšť nad Oslavou	4.56%	223	8.08%	395
Humpolec	5.97%	292	5.26%	257

Běžná prevalence zánětů průdušek u dětí (6-12 let) je 18,6 %. Pokud je tato prevalence aplikována na srovnatelnou populaci dětí v kraji Vysočina, pak se jedná u této populace o 4888 dnů s výskytem bronchitidy za rok. Expozice PM₁₀ by mohla představovat zvýšení rizika chronické respirační nemoci u dětí v sídlech o 4,56 – 6,74 % (tj. 223 - 329 dnů s příznaky v populaci 72 dětí na 1000 osob). Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Náměšť nad Oslavou) a nejvyšší (Okříšky) hodnotou prevalence zánětů průdušek u dětí ve vztahu k expoziční koncentraci PM₁₀ je 2,18 %, což odpovídá přibližně 107 dnům s onemocněním v příslušné populační skupině dětí za rok. I v případě ukazatelů nemoci platí podobně jako u odhadu předčasné úmrtnosti, že nejsou stanoveny referenční hodnoty, které by umožňovaly vyhodnocení jejich míry závažnosti.

Kvantifikovaný odhad incidence astmatických symptomů v populaci astmatických dětí (5-19 let) na 1000 osob za jeden rok ve vztahu k expozičním hodnotám PM₁₀ v roce 2021 ukazuje tabulka 11.

Tabulka 11: Incidence astmatických symptomů v populaci astmatických dětí (5-19 let) ve vztahu k průměrným hodnotám PM₁₀ v roce 2021 (za 1 rok na 1000 osob)

Incidence astmatických symptomů u dětí				
Sídlo	2021		2012-2017	
	%	počet dnů	%	počet dnů
Okříšky	2.79%	13	3.51%	16
Nové Město na Moravě	2.29%	10	2.82%	13
Náměšť nad Oslavou	1.89%	9	3.35%	15
Humpolec	2.47%	11	2.18%	10

Expozice PM₁₀ v roce 2021 by mohla představovat zvýšení rizika incidence astmatických symptomů v populaci astmatických dětí v sídlech o 1,89 – 2,79 % (tj. 9 - 13 dnů s příznaky u 150 dětí na 1000 osob) za rok. Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Náměšť nad Oslavou) a nejvyšší (Okříšky) hodnotou incidence astmatických symptomů u astmatických dětí je 0,9 %, což odpovídá přibližně 4 dnům v příslušné populační skupině dětí na 1000 osob za rok.

Kvantifikovaný odhad Incidence chronické bronchitis v dospělé populaci (18 let a více) na 1000 osob za 1 rok ve vztahu k expozičním hodnotám PM₁₀ v roce 2021 ukazuje tabulka 12.

Tabulka 12: Incidence chronické bronchitidy v dospělé populaci (18 let a více) ve vztahu k expozičním hodnotám PM₁₀ v roce 2021 (za 1 rok na 1000 osob)

Incidence chronické bronchitidy u dospělé populace				
Sídlo	2021		2012-2017	
	%	počet dnů	%	počet dnů
Okříšky	12.3%	0.39	15.4%	0.49
Nové Město na Moravě	10.1%	0.32	12.4%	0.40
Náměšť nad Oslavou	8.3%	0.27	14.7%	0.47
Humpolec	10.9%	0.35	9.6%	0.31

Expozice PM₁₀ v roce 2020 by mohla představovat roční zvýšení rizika incidence chronické bronchitis u dospělé populace v sídlech o 8,31 – 12,29 % (tj. 0,27 – 0,39 nových případů v dospělé populaci na 1000 osob). Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Náměšť nad Oslavou) a nejvyšší (Okříšky) hodnotou incidence chronické bronchitis u dospělé populace je 3,98 %, což odpovídá přibližně 0,13 případu v dospělé populaci na 1000 osob za rok.

Kvantifikovaný odhad počtu dnů s omezenou aktivitou v celé populaci (1000 osob) za jeden rok ve vztahu k expozičním hodnotám PM_{2,5} v roce 2021 ukazuje tabulka 13.

Tabulka 13: Počet dnů s omezenou aktivitou v celé populaci ve vztahu k expozičním hodnotám PM_{2,5} v roce 2021 (za 1 rok na 1000 osob)

Dny s omezenou aktivitou u dospělé populace		
Sídlo	2021	2012-2017
	počet dnů	počet dnů
Okříšky	523	852
Nové Město na Moravě	643	725
Náměšť nad Oslavou	438	763
Humpolec	505	681

Ve výpočtu byla odečtena nemocnost dětí dle příslušného metodického postupu

Expozice PM_{2,5} v roce 2021 by mohla odpovídat počtu dnů s omezenou aktivitou v celé populaci v sídlech v rozsahu 438 - 643 dnů (na 1000 osob) za rok. Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Náměšť nad Oslavou) a nejvyšší (Nové Město na Moravě) hodnotou počtu dnů s omezenou aktivitou u celé populace je 205 dnů.

Kvantifikovaný odhad počtu případů hospitalizací z kardiovaskulárních a respiračních příčin v celé populaci (1000 osob) za jeden rok ve vztahu k expozičním hodnotám PM_{2,5} v roce 2021 ukazuje tabulka 14.

Tabulka 14: Počet případů hospitalizací z kardiovaskulárních a respiračních příčin v celé populaci ve vztahu k expozičním hodnotám PM_{2,5} v roce 2021 (za 1 rok na 1000 osob)

Hospitalizace z kardiovaskulárních a respiračních příčin v populaci								
Sídlo	2021				2012-2017			
	Kardiovaskulární		Respirační		Kardiovaskulární		Respirační	
	%	N	%	N	%	N	%	N
Okříšky	0.9 %	0.24	1.8 %	0.22	1.3 %	0.36	2.7 %	0.33
Nové Město na Moravě	0.9 %	0.26	1.9 %	0.24	1.1 %	0.30	2.2 %	0.27
Náměšť nad Oslavou	0.7 %	0.19	1.4 %	0.17	1.2 %	0.33	2.4 %	0.30
Humpolec	0.8 %	0.23	1.7 %	0.21	0.9 %	0.27	2.0 %	0.24

N – počet případů

Expozice PM_{2,5} v roce 2021 by mohla představovat v celé populaci (na 1000 osob) v sídlech zvýšení počtu případů hospitalizací z kardiovaskulárních příčin o 0,7 - 0,9 % (tj. 0,19 - 0,26 případu) a o 1,4 - 1,9 % z respiračních příčin (tj. 0,17 - 0,24 případu) za rok. Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Náměšť nad Oslavou) a nejvyšší (Nové Město na Moravě) hodnotou hospitalizace ve vztahu k expoziční koncentraci PM_{2,5} je v případě kardiovaskulárních příčin 0,2 % (tj. přibližně 0,07 případu) a respiračních příčin 0,5 % (tj. přibližně 0,07 případu) v celé populaci za rok.

Porovnání nemocnosti a úmrtnosti v roce 2021 s dřívější etapou v letech 2012-2017

Změnu indikátorů zdravotních rizik ve vztahu k expozici PM_{2,5}/PM₁₀ v roce 2021 oproti periodě 2012-2017 (v procentech) ukazuje tabulka 15.

Tabulka 15: Změna indikátorů zdravotních rizik v roce 2021 oproti stavu v předchozím hodnocení za období 2012 - 2017

Indikátor	Okříšky	Nové Město na Moravě	Náměšť na Hané	Humpolec
	[%]	[%]	[%]	[%]
Dny s omezenou aktivitou	-38.6 %	-11.4 %	-42.6 %	-25.8 %
Ztráta let života (YOLL)	-11.6 %	-9.7 %	-24.3 %	+6.0 %
Předčasná úmrtnost u dospělé populace				
Hospitalizace z kardiovaskulárních (KV) příčin	-32.9 %	-13.7 %	-43.0 %	-15.4 %
Hospitalizace z respiračních příčin				
Prevalence bronchitis u dětí				
Incidence astmatických symptomů u astmat.dětí	-20.5 %	-18.9 %	-43.7 %	+13.4 %
Incidence chronické bronchitis u dospělé populace				

V Okříškách, Novém Městě na Moravě i Náměšti na Hané byl zaznamenán v roce 2021 pokles u všech hodnocených indikátorů. Tento pokles zdravotních rizik koresponduje s celkovým poklesem expozic PM_{2,5} i PM₁₀ v těchto sídlech v roce 2020 oproti období 2012-2017. V případě Humpolce došlo v roce 2021 ke zvýšení těchto indikátorů zdravotních rizik, které jsou spojeny s expozicí PM₁₀, která byla v Humpolci v roce 2021 mírně vyšší, než byl její pětiletý průměr za období 2012-2017. Z podstaty metodiky odhadu zdravotních rizik je zřejmá lineární funkce mezi příslušnou hodnotou expozice PM_{2,5} nebo PM₁₀ a odhadovanou hodnotou rizika získanou kvantifikací. V případě pohybů expozičních hodnot nahoru nebo dolů se budou odpovídajícím způsobem měnit i hodnoty příslušných zdravotních ukazatelů úmrtnosti a nemocnosti, tj. zvyšovat nebo snižovat.

Kvantifikovaný odhad zdravotního rizika toxických účinků NO₂

Platné metodické doporučení upřednostňuje hodnocení zdravotního rizika z dlouhodobých expozic (průměrných ročních koncentrací) NO₂ jejich prostým srovnáním s doporučenou hodnotou uváděnou ve směrnici pro vnější ovzduší WHO před kvantifikovaným odhadem zdravotního rizika vzhledem k zastaralosti vztahů používaných ve výpočtu. Předpokládalo se, že část účinků přisuzovaných NO₂ by mohla být vyvolána jinými látkami (PM). Nová Směrnice pro vnější ovzduší WHO z roku 2021 poskytuje přesnější informace, nové vztahy i doporučené hodnoty. V tuto chvíli však ještě není zřejmé, zdali tyto skutečnosti povedou i ke změně náhledu na metodiku hodnocení zdravotních rizik toxických účinků NO₂. Z těchto důvodů, dokud nebude metodická změna oficiálně potvrzena, autor tohoto hodnocení bude i nadále hodnotit zdravotní riziko toxických účinků NO₂ srovnáním s doporučenou hodnotou WHO uvedeno ve Směrnici z roku 2021 a nebude přistupovat k odhadu kvantifikovaného hodnocení zdravotních rizik. Riziko respirační nemocnosti je prozatím hodnoceno jeho kvantifikací ve vztahu k dlouhodobým koncentracím PM.

Kvantifikovaný odhad karcinogenního rizika z expozic benzo(a)pyrenu

Pro látky s karcinogenním účinkem se provádí kvantifikovaný odhad karcinogenního rizika podle vztahu:

$$LICR = C \times UCR \quad \text{kde:}$$

LICR - (Lifetime individual cancer risk) - ukazatel celoživotního individuálního karcinogenního rizika (bezrozměrný),

C - dlouhodobá expozice látky (průměrná roční koncentrace v ng/m³) – jen pro Okříšky a Humpolec.

Pro ostatní sídla nejsou expoziční hodnoty, protože v nich neprobíhalo měření,

UCR - jednotka karcinogenního rizika - riziko na jednotku koncentrace látky v ovzduší (1 µg/m³).

LICR je měřítkem rizika karcinogenního účinku látky po expozici. Vyjadřuje pravděpodobnost vzniku nových nádorových onemocnění nad všeobecný průměr za celoživotní období. Karcinogenní riziko v řádu 10⁻⁶ lze považovat za všeobecně přijatelné. Riziko v řádu 10⁻⁵ - 10⁻⁴ je zvýšené a posuzuje se různě v závislosti na velikosti exponované populace a závažnosti důkazů o karcinogenitě. Riziko v řádu 10⁻³ a více je již považováno za vysoké a tudíž nepřijatelné.

Pravděpodobný počet nových případů novotvarů za rok (APCR) v exponované populaci ke kterým dojde vlivem expozic hodnoceným látkám lze vypočítat pomocí vztahu:

$$APCR = LICR \times \text{počet osob v exponované populaci} / \text{průměrná délka života jedince v populaci (70 let)}.$$

Kvantifikovaný odhad karcinogenního rizika benzo(a)pyrenu v populaci (na 1000 osob) v sídlech za 1 rok ve vztahu k průměrným ročním hodnotám benzo(a)pyrenu v roce 2021, ukazuje tabulka 16.

Tabulka 16: Kvantifikace karcinogenního rizika benzo(a)pyrenu v populaci v sídlech za 1 rok ve vztahu k expozičním hodnotám v roce 2021 (na 1000 obyvatel)

karcinogenní riziko expozic benzo(a)pyrenu						
Sídlo	2021			2012-2017		
	LICR	APCR	1 případ	LICR	APCR	1 případ
	bezrozm.	počet případů	roky	bezrozm.	počet případů	roky
Okříšky	7.83×10^{-5}	0.00112	894	6.09×10^{-5}	0.00087	1149
Humpolec	5.22×10^{-5}	0.00075	1341	9.57×10^{-5}	0.00137	731

Benzo(a)pyren – UCR = $8,7 \times 10^{-5}$; všeobecně přijatelné karcinogenní riziko $LICR \leq 1 \times 10^{-6}$

LICR – Individuální karcinogenní riziko - bezrozměrná veličina

APCR – Populační karcinogenní riziko na 1000 obyvatel – počty případů nových novotvarů v populaci za rok

1 případ – doba, za kterou se v populaci objeví 1 případ zhoubného nádoru (při celoživotní expozici na úrovni hodnocených koncentrací)

Kvantifikovaný odhad karcinogenního rizika ve vztahu k expozičním hodnotám ukazuje, že v roce 2021 pravděpodobně byla v obou sídlech překročena všeobecně přijatelná mez karcinogenního rizika ($LICR = 1 \times 10^{-6}$) a dodržena celospolečensky přijatelná mez karcinogenního rizika daná platným imisním limitem ($LICR = 8,7 \times 10^{-5}$). Karcinogenní riziko expozic BaP z ovzduší pro obyvatele obou sídel v roce 2021 lze vyhodnotit jako zvýšené, avšak celospolečensky přijatelné. Mezi oběma sídly je patrný rozdíl,

který se však nejeví jako významný vzhledem ke skutečnosti, že výskyt jednoho případu zhoubného nádoru lze v populaci těchto sídel (na 1000 osob) očekávat jednou za mnoho set let.

Srovnání karcinogenního rizika z expozic v roce 2021 s obdobím 2012-2017 je patrné zvýšení karcinogenního rizika BaP v Okříškách (o +83,3 %) a naopak snížení karcinogenního rizika v Humpolci (o -22,2 %).

Závěr

Hodnocení zdravotních rizik pro obyvatele 4 sídel zařazených do projektu ISKOV etapa 2021 (Okříšky, Nové Město na Moravě, Náměšť nad Oslavou, Humpolec) je provedeno na základě expozičních hodnot za rok 2021, kterými jsou průměrné roční koncentrace PM₁₀/PM_{2,5} a NO₂ (vypočtené na základě celoročního měření) a benzo(a)pyrenu (vypočtené z 18 kampaňovitých měření rovnoměrně rozložených v průběhu roku).

Pro kvantifikaci účinků PM₁₀/PM_{2,5} na nemocnost a úmrtnost byla použita metodika WHO s využitím vztahů úmrtnosti a nemocnosti (WHO, Evropská komise), odvozených z epidemiologických studií. Riziko karcinogenních účinků benzo(a)pyrenu bylo posouzeno klasickou metodikou US EPA. Kvantifikovaný odhad zdravotních rizik pro NO₂ nebyl proveden vzhledem k tomu, že platná metodika v ČR jej v současnosti nedoporučuje. Vyhodnocení dlouhodobých účinků NO₂ je provedeno prostým srovnáním expozičních hodnot s doporučenou hodnotou WHO. U populace na dotčeném území se předpokládá shodná věková struktura i úmrtnost jako u populace kraje Vysočina. Hodnocení je provedeno vždy pro příslušnou věkovou skupinu na 1000 osob pro každé sídlo, aby bylo možné vzájemné srovnání.

Počínaje etapou 2021 dochází v projektu ISKOV k metodické změně a zpřísnění hodnocení zdravotních rizik, které souvisí s vydáním nové Směrnice WHO k vnějšímu ovzduší v září 2021. Tato Směrnice uvádí výrazně nižší doporučené hodnoty než předchozí Směrnice vzhledem k tomu, že v poslední době byly publikovány studie, které významně posunuly znalosti o nebezpečnosti těchto látek pro lidské zdraví. Tyto doporučené hodnoty se považují za cílové hodnoty z hlediska snížení výskytu látek v ovzduší a zlepšení zdraví obyvatel. Směrnice není norma, ani právně závazné kritérium, je však navržena tak, aby nabízela vodítko pro snižování zdravotních dopadů znečištění ovzduší na základě odborného hodnocení současných vědeckých poznatků. Postupně by se měla promítnout do právně podložených standardů podle jedinečných místních podmínek.

V roce 2021 dlouhodobá (průměrná roční) expozice PM₁₀:

- Překročila ve všech sídlech doporučenou hodnotu WHO ($GV_{PM10} = 15 \mu g/m^3$), která byla stanovena WHO k ochraně zdraví. Zdravotní riziko pro obyvatele je proto možné považovat za zvýšené.
- Nepřekročila v žádném sídle limitní hodnotu dle české legislativy v platném znění ($LH = 40 \mu g/m^3$). Zdravotní riziko expozic PM₁₀ pro populaci ve všech sídlech je proto možné považovat za celospolečensky přijatelné
- Ve sledované populaci sídel odpovídala souhrnnému zvýšení míry rizika:
 - o ztráty let života v dospělé populaci 2,5 - 3,0 dne na osobu za rok,

- o prevalence zánětu průdušek u dětí (bronchitis) o 4,56 – 6,74 % (tj. 223 - 329 dnů s příznaky),
- o incidence astmatických symptomů u astmatických dětí o 1,89 – 2,79 % (tj. 9 - 13 dnů s příznaky),
- o incidence chronické bronchitis v dospělé populaci o 8,3 – 12,3 % (tj. 0,27 - 0,39 případu).

V roce 2021 dlouhodobá (průměrná roční) expozice $PM_{2,5}$:

- Překročila ve všech sídlech doporučenou hodnotu WHO ($GV_{PM_{2,5}} = 5 \mu g/m^3$). Zdravotní riziko pro obyvatele je proto možné považovat za zvýšené.
- Nepřekročila v žádném sídle limitní hodnotu dle české legislativy v platném znění ($LH = 20 \mu g/m^3$). Zdravotní riziko expozic $PM_{2,5}$ pro populaci ve všech sídlech je proto možné považovat za celospolečensky přijatelné.
- Ve sledované populaci sídel odpovídala souhrnnému zvýšení míry rizika:
 - o předčasné úmrtnosti v dospělé populaci o 4,5 – 6,3 % (tj. 0,28 - 0,38 případu),
 - o hospitalizace z kardiovaskulárních příčin o 0,7 – 0,9 % (tj. o 0,19 - 0,26 případu),
 - o hospitalizace z respiračních příčin o 1,4 – 1,9 % (tj. o 0,17 - 0,24 případu),
 - o dnů s omezenou aktivitou o 438 - 643 dnů.

V roce 2021 dlouhodobá (průměrná roční) expozice NO_2 :

- Překročila v Okříškách, Novém Městě na Moravě a Humpolci doporučenou hodnotu WHO ($GV_{NO_2} = 10 \mu g/m^3$). Zdravotní riziko z expozice NO_2 pro obyvatele těchto sídel je proto možné považovat za zvýšené.
- Nepřekročila v Náměšti nad Oslavou doporučenou hodnotu WHO ($GV_{NO_2} = 10 \mu g/m^3$). Zdravotní riziko z expozice NO_2 pro obyvatele je proto možné považovat za nízké, tj. přijatelné.
- V žádném ze sídel nebyla překročena limitní hodnota dle české legislativy v platném znění ($LH = 40 \mu g/m^3$). Zdravotní riziko expozic NO_2 pro populaci ve všech sídlech je proto možné považovat za celospolečensky přijatelné.

V roce 2021 dlouhodobá (průměrná roční) expozice benzo(a)pyrenu (jen pro Okříšky a Humpolec):

- odpovídala zvýšenému karcinogennímu riziku ($LICR = 5,22 - 7,83 \times 10^{-5}$), protože překročila mez všeobecně přijatelného rizika ($LICR = 1 \times 10^{-6}$). Karcinogenní riziko expozic benzo(a)pyrenu bylo proto v obou sídlech zvýšené.
- Nepřekročila v ani jednom z obou sídel limitní hodnotu podle české legislativy v platném znění ($LH = 1 ng/m^3$). Zdravotní riziko expozic benzo(a)pyrenu je proto v obou sídlech možné považovat za celospolečensky přijatelné.

V případě benzo(a)pyrenu nelze expoziční hodnotu porovnat s doporučenou hodnotou WHO, protože ta není stanovena. Vzhledem ke karcinogennímu (tj. bezprahovému) účinku by však koncentrace benzo(a)pyrenu v ovzduší měly být co nejnižší.

Srovnání zdravotních rizik v roce 2021 oproti období 2012-2017 ukazuje jejich snížení ve většině sídel (souhrnně pro všechny indikátory): Okříšky 11,6 – 38,6 %; Nové Město na Moravě 9,7 – 18,9 %; Náměšť na Hané 24,3 – 43,7 %, Humpolec 15,4 – 25,8 % (Kromě zdravotních rizik spojených s expozicí PM_{10}). Zdravotní riziko spojené s expozicí PM_{10} v Humpolci bylo v roce 2021 oproti období 2012-2017 zvýšené o 6 - 13,4 % (pro odpovídající indikátory), což souviselo s nárůstem expozic PM_{10} v Humpolci o $1,1 \mu g/m^3$ (+5,7 %). Karcinogenní riziko se v roce 2021 oproti období 2012-2017 snížilo v Humpolci o

88 % a naopak zvýšilo v Okříškách o 22 %. Zvýšení v Okříškách souvisí s nárůstem expozice o 0,2 ng/m³ (22,2 %). Největší pokles zdravotních rizik ze všech 4 hodnocených sídel v etapě 2021 byl dosažen v Náměšti nad Oslavou.

Expozici hodnocených látek a s ní spojenou míru zdravotních rizik pro obyvatele ve 4 sídlech na Vysočině, zařazených do projektu ISKOV etapy 2021, je možné považovat za obvyklý stav v podobných sídlech v ČR. Dosažený pokles expozic látek a s nimi souvisejících zdravotních rizik v roce 2021 oproti stavu za období 2012-2017 představuje dobrý směr, avšak pokles ještě není dostatečný a jak ukazuje současný stav poznání, ve snižování expozic těchto látek bude potřeba pokračovat, aby míra zdravotních rizik pro obyvatele sídel i nadále klesala.

Autor doporučuje vyhodnotit důvodu nárůstu expozic BaP v Okříškách a PM₁₀ v Humpolci, ke kterému nemá dost podkladů. Není ani zřejmé, zdali i nadále platí kategorizace stanic v projektu, když na městské dopravní stanici Humpolec, která reprezentuje městskou dopravní stanici jsou naměřené nižší hodnoty PM_{2,5}, PM₁₀ i BaP než na stanici Okříšky, která reprezentuje venkovskou pozadřovou stanici. Obecně, v místech s dopravní zátěží, jsou obvyklé koncentrace benzo(a)pyrenu překračující hodnotu 1 ng/m³.

Nejistoty

- V nové směrnici pro vnější ovzduší WHO z roku 2021 došlo ke snížení doporučených hodnot. Hodnocení zdravotních rizik pro tuto etapu projektu ISKOV je proto zpracováno s použitím těchto hodnot. S uvedenou situací je potřeba počítat při porovnávání jednotlivých etap Projektu.
- Prozatím není zřejmé, jakým způsobem se promítnou nové informace uvedené ve Směrnici WHO k venkovnímu ovzduší do metodiky kvantifikovaného hodnocení zdravotních rizik. Není zřejmé, zdali se budou odečítat stejné hodnoty pozadí jako doposud a zdali se opět bude hodnotit zdravotní riziko toxických účinků na základě kvantifikovaného odhadu rizika s použitím vztahů, které jsou uváděny v ložské aktualizaci Směrnice WHO.
- Metodika hodnocení zdravotních rizik uplatňovaná při posuzování vlivů na zdraví neposkytuje exaktní hodnoty rizika, ale odhady míry rizika. Jedná se o matematický model, který nemůže přesně vystihnout biologickou rozmanitost člověka, individuální rozdíly, rozdíly v expozici aj., které hrají významnou roli v tom, zda se účinek na zdraví projeví. WHO uvádí 1 milión osob jako optimální velikost populace pro tento typ hodnocení. Hodnocení populací s malým počtem obyvatel může zvyšovat nejistotu dosažených výsledků.
- Faktory účinku, na kterých je založeno hodnocení, vychází ze znalosti hodnot relativního rizika a prevalence. Jak relativní riziko, tak prevalence byly stanoveny na základě evropských metaanalýz a mezinárodních studií. Kvantifikace rizika pomocí takto definovaných vztahů pro hodnocení zdravotních rizik je zatížena nejistotami z hlediska jejich odvození i vlastního použití.
- Předložené výsledky měření za jeden rok neobsahují podrobnější analýzu, proč v některých sídlech došlo ke zvýšení koncentrací PM₁₀ a benzo(a)pyrenu. V případě, kdy je dostupná jen průměrná roční koncentrace za jeden rok, není možné vysledovat dynamiku vývoje výskytu látek v prostředí v čase. K tomu by bylo potřeba delší měření v řádu několika let. Proto nelze ani vysvětlit proč k tomuto zvýšení došlo.

- Expoziční hodnoty nebylo možné srovnat s příslušnými referenčními hodnotami SZÚ (střední roční hmotnostní koncentrace pro kategorie stanic v ČR), vzhledem k tomu, že měřicí stanice v projektu ISKOV jsou kategorizovány jinak, než uvádí metodika Národní referenční laboratoře pro venkovní ovzduší SZÚ.
- Kategorizace měřících míst zařazených do etapy 2021 projektu ISKOV pravděpodobně vychází ze starších podkladů za období 2012 - 2017 a není zřejmé, zdali odpovídá skutečné situaci v roce 2021. Humpolec byl kategorizován jako dopravní stanice a Okříšky jako stanice s převládajícím vlivem místních zdrojů. V Humpolci byly přitom v roce 2021 naměřeny nižší hodnoty benzo(a)pyrenu než v Okříškách. Tento výsledek neukazuje na významný vliv dopravy v Humpolci. Nelze však vyloučit zkreslení vzhledem k tomu, že autor hodnocení zdravotních rizik má k dispozici jen výsledky měření je za jeden rok.
- V případě benzo(a)pyrenu expoziční koncentrací je průměrná roční hodnota expozice, vypočtená na základě 18 rovnoměrně rozložených měření (kampaní) v roce pro každé sídlo. Takto získaná hodnota expozice sice vyhovuje legislativě, ale plně nezohledňuje variabilitu imisní situace v jednotlivých dnech. Z tohoto ohledu je potřeba dosažené výsledky považovat jen za orientační a není možné z nich vyvozovat jednoznačné závěry. Ze 4 sídel zařazených do této etapy se benzo(a)pyren měřil jen v Okříškách a Humpolci.
- Na základě hodnocení zdravotních rizik nelze stanovit příčinu rozdílů mezi obcemi. Na těchto rozdílech se může podílet řada faktorů (doprava, lokální vytápění, provětrávání území atd.), které se mohou a zjevně i budou lišit sídlo od sídla a jejichž vyhodnocení by mělo být provedeno v rámci jiné části projektu.
- Nejsou známy bližší informace o exponované populaci – například doba, kterou osoby stráví v expozičních pásmech, která může ovlivnit výslednou expozici. Není známa věková struktura obyvatelstva, proto se vychází z předpokladu, že věková struktura obyvatelstva v dotčené oblasti se proporcionálně neliší od věkové struktury obyvatelstva kraje Vysočina, převzaté ze zdravotnické ročenky.
- Komplikovaný vliv současného působení škodlivin na zdraví není možné, při současném stavu znalostí, jednoznačně posoudit. Hodnocení se zabývá pouze vlivy expozic individuálních látek na zdraví.

Použité informační zdroje

- Kraj Vysočina. (2022). Informační systém kvality ovzduší v kraji Vysočina. Archív ISKOV 2012-2017. dostupné z: <http://www.ovzdušivysocina.cz/archiv-iskov-2012-2017/sledovane-lokality/>
- Rückerl R, Schneider A, Breitner S, Cyrus J, Peters A (2011). Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhal Toxicol.*;23(10):555-92.
- US EPA. (2018). Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter (External Review Draft) (EPA/600/R-18/179), Washington, DC. <https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=341593>.
- WHO (2013) Health risk of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. World Health Organization, Regional office for Europe.

- IARC (2013). Scientific Publication No. 161 Air Pollution and Cancer Editors: Kurt Straif, Aaron Cohen, and Jonathan Samet eISBN 978-92-832-2161-6 ISSN 0300-5085
<http://www.iarc.fr/en/publications/books/sp161/index.php>
- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, et al (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the american heart association. *Circulation*;121(21):2331-78.
- Ošťádal, P. (2012). Hypolipidemická léčba u akutního koronárního syndromu. *Interní medicína pro praxi*. 14(11)
- WHO (2005). *Air Quality Guideline Global Update 2005*.
Dostupné z: <http://www.euro.who.int/Document/E90038.pdf>
- Chen J, Hoek G (2020). Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: a systematic review and meta-analysis. *Environ Int*. 143:105974. doi: 10.1016/j.envint.2020.105974. License: CC BY-NC-ND.
- Shi, L., Zanobetti, A., Kloog, I., Coull, B. A., Koutrakis, P., Melly, S. J., & Schwartz, J. D. (2016). Low-concentration PM_{2.5} and mortality: Estimating acute and chronic effects in a population-based study. *Environmental Health Perspectives*, 124(1), 46-52. doi:10.1289/ehp.1409111
- WHO (2015). WHO Expert Consultation: Available evidence for the future update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs). Meeting report Bonn, Germany 29 September-1 october 2015.
- WHO (2013). Review of evidence on health aspects of air pollution-REVIHAAP project: final technical report. World Health Organization Regional Office for Europe. Publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollutionrevihaap-project-final-technical-report.
<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/airquality/>
- EP (2008). Směrnice evropského parlamentu a rady 2008/50/ES, ze dne 21. května 2008, o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu. *Úřední věstník* L 152, 11.6.2008, s. 0001 – 0044.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:CS:PDF>
- US EPA. 2016. Criteria Air pollutants. NAAQS Table. Dostupné z: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>
- Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší a související předpisy
- Faustini A, Rapp R, Forastiere F (2014) Nitrogen dioxide and mortality: review and meta-analysis of long-term studies. *Eur Respir J* 44(3): 744-753
- Bylin G et al. (1985). Effects of short-term exposure to ambient nitrogen dioxide concentrations on human bronchial reactivity and lung function. *Eur J Respir Dis*; 66: 205-217.
- Folinsbee LJ et al. (1978). Effect of 0.62 ppm NO₂ on cardiopulmonary function in young male nonsmokers. *Environ Res*; 15: 199-205.
- US EPA (2011). IRIS. Profile for Nitrogen Dioxide. 2011.
Dostupné z: <<http://epa.gov/iris/subst/0080.htm>>
- Folinsbee LJ (1992). Does nitrogen dioxide exposure increase airways responsiveness?. *Toxicol Ind Health* ; 8: 273-283.
- US EPA (2015). Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen – Health Criteria (Second External Review Draft) United States Environmental Protection Agency.
<http://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=288043>
- COMEAP (2015). statement on the evidence for the effects of nitrogen dioxide on health.

- ESCAPE (2014). European Study of Cohorts for Air Pollution Effects. Published/accepted papers
<http://www.escapeproject.eu/publications.php>
- Huangfu P, Atkinson R (2020). Long-term exposure to NO₂ and O₃ and all-cause and respiratory mortality: a systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 144:105998. doi: 10.1016/j.envint.2020.105998. License: CC BY-NC-ND.
- WHO (1998). Selected non-heterocyclic Polocyclic aromatic hydrocarbons. International Programme on chemici safety. Environmental Health Criteria 202. ISBN 92 4 157202 7. ISSN 0250-863X. Dostupné z: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc202.htm>
- WHO (2000). Regional Office for Europe. *Air quality guidelines for Europe. 2nd edition.* Dostupné z: <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf>
- Holland M. (2014). Implementation of the HRAPIE Recommendations for European Air Pollution CBA work. Health Impact Assessment and Cost Benefit Analysis. EMRC. January 2014. Part of a subcontract to IIASA (the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria) for the Service Contract on Monitoring and Assessment of Sectorial Implementation Actions (ENV.C.3/SER/2011/0009) of DG-Environment of the European Commission. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/CBA%20HRAPIE%20implement.pdf>
- IARC (2010). IARC Monographs on a review of human carcinogens: Chemical agents and related occupations. Volume 100F. A review of human carcinogens. IARC, Lyon, France. Dostupné z: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100F/mono100F.pdf>
- ČSÚ (2019). Statistická ročenka kraje Vysočina 2018. Internetový zdroj. Staženo z: <https://www.czso.cz/csu/czso/4-obyvatelstvo-473b5513kj>
- ÚZIS (2018). Regionální zpravodajství NZIS. Kraj Vysočina. Celková mortalita v krajích a okresech. 2017. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/4-obyvatelstvo-473b5513kj>
- Hurley F et al (2005). Methodology for the cost-benefit analysis for CAFE. Volume 2: Heath Impact Assessment, European Commision.
- ExterneE (2005). Externalities of Energy, Metodology 2005 Update, European Commission, Directorate-General for Research Suistainable Energy Systems, European Communities.
- SZÚ (2019). Česká republika 2019. Střední hmotnostní koncentrace pro hodnocené kategorie městských stanic. NRL pro venkovní ovzduší, Centra zdraví a životního prostředí, Státní zdravotní ústav v Praze. Staženo z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/imisky/agr_tab_2019.pdf
- IARC (2010). IARC Monographs on a review of human carcinogens: Chemical agents and related occupations. Volume 100F. A review of human carcinogens. IARC, Lyon, France. Dostupné z: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100F/mono100F.pdf>
- Envitech. (2021). Projekt ISKOV 2021: Humpolec, Náměšť nad Oslavou, Nové Město na Moravě a Okříšky.