



PROJEKT ISKOV 2020: BYSTŘICE NAD PERNŠTEJNEM, PACOV, GOLČŮV JENÍKOV A HROTOVICE

28.2.2021

ENVITECH BOHEMIA, S.R.O.

OBSAH:

1	POPIS MĚŘICÍCH LOKALIT, METODIKA A LEGISLATIVA	3
1.1	MĚŘICÍ LOKALITY	3
1.1.1	BYSTRICE NAD PERNŠTEJNEM	3
1.1.2	GOLČŮV JENÍKOV	4
1.1.3	HROTOVICE	6
1.1.4	PACOV	7
1.2	METODIKA MĚŘENÍ	9
1.3	PLATNÉ IMISNÍ LIMITY	10
2	METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY V ROCE 2020 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	52
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	87
3.6	BENZO[A]PYREN	88
3.6.1	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE BENZO[A]PYRENU	89
3.6.2	MĚŘENÉ DENNÍ KONCENTRACE	90
4	ZÁVĚRY	94
5	CITOVANÁ LITERATURA	95
6	SEZNAM ZKRATEK POUŽITÝCH V DOKUMENTU	97

7 Příloha: Hodnocení zdravotních rizik 98

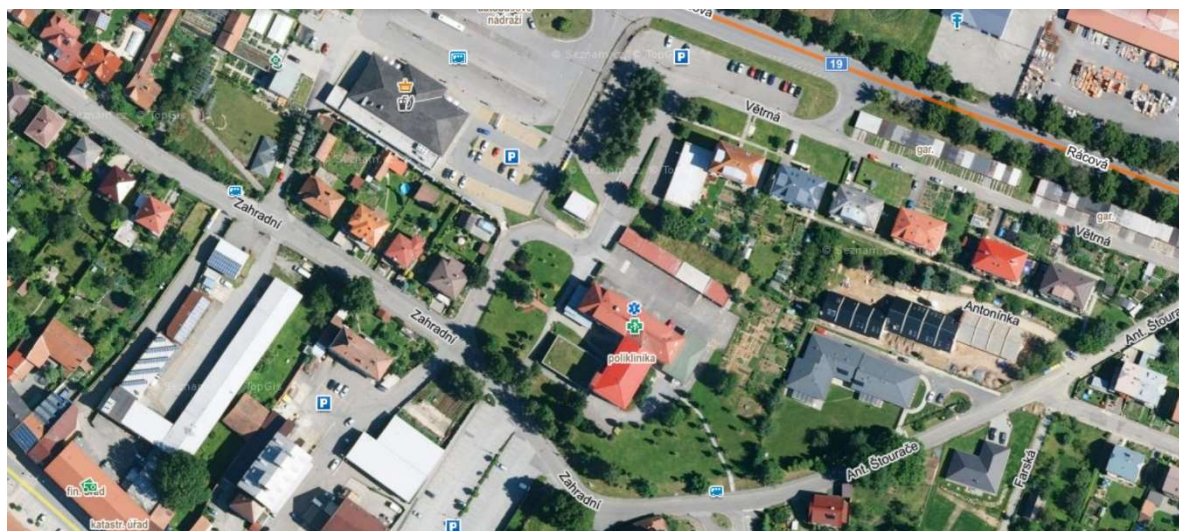
1 POPIS MĚŘICÍCH LOKALIT, METODIKA A LEGISLATIVA

1.1 MĚŘICÍ LOKALITY

1.1.1 Bystřice nad Pernštejnem

Název lokality:	Bystřice n. P.
Popis umístění:	ul. Zahradní, POLIKLINIKA (zdravotnické zařízení)
Zeměpisné souřadnice:	49.5254669N, 16.2611881E
Nadmořská výška:	535 m
Měřené látky:	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PAH
Meteorologické prvky:	ano

Měřicí vůz stojí na zelené ploše u zdravotnického zařízení města, v okolí stanice objekty občanské vybavenosti, obytné domy, drobná podnikatelská činnost, autobusové nádraží dopravní komunikace č. 19 a parkovací místa pro pacienty zdravotnického zařízení.



Obr. 1 – Přehledová mapka umístění lokality, Bystřice nad Pernštejnem, projekt ISKOV, rok 2020

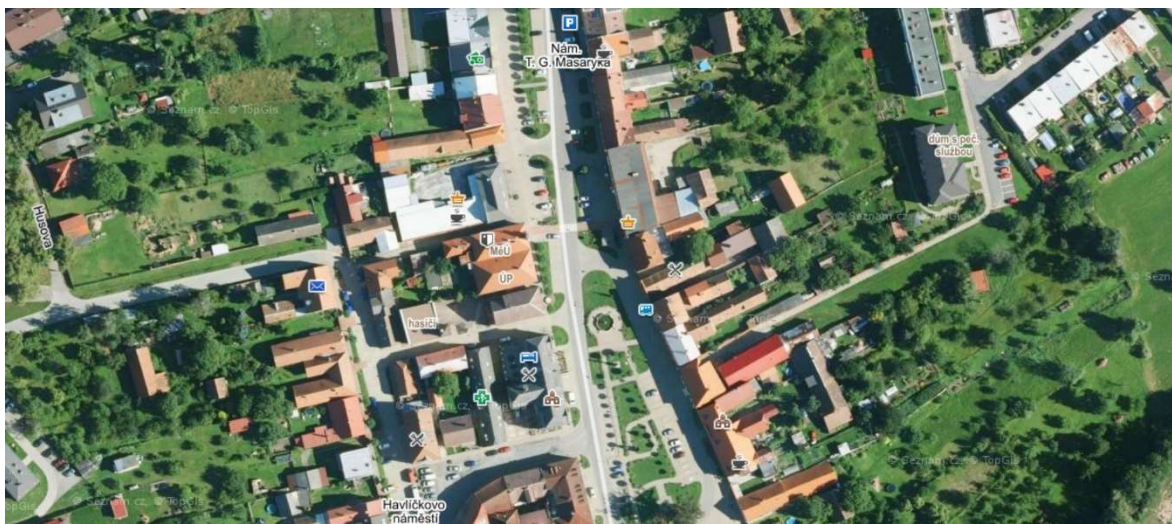


Obr. 2 – Lokalita Bystřice nad Pernštejnem, projekt ISKOV, rok 2020

1.1.2 Golčův Jeníkov

Název lokality:	Golčův Jeníkov
Popis umístění:	náměstí T.G. Masaryka
Zeměpisné souřadnice:	49.8157208N, 15.4773803E
Nadmořská výška:	376 m
Měřené látky:	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PAH
Meteorologické prvky:	ano

MVG stojí na zelené ploše v centru náměstí, v okolí stanice objekty občanské vybavenosti, obytné domy, dopravní komunikace a parkovací místa



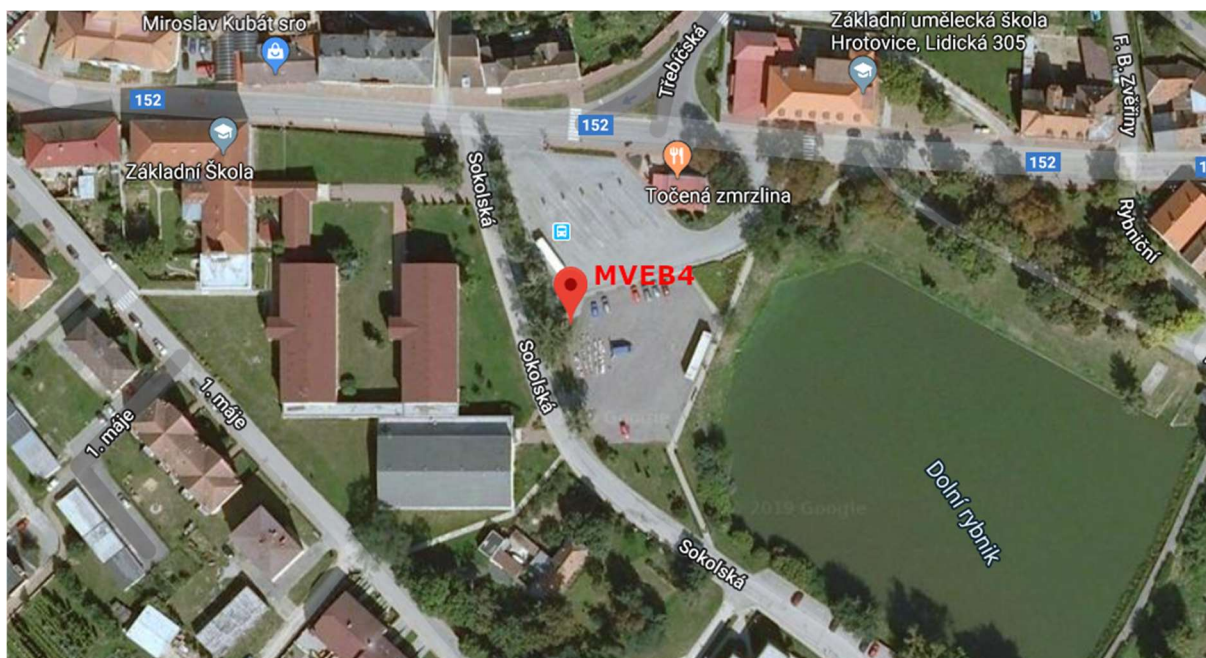
Obr. 3 – Přehledová mapka umístění lokality, Golčův Jeníkov, projekt ISKOV, rok 2020



Obr. 4 – Lokalita Golčův Jeníkov, projekt ISKOV, rok 2020

1.1.3 Hrotovice

Název lokality:	Hrotovice
Popis umístění:	parkoviště u autobusového nádraží na ulici Sokolská
Zeměpisné souřadnice:	49.107167N, 16.060111E
Nadmořská výška:	412 m
Měřené látky:	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO, NO ₂ , NO _x , O ₃
Meteorologické prvky:	ano



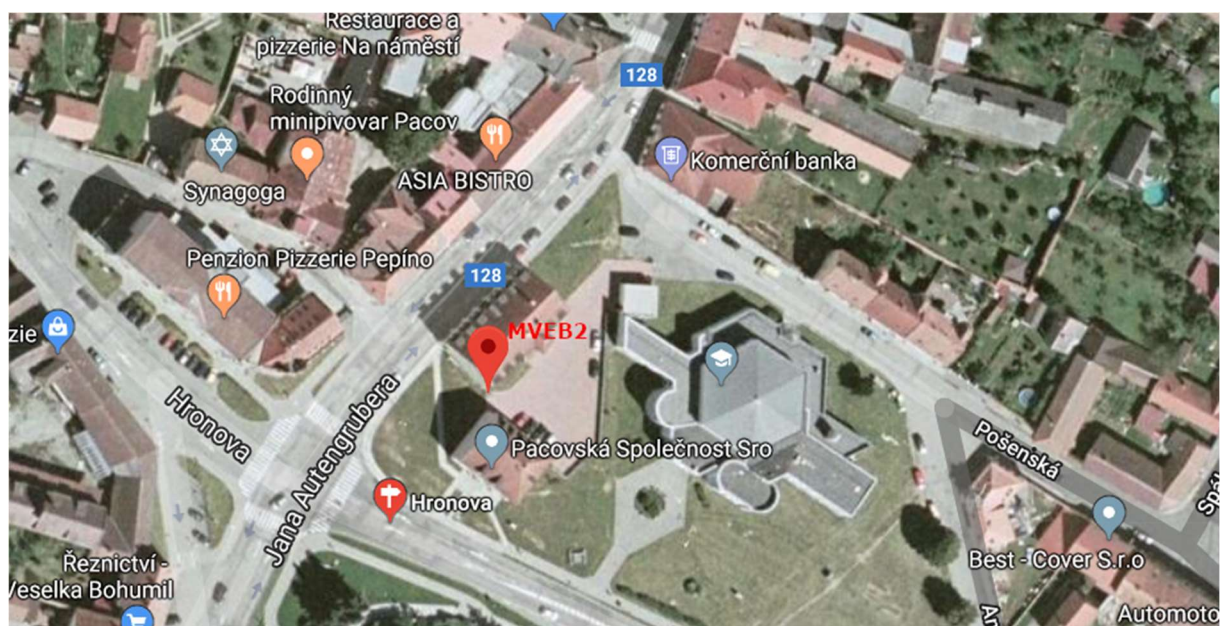
Obr. 5 – Přehledová mapka umístění lokality, Hrotovice, projekt ISKOV, rok 2020



Obr. 6 – Lokalita Hrotovice, projekt ISKOV, rok 2020

1.1.4 Pacov

Název lokality:	Pacov
Popis umístění:	parkoviště vedle Gymnázia Pacov na křižovatce ulic Jana Autengruberova a Hronovy
Zeměpisné souřadnice:	49.471067N, 15.002852E
Nadmořská výška:	559 m
Měřené látky:	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO, NO ₂ , NO _x , O ₃
Meteorologické prvky:	ano



Obr. 7 – Přehledová mapka umístění lokality, Pacov, projekt ISKOV, rok 2020



Obr. 8 – Lokalita Pacov, projekt ISKOV, rok 2020

1.2 METODIKA MĚŘENÍ

- Pro kontinuální měření prachu frakce PM_{10} byla použita ekvivalentní metoda podle ČSN EN 16450:2020 "Kvalita ovzduší – Automatické měřicí systémy pro stanovení aerosolových částic (PM_{10} , $PM_{2,5}$)", 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 DUSIČITÝ NO ₂	1 hodina	200 µg.m ⁻³	18
OXID DUSIČITÝ 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 2020 V ČR

Rok 2020 byl s průměrnou teplotou 9,1 °C a s odchylkou +1,2 °C od normálu 1981–2010 (a +1,6 °C od normálu 1961–1990) **silně nadnormální**, roky 2019, 2018, 2015 a 2014 byly mimořádně nadnormální a roky 2016 a 2017 nadnormální. Posledním teplotně normálním rokem byl rok 2013 s průměrnou teplotou 7,9 °C. Teplotní odchylka od normálu 1981–2010 v jednotlivých měsících kolísala od +4,6 °C v únoru, teplotně mimořádně nadnormální měsíc, až po –2,1 °C v květnu, který tak byl měsícem teplotně silně podnormálním. V průběhu roku byly měsíce březen, červen, červenec, říjen a listopad teplotně normální. Leden, duben, srpen, září a prosinec byly teplotně nadnormální.

Roční srážkový úhrn 764 mm zařazuje rok mezi roky srážkově nadnormální (normál za období 1981–2010 je v Česku 686 mm). Nejvíce srážek, v průměru 151 mm, což bylo 191 % normálu, napadlo v České republice v červnu a nejméně, v průměru jen 18 mm, to je 43 % normálu, v dubnu. Červen byl mimořádně nadnormální, únor a říjen silně nadnormální, srpen a září nadnormální, červenec a prosinec podnormální, leden, duben a listopad byly silně podnormální. Jen březen a květen byla měsíce srážkově normální.

Denní imisní limit PM₁₀ byl v roce 2020 překročen na třech stanicích ze 116, přičemž na počtu překročení hodnoty imisního limitu se nejvíce podílel měsíc leden. V roce 2020 byly nadlimitní koncentrace O₃ zaznamenány na více než polovině stanic. Maximální povolený počet překročení (25x v průměru za tři roky) hodnoty imisního limitu pro maximální denní 8hodinovou koncentraci O₃ (120 µg.m⁻³) byl překročen na 35 stanicích z 66. S koncem roku 2020 je možné vyhodnotit i překročení ročních imisních limitů, a to pro průměrnou roční koncentraci suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5} a NO₂. Na základě neverifikovaných dat ze stanic automatizovaného imisního monitoringu (AIM) ČHMÚ a dalších dodavatelů imisních dat lze konstatovat, že imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM₁₀ nebyl překročen na žádné ze 123 stanicí AIM, přičemž nejvyšší roční průměrná koncentrace 29,3 µg.m⁻³ byla naměřena na průmyslové stanici Ostrava-Radvanice ZÚ. Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM_{2,5} byl překročen na dvou stanicích (průmyslová stanice Ostrava-Radvanice ZÚ a venkovská stanice Věřňovice) z 85 stanicí AIM a imisní limit pro průměrnou roční koncentraci NO₂ nebyl překročen na žádné stanici ze 104, přičemž nejvyšší koncentrace 38,9 µg.m⁻³ byla dosažena na dopravní stanici Praha 2 – Legerova (hot spot).

V roce 2020 nebyla vyhlášena žádná smogová situace a regulace. Na základě předběžných dat lze konstatovat, že v roce 2020 poklesly koncentrace všech hodnocených polutantů, a to suspendovaných částic PM₁₀, PM_{2,5}, přízemního ozonu O₃ i oxidu dusičitého NO₂ [1].

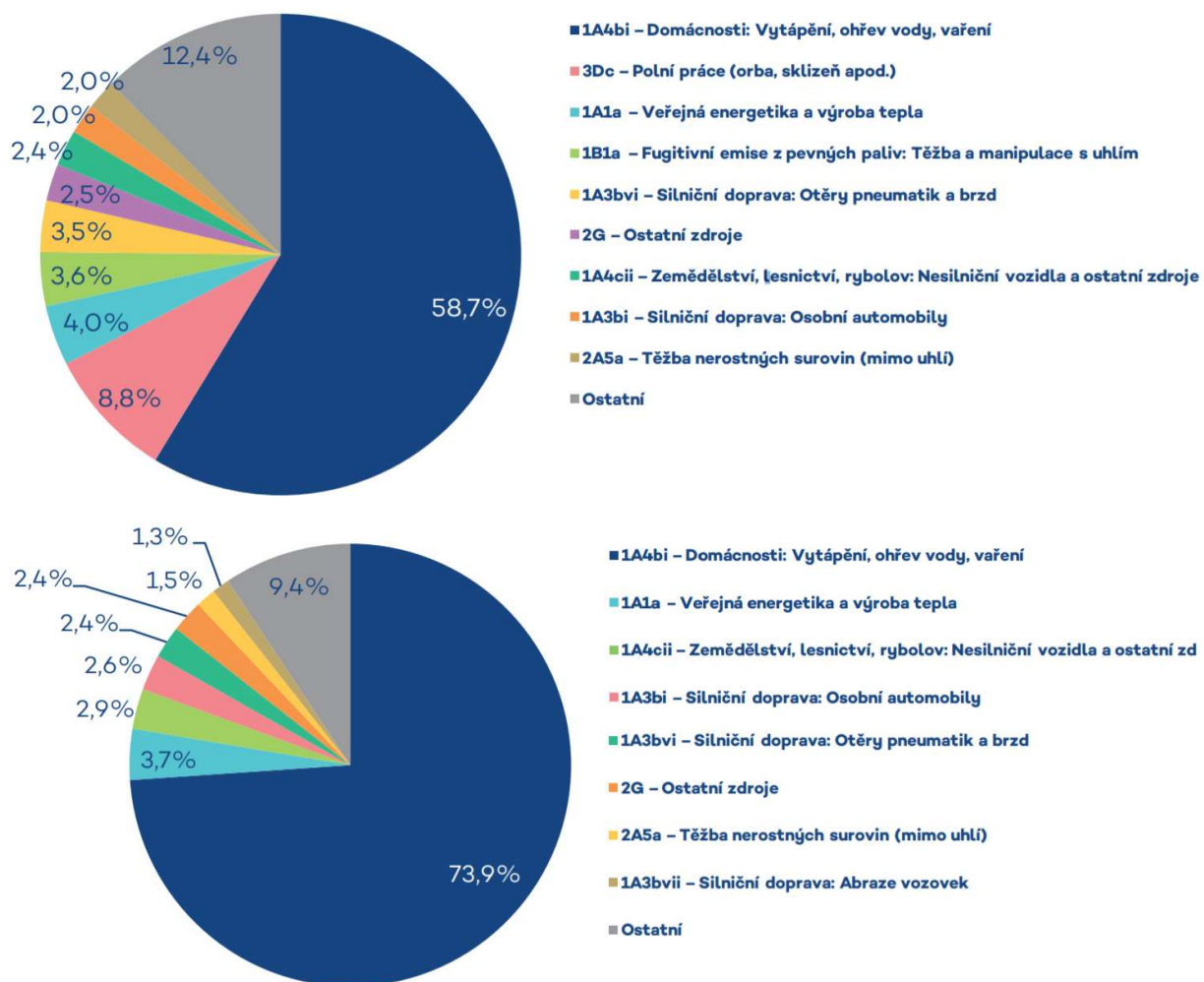
3 VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ

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 2020 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 2018 patřil v rámci celé ČR sektor *1A4bi – Lokální vytápění domácností*, který se podílel na znečišťování ovzduší v celorepublikovém měřítku látkami PM₁₀ 58,7 % a PM_{2,5} 73,9 %. Mezi další významné zdroje emisí PM₁₀ patřil sektor *3Dc – Polní práce*, kde tyto emise vznikají při obdělávání půdy, sklizni a čištění zemědělských plodin. Tento sektor představoval 8,8 % emisí PM₁₀. *Doprava* se na emisích PM₁₀ podílela 11,2 % a na emisích PM_{2,5} 11,1 % [7].



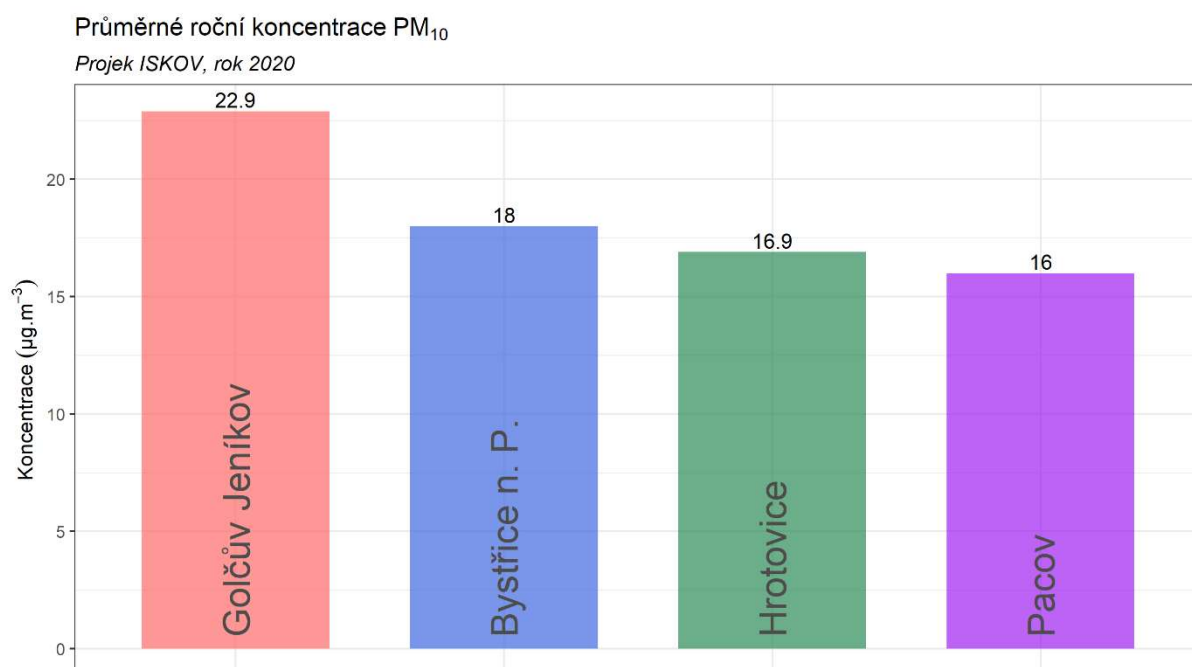
Obr. 9 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích PM_{10} (nahore) a $PM_{2,5}$ (dole) v ČR, rok 2018 [7].

3.1.1 Průměrná roční koncentrace

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

Tab. 4 – Průměrná roční koncentrace PM_{10} , projekt ISKOV, rok 2020

LOKALITA	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE PM_{10} ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
BYSTŘICE NAD PERNŠTEJNEM	18
GOLČŮV JENÍKOV	22,9
HROTOVICE	16,9
PACOV	16



Obr. 10 – Průměrná roční koncentrace PM_{10} , projekt ISKOV, rok 2020

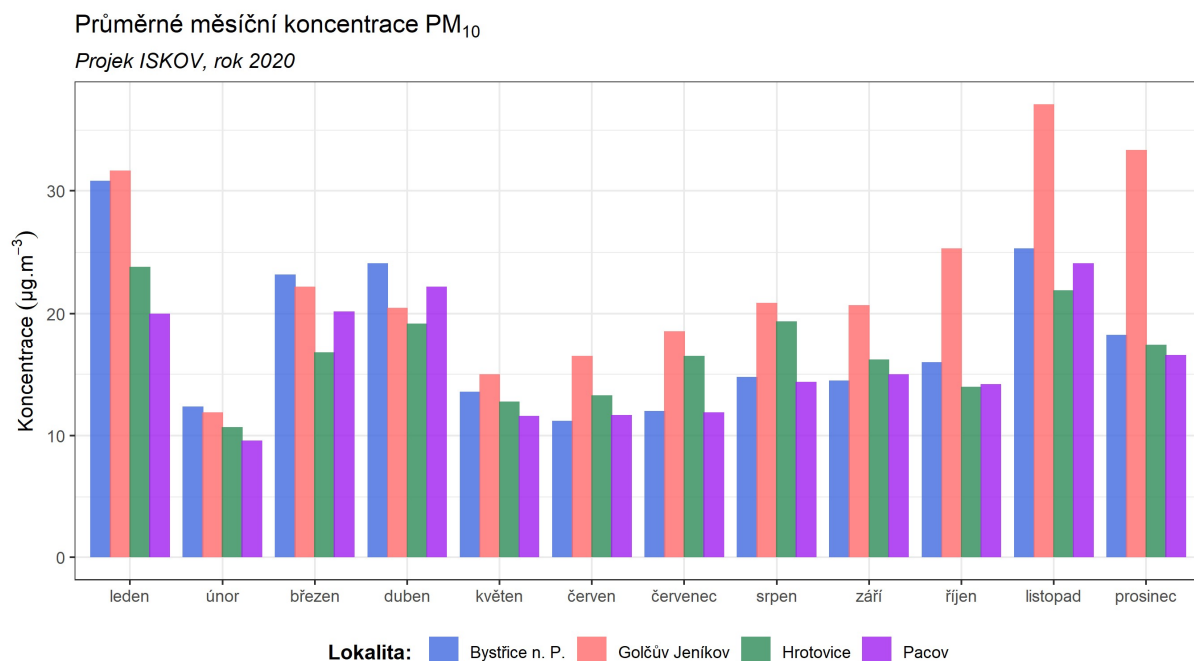
Z uvedeného vyplývá, že nejvyšší průměrná roční koncentrace PM_{10} byla naměřena v lokalitě Golčův Jeníkov, nejnižší pak v lokalitě Pacov. **Ani na jedné lokalitě nedošlo k překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci PM_{10} ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).**

3.1.2 Průměrné měsíční koncentrace

Průměrné měsíční koncentrace, naměřené v jednotlivých lokalitách v roce 2020, 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, březnu a listopadu. 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 Golčův Jeníkov a měla hodnotu 37,1 µg·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 2020

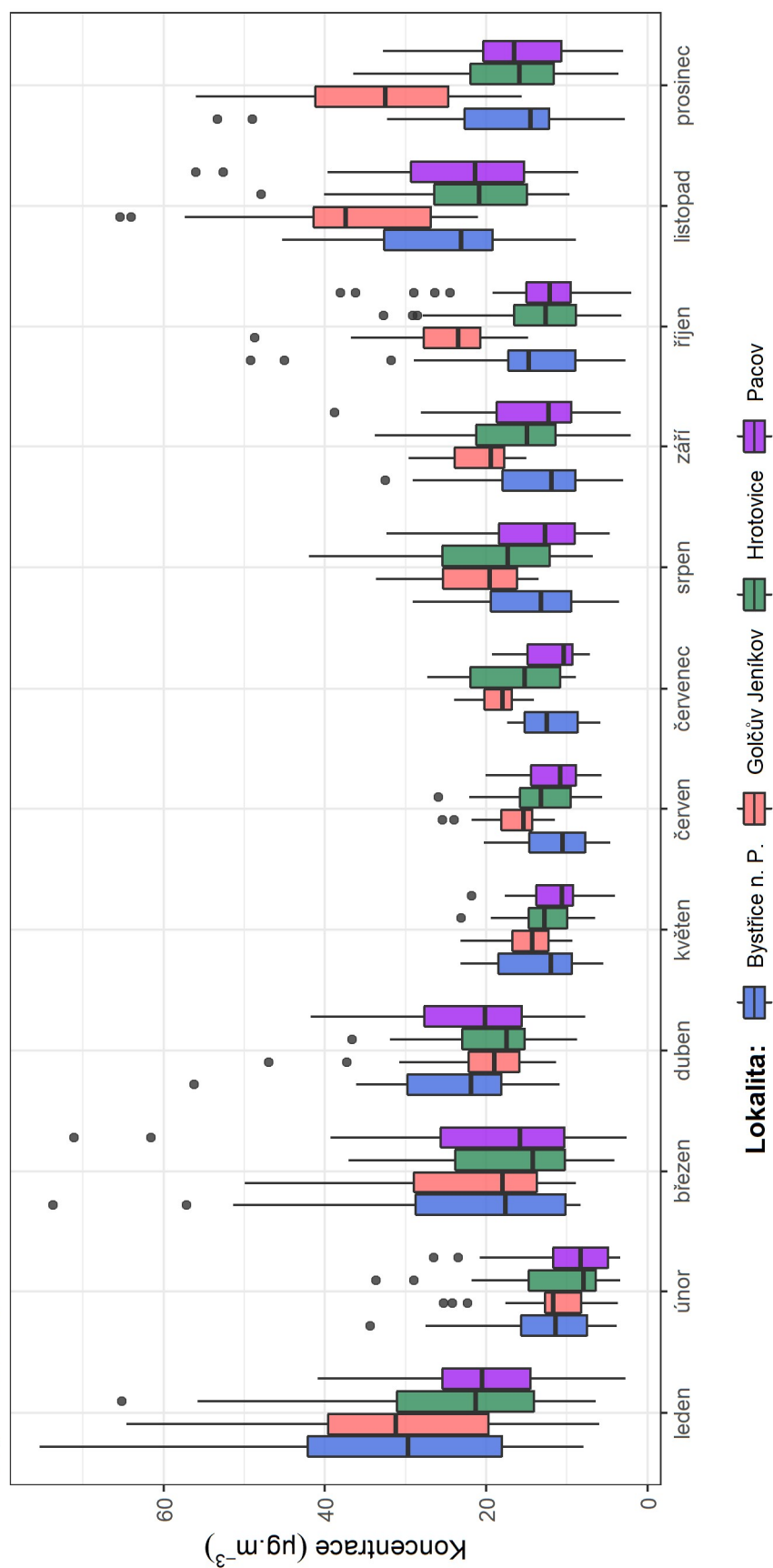
MĚSÍC	BYSTŘICE NAD PERNŠTEJNEM	GOLČŮV JENÍKOV	HROTOVICE	PACOV
LEDEN	30,8	31,7	23,8	20
ÚNOR	12,4	11,9	10,7	9,6
BŘEZEN	23,2	22,2	16,8	20,2
DUBEN	24,1	20,5	19,2	22,2
KVĚTEN	13,6	15	12,8	11,6
ČERVEN	11,2	16,5	13,3	11,7
ČERVENEC	12	18,6	16,5	11,9
SRPEN	14,8	20,9	19,4	14,4
ZÁŘÍ	14,5	20,7	16,2	15
ŘÍJEN	16	25,3	14	14,2
LISTOPAD	25,3	37,1	21,9	24,1
PROSINEC	18,3	33,4	17,5	16,6



Obr. 11 – Průměrné měsíční koncentrace PM₁₀, projekt ISKOV, rok 2020

Statistické zpracování průměrných denních koncentrací PM_{10} v jednotlivých měsících

Projekt ISKOV, rok 2020



Obr. 12 – Statistické zpracování průměrných denních koncentrací PM_{10} v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2020

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.

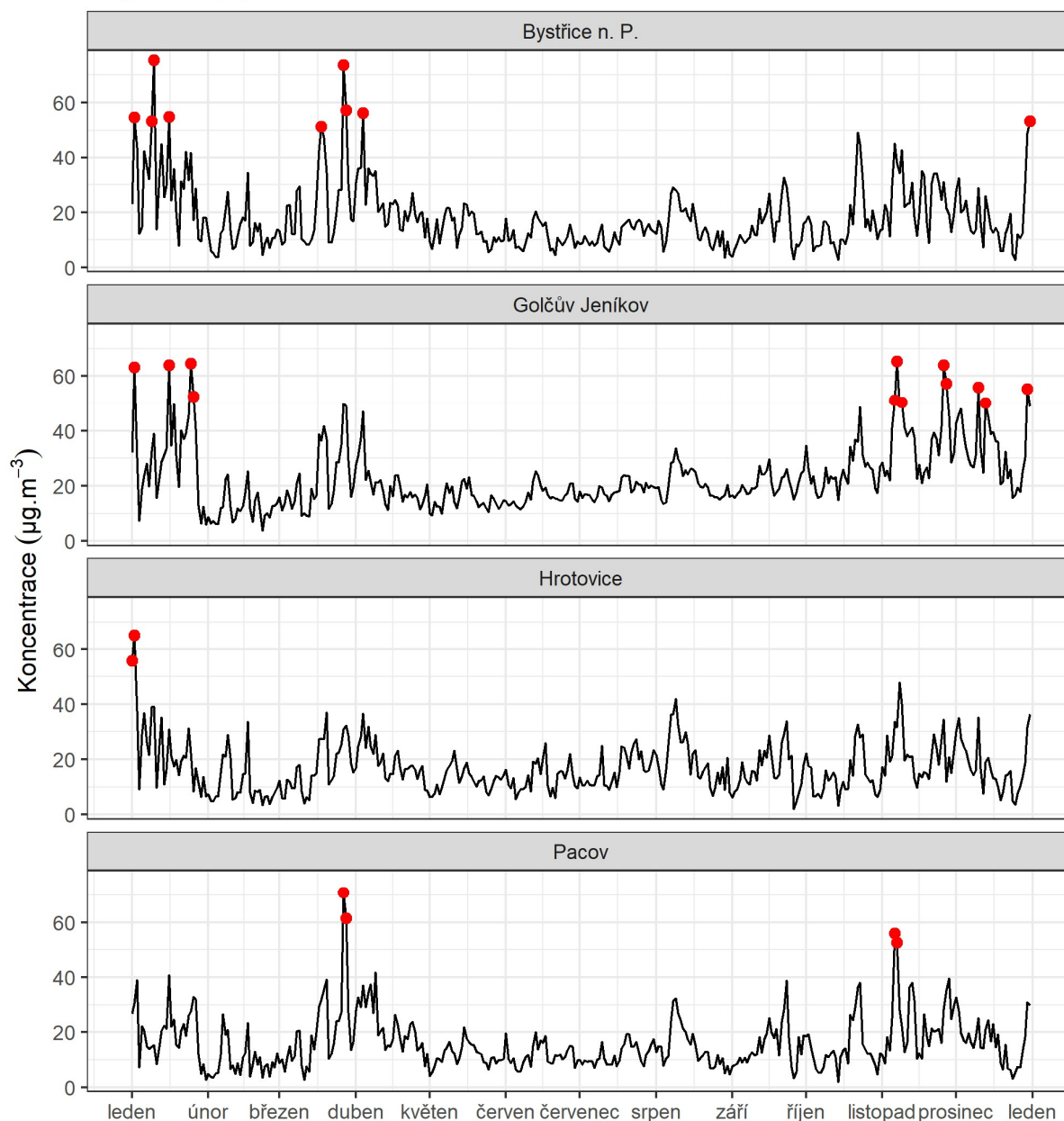
Tab. 6 – 36 nejvyšších průměrných denních koncentrací PM₁₀, projekt ISKOV, rok 2020

POŘADÍ	BYSTRICE NAD PERNŠTEJNEM	GOLČŮV JENÍKOV	HROTOVICE	PACOV
1	75,4	65,4	65,2	71,1
2	73,7	64,6	55,8	61,6
3	57,2	64	47,9	56
4	56,2	64	42	52,6
5	54,9	63,3	40,1	41,8
6	54,7	57,4	39,1	40,9
7	53,3	56	39	39,7
8	53,3	55,4	37,7	39,3
9	51,4	52,5	37,1	39
10	49,2	51,1	36,9	38,8
11	49	50,4	36,6	38,1
12	47,4	50,2	36,5	38
13	45,3	49,9	36,5	37,5
14	45	49,8	36,2	37
15	45	49	35,3	36,4
16	43,8	48,9	35,3	36,2
17	42,9	48,8	35,1	35,4
18	42,7	48,7	34,5	35,2
19	42,5	48	33,8	34,5
20	42,3	47	33,7	33
21	41,9	46,1	33,7	32,8
22	37,9	45,7	32,7	32,7
23	36,5	45,4	32,5	32,4
24	36,1	45	32,3	32
25	35,9	42,9	31,9	31,8
26	35,7	41,8	31,7	31,7
27	35,7	41,5	31,7	31,4
28	35	41,2	31,3	30,9
29	34,9	41,1	30,9	30,6
30	34,4	41,1	30,9	29,8
31	34,3	40,8	30	29,7
32	34,2	40,1	29,9	29,3
33	34,1	39,5	29,2	29,2
34	34	39,5	29,2	29,1
35	33,9	39,3	29,1	29
36	33,2	39,1	29,1	28,3

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 Golčův Jeníkov (12) a Bystřice nad Pernštejnem (9x), nejméně pak v lokalitě Hrotovice (2x). Výskyt těchto dnů s překročenou hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM_{10} pak zobrazuje následující Obr. 13.

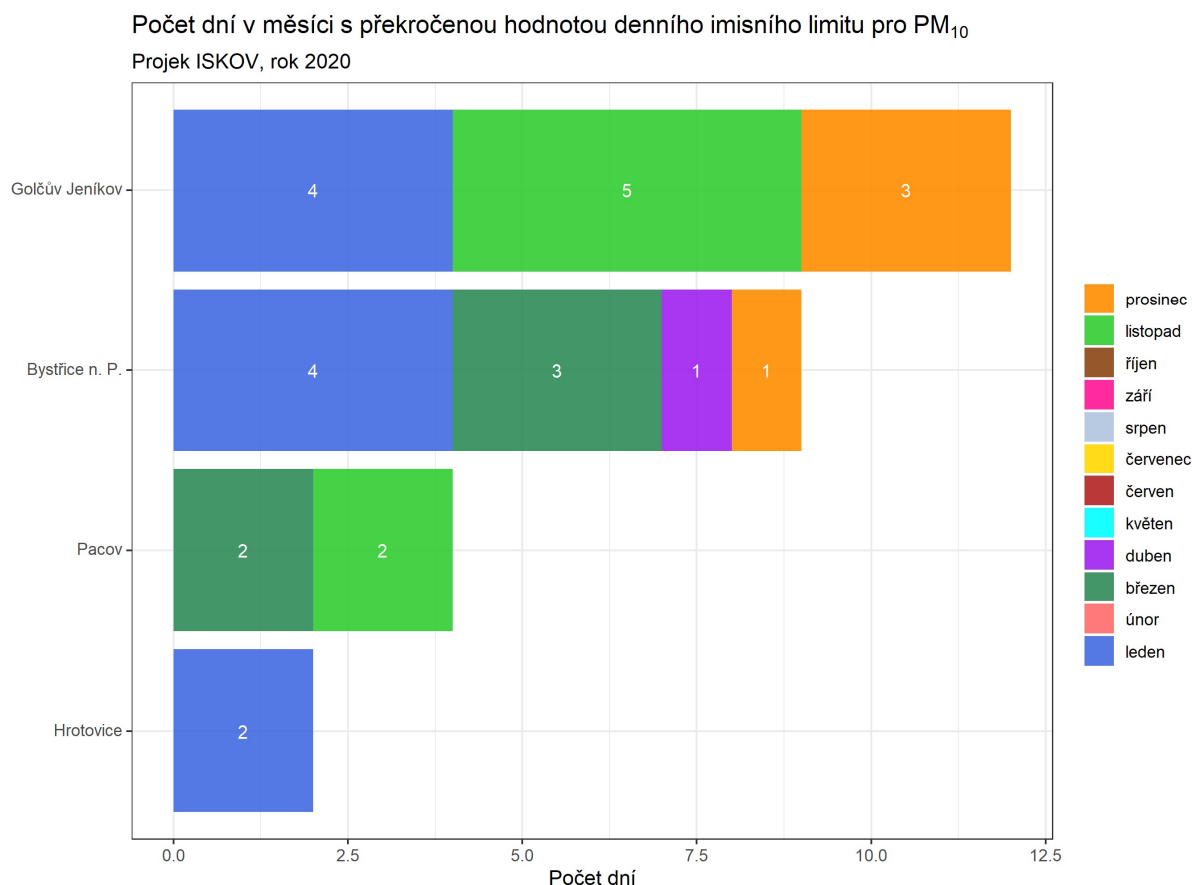
Výskyt dní s překročenou hodnotou denního imisního limitu pro PM_{10}

Projek ISKOV, rok 2020



Obr. 13 – Vývoj průměrných denních koncentrací PM_{10} včetně výskytu dní s koncentracemi vyššími než $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, projekt ISKOV, rok 2020

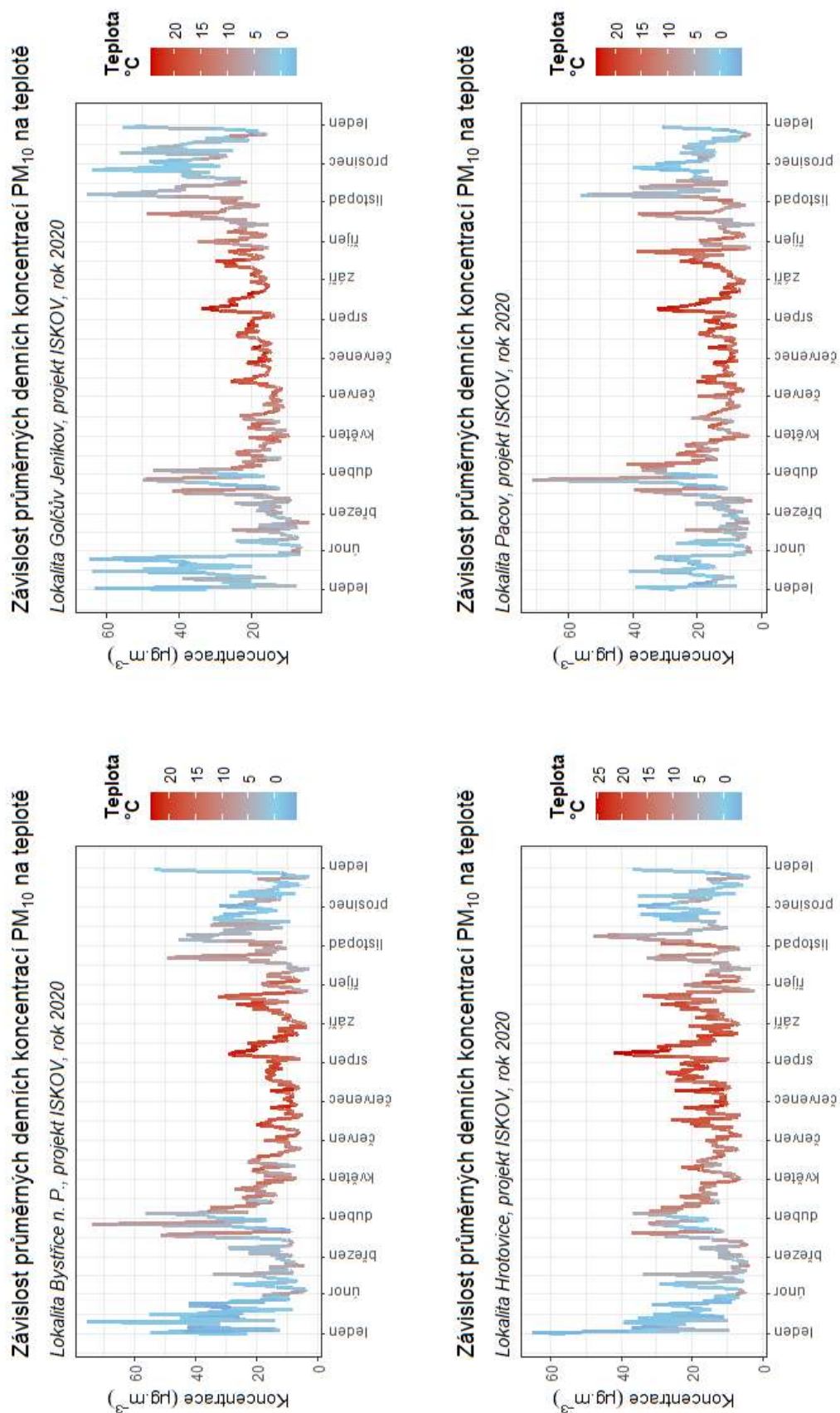
Souhrnně pak počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM_{10} uvádí následující Obr. 14. Z něj je dobře patrné, že nejvíce se na překračování podílely měsíce leden, březen a listopad.



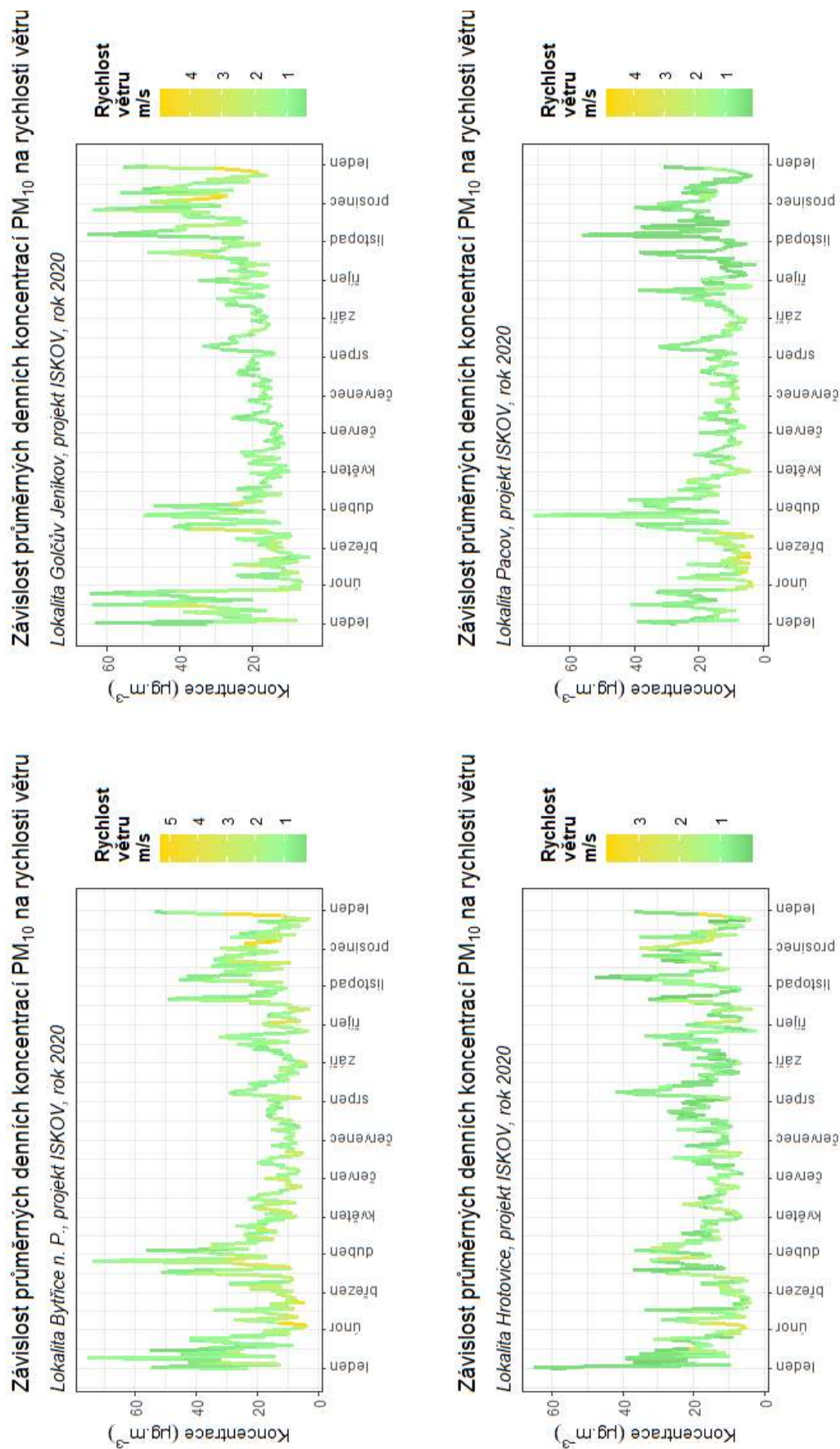
Obr. 14 – Počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro denní koncentraci PM_{10} , projekt ISKOV, rok 2020

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

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



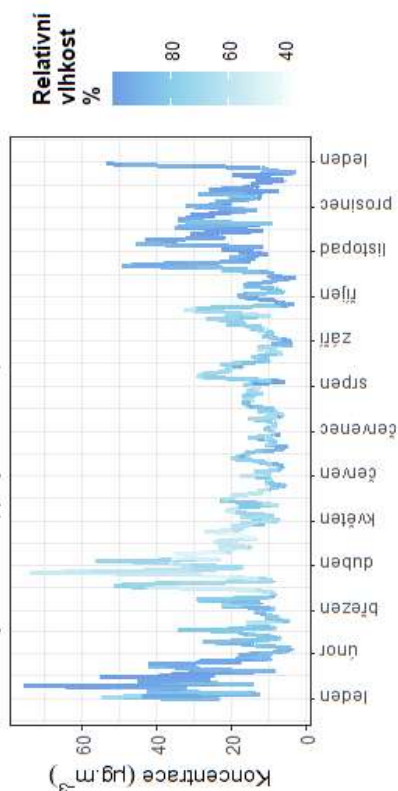
Obr. 15 – Vliv teploty vzduchu na průměrné denní koncentrace PM_{10} , projekt ISKOV, rok 2020



Obr. 16 – Vliv rychlosti větru na průměrné denní koncentrace PM₁₀, projekt ISKOV, rok 2020

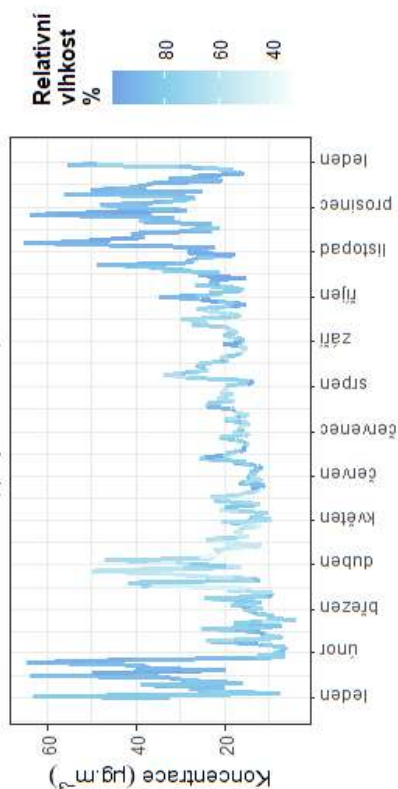
Závislost průměrných denních koncentrací PM_{10} na relativní vlhkosti

Lokalita Bystřice n. P., projekt ISKOV, rok 2020



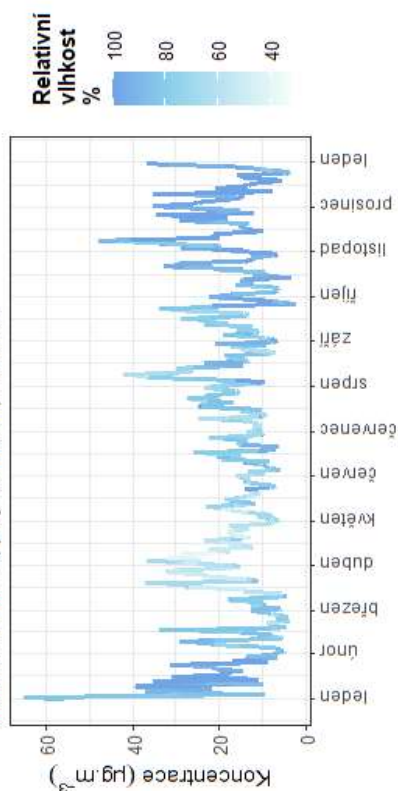
Závislost průměrných denních koncentrací PM_{10} na relativní vlhkosti

Lokalita Golčův Jeníkov, projekt ISKOV, rok 2020



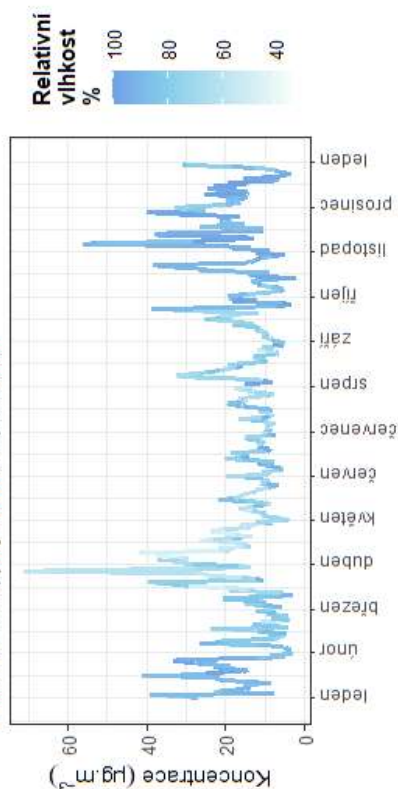
Závislost průměrných denních koncentrací PM_{10} na relativní vlhkosti

Lokalita Hrotovice, projekt ISKOV, rok 2020



Závislost průměrných denních koncentrací PM_{10} na relativní vlhkosti

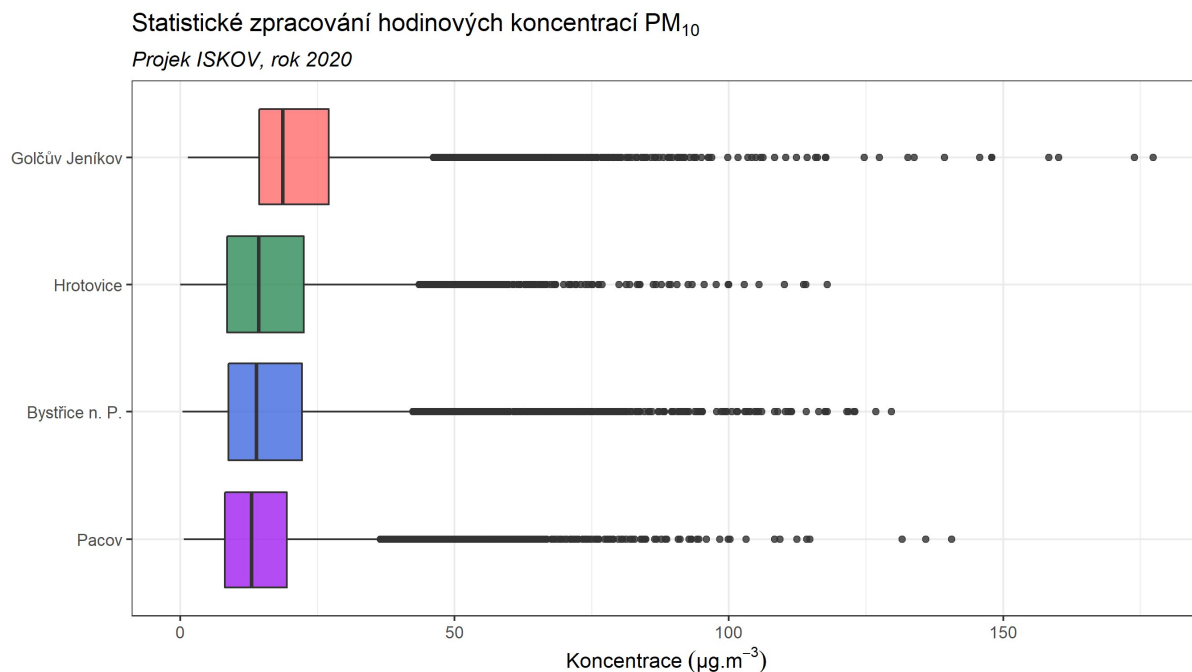
Lokalita Pacov, projekt ISKOV, rok 2020



Obr. 17 – Vliv relativní vlhkosti vzduchu na průměrné denní koncentrace PM_{10} , projekt ISKOV, rok 2020

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).



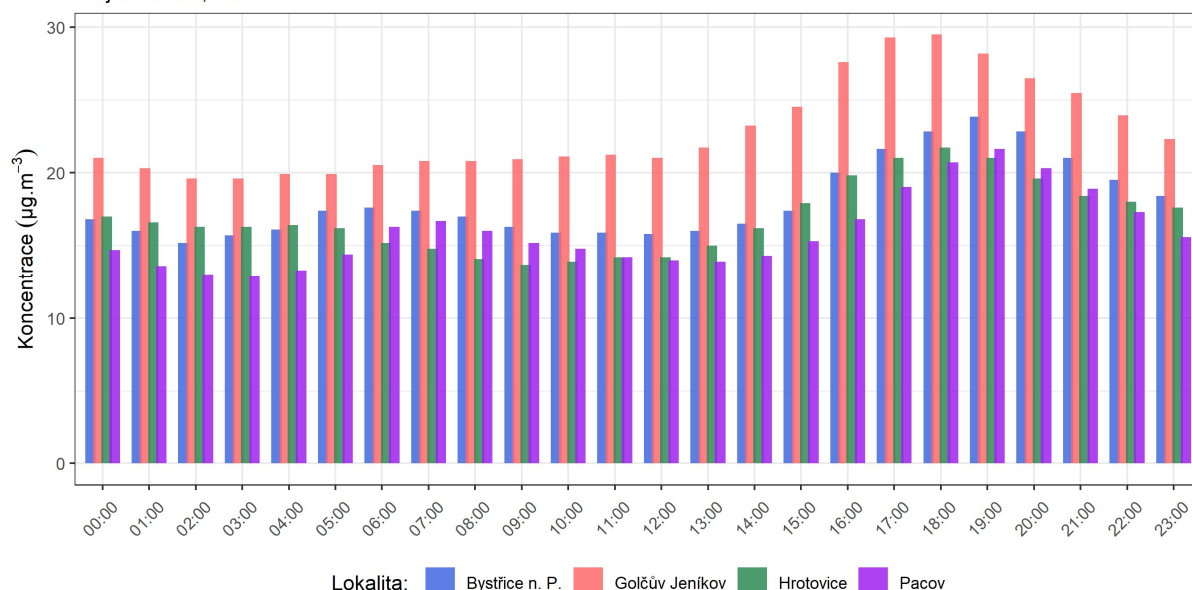
Obr. 18 – Statistické zpracování hodinových koncentrací PM₁₀ v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2020

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 $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, nejvíce jich však je v Golčově Jeníkově, kdy ojediněle nastoupala hodnota hodinové koncentrace až k $180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Takto vysoká koncentrace mohla být důsledkem zhoršených rozptylových podmínek, emisí z lokálních topenišť ve večerních hodinách.

Nejvyšší koncentrace v lokalitě Golčův Jeníkov byla naměřena 16. 1. 2020 v 17:00 a měla hodnotu $177,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší koncentrace v lokalitě Hrotovice byla naměřena dne 1. 1. 2020 v 20 hodin a měla hodnotu $117,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší koncentrace v lokalitě Bystřice nad Pernštejnem byla naměřena 31. 12. 2020 v 19:00 a měla hodnotu $129,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a nejvyšší koncentrace v lokalitě Pacov byla naměřena 12. 11. 2020 v 18:00 a měla hodnotu $140,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Společné pro tyto lokality je, že nejvyšší hodnoty byly dosaženy v odpoledních až večerních hodinách v topné sezóně, kdy se lidé vrací z práce a zatápějí.

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).

Průměrný denní chod hodinových koncentrací PM₁₀
 Projekt ISKOV, rok 2020



Obr. 19 – Průměrný denní chod hodinových koncentrací PM₁₀, projekt ISKOV, rok 2020. 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. Obzvláště v Golčově Jeníkově narůstají koncentrace ve večerních hodinách velmi významně.

3.1.5 Růžice – detailní analýza hodinových hodnot

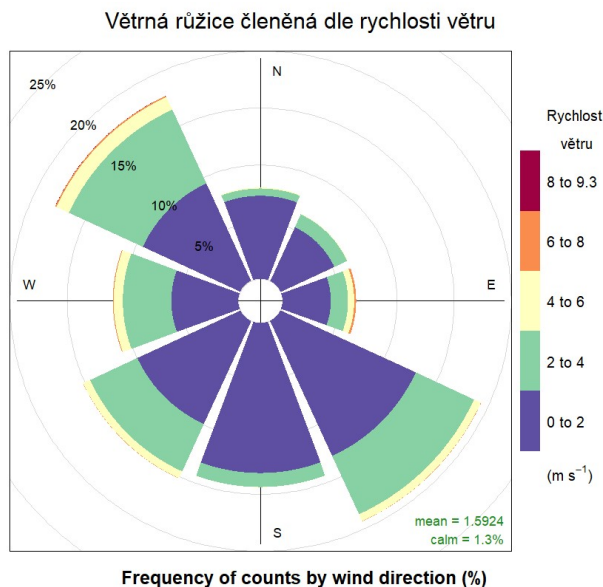
V této podkapitole budou pro všechny lokality připraveny větrné a koncentrační růžice. Větrná růžice bude kromě směrů větru členěna rovněž dle rychlostí větru, které jsou pro koncentrace škodlivin důležité.

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.

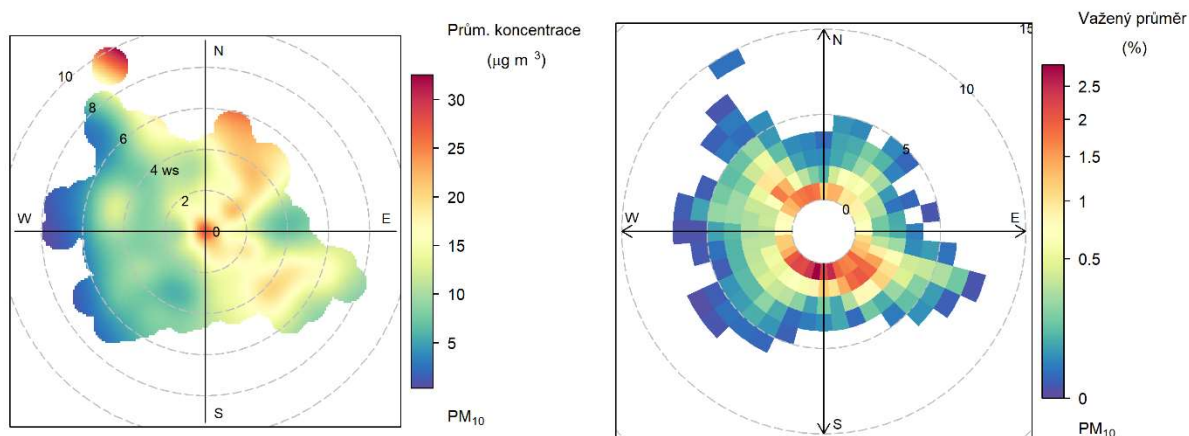
3.1.5.1 Bystřice nad Pernštejnem

Na Obr. 20 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Bystřice nad Pernštejnem*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severozápadních a jihovýchodních směrů. Lokalita je dobře provětrávaná, byly měřeny i vyšší rychlosti větru. Bezvětří se v této lokalitě vyskytovalo zhruba v 1,3 % času. Průměrná rychlost proudění větru byla cca $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 20 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Bystřice nad Pernštejnem, rok 2020

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

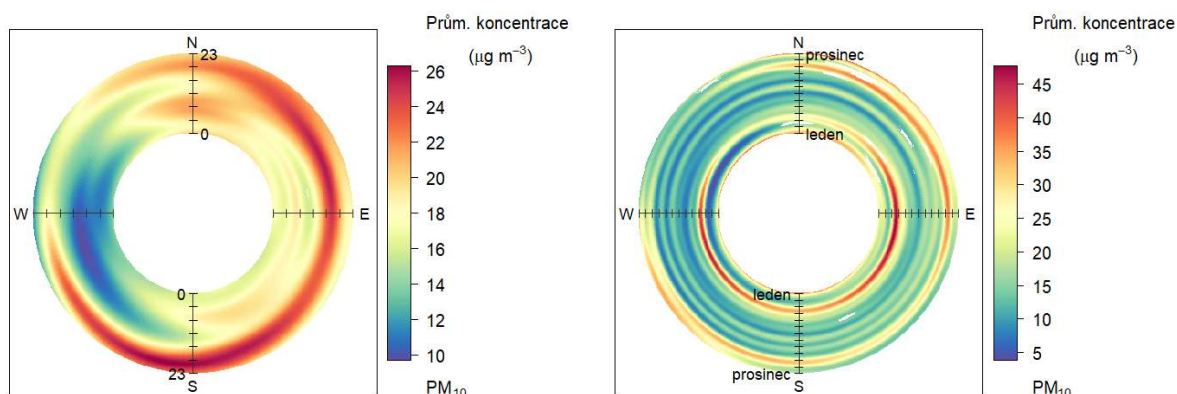


Obr. 21 – Koncentrační růžice PM_{10} , lokalita Bystřice nad Pernštejnem, rok 2020

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

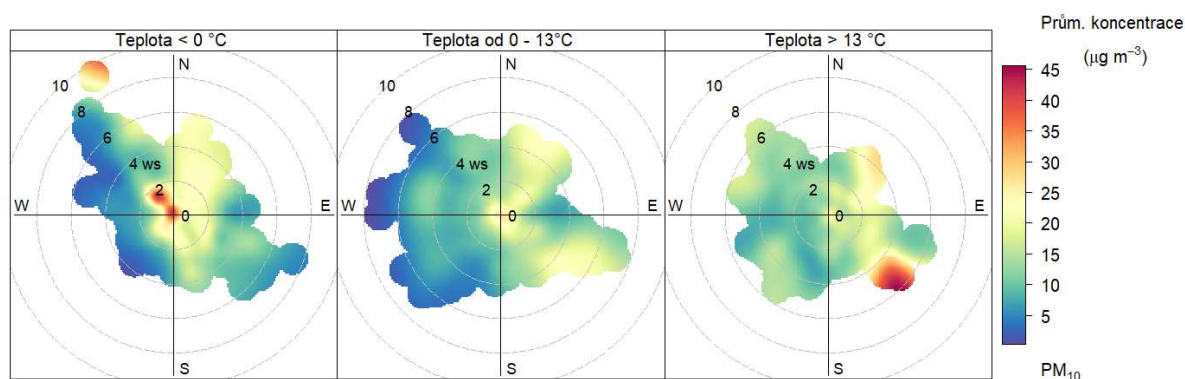
Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Bystřice nad Pernštejnem* je tento denní chod vynesena na Obr. 22.



Obr. 22 – Denní a roční chod koncentrací PM_{10} členěný dle směru větru, lokalita *Bystřice nad Pernštejnem*, rok 2020

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací PM_{10} je důležitý zejména jižní, východní až severovýchodní směr větru téměř výhradně ve večerních a nočních hodinách. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace především v topné sezóně.

Následující Obr. 23 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

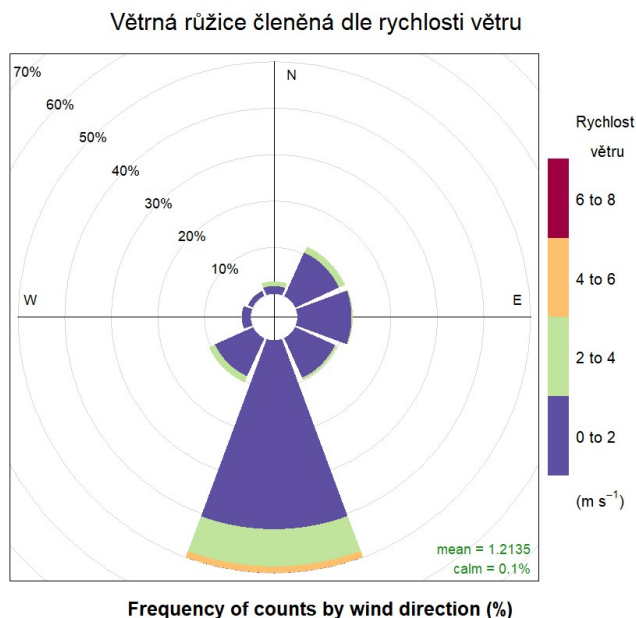


Obr. 23 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Bystřice nad Pernštejnem*, rok 2020

Z koncentračních růžic vyplývá, že nejvyšší koncentrace byly měřeny při teplotách pod bodem mrazu a bezvětří nebo severozápadním až severovýchodním proudění. Vysoké koncentrace pak byly měřeny také při teplotách nad $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vyšších rychlostech větru z jihovýchodu. To může souviset např. s větrnou erozí.

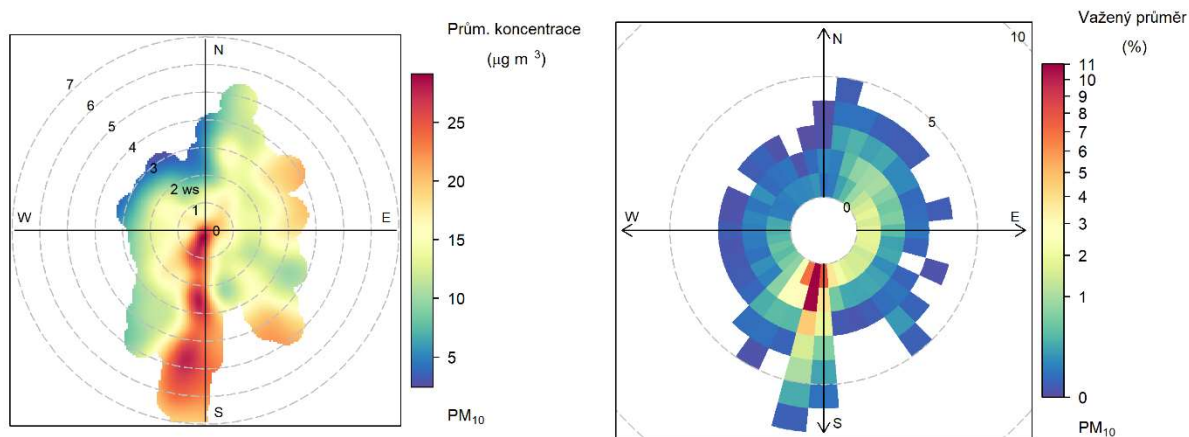
3.1.5.2 Golčův Jeníkov

Na Obr. 24 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Golčův Jeníkov*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především z jižních směrů, vyšší rychlosti větru než $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pak byly zaznamenány také právě z jižních směrů. Bezvětří panovalo zhruba v 0,1 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 24 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Golčův Jeníkov, rok 2020

Následující Obr. 25 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro PM_{10} v lokalitě *Golčův Jeníkov*.

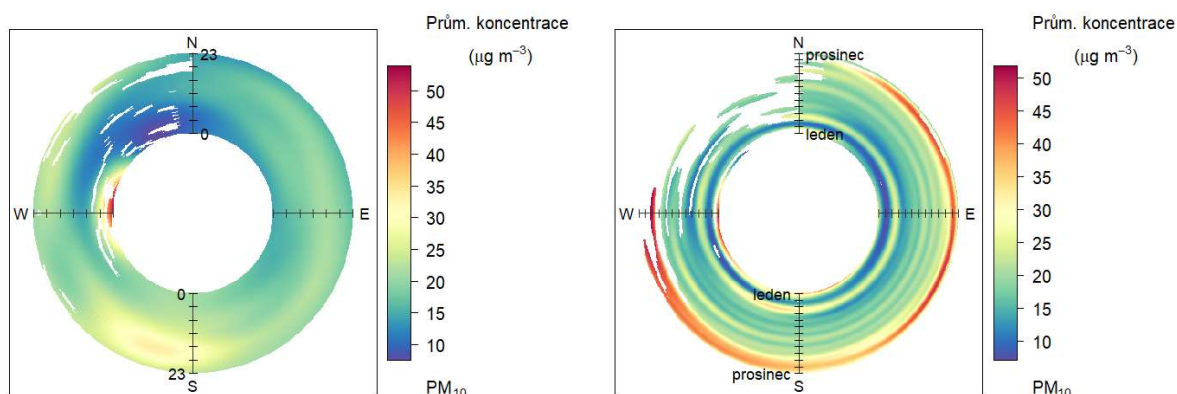


Obr. 25 – Koncentrační růžice PM_{10} , lokalita Golčův Jeníkov, rok 2020

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

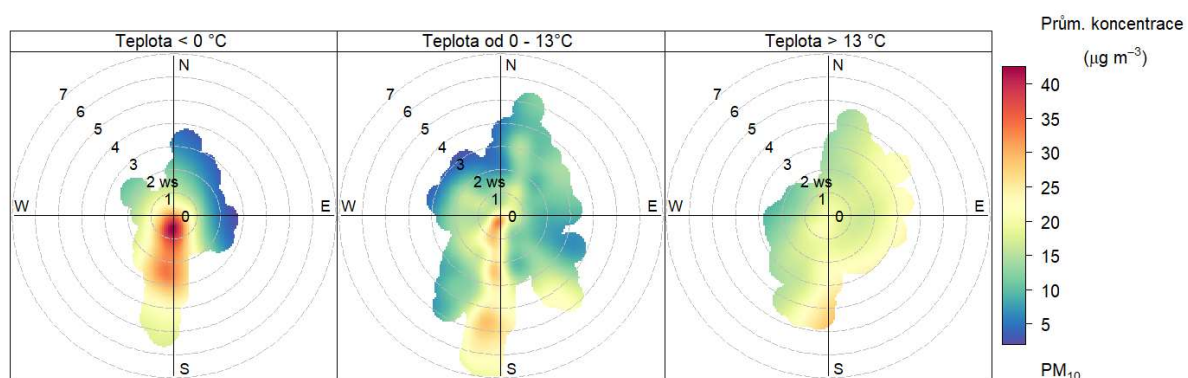
Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Golčův Jeníkov* je tento denní chod vynesena na Obr. 26.



Obr. 26 – Denní a roční chod koncentrací PM_{10} členěný dle směru větru, lokalita *Golčův Jeníkov*, rok 2020

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací PM_{10} je důležitý zejména jižní směr větru, i když maximum bylo naměřeno při západním proudění. Z tohoto směru foukalo velmi málo, mohlo tedy jít o jednorázové ovlivnění. Maxima jsou pak dosahována zejména ve večerních a nočních hodinách. To může souviset se zatápěním lidí v obci po návratu z práce. Navíc jsou v noci obecně horší rozptylové podmínky. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace pouze v topné sezóně.

Následující Obr. 27 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

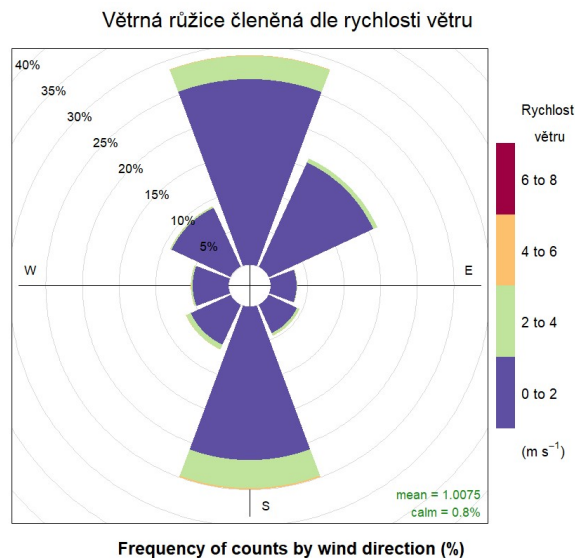


Obr. 27 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Golčův Jeníkov*, rok 2020

Z koncentračních růžic vyplývá, že nejvyšší koncentrace jsou takřka výhradně měřeny při teplotách nižších, než je bod mrazu, zejména při jižním proudění či bezvětří.

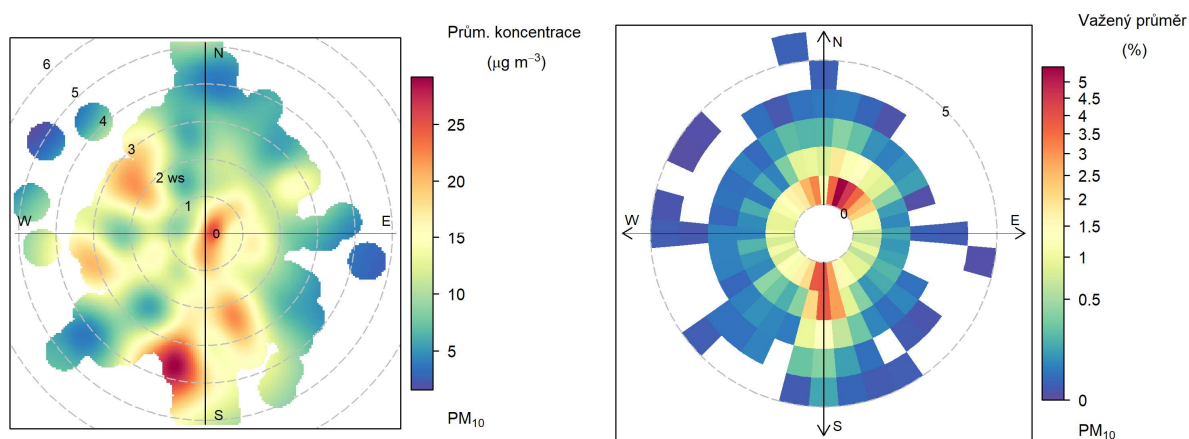
3.1.5.3 Hrotovice

Na Obr. 28 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Hrotovice*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severu a jihu. Vyšší rychlosti větru než $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pak byly zaznamenány právě z těchto směrů. Bezvětří panovalo zhruba v 0,8 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 28 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Hrotovice, rok 2020

Následující Obr. 29 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro PM_{10} v lokalitě *Hrotovice*.

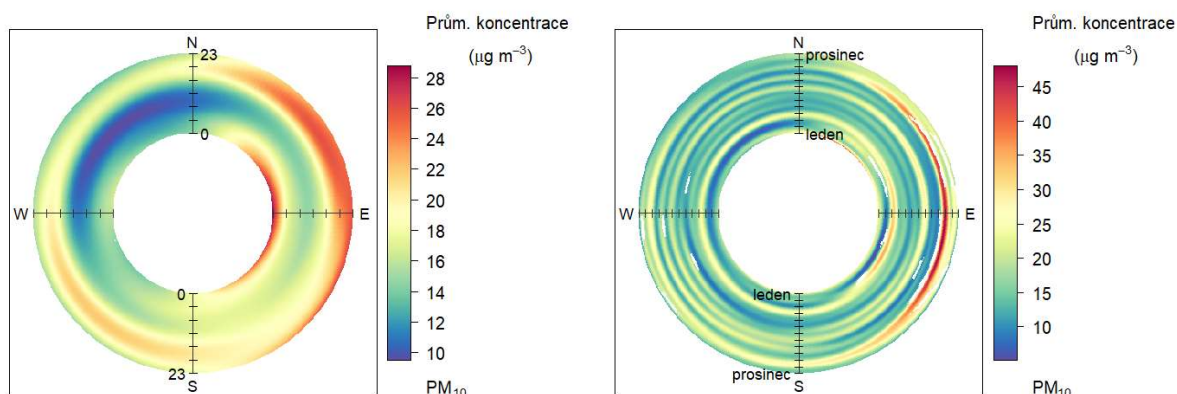


Obr. 29 – Koncentrační růžice PM_{10} , lokalita Hrotovice, rok 2020

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění z jihu až jihozápadu při vyšších rychlostech větru, popř. při bezvětří. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností PM_{10} přišlo ze severních a 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.

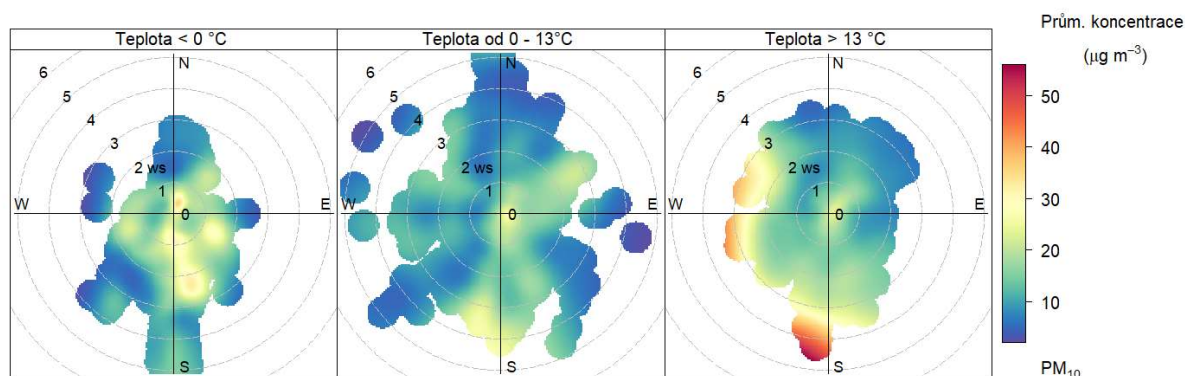
Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Hrotovice* je tento denní chod vynesena na Obr. 30.



Obr. 30 – Denní a roční chod koncentrací PM_{10} členěný dle směru větru, lokalita *Hrotovice*, rok 2020

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

Následující Obr. 31 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

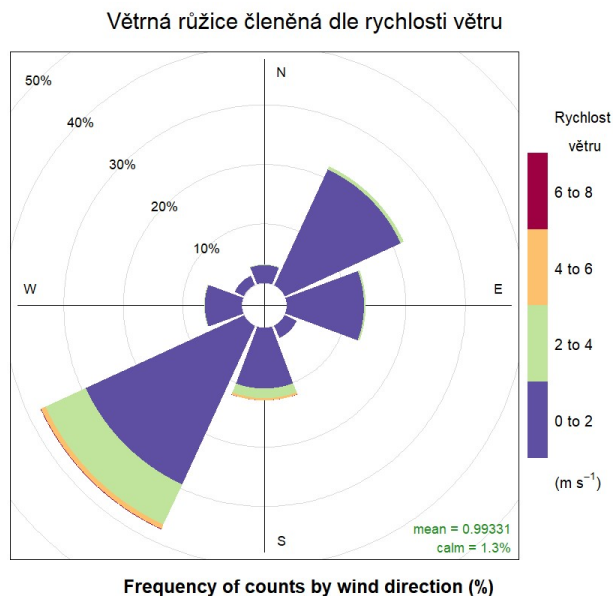


Obr. 31 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Hrotovice*, rok 2020

Z koncentračních růžic vyplývá, že při teplotách pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou měřeny zvýšené koncentrace při proudění z jihu či bezvětří. Při teplotách nad $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou měřeny vysoké koncentrace při jižním a západním proudění a vyšších rychlostech větru. Tyto vysoké koncentrace mohou souviset také se zemědělskou činností a větrnou erozí. Ta souvisí zejména se suchým a teplým počasím a vyššími rychlostmi větru, což může být právě tento případ.

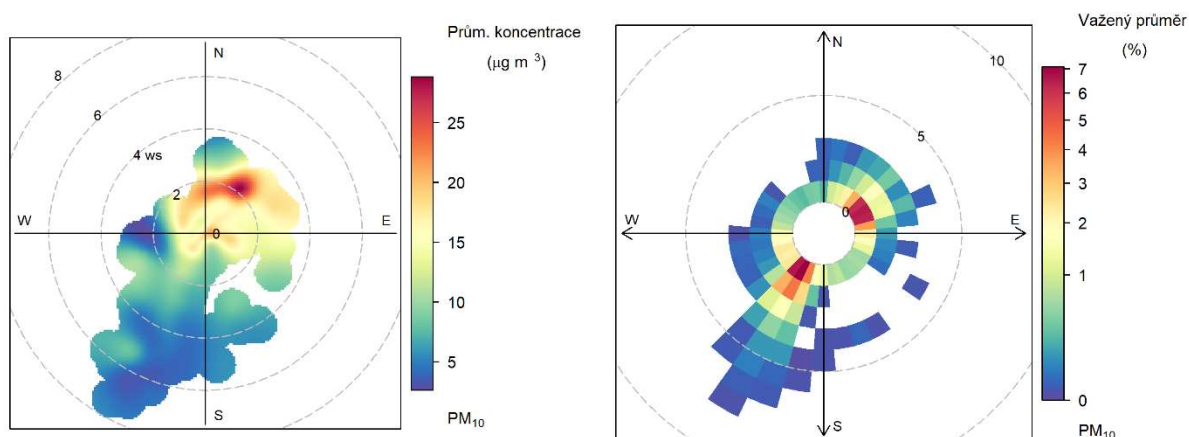
3.1.5.4 Pacov

Na Obr. 32 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Pacov*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především z jihozápadních a severovýchodních směrů, vyšší rychlosti větru než $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ byly měřeny při proudění z jihozápadu a jihu. Bezvětrí panovalo zhruba v 1,3 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 32 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita *Pacov*, rok 2020

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

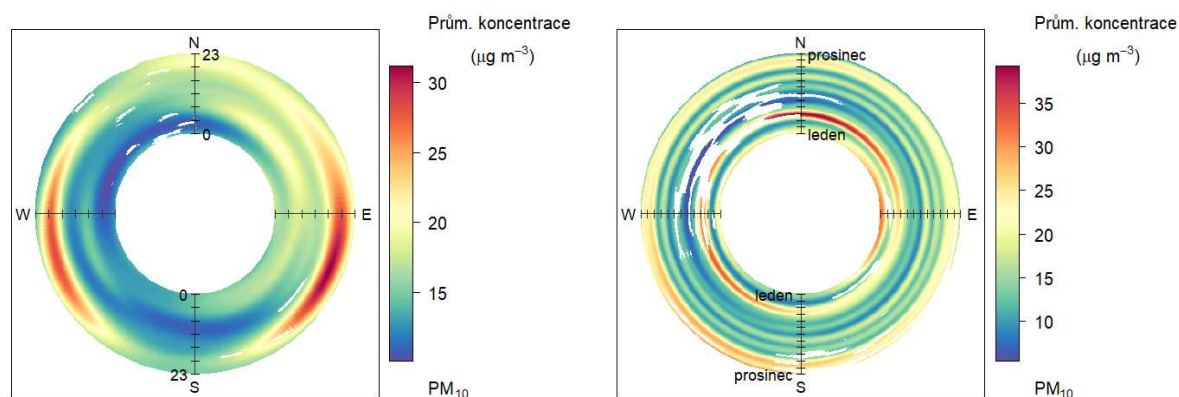


Obr. 33 – Koncentrační růžice PM_{10} , lokalita *Pacov*, rok 2020

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze severu až východu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností PM_{10} přišlo ze severovýchodních a jihozápadních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00

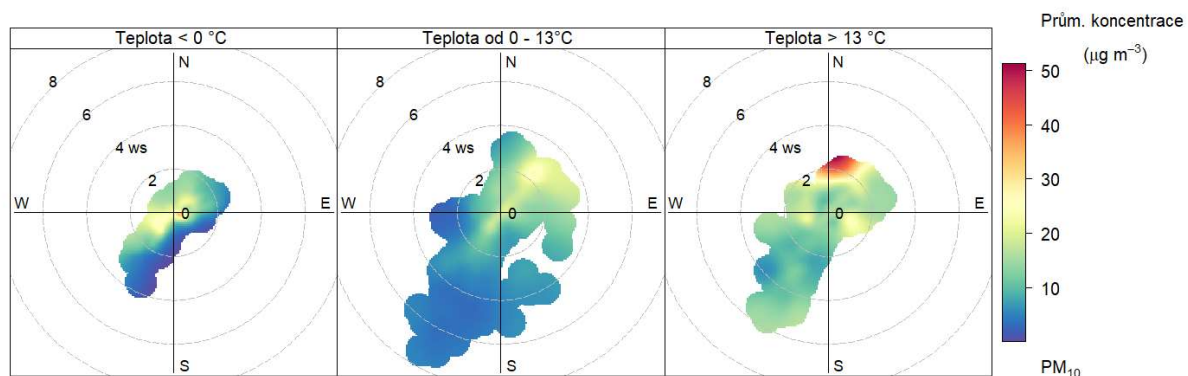
a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Pacov* je tento denní chod vynesena na Obr. 34.



Obr. 34 – Denní a roční chod koncentrací PM_{10} členěný dle směru větru, lokalita *Pacov*, rok 2020

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací PM_{10} je důležitý zejména západní a jvýchodní 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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.



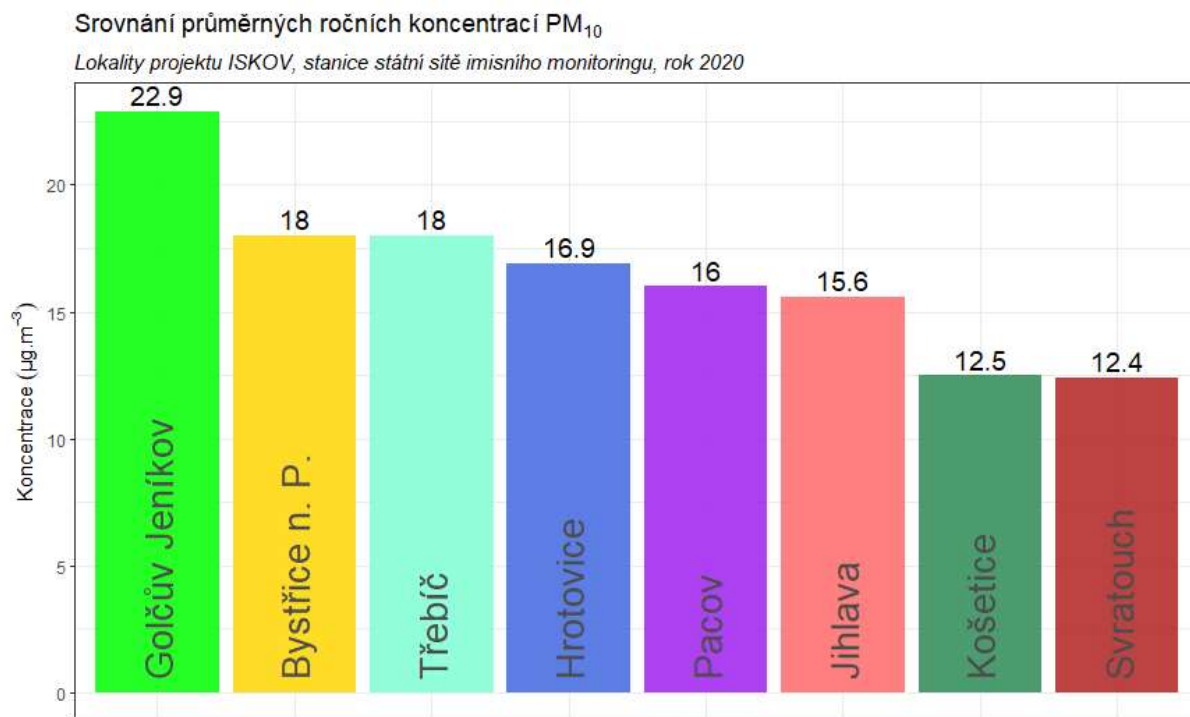
Obr. 35 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Pacov*, rok 2020

Z koncentračních růžic vyplývá, že při teplotách pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou měřeny zvýšené koncentrace při bezvětří. Při teplotách nad $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou koncentrace pouze mírné, při teplotách nad $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou koncentrace vyšší při proudění ze severu a vyšších rychlostech větru, což může souviset také s větrnou erozí a zemědělskou činností.

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) Jihlava a Košetice. 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 12–23 µg·m⁻³. Nejvyšší hodnotu naměřila lokalita Golčův Jeníkov. Nejnižší koncentrace byla zaznamenána v lokalitách Svratouch a Košetice.

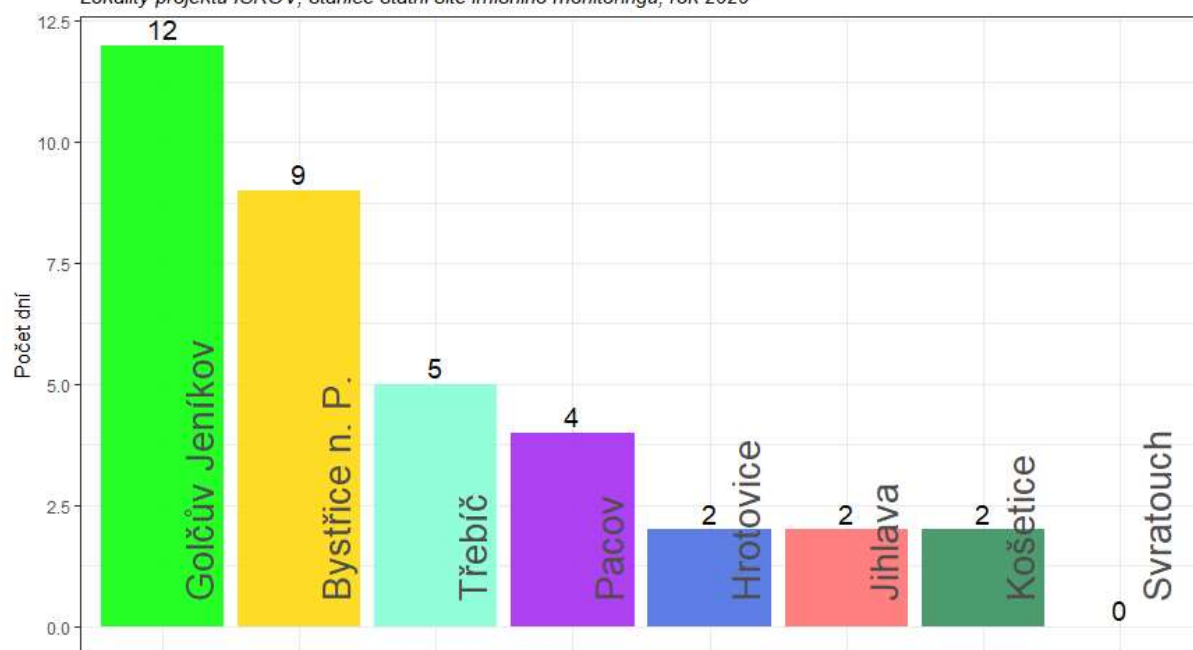


Obr. 36 – Srovnání průměrných ročních koncentrací PM₁₀, lokality projektu ISKOV a lokality SSIM, rok 2020

V případě počtu dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ zaznamenaly nejvyšší počet těchto dní lokality Golčův Jeníkov a Bystřice nad Pernštejnem. I tak byl počet překročení velmi nízký, povolený počet překročení (35) byl plněn s velkou rezervou na všech lokalitách. Lokalita Svratouch nepřekročila hodnotu imisního limitu pro denní koncentrace PM₁₀ ani jednou.

Srovnání počtu dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro denní koncentrace PM_{10}

Lokality projektu ISKOV, stanice státní sítě imisního monitoringu, rok 2020



Obr. 37 – Srovnání počtu dní s překročenou hodnotou denního imisního limitu PM_{10} , lokality projektu ISKOV a lokality SSIM, rok 2020

3.2 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{2,5}

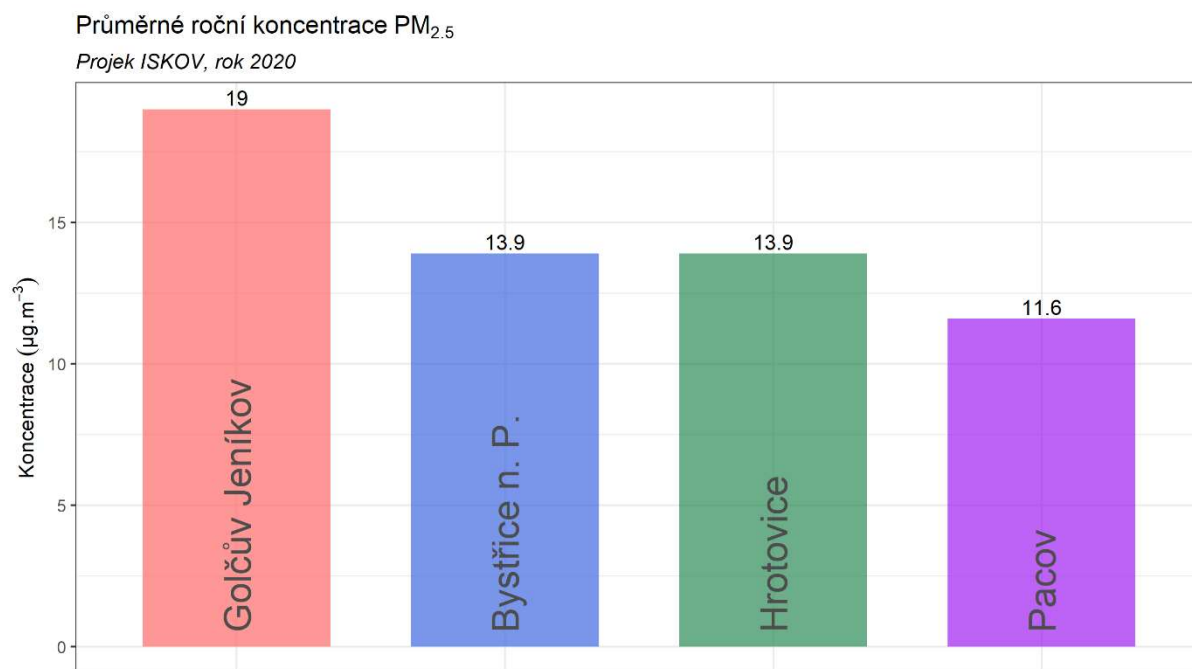
Obecná část, včetně legislativních požadavků a emisí je uvedena v kapitole o PM₁₀.

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 2020

LOKALITA	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE PM _{2,5} (μg·m ⁻³)
BYSTŘICE NAD PERNŠTEJNEM	13,9
GOLČŮV JENÍKOV	19
HROTOVICE	13,9
PACOV	11,6



Obr. 38 – Průměrná roční koncentrace PM_{2,5}, projekt ISKOV, rok 2020

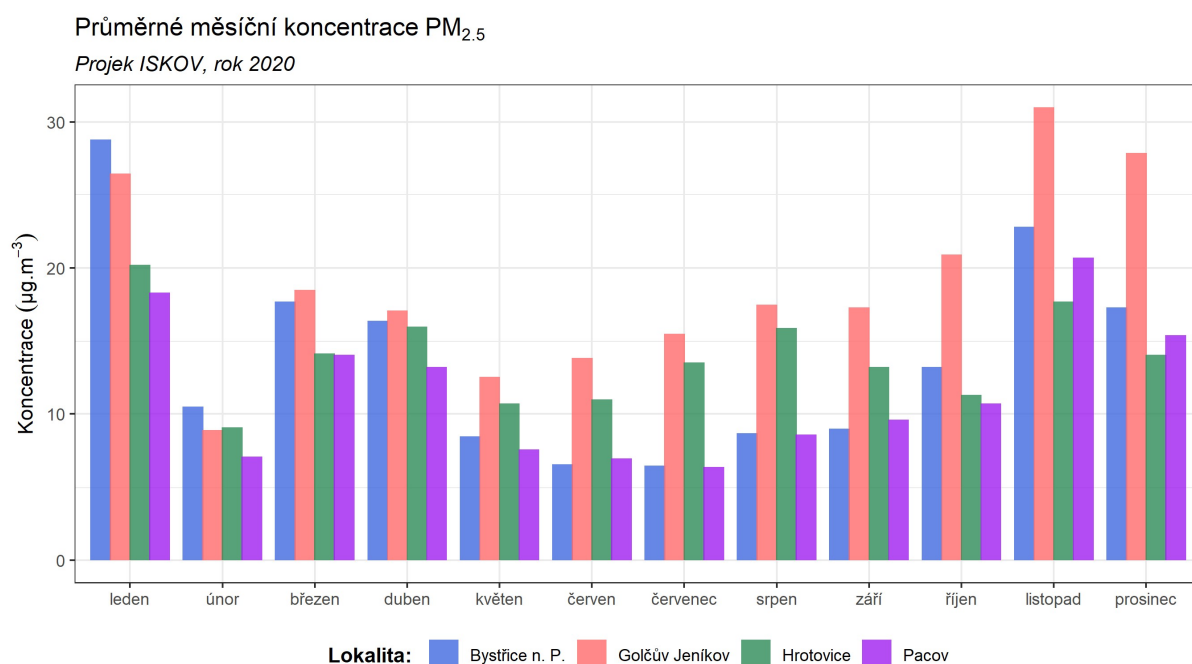
Z uvedeného vyplývá, že nejvyšší průměrná roční koncentrace PM_{2,5} byla naměřena v lokalitě Golčův Jeníkov, nejnižší pak v lokalitě Pacov. **Ani na jedné lokalitě nedošlo k překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci PM_{2,5} (20 μg·m⁻³), kde platí od roku 2020 zprůsněný imisní limit.**

3.2.2 Průměrné měsíční koncentrace

Průměrné měsíční koncentrace, naměřené v jednotlivých lokalitách v roce 2020, zobrazuje následující Tab. 8, graficky je pak znázorňuje Obr. 39. Z grafu je dobře patrné, že nejvyšší koncentrace PM_{2,5} byly měřeny na všech lokalitách v lednu, listopadu a prosinci. 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 Golčův Jeníkov v listopadu a měla hodnotu 31 µg·m⁻³.

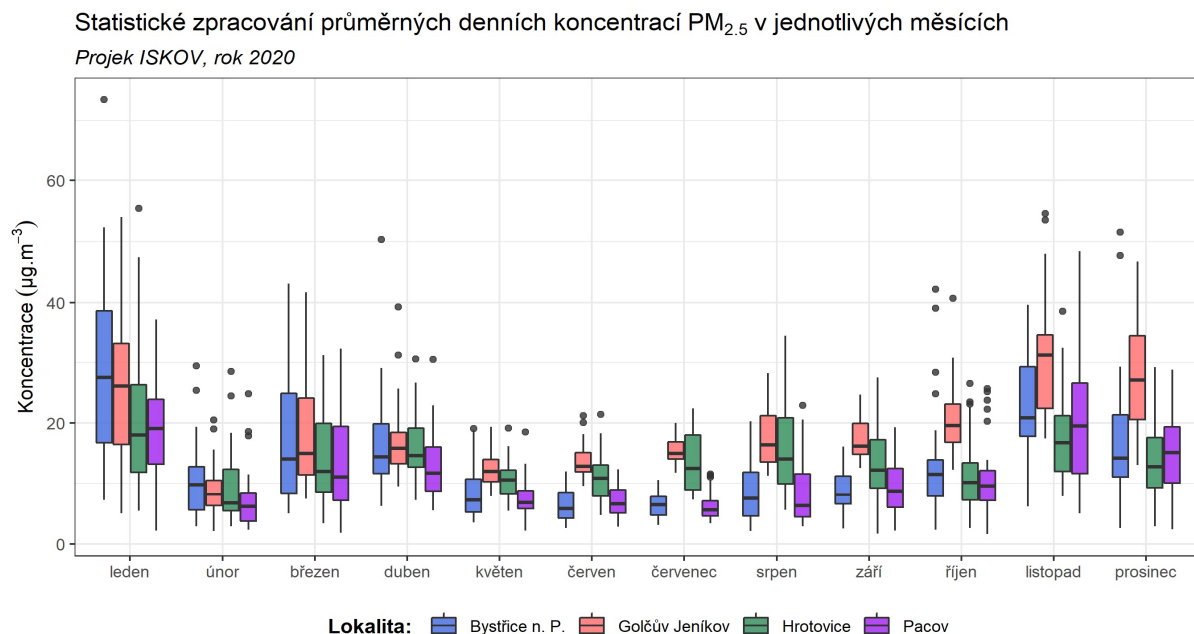
Tab. 8 – Průměrné měsíční koncentrace PM_{2,5}, projekt ISKOV, rok 2020

MĚSÍC	BYSTŘICE NAD PERNŠTEJNEM	GOLČŮV JENÍKOV	HROTOVICE	PACOV
LEDEN	28,8	26,5	20,2	18,3
ÚNOR	10,5	8,9	9,1	7,1
BŘEZEN	17,7	18,5	14,1	14
DUBEN	16,4	17,1	16	13,2
KVĚTEN	8,5	12,5	10,7	7,6
ČERVEN	6,6	13,8	11	7
ČERVENEC	6,5	15,5	13,5	6,4
SRPEN	8,7	17,5	15,9	8,6
ZÁŘÍ	9	17,3	13,2	9,6
ŘÍJEN	13,2	20,9	11,3	10,7
LISTOPAD	22,8	31	17,7	20,7
PROSINEC	17,3	27,9	14	15,4

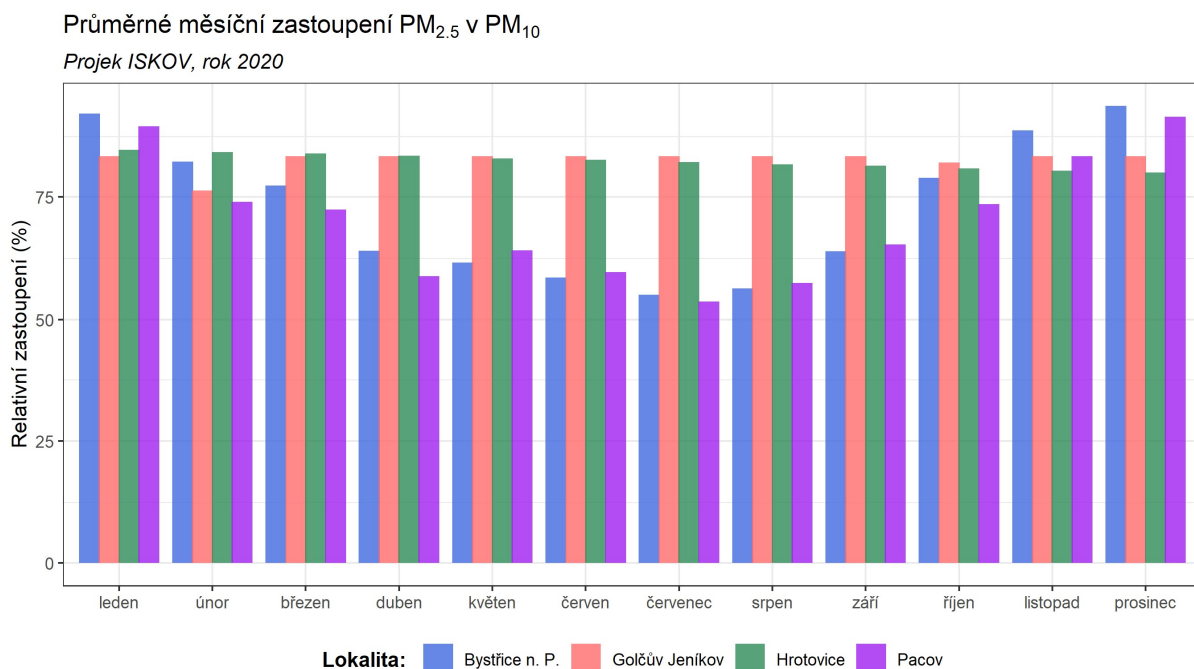


Obr. 39 – Průměrné měsíční koncentrace PM_{2,5}, projekt ISKOV, rok 2020

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. Výjimkou jsou lokality Golčův Jeníkov a Hrotovice, kde se poměry po celý rok příliš neliší.



Obr. 40 – Statistické zpracování průměrných denních koncentrací $PM_{2,5}$ v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2020



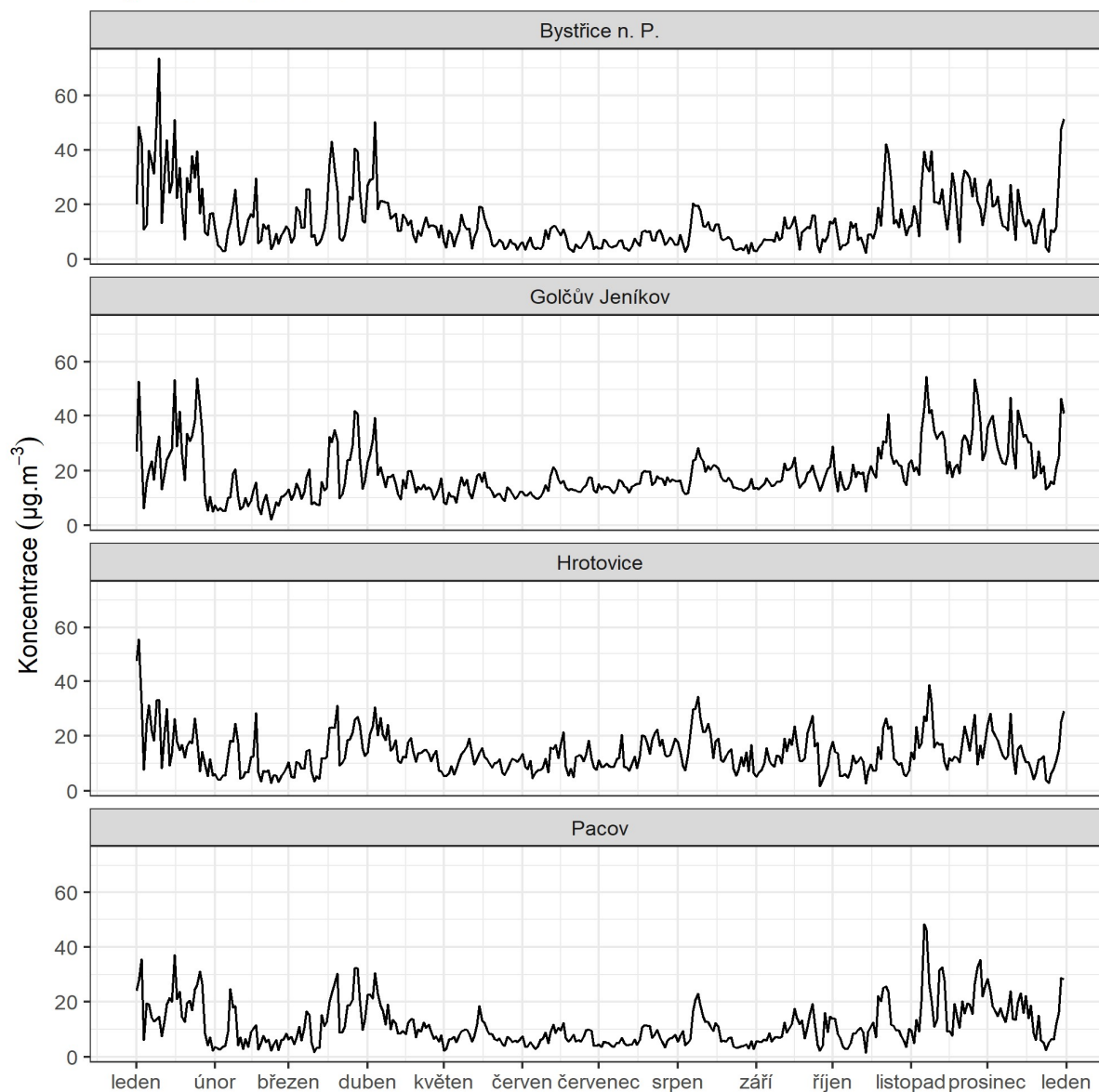
Obr. 41 – Průměrné měsíční zastoupení $PM_{2,5}$ v PM_{10} (%) v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2020

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 2020 zobrazuje následující Obr. 42.

Vývoj průměrných denních koncentrací PM_{2,5}

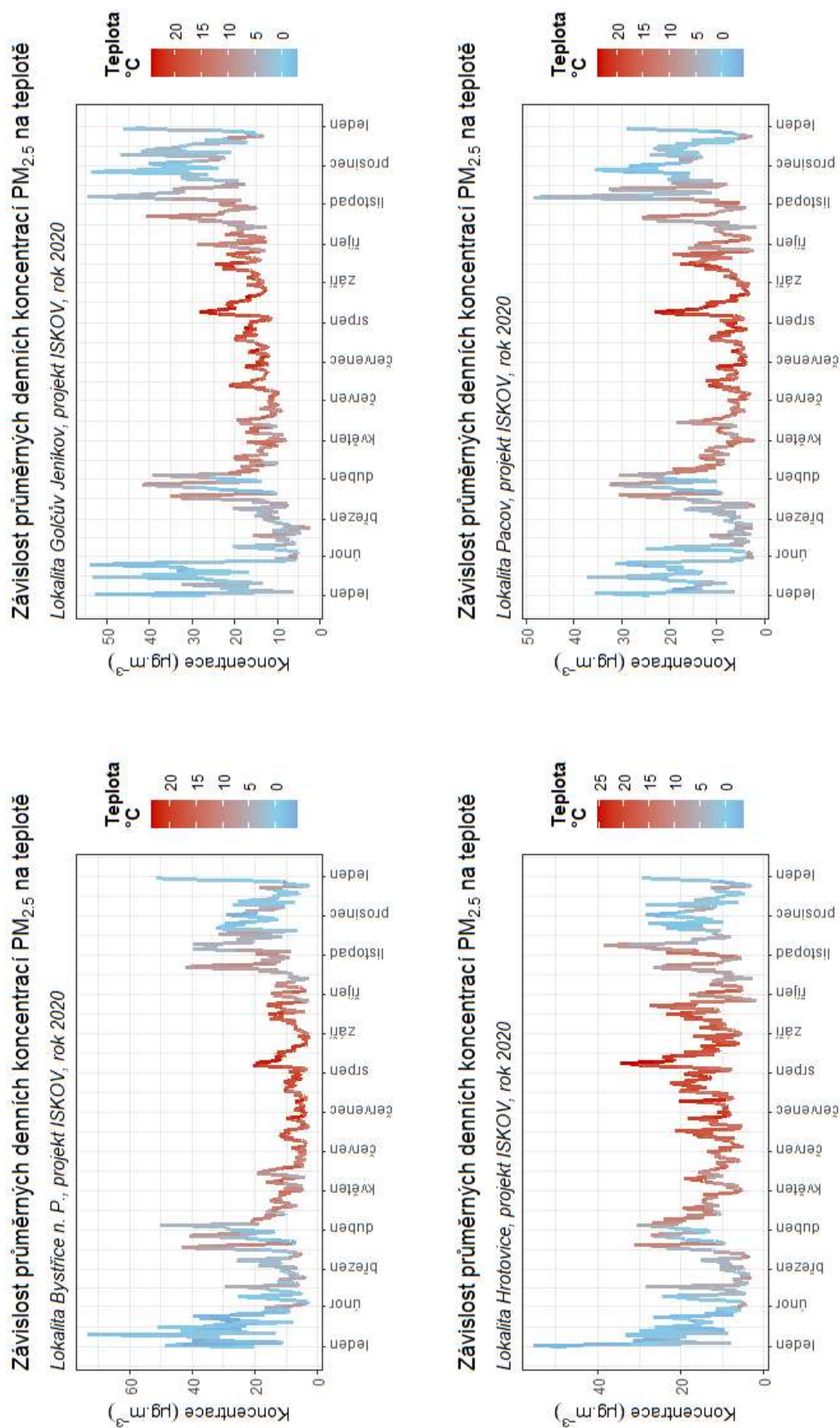
Projek ISKOV, rok 2020



Obr. 42 – Vývoj průměrných denních koncentrací PM_{2,5}, projekt ISKOV, rok 2020

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.

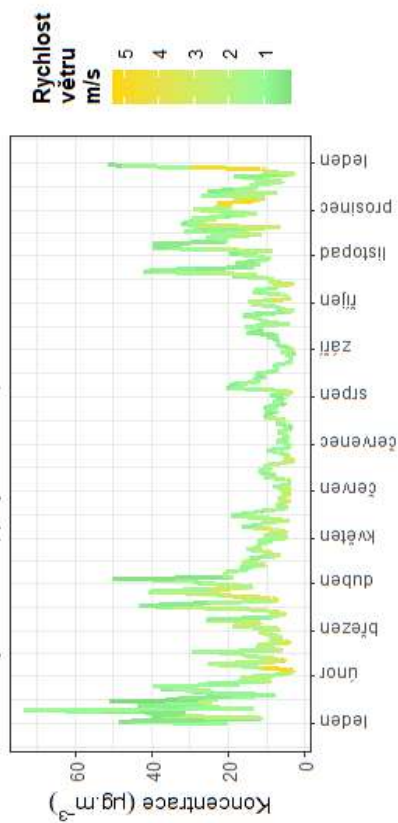
Z grafů je velmi dobře patrné že nejvyšší koncentrace PM_{2,5} jsou měřeny při nejnižších teplotách (nejvyšší potřeba topit), vyšší koncentrace jsou měřeny při nižších rychlostech větru (vlivem bezvětří dochází k horšímu rozptýlu znečištění) a vyšších relativních vlhkostech vzduchu.



Obr. 43 – Vliv teploty vzduchu na průměrné denní koncentrace $PM_{2.5}$, projekt ISKOV, rok 2020

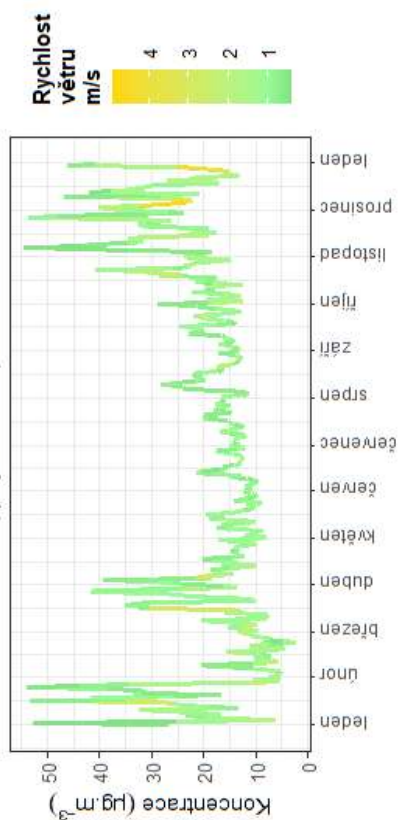
Závislost průměrných denních koncentrací $PM_{2,5}$ na rychlosti větru

Lokalita Bystřice n. P., projekt ISKOV, rok 2020



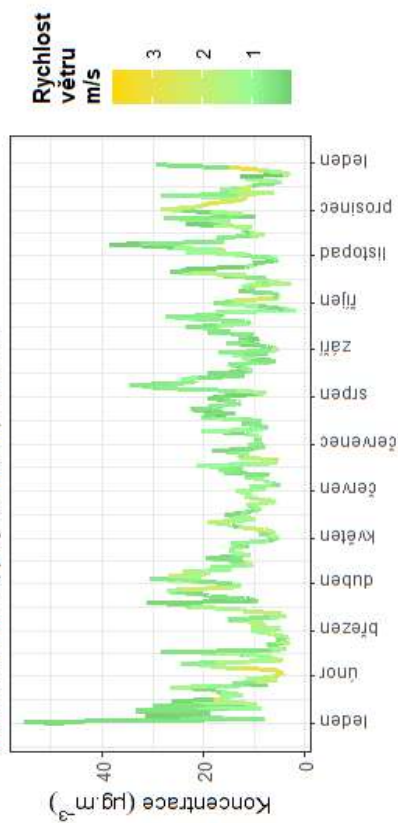
Závislost průměrných denních koncentrací $PM_{2,5}$ na rychlosti větru

Lokalita Golčův Jeníkov, projekt ISKOV, rok 2020



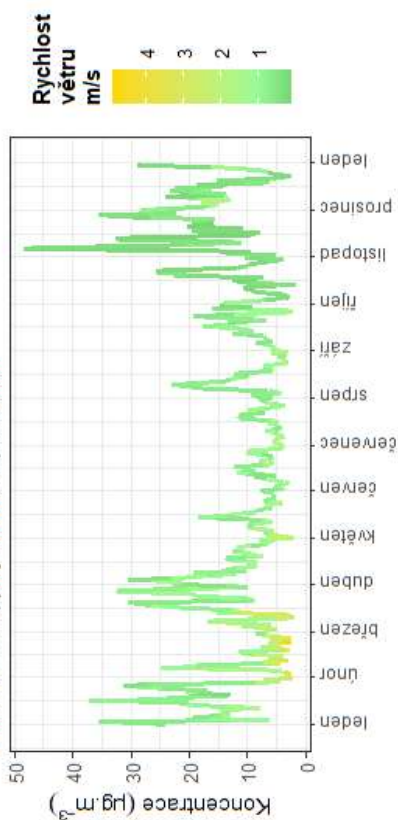
Závislost průměrných denních koncentrací $PM_{2,5}$ na rychlosti větru

Lokalita Hrotovice, projekt ISKOV, rok 2020

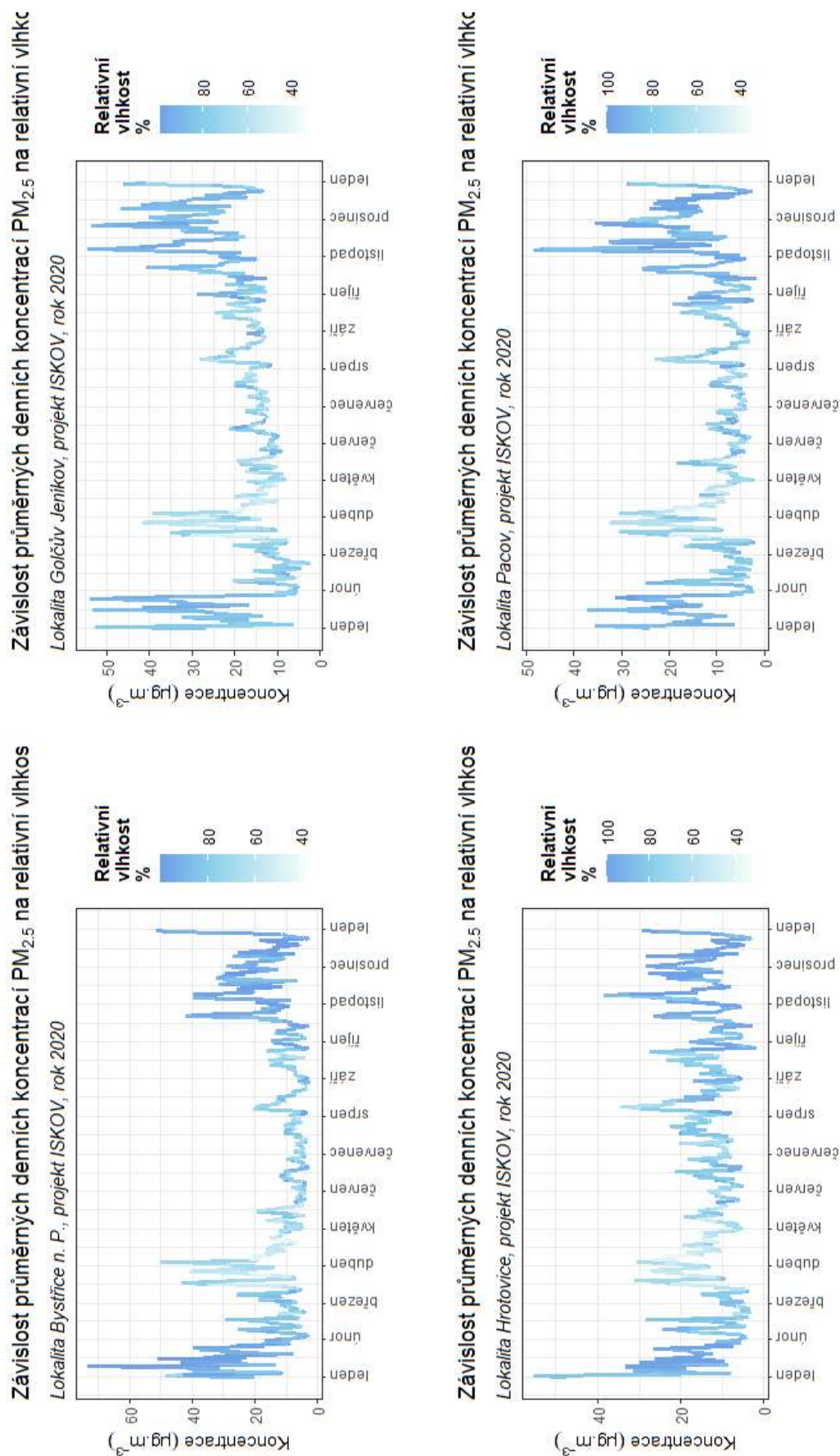


Závislost průměrných denních koncentrací $PM_{2,5}$ na rychlosti větru

Lokalita Pacov, projekt ISKOV, rok 2020



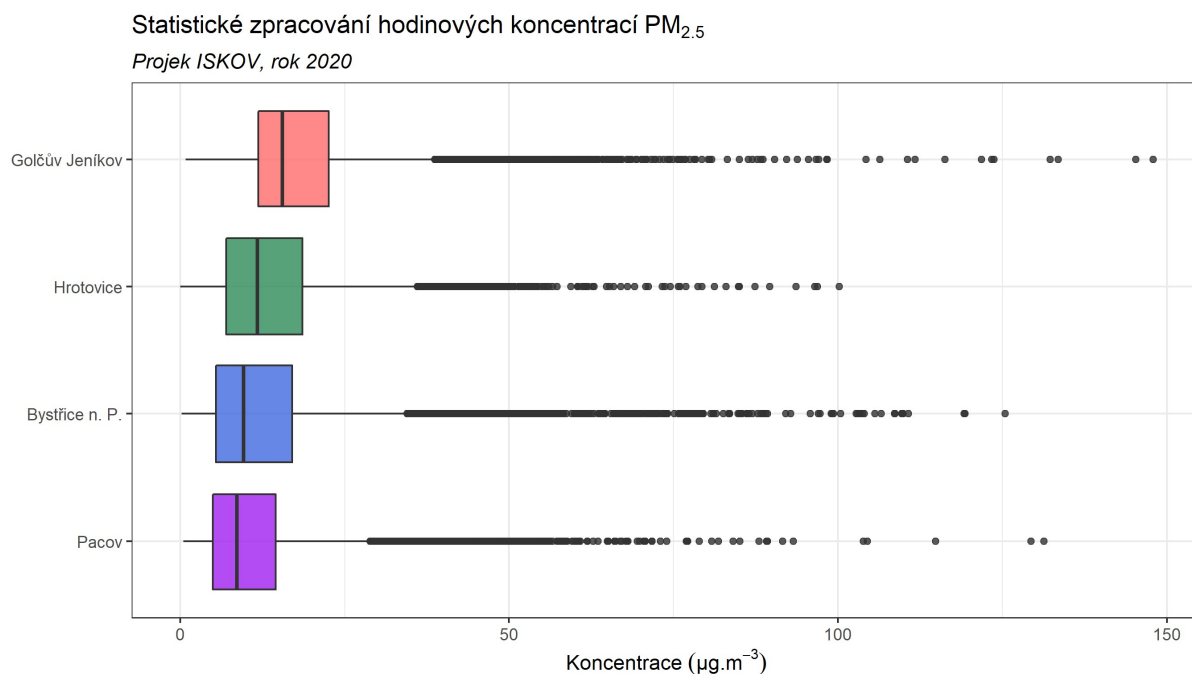
Obr. 44 – Vliv rychlosti větru na průměrné denní koncentrace $PM_{2,5}$, projekt ISKOV, rok 2020



Obr. 45 – Vliv relativní vlhkosti vzduchu na průměrné denní koncentrace $PM_{2.5}$, projekt ISKOV, rok 2020

3.2.4 Hodinové koncentrace a denní chod

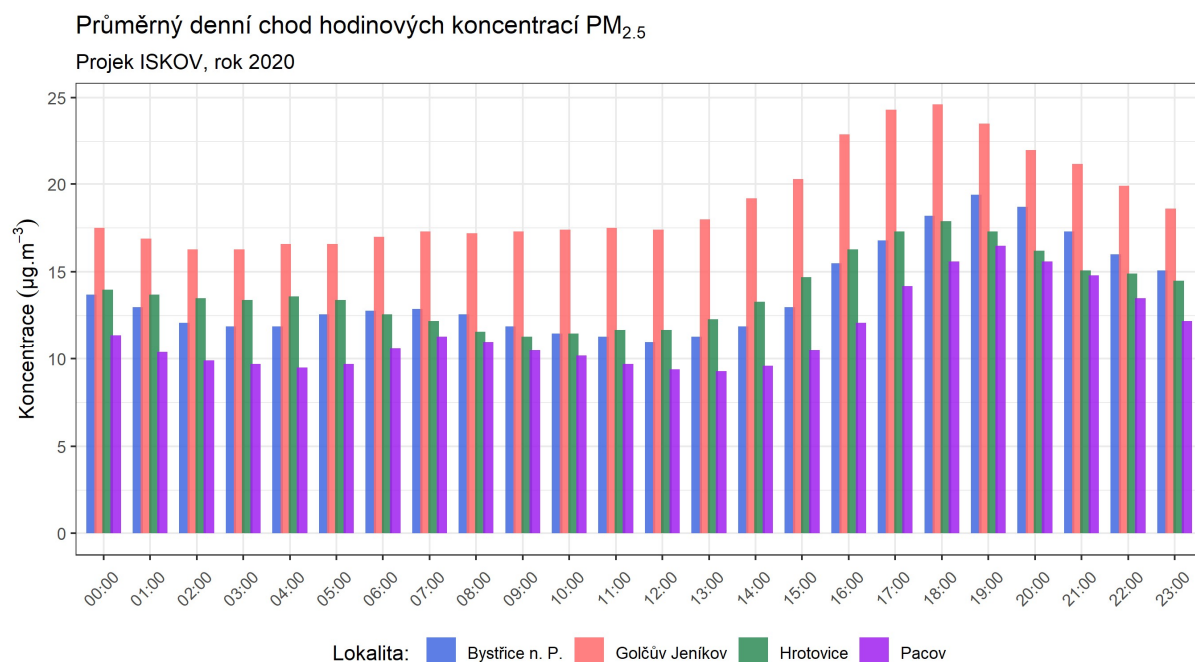
Suspendované částice nemají pro hodinové koncentrace imisní limit, přesto je tato charakteristika důležitá pro interpretaci dat. Uvádět samostatně hodinové koncentrace nemá smysl (8760 hodnot za rok), proto je zde pouze statistické zpracování hodinových hodnot pomocí krabicových grafů (Obr. 46).



Obr. 46 – Statistické zpracování hodinových koncentrací PM_{2,5} v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2020

Z grafu je patrné, že mediány koncentrací zhruba sledují trend průměrných hodnot. Zajímavé jsou zde některé odlehlé hodnoty. V lokalitě Hrotovice byly hodinově měřeny méně odlehlé hodnoty, než např. v lokalitě Pacov. Nejvyšší naměřená hodnota v lokalitě Hrotovice byla zaimenána 1. 1. 2020 v 20:00 hodin, koncentrace PM_{2,5} dosáhla 100,2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. V dalších třech lokalitách se vyskytly vyšší maximální hodinové koncentrace. Nejvyšší koncentrace v lokalitě Golčův Jeníkov byla naměřena 16. 1. 2020 v 17:00 a měla hodnotu 147,9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, nejvyšší koncentrace v lokalitě Bystřice nad Pernštejnem byla naměřena 31. 12. 2020 v 19:00 a měla hodnotu 125,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a nejvyšší koncentrace v lokalitě Pacov byla naměřena 12. 11. 2020 v 18:00 a měla hodnotu 131,3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

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 2020. 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 Golčův Jeníkov.

3.2.5 Růžice – detailní analýza hodinových hodnot

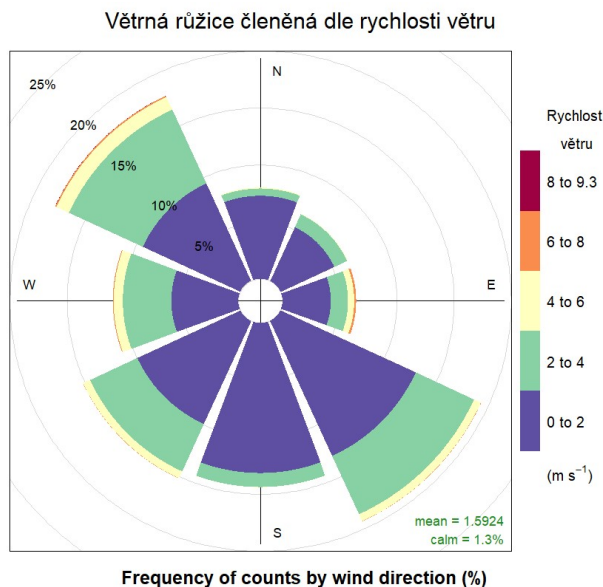
V této podkapitole budou pro všechny lokality připraveny větrné a koncentrační růžice. Větrná růžice bude kromě směrů větru členěna rovněž dle rychlostí větru, které jsou pro koncentrace škodlivin důležité.

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.

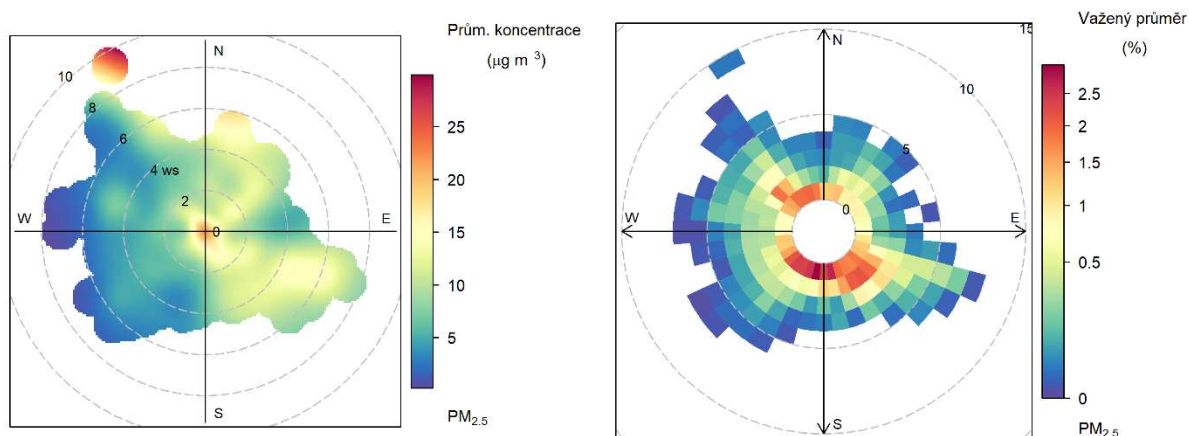
3.2.5.1 Bystřice nad Pernštejnem

Na Obr. 48 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Bystřice nad Pernštejnem*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severozápadních a jihovýchodních směrů. Lokalita je dobře provětrávaná, byly měřeny i vyšší rychlosti větru. Bezvětří se v této lokalitě vyskytovalo zhruba v 1,3 % času. Průměrná rychlost proudění větru byla cca $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 48 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Bystřice nad Pernštejnem, rok 2020

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

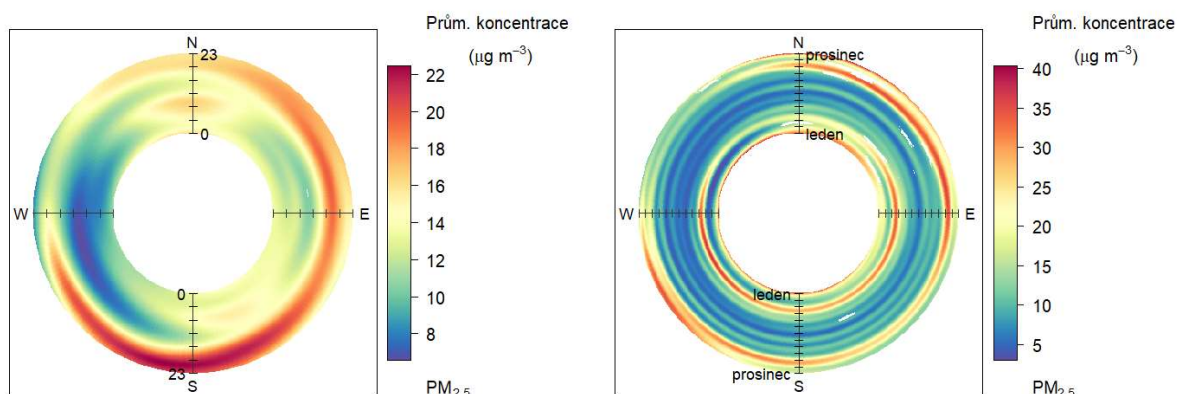


Obr. 49 – Koncentrační růžice $\text{PM}_{2,5}$, lokalita Bystřice nad Pernštejnem, rok 2020

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze severovýchodu a jihovýchodu, popř. bezvětří. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností $\text{PM}_{2,5}$ přišlo jižních až 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.

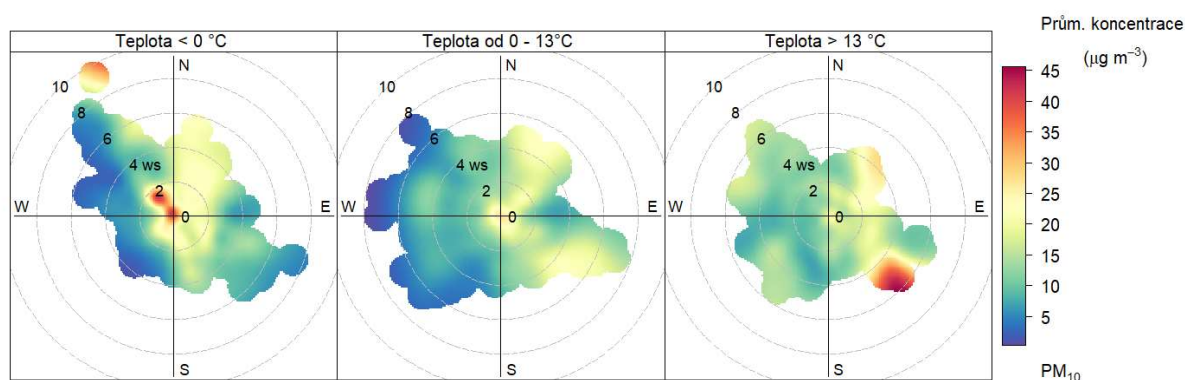
Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Bystřice nad Pernštejnem* je tento denní chod vynesena na Obr. 50.



Obr. 50 – Denní a roční chod koncentrací $PM_{2,5}$ členěný dle směru větru, lokalita *Bystřice nad Pernštejnem*, rok 2020

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací $PM_{2,5}$ je důležitý zejména jižní a východní 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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

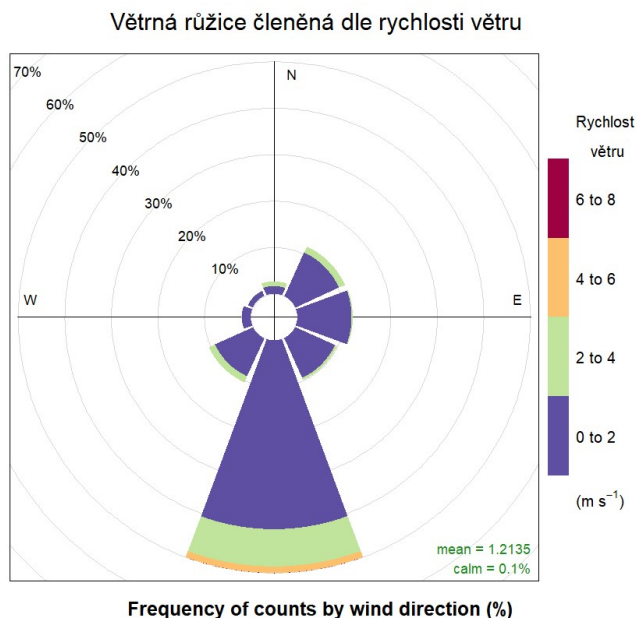


Obr. 51 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Bystřice nad Pernštejnem*, rok 2020

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

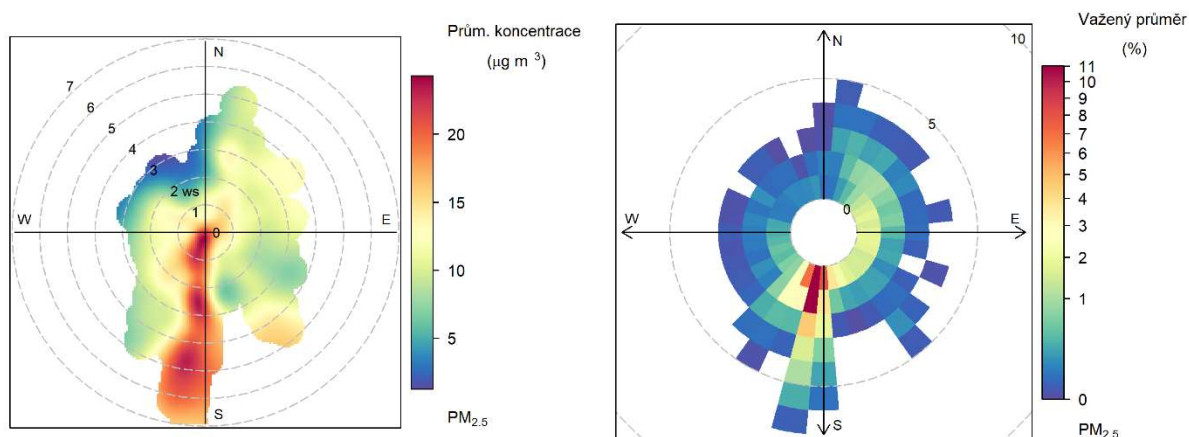
3.2.5.2 Golčův Jeníkov

Na Obr. 52 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Golčův Jeníkov*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především z jižních směrů, vyšší rychlosti větru než $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pak byly zaznamenány také právě z jižních směrů. Bezvětří panovalo zhruba v 0,1 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 52 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Golčův Jeníkov, rok 2020

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

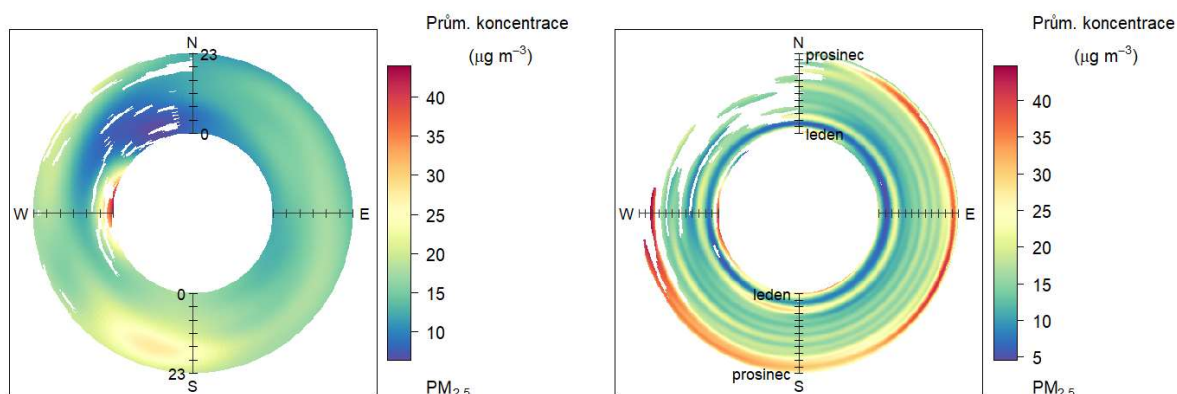


Obr. 53 – Koncentrační růžice $\text{PM}_{2,5}$, lokalita Golčův Jeníkov, rok 2020

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění z jižních směrů a při bezvětří. 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.

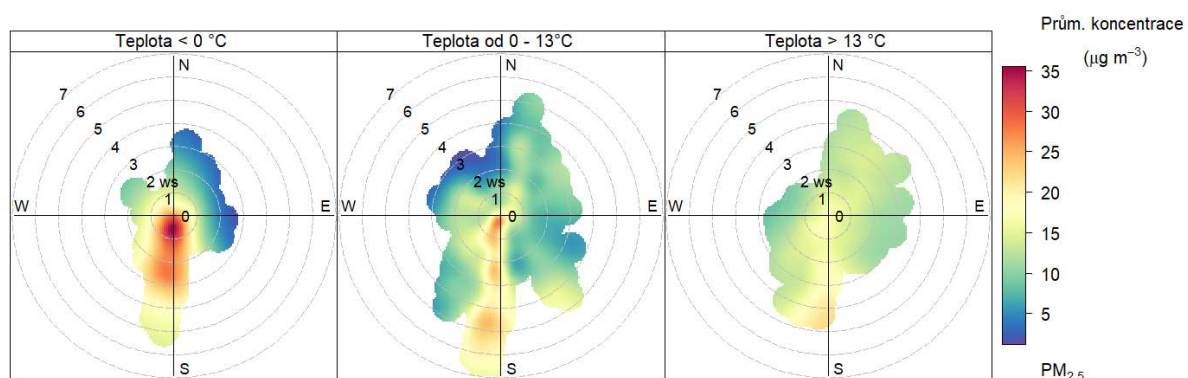
Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Golčův Jeníkov* je tento denní chod vynesena na Obr. 54.



Obr. 54 – Denní a roční chod koncentrací $PM_{2,5}$ členěný dle směru větru, lokalita Golčův Jeníkov, rok 2020

Z obrázku je patrné, že z hlediska vysokých koncentrací $PM_{2,5}$ je důležitý zejména jižní směr větru, i když maximum bylo naměřeno při západním proudění. Z tohoto směru foukalo velmi málo, mohlo tedy jít o jednorázové ovlivnění. 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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

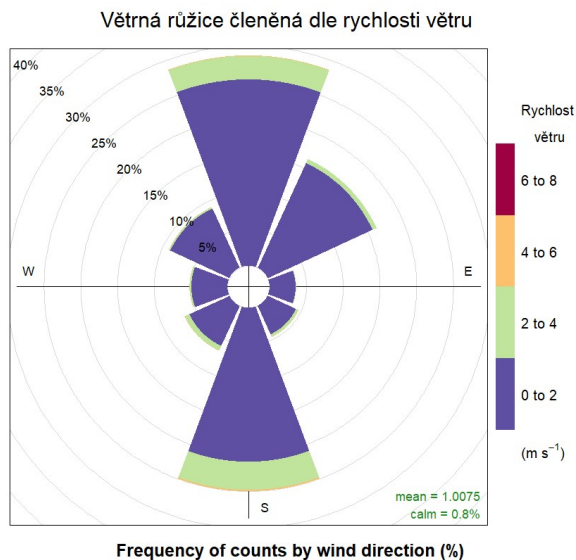


Obr. 55 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Golčův Jeníkov, rok 2020

Z koncentračních růžic vyplývá, že nejvyšší koncentrace jsou takřka výhradně měřeny při teplotách nižších, než je bod mrazu, zejména při jižním proudění či bezvětří.

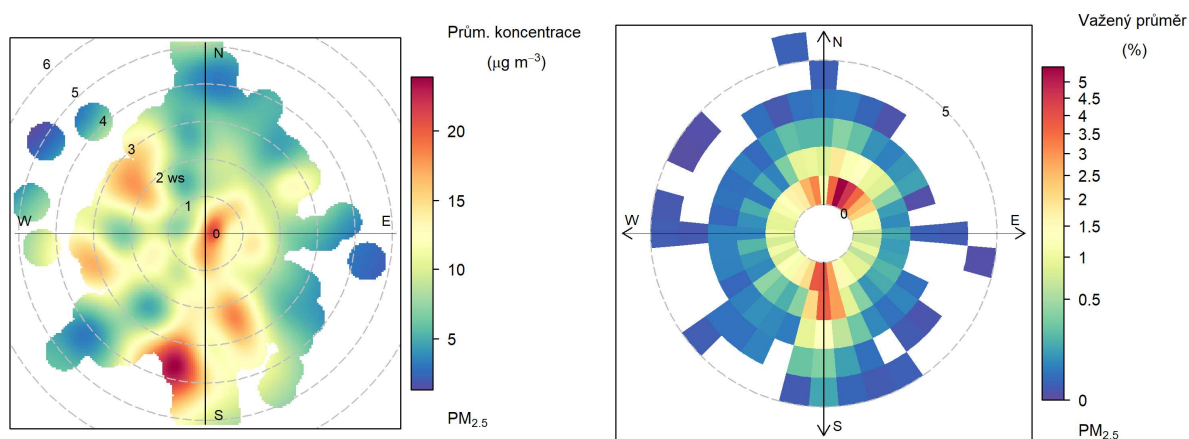
3.2.5.3 Hrotovice

Na Obr. 56 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Hrotovice*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severu a jihu. Vyšší rychlosti větru než $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pak byly zaznamenány právě z těchto směrů. Bezvětří panovalo zhruba v 0,8 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 56 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Hrotovice, rok 2020

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

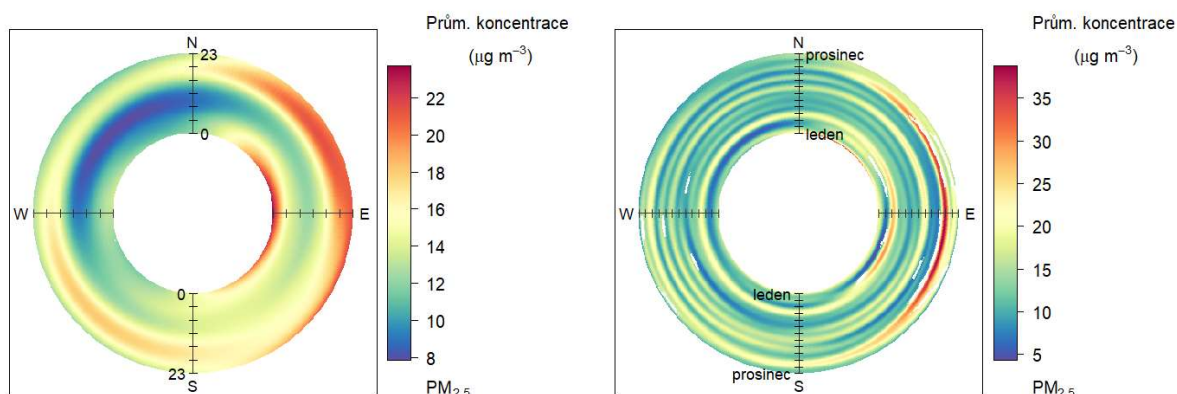


Obr. 57 – Koncentrační růžice $\text{PM}_{2,5}$, lokalita Hrotovice, rok 2020

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění z jihu až jihozápadu při vyšších rychlostech větru, popř. při bezvětří. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění prašností $\text{PM}_{2,5}$ přišlo ze severních a 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.

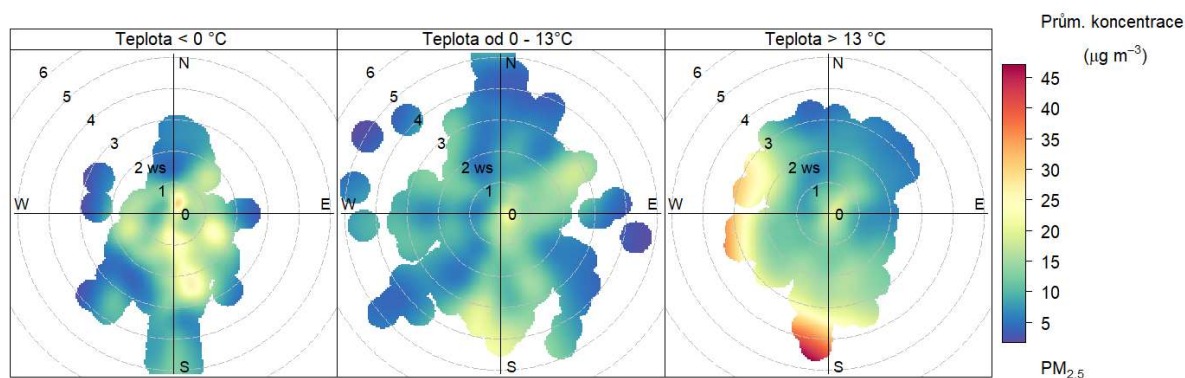
Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu *Hrotovice* je tento denní chod vynesena na Obr. 58.



Obr. 58 – Denní a roční chod koncentrací $PM_{2,5}$ členěný dle směru větru, lokalita Hrotovice, rok 2020

Z obrázku je patrné, že z hlediska vysokých koncentrací $PM_{2,5}$ je důležitý zejména severovýchodní směr větru. Maxima jsou pak dosahována zejména ve večerních a nočních hodinách. To může souviset se zatápěním lidí v obci po návratu z práce. Navíc jsou v noci obecně horší rozptylové podmínky. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace pouze v 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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

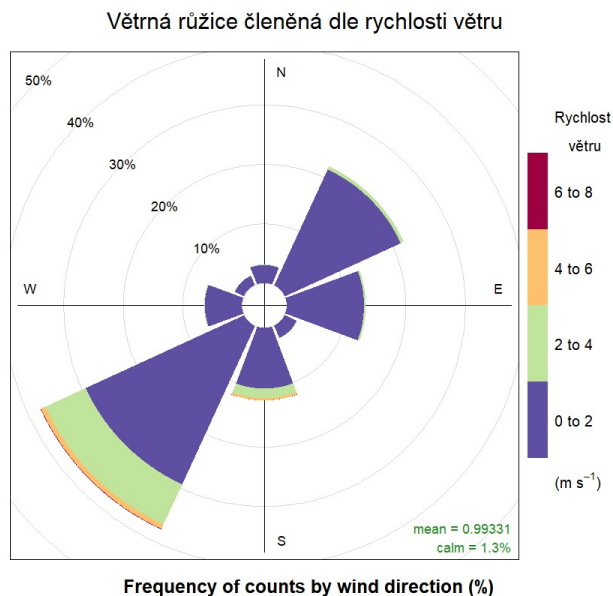


Obr. 59 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Hrotovice, rok 2020

Z koncentračních růžic vyplývá, že při teplotách pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou měřeny zvýšené koncentrace při proudění z jihu či bezvětří. Při teplotách nad $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou měřeny vysoké koncentrace při jižním a západním proudění a vyšších rychlostech větru. Tyto vysoké koncentrace mohou souviset také se zemědělskou činností a větrnou erozí. Ta souvisí zejména se suchým a teplým počasím a vyššími rychlostmi větru, což může být právě tento případ.

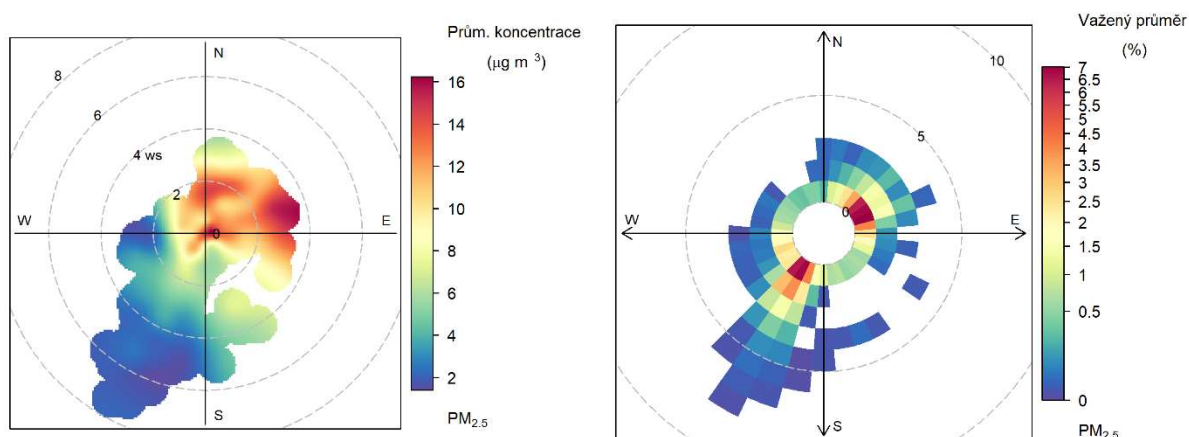
3.2.5.4 Pacov

Na Obr. 60 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Pacov*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především z jihozápadních a severovýchodních směrů, vyšší rychlosti větru než $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ byly měřeny při proudění z jihozápadu a jihu. Bezvětrí panovalo zhruba v 1,3 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 60 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita *Pacov*, rok 2020

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

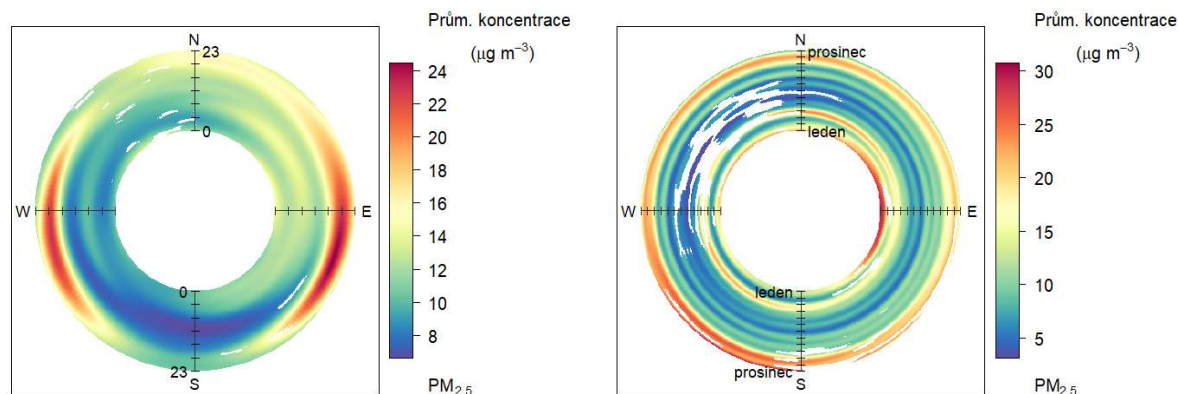


Obr. 61 – Koncentrační růžice $\text{PM}_{2,5}$, lokalita *Pacov*, rok 2020

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

Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00

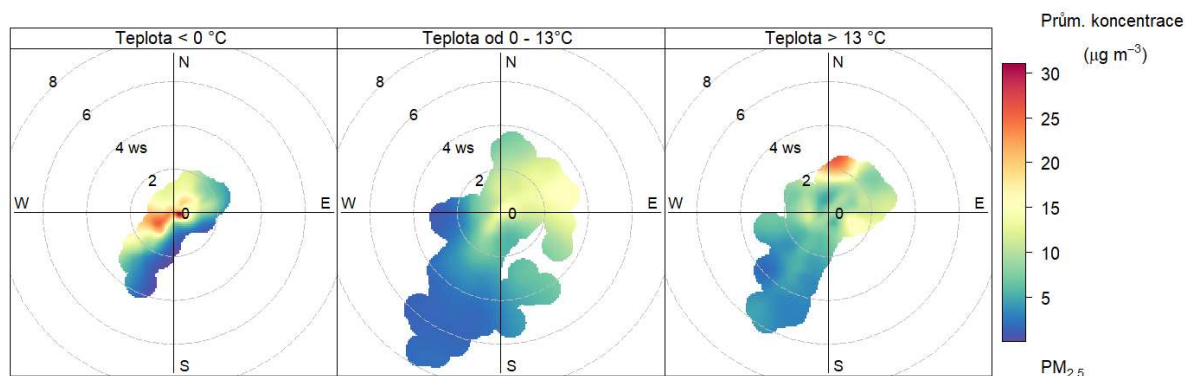
a na okraji je pak 23:00, resp. ve středu kruhu je začátek roku (leden) a na konci konec roku (prosinec). Pro lokalitu Pacov je tento denní chod vynesena na Obr. 62.



Obr. 62 – Denní a roční chod koncentrací $PM_{2,5}$ členěný dle směru větru, lokalita Pacov, rok 2020

Z obrázku je patrné, že z hlediska vysokých koncentrací $PM_{2,5}$ je důležitý zejména západní a jvýchodní 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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.



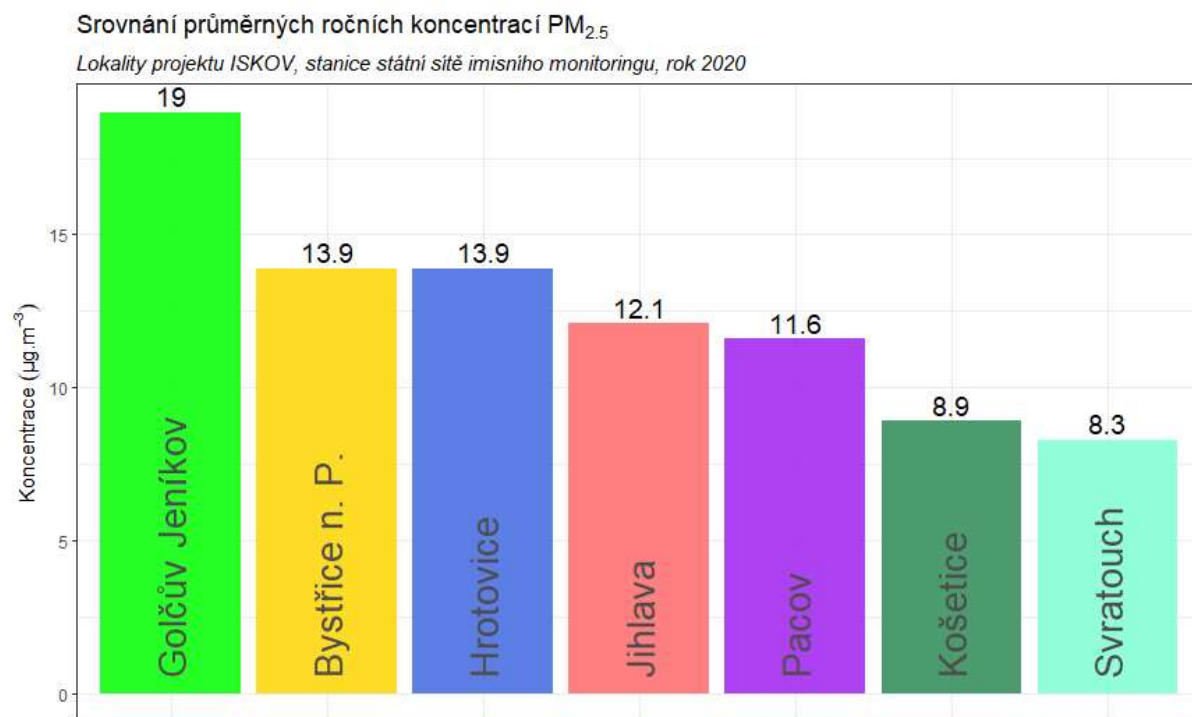
Obr. 63 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Pacov, rok 2020

Z koncentračních růžic vyplývá, že při teplotách pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou měřeny zvýšené koncentrace při bezvětří. Při teplotách nad $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou koncentrace pouze mírné, při teplotách nad $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou koncentrace vyšší při proudění ze severu a vyšších rychlostech větru, což může souviset také s větrnou erozí a zemědělskou činností.

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) Jihlava a Košetice. Graf srovnává průměrné roční koncentrace PM_{2,5}.

Nejvyšší hodnotu průměrné roční koncentrace PM_{2,5} naměřila lokalita Golčův Jeníkov. Nejnižší hodnotu průměrné roční koncentrace PM_{2,5} zaznamenaly opět lokality Košetice a Svratouch.



Obr. 64 – Srovnání průměrných ročních koncentrací PM_{2,5}, lokality projektu ISKOV a lokality SSIM, rok 2020

3.3 OXID DUSIČITÝ A OXIDY DUSÍKU

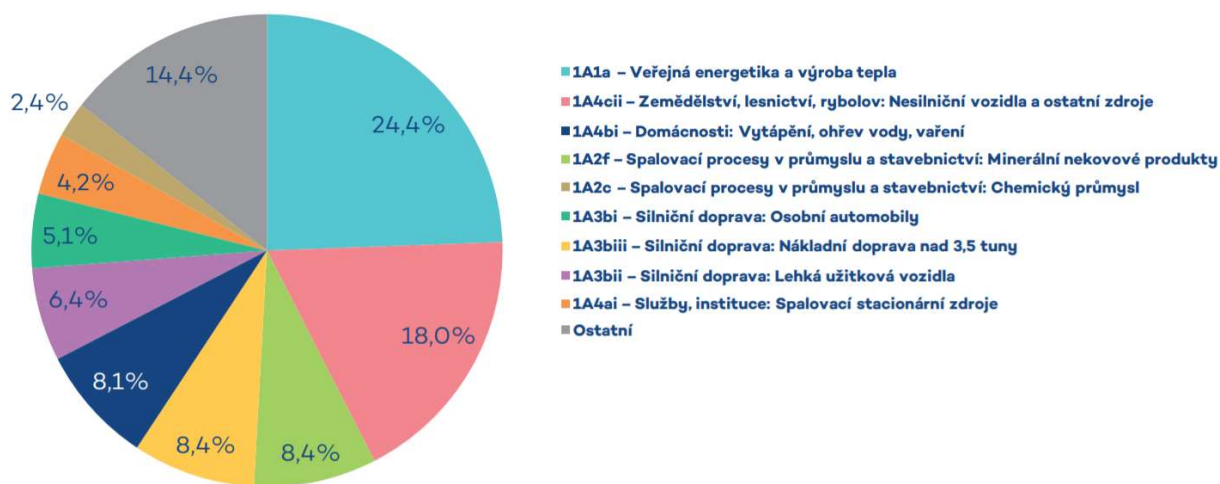
Při sledování a hodnocení kvality venkovního ovzduší se pod termínem oxidy dusíku (NO_x) rozumí směs oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO_2) [8].

Pro oxid dusičitý jsou v příloze 1 zákona o ochraně ovzduší [3] uvedeny dva imisní limity. Pro průměrnou roční koncentraci a pro hodinovou koncentraci, která může být za kalendářní rok 18 x překročena [2]. K překročení ročního imisního limitu 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 [9]. 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 [10].

Expozice zvýšeným koncentracím NO_2 ovlivňuje plicní funkce a způsobuje snížení imunity [11].



Obr. 65 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích NO_x v ČR, rok 2018 [7]

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

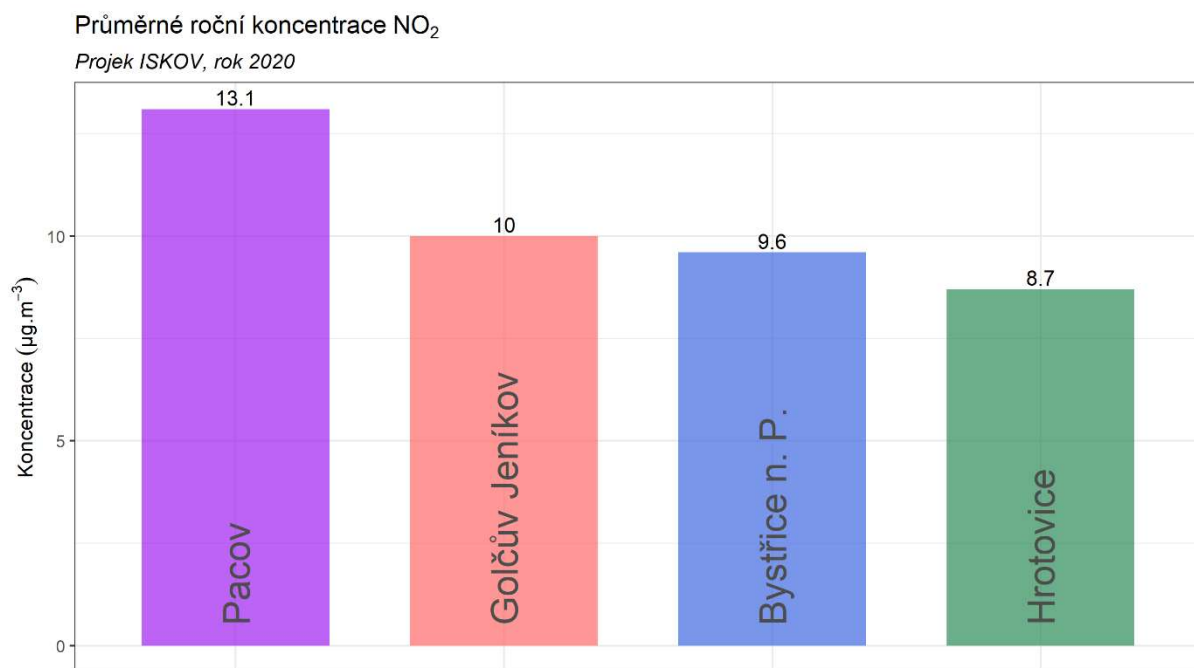
celorepublikových emisích NO_x v roce 2018 podílely 41,3 %. Ze sektoru 1A1a – Veřejná energetika a výroba tepla bylo do ovzduší vneseno 24,4 % emisí NO_x [7].

3.3.1 Průměrná roční koncentrace

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

Tab. 9 – Průměrná roční koncentrace NO₂, projekt ISKOV, rok 2020

LOKALITA	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE NO ₂ (μg·m ⁻³)
BYSTRŮVICE NAD PERNŠTEJNEM	9,6
GOLČŮV JENÍKOV	10
HROTOVICE	8,7
PACOV	13,1



Obr. 66 – Průměrná roční koncentrace NO₂, projekt ISKOV, rok 2020

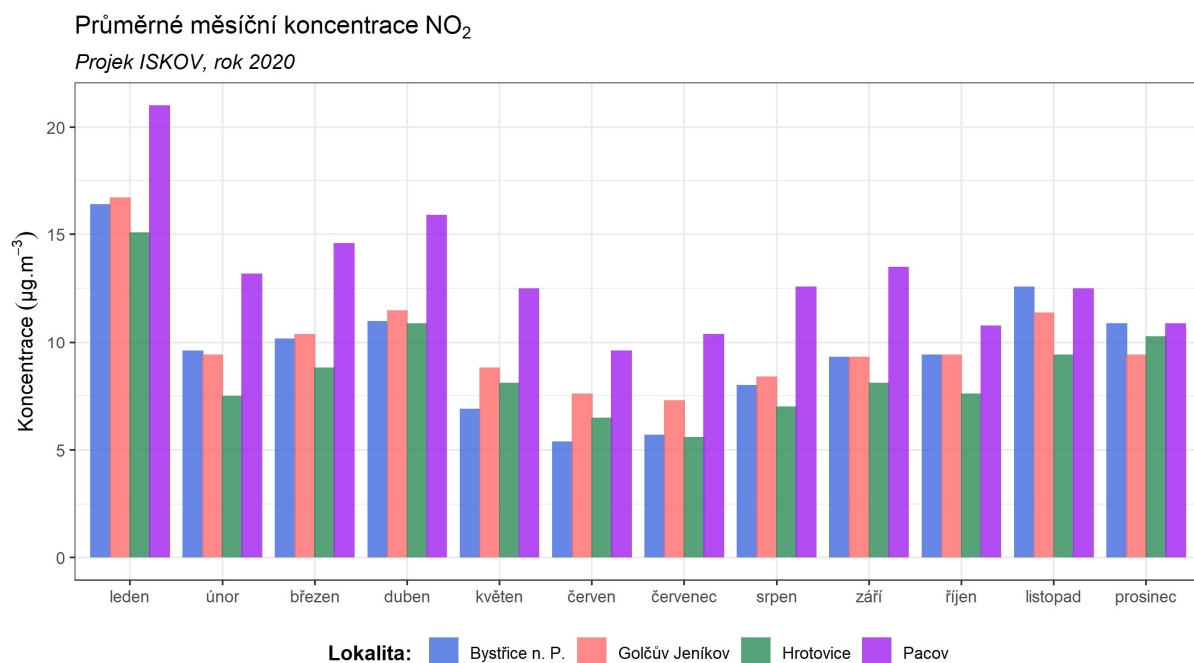
Z uvedeného vyplývá, že nejvyšší průměrná roční koncentrace NO₂ byla naměřena v lokalitě Pacov, nejnižší pak v lokalitě Hrotovice. **Ani na jedné lokalitě nedošlo k překročení imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci NO₂ (40 μg·m⁻³).**

3.3.2 Průměrné měsíční koncentrace

Průměrné měsíční koncentrace, naměřené v jednotlivých lokalitách v roce 2020, 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 lednu, dubnu 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 Pacov v lednu a měla hodnotu 21 µg·m⁻³.

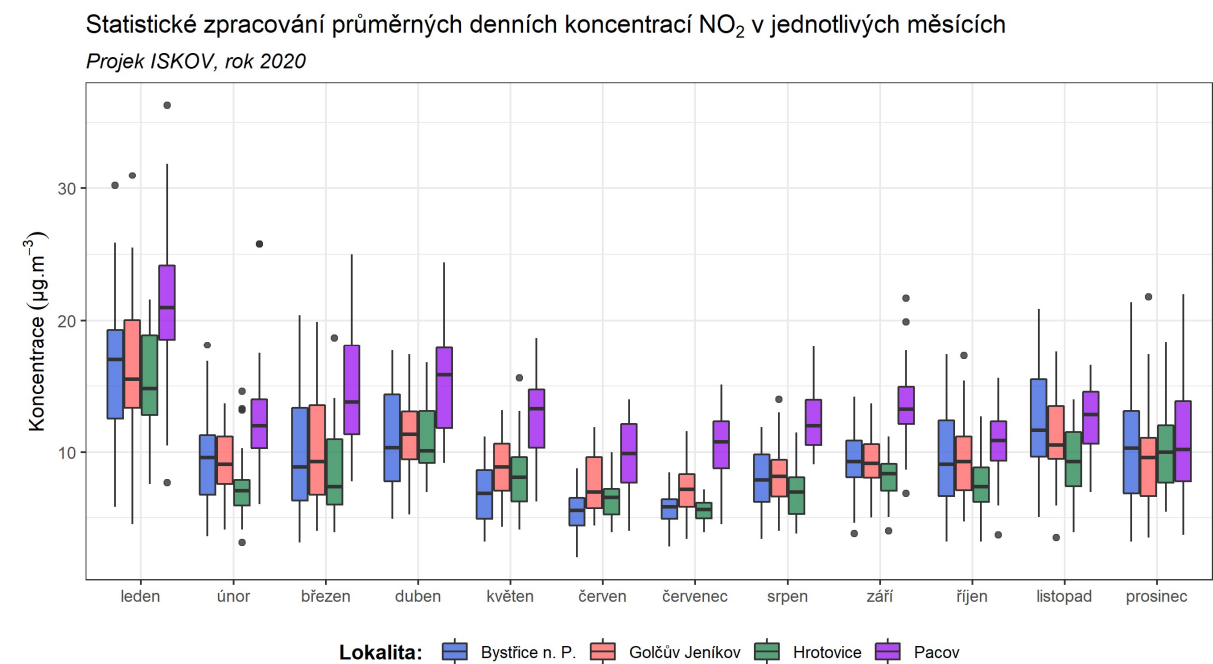
Tab. 10 – Průměrné měsíční koncentrace NO₂, projekt ISKOV, rok 2020

MĚSÍC	BYSTŘICE NAD PERNŠTEJNEM	GOLČŮV JENÍKOV	HROTOVICE	PACOV
LEDEN	16,4	16,7	15,1	21
ÚNOR	9,6	9,4	7,5	13,2
BŘEZEN	10,2	10,4	8,8	14,6
DUBEN	11	11,5	10,9	15,9
KVĚTEN	6,9	8,8	8,1	12,5
ČERVEN	5,4	7,6	6,5	9,6
ČERVENEC	5,7	7,3	5,6	10,4
SRPEN	8	8,4	7	12,6
ZÁŘÍ	9,3	9,3	8,1	13,5
ŘÍJEN	9,4	9,4	7,6	10,8
LISTOPAD	12,6	11,4	9,4	12,5
PROSINEC	10,9	9,4	10,3	10,9



Obr. 67 – Průměrné měsíční koncentrace NO₂, projekt ISKOV, rok 2020

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



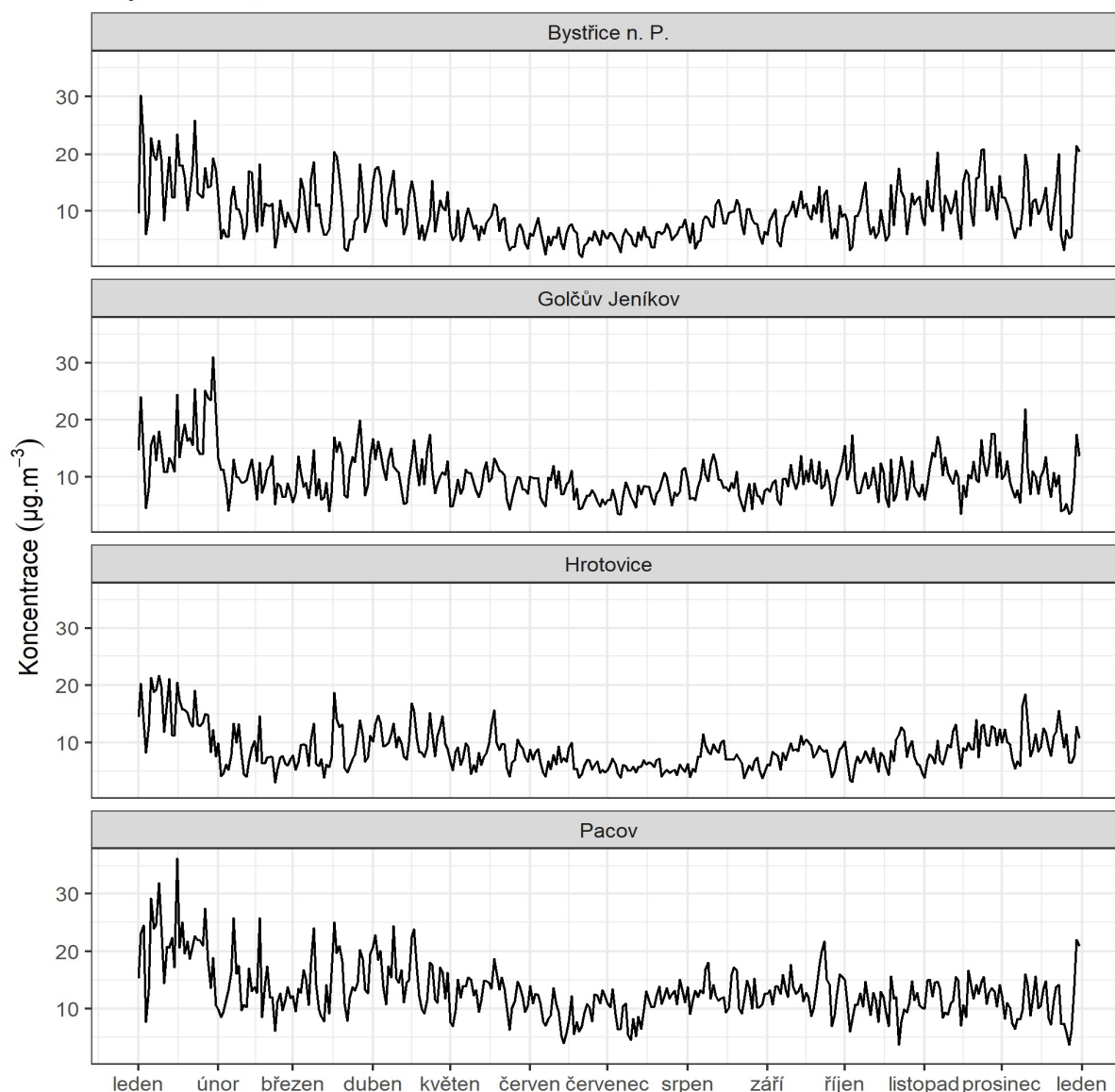
Obr. 68 – Statistické zpracování průměrných denních koncentrací NO_2 v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2020

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 2020 zobrazuje následující Obr. 69.

Vývoj průměrných denních koncentrací NO₂

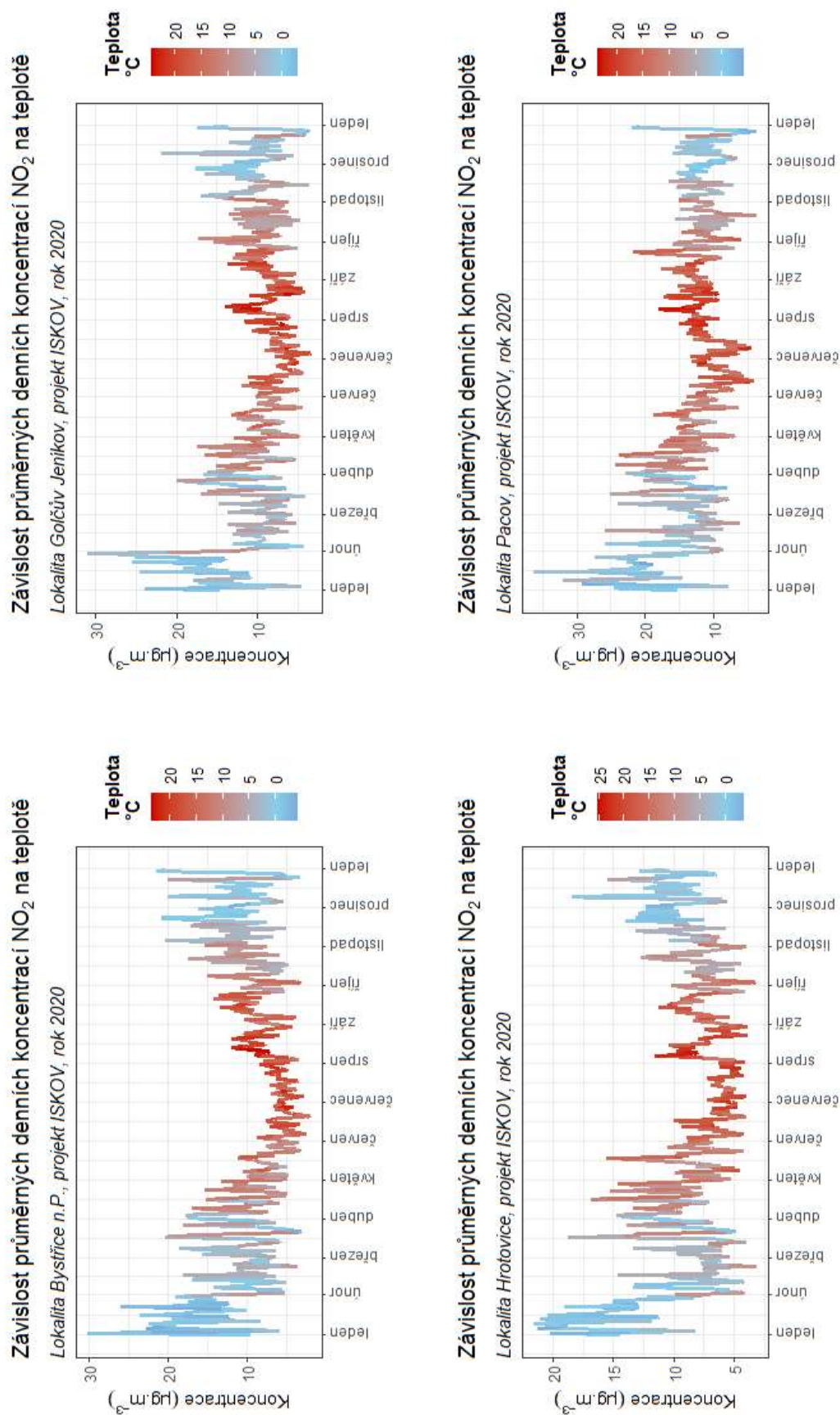
Projek ISKOV, rok 2020



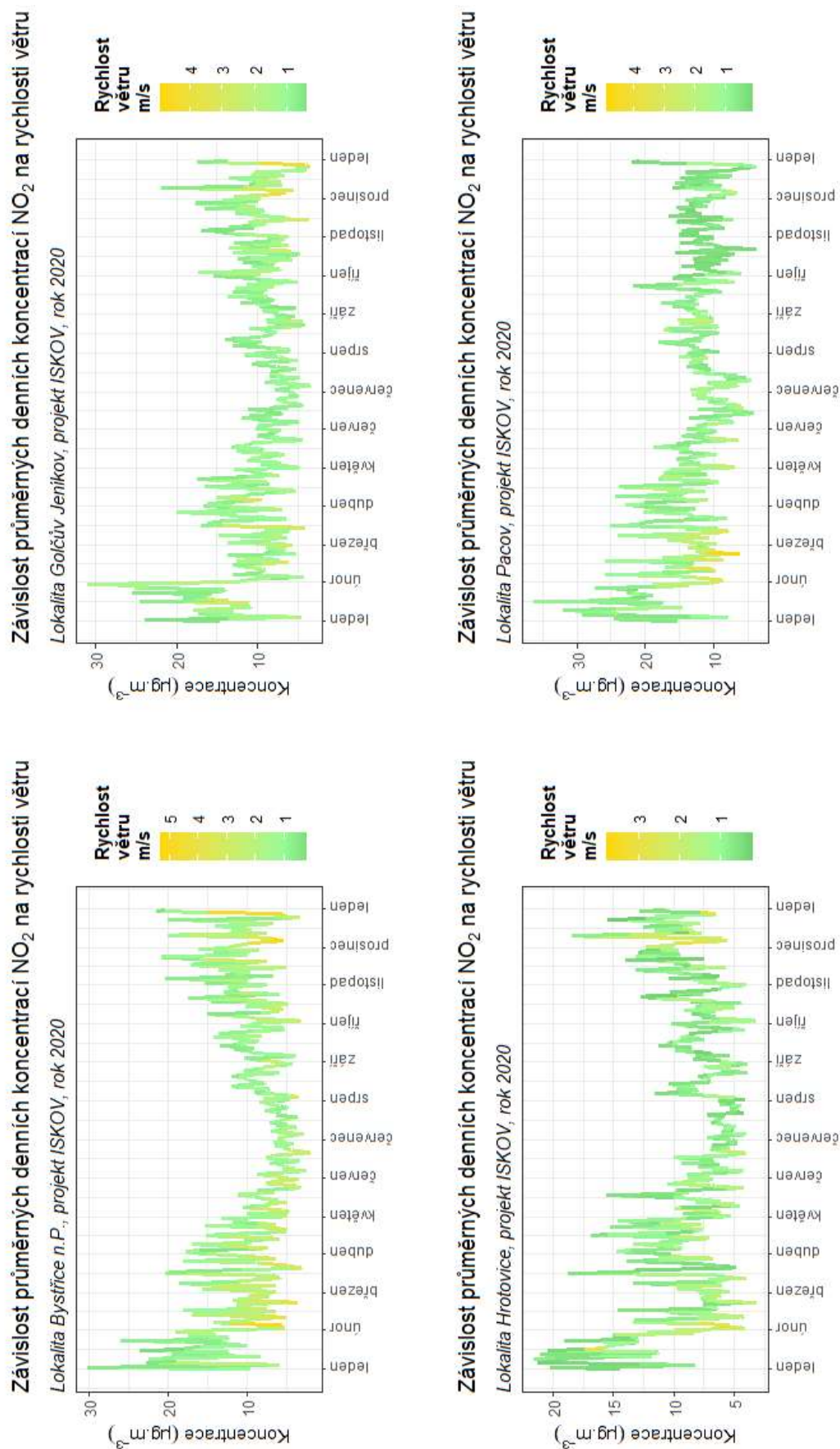
Obr. 69 – Vývoj průměrných denních koncentrací NO₂, projekt ISKOV, rok 2020

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.

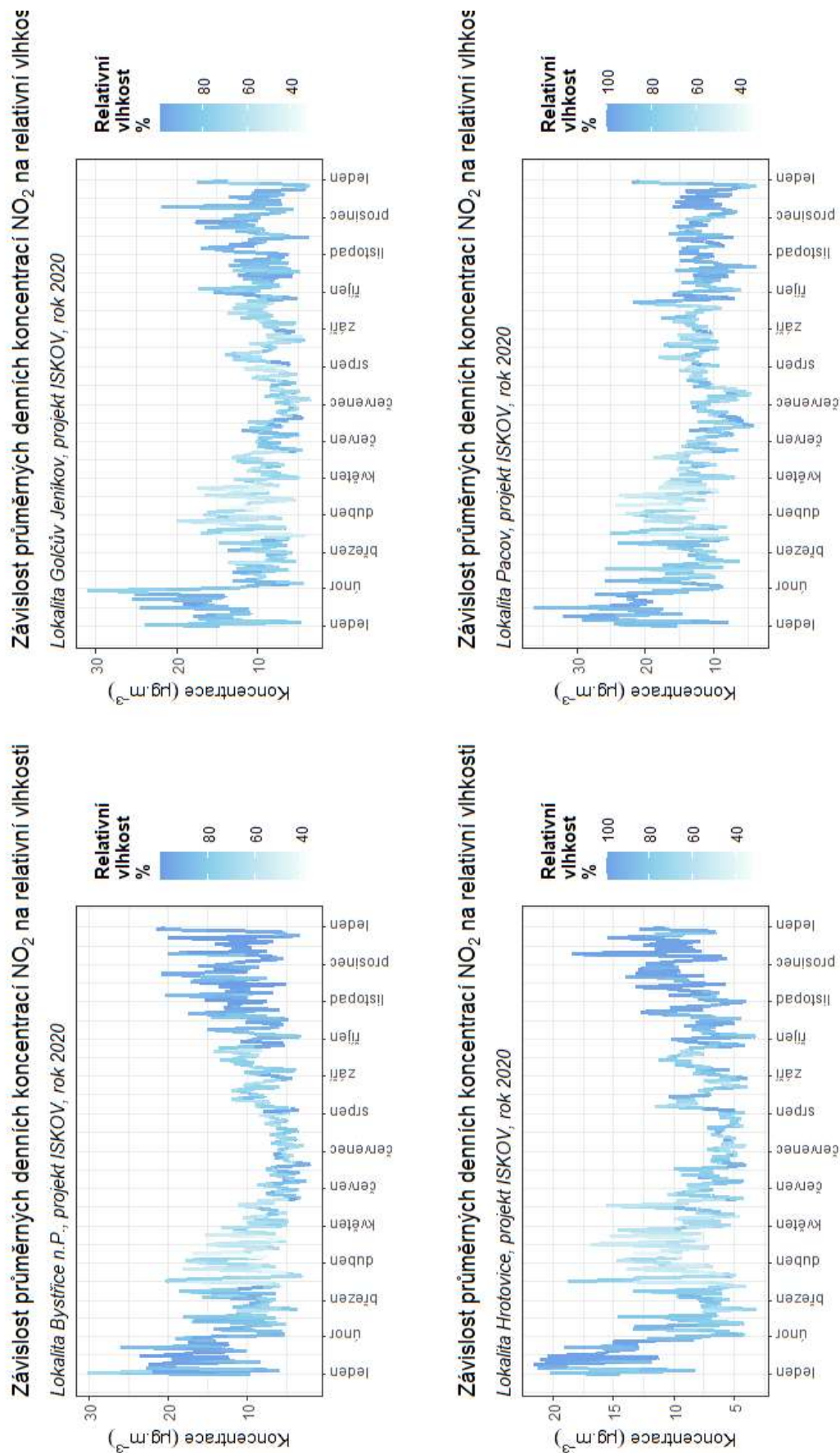
Z grafů je velmi dobře patrné že nejvyšší koncentrace NO₂ jsou měřeny při nejnižších teplotách (nejvyšší potřeba topit), vyšší koncentrace jsou měřeny při nižších rychlostech větru (vlivem bezvětří dochází k horšímu rozptylu znečištění) a vyšších relativních vlhkostech vzduchu.



Obr. 70 – Vliv teploty vzduchu na průměrné denní koncentrace NO₂, projekt ISKOV, rok 2020



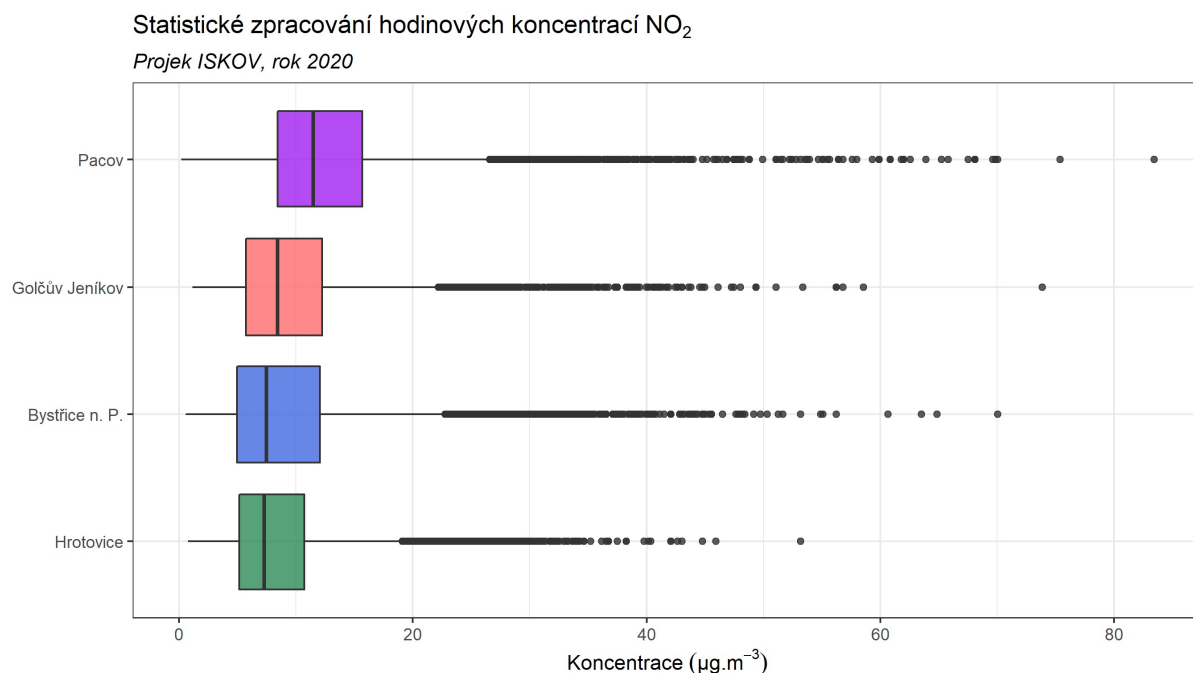
Obr. 71 – Vliv rychlosti větru na průměrné denní koncentrace NO₂, projekt ISKOV, rok 2020



Obr. 72 – Vliv relativní vlhkosti vzduchu na průměrné denní koncentrace NO₂, projekt ISKOV, rok 2020

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.



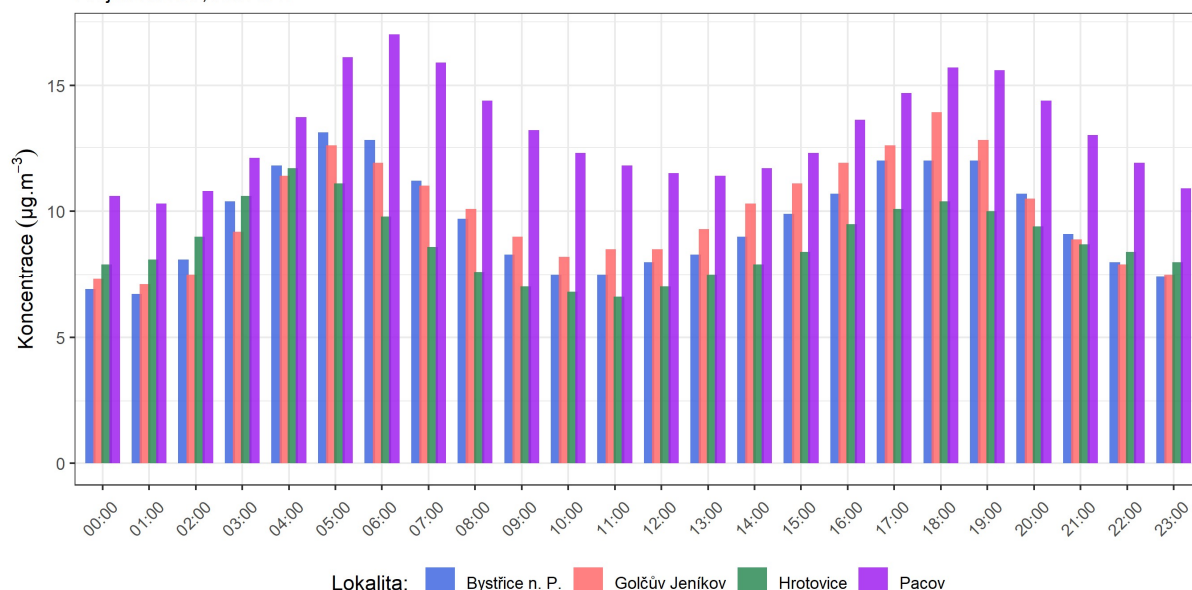
Obr. 73 – Statistické zpracování hodinových koncentrací NO_2 v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2020

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 hodnotu. Maximální naměřené hodnoty nedosáhly ani poloviny hodnoty imisního limitu.**

V lokalitě Pacov byla naměřena nejvyšší hodnota 17. 2. 2020 v 8:00, kdy koncentrace dosáhly na hodnotu $83,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší koncentrace v lokalitě Golčův Jeníkov byla naměřena 30. 1. 2020 v 16:00 a měla hodnotu $73,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, nejvyšší koncentrace v lokalitě Bystřice nad Pernštejnem byla naměřena 23. 9. 2020 v 3:00 a měla hodnotu $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a nejvyšší koncentrace v lokalitě Hrotovice byla naměřena 2. 1. 2020 v 14:00 a měla hodnotu $53,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

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).

Průměrný denní chod hodinových koncentrací NO₂
 Projekt ISKOV, rok 2020



Obr. 74 – Průměrný denní chod hodinových koncentrací NO₂, projekt ISKOV, rok 2020. Čas je uváděn v UTC

Z grafu je velmi dobře patrné, že v průběhu dne dochází ke dvěma maximům, výraznější nastává ráno mezi 4. a 6. hodinou UTC, odpolední maximum pak nastává mezi 16. až 18. hodinou UTC. Tato maxima lze spojit jednak s ranní a odpolední dopravní špičkou, ale také s dobou, kdy se zatápí. Tyto dva faktory zřejmě hrají svou roli v nárůstu koncentrací NO₂ na všech lokalitách. Vyšší hodnoty jsou měřeny v dopravou zatíženějších lokalitách. Přes den jsou koncentrace podstatně nižší, část koncentrací oxidů dusíku se mimo jiné spotřebovává na tvorbu přízemního ozónu. V noci koncentrace neklesají tak výrazně jako přes den, což je jednak důsledek nepřítomnosti slunečního záření, nutného pro fotochemické reakce oxidů dusíku v atmosféře, a dále pak také důsledek emisí z vytápění.

3.3.5 Růžice – detailní analýza hodinových hodnot

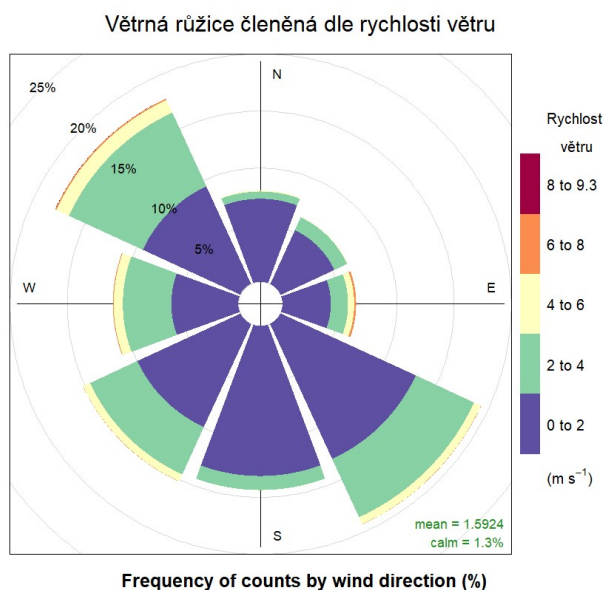
V této podkapitole budou pro všechny lokality připraveny větrné a koncentrační růžice. Větrná růžice bude kromě směrů větru členěna rovněž dle rychlostí větru, které jsou pro koncentrace škodlivin důležité.

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

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

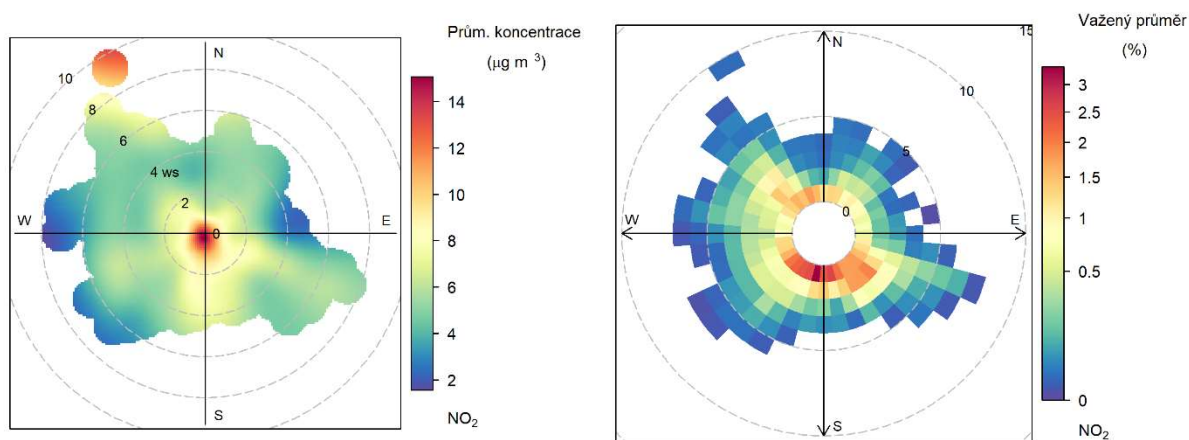
3.3.5.1 Bystřice nad Pernštejnem

Na Obr. 75 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Bystřice nad Pernštejnem*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severozápadních a jihovýchodních směrů. Lokalita je dobře provětrávaná, byly měřeny i vyšší rychlosti větru. Bezvětří se v této lokalitě vyskytovalo zhruba v 1,3 % času. Průměrná rychlost proudění větru byla cca $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 75 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Bystřice nad Pernštejnem, rok 2020

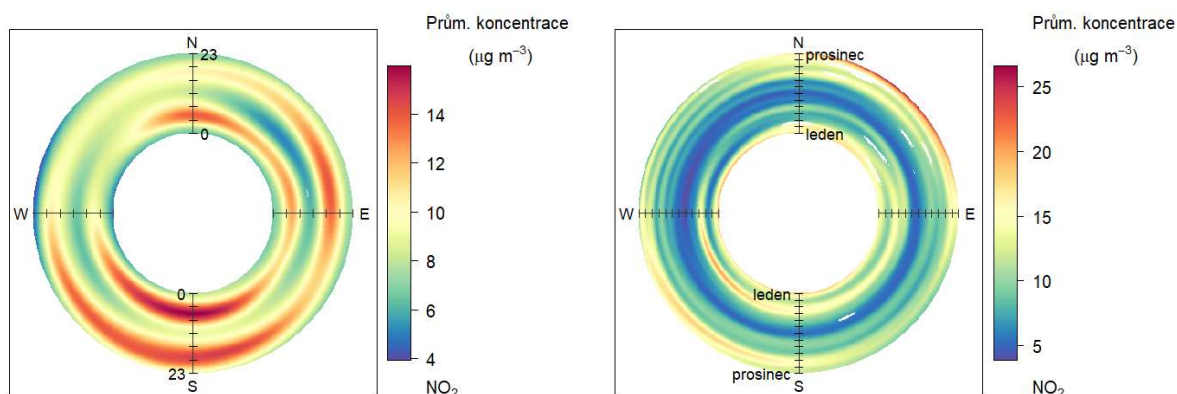
Následující Obr. 76 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro NO_2 v lokalitě *Bystřice nad Pernštejnem*.



Obr. 76 – Koncentrační růžice NO_2 , lokalita Bystřice nad Pernštejnem, rok 2020

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

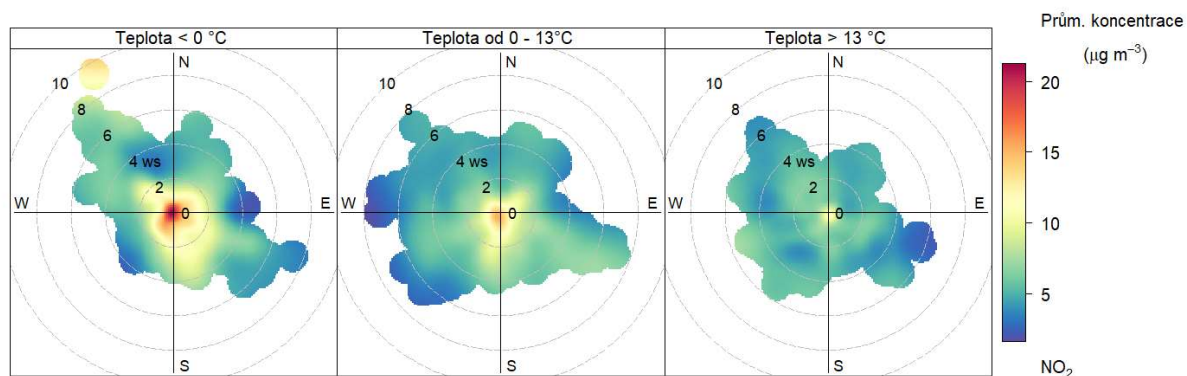
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp.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



Obr. 77 – Denní a roční chod koncentrací NO_2 členěný dle směru větru, lokalita *Bystřice nad Pernštejnem*, rok 2020

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací NO_2 je důležitá ranní a odpolední špička zejména z jižního a severovýchodního směru větru. Maxima jsou pak dosahována zejména v ranních hodinách. Z hlediska ročního chodu lze pozorovat zvýšené koncentrace převážně v topné sezóně, více pak ke konci roku.

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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

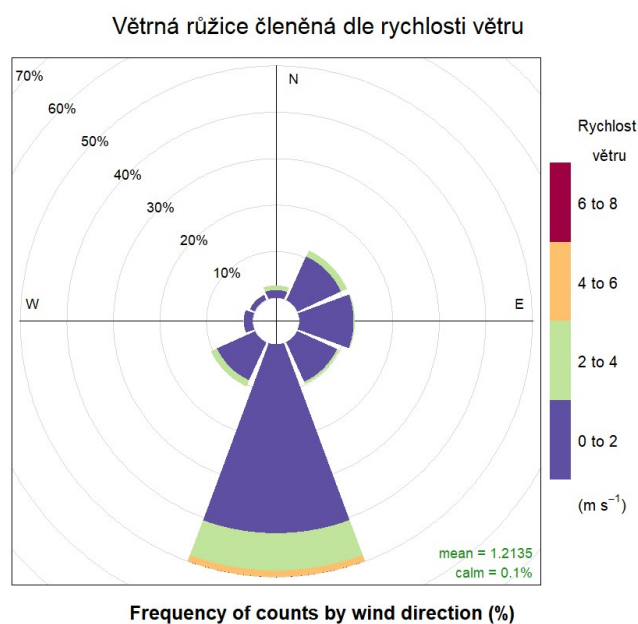


Obr. 78 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Bystřice nad Pernštejnem*, rok 2020

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 NO₂ rovněž při bezvětří.

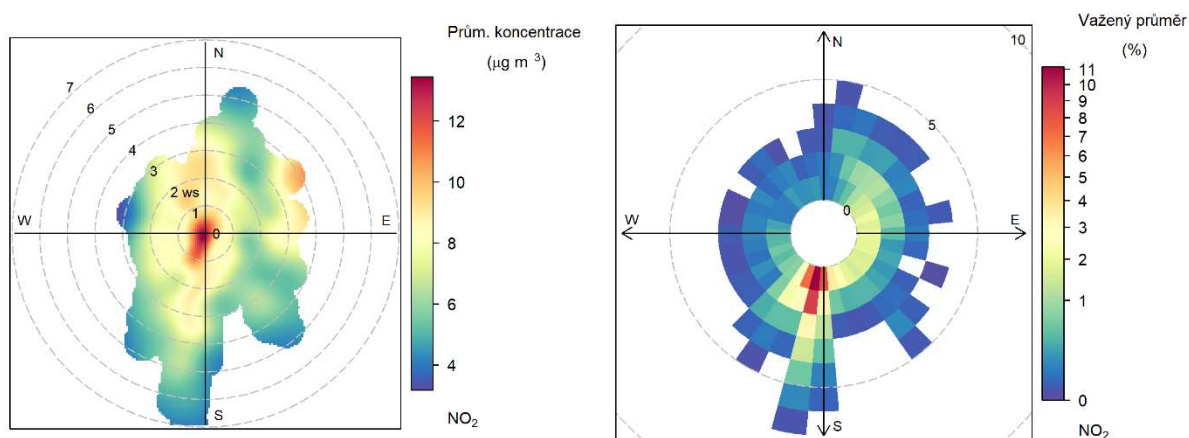
3.3.5.2 Golčův Jeníkov

Na Obr. 79 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu Golčův Jeníkov. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především z jižních směrů, vyšší rychlosti větru než 2 m·s⁻¹ pak byly zaznamenány také právě z jižních směrů. Bezvětří panovalo zhruba v 0,1 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 1,2 m·s⁻¹.



Obr. 79 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Golčův Jeníkov, rok 2020

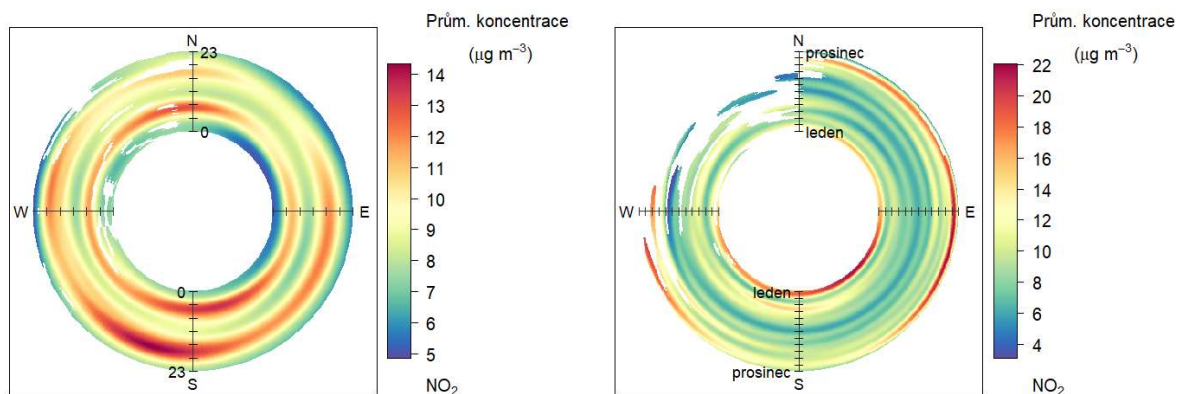
Následující Obr. 80 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro NO₂ v lokalitě Golčův Jeníkov.



Obr. 80 – Koncentrační růžice NO₂, lokalita Golčův Jeníkov, rok 2020

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

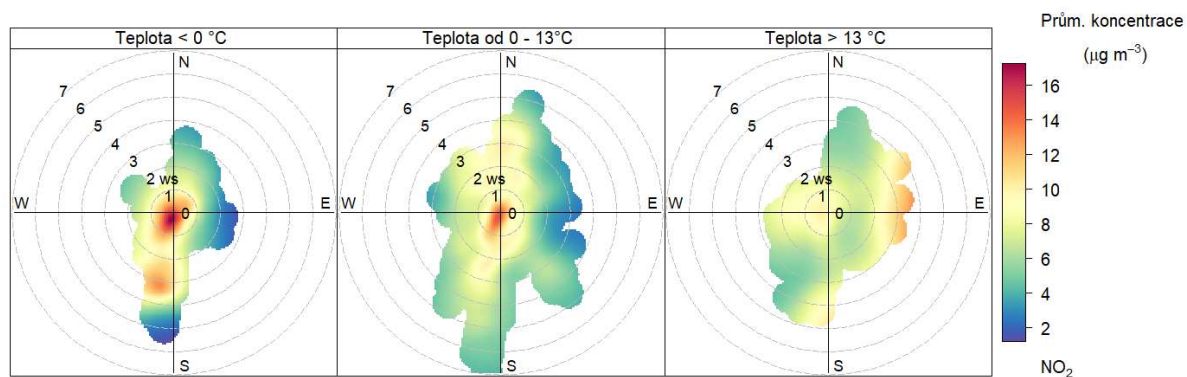
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp.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



Obr. 81 – Denní a roční chod koncentrací NO_2 členěný dle směru větru, lokalita *Golčův Jeníkov*, rok 2020

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací NO_2 je důležitý zejména jižní 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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

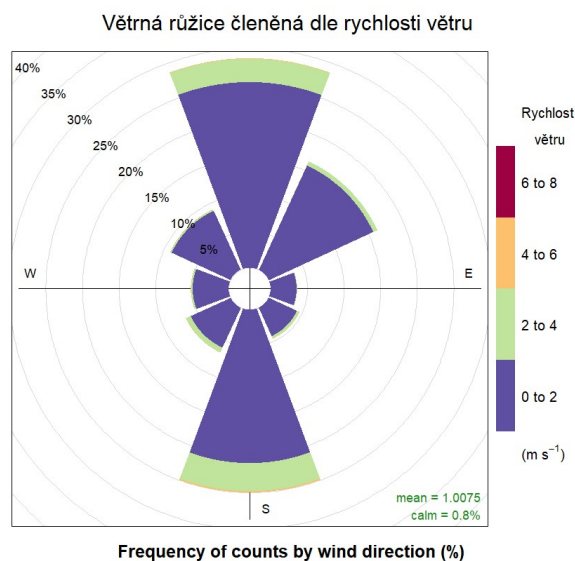


Obr. 82 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita *Golčův Jeníkov*, rok 2020

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

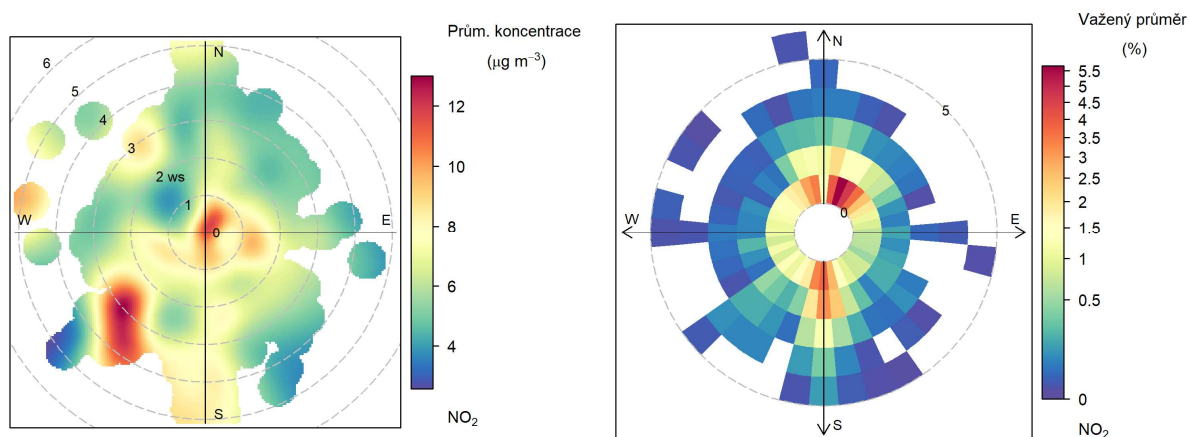
3.3.5.3 Hrotovice

Na Obr. 83 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Hrotovice*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severu a jihu. Vyšší rychlosti větru než $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ pak byly zaznamenány právě z těchto směrů. Bezvětří panovalo zhruba v 0,8 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 83 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Hrotovice, rok 2020

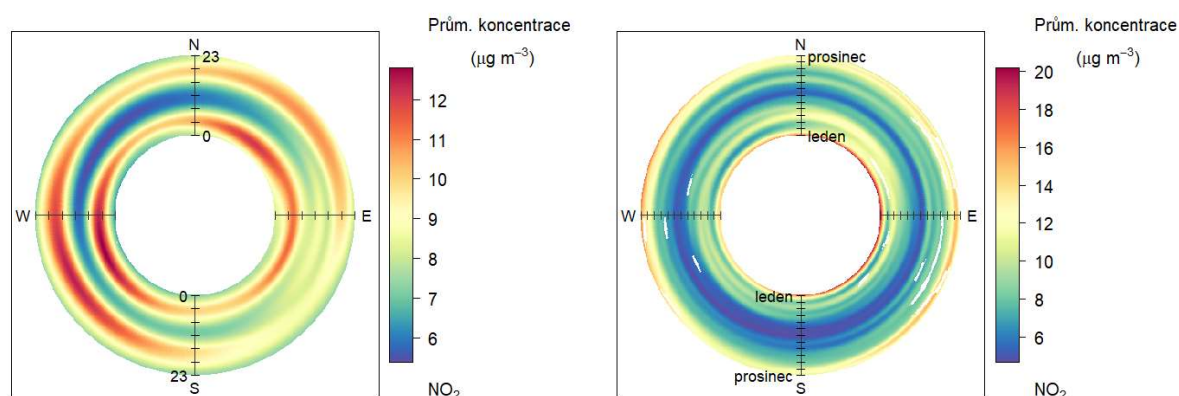
Následující Obr. 84 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro NO_2 v lokalitě *Hrotovice*.



Obr. 84 – Koncentrační růžice NO_2 , lokalita Hrotovice, rok 2020

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

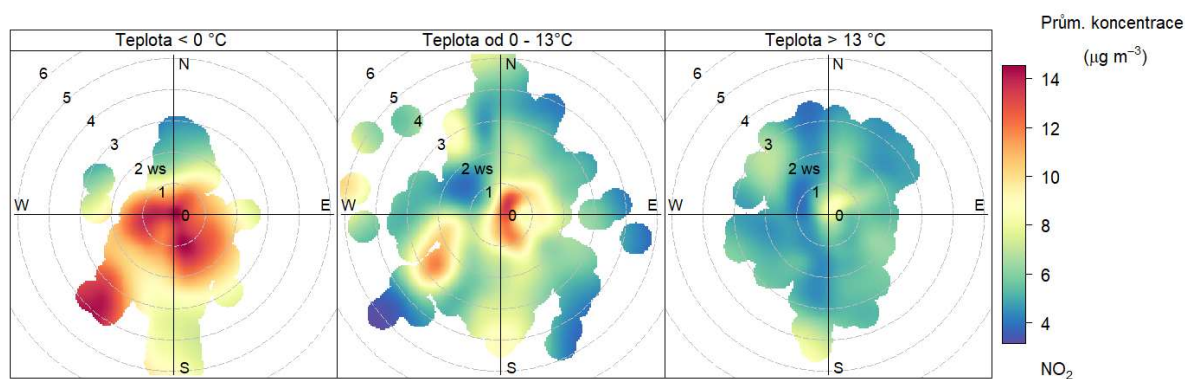
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp.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



Obr. 85 – Denní a roční chod koncentrací NO_2 členěný dle směru větru, lokalita Hrotovice, rok 2020

Z obrázku je opět patrné, že z hlediska vysokých koncentrací NO_2 jsou důležité zejména ranní a večerní hodiny, a to z jihozápadních, popř. severovýchodních směrů. 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. 86 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je 0°C , prostřední růžice zobrazuje koncentrace NO_2 při teplotách v intervalu od 0 do 13°C , a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13°C .

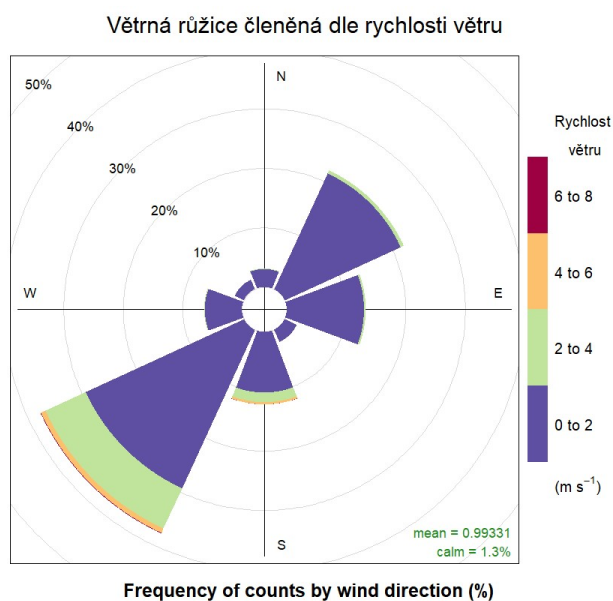


Obr. 86 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Hrotovice, rok 2020

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

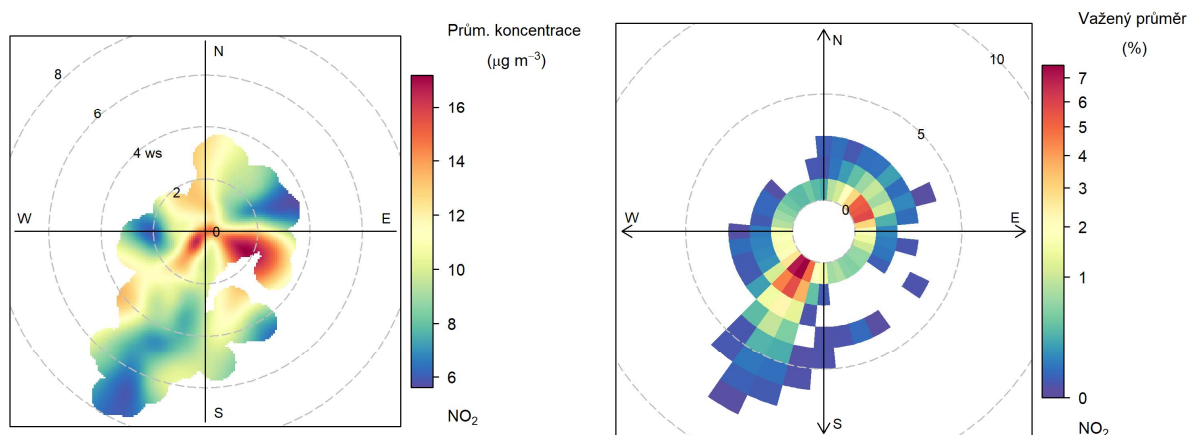
3.3.5.4 Pacov

Na Obr. 87 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu Pacov. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především z jihozápadních a severovýchodních směrů, vyšší rychlosti větru než 2 m·s⁻¹ byly měřeny při proudění z jihozápadu a jihu. Bezvětrí panovalo zhruba v 1,3 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 1 m·s⁻¹.



Obr. 87 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Pacov, rok 2020

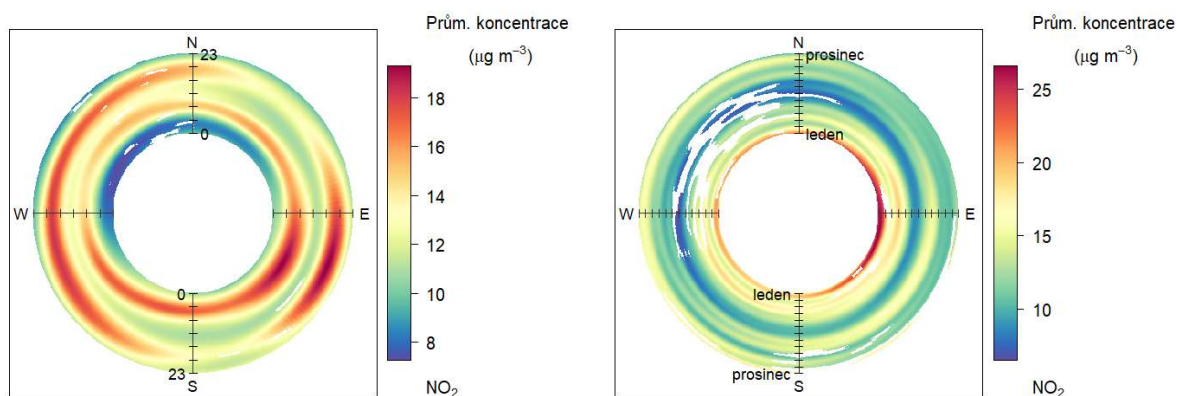
Následující Obr. 88 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro NO₂ v lokalitě Pacov.



Obr. 88 – Koncentrační růžice NO₂, lokalita Pacov, rok 2020

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 NO₂ přišlo z jihozápadních, popř. severovýchodních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

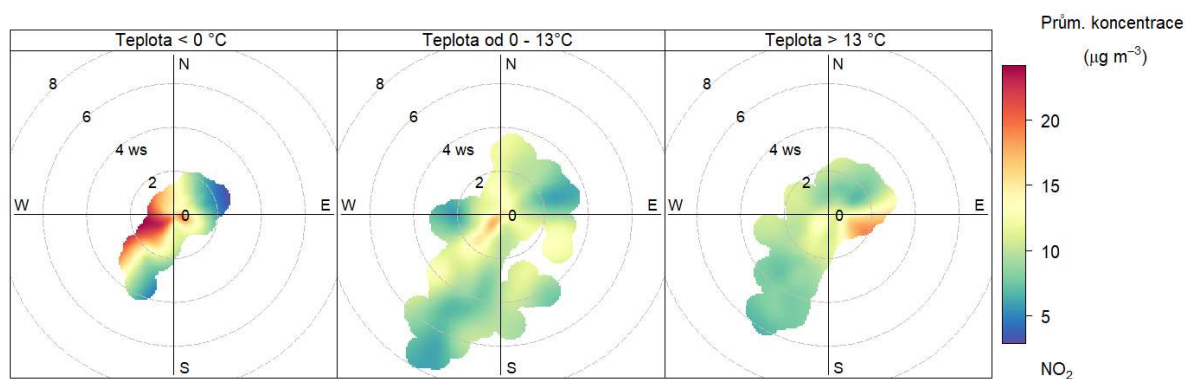
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp.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



Obr. 89 – Denní a roční chod koncentrací NO₂ členěný dle směru větru, lokalita Pacov, rok 2020

Z obrázku je patrné, že z hlediska vysokých koncentrací NO₂ je důležitý zejména západní a východní 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 východních 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 °C, prostřední růžice zobrazuje koncentrace NO₂ při teplotách v intervalu od 0 do 13 °C, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než 13 °C.



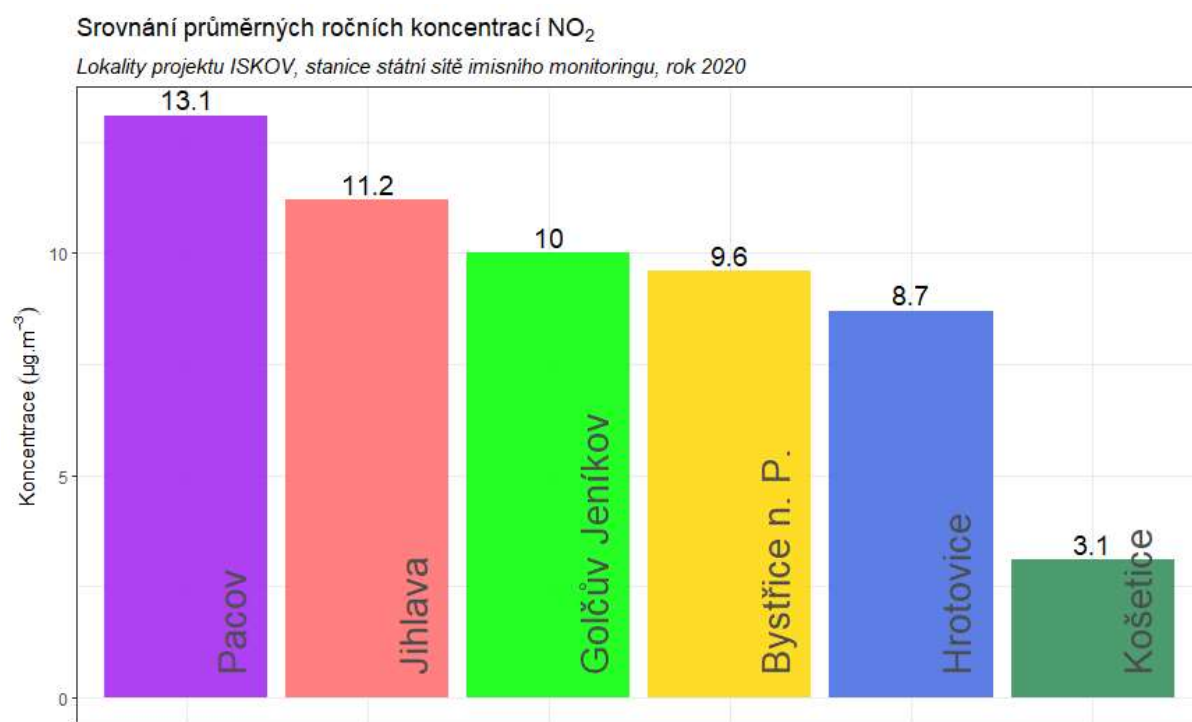
Obr. 90 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Pacov, rok 2020

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

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 Pacov. Nejnižší hodnoty průměrné roční koncentrace NO₂ byly naměřeny v lokalitě Košetice.



Obr. 91 – Srovnání průměrných ročních koncentrací NO₂, lokality projektu ISKOV a lokality SSIM, rok 2020

3.4 PŘÍZEMNÍ OZÓN

Přízemní ozón O_3 nemá v atmosféře vlastní významný zdroj. Jedná se o tzv. sekundární látku vznikající v celé řadě velmi komplikovaných nelineárních fotochemických reakcí [12]. Prekurzory O_3 jsou oxidy dusíku (NO_x) a nemetanické těkavé organické látky (NMVOC), v globálním měřítku hrají roli i metan (CH_4) a oxid uhelnatý (CO). Důležitou reakcí je fotolýza NO_2 zářením o vlnové délce 280–430 nm, při které vzniká NO a atomární kyslík. Reakcí atomárního a molekulárního kyslíku pak za přítomnosti katalyzátoru dochází ke vzniku molekuly O_3 . Současně probíhá titrace O_3 oxidem dusnatým za vzniku NO_2 a O_2 . Pokud je při této reakci O_3 nahrazen radikály, jeho koncentrace v atmosféře rostou. Důležitou úlohu při těchto reakcích hraje zejména radikál OH.

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

Při vzniku O_3 z prekurzorů nezáleží pouze na absolutním množství prekurzorů, ale i na jejich vzájemném poměru [13]. V oblastech, kde je režim limitovaný NO_x , charakterizovaný relativně nízkými koncentracemi NO_x a vysokými koncentracemi VOC, narůstají koncentrace O_3 s rostoucími koncentracemi NO_x , zatímco se vzrůstajícími koncentracemi VOC se mění jen málo. Naopak v oblastech s režimem limitovaným VOC dochází k poklesu koncentrací O_3 s rostoucími koncentracemi NO_x a nárůstu koncentrací O_3 s rostoucími koncentracemi VOC. Oblasti s vysokým poměrem NO_x/VOC jsou typicky znečištěné oblasti okolo center velkých měst. Závislost vzniku O_3 na počátečních koncentracích VOC a NO_x se často vyjadřují na diagramech ozonových isopleť. Jedná se o zobrazení maximální dosažené koncentrace ozonu jako funkce počáteční koncentrace NO_x a VOC. Významnou roli při vzniku O_3 hrají nejen koncentrace prekurzorů, ale i meteorologické podmínky [14]. Imisní koncentrace O_3 rostou s rostoucím ultrafialovým zářením a teplotou, naopak klesají s rostoucí relativní vlhkostí vzduchu. Vysoké koncentrace bývají spojeny s déletrvající anticyklonální situací. Kromě výše popsaného fotochemického mechanismu se koncentrace O_3 mohou zvyšovat i epizodicky v důsledku průniku stratosférického O_3 do troposféry a též při bouřkách. V poslední době se též zvyšuje význam dálkového přenosu O_3 v rámci proudění na severní polokouli do Evropy a Severní Ameriky ze zdrojových oblastí jihovýchodní Asie. O_3 je z atmosféry odstraňován reakcí s NO a suchou depozicí.

3.5 8HODINOVÉ KLOUZAVÉ PRŮMĚRY O_3

Z hlediska ochrany kvality ovzduší stanovuje příloha 1, bod 4 zákona o ochraně ovzduší [2] imisní limit pro troposférický ozón. Pro ochranu zdraví lidí platí imisní limit pro maximální denní 8hodinový klouzavý průměr O_3 . Hodnota imisního limitu je $120 \mu g \cdot m^{-3}$, 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 2020. Z tabulky vyplývá, že Lokalita Golčův Jeníkov překročila imisní limit $120 \mu g \cdot m^{-3}$, ostatní lokality tak vysokých hodnot nedosahovaly a imisní limit dodržely, i když lokalita Hrotovice se mu přiblížila. 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.

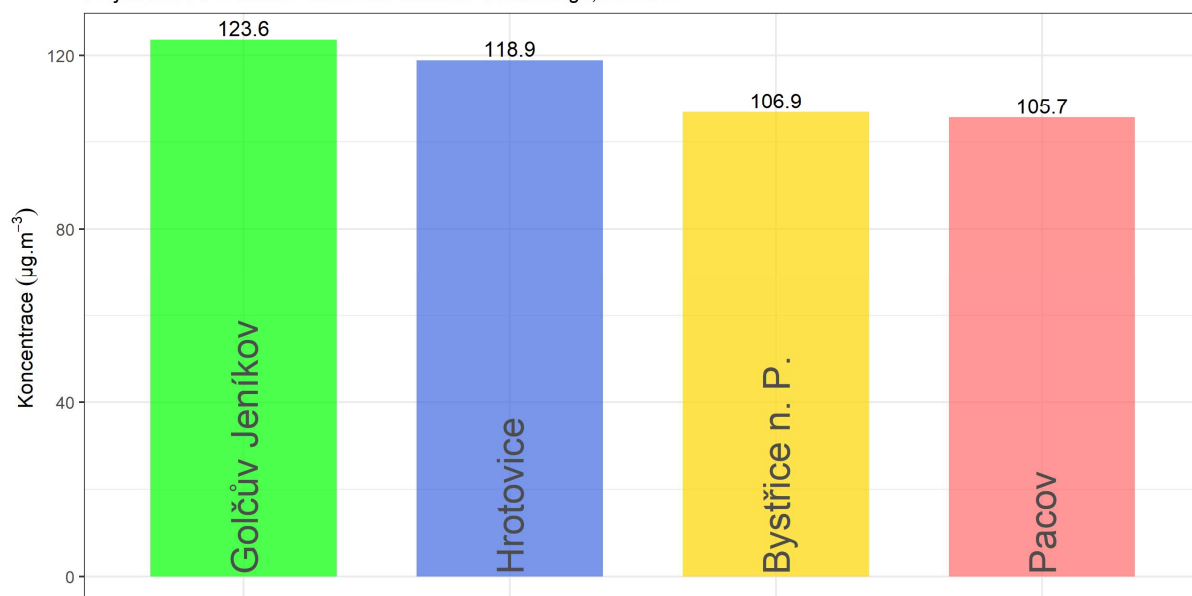
Vývoj maximálních denních 8hodinových klouzavých průměrů O_3 v roce 2020 v jednotlivých lokalitách pak zobrazuje Obr. 94.

Tab. 11 – Vyhodnocení 26 nejvyšších 8hodinových klouzavých průměrů O_3 za den, projekt ISKOV, rok 2020

POŘADÍ	BYSTŘICE NAD PERNŠTEJNEM	GOLČŮV JENÍKOV	HROTOVICE	PACOV
1	127,5	156,7	136,3	131,1
2	127,3	147,9	135,9	123,3
3	116,3	146,6	132,5	122,3
4	116,2	142,8	130,6	119,7
5	115,5	139,1	126,3	118,1
6	114,8	136,4	126,3	117,5
7	114,1	135,9	125,7	115,6
8	114	134,3	125,7	114,8
9	113,7	132,5	125,4	113,1
10	112,3	131,7	124,6	112,5
11	111,6	131,4	124,3	112,1
12	111,1	131,3	123,6	112
13	110,8	130,6	123,4	110,6
14	110,8	129,4	123,2	110,4
15	110,7	128,5	122,7	109,6
16	110,2	128	122,3	109,6
17	109,9	127,6	122,2	109,1
18	109,9	127,5	121,5	109,1
19	109,9	127,4	120,9	109
20	109,1	127,3	120,6	108,8
21	108,3	126,1	120,2	108
22	107,6	125,9	120	108
23	107,4	125,8	119,7	107,3
24	107,3	125,7	119,7	105,9
25	107,3	124,7	119,7	105,7
26	106,9	123,6	118,9	105,7

26. nejvyšší 8hodinový klouzavý průměr koncentrací O₃ za den

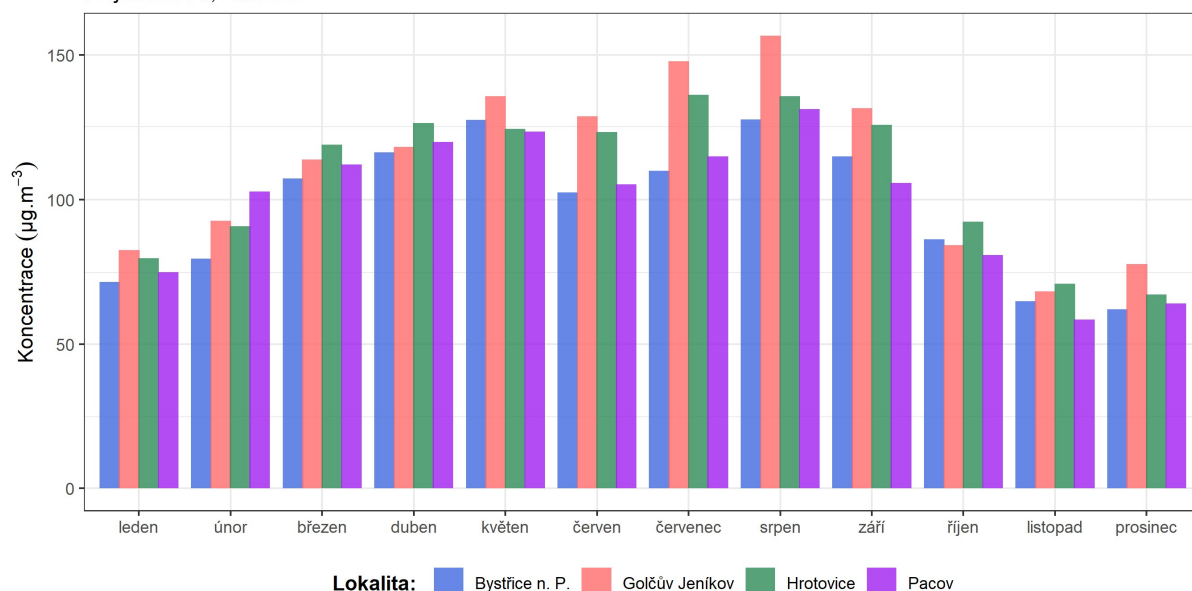
Projek ISKOV a stanice státní sítě imisního monitoringu, rok 2020



Obr. 92 – 26. nejvyšší 8hodinový klouzavý průměr O₃ za den, projekt ISKOV a stanice státní sítě imisního monitoringu, rok 2020

Maximální měsíční 8hodinový klouzavý průměr koncentrací O₃

Projek ISKOV, rok 2020

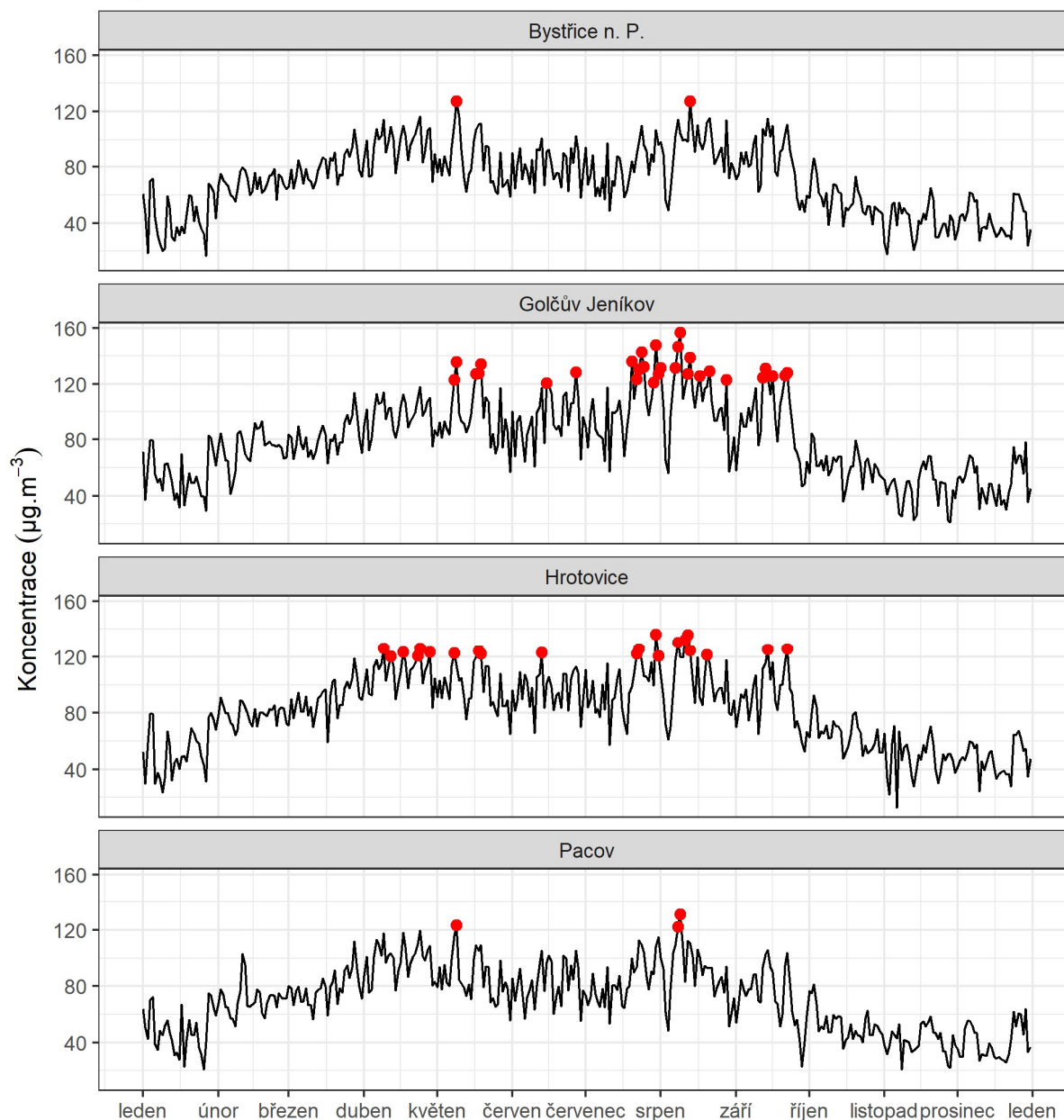


Obr. 93 – Maximální 8hodinový klouzavý průměr O₃ za den v jednotlivých měsících, projekt ISKOV, rok 2020

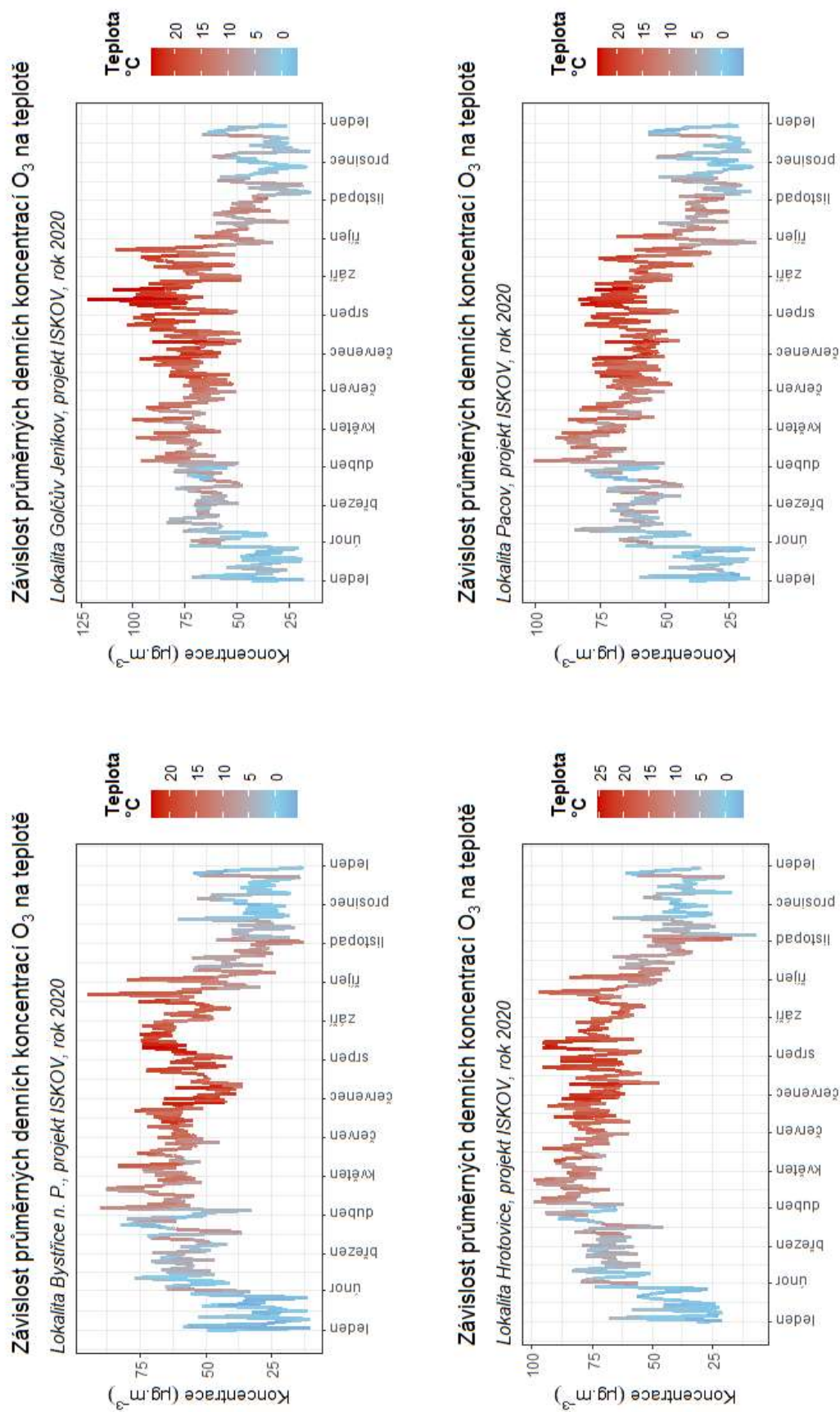
Na Obr. 95 – Obr. 97 je zobrazena závislost průměrných denních koncentrací O₃ na meteorologických veličinách. Je velmi dobře patrné, že vysoké koncentrace O₃ se vyskytují zejména při vysokých teplotách a nižších relativních vlhkostech vzduchu.

Vývoj maximálních 8h klouzavých průměrů koncentrací O₃ za den

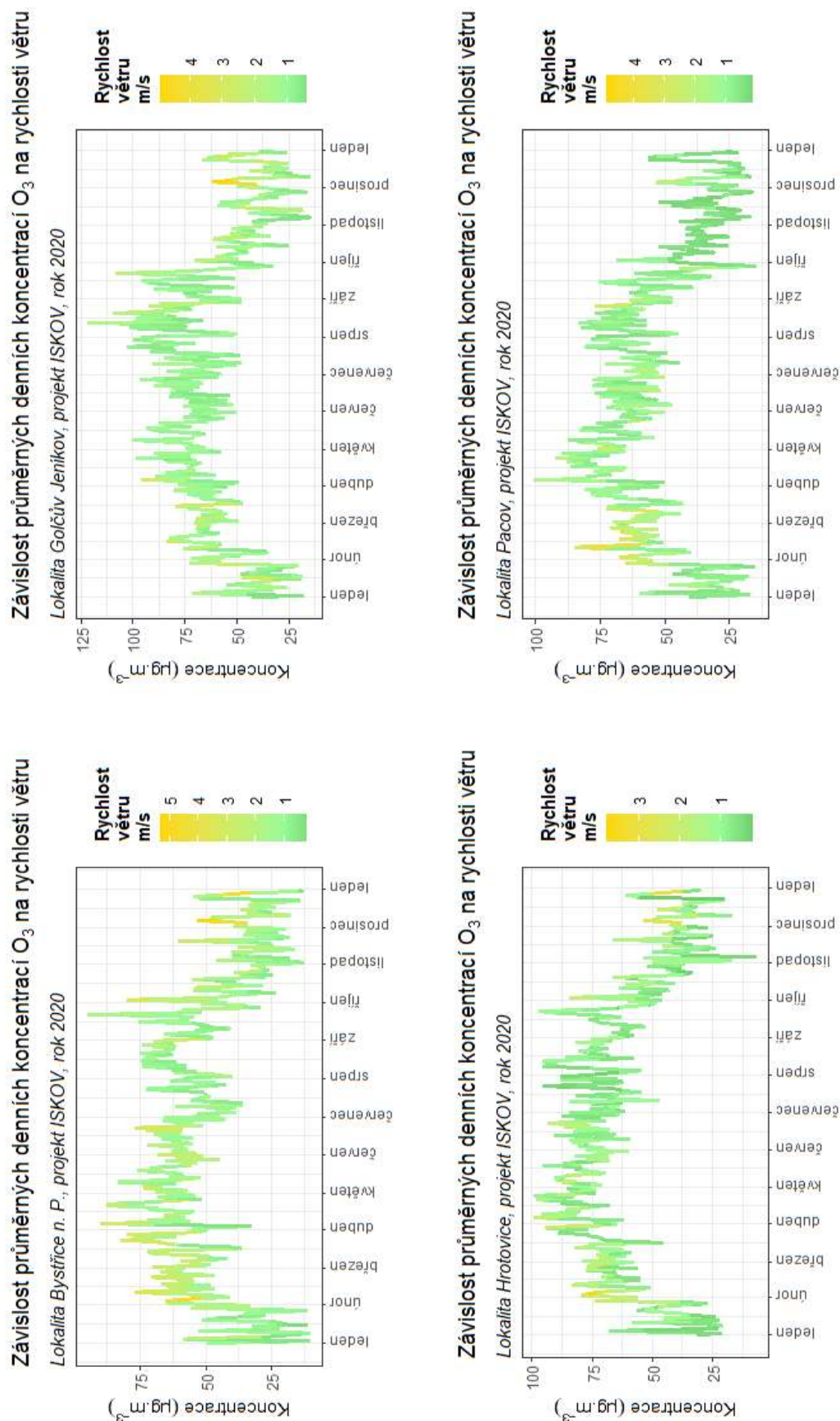
Projek ISKOV, rok 2020



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 2020



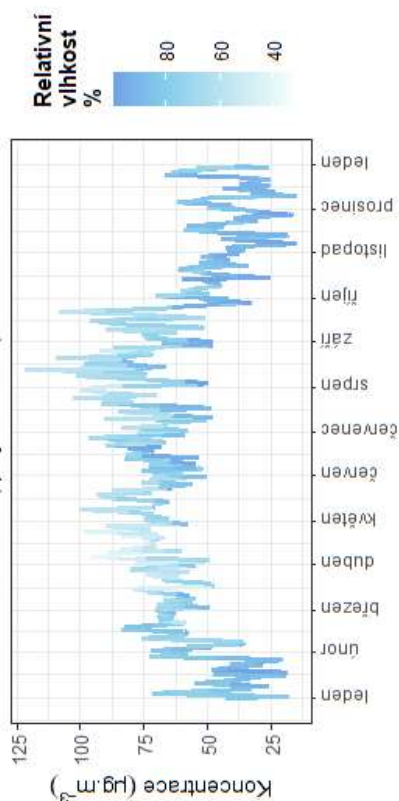
Obr. 95 – Vliv teploty vzduchu na průměrné denní koncentrace O_3 , projekt ISKOV, rok 2020



Obr. 96 – Vliv rychlosti větru na průměrné denní koncentrace O_3 , projekt ISKOV, rok 2020

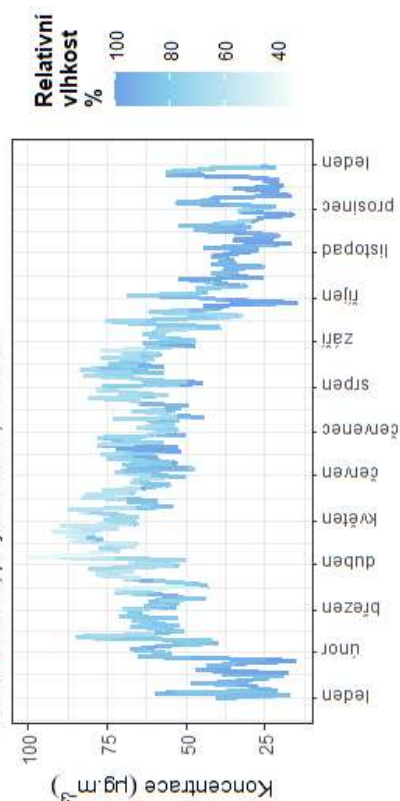
Závislost průměrných denních koncentrací O_3 na relativní vlhkosti

Lokalita Golčův Jeníkov, projekt ISKOV, rok 2020



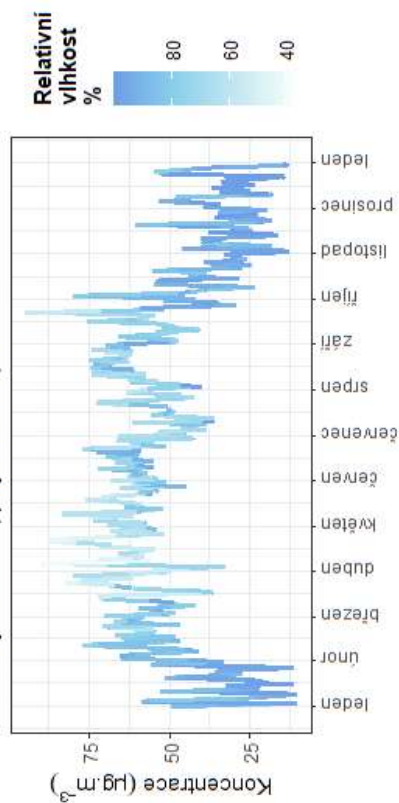
Závislost průměrných denních koncentrací O_3 na relativní vlhkosti

Lokalita Pacov, projekt ISKOV, rok 2020



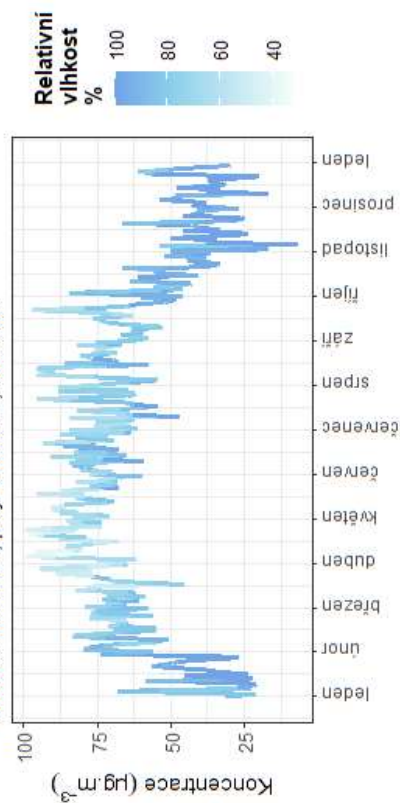
Závislost průměrných denních koncentrací O_3 na relativní vlhkosti

Lokalita Bystřice n. P., projekt ISKOV, rok 2020



Závislost průměrných denních koncentrací O_3 na relativní vlhkosti

Lokalita Hrotovice, projekt ISKOV, rok 2020



Obr. 97 – Vliv relativní vlhkosti vzduchu na průměrné denní koncentrace O_3 , projekt ISKOV, rok 2020

3.5.1 Růžice – detailní analýza hodinových hodnot

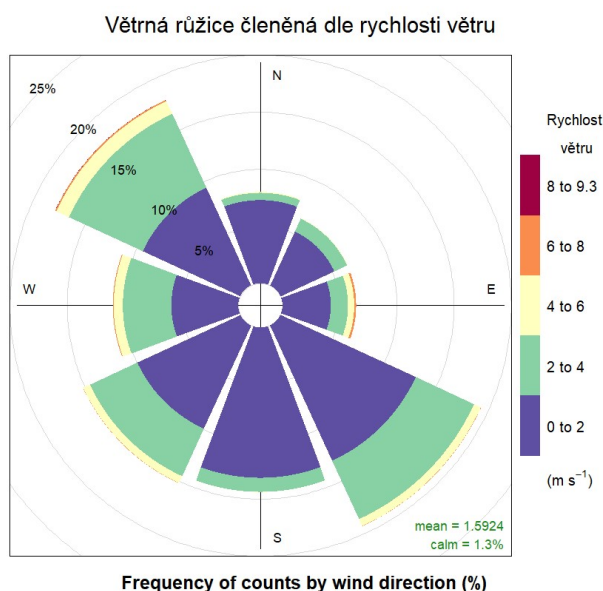
V této podkapitole budou pro všechny lokality připraveny větrné a koncentrační růžice. Větrná růžice bude kromě směrů větru členěna rovněž dle rychlostí větru, které jsou pro koncentrace škodlivin důležité.

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.

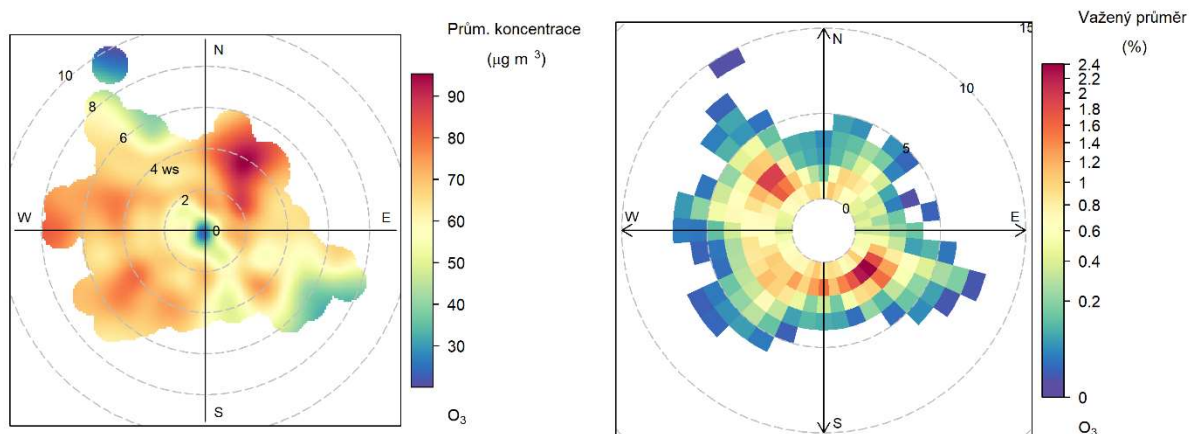
3.5.1.1 Bystřice nad Pernštejnem

Na Obr. 98 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Bystřice nad Pernštejnem*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severozápadních a jihovýchodních směrů. Lokalita je dobře provětrávaná, byly měřeny i vyšší rychlosti větru. Bezvětří se v této lokalitě vyskytovalo zhruba v 1,3 % času. Průměrná rychlost proudění větru byla cca $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 98 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Bystřice nad Pernštejnem, rok 2020

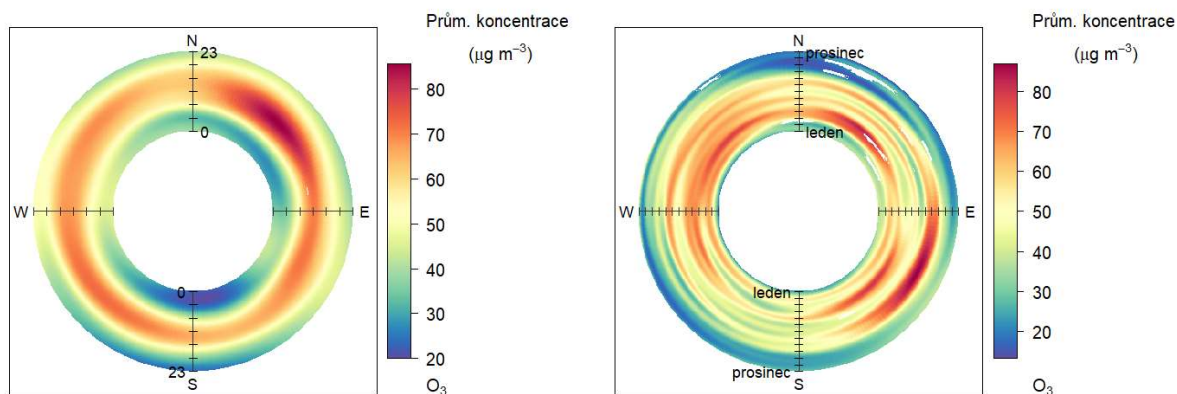
Následující Obr. 99 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro O_3 v lokalitě *Bystřice nad Pernštejnem*.



Obr. 99 – Koncentrační růžice O_3 , lokalita Bystřice nad Pernštejnem, rok 2020

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze severu až severovýchodu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění O_3 přišlo z jihovýchodních směrů a severovýchodních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

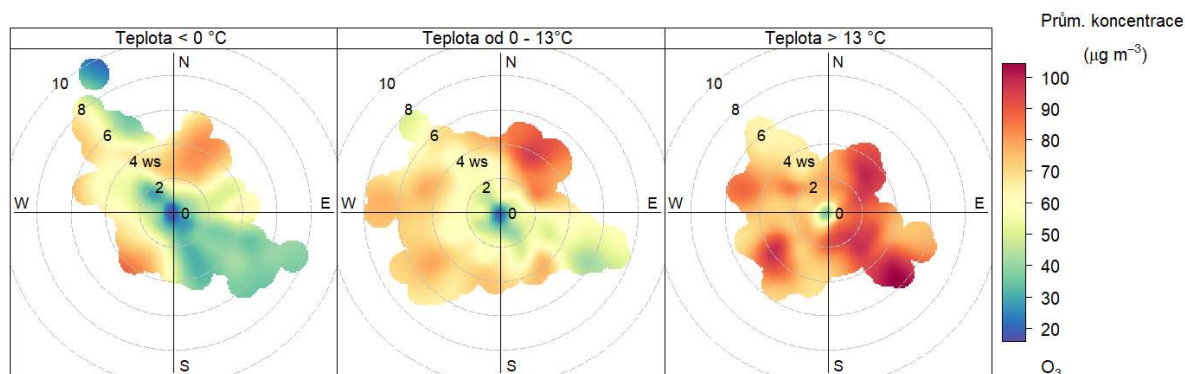
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp.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



Obr. 100 – Denní a roční chod koncentrací O_3 členěný dle směru větru, lokalita Bystřice nad Pernštejnem, rok 2020

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 severovýchodu. 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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

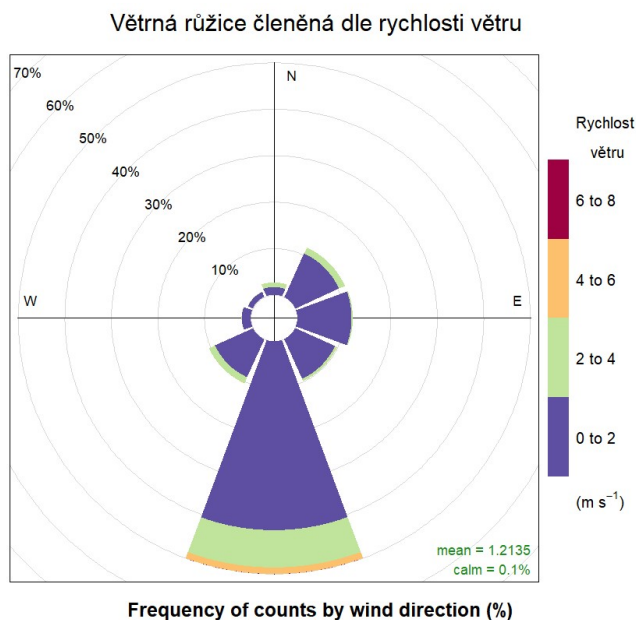


Obr. 101 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Bystřice nad Pernštejnem, rok 2020

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.

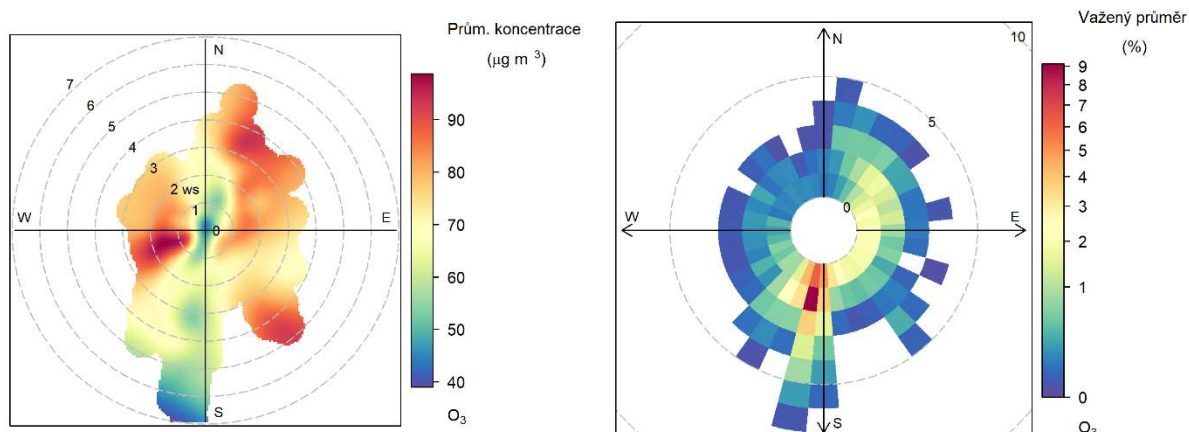
3.5.1.2 Golčův Jeníkov

Na Obr. 102 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu Golčův Jeníkov. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především z jižních směrů, vyšší rychlosti větru než 2 m·s⁻¹ pak byly zaznamenány také právě z jižních směrů. Bezvětrí panovalo zhruba v 0,1 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla 1,2 m·s⁻¹.



Obr. 102 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Golčův Jeníkov, rok 2020

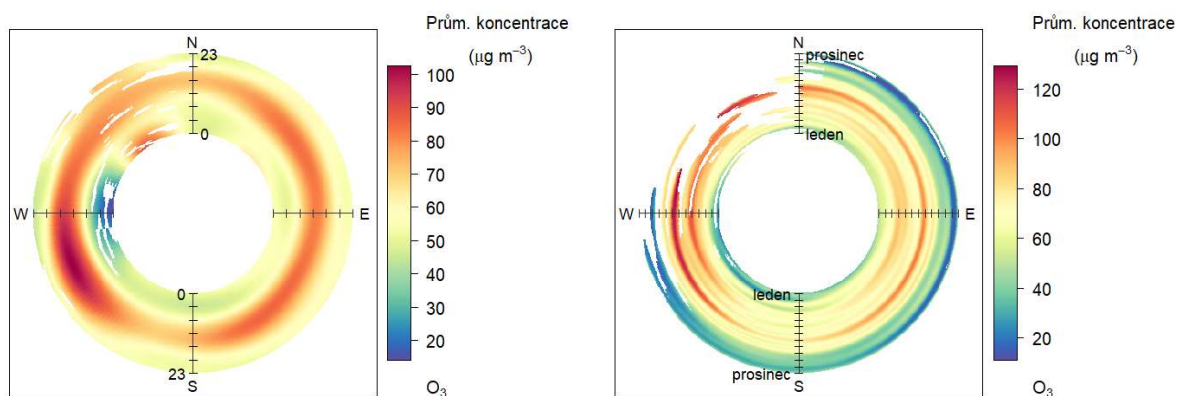
Následující Obr. 103 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro O₃ v lokalitě Golčův Jeníkov.



Obr. 103 – Koncentrační růžice O_3 , lokalita Golčův Jeníkov, rok 2020

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při vyšších rychlostech větru, zejména ze západu, jihovýchodu a severovýchodu. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění O_3 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 Golčův Jeníkov je tento denní chod vynesena na Obr. 104.

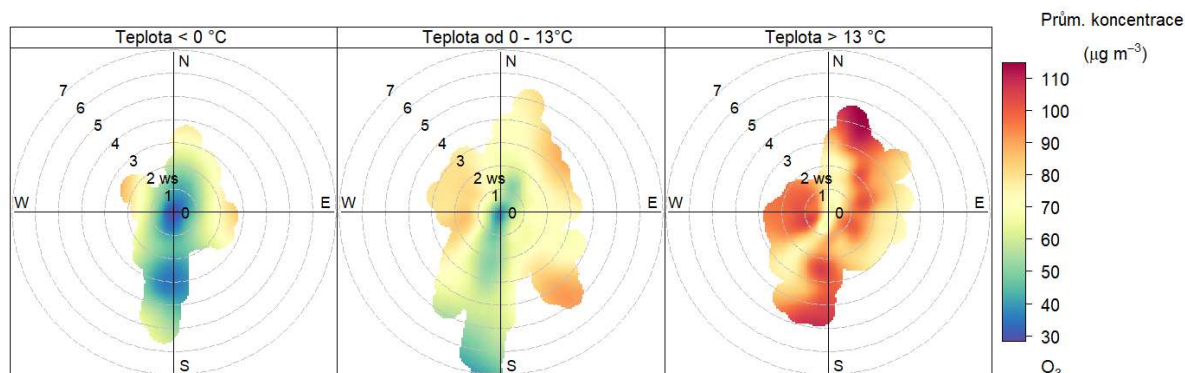


Obr. 104 – Denní a roční chod koncentrací O_3 členěný dle směru větru, lokalita Golčův Jeníkov, rok 2020

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 západu až jihozápadu. Z hlediska ročního vývoje jsou maxima měřena v letních měsících, v chladné části roku jsou koncentrace nízké.

Následující Obr. 105 uvádí opět koncentrační růžici, která je ale dále členěna dle teploty vzduchu. Úplně vlevo je koncentrační růžice při teplotách vzduchu nižších, než je $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,

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.

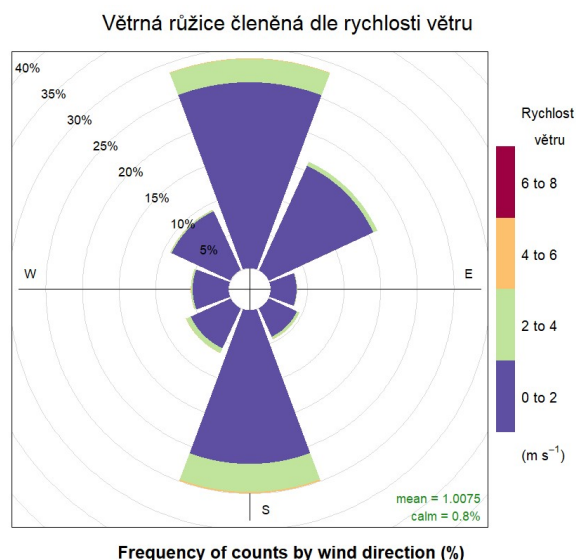


Obr. 105 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Golčův Jeníkov, rok 2020

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

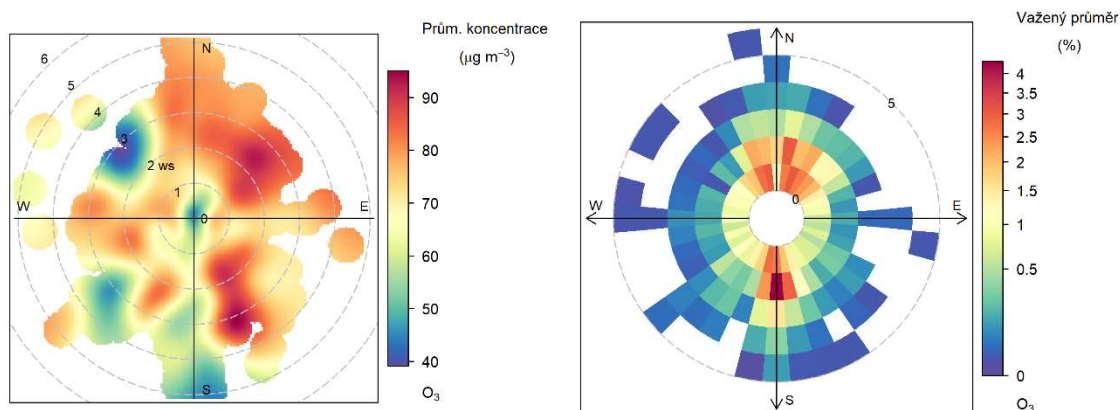
3.5.1.3 Hrotovice

Na Obr. 106 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu Hrotovice. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především ze severu a jihu. Vyšší rychlosti větru než $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ pak byly zaznamenány právě z těchto směrů. Bezvětří panovalo zhruba v 0,8 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 106 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Hrotovice, rok 2020

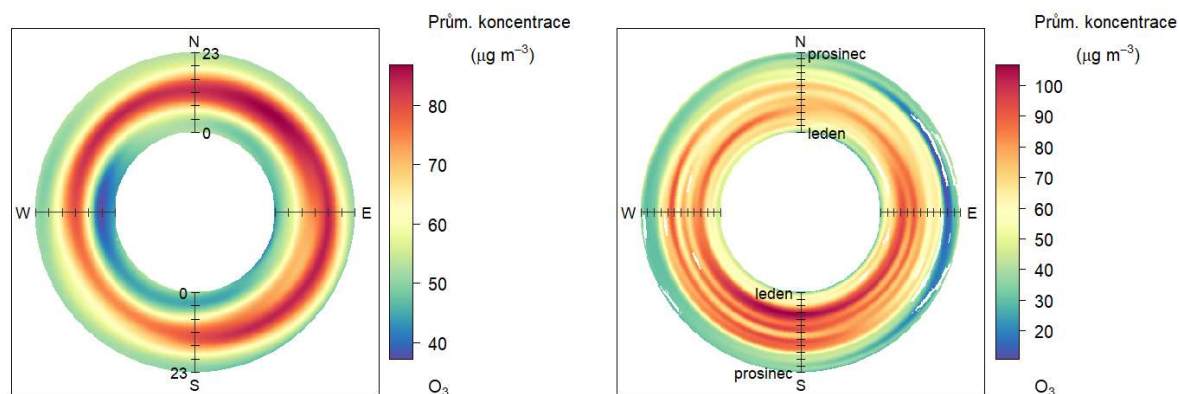
Následující Obr. 107 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro O_3 v lokalitě Hrotovice.



Obr. 107 – Koncentrační růžice O_3 , lokalita Hrotovice, rok 2020

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při proudění ze severovýchodu a jihovýchodu a spíše vyšších rychlostech větru. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění O_3 přišlo ze jižních a severních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

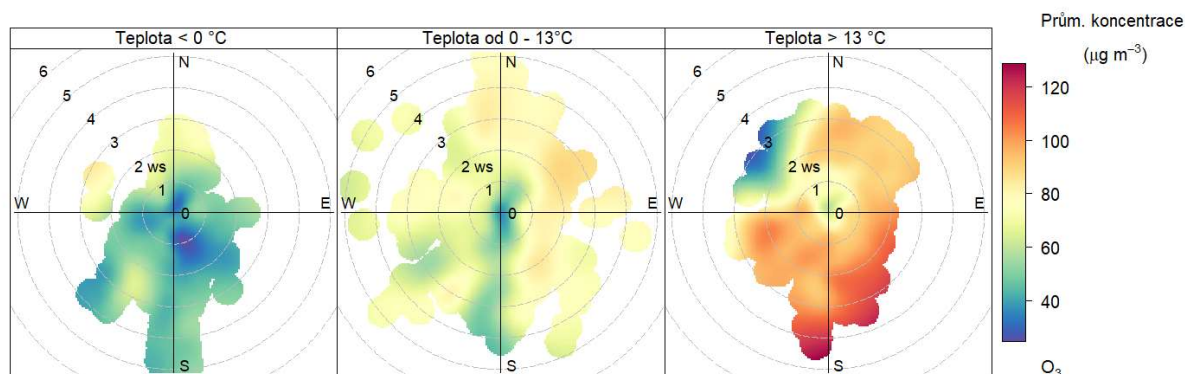
Kromě členění koncentrační růžice dle směru a rychlosti větru je možné vynášet do polárních souřadnic průměrné koncentrace v závislosti na směru větru a denní, popř. roční době. Vznikne tak směrově závislý denní chod koncentrací, kdy ve středu kruhu je vynášen čas 0:00 a na okraji je pak 23:00, resp.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



Obr. 108 – Denní a roční chod koncentrací O_3 členěný dle směru větru, lokalita Hrotovice, rok 2020

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 severovýchodu až jihovýchodu. Z hlediska ročního vývoje jsou maxima měřena v letních měsících především z jižních 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 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

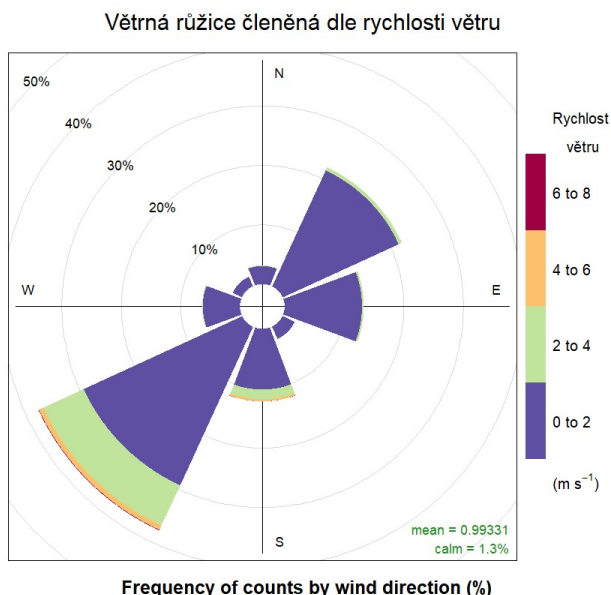


Obr. 109 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Hrotovice, rok 2020

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

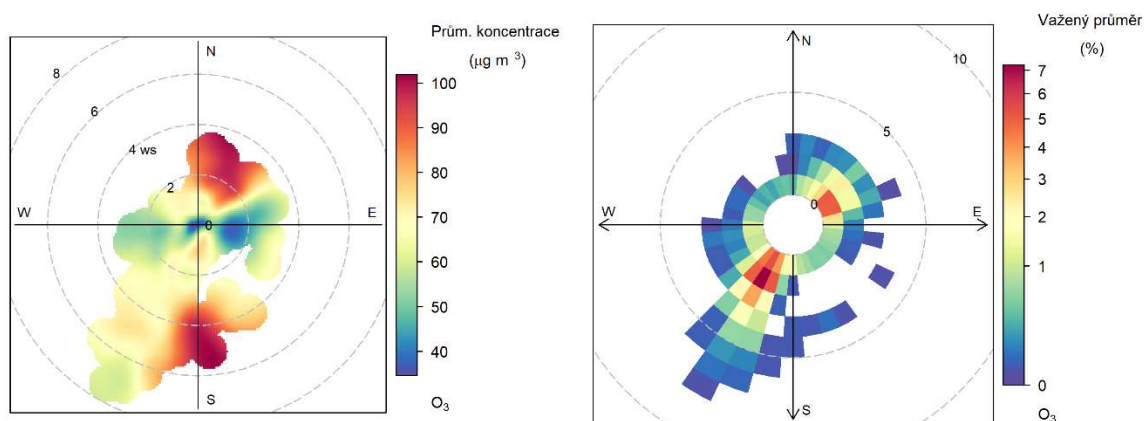
3.5.1.4 Pacov

Na Obr. 110 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu *Pacov*. Z růžice je patrné, že v lokalitě fouká především z jihozápadních a severovýchodních směrů, vyšší rychlosti větru než $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ byly měřeny při proudění z jihozápadu a jihu. Bezvětrí panovalo zhruba v 1,3 % času měření. Průměrná rychlost proudění větru byla $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 110 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, lokalita Pacov, rok 2020

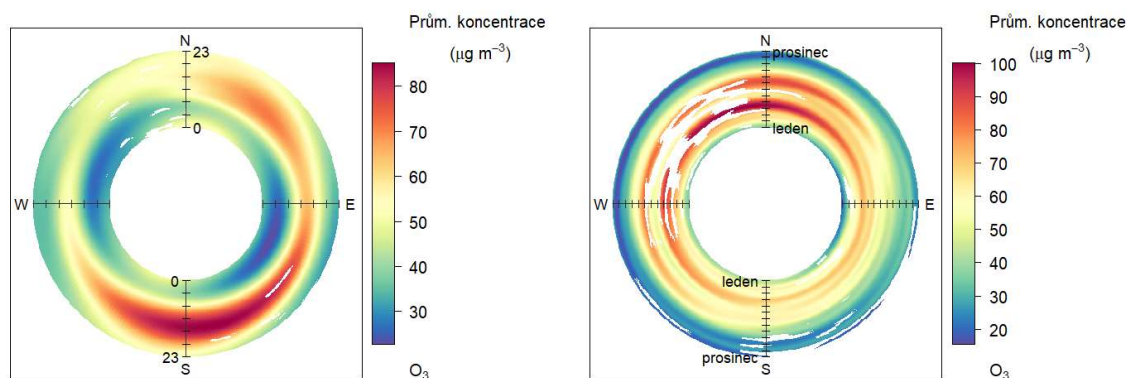
Následující Obr. 111 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro O_3 v lokalitě *Pacov*.



Obr. 111 – Koncentrační růžice O_3 , lokalita Pacov, rok 2020

Z koncentrační růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou v průměru měřeny při jižním nebo severním proudění a vyšších rychlostech větru. Vážená koncentrační růžice pak ukazuje, že nejvíce znečištění O_3 přišlo ze jihozápadních směrů – z těchto směrů foukalo nejčastěji.

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



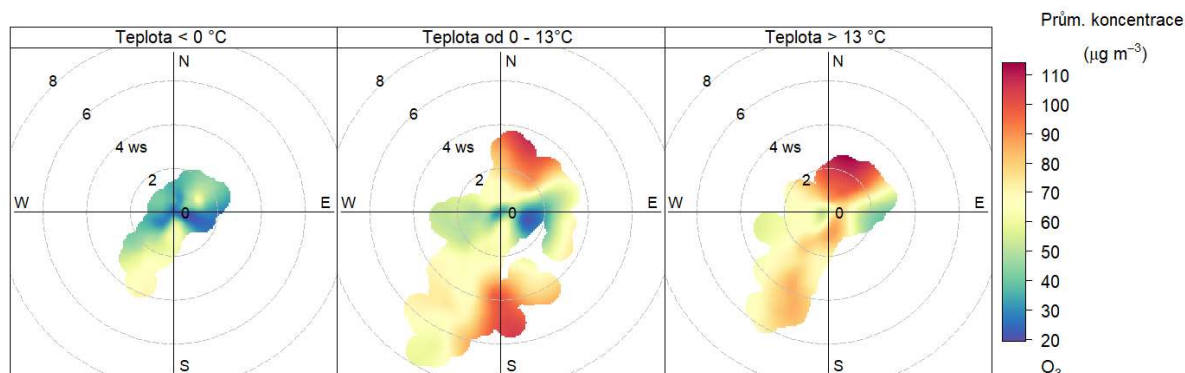
Obr. 112 – Denní a roční chod koncentrací O_3 členěný dle směru větru, lokalita Pacov, rok 2020

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 jihu. Z hlediska ročního vývoje jsou maxima měřena v letních měsících.

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 O_3 při teplotách v intervalu od 0 do $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, a vpravo je pak koncentrační růžice pro teploty vyšší než $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Z koncentračních růžic vyplývá, že vysoké koncentrace jsou měřeny při teplotách nad $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ a severním prouděním, 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.

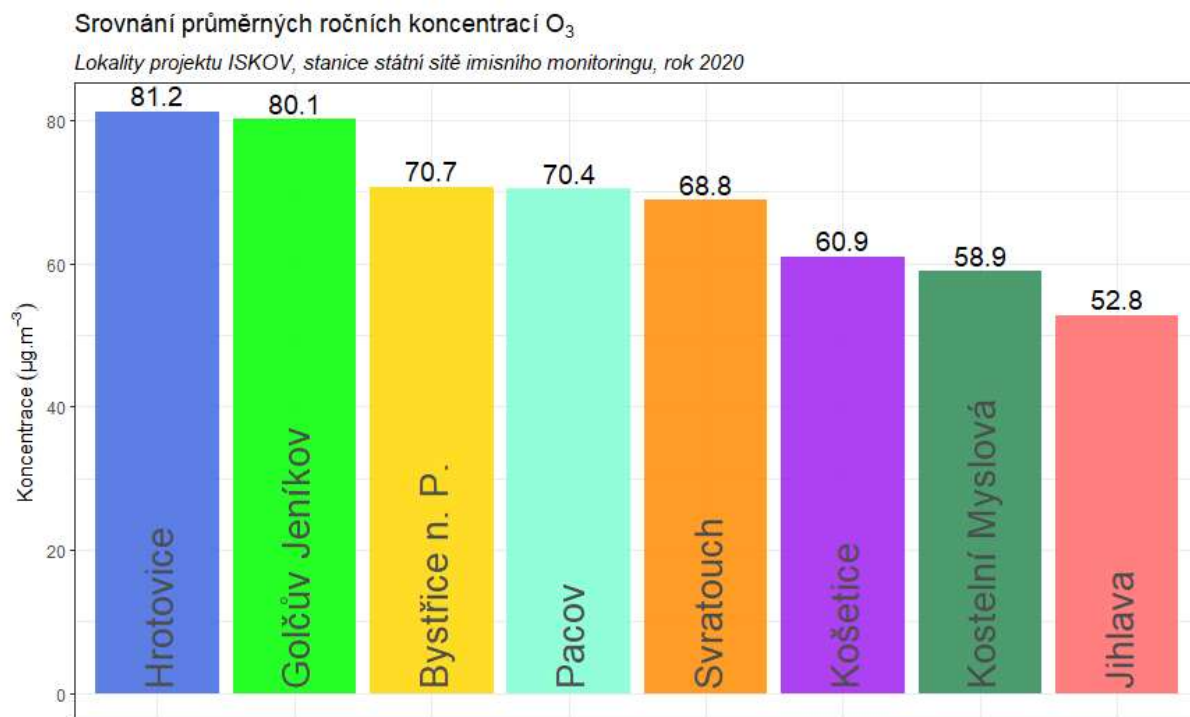


Obr. 113 – Teplotně členěná koncentrační růžice, lokalita Pacov, rok 2020

3.5.2 Srovnání koncentrací O₃ 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 O₃.

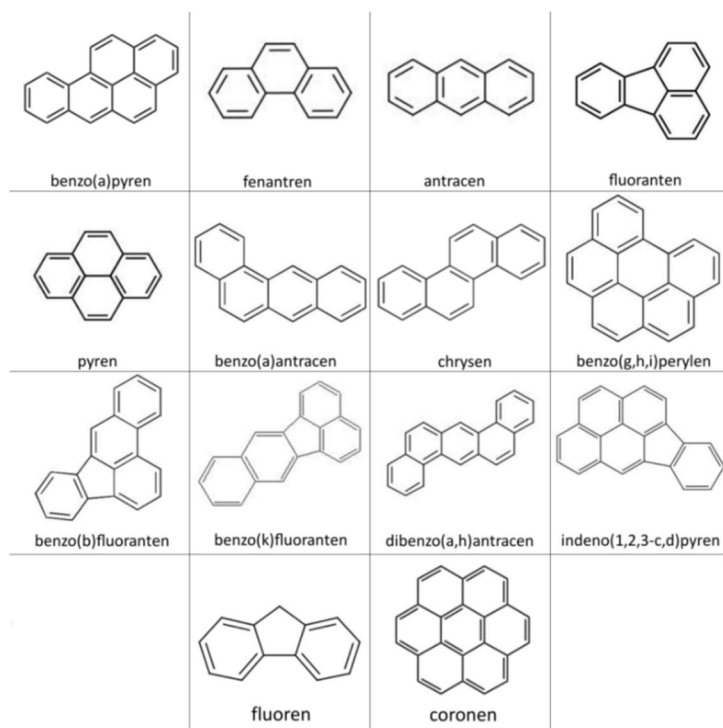
V případě koncentrací O₃ naměřila nejvyšší roční průměrnou hodnotu lokality Hrotovice a Golčův Jeníkov, nejnižší hodnoty pak lokalita Jihlava.



Obr. 114 – Srovnání průměrných ročních koncentrací O₃, lokality projektu ISKOV a lokality SSIM, rok 2020

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

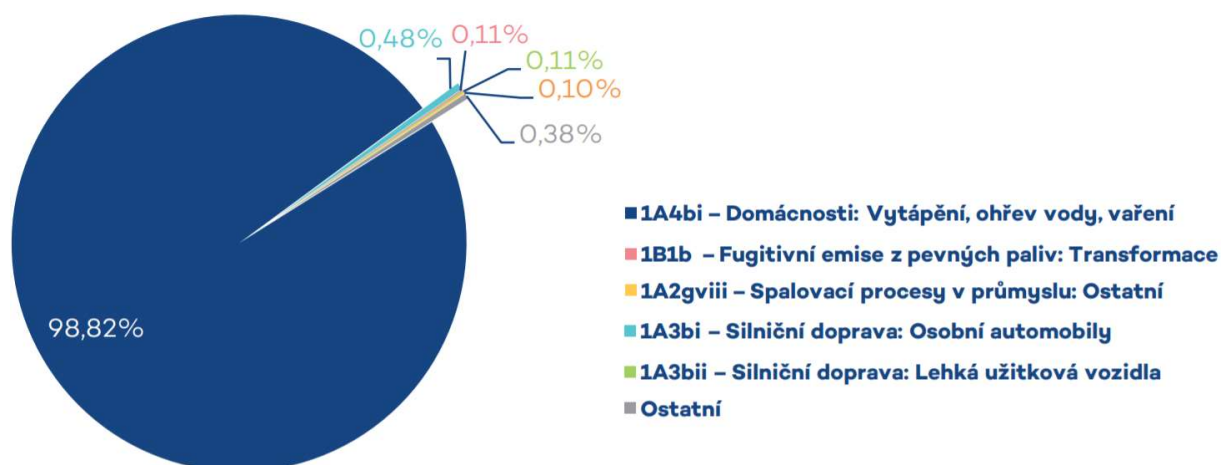
Přibližně 80–100 % PAH s pěti a více aromatickými jádry (tedy i benzo[a]pyren) je navázáno především na částice menší než 2,5 μm , tedy na tzv. jemnou frakci atmosférického aerosolu $\text{PM}_{2,5}$ (sorpce na povrchu částic). Tyto částice přetrvávají v atmosféře poměrně dlouhou dobu, což umožňuje jejich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

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

Emise PAH, zastoupených v oblasti sledování kvality ovzduší benzo[a]pyrenem, jsou produkovány téměř výhradně spalovacími procesy, při nichž nedochází k dostatečné oxidaci přítomných organických spalitelných látek. Benzo[a]pyren je produktem nedokonalého spalování při teplotách 300 až 600 $^{\circ}\text{C}$. Proto se mezi nejvýznamnější zdroje řadí spalování pevných paliv v kotlích nižších výkonů, především v domácích topeništích, a doprava.

Sektor 1A4bi – Lokální vytápění domácností se na emisích benzo[a]pyrenu v roce 2018 v celorepublikovém měřítku podílel 98,8 %. Hlavní příčinou takto vysokého podílu je spalování pevných paliv, především uhlí, v kotlích starších typů (odhořivací a prohořivací způsob spalování). Podle výsledků statistického šetření ENERGO představovaly v roce 2018 odhořivací

a prohořivací kotle až 69 % všech kotlů na spalování pevných paliv v domácnostech ČR. Vliv sektoru dopravy je odhadován na 0,8 % (Obr. 116) [7].



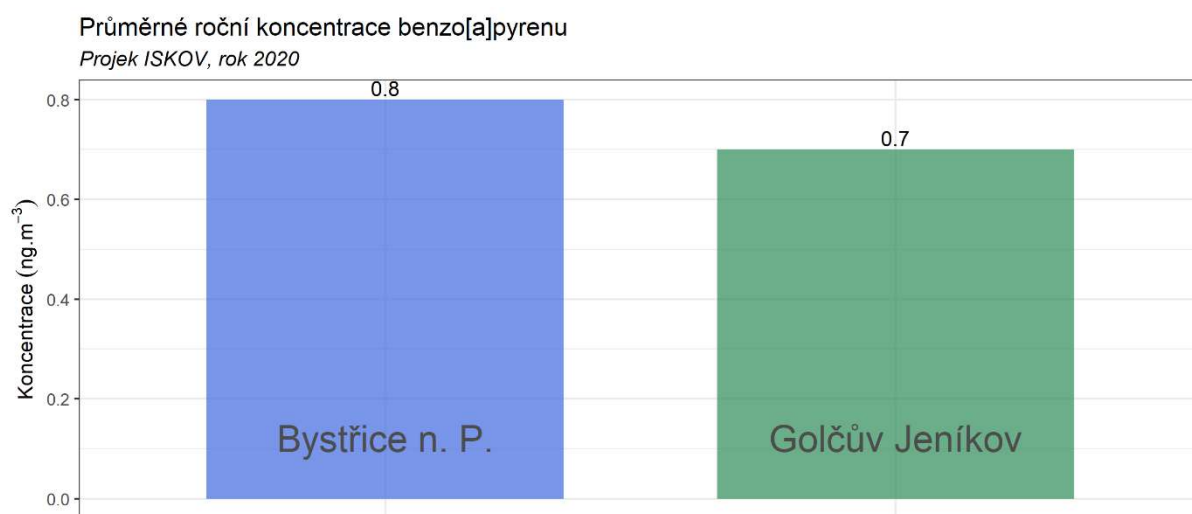
Obr. 116 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích benzo[a]pyrenu v ČR, rok 2018 [7]

3.6.1 Průměrná roční koncentrace benzo[a]pyrenu

Vzhledem k nízkému počtu odběrů zaměřených na topnou sezónu je vyhodnocení vůči imisnímu limitu pouze orientační. Průměrné roční koncentrace, naměřené v jednotlivých lokalitách, zobrazuje následující Tab. 12, graficky je pak znázorňuje Obr. 117.

Tab. 12 – Průměrná roční koncentrace benzo[a]pyrenu, projekt ISKOV, rok 2020

LOKALITA	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE BAP ($\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$)
BYSTŘICE NAD PERNŠTEJNEM	0,8
GOLČŮV JENÍKOV	0,7



Obr. 117 – Průměrná roční koncentrace benzo[a]pyrenu, projekt ISKOV, rok 2020

Z uvedeného vyplývá, že vyšší průměrná roční koncentrace benzo[*a*]pyrenu byla naměřena v lokalitě Bystřice nad Pernštejnem. **Obě lokality tak dodržely imisní limit pro průměrnou roční koncentraci benzo[*a*]pyrenu ($1 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$).**

3.6.2 Měření denní koncentrace

V lokalitách Bystřice nad Pernštejnem a Golčův Jeníkov proběhlo v roce 2020 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 Bystřice nad Pernštejnem, projekt ISKOV, rok 2020

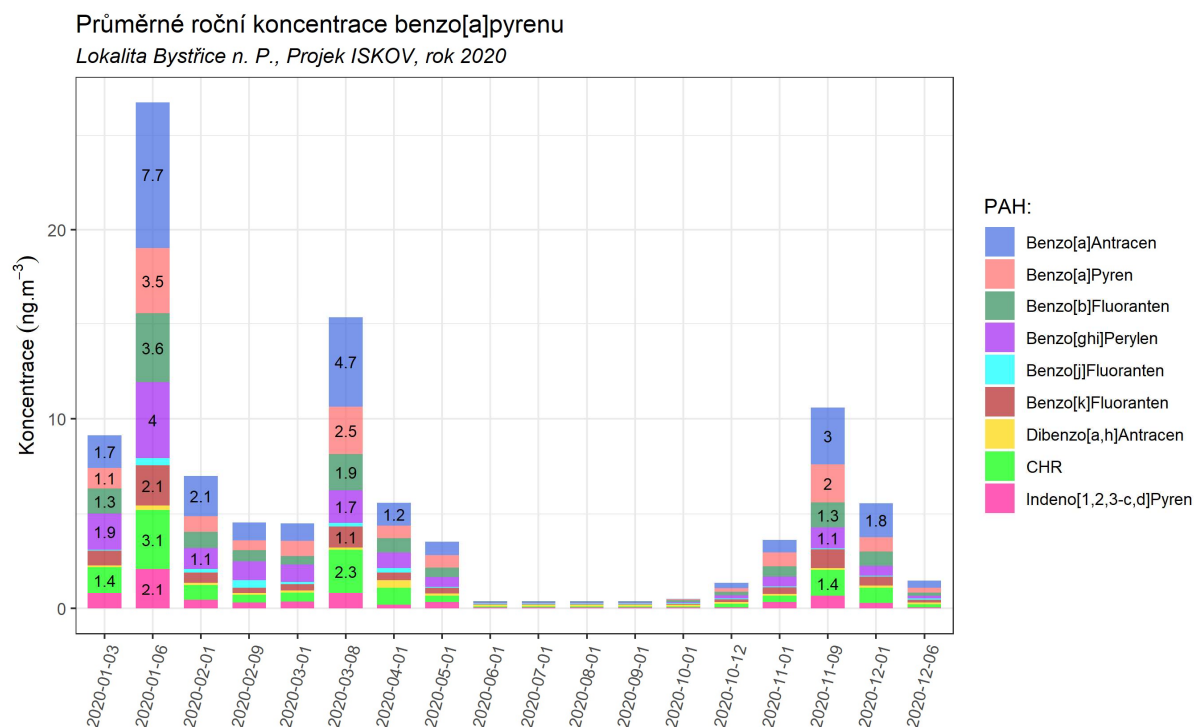
DATUM ODBĚRU OD	BENZO(A)ANTHRACEN	CHRYSEN	BENZO(B)FLUORANTEN	BENZO(K)FLUORANTEN	BENZO(A)PYREN	BENZO(GHI)PERYLEN	DIBENZO(AH)ANTHRACEN	INDENO(1,2,3-CD)PYREN	BENZO(J)FLUORANTEN
3.1.2020	1,7	1,4	1,3	0,78	1,1	1,9	<0,20	0,80	<0,10
6.1.2020	7,7	3,1	3,6	2,1	3,5	4,0	0,25	2,1	0,39
1.2.2020	2,1	0,83	0,83	0,55	0,84	1,1	<0,20	0,44	0,20
9.2.2020	0,95	0,40	0,58	0,32	0,52	1,0	<0,20	0,31	0,38
1.3.2020	0,92	0,53	0,45	0,35	0,78	0,92	<0,20	0,34	0,11
8.3.2020	4,7	2,3	1,9	1,1	2,5	1,7	<0,20	0,83	0,21
1.4.2020	1,2	0,93	0,77	0,39	0,64	0,81	0,40	0,19	0,25
1.5.2020	0,70	0,34	0,50	0,35	0,65	0,53	<0,20	0,32	<0,10
1.6.2020	<0,050	<0,070	<0,070	<0,030	<0,030	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
1.7.2020	<0,050	<0,070	<0,070	<0,030	<0,030	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
1.8.2020	<0,050	<0,070	<0,070	<0,030	<0,030	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
1.9.2020	<0,050	<0,070	<0,070	<0,030	<0,030	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
1.10.2020	<0,050	<0,070	0,088	0,041	0,044	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
12.10.2020	0,30	0,18	0,22	0,13	0,19	0,17	<0,20	<0,10	<0,10
1.11.2020	0,65	0,31	0,53	0,40	0,74	0,52	<0,20	0,33	<0,10
9.11.2020	3,0	1,4	1,3	1,0	2,0	1,1	<0,20	0,65	<0,10
1.12.2020	1,8	0,86	0,75	0,48	0,75	0,51	<0,20	0,27	<0,10
6.12.2020	0,38	0,15	0,22	0,15	0,25	0,15	<0,20	<0,10	<0,10

Tab. 14 – Měřené denní koncentrace PAH, lokalita Golčův Jeníkov, projekt ISKOV, rok 2020

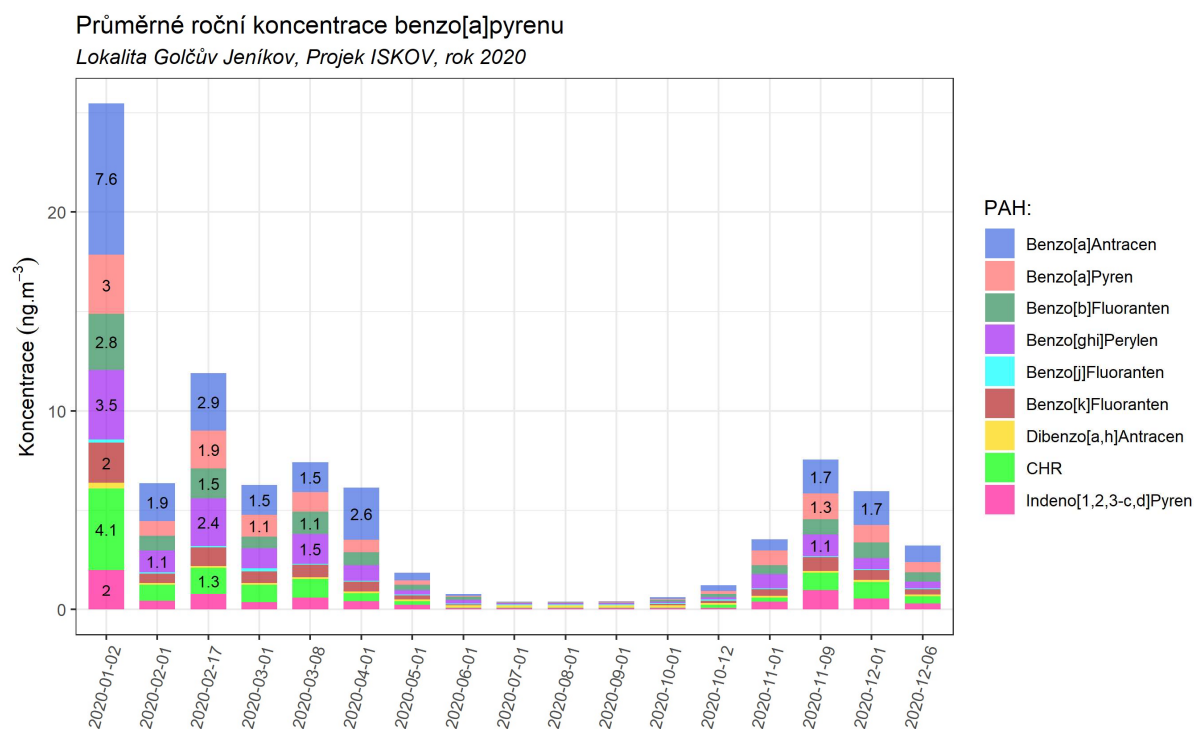
DATUM ODBĚRU OD	BENZO(A)ANTHRACEN	CHRYSEN	BENZO(B)FLUORANTEN	BENZO(K)FLUORANTEN	BENZO(A)PYREN	BENZO(GHI)PERYLEN	DIBENZO(AH)ANTHRACEN	INDENO(1,2,3-CD)PYREN	BENZO(J)FLUORANTEN
2.1.2020	7,6	4,1	2,8	2	3	3,5	0,3	2	0,17
1.2.2020	1,9	0,85	0,74	0,48	0,75	1,1	<0,20	0,41	<0,10
17.2.2020	2,9	1,3	1,5	0,95	1,9	2,4	<0,20	0,81	<0,10
1.3.2020	1,5	0,91	0,58	0,57	1,1	1	<0,20	0,35	0,17
8.3.2020	1,5	0,98	1,1	0,62	1	1,5	<0,20	0,58	<0,10
1.4.2020	2,6	0,44	0,65	0,49	0,64	0,77	<0,20	0,4	<0,10
1.5.2020	0,37	0,17	0,27	0,19	0,23	0,27	<0,20	0,22	<0,10
1.6.2020	0,11	<0,070	0,15	0,059	0,052	0,17	<0,20	<0,10	<0,10
1.7.2020	<0,050	<0,070	<0,070	<0,030	<0,030	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
1.8.2020	<0,050	<0,070	<0,070	<0,030	<0,030	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
1.9.2020	<0,050	<0,070	<0,070	<0,030	0,037	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
1.10.2020	0,087	<0,070	0,099	0,083	0,037	<0,10	<0,20	<0,10	<0,10
12.10.2020	0,3	0,16	0,19	0,12	0,17	0,11	<0,20	<0,10	<0,10
1.11.2020	0,56	0,2	0,46	0,37	0,73	0,71	<0,20	0,37	<0,10
9.11.2020	1,7	0,87	0,75	0,68	1,3	1,1	<0,20	1	<0,10
1.12.2020	1,7	0,89	0,77	0,5	0,87	0,56	<0,20	0,52	<0,10
6.12.2020	0,85	0,36	0,46	0,31	0,51	0,33	<0,20	0,28	<0,10

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, a to i v Lukavci, kde se v topné sezóně vyskytují velmi vysoké hodnoty koncentrací PAH.

Z grafů je rovněž patrné, že maximální hodnota sumy PAH byla naměřena v lokalitě Bystřice nad Pernštejnem dne 6. 1. 2020, v lokalitě Golčův Jeníkov pak 2. 1. 2020. Koncentrace benzo[a]pyrenu dosáhly v tento den hodnoty 3,5 resp. 3 ng·m⁻³.



Obr. 118 – Měřené denní koncentrace PAH, lokalita Bystřice nad Pernštejnem, projekt ISKOV, rok 2020



Obr. 119 – Měřené denní koncentrace PAH, lokalita Golčův Jeníkov, projekt ISKOV, rok 2020

4 ZÁVĚRY

- V roce 2020 probíhalo sledování kvality ovzduší ve 4 obcích kraje Vysočina. Jednalo se o obce Bystřice nad Pernštejnem, Golčův Jeníkov, Hrotovice a Pacov.
- Ve všech lokalitách probíhalo kontinuální sledování kvality ovzduší z hlediska suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5}, oxidů dusíku NO, NO₂ a NO_x, a přízemního ozónu O₃. V lokalitách Bystřice nad Pernštejnem a Golčův Jeníkov dále probíhal odběr a následné laboratorní stanovení koncentrací polycyklických aromatických uhlovodíků.
- Průměrné roční koncentrace PM₁₀ nepřekročily na žádné z lokalit imisní limit. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v lokalitě Golčův Jeníkov, nejnižší v lokalitě Pacov.
- Z hlediska imisního limitu pro denní koncentraci PM₁₀ rovněž nedošlo na žádné z lokalit k překročení imisního limitu. Legislativa povoluje pro denní průměry koncentrací PM₁₀ maximálně 35x za kalendářní rok překročit hodnotu imisního limitu 50 µg·m⁻³. Nejvyšší počet těchto překročení byl zaznamenán v lokalitě Golčův Jeníkov, a to 12.
- Průměrné roční koncentrace PM_{2,5} nepřekročily na žádné z lokalit nový zpřísněný imisní limit (20 µg·m⁻³ namísto předchozích 25 µg·m⁻³). Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v lokalitě Golčův Jeníkov. Nejnižší koncentrace byly naměřeny v lokalitě Pacov.
- Průměrné roční koncentrace NO₂ nepřekročily na žádné z lokalit imisní limit. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v lokalitě Pacov, kde se hodnota pohybovala zhruba na úrovni 1/3 imisního limitu. Nejnižší koncentrace byly měřeny v lokalitě Hrotovice.
- Hodinová koncentrace NO₂ rovněž nebyla na žádné z lokalit překročena, obdobně jako tomu je ve zbytku ČR.
- Nejvyšší 8hodinový klouzavý průměr koncentrací ozónu byl naměřen v lokalitě Golčův Jeníkov. V této lokalitě také došlo k překročení imisního limitu pro ochranu zdraví obyvatel. Ve zbylých lokalitách byl imisní limit dodržen.
- Koncentrace benzo[*a*]pyrenu byly sledovány pouze ve dvou lokalitách. V lokalitách Bystřice nad Pernštejnem a Golčův Jeníkov 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·m⁻³). Vysoké koncentrace byly měřeny převážně v topné sezóně, nejvyšší pak začátkem ledna.
- 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 PM₁₀ 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 et al, „Rok 2020 v česku,“ ČHMÚ, 13 01 2021. [Online]. Available: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1610534207>.
- [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] 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.
- [8] USEPA, „Nitrogen Dioxide (NO2) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/no2-pollution>.
- [9] P. WARNECK, Chemistry of the natural atmosphere, San Diego: Academic Press: ISBN 0-12-735632-0, 2000.
- [10] European Commission, „Position paper on air quality: nitrogen dioxide,“ 1997.
- [11] WHO, „Air quality guidelines for Europe, Second Edition,“ *WHO Regional Publications, European Series*, sv. No. 91, 2000.
- [12] J. H. Seinfeld a S. N. Pandis, Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change, New York: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-0-471-72017-1, 2006.
- [13] J. Fiala a D. Závodský, „Chemické aspekty znečištěného ovzduší – troposférický ozon,“ v *Kompendium ochrany kvality ovzduší*, Praha, 2003.
- [14] I. Colbeck a A. R. Mackenzie, „Air Pollution by photochemical oxidants,“ *Air Quality Monographs*, č. Elsevier. ISBN 0-444-88542-0, 1994.
- [15] EEA, „Air quality in Europe — 2016 report,“ 2016. [Online]. Available: https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016/at_download/file.
- [16] IARC, „List of classifications by alphabetical order. Agents Classified by the IARC Monographs,“ [Online]. Available: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf>.
- [17] ČHMÚ, „Kvalita ovzduší a rozptylové podmínky na území ČR, rok 2017,“ 04 04 2018. [Online]. Available: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/mes_zpravy/PROSINEC_2017.pdf.
- [18] Vyhláška č. 330/2012 Sb. o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích, Praha, 2012.
- [19] P. THUNIS, B. DEGRAEUWE a E. PEDUZZI, „Urban PM2.5 Atlas: Air Quality in European cities,“ 10 2017. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/urban-pm25-atlas-air-quality-european-cities>.
- [20] T. Radim a a kol., „Rok 2018 v Česku,“ ČHMÚ, [Online]. Available: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1547039890>.
- [21] M. VOJTÍŠEK, „O provozu vznětových motorů a aerosolech jimi produkovaných v městských aglomeracích,“ *Konference ČAS 2010. Sborník konference.*, č. ISBN: 978-80-86186-25-2, 2010.

- [22] ČHMÚ, kolektiv autorů, „Grafická ročenka 2017,“ Český hydrometeorologický ústav, 2018. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/Obsah_CZ.html.
- [23] 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].
- [24] 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>.

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

Příloha:



Hodnocení zdravotních rizik „Projekt ISKOV, etapa 2020“

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.....	101
PODKLADOVÉ MATERIÁLY	101
METODICKÝ PŘÍSTUP K HODNOCENÍ.....	101
POPIS ÚZEMÍ ZAŘAZENÉHO DO HODNOCENÍ.....	102
IDENTIFIKACE A CHARAKTERIZACE NEBEZPEČNOSTI	103
AEROSOL (PM₁₀/PM_{2,5}).....	103
BENZO(A)PYREN.....	106
HODNOCENÍ EXPOZICE A CHARAKTERIZACE RIZIKA	107
HODNOCENÍ EXPOZICE	108
KVANTIFIKACE ZDRAVOTNÍHO RIZIKA Z EXPOZIC AEROSOLU	110
PŘEDČASNÁ ÚMRTNOST 112	
NEMOCNOST 113	
POROVNÁNÍ NEMOCNOSTI A ÚMRTNOSTI S DŘÍVĚJŠÍ ETAPOU 2012-2017 115	
RIZIKO TOXICKÝCH ÚČINKŮ NO ₂ 116	
KVANTIFIKACE KARCINOGENNÍHO RIZIKA Z EXPOZIC BENZO(A)PYRENU (BAP)	116
ZÁVĚR.....	118
NEJISTOTY.....	120
POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE	121

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}, benzenu a benzo(a)pyrenu, pro obyvatelstvo 4 obcí kraje Vysočina (Golčův Jeníkov, Pacov, Hrotovice, Bystřice nad Pernštejnem) v roce 2020.

PODKLADOVÉ MATERIÁLY

Naměřené hodnoty látek – průměrné roční koncentrace ve 4 sídlech za rok 2020

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 byla použita metodika US EPA (Americká agentura pro ochranu životního prostředí), která umožňuje stanovení zdravotního rizika ve vztahu k různým typům expozice. Tam, kde tento postup není možné uplatnit, bylo posouzení provedeno metodikou projektů HRAPIE (Health risks of air pollution in Europe) a CAFE (Clean Air for Europe), popřípadě srovnáním s doporučenou hodnotou WHO (NO₂). Tato metodika umožňuje kvantifikovat riziko úmrtnosti a nemocnosti prostřednictvím expozičních vztahů, jež byly stanoveny na základě epidemiologických studií. Uvedené postupy posouzení jsou v souladu s odpovídající platnou českou legislativou.

Metoda posouzení vlivu na zdraví probíhá v následných krocích:

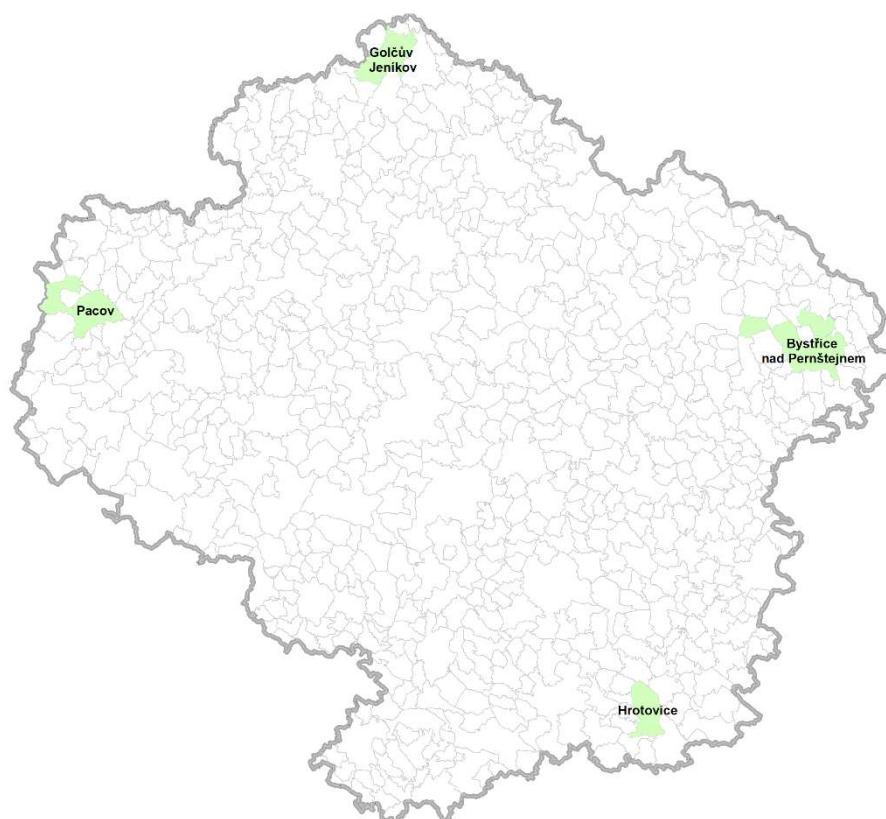
Identifikace a charakterizace nebezpečnosti – podstatou je stanovení nebezpečnosti látek na základě dostupných informací v literatuře a kvantifikace vztahu mezi dávkou a rozsahem škodlivého účinku. Cílem je získání základních parametrů pro charakterizaci rizika. V rámci charakterizace nebezpečnosti se 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

Měření probíhalo ve 4 sídlech kraje Vysočina. Sídla zařazená do této etapy projektu v roce 2020 jsou znázorněna na obr. č. 1.



Obrázek 1: Lokalizace sídel zařazených do projektu ISKOV etapy 2020

Charakteristika sídel je uvedena v tabulce 1.

Tabulka 1: Charakteristika sídel a měřících míst v projektu ISKOV, etapa 2020 (částečně převzato z internetového zdroje Informační systém kvality ovzduší v kraji Vysočina)

Lokalita	Počet obyv.*	Vliv dopravy	Plynofikace	Lokální topeniště	průmyslové zdroje	Zaměření lokality
Golčův Jeníkov	2680	minimálně	ANO	ANO	NE	LT
Pacov	4717	ANO	ANO	ANO	NE	D
Hrotovice	1768	ANO	ANO	ANO	NE	LT/PZ
Bystřice n. Pernšt.	8004	ANO	ANO	ANO	NE	LT/PZ

LT – lokální topeniště, PZ – průmyslové zdroje, D – doprava, MP – městská požadová stanice

* - zdroj: ČSÚ, k 1.1.2020

Z tabulky 1 je patrná kategorizace měřících míst v jednotlivých sídlech za účelem měření ovzduší v projektu ISKOV, etapy 2020. Zařazení měřících míst bylo převzato z internetového zdroje Informační systém kvality ovzduší v kraji Vysočina. Charakteristika těchto sídel je přibližně shodná. Ve všech se uvádí lokální topeniště, plynofikace, neexistence průmyslových zdrojů. Liší se pouze ve vlivu dopravy, který je v Pacově, Hrotovicích a Bystřici pod Pernštejnem přibližně stejný, v Golčově Jeníkově minimální. Podle počtu obyvatel je největším z hodnocených sídel Bystřice Pod Pernštejnem (8004 obyvatel) a nejmenším Pacov (4717 obyvatel).

IDENTIFIKACE A CHARAKTERIZACE NEBEZPEČNOSTI

AEROSOL (PM₁₀/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 $>10\text{ }\mu\text{m}$ sedimentují relativně rychle (minuty-hodiny) a jsou přenášeny na vzdálenosti v řádu kilometrů. Jemné částice o aerodynamickém průměru menší než $2,5\text{ }\mu\text{m}$, na jejichž vzniku se podílí také jiné plynné prekursory (NO, SO₂, VOC amoniak aj.), perzistují v atmosféře dlouho (dny – týdny) a mohou být přenášeny na vzdálenosti v řádu tisíců kilometrů.

V roce 2019 se hodnota střední roční hmotnostní koncentrace PM₁₀/PM_{2,5} pro přírodní pozadí v ČR pohybovala na úrovni 12,2/11,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (SZÚ, 2019). SZÚ uvádí následující odhad středních hodnot pro PM₁₀/PM_{2,5} (SZÚ, 2019):

- ve městech ČR 19/14,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
- ve venkovských oblastech - vliv zemědělské činnosti (bez dopravy a průmyslu) 18,1/14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
- ve venkovských oblastech – obytná zóna s vlivy dopravy (nízká-střední) 19,8-25,4/15,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Z hlediska možných zdravotních účinků částic je významná jejich velikost, složení a doba expozice. Částice s aerodynamickým průměrem větším než $10\text{ }\mu\text{m}$ nepronikají hluboko do dýchacích cest a většinou jsou odstraněny z dýchacího traktu, než mohou způsobit závažnější zdravotní projevy. Částice s průměrem menším než $10\text{ }\mu\text{m}$ pronikají do horních cest dýchacích a plic (PM₁₀). Do plicních sklípků pronikají částice s průměrem menším než $2,5\text{ }\mu\text{m}$.

PM je vlastně směsí, jejíž složení hraje významnou úlohu ve vztahu k účinkům na zdraví. Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (IARC) nedávno zařadila PM i znečištěné venkovní ovzduší jako celek do skupiny látek karcinogenních pro člověka (skupina 1) pro kritický účinek karcinomu plic ve vztahu k dlouhodobé expozici PM (IARC, 2013). Za karcinogenní účinek by právě 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 PM_{10} je charakteristická přítomnost jak jemných částic frakce do $2,5\ \mu m$, tak i hrubší frakce $2,5-10\ \mu m$. 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 zpracována, 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 PM_{10} 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).

Dlouhou dobu se předpokládalo, že vztah mezi dávkou PM a odpovědí organismu (tzv. CR funkce) je lineární nebo log-lineární. Nové poznatky však ukazují, strmější průběh funkce při nízkých koncentracích a pozvolnější průběh při velmi vysokých koncentracích (jak pro karcinogenní, tak i pro ostatní účinky), (WHO, 2015).

Z hlediska krátkodobých účinků studie uvádí nárůst denní úmrtnosti ve vztahu k denním hodnotám PM_{10} v rozsahu 0,3-0,8 % na $10\ \mu g/m^3\ PM_{10}$. WHO uvádí pro krátkodobé expozice PM_{10} vztah zvýšení úmrtnosti o 0,5 % na každých $10\ \mu g/m^3\ PM_{10}$ (nad hodnotu $50\ \mu g/m^3$), (WHO 2005). Pro dlouhodobé účinky WHO původně spojovala zvýšení koncentrace $PM_{2,5}$ o $10\ \mu g/m^3$ se vzestupem úmrtnosti v exponované populaci o 6 %. (WHO 2005). Tento vztah byl však nedávno aktualizován na základě studie

HRAPIE. Zvýšení koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ o $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je nyní spojováno se 6,2 % vzestupem úmrtnosti v exponované populaci (WHO 2013).

Ve směrnici pro vnější ovzduší WHO doporučuje dosažení cílové hodnoty (Guideline Value - GV WHO) pro průměrné roční koncentrace PM_{10} $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $\text{PM}_{2,5}$ $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a 24 hodinové koncentrace pro PM_{10} $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $\text{PM}_{2,5}$ $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO, 2005). Doporučená hodnota průměrné denní koncentrace PM_{10} však nepředstavuje bezpečnou mez z hlediska vlivu na zdraví (vzhledem k tomu, že PM_{10} je považována za bezprahově působící škodlivinu), nýbrž v sobě zahrnuje jistou míru rizika, jež je považována za všeobecně akceptovatelnou.

Direktiva kvality ovzduší (Direktiva 2008/50/EC) Evropské unie stanovuje závazné limity PM_{10} 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 $\text{PM}_{2,5}$ (roční mezní hodnota $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

US EPA stanovila primární standardy (k ochraně lidského zdraví) pro $\text{PM}_{2,5}$ v případě ročních průměrných koncentrací $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a v případě denních koncentrací $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (US EPA, 2016).

V české národní legislativě je imisní limit pro PM_{10} 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 PM_{10} 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 PM_{10} je $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (aritmetický průměr). Imisní limit pro dlouhodobé (roční) koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ je $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (aritmetický průměr) za kalendářní rok.

Poslední studie naznačují, že k účinkům na zdraví může docházet již při nižších hodnotách než GV WHO. Společně se změnou klasifikace karcinogenity IARC a narůstajícími důkazy účinků krátkodobých a dlouhodobých expozic na zdraví by v nejbližší době mělo dojít k revizi AQG WHO. Vědecké stanovisko US EPA ISA (Integrated Science Assessment) pro PM již bylo publikováno v roce 2018 (US EPA, 2018).

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 $1\text{--}10 \text{ ng}/\text{m}^3$, ve venkovských oblastech je menší než $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ (WHO, 2000). Novější evropské údaje ukazují, že na většině území západní Evropy se průměrné roční koncentrace BaP pohybují pod limitní hodnotou EU ($1 \text{ ng}/\text{m}^3$). 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.

Střední roční hmotnostní koncentrace BaP pro přírodní pozadí se v ČR pohybuje na úrovni 0,37 ng/m³. SZÚ uvádí následující odhad středních hodnot (SZÚ, 2019):

- ve městech ČR 1,10 ng/m³,
- ve venkovských oblastech - vliv zemědělské činnosti (bez dopravy a průmyslu) 1,41 ng/m³,
- ve venkovských oblastech – obytná zóna s vlivy dopravy (nízká-střední) 3,19 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/m³ (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 ng/m³. Analogicky riziko karcinogenních účinků na úrovni 1×10^{-4} a 1×10^{-5} odpovídá koncentraci BaP 1,2 ng/m³, respektive 0,12 ng/m³. V platné legislativě ČR (zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší) i EU je jako imisní limit stanovena hodnota 1 ng/m³. 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 2020 jsou průměrné roční imisní koncentrace:

- PM₁₀/PM_{2,5} - vypočtené na základě celoročního měření ve čtyřech sídlech
- PAU, vypočtené pro 2 sídla – Golčův Jeníkov a Bystřice nad Pernštejnem - na základě 17 rovnoměrně rozložených měření v roce.

Stanovení průměrné roční koncentrace na základě kampaňového 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.

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.

Referenční hodnoty pro hodnocení zdravotních rizik jsou souhrnně uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Souhrnný přehled referenčních hodnot pro hodnocení zdravotních rizik

Zdravotně zdůvodnitelné referenční hodnoty				
průměrné roční koncentrace v $\mu\text{g}/\text{m}^3$, BaP v ng/m^3				
	NO_2	$\text{PM}_{2,5}$	PM_{10}	BaP
GV WHO	40	10	20	-*
UCR	-	-	-	$8,7 \times 10^{-5}$
LH	40	20	40	1

LH – Limitní hodnota (Zákon č. 201/2012 Sb.) platná od 1.1.2020. Do 31.12.2019 platila limitní hodnota $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$

GV WHO – doporučená hodnota WHO (WHO, 2005)

UCR – jednotka karcinogenního rizika [$(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$] (WHO, 2000)

* - GV WHO nestanovena, všeobecně přijatelná úroveň karcinogenního rizika (LICR 1×10^{-6}) odpovídá průměrné roční koncentraci $0,012 \text{ ng}/\text{m}^3$ (WHO, 2000)

HODNOCENÍ EXPOZICE

Průměrné koncentrace látek za rok 2020 (expoziční koncentrace) jsou uvedeny v tabulce 3. Hodnocení zdravotních rizik se zabývá pouze orientační analýzou imisní situace. Podrobnější analýza by měla být součástí zprávy z měření.

Expoziční koncentrace jsou srovnávány s doporučenými hodnotami WHO a limitními hodnotami dle platné legislativy v ČR. Obecně lze konstatovat, že GV WHO představuje mez, jejíž dodržení znamená všeobecně přijatelné riziko. Překročení této meze je spojeno se zvýšením zdravotního rizika. Analogicky 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 jejich porovnání s doporučenými hodnotami WHO (Tabulka 2)

Sídlo	Průměrné hodnoty v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (pro BaP v ng/m^3)							
	2020				2012-2017			
	NO_2	PM_{10}	$\text{PM}_{2,5}$	BaP	NO_2	PM_{10}	$\text{PM}_{2,5}$	BaP
Golčův Jeníkov	9,9	22,9	19	0,7	11,8	25,2	20,7	x
Pacov	13,1	15,9	11,5		13,4	30,3	23,6	x
Hrotovice	2,1	16,9	13,9		9,9	21,4	18	x

Bystřice nad Pernšt.	3,4	18	13,9	0,8	16,6	23,4	18,1	2,4
-----------------------------	------------	-----------	-------------	------------	-------------	-------------	-------------	------------

Tučně – překročení příslušné referenční hodnoty ve vztahu ke zdraví (GV WHO)

Červeně – překročení limitní hodnoty dle české legislativy v platném znění

x – nejsou data

Z tabulky 3 je patrné, že průměrná koncentrace PM_{10} v roce 2020 překročila v Golčově Jeníkově doporučenou hodnotu WHO, stanovenou k ochraně zdraví ($GV_{PM_{10}}=20 \mu g/m^3$). Doporučená hodnota WHO byla naopak dodržena v Pacově, Hrotovicích a Bystřici nad Pernštejnem. Zdravotní riziko z expozic PM_{10} v roce 2020 lze tedy považovat v Golčově Jeníkově za zvýšené, tj. všeobecně nepřijatelné, v Pacově, Hrotovicích a Bystřici nad Pernštejnem pak za nízké, tj. všeobecně přijatelné. V žádném sídle nebyla překročena limitní hodnota PM_{10} podle současné české legislativy v platném znění ($LH_{PM_{10}}=40 \mu g/m^3$). Ve všech 4 sídlech je proto možné riziko považovat za celospolečensky přijatelné.

Průměrná koncentrace $PM_{2,5}$ v roce 2020 pravděpodobně překročila ve všech čtyřech sídlech doporučenou hodnotu WHO pro dlouhodobé koncentrace $PM_{2,5}$ ($GV_{PM_{2,5}}=10 \mu g/m^3$). Zdravotní riziko lze tedy považovat v těchto sídlech za zvýšené, tj. všeobecně nepřijatelné. V žádné sídle nebyla překročena limitní hodnota $PM_{2,5}$ podle současné české legislativy v platném znění ($LH_{PM_{2,5}}=20 \mu g/m^3$). Toto riziko je proto možné zároveň považovat za celospolečensky přijatelné.

Dlouhodobé expozice NO_2 , reprezentované průměrnými ročními koncentracemi, v žádném sídle nepřesáhly doporučenou hodnotu WHO, která je zároveň hodnotou imisního limitu dle platné české legislativy ($40 \mu g/m^3$). Všeobecně lze tedy konstatovat, že zdravotní rizika z expozice NO_2 zůstávají ve všech sídlech nízká, tj. přijatelná. Nejnížší hodnota expozice byla dosažena v Hrotovicích, naopak nejvyšší hodnota expozice v Pacově. Oproti období 2012-2017 došlo v roce 2020 k významnému poklesu expozic NO_2 v Bystřici nad Pernštejnem (pokles o 80 %) Hrotovicích (pokles o 79 %). K menšímu poklesu došlo v Golčově Jeníkově (pokles o 16 %) a nevýraznému poklesu v Pacově (pokles o 2 %).

V případě benzo(a)pyrenu WHO nestanovila ve směrnici doporučené hodnoty. Důvodem je, že se jedná o karcinogenní látky s bezprahovým mechanismem účinku, jejichž výskyt v ovzduší by měl být co nejnížší. Limitní hodnota dle platné legislativy v ČR ($LH=1 \text{ ng}/m^3$), nebyla v roce 2020 překročena v žádném sídle. Zdravotní riziko z expozic BaP je proto možné považovat v Golčově Jeníkově i Bystřici nad Pernštejnem za celospolečensky přijatelné. Obecně, v místech s dopravní zátěží, jsou obvyklé koncentrace benzo(a)pyrenu překračující hodnotu $1 \text{ ng}/m^3$.

V tabulce 3 je dále uvedeno srovnání s hodnotami za pětileté období 2012-2017 (průměrné roční koncentrace látek na základě kampaní v sídlech v jednotlivých letech). U všech látek ve všech sídlech je patrný pokles průměrných ročních koncentrací v roce 2020 oproti periodě 2012-2017.

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.

KVANTIFIKACE ZDRAVOTNÍHO RIZIKA Z EXPOZIC AEROSOLU

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 nebo odds ratio 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 1 rok, související se změnou koncentrace aerosolu o 10 µg/m³. Přehled použitých vztahů uvádí tabulky 4 a 5.

Tabulka 4: Vztahy používané ke kvantifikaci úmrtnosti a nemocnosti ve vztahu k expozicím PM_{2,5} (WHO, 2013; Holland, 2014)

Ukazatel	Vztahy účinku na 10 µg/m ³ PM _{2,5}	Věková skupina	Výstup	Zdroj/poznámka
Celková úmrtnost				
	RR 1,062 (95 % CI 1,040-1,083)	30+	Počet úmrtí	Metaanalýza
Hospitalizace pro kardiovaskulární onemocnění				
	RR 1,0091 (95 % CI 1,0017-1,0166)	Celá	Počet hospit.	Metaanalýza
Hospitalizace pro respirační onemocnění				
	RR 1,019 (95 % CI 0,9982-1,0402)	Celá	Počet hospit.	Studie
Dny s omezenou aktivitou*				
	RR 1,047 (95 % CI 1,042-1,053)	Celá	Počet dnů	Studie

* odečítá se prevalence bronchitis u dětí a incidence astmatických symptomů u astmatických dětí

Tabulka 5: Vztahy používané ke kvantifikaci nemocnosti ve vztahu k expozicím PM₁₀ (WHO, 2013; Holland, 2014)

Ukazatel	Vztahy účinku na 10 µg/m ³ PM _{2,5}	Věková skupina	Výstup	Zdroj/poznámka
Incidence chronické bronchitis u dospělých				
	RR 1,117 (95 % CI 1,040-1,189)	18+	Počet příp.	Studie
Prevalence bronchitis u dětí				
	OR 1.08 (95 % CI 0,98-1,19)	6-12	Počet dnů	Studie
Incidence astmatických symptomů u astmatických dětí				
	OR 1.028 (95 % CI 1.006-1,051)	5-19	Počet dnů	Metaanalýza

Tyto vztahy se používají pro kvantifikaci rizika a umožňují získat představu o rozsahu a významnosti zdravotního účinku, i když existují výhrady k jejich použití, a to zejména proto, že mohou vycházet z malého počtu studií, mohou zahrnovat malých populací nebo realizovaných v odlišných

geografických oblastech. Umožňují hodnotit jak krátkodobé, tak i dlouhodobé vlivy expozic aerosolů na zdraví. V případě indikátoru prevalence bronchitidy u dětí není vztah statisticky významný, proto výsledky kvantifikace za pomoci tohoto vztahu je možné považovat pouze za orientační.

Vztahy jsou průběžně aktualizovány velkými mezinárodními organizacemi (zejména WHO) na základě aktuálních poznatků a výsledků epidemiologických studií nebo jejich metaanalýz. Rozdíly mezi staršími a novějšími hodnotami vztahů nebývají velké. Například v projektu CAFE se uvádí zvýšení celkové úmrtnosti populace starší 30 let o 6 % (2-11 %) na každých 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{PM}_{2,5}$ (Hurley et al., 2005) a novější projekt HRAPIE uvádí zvýšení celkové úmrtnosti populace starší 30 let o 6,2 % (4-8,3%) na každých 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{PM}_{2,5}$ (WHO, 2013; Holland, 2014). Tyto rozdíly však mohou hrát významnou roli až u větších populací (počet obyvatel 1 milion a výše).

WHO uvádí odhady základní frekvence výskytu (incidence, prevalence, výskyt případů nebo počty dnů aj.). Tyto odhady jsou použity k výpočtům a jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka č. 6: Základní frekvence výskytu nemocí v populaci (WHO, 2013; Holland, 2014).

Ukazatel			Základní frekvence výskytu za 1 rok
Celková úmrtnost			není stanovena
Hospitalizace - kardiovaskulární.			2816 případů/100 000 osob
Hospitalizace - respirační			1228 případů/100 000 osob
Dny s omezenou aktivitou (RADs)			19 dnů/osoba
Incidence chronické bronchitidy u dospělých			3,9 případů/1 000 dospělých osob
Prevalence bronchitidy u dětí			18,6 %
Incidence astmatických u astmatických. dětí	symptomů		Prevalence těžké formy astmatu 4,9 %; denní incidence 17 %

Vlastní kvantifikace účinku je pak součinem koncentrace (s odečtem příslušných hodnot pro pozadí – pro $\text{PM}_{2,5}$ 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a PM_{10} 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) frakce populace (se zohledněním věkové skupiny a rizika), míry incidence a příslušného vztahu koncentrace a účinku.

Výpočet úmrtnosti pomocí ukazatele ztracených let života (Years Of Life Lost – YOLL) podle posledních poznatků lépe charakterizuje účinek znečištění ovzduší ve vztahu k chronické úmrtnosti u populace nad 30 let věku. Tento ukazatel vychází z předpokladu, že expozice znečištěnému ovzduší může u některých populačních skupin (především citlivých populačních skupin, tj. děti, osoby s chronickým onemocněním dýchacího a kardiovaskulárního systému a starší osoby) vyvolat zdravotní obtíže, jež ve svém důsledku mohou vést až k předčasnému úmrtí a tímto pádem i ke zkrácení délky života. Výsledky obou metod (výpočet ukazatele úmrtnosti a YOLL) není možné porovnávat v důsledku rozdílné metodiky výpočtu. YOLL je vypočten podle následujícího vztahu: 0,0004 YOLL na osobu, rok a průměrnou koncentraci 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ExternE, 2005).

Pro kvantifikaci počtu zemřelých byla použita hodnota celkové standardizované úmrtnosti (na 100 tisíc osob) pro kraj Vysočina (celkem 607,9), která je převzata z internetového zdroje ÚZIS, Regionálního zpravodajství NZIS pro kraj Vysočinu: Celková mortalita v krajích a okresech 2017 (ÚZIS, 2018). Novější údaje nejsou k dispozici.

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 31.12.2018), kterou uvádí ČSÚ ve Statistické ročence kraje Vysočina 2019 (ČSÚ, 2019 – internetový zdroj), kterou ve zjednodušené podobě uvádí tabulka 7.

Tabulka 7: Věková struktura obyvatelstva v kraji Vysočina (ČSÚ, 2019)

Věková skupina	proporce obyvatel
	%
5-19	15
6-12	7,2
18+	82
30+	68

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 úmrtnost

Kvantifikovaný odhad předčasné úmrtnosti v jednotlivých sídlech v roce 2020 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 dospělé populaci (30 let a více) ve vztahu k expozičním hodnotám PM_{2,5} v sídlech (za 1 rok, na 1000 osob)

Sídlo	Předčasná úmrtnost			
	2020		2012-2017	
	%	Počet případů	%	Počet případů
Golčův Jeníkov	8,7	0,36	9,7	0,40
Pacov	4	0,17	11,5	0,48
Hrotovice	5,5	0,23	8,1	0,33
Bystřice nad Pernštejnem	5,5	0,23	8,1	0,33

Expozice PM_{2,5} v roce 2020 mohla představovat zvýšení rizika předčasné úmrtnosti v dospělé populaci sídel o 4-8,7 % (tj. 0,13-0,36 případu) za rok na 1000 osob. Rozdíl v předčasné úmrtnosti mezi sídlem s nejnižší úmrtností (Pacov) a nejvyšší úmrtností (Golčův Jeníkov) ve vztahu k expoziční koncentraci PM_{2,5} je 4,7 %, což odpovídá přibližně počtu 0,19 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 kategorizace měřících míst podle metodiky SZÚ. V 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 (YOLL) 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 2020 je uveden v tabulce 9.

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

Odhadovaná ztráta let života (YOLL) za jeden rok				
Sídlo	2020		2012-2017	
	dny na osobu	roky na populaci	dny na osobu	roky na populaci
Golčův Jeníkov	3,3	6,3	3,7	6,8
Pacov	2,3	4,4	4,4	8,1
Hrotovice	2,5	4,7	3,1	5,7
Bystřice nad Pernštejnem	2,6	5,0	3,4	6,3

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 2,3-3,3 dnů, tj. 4,4-6,3 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 2020 ukazuje tabulka 10.

Tabulka 10: Prevalence bronchitis v populaci dětí (6-12 let) ve vztahu k průměrným hodnotám PM₁₀ v roce 2020 (za 1 rok na 1000 osob)

Prevalence bronchitis u dětí				
Sídlo	2020		2012-2017	
	%	počet dnů	%	počet dnů
Golčův Jeníkov	8,3	404	9,8	450
Pacov	3,8	185	13,0	601
Hrotovice	4,4	216	7,3	338
Bystřice nad Pernštejnem	5,2	252	8,6	397

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 3,8-8,3 % (tj. 185-401 dnů s příznaky v populaci 72 dětí na 1000 osob). Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Pacov) a nejvyšší (Golčův Jeníkov) hodnotou prevalence zánětů průdušek u dětí ve vztahu k expoziční koncentraci PM₁₀ je 4,5 %, což odpovídá přibližně 219 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 2020 ukazuje tabulka 11.

Tabulka 11: Incidence astmatických symptomů v populaci astmatických dětí (5-19 let) ve vztahu k průměrným hodnotám PM₁₀ v roce 2020 (za 1 rok na 1000 osob)

Incidence astmatických symptomů u dětí				
Sídlo	2020		2012-2017	
	%	počet dnů	%	počet dnů
Golčův Jeníkov	3,4	16	4,0	18
Pacov	1,6	7	5,4	24
Hrotovice	1,8	8	3,0	14
Bystřice nad Pernštejnem	2,1	10	3,6	16

Expozice PM₁₀ v roce 2020 by mohla představovat zvýšení rizika incidence astmatických symptomů v populaci astmatických dětí v sídlech o 1,6-3,4 % (tj. 7-16 dnů s příznaky u 150 dětí na 1000 osob) za rok. Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Pacov) a nejvyšší (Golčův Jeníkov) hodnotou incidence astmatických symptomů u astmatických dětí ve vztahu k expoziční koncentraci PM₁₀ je 1,8 %, což odpovídá přibližně 9 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 2020 ukazuje tabulka 12.

Tabulka 12: Incidence chronické bronchitis v dospělé populaci (18 let a více) ve vztahu k expozičním hodnotám PM₁₀ v roce 2020 (za 1 rok na 1000 osob)

Incidence chronické bronchitidy v dospělé populaci				
Sídlo	2020		2012-2017	
	%	počet dnů	%	počet dnů
Golčův Jeníkov	15,1	0,48	17,8	0,57
Pacov	6,9	0,22	23,8	0,76
Hrotovice	8,0	0,26	13,3	0,43
Bystřice nad Pernštejnem	9,4	0,30	15,7	0,50

Expozice PM₁₀ v roce 2020 by mohla představovat zvýšení rizika incidence chronické bronchitis u dospělé populace v sídlech o 6,9-15,1 % (tj. 0,22-0,48 nových případů v dospělé populaci na 1000 osob) za rok. Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Pacov) a nejvyšší (Golčův Jeníkov) hodnotou incidence chronické bronchitis u dospělé populace ve vztahu k expoziční koncentraci PM₁₀ je 8,2 %, což odpovídá přibližně 0,26 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 2020 ukazuje tabulka 13.

Tabulka 13: Počet dnů s omezenou aktivitou v celé populaci ve vztahu k expozičním hodnotám PM_{2,5} v roce 2020 (za 1 rok na 1000 osob)

Dny s omezenou aktivitou v dospělé populaci		
Sídlo	2020	2012-2017
	počet dnů	počet dnů
Golčův Jeníkov	862	970
Pacov	402	1084

Hrotovice	589	837
Bystřice nad Pernštejnem	549	789

Ve výpočtu byla odečtena nemocnost dětí dle příslušného metodického postupu

Expozice $PM_{2,5}$ v roce 2020 by mohla odpovídat počtu dnů s omezenou aktivitou v celé populaci v sídlech v rozsahu 402-862 dnů (na 1000 osob) za rok. Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Pacov) a nejvyšší (Golčův Jeníkov) hodnotou počtu dnů s omezenou aktivitou u celé populace ve vztahu k expoziční koncentraci $PM_{2,5}$ je 460 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 2020 ukazuje tabulka 14.

Tabulka 14: Počet případů hospitalizací z kardiovaskulárních (KV) a respiračních (RO) příčin v celé populaci ve vztahu k expozičním hodnotám $PM_{2,5}$ v roce 2020 (za 1 rok na 1000 osob)

Hospitalizace z kardiovaskulárních a respiračních příčin v populaci								
Sídlo	2020				2012-2017			
	Kardiovaskulární		Respirační		Kardiovaskulární		Respirační	
	%	N	%	N	%	N	%	N
Golčův Jeníkov	1,3	0,36	2,7	0,33	1,4	0,40	3,0	0,37
Pacov	0,6	0,17	1,2	0,15	1,7	0,48	3,5	0,43
Hrotovice	0,8	0,23	1,7	0,21	1,2	0,33	2,5	0,30
Bystřice nad Pernštejnem	0,8	0,23	1,7	0,21	1,2	0,34	2,5	0,31

N – počet případů

Expozice $PM_{2,5}$ v roce 2020 by mohla představovat v celé populaci (na 1000 osob) v sídlech zvýšení počtu případů hospitalizací z kardiovaskulárních příčin o 0,6-1,3 % (tj. 0,17-0,36 případu) a o 1,2-2,7 % z respiračních příčin (tj. 0,15-0,33 případu) za rok. Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Pacov) a nejvyšší (Golčův Jeníkov) hodnotou hospitalizace ve vztahu k expoziční koncentraci $PM_{2,5}$ je v případě kardiovaskulárních příčin 0,7 % (tj. přibližně 0,19 případu) a respiračních příčin 1,5 % (t. přibližně 0,18 případu) v celé populaci za rok.

Porovnání nemocnosti a úmrtnosti s dřívější etapou 2012-2017

V roce 2020 došlo ve všech sídlech k poklesu expozic všech látek oproti periodě 2012-2017. Tento pokles v relativním vyjádření (v procentech) ukazuje tabulka 15.

Tabulka 15: Pokles indikátorů zdravotních rizik v roce 2020 oproti stavu v předchozím hodnocení za období 2012-2017

Indikátor	Golčův Jeníkov	Pacov	Hrotovice	Bystřice n. Pern.
	[%]	[%]	[%]	[%]
Předčasná úmrtnost u dospělé populace	10,3	65,2	32,1	32,1
Ztráta let života (YOLL)	10,8	47,7	19,4	23,5
Prevalence bronchitis u dětí	15,3	70,8	39,7	39,5
Incidence astmatických symptomů u astmat.dětí	15,0	70,4	40,0	41,7

Incidence chronické bronchitis u dospělé populace	15,2	71,0	39,8	40,1
Dny s omezenou aktivitou	11,1	62,9	29,6	30,4
Hospitalizace z kardiovaskulárních (KV) příčin	7,1	64,7	33,3	33,3
Hospitalizace z respiračních příčin	10,0	65,7	32,0	32,0

Největší pokles zdravotních rizik byl v případě hodnocených indikátorů zaznamenán v Pacově (souhrnně o 47,7-71 %). Naopak k nejnižšímu poklesu došlo v Golčově Jeníkově (souhrnně o 7,1-15,3 %). Tento pokles zdravotních rizik koresponduje s celkovým poklesem expozic PM_{2,5} i PM₁₀ v sídlech v roce 2020 oproti 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.

Riziko toxických účinků NO₂

Riziko toxických (nekarinogenních) účinků NO₂ je vyhodnoceno srovnáním s doporučenou hodnotou WHO reprezentovanou průměrnou roční koncentrací. V průběhu let se používala řada vztahů zaměřených především na kvantifikaci ukazatele chronické respirační nemocnosti u dětí ve vztahu k průměrným ročním koncentracím NO₂. V současné době jsou již tyto vztahy zastaralé a nepoužívají se, vzhledem k tomu, že pravděpodobně docházelo k zahrnutí i části účinků vyvolaných jinými látkami (PM). I když nové materiály WHO i nadále uvádí vztah pro kvantifikaci ukazatele chronické respirační nemocnosti u dětí pro dlouhodobé expozice NO₂, názor odborné veřejnosti k jeho používání je rezervovaný přinejmenším do doby, než bude více dostupných poznatků, na jejichž základě by bylo možné přesnější rozdělení typu účinku pro dané látky. Z těchto důvodů, vzhledem k udávané nejistotě správné interpretace vypočtených hodnot není tento ukazatel kvantifikován ani v tomto hodnocení. Riziko respirační nemocnosti je dostatečně hodnoceno jeho kvantifikací ve vztahu k dlouhodobým koncentracím PM.

KVANTIFIKACE KARCINOGENNÍHO RIZIKA Z EXPOZIC BENZO(A)PYRENU (BAP)

Karcinogenní riziko expozic látek s karcinogenním účinkem je vyjádřeno pomocí bezrozměrného ukazatele celoživotního individuálního karcinogenního rizika - LICR (Lifetime individual cancer risk). Ukazatel LICR se vypočte na základě následujícího vztahu:

$$LICR = C \cdot UCR,$$

kde C je dlouhodobá expozice (průměrná roční koncentrace) látky a UCR je jednotka karcinogenního rizika, která vyjadřuje riziko na jednotku koncentrace (1 µg/m³) látky v ovzduší.

LICR je měřítkem rizika karcinogenního účinku látky po expozici vyjadřujícího 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. 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.

APCR udává pravděpodobný počet nových případů novotvarů za rok v exponované populaci vzniklých vlivem expozic hodnoceným látkám. Pro výpočet APCR je použit následující vztah:

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

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 2020, ukazuje tabulka 16.

Tabulka 16: Kvantifikace karcinogenního rizika benzo(a)pyrenu v populaci v sídlech za 1 rok ve vztahu k expozičním hodnotám BaP v roce 2020 (na 1000 obyvatel)

Karcinogenní riziko expozic benzo(a)pyrenu						
Sídlo	2020			2012-2017		
	LICR	APCR	1 případ	LICR	APCR	1 případ
	bezrozm.	počet případů	roky	bezrozm.	počet případů	roky
Golčův Jeníkov	$6,31 \times 10^{-5}$	0,000901	1110	x	x	x
Bystřice n. Pern.	$7,01 \times 10^{-5}$	0,001001	999	$2,09 \times 10^{-4}$	0,002983	335

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)

x – nejsou údaje

Odhad karcinogenního rizika benzo(a)pyrenu ukazuje, že v roce 2020 byla v obou sídlech, ve kterých probíhalo měření, překročena všeobecně přijatelná mez karcinogenního rizika ($LICR = 1 \times 10^{-6}$). Celospolečensky přijatelná mez karcinogenního rizika daná platným imisním limitem ($LICR = 8,7 \times 10^{-5}$) nebyla překročena v ani jednom z obou sídel. Na základě těchto skutečností je proto možné považovat karcinogenní riziko expozic BaP z ovzduší bylo pro obyvatele obou sídel v roce 2020 za zvýšené, celospolečensky však přijatelné. Rozdíl mezi uvedenými dvěma sídly je minimální. Výskyt jednoho případu zhoubného nádoru ve vztahu k těmto expozicím benzo(a)pyrenu lze v populaci obou sídel (na 1000 osob) očekávat jednou za mnoho set let.

Oproti hodnotě karcinogenního rizika za období 2012-2017 získané kvantifikací v předchozím hodnocení došlo ve Bystřici pod Pernštejnem v roce 2020 k poklesu karcinogenního rizika o 66 %. V případě Golčova Jeníkova nelze porovnání provést, protože toto sídlo nebylo do předchozího hodnocení zahrnuto a autor tohoto hodnocení neměl ani k dispozici jiné hodnoty z tohoto místa, ze kterých by bylo možné zjistit případný trend.

ZÁVĚR

Hodnocení zdravotních rizik pro obyvatele 4 sídel zařazených do projektu ISKOV etapa 2021 (Golčův Jeníkov, Pacov, Hrotovice, Bystřice nad Pernštejnem) je provedeno na základě expozičních hodnot za rok 2020, kterými jsou průměrné roční koncentrace $PM_{10}/PM_{2,5}$ a NO_2 (vypočtené na základě celoročního měření) a benzo(a)pyrenu (vypočtené z kampaňovitých měření rovnoměrně rozložených v průběhu roku).

Pro kvantifikaci účinků $PM_{10}/PM_{2,5}$ na nemocnost a úmrtnost byla použita metodika WHO s využitím vztahů úmrtnosti a nemocnosti (WHO, CAFE), odvozených z epidemiologických studií. Riziko karcinogenních účinků benzo(a)pyrenu bylo posouzeno klasickou metodikou US EPA. Kvantifikovaný odhad zdravotních rizik pro NO_2 nebyl proveden vzhledem k tomu, že platná metodika v ČR jej v současnosti nedoporučuje. Vyhodnocení dlouhodobých účinků NO_2 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.

Expozice PM_{10} :

- V Golčově Jeníkově překročila doporučenou hodnotu WHO ($GV_{PM_{10}} = 20 \mu g/m^3$), která byla stanovena WHO k ochraně zdraví. Zdravotní riziko pro obyvatele je proto možné považovat za zvýšené.
- V Pacově, Hrotovicích a Bystřici nad Pernštejnem nepřekročily doporučenou hodnotu WHO ($GV_{PM_{10}} = 20 \mu g/m^3$). Zdravotní riziko pro obyvatele je proto možné považovat za nízké.
- V žádném ze sídel nebyla překročena limitní hodnota dle české legislativy v platném znění ($LH = 40 \mu g/m^3$). Zdravotní riziko expozic PM_{10} pro populaci v sídlech je proto možné považovat za celospolečensky přijatelné
- Ve sledované populaci sídel mohly expozice PM_{10} odpovídat souhrnnému zvýšení míry rizika:
 - ztráty let života v dospělé populaci 2,3-3,3 dne na osobu za rok
 - prevalence zánětu průdušek u dětí (bronchitis) o 3,8-8,3 % (tj. 185-401 dnů s příznaky)
 - incidence astmatických symptomů u astmatických dětí o 1,6-3,4 % (tj. 7-16 dnů s příznaky)
 - incidence chronické bronchitis v dospělé populaci o 6,9-15,1 % (tj. 0,22-0,48 případu)

Expozice $PM_{2,5}$:

- Ve všech sídlech překročily doporučenou hodnotu WHO ($GV_{PM_{2,5}} = 10 \mu g/m^3$). Zdravotní riziko pro obyvatele je proto možné považovat za zvýšené.

- V žádném ze sídel nebyla překročena limitní hodnota dle české legislativy v platném znění ($LH=20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Zdravotní riziko expozic $\text{PM}_{2,5}$ pro populaci v sídlech je proto možné považovat za celospolečensky přijatelné.
- Ve sledované populaci sídel mohly expozice $\text{PM}_{2,5}$ odpovídat souhrnnému zvýšení míry rizika:
 - předčasné úmrtnosti v dospělé populaci o 4-8,7 % (tj. 0,13-0,36 případu)
 - hospitalizace z kardiovaskulárních příčin o 0,6-1,3 % (tj. o 0,17-0,36 případu)
 - hospitalizace z respiračních příčin o 1,2-2,7 % (tj. o 0,15-0,33 případu)
 - dnů s omezenou aktivitou o 402-862 dnů

Expozice NO_2 :

- Průměrné roční koncentrace NO_2 v roce 2020 v žádném sídle nepřekročily doporučenou hodnotu WHO. Zdravotní riziko z expozice NO_2 zůstává ve všech sídlech nízké, tj. přijatelné.

Expozice benzo(a)pyrenu:

- Karcinogenní riziko expozic benzo(a)pyrenu v Golčově Jeníkově ($\text{LICR}=6,31 \times 10^{-5}$) i Bystřici nad Pernštejnem ($\text{LICR}=7,01 \times 10^{-5}$) překročilo mez všeobecně přijatelného rizika ($\text{LICR}=1 \times 10^{-6}$). Karcinogenní riziko expozic benzo(a)pyrenu je proto v obou sídlech zvýšené.
- V Golčově Jeníkově ani v Bystřici nad Pernštejnem nepřekročily limitní hodnotu podle české legislativy v platném znění ($LH=1 \text{ ng}/\text{m}^3$). Zdravotní riziko expozic benzo(a)pyrenu je proto v obou sídlech možné považovat za celospolečensky přijatelné.
- Doporučená hodnota WHO není stanovena. Vzhledem ke karcinogennímu účinku by koncentrace v ovzduší měly být co nejnižší.

Srovnání příslušné expozice sledovaných látek a souvisejících zdravotních rizik v roce 2020 oproti období 2012-2017 ukazuje jejich snížení ve všech sídlech. Největší pokles zdravotních rizik byl dosažen v Pacově (souhrnně pro všechny indikátory rizika o 47,7-71 %), nejnižší pokles pak v Golčově Jeníkově (souhrnně pro všechny indikátory o 7,1-15,3 %). V případě benzo(a)pyrenu bylo možné srovnání s hodnotami za období 2012-2017 jen pro sídlo Bystřice nad Pernštejnem, kde došlo k 66 % poklesu karcinogenního rizika v roce 2020 oproti období 2012-2017. Pro ostatní hodnocená sídla v této etapě sídla nebyly k dispozici expoziční hodnoty benzo(a)pyrenu potřebné ke srovnání.

Expozici hodnocených látek a s ní spojenou míru zdravotních rizik pro obyvatele ve 4 sídlech na Vysočině, zařazených do projektu ISKOV etapy 2020, je možné považovat za obvyklý stav v podobných sídlech v ČR. I přes dosažený pokles zdravotních rizik v roce 2020 je však stále prostor pro zlepšení, zejména s ohledem na překračování doporučených hodnot pro $\text{PM}_{2,5}$ ve všech sídlech a PM_{10} v Golčově Jeníkově i zvýšeného karcinogenního rizika v Golčově Jeníkově i Bystřici nad Pernštejnem. Proto je odůvodněná potřeba dalšího sledování i dlouho dobového průběžného snižování výskytu těchto látek v ovzduší vhodně přijímanými opatřeními tak, aby míra zdravotních rizik pro obyvatele sídel klesala.

NEJISTOTY

- 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.
- Expoziční hodnoty ani hodnoty úmrtnosti nebylo možné srovnat s příslušnými referenčními hodnotami SZÚ pro ČR (střední roční hmotnostní koncentrace pro kategorie stanic v ČR a nárůst předčasné úmrtnosti). K tomuto srovnání by bylo nutné kategorizovat měřící místa jinak, než je uváděno v projektu - podle metodiky Národní referenční laboratoře pro venkovní ovzduší SZÚ. Vzhledem k tomu, že toto překategorizování se nepodařilo spolehlivě provést, nemohlo být provedeno ani následné srovnání se zmíněnými národními referenčními hodnotami.
- V případě benzo(a)pyrenu expoziční koncentrací je průměrná roční hodnota expozice, vypočtená na základě 17 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. Pro dvě sídla (Kamenice nad Lipou a Ledec nad Sázavou) chyběla expoziční data za rok 2020 a pro tři sídla chyběla expoziční data za období 2012-2017. V těchto sídlech neprobíhalo měření. Z tohoto důvodu ani nebylo možné zjistit trend vývoje výskytu látek v ovzduší v těchto sídlech.
- 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.
- 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.

- 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.
- Nové poznatky naznačující strmější nárůst účinků při nižších koncentracích a pozvolnější nárůst při vyšších koncentracích; zdravotní účinky i při nižších koncentracích, než jsou doporučené hodnoty WHO; karcinogenní účinek aerosolu. Tyto poznatky prozatím nejsou zahrnuty v metodice hodnocení zdravotních rizik. K jejich zohlednění by mohlo dojít až po ukončení probíhající revize Směrnice pro venkovní ovzduší Světové zdravotnické organizace. V tomto hodnocení jsou aktuální poznatky slovně okomentovány.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- Rückert 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>>
- 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-pollution-revihaap-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
- 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-obyvateľstvo-473b55l3kj>
- ÚZIS (2018). Regionální zpravodajství NZIS. Kraj Vysočina. Celková mortalita v krajích a okresech. 2017. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/4-obyvateľstvo-473b55l3kj>
- Hurley F et al (2005). Methodology for the cost-benefit analysis for CAFE. Volume 2: Heath Impact Assessment, European Commision.
- ExternE (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>.