

VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ V LOKALITĚ HRANICE ROK 2020



ENVITECH BOHEMIA, s.r.o.



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Životní prostředí

*„Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií-
Evropského fondu pro regionální rozvoj v rámci
Operačního programu Životní prostředí“*

ÚDAJE O ZAKÁZCE

Zhotovitel:

ENVitech Bohemia s.r.o.

Ovocná 34/1021 ,
161 00 Praha 6
Česká republika

IČO: 47119209

DIČ: CZ47119209

Objednatel:

Město Hranice

Pernštejnské náměstí 1
753 01 Hranice
IČO: 00301311

Datum předání zprávy:	10. března 2021
Počet výtisků:	1
Výtisk číslo:	1



OBSAH

1	ÚVOD	4
1.1	IMISNÍ LIMITY	5
1.2	DATA A JEJICH ZPRACOVÁNÍ	5
2	METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY BĚHEM MĚŘENÍ	6
2.1	VĚTRNÉ RŮŽICE	6
2.2	RYCHLOST PROUDĚNÍ VĚTRU	6
2.3	TEPLOTA VZDUCHU	8
2.4	RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU	9
2.5	ÚHRN SRÁŽEK	11
2.6	SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ	12
2.7	ATMOSFÉRICKÝ TLAK	14
3	VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ	15
3.1	SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₁₀, PM_{2,5} A PM₁	15
3.1.1	PRŮMĚRNÉ ROČNÍ KONCENTRACE	17
3.1.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE	18
3.1.3	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE PM	20
3.1.4	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – DENNÍ CHOD A KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	24
3.1.5	SROVNÁNÍ S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍŤE IMISNÍHO MONITORINGU	28
3.2	OXIDY DUSÍKU NO₂, NO A NO_x	32
3.2.1	PRŮMĚRNÉ ROČNÍ KONCENTRACE	33
3.2.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE	34
3.2.3	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE NO, NO ₂ A NO _x	36
3.2.4	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – DENNÍ CHOD A KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	38
3.2.5	SROVNÁNÍ S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍŤE IMISNÍHO MONITORINGU	42
3.3	PŘÍZEMNÍ OZÓN	44
3.3.1	VÝVOJ 26. NEJVYŠŠÍCH 8HODINOVÝCH KLOUZAVÝCH PRŮMĚRŮ ZA DEN V ROCE	44
3.3.2	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ KONCENTRACE	46
3.3.3	VÝVOJ PRŮMĚRNÝCH DENNÍCH KONCENTRACÍ O ₃	46
3.3.4	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – DENNÍ CHOD A KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	50
3.3.5	SROVNÁNÍ S LOKALITAMI STÁTNÍ SÍŤE IMISNÍHO MONITORINGU	53
4	ZÁVĚRY	55
5	CITOVANÁ LITERATURA	56



1 ÚVOD

Stanice v Hranicích je umístěna na dvoře Základní školy a mateřské školy Hranice, Šromotovo. Stanice byla zřízena na konci roku 2018. Jedná se o městskou pozadřovou stanici, která je umístěna v obytné zóně nedaleko centra. Reprezentativnost stanice je v rámci okrskového měřítka 0,5 – 4 km.

Výtěžnost dat byla počítána z denních hodnot. Do výpočtu byly zahrnuty všechny měřené škodliviny a meteorologické veličiny. Rychlost a směr větru byla počítána jako jedna veličina. Celková výtěžnost dat v roce 2020 v lokalitě Hranice byla 99,8 %.





1.1 IMISNÍ LIMITY

Pro škodliviny, měřené v lokalitě Hranice, platí následující imisní limity dle Přílohy č. 1 zákona o ochraně ovzduší [1].

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

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit LV	pLV
Suspendované částice PM ₁₀	24 hodin	50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	35
Suspendované částice PM ₁₀	1 kalendářní rok	40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	
Suspendované částice PM _{2,5}	1 kalendářní rok	20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	
Oxid dusičitý NO ₂	1 hodina	200 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	18
Oxid dusičitý NO ₂	1 kalendářní rok	40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	
Přízemní ozón O ₃	maximální denní osmihodinový klouzavý průměr	120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	25

Kromě samotných imisních limitů tabulky uvádí také přípustnou četnost překročení za kalendářní rok (pLV, je-li stanovena). To znamená, že například v případě denního limitu pro PM₁₀ může být za kalendářní rok hodnota 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ maximálně 35krát překročena, aniž by došlo k překročení imisního limitu. Proto se často hodnotí 36. nejvyšší denní koncentrace, která pokud je vyšší než 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, došlo k překročení imisního limitu.

1.2 DATA A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

Ve studii byla mimo samotnou lokalitu Hranice rovněž použita data státní sítě imisního monitoringu za účelem srovnání lokality s okolními stanicemi. Data byla poskytnuta Českým hydrometeorologickým ústavem. Veškerá uvedená data byla poskytnuta na základě žádosti MÚ Hranice a nemohou být použita jinak než pro tuto studii. Veškerá data ČHMÚ pocházejí z databáze ISKO (Informační systém kvality ovzduší).

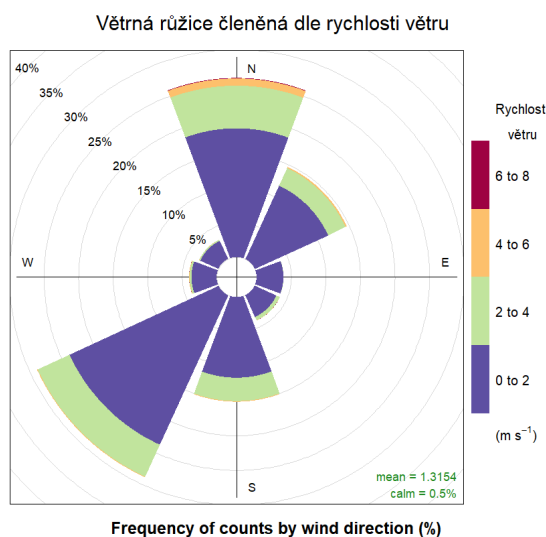
K analýze a zobrazení závislosti znečištění ovzduší na meteorologických podmínkách sloužil OpenSource balík R (R Core Team, Rakousko) [2]. Především bylo využito souboru balíčků „Tidyverse“, obsahují nástroje pro zpracování a analýzu dat a jejich vizualizaci [3]. Dále bylo využito balíčku „openair“, jehož součástí jsou algoritmy pro použité polární grafy [4].



2 METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY BĚHEM MĚŘENÍ

2.1 VĚTRNÉ RŮŽICE

Na následujícím Obr. 1 je zobrazena větrná růžice pro lokalitu Hranice konstruovaná z hodinových rychlostí a směrů větru. Růžice naznačuje převažující severní a jihozápadní proudění (cca 25 %). Významněji bylo dále zastoupeno také severovýchodní a jižní proudění (cca 15 %). Ostatní směry větru byly méně významné (do 10 %). Vyšší rychlosti větru byly zaznamenány především ze severovýchodu a severu. Bezvětrí panovalo ve zhruba 0,5 % času měření. Průměrná rychlost větru za celé měřené období byla v lokalitě Hranice zhruba $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 1 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, Hranice, rok 2020

2.2 RYCHLOST PROUDĚNÍ VĚTRU

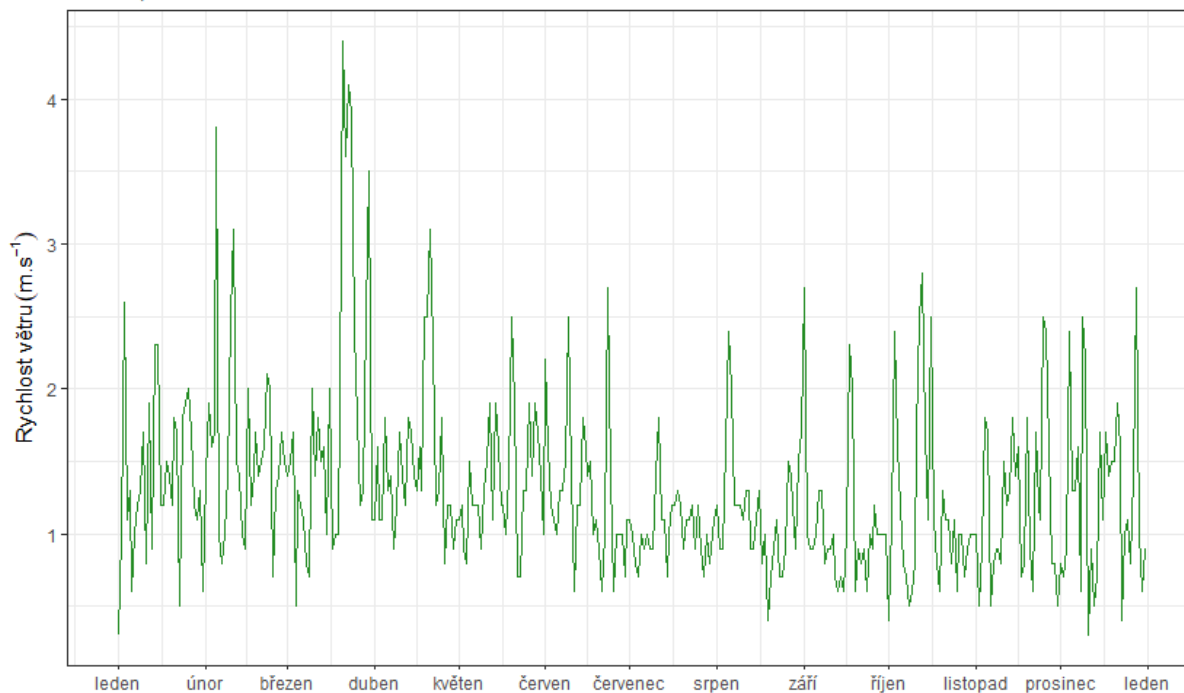
Meteorologické podmínky v chladné části roku vlivem častějších, a především silnějších teplotních inverzí napomáhají horším rozptylovým podmínkám – během teplotní inverze se v atmosféře vytvoří vrstva připomínající pokličku, pod kterou je stabilní atmosféra tzn., že je téměř bezvětrí nebo pouze nízké rychlosti větru a nedochází tedy k dostatečnému rozptylu škodlivin. Škodliviny se pak pod touto vrstvou kumulují a jejich koncentrace roste. Rychlost proudění větru je tedy významným meteorologickým prvkem ovlivňujícím koncentrace škodlivin ovzduší. Pokud jsou rychlosti velmi nízké nebo panuje bezvětrí, jsou zpravidla koncentrace škodlivin (zejména suspendovaných částic) vysoké. Naopak při vyšších rychlostech větru dochází k dobrému rozptylu, na druhou stranu může rovněž docházet i k resuspenzi suspendovaných částic, kdy dochází k opětovnému vznosu již jednou sedimentovaných částic. Příkladem takové resuspenze může být např. větrná eroze, kdy vlivem větru je strhávána půda z polí do vzduchu a podílí se tak na nárůstu koncentrací suspendovaných částic v ovzduší.

Na následujícím Obr. 2 jsou uvedeny průměrné denní rychlosti proudění větru v lokalitě Hranice. Z grafu je patrné, že byly měřeny převážně rychlosti větru zhruba do $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, rychlosti okolo $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ se vyskytovaly výjimečně. Následující Obr. 3 zobrazuje průměrné měsíční hodnoty.



Vývoj průměrných denních rychlostí větru

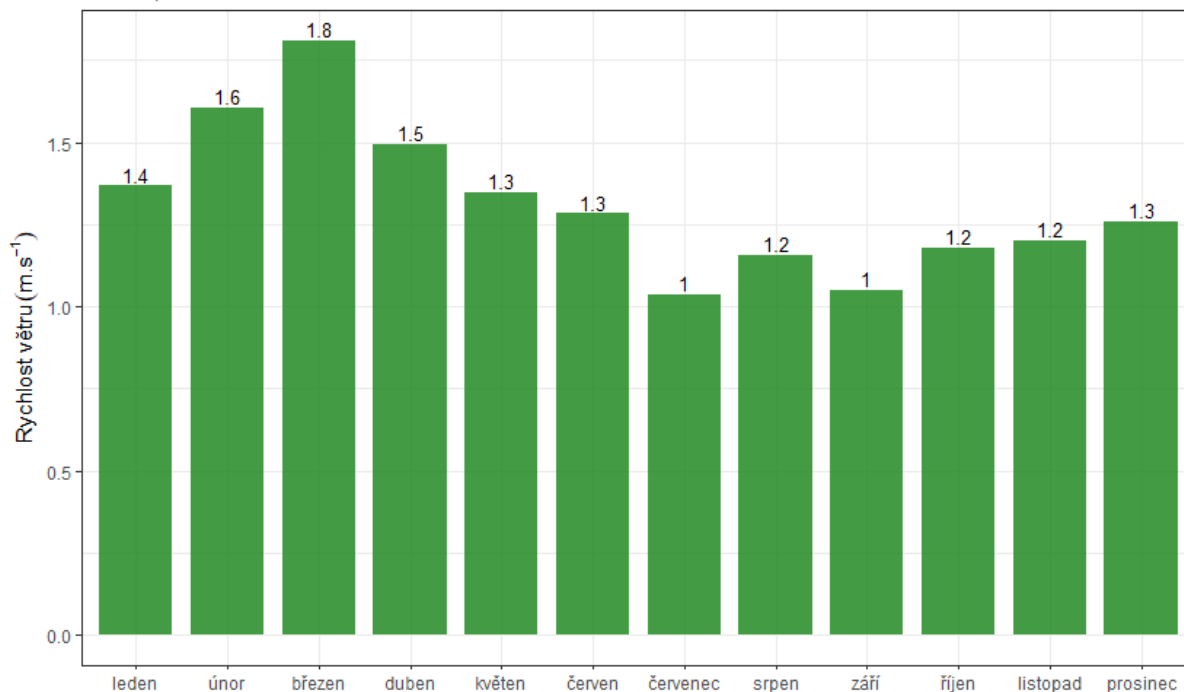
Hranice, rok 2020



Obr. 2 – Průměrné denní rychlosti větru, Hranice, rok 2020

Vývoj průměrných měsíčních rychlostí větru

Hranice, rok 2020



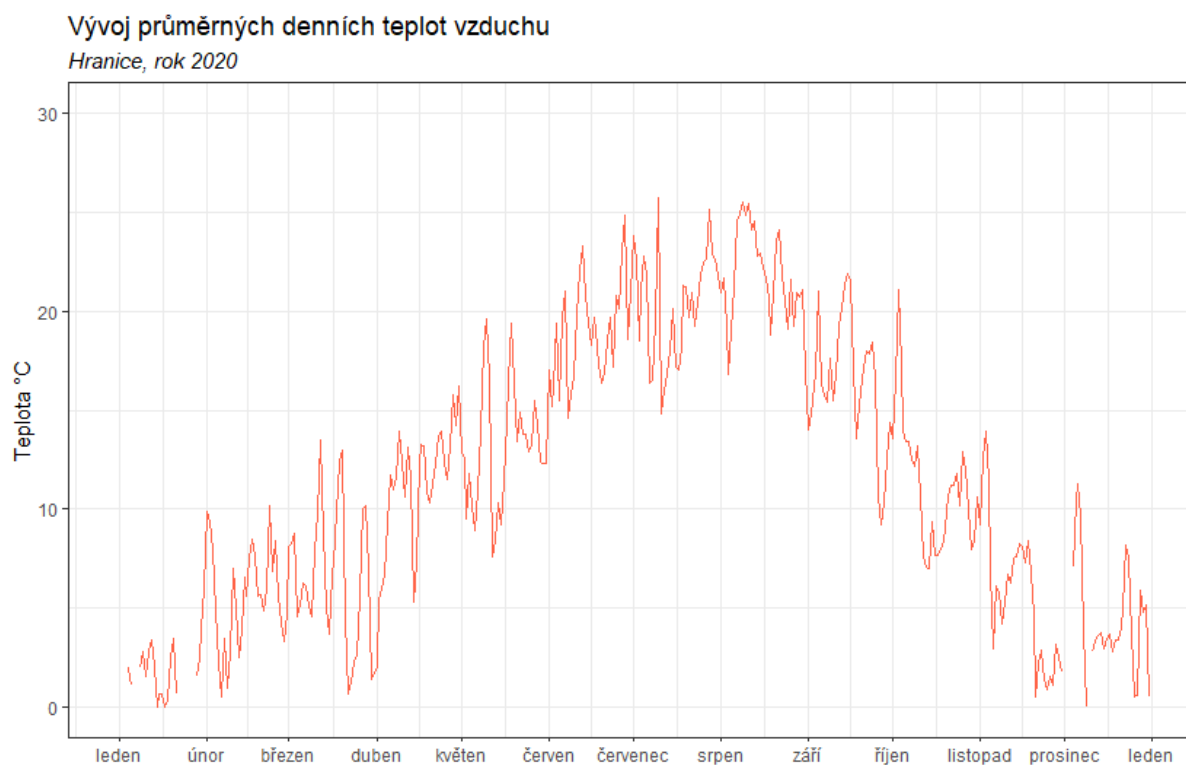
Obr. 3 – Průměrné měsíční rychlosti větru, Hranice, rok 2020



2.3 TEPLOTA VZDUCHU

Významným faktorem, ovlivňujícím koncentrace a distribuci velikostních frakcí je teplota vzduchu. V dlouhodobém trendu platí, že s klesající teplotou rostou koncentrace částic v ovzduší, přičemž je více zastoupená jemnější frakce, a naopak s rostoucí teplotou koncentrace klesají a je výrazněji zastoupená hrubší frakce částic. Teplota však spolu se slunečním zářením má vliv i na tvorbu částic z plynných prekurzorů tzv. nukleací. Působení teploty na tvorbu částic může být přímé (nukleace, růst a agregace) a nepřímé, kdy nízké teploty nutí k intenzivnějšímu vytápění, a tudíž k vyšším emisím tuhých látek z lokálních topenišť. Pokud jsou během teplotních inverzí velmi nízké teploty a bezvětří, vedou tyto situace k nárůstu koncentrací všech škodlivin v ovzduší a pokud situace trvá déle i k vyhlášení smogových situací.

Následující Obr. 4 zobrazuje průměrné denní teploty vzduchu v lokalitě Hranice. Z grafu vyplývá, že maximální hodnoty byly v této lokalitě měřeny v srpnu, minimální teploty pak byly měřeny v lednu (Obr. 5).

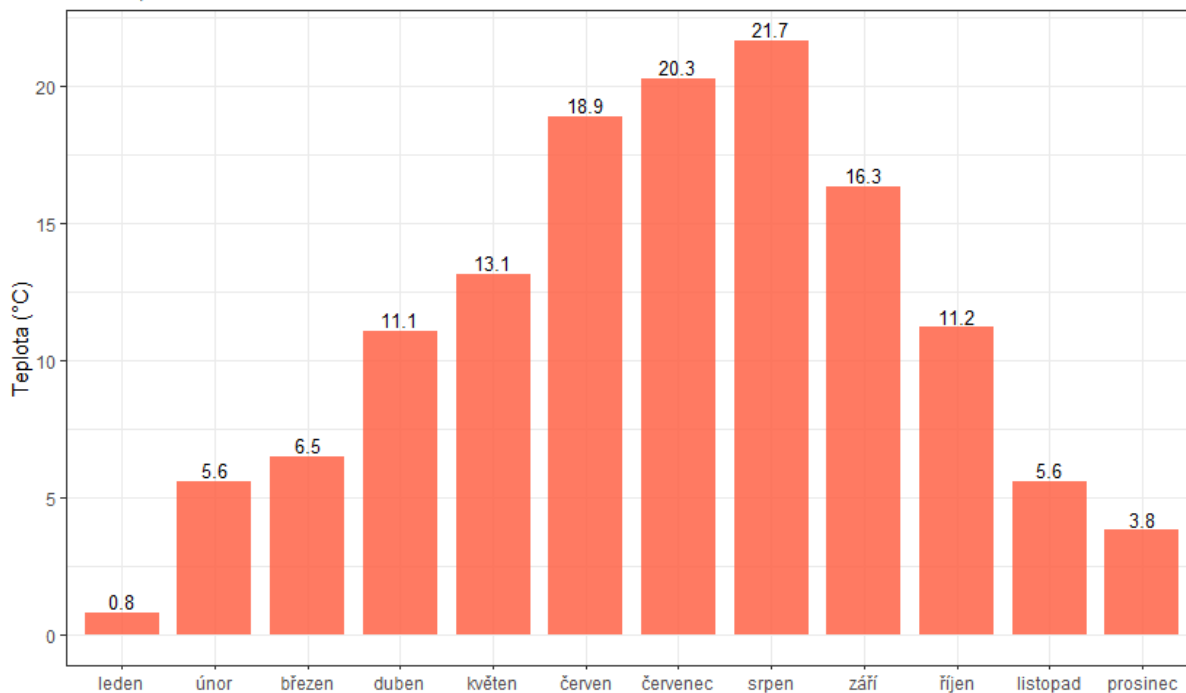


Obr. 4 – Průměrné denní teploty vzduchu, Hranice, rok 2020



Vývoj průměrných měsíčních teplot vzduchu

Hranice, rok 2020

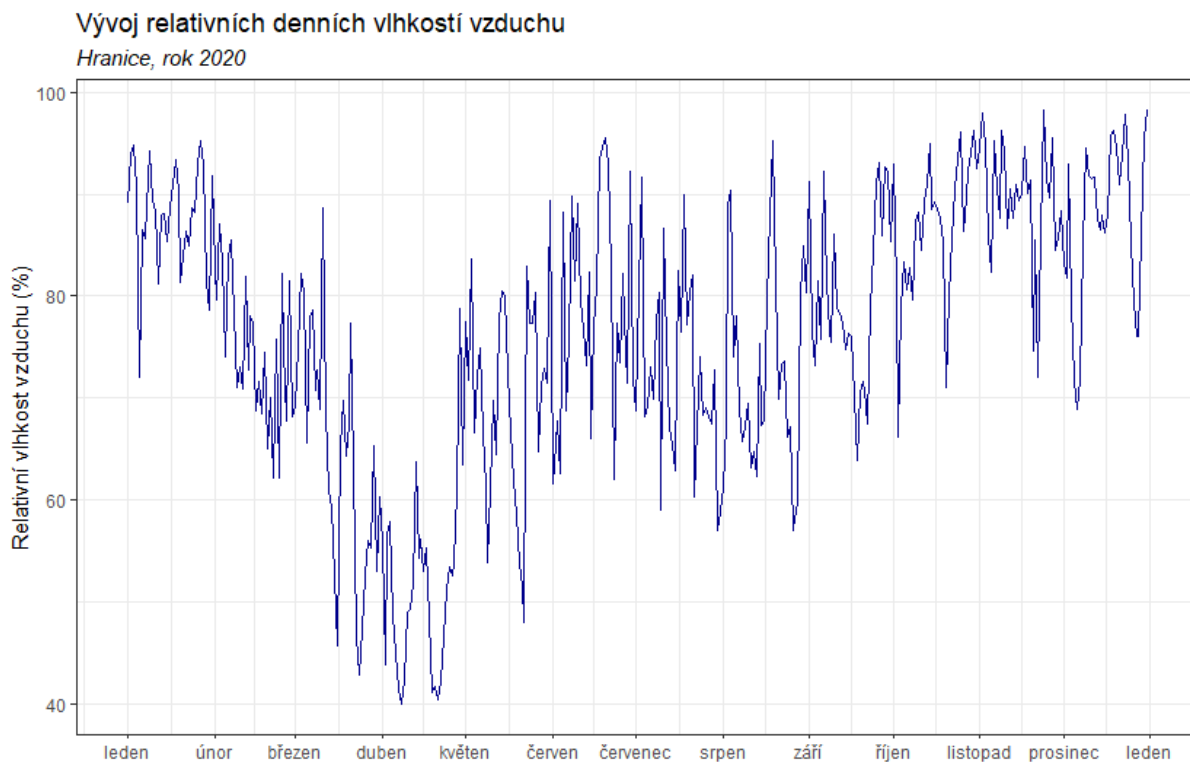


Obr. 5 – Průměrné měsíční teploty, Hranice, rok 2020

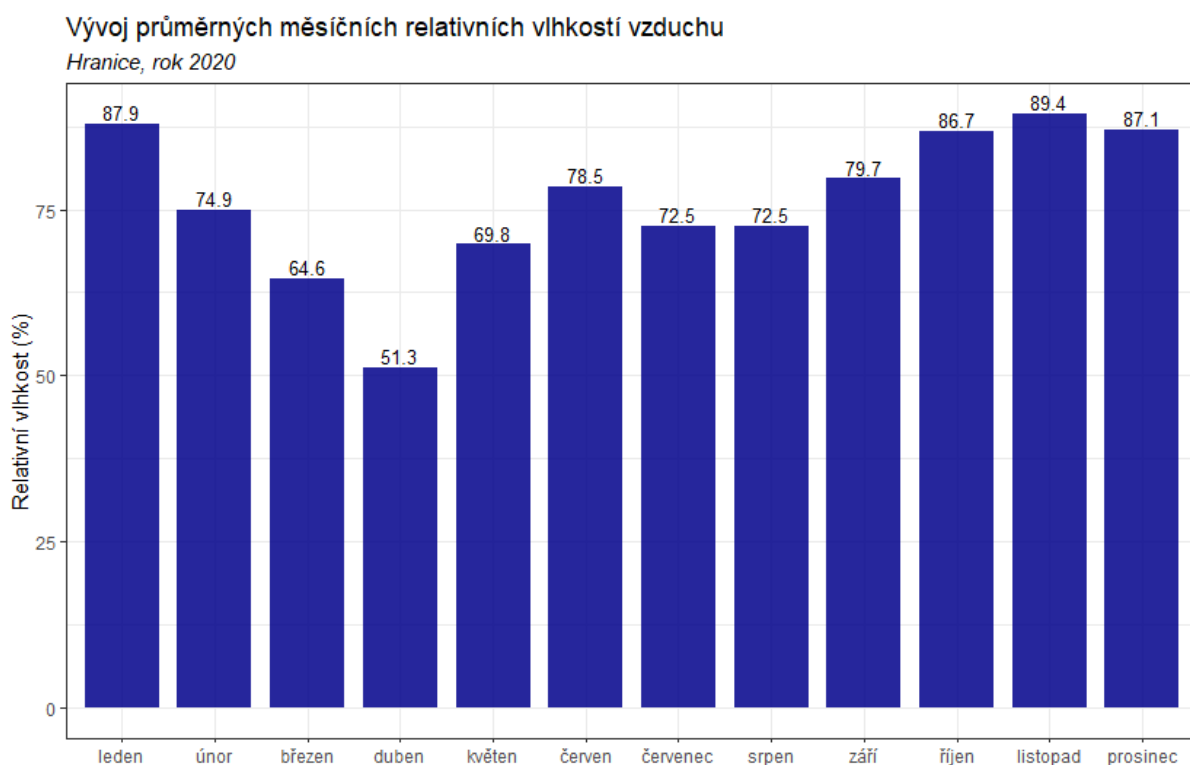
2.4 RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU

Důležitým faktorem, ovlivňujícím koncentrace a distribuci velikostních frakcí je i relativní vlhkost vzduchu. V dlouhodobém trendu platí, že s rostoucí relativní vlhkostí rostou koncentrace částic v ovzduší, přičemž je více zastoupená jemnější frakce, a naopak s klesající relativní vlhkostí koncentrace klesají a je výrazněji zastoupená hrubší frakce částic.

Následující Obr. 6 zobrazuje průměrné denní relativní vlhkosti vzduchu v lokalitě Hranice. Z grafu vyplývá, že maximální hodnoty byly v této lokalitě měřeny v chladné části roku, naopak nejnižší hodnoty byly měřeny v dubnu a v létě. Průměrné měsíční hodnoty jsou uvedeny v grafu na Obr. 7



Obr. 6 - Průměrné denní relativní vlhkosti vzduchu, Hranice, rok 2020



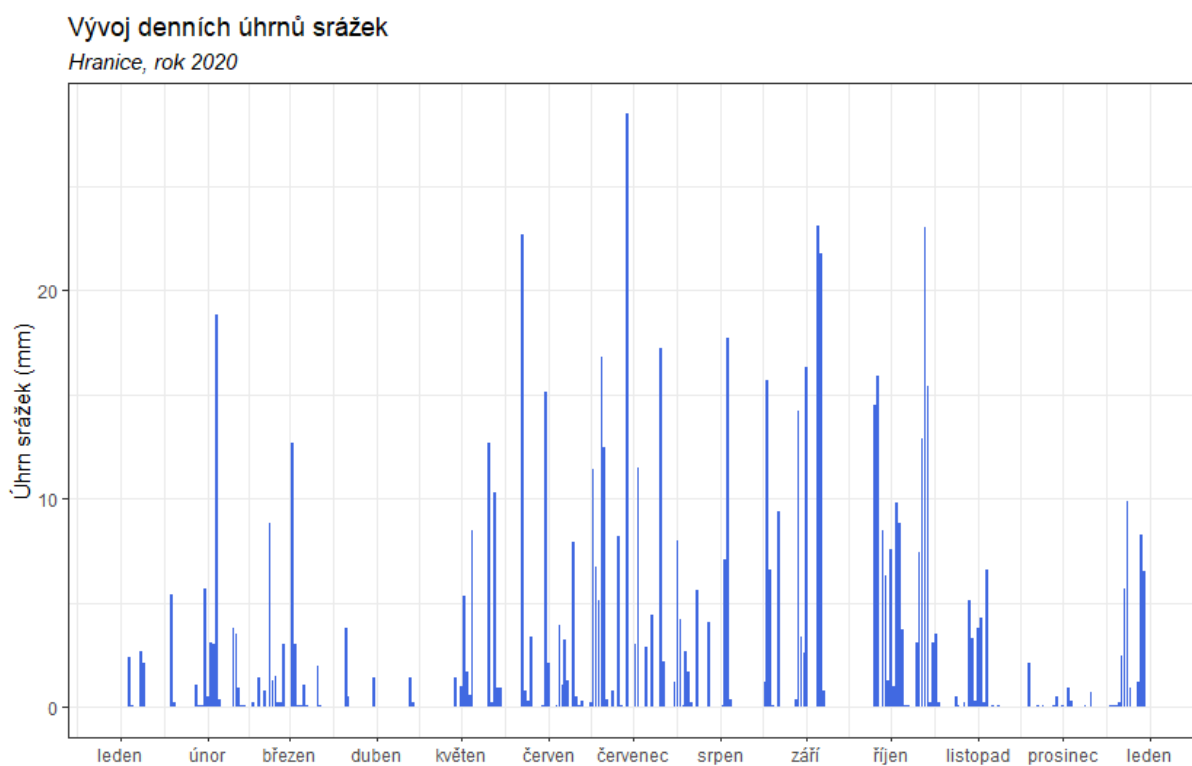
Obr. 7 – Průměrné měsíční relativní vlhkosti vzduchu, Hranice, rok 2020



2.5 ÚHRN SRÁŽEK

Koncentrace škodlivin může ovlivňovat rovněž úhrn srážek. Ten může znamenat přechod fronty, a tedy rozrušení teplotní inverze, v případě částic může díky srážkám docházet k tzv. vymývání částic z atmosféry, kdy dojde k výraznému poklesu koncentrací prašnosti v ovzduší. Naopak delší bezsrážková epizoda může v zimě značit delší epizodu s inverzním charakterem počasí, v teplé části roku pak může docházet k vysychání půdy a větrné erozi.

Následující Obr. 8 zobrazuje denní úhrn srážek v lokalitě Hranice. Následující graf na Obr. 9 zobrazuje měsíční úhrny srážek. Nejnižší úhrny srážek se vyskytly v dubnu (pouze 3 mm), nejvyšší úhrn pak byl zaznamenán v červnu.

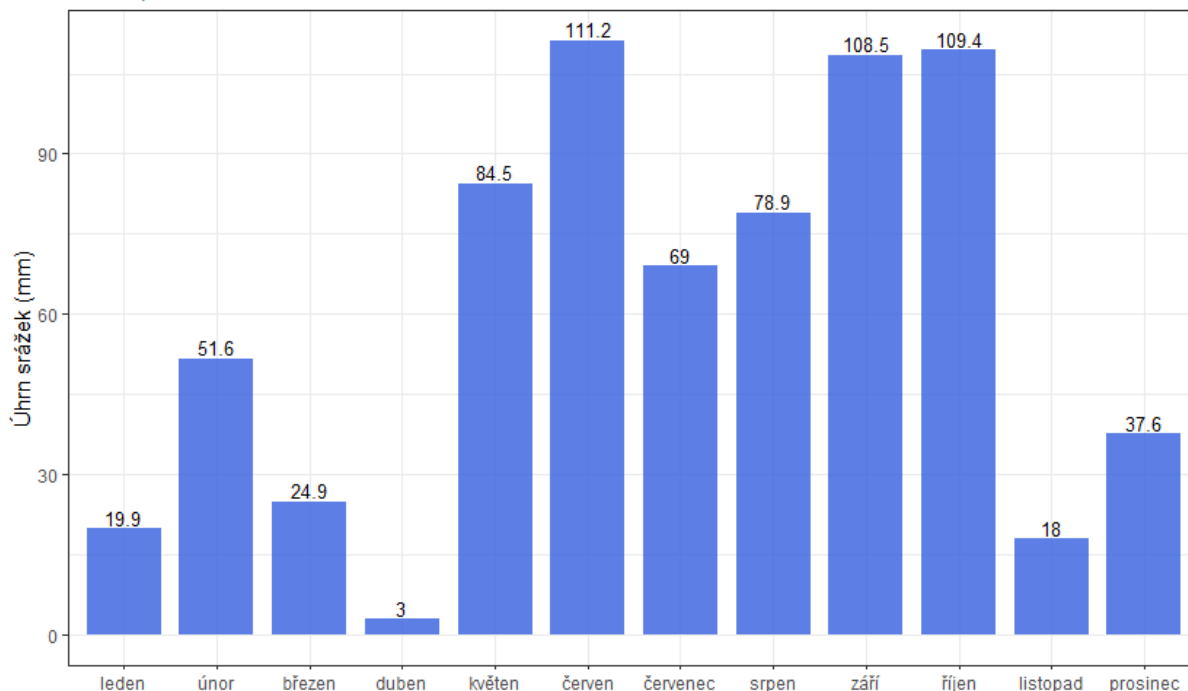


Obr. 8 – Denní úhrn srážek, Hranice, rok 2020



Vývoj měsíčních úhrnů srážek

Hranice, rok 2020

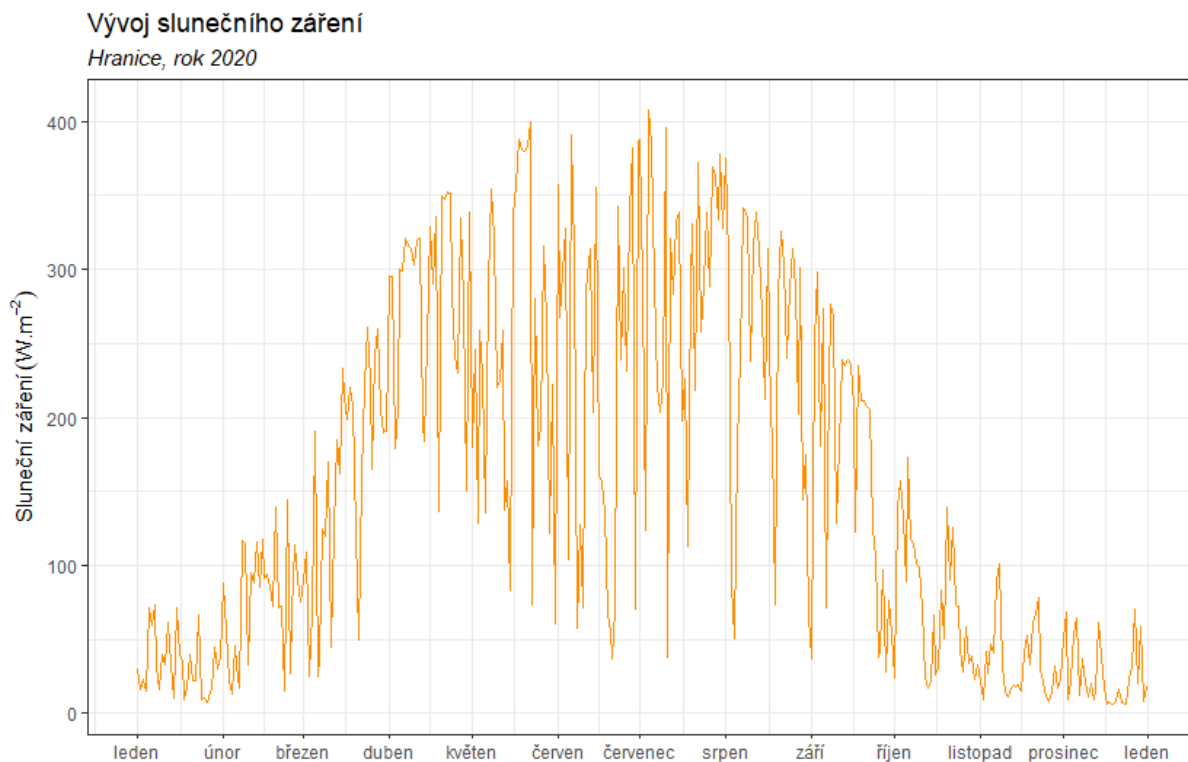


Obr. 9 – Měsíční úhrn srážek, Hranice, rok 2020

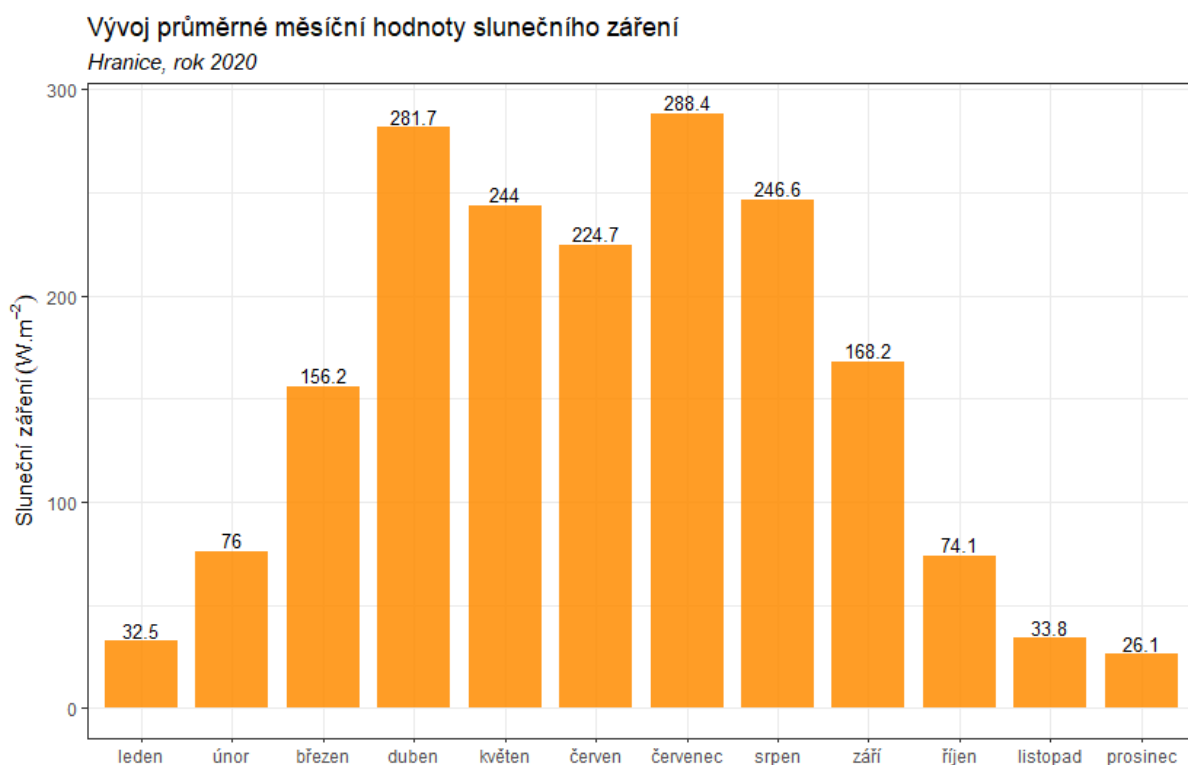
2.6 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ

Koncentrace přízemního ozónu velmi výrazně ovlivňuje sluneční záření. Přízemní ozón se tvoří fotochemickou reakcí. Aby reakce vůbec proběhla, nutně vyžaduje sluneční záření. S rostoucím slunečním zářením tedy rostou koncentrace přízemního ozónu, naopak při nižších hodnotách slunečního záření (převážně v zimě) jsou koncentrace přízemního ozónu pouze nízké.

Následující Obr. 10 zobrazuje průměrné denní hodnoty slunečního záření v lokalitě Hranice. Vyšší hodnoty slunečního záření jsou měřeny v letním období. Z průměrných měsíčních hodnot (Obr. 11) lze vyčíst, že slunce nejvíce svítilo v červenci a dubnu a nejméně v prosinci.



Obr. 10 - Průměrné denní hodnoty slunečního záření, Hranice, rok 2020



Obr. 11 – Průměrné měsíční hodnoty slunečního záření, Hranice, rok 2020

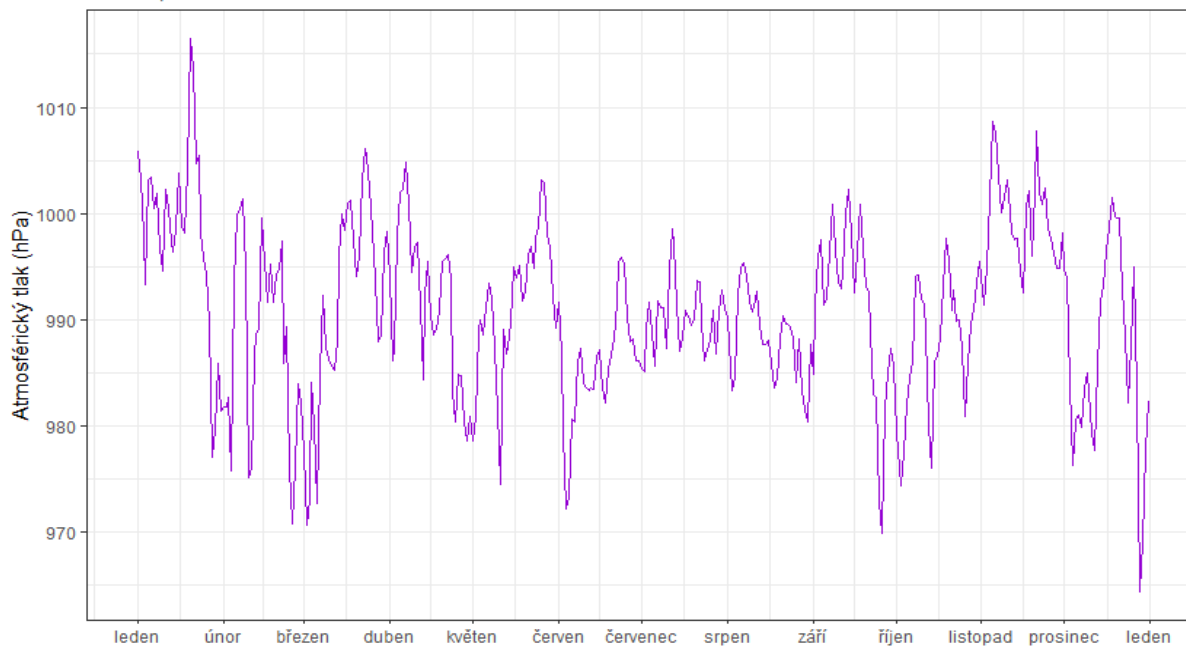


2.7 ATMOSFÉRICKÝ TLAK

Následující Obr. 12 a Obr. 13 zobrazují průměrné denní a měsíční hodnoty atmosférického tlaku v lokalitě Hranice. Hodnoty jsou celoročně poměrně vyrovnané, denní maximum bylo zaznamenáno v lednu, měsíční v listopadu.

Vývoj průměrných denních hodnot atmosférického tlaku

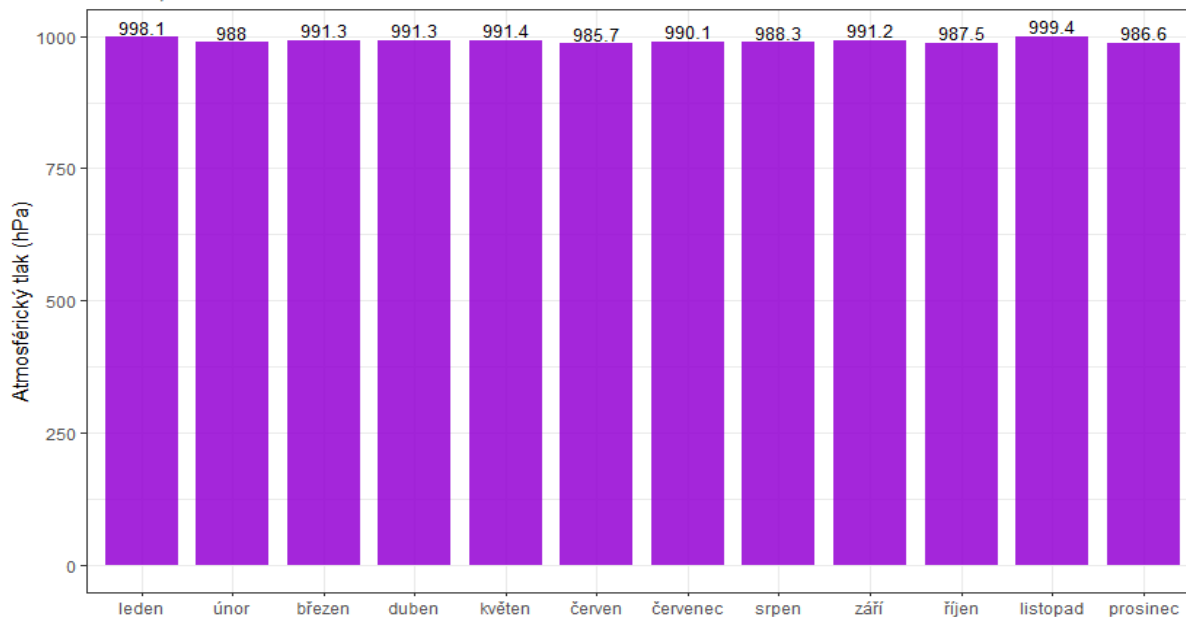
Hranice, rok 2020



Obr. 12 - Průměrné denní hodnoty atmosférického tlaku, Hranice, rok 2020

Vývoj průměrných měsíčních tlaků vzduchu

Hranice, rok 2020



Obr. 13 – Průměrné měsíční hodnoty atmosférického tlaku, Hranice, rok 2020

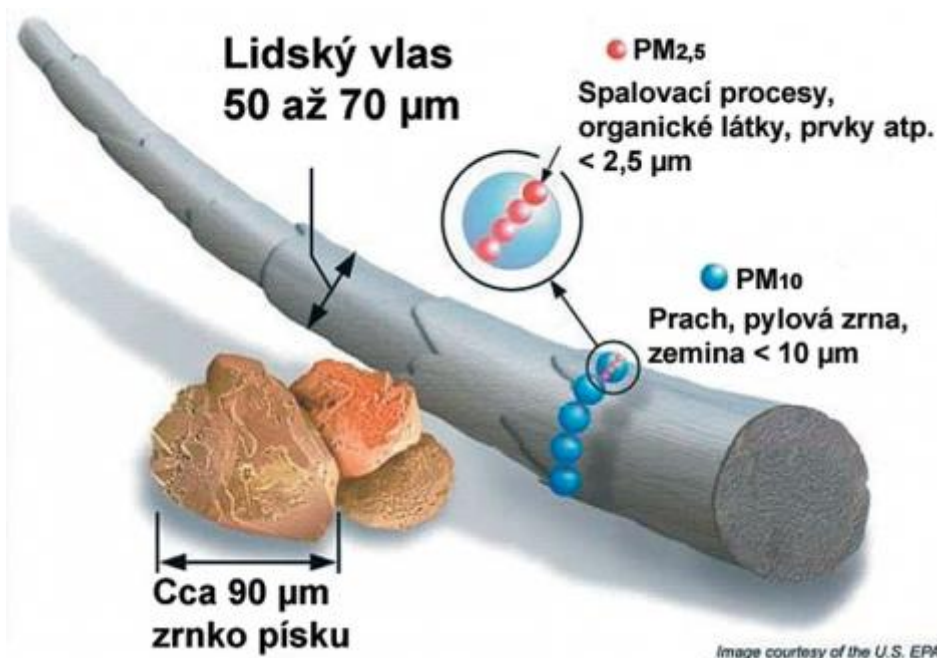


3 VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ

3.1 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₁₀, PM_{2,5} A PM₁

Suspendované částice jsou emitovány jak přírodními (např. sopky či prашné bouře), tak i antropogenními (např. elektrárny a průmyslové technologické procesy, doprava, spalování uhlí v domácnostech, spalování odpadu) zdroji. Většina těchto antropogenních emisních zdrojů je soustředěna v urbanizovaných oblastech, tj. v oblastech, ve kterých žije velká část populace.

Z hlediska platné legislativy [1] jsou v ovzduší sledovány dvě velikostní frakce suspendovaných částic. Jedná se o hrubší frakci PM₁₀ (suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 10 μm) a jemnější frakci PM_{2,5} (suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 2,5 μm). Názorně jsou tyto částice velikostně srovnány s lidským vlasem na Obr. 14.



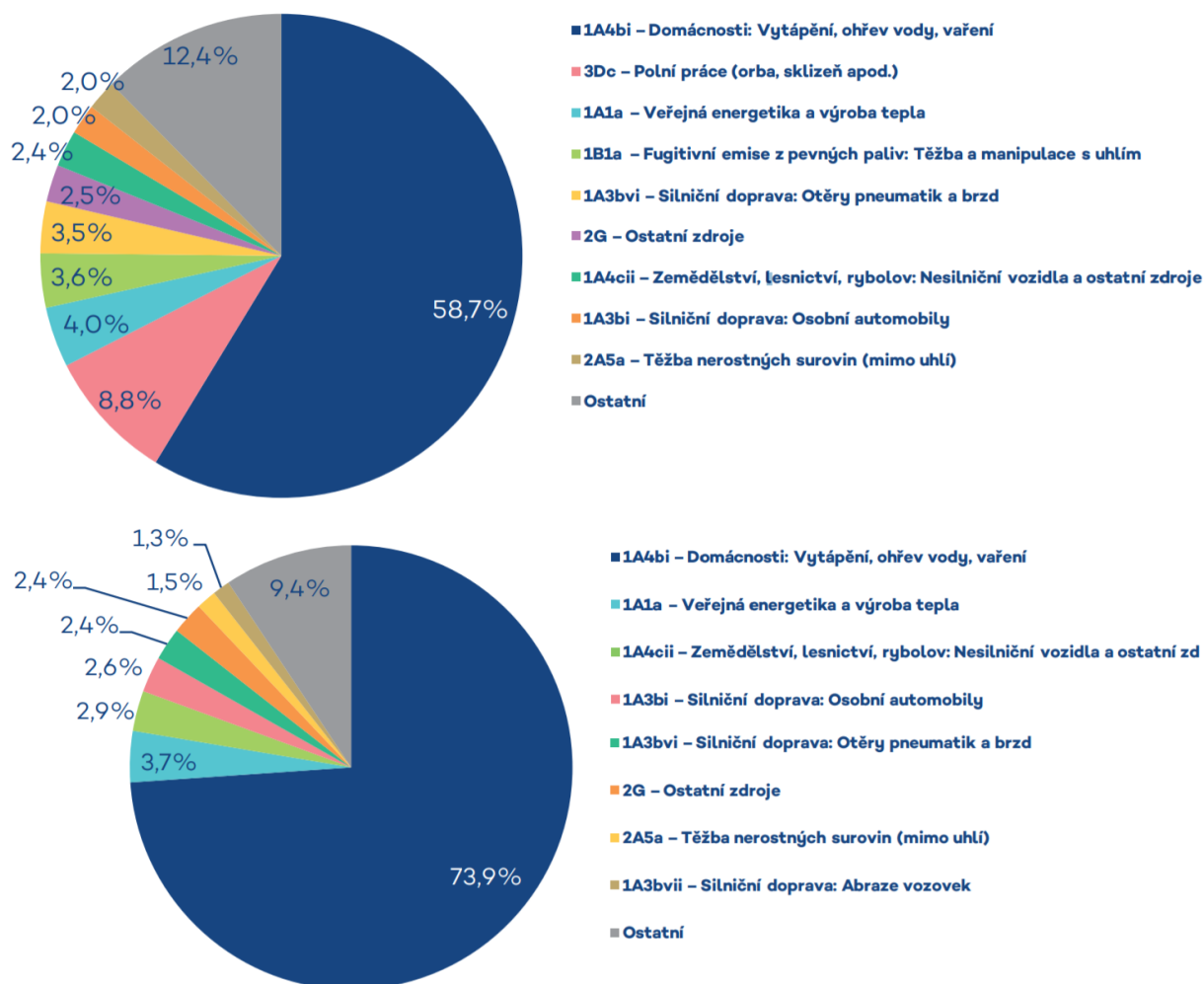
Obr. 14 – Srovnání velikostí částic PM₁₀ a PM_{2,5} s lidským vlasem a zrnkem písku. Zdroj: US EPA

Emisní inventury částic PM₁₀ a PM_{2,5} prováděné podle současných metodik zahrnují pouze emise produkované primárními zdroji. Ve srovnání s emisemi jiných znečišťujících látek jsou emise PM_x vnášeny do ovzduší z velkého počtu významnějších skupin zdrojů. Kromě zdrojů, ze kterých jsou tyto látky vypouštěny řízeně komínem nebo výduchy (průmyslové zdroje, lokální topeniště, doprava), pochází významné množství emisí PM ze zdrojů fugitivních (kamenolomy, skládky prašných materiálů, operace s prašnými materiály apod.). Zahrnuty jsou rovněž emise z otěrů pneumatik, brzdového obložení a abraze vozovek vypočítávané z dopravních výkonů. Kvalitu ovzduší ovlivňuje rovněž resuspenze částic (znovuzvíření), která do standardně prováděných emisních inventur není zahrnuta.

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 % [5].



Obr. 15 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích PM₁₀ (nahore) a PM_{2,5} (dole) v ČR, rok 2018 [5]

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 [6], [7].

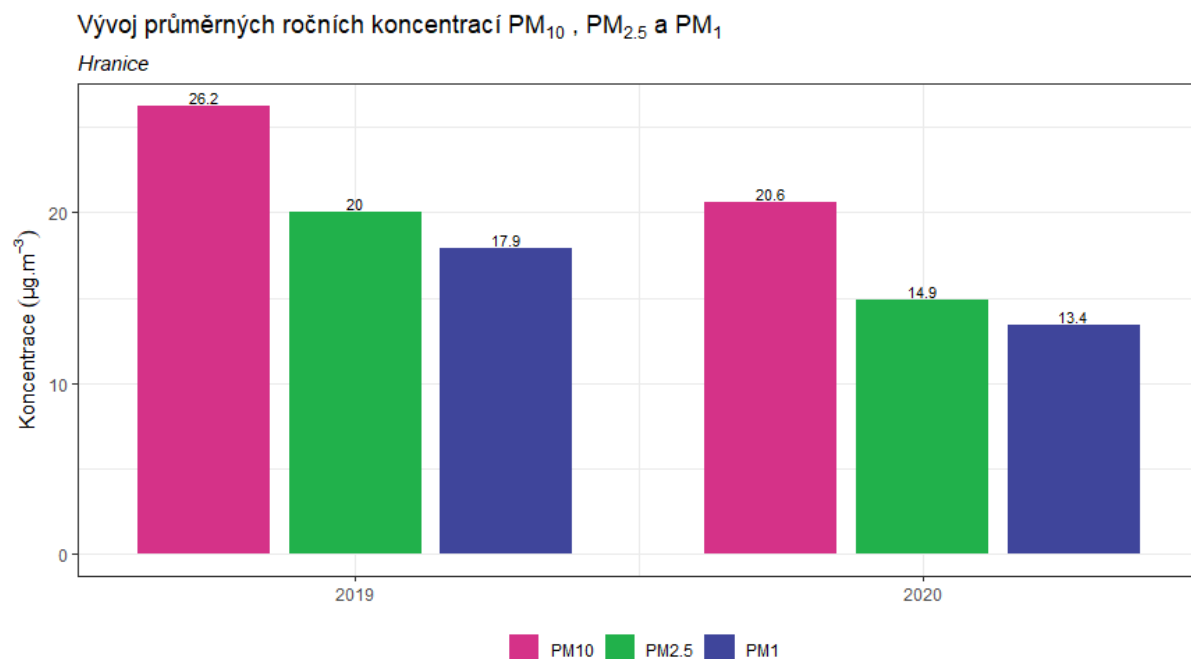


3.1.1 Průměrné roční koncentrace

Průměrná roční koncentrace PM_{10} činila v roce 2020 v lokalitě Hranice $20,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Imisní limit tedy překročen nebyl. Průměrná roční koncentrace $PM_{2,5}$ činila v roce 2020 v lokalitě Hranice $14,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Imisní limit tedy překročen nebyl, přestože hodnota imisního limitu byla v roce 2020 zpřísněna na $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Průměrná roční koncentrace PM_1 činila v roce 2020 v lokalitě Hranice $13,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Následující Obr. 16 zobrazuje průměrné roční koncentrace PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 v lokalitě Hranice.



Obr. 16 – Průměrné roční koncentrace PM, lokalita Hranice

Následující Tab. 2 pak zobrazuje statistické zpracování naměřených hodinových dat pro jednotlivé frakce PM. Grafické znázornění hodinových koncentrací pomocí krabicových grafů za rok 2020 pak zobrazuje Obr. 17.

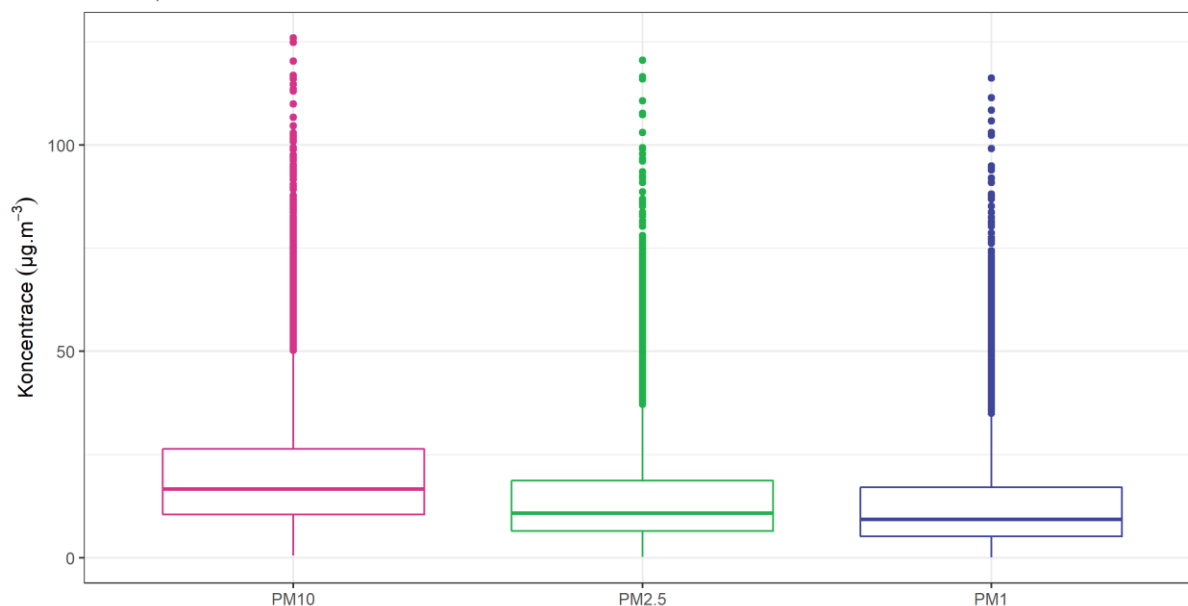
Tab. 2 – Statistické charakteristiky hodinových koncentrací PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 v lokalitě Hranice, rok 2020

STATISTIKA	PM_{10}	PM_{25}	PM_{01}
PRŮMĚR	20,6	14,9	13,4
MAXIMUM	126	120,6	116,3
MEDIÁN	16,6	10,8	9,3
MINIMUM	0,5	0,2	0,1



Statistické zpracování hodinových koncentrací PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1

Hranice, rok 2020



Obr. 17 – Statistické zpracování hodinových koncentrací PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 v lokalitě Hranice, rok 2020

3.1.2 Průměrné měsíční koncentrace

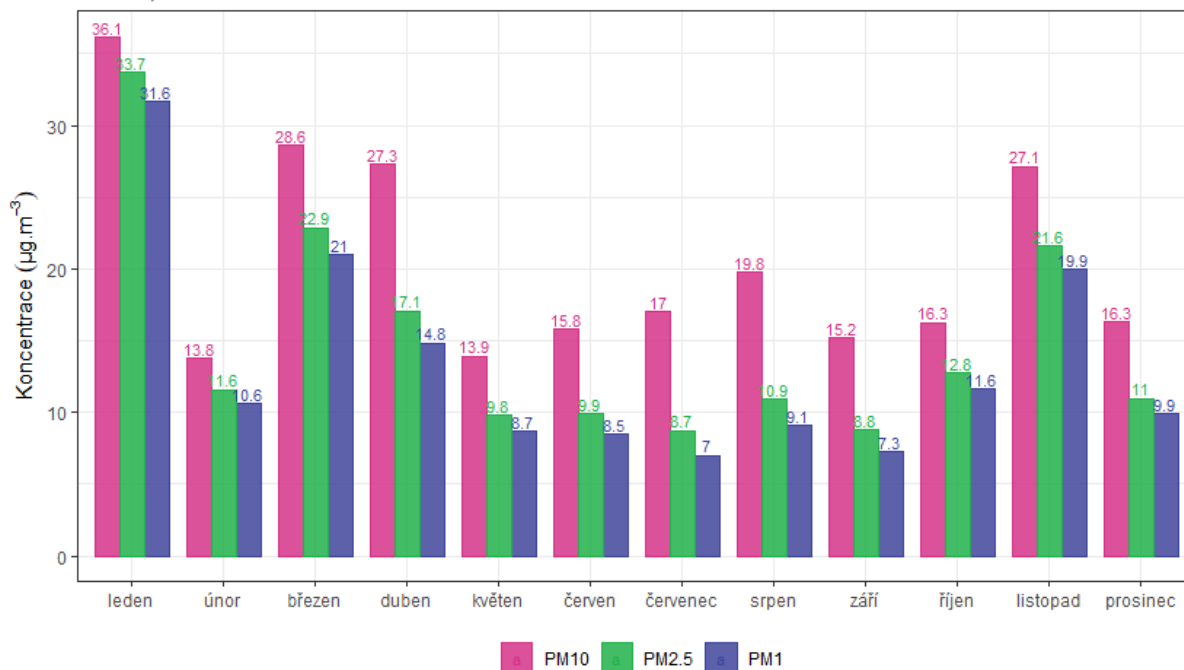
Na Obr. 18 jsou průměrné měsíční koncentrace PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 . Z obrázku je patrné, že v letních měsících jsou koncentrace nejnižší, naopak v chladné části roku jsou měřeny vyšší koncentrace. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace PM_{10} byla naměřena v lednu, dále pak v březnu a listopadu. Rovněž je patrné, že v dubnu vzrostl podíl hrubší frakce PM_{10} , což může být důsledek nižšího úhrnu srážek (Obr. 9), sucha a víření prachu včetně větrné eroze.

Průměrné měsíční zastoupení jemnějších frakcí v PM_{10} zobrazuje Obr. 19. Z něj je patrné, že v chladné části roku je jemnější a nebezpečnější frakce zastoupena podstatně více (až 90 %), než v létě.



Vývoj průměrných měsíčních koncentrací PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁

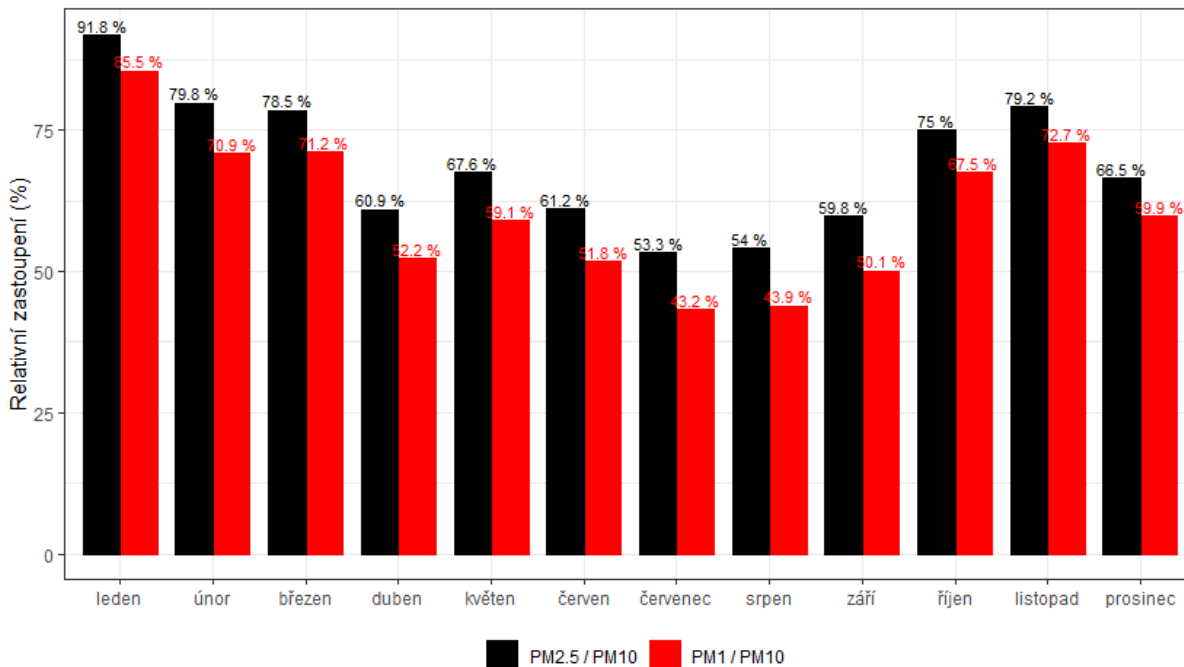
Hranice, rok 2020



Obr. 18 - Průměrné měsíční koncentrace PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁, Hranice, rok 2020

Průměrné měsíční relativní zastoupení PM_{2,5} v PM₁₀ a PM₁ v PM₁₀

Hranice, rok 2020



Obr. 19 – Průměrné měsíční zastoupení PM_{2,5} v PM₁₀ a PM₁ v PM₁₀, lokalita Hranice, rok 2020

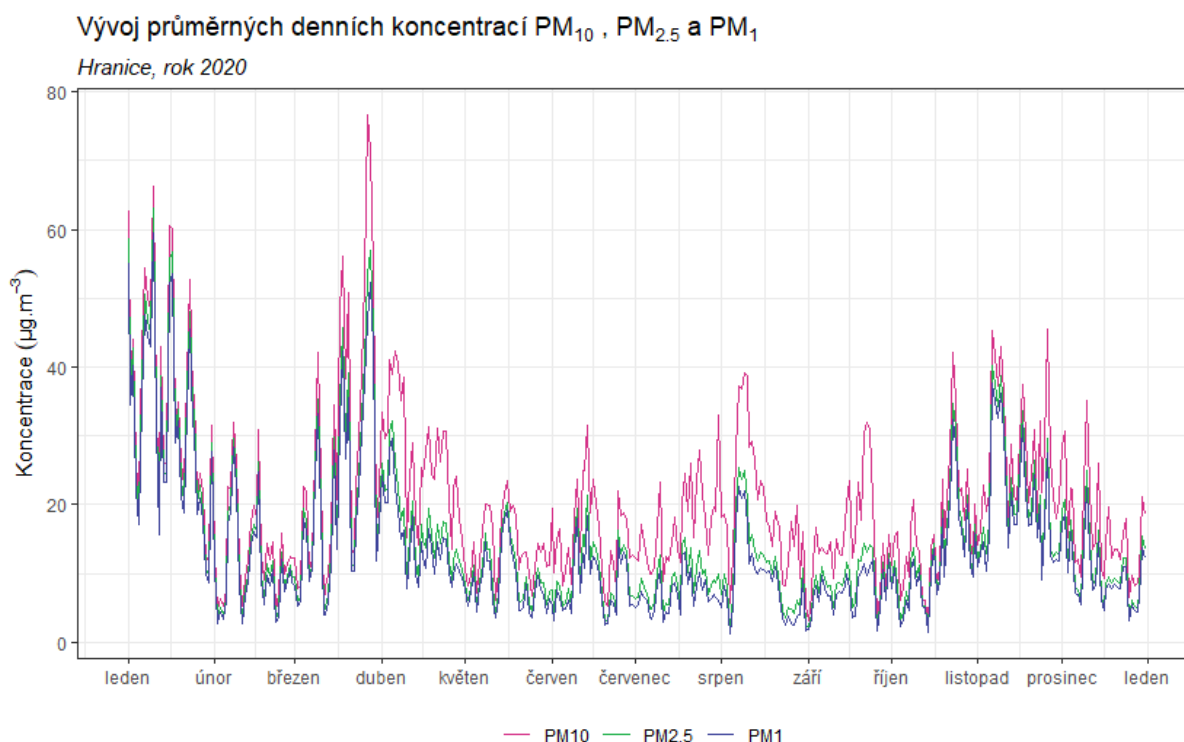


3.1.3 Průměrné denní koncentrace PM

Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁ v lokalitě Hranice zobrazuje následující Obr. 20. Z grafu je patrné, že koncentrace jemnějších frakcí PM_{2,5} a PM₁ do značné míry kopírují hrubší frakci PM₁₀ a z velmi velké části tak PM₁₀ tvoří.

Průměrné denní koncentrace vyšší, než je hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ (50 µg·m⁻³) se vyskytují pouze v chladné části. V měsících květen–září, kdy nejsou v provozu lokální topeniště a jsou příznivější rozptylové podmínky, jsou koncentrace všech frakcí PM nízké a k překračování hodnoty limitu nedochází. Počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu v jednotlivých měsících zobrazuje následující Obr. 21. K překročení došlo pouze v měsících lednu a březnu, kdy byly rovněž měřeny velmi nízké teploty a muselo se tedy intenzivněji topit (Obr. 4). Za rok 2020 došlo souhrnně pouze k 13 překročením hodnoty imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀, imisní limit tedy překročen nebyl (zákon umožňuje za kalendářní rok 35 překročení této hodnoty). Dny s překročením jsou vyznačeny na Obr. 23.

Vývoj charakteristik, vztahujících se k dennímu imisnímu limitu pro PM₁₀ (36. nejvyšší koncentrace PM₁₀ za kalendářní rok a počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu) zobrazuje Obr. 22.

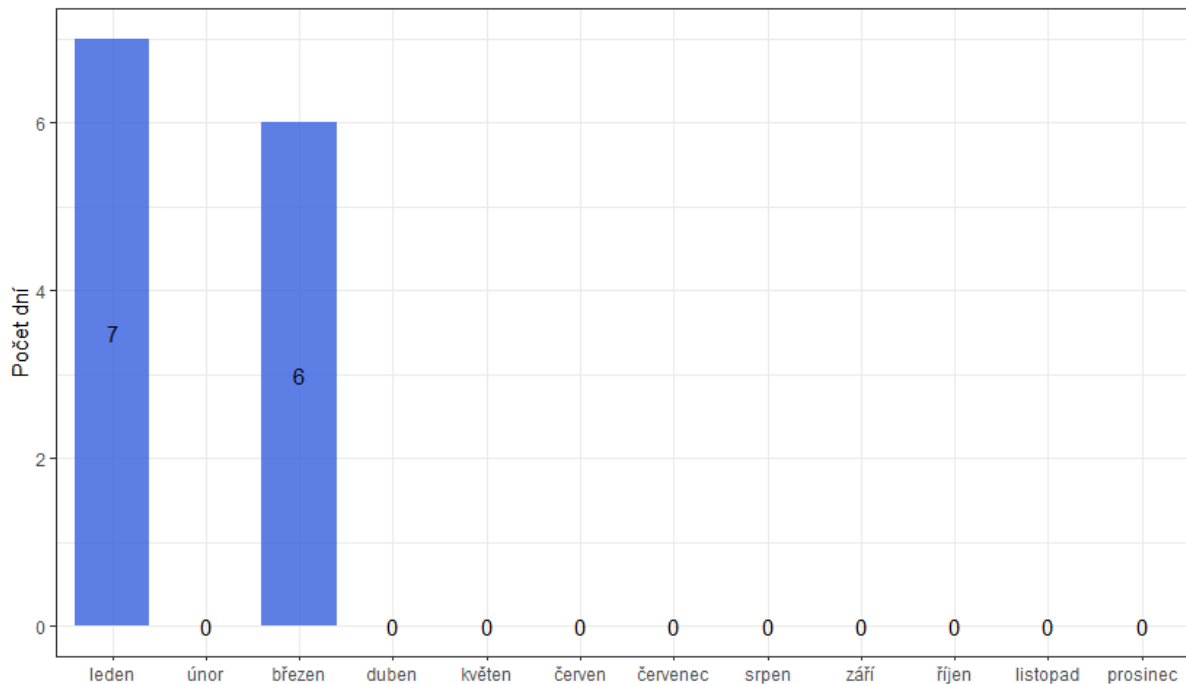


Obr. 20 – Vývoj průměrných hodinových koncentrací PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁, Hranice, rok 2020



Počet dní s překročením denního imisního limitu PM₁₀ v jednotlivých měsících

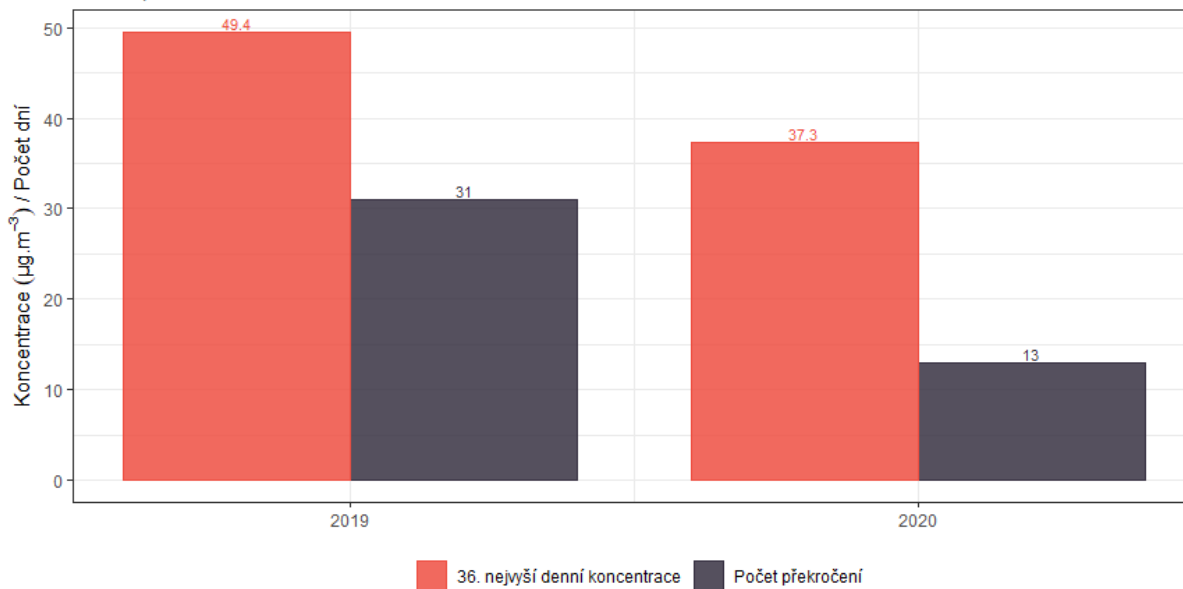
Hranice, rok 2020



Obr. 21 – Počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ v jednotlivých měsících, Hranice

Vývoj 36. nejvyšší denní koncentrace PM₁₀ a překročení hodnoty imisního limitu

Hranice, rok 2020

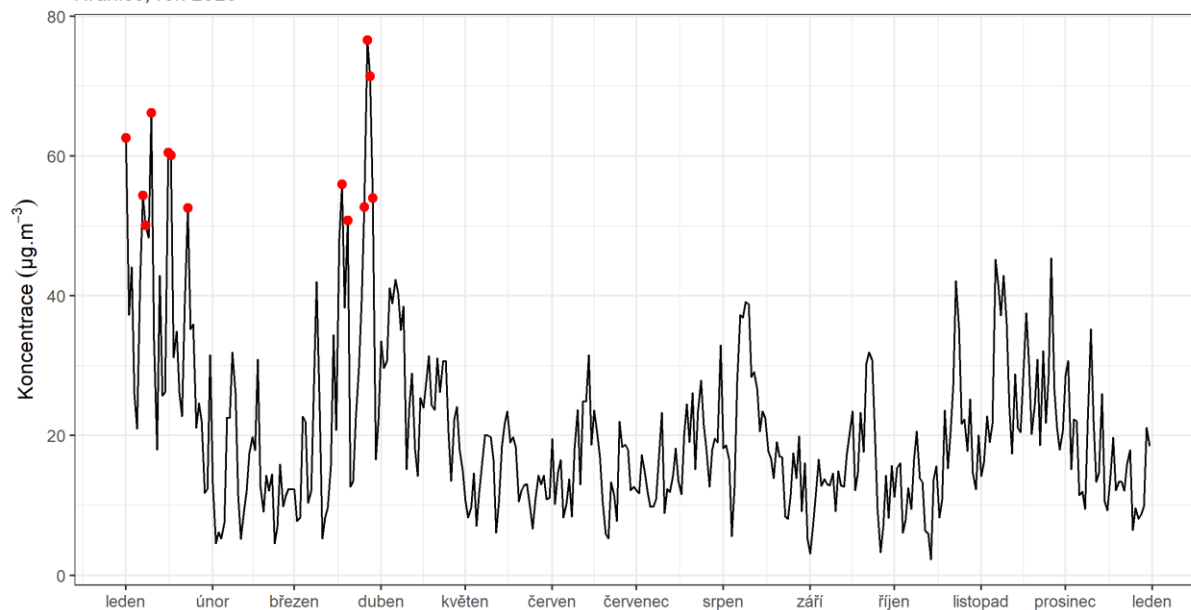


Obr. 22 – Vývoj 36. nejvyšší denní koncentrace PM₁₀ a počtu dní s překročením hodnoty imisního limitu pro denní koncentraci PM₁₀, lokalita Hranice



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

Hranice, rok 2020



Obr. 23 – Výskyt dní s překročenou hodnotou denního imisního limitu pro PM_{10} , lokalita Hranice, rok 2020

Vzhledem k tomu, že jsou trend a z velké části i hodnoty PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 téměř totožné (Obr. 20), bude vliv meteorologických podmínek zobrazen pouze pro PM_{10} , avšak totéž platí i pro jemnější frakce.

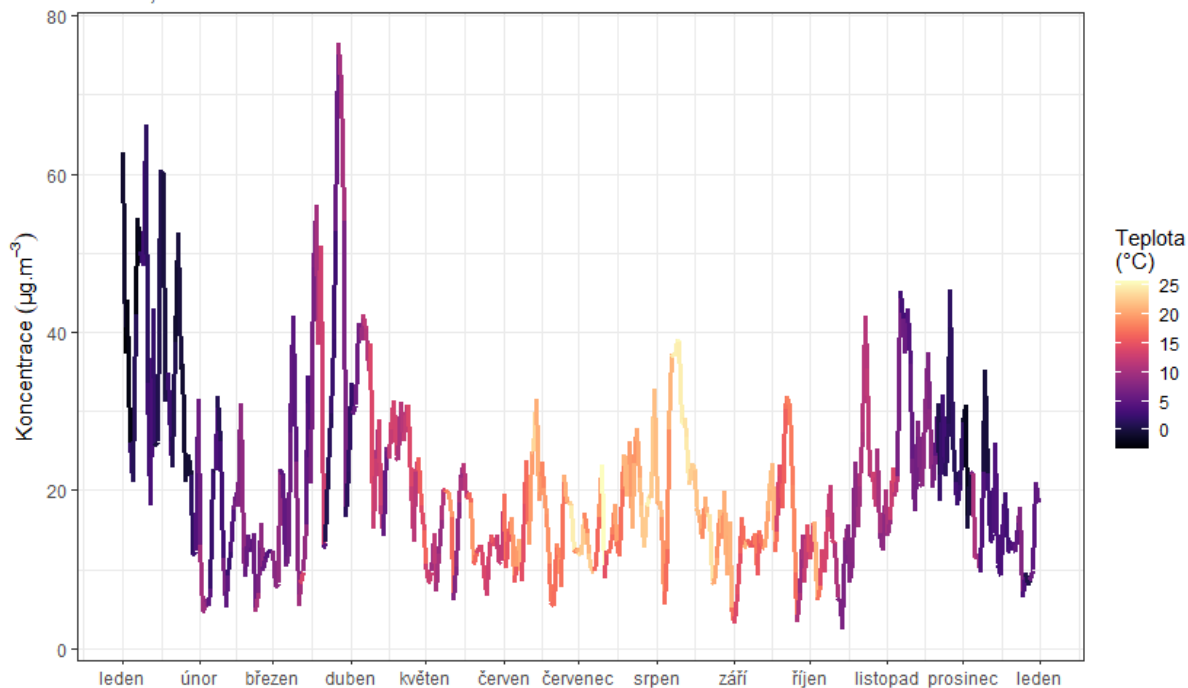
Na Obr. 24 jsou nad sebou zobrazeny dva grafy. Křivka vždy zobrazuje vývoj koncentrací PM_{10} , zabarvení křivky na horním grafu vždy zobrazuje aktuální teplotu vzduchu, ve spodním grafu pak rychlost proudění větru.

Z grafů je pak patrné, že vyšší koncentrace PM_{10} jsou měřeny při nízkých teplotách a nízkých rychlostech větru. To jsou podmínky charakteristické pro teplotní inverzi. Nízké teploty se dále promítnou do potřeby více topit, takže se i zvyšují emise z lokálních topenišť – v chladné části roku nejvýznamnější zdroj prašnosti. Nízké rychlosti větru pak zabraňují dostatečnému rozptýlu škodlivin a koncentrace se tak neustále zvyšují.



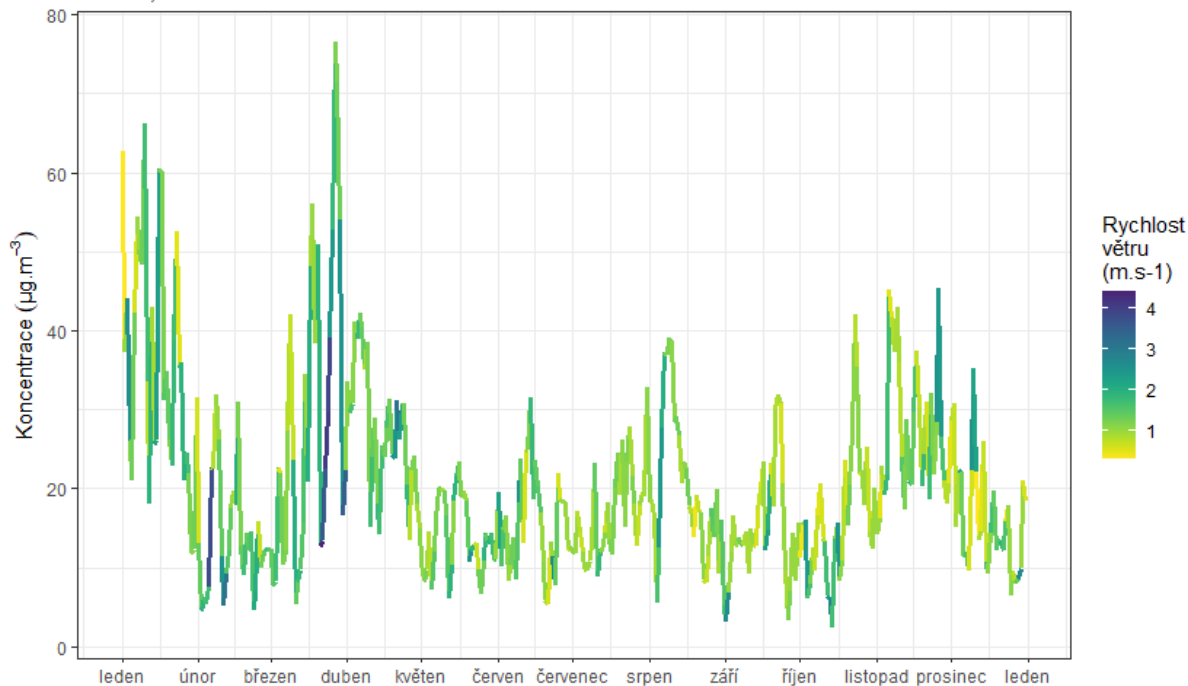
Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁₀ v závislosti na teplotě vzduchu

Hranice, rok 2020



Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁₀ v závislosti na rychlosti větru

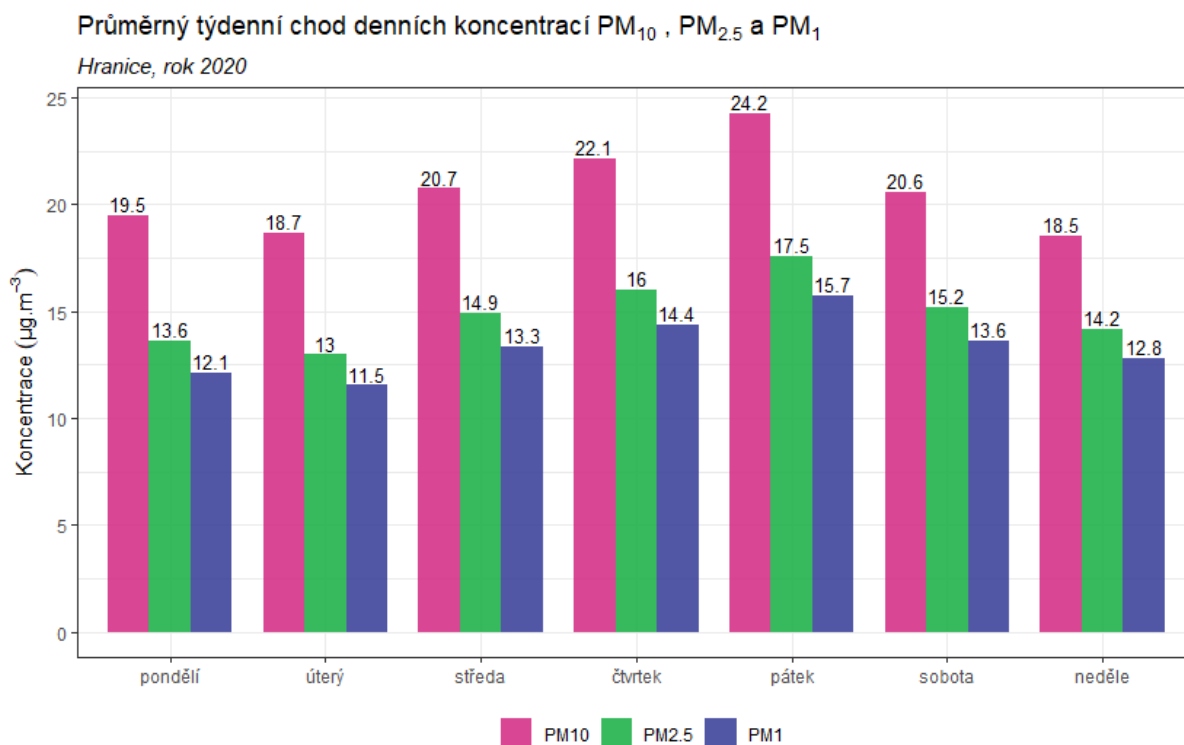
Hranice, rok 2020



Obr. 24 – Vliv teploty (nahore) a rychlosti větru (dole) na koncentrace PM₁₀, Hranice, rok 2020



Z hlediska týdenního chodu průměrných denních koncentrací PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁ (Obr. 25) je nejhorším dnem pátek. Naopak nejnižší koncentrace jsou měřeny v neděli.



Obr. 25 – Průměrný týdenní chod denních koncentrací PM₁₀, Hranice, rok 2020

3.1.4 Analýza hodinových koncentrací – denní chod a koncentrační růžice

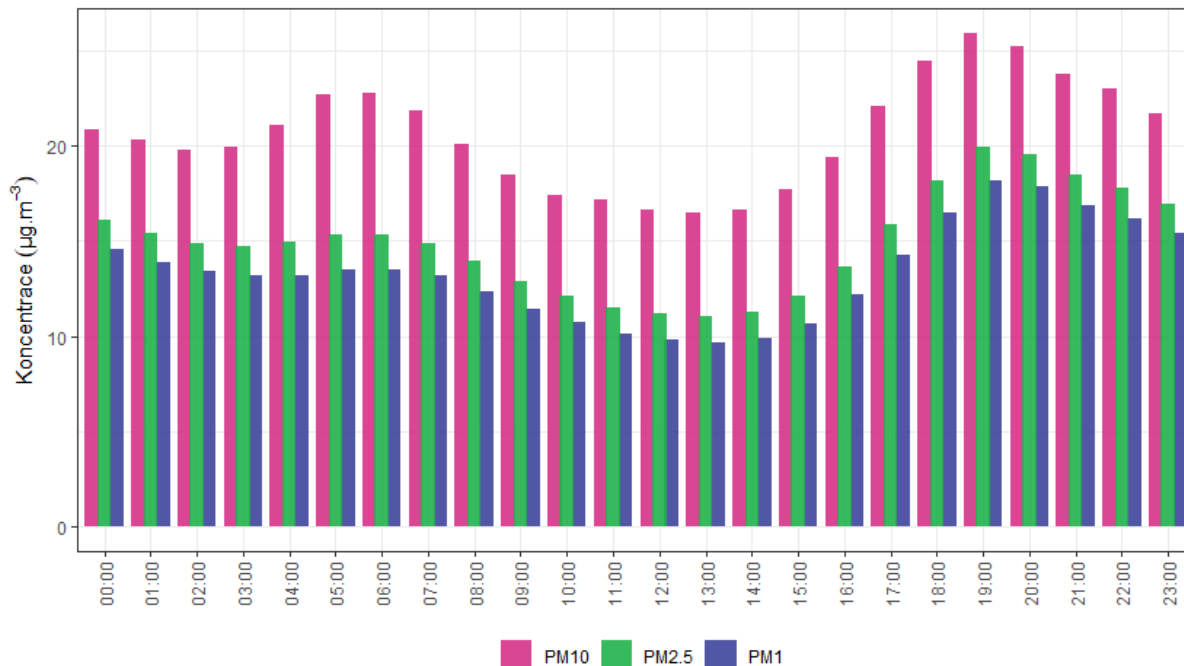
Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod koncentrací PM₁₀ (a v podstatě také PM_{2,5} a PM₁) v lokalitě Hranice. Denní chod koncentrací PM₁₀ zobrazuje Obr. 26.

Z grafů je patrné, že nejvyšší hodnoty koncentrací PM₁₀ jsou dosahovány ve večerních a nočních hodinách a dále v ranních hodinách v době ranní špičky. Vysoké koncentrace ve večerních hodinách jsou pravděpodobně důsledek návratu lidí z práce a zatopení v lokálních topeništích, které plošně navýší hodnoty koncentrací prašnosti v celém území. Nárůst začíná kolem 17. hodiny a zůstává zvýšený zhruba do 21. hodiny. Během ranní špičky je zastoupení jemnější a nebezpečnější frakce v PM₁₀ nižší, než během večerních a nočních hodin.



Průměrný denní chod hodinových koncentrací PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁

Hranice, rok 2020

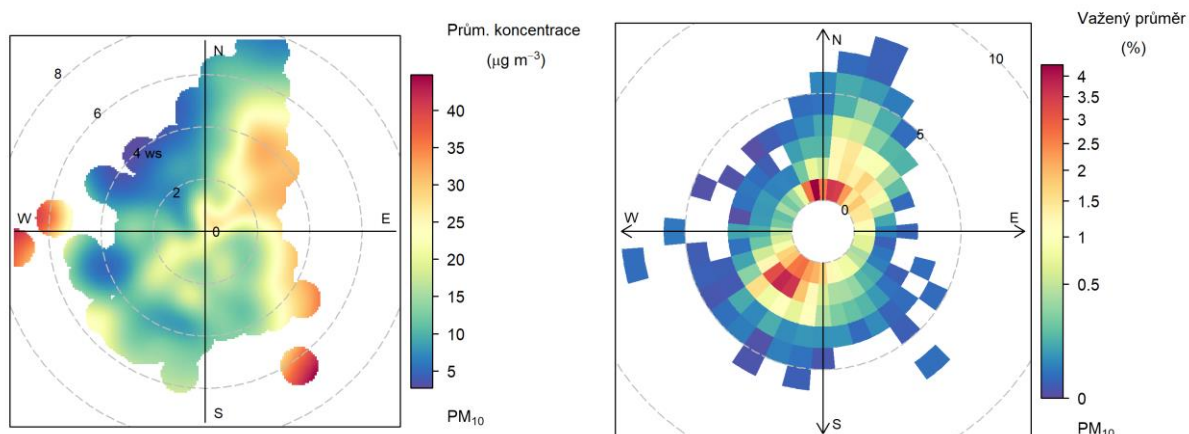


Obr. 26 – Denní chod hodinových koncentrací PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁, Hranice, rok 2020

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.

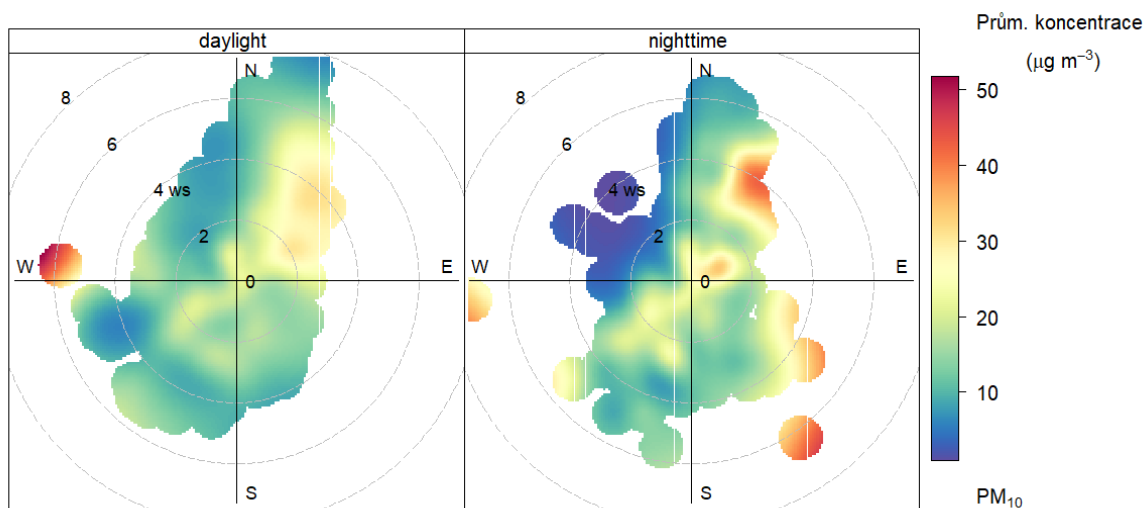
Základní koncentrační růžice tak ukazuje, při jakých rychlostech a směrech větru jsou v průměru dosahovány (nejvyšší) koncentrace. Vážená koncentrační růžice pak vypočte vážený průměr (tzn. že je vzata v úvahu také četnost výskytu), a dává tak informaci, jakým procentem se jednotlivé směry větru podílí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

Následující Obr. 27 zobrazuje tyto dva typy koncentračních růžic pro lokalitu Hranice.



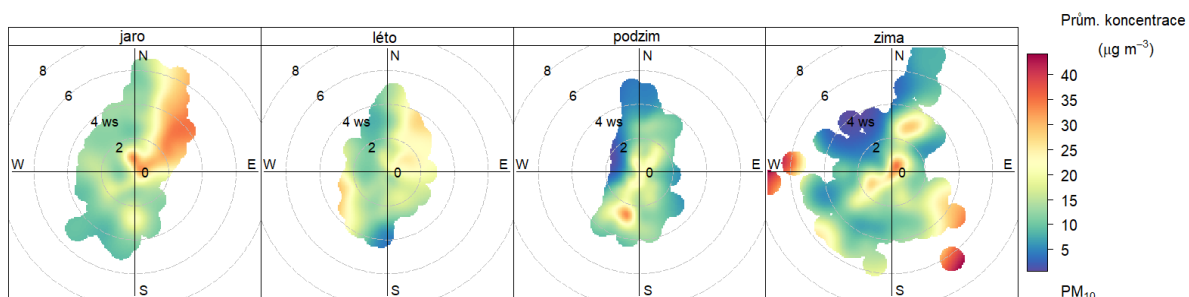
Obr. 27 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro PM₁₀, Hranice, rok 2020

Z Obr. 27 vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při severovýchodním až východním proudění větru. Červená „kolečka“ na jihovýchodu či západu jsou jednorázově měřené zvýšené koncentrace, které nejsou pro lokalitu reprezentativní. Co se týče relativního příspěvku k měřeným koncentracím, převládají severní a jihozápadní směry větru a nízké rychlosti větru. Na následujícím Obr. 28 je koncentrační růžice rozdělená na den a noc. Vyšší koncentrace PM₁₀ jsou měřeny zejména v nočních hodinách, avšak i přes den jsou koncentrace zvýšené. Vždy při proudění ze severovýchodu až východu.



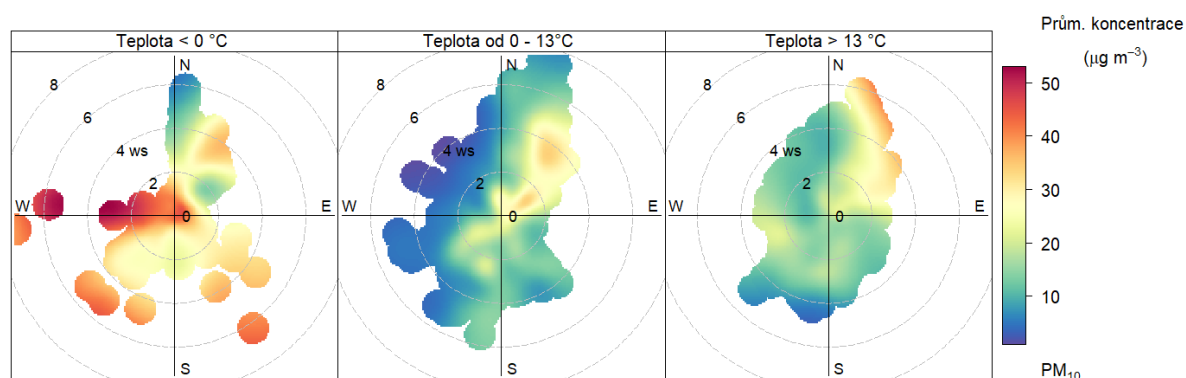
Obr. 28 – Koncentrační růžice ve dne (daytime) a v noci (nighttime), Hranice, rok 2020

Následující Obr. 29 zobrazuje koncentrační růžice v jednotlivých ročních obdobích. Vysoké koncentrace se vyskytují téměř výhradně v zimě a na jaře, v ostatních obdobích jsou pouze zvýšené.



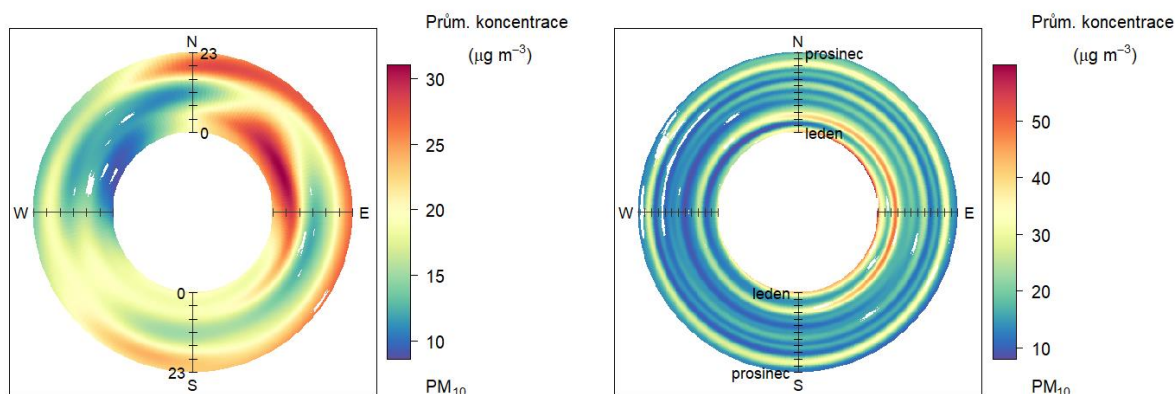
Obr. 29 – Koncentrační růžice jednotlivých ročních období, Hranice, rok 2020

Dále lze rozdělit koncentrační růžice na základě teplot vzduchu. Z Obr. 30 je pak patrné, že nejvyšší koncentrace jsou takřka výhradně měřeny při teplotách vzduchu nižších než 0 °C. Při vyšších teplotách jsou již pouze mírně zvýšené.



Obr. 30 – Koncentrační růžice členěná dle teplot, Hranice, rok 2020

Cenné informace poskytuje rovněž průměrný denní a roční chod, členěný dle směru větru. V případě denního chodu je uprostřed první hodina po půlnoci a na okraji pak 23. hodina. V případě ročního chodu je pak uprostřed 1. 1. a na okraji 31. 12. Směry větru jsou totožné jako v případě růžic.



Obr. 31 – Průměrný denní chod (vlevo) a roční chod (vpravo) koncentrací dle směru větru, Hranice, rok 2020

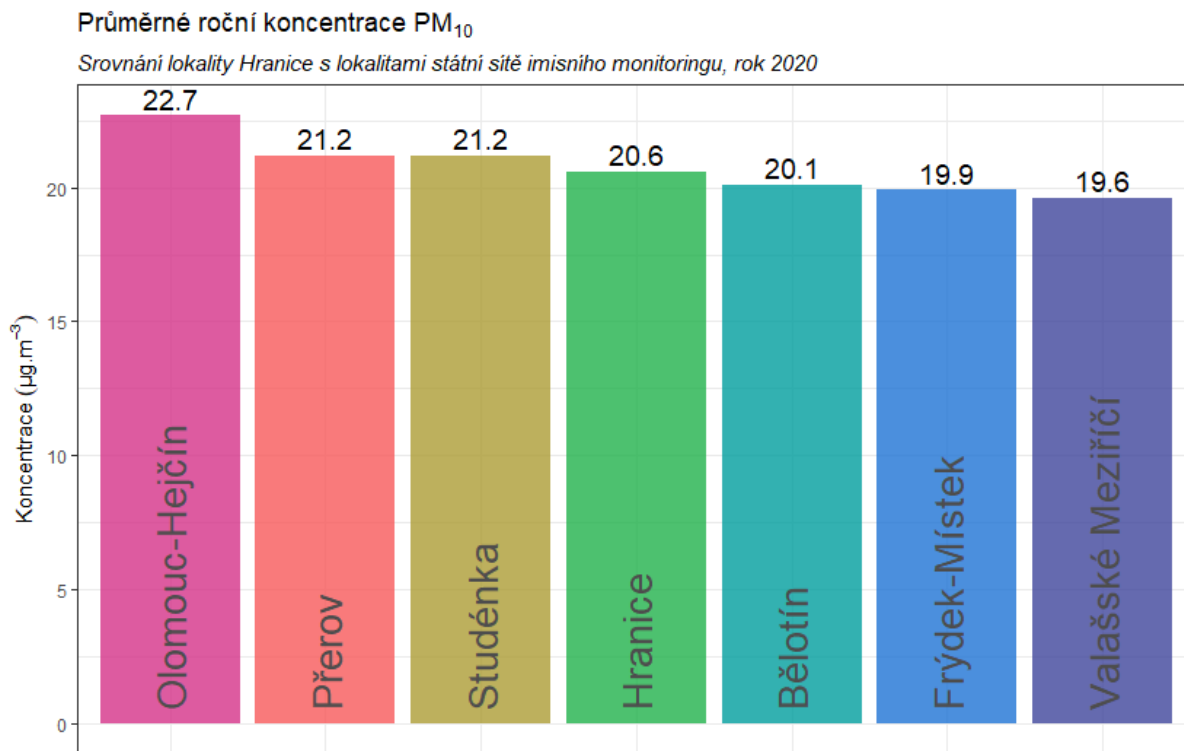
Z Obr. 31 pak vyplývá, že v případě lokality Hranice v roce 2020 byly nejvyšší koncentrace PM_{10} měřeny ve večerních a nočních hodinách, a to zejména při proudění ze severovýchodu a jihu. Při proudění ze severovýchodních směrů jsou měřeny zvýšené koncentrace i v ranních hodinách. V případě ročního chodu jsou významné zejména zimní měsíce, v roce 2020 pak dominoval zejména začátek roku.

3.1.5 Srovnání s lokalitami státní sítě imisního monitoringu

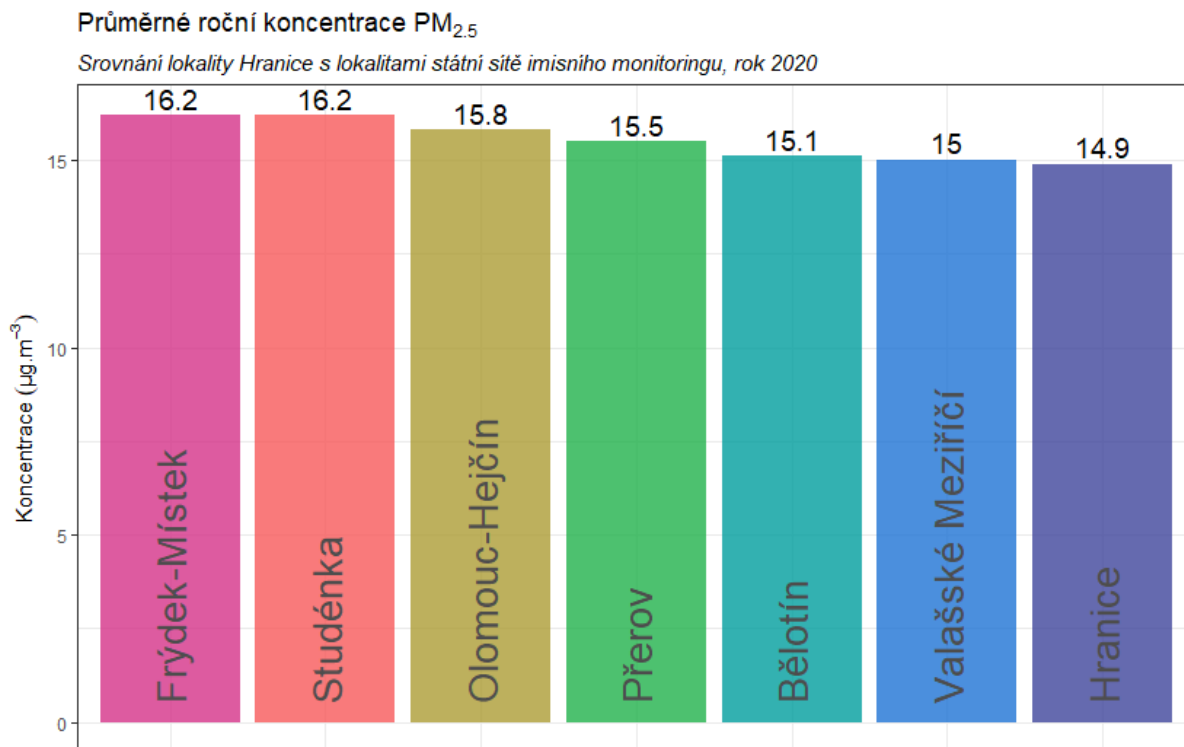
V této podkapitole budou koncentrace, naměřené v lokalitě Hranice, srovnány s hodnotami naměřenými ve státní síti imisního monitoringu Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ).

Na následujícím Obr. 32 jsou zobrazeny průměrné roční koncentrace částic PM_{10} na vybraných lokalitách státní sítě imisního monitoringu v roce 2020 a srovnány s lokalitou Hranice. Z grafu vyplývá, že v lokalitě Hranice jsou měřeny průměrné koncentrace PM_{10} , rozdíly proti ostatním lokalitám nejsou příliš velké. Nejnižší hodnotu naměřila lokalita Valašské Meziříčí. Žádná z uvedených lokalit nepřekročila imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM_{10} .

Na následujícím grafu na Obr. 33 jsou obdobně zobrazeny hodnoty průměrných ročních koncentrací $PM_{2,5}$ na vybraných lokalitách státní sítě imisního monitoringu. Z grafu je patrné, že lokalita Hranice dosahuje nejnižších hodnot. Žádná z lokalit nepřekročila imisní limit pro průměrnou roční koncentraci $PM_{2,5}$. Od roku 2020 již platí zpřísněný imisní limit ($20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).



Obr. 32 – Srovnání průměrné roční koncentrace PM₁₀ lokality Hranice s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2020



Obr. 33 – Srovnání průměrné roční koncentrace PM_{2,5} lokality Hranice s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2020

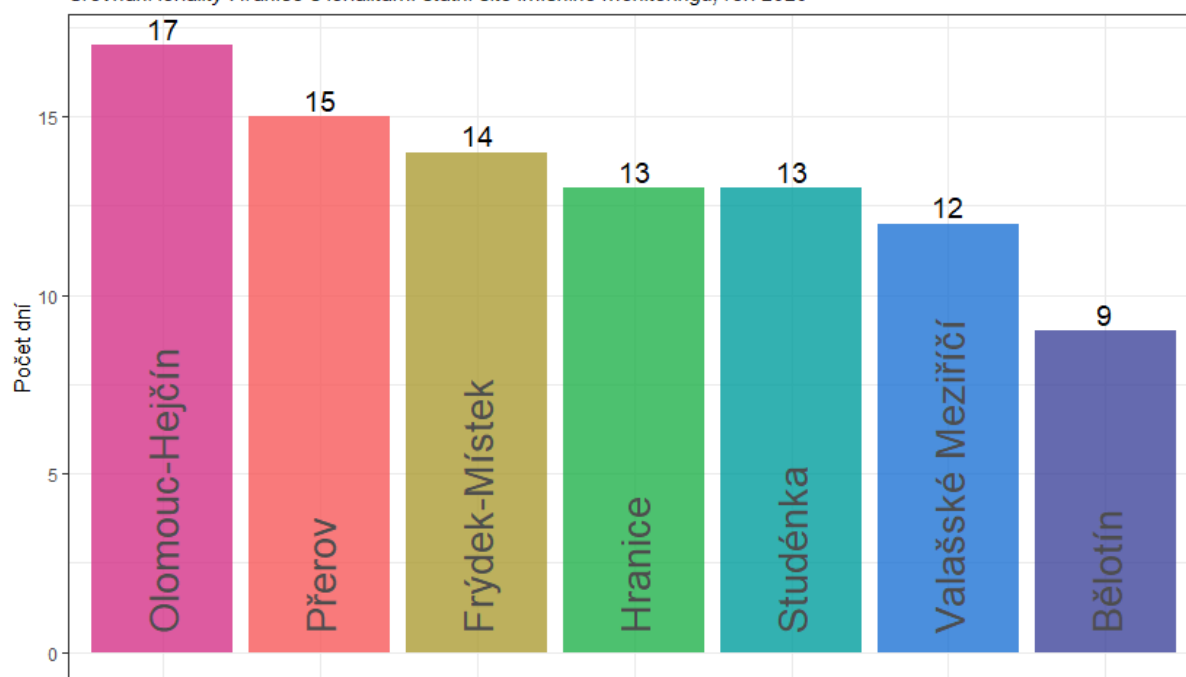


Graf na následujícím Obr. 34 zobrazuje poslední legislativou sledovanou charakteristiku pro suspendované částice PM_{10} . Jedná se o imisní limit pro průměrnou denní koncentraci PM_{10} , jehož hodnota může být z kalendářní rok 35x překročena. V grafu je zobrazen právě počet dní s překročenou hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM_{10} . V případě překročení limitu je číslo v popisku zobrazeno červeně.

Z grafu je patrné, že k překročení imisního limitu na žádné z vybraných lokalit nedošlo. Lokalita Hranice naměřila v roce 2020 pouze 13 překročení, nejméně překročení naměřila lokalita Bělotín.

Počet dní s koncentracemi PM_{10} vyššími, než je hodnota denního imisního limitu

Srovnání lokality Hranice s lokalitami státní sítě imisního monitoringu, rok 2020



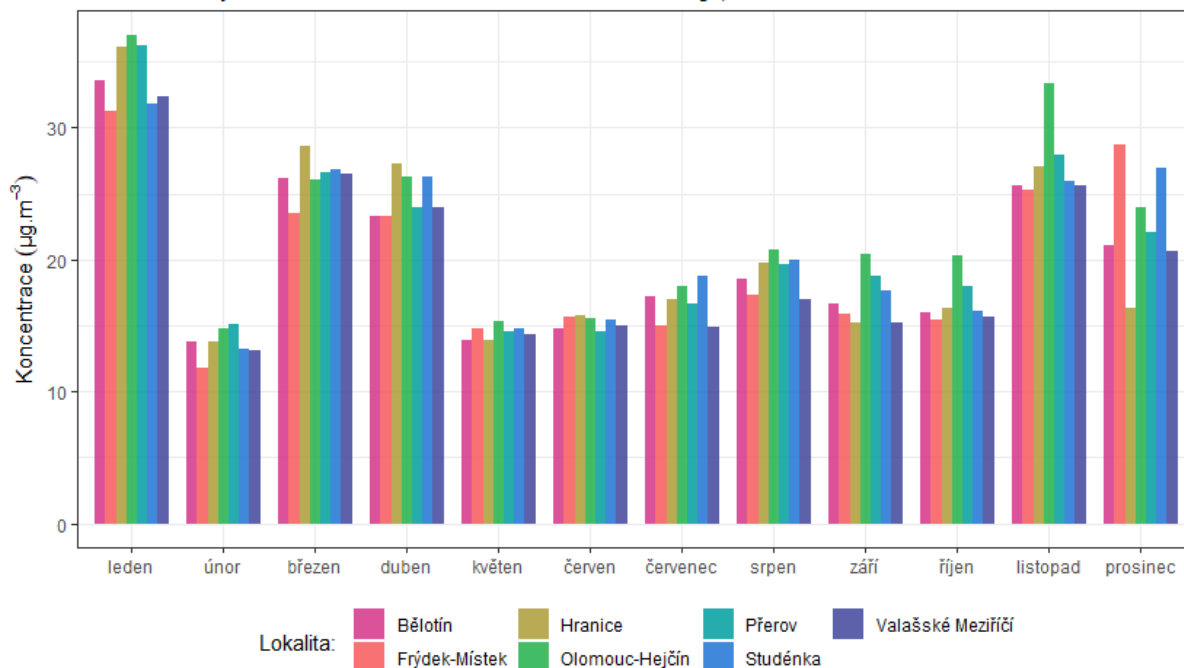
Obr. 34 – Počet dní s průměrnými denními koncentracemi PM_{10} vyššími, než je hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM_{10} , srovnání lokality Hranice s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2020

Následující grafy zobrazují průměrné měsíční koncentrace PM_{10} a $PM_{2,5}$ naměřené v jednotlivých lokalitách. Z obou grafů je patrné, že vývoj koncentrací v jednotlivých měsících byl na všech lokalitách podobný. Rovněž je patrné, že obdobně jako v lokalitě Hranice byly i v ostatních lokalitách měsíce s nejvyššími koncentracemi stejné – zejména leden, listopad, březen a duben. Je tedy zřejmé, že vliv na zvýšené koncentrace neměly lokální šumperské zdroje, ale ovlivnění bylo regionální, resp. nadregionální.



Průměrné měsíční koncentrace PM₁₀

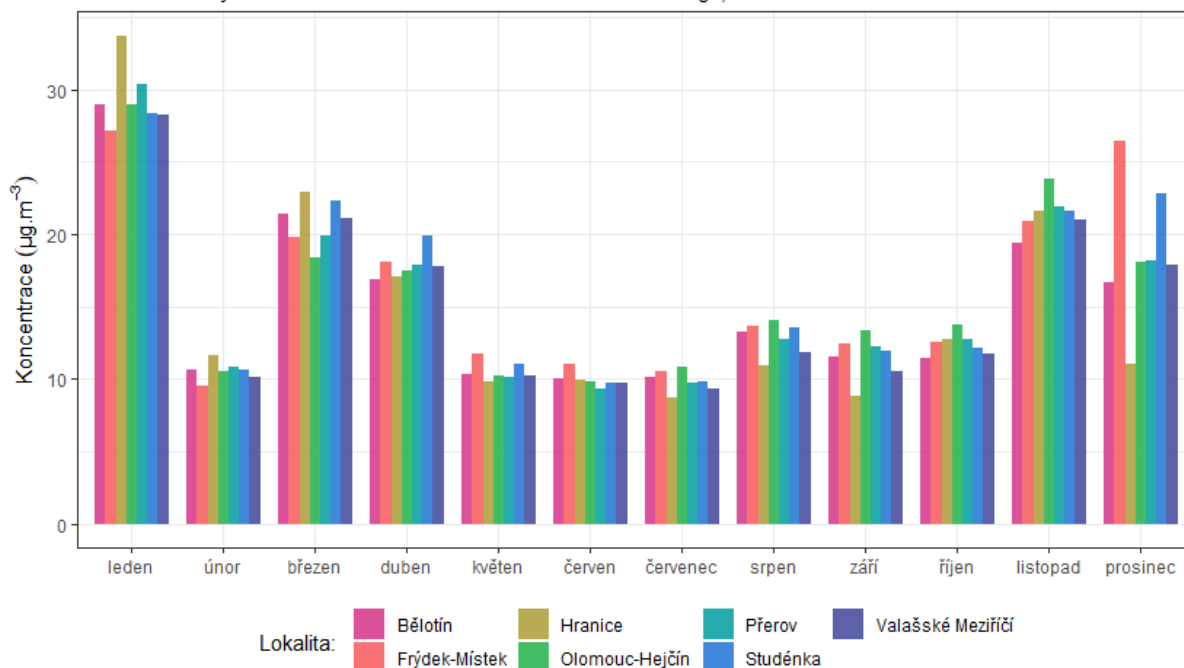
Srovnání lokality Hranice s lokalitami státní sítě imisního monitoringu, rok 2020



Obr. 35 – Srovnání průměrných měsíčních koncentrací PM₁₀ lokality Hranice s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2020

Průměrné měsíční koncentrace PM_{2,5}

Srovnání lokality Hranice s lokalitami státní sítě imisního monitoringu, rok 2020



Obr. 36 – Srovnání průměrných měsíčních koncentrací PM_{2,5} lokality Hranice s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2020



3.2 OXIDY DUSÍKU NO₂, NO A NO_x

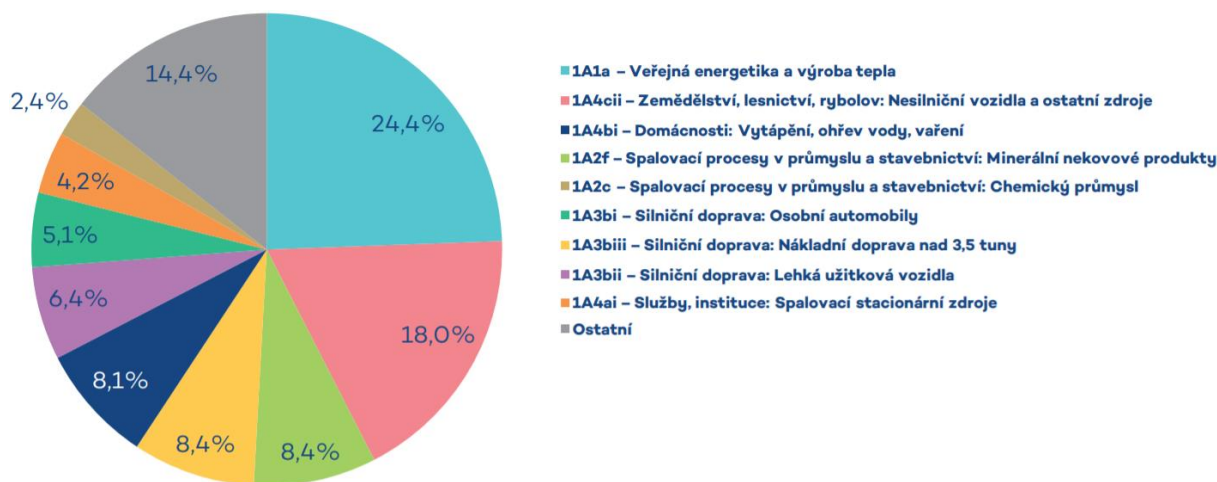
Při sledování a hodnocení kvality venkovního ovzduší se pod termínem oxidy dusíku (NO_x) rozumí směs oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO₂) [8].

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

Z hlediska imisních limitů je na území ČR důležitý pouze imisní limit pro průměrnou roční koncentraci NO₂. Imisní limit pro hodinovou koncentraci není v současnosti na žádné lokalitě v ČR překračován, a to ani na dopravně nejzatíženějších lokalitách, jako je Praha-Legerova.

Více než 90 % z celkových oxidů dusíku ve venkovním ovzduší je emitováno ve formě NO. NO₂ vzniká relativně rychle reakcí NO s přízemním ozonem nebo s radikály typu HO₂, popř. RO₂ [9]. Řadou chemických reakcí se část NO_x přemění na HNO₃/NO₃⁻, které jsou z atmosféry odstraňovány suchou a mokrou atmosférickou depozicí. Pozornost je věnována NO₂ z důvodu jeho negativního vlivu na lidské zdraví. Hraje také klíčovou roli při tvorbě fotochemických oxidantů.

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



Obr. 37 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích NO_x v ČR, rok 2018 [5]

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 [5].

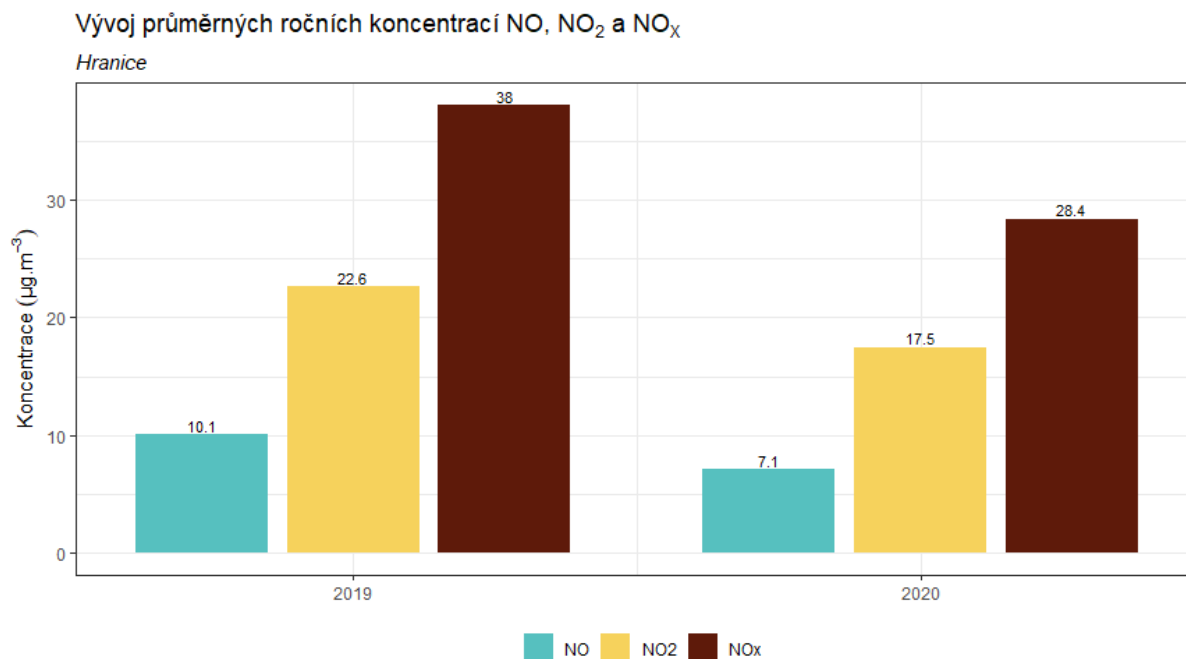


3.2.1 Průměrné roční koncentrace

Průměrná roční koncentrace NO₂ činila v roce 2020 v lokalitě Hranice 17,5 µg·m⁻³. Imisní limit tedy překročen nebyl.

Průměrná roční koncentrace NO činila v roce 2020 v lokalitě Hranice 7,1 µg·m⁻³. Průměrná roční koncentrace NO_x činila v roce 2020 v lokalitě Hranice 28,4 µg·m⁻³.

Následující Obr. 38 zobrazuje průměrné roční koncentrace NO, NO₂ a NO_x v lokalitě Hranice.



Obr. 38 – Průměrné roční koncentrace NO, NO₂ a NO_x, lokalita Hranice

Následující Tab. 3 pak zobrazuje statistické zpracování naměřených hodinových dat pro jednotlivé oxidy dusíku. Grafické znázornění hodinových koncentrací pomocí krabicových grafů za rok 2020 pak zobrazuje Obr. 39. Z tabulky i grafického znázornění je patrné, že maximální hodnota hodinové koncentrace NO₂ se pohybovala zhruba okolo ½ hodnoty imisního limitu pro hodinové koncentrace NO₂ (200 µg·m⁻³). Tato hodnota může být navíc 18x za kalendářní rok překročena. Imisní limit pro hodinové koncentrace NO₂ je tedy v lokalitě Hranice s velmi velkou rezervou plněn.

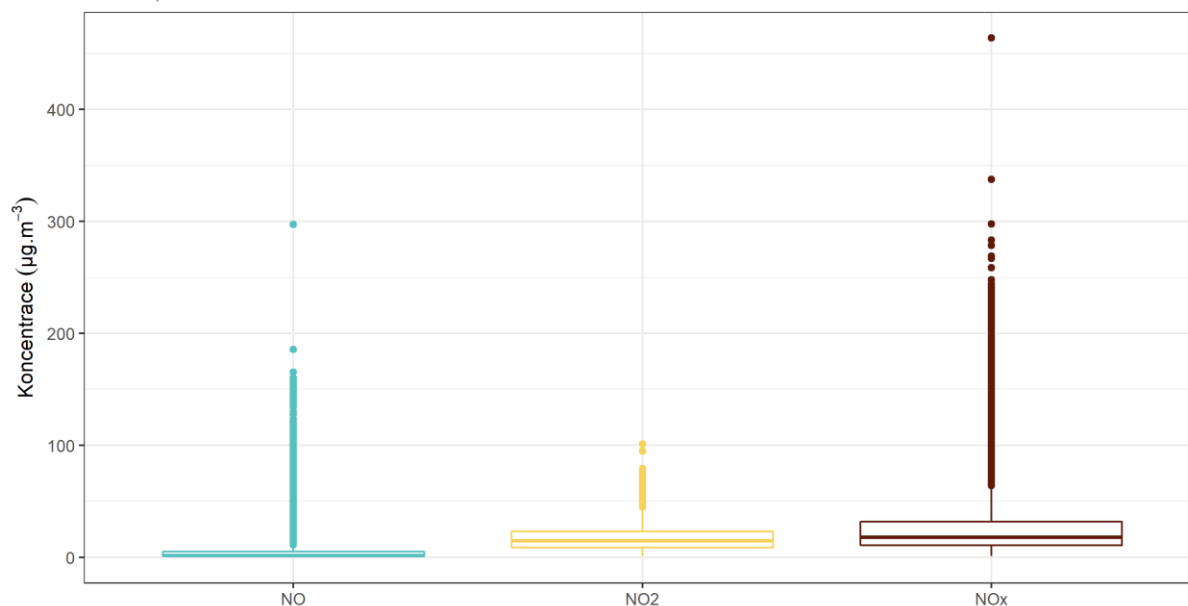
Tab. 3 – Statistické charakteristiky hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x v lokalitě Hranice, rok 2020

STATISTIKA	NO	NO ₂	NO _x
PRŮMĚR	7,1	17,5	28,4
MAXIMUM	297,4	101,2	463,9
MEDIÁN	1,6	14,5	17,8
MINIMUM	0	0,6	1,1



Statistické zpracování hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x

Hranice, rok 2020



Obr. 39 – Statistické zpracování hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x v lokalitě Hranice, rok 2020

3.2.2 Průměrné měsíční koncentrace

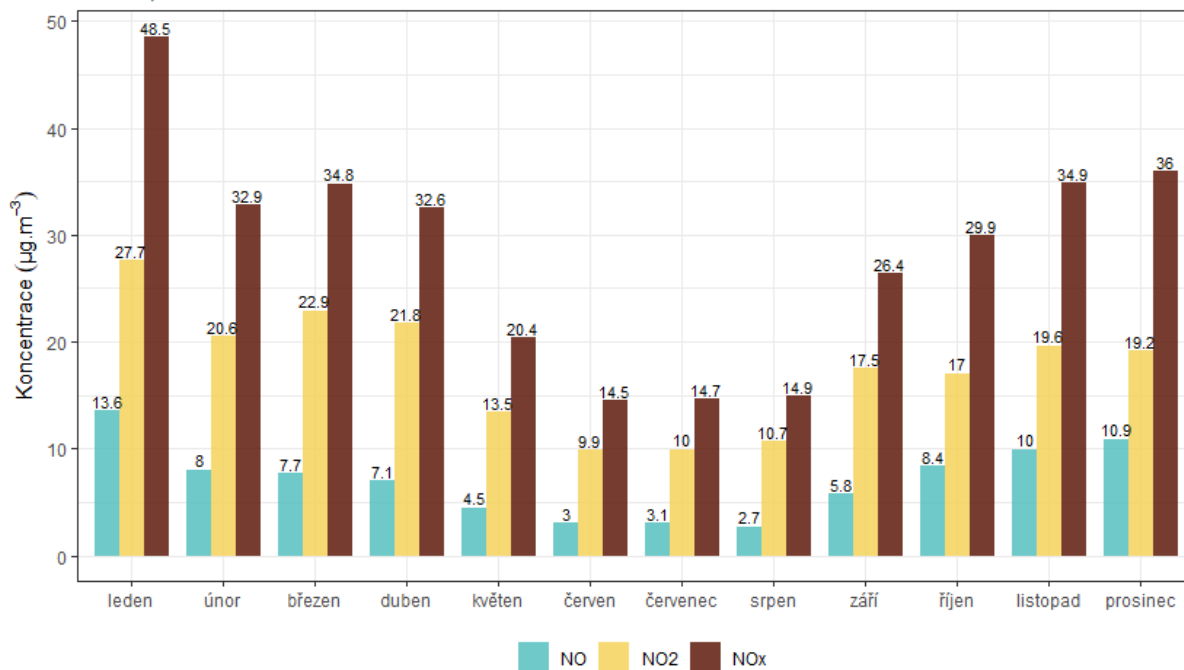
Na Obr. 40 jsou průměrné měsíční koncentrace NO, NO₂ a NO_x. Z obrázku je patrné, že v letních měsících jsou koncentrace nejnižší, naopak v chladné části roku jsou měřeny vyšší koncentrace. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace NO₂ byla naměřena lednu, kdy se na koncentracích kromě dopravy podílí také lokální topeniště.

Poměr měsíčních koncentrací NO / NO₂ zobrazuje Obr. 41. Poměr je celoročně nízký, dokumentující malý vliv dopravy na měřící lokalitu. Mírně zvýšené hodnoty byly pozorovány v únoru a srpnu.



Vývoj průměrných měsíčních koncentrací NO, NO₂ a NO_x

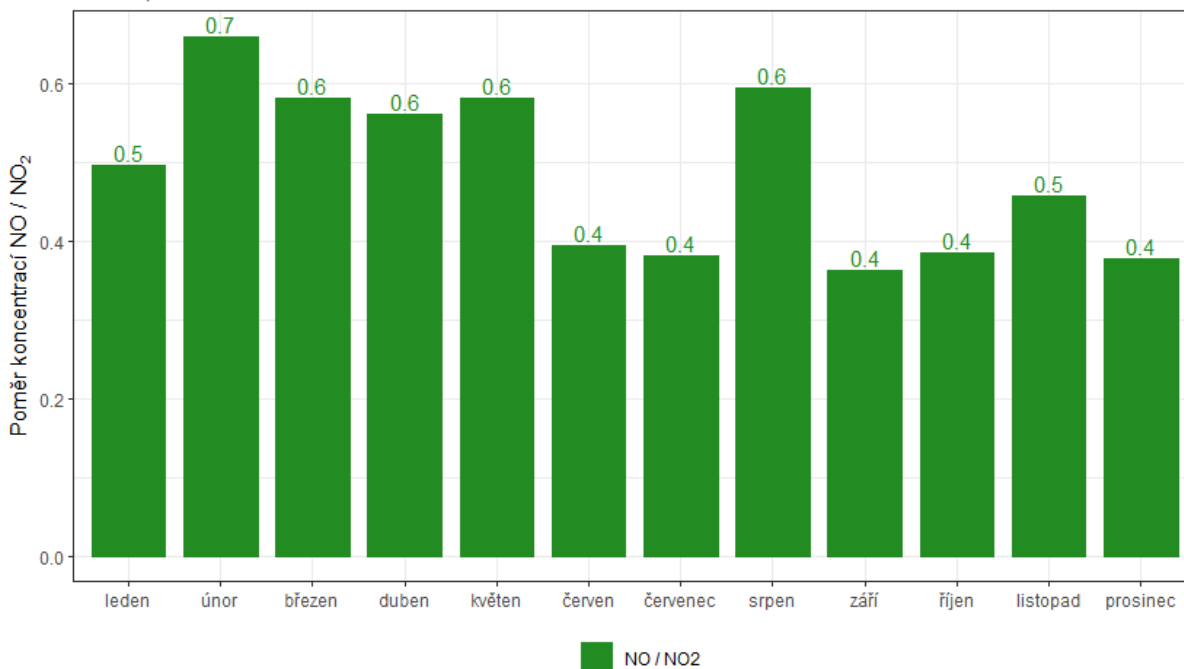
Hranice, rok 2020



Obr. 40 - Průměrné měsíční koncentrace NO, NO₂ a NO_x, Hranice, rok 2020

Průměrný měsíční poměr koncentrací NO / NO₂

Hranice, rok 2020

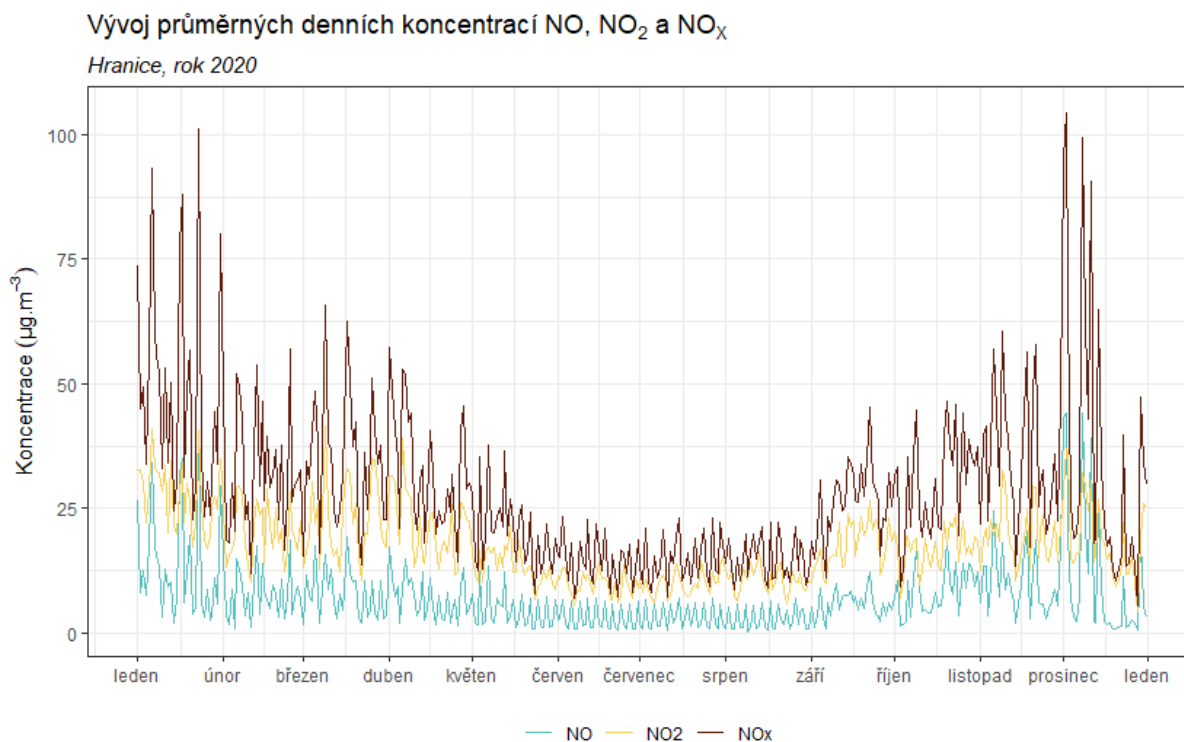


Obr. 41 – Poměr měsíčních koncentrací NO / NO₂, lokalita Hranice, rok 2020



3.2.3 Průměrné denní koncentrace NO, NO₂ a NO_x

Vývoj průměrných denních koncentrací NO, NO₂ a NO_x v lokalitě Hranice zobrazuje následující Obr. 42.



Obr. 42 – Vývoj průměrných hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x, Hranice, rok 2020

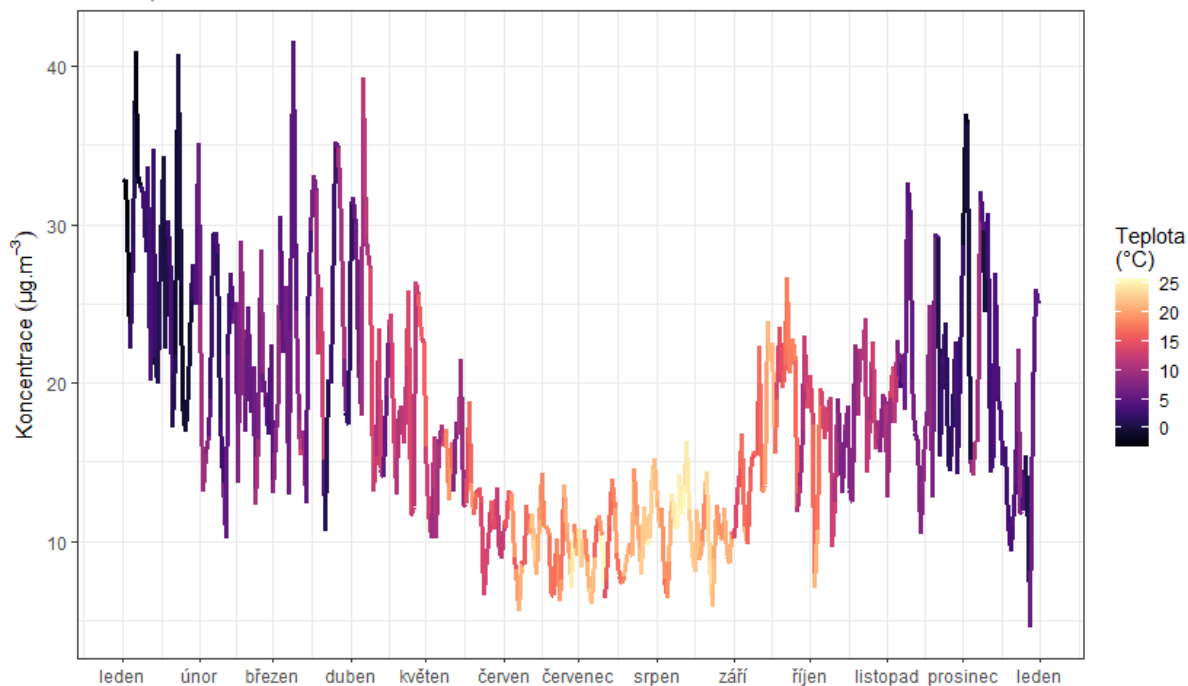
Nejnižší hodnoty byly měřeny v teplé části roku a směrem k zimním měsícům hodnoty postupně narůstají. Zároveň je patrné, že v zimních měsících narůstá vliv NO, kdežto v letních měsících je prakticky veškeré NO_x jenom NO₂.

Vzhledem k tomu, že imisní limit je stanoven pouze pro koncentrace NO₂, bude vliv meteorologických podmínek zobrazen pouze pro tuto látku. Na Obr. 43 jsou nad sebou zobrazeny dva grafy. Křivka vždy zobrazuje vývoj koncentrací NO₂ v dané lokalitě. Zabarvení křivky na horním grafu vždy zobrazuje aktuální teplotu vzduchu, ve spodním grafu pak rychlost proudění větru. Z grafů je patrné, že na koncentrace NO₂ má vliv jak teplota, tak rychlost větru. Nejvyšší koncentrace jsou pak měřeny při velmi nízkých rychlostech větru, resp. při nízkých teplotách.



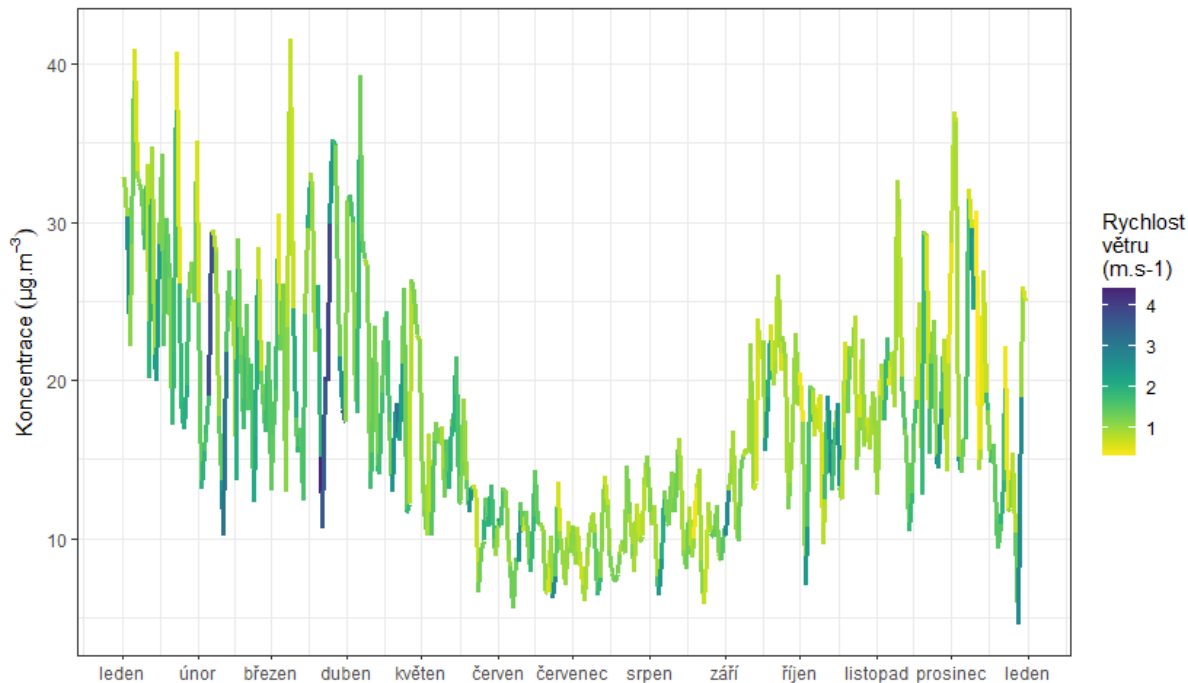
Vývoj průměrných denních koncentrací NO₂ v závislosti na teplotě vzduchu

Hranice, rok 2020



Vývoj průměrných denních koncentrací NO₂ v závislosti na rychlosti větru

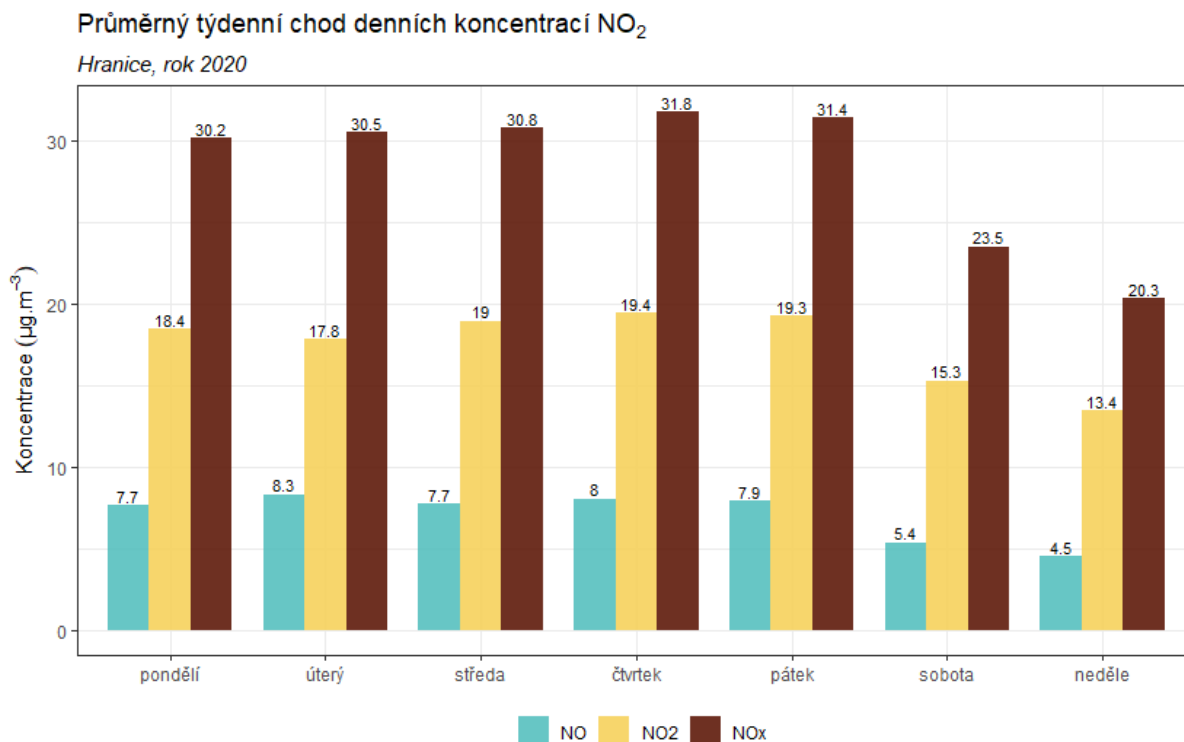
Hranice, rok 2020



Obr. 43 – Vliv teploty (nahore) a rychlosti větru (dole) na koncentrace NO₂, Hranice, rok 2020



Z hlediska týdenního chodu denních koncentrací NO, NO₂ a NO_x (Obr. 44) je velmi dobře patrný vliv vyššího dopravního zatížení v pracovní dny, který se projeví také ve vyšších koncentracích NO₂ v pracovní dny. Nejnížší hodnoty jsou měřeny v neděli.



Obr. 44 – Průměrný týdenní chod denních koncentrací NO₂, Hranice, rok 2020

3.2.4 Analýza hodinových koncentrací – denní chod a koncentrační růžice

Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod koncentrací NO, NO₂ a NO_x v lokalitě Hranice. Denní chod zobrazuje následující Obr. 45.

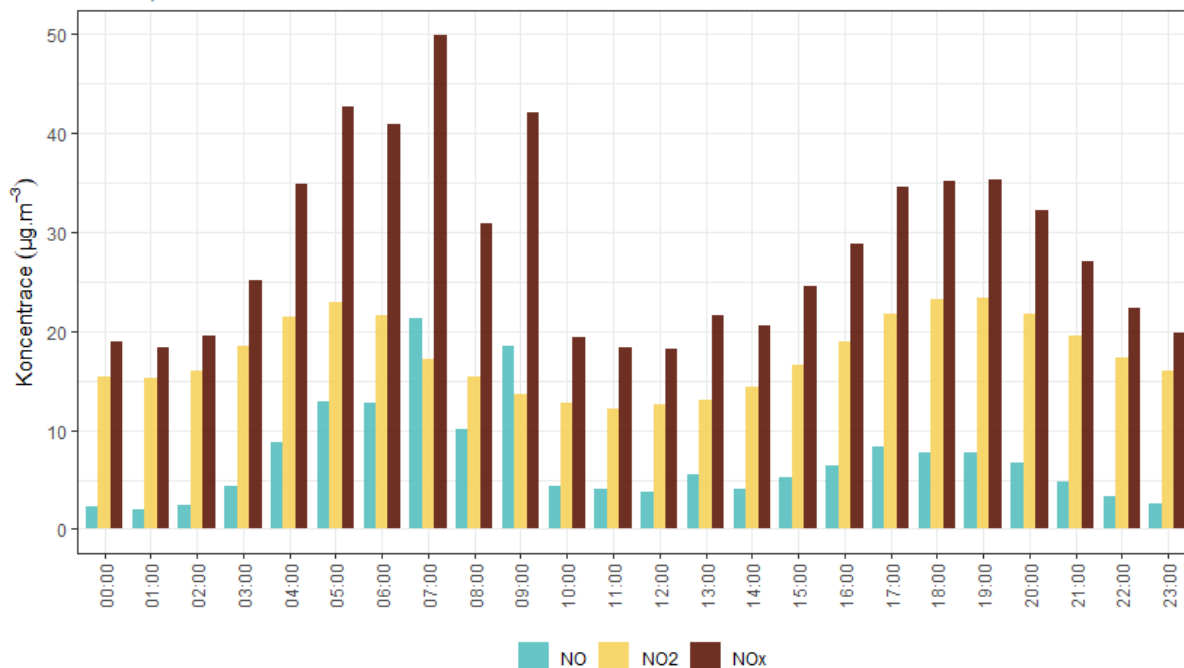
Z grafů je patrné, že nejvyšší hodnoty koncentrací NO₂ dosahovány v době ranní a odpolední dopravní špičky. Večerní hodnoty mohou být také navýšeny o vliv lokálních topenišť a vytápění. Přesto jsou koncentrace NO₂ nízké, typické pro pozadřové lokality. Přes den dochází k mírnému poklesu koncentrací, což může být částečně způsobeno spotřebováním NO₂ na tvorbu přízemního ozónu. Tato reakce probíhá pouze díky slunečního záření, proto lze největší úbytek koncentrací NO₂ očekávat okolo poledne.

Z grafu je rovněž patrné, že v době ranní špičky jsou hodnoty koncentrací NO a NO₂ téměř srovnatelné, což naznačuje významný vliv dopravy. Během odpolední a večerní špičky jsou koncentrace NO₂ výrazně vyšší než koncentrace NO, což může poukazovat na vliv lokálních topenišť a dalších zdrojů. Svůj vliv mohou sehrávat i meteorologické podmínky, zejména pak ranní mlhy mohou nahrávat zvýšeným koncentracím NO.



Průměrný denní chod hodinových koncentrací NO₂

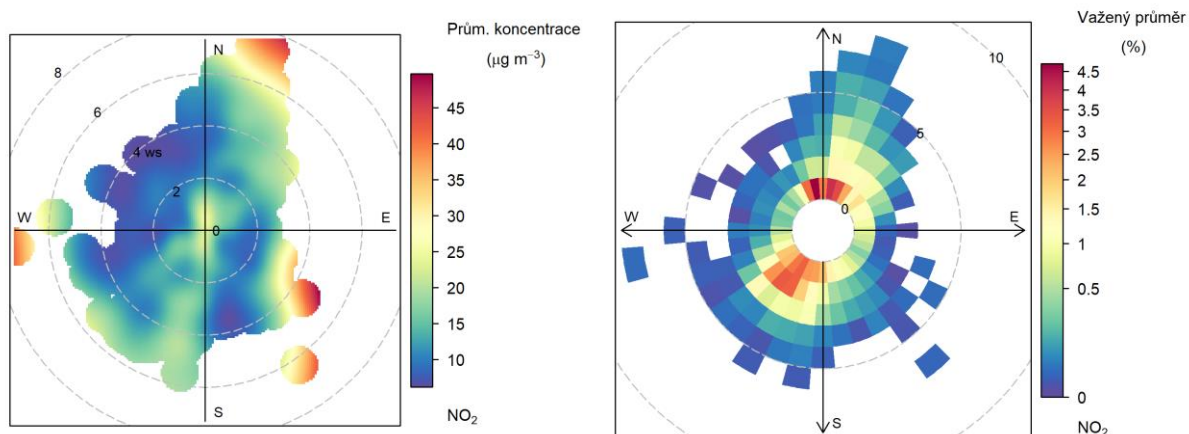
Hranice, rok 2020



Obr. 45 – Denní chod hodinových koncentrací NO₂, Hranice, rok 2020

Vysvětlení podstaty koncentračních růžic je uvedeno v kapitole 3.1.4.

Následující Obr. 46 zobrazuje dva typy koncentrační a váženou koncentrační růžici pro lokalitu Hranice.

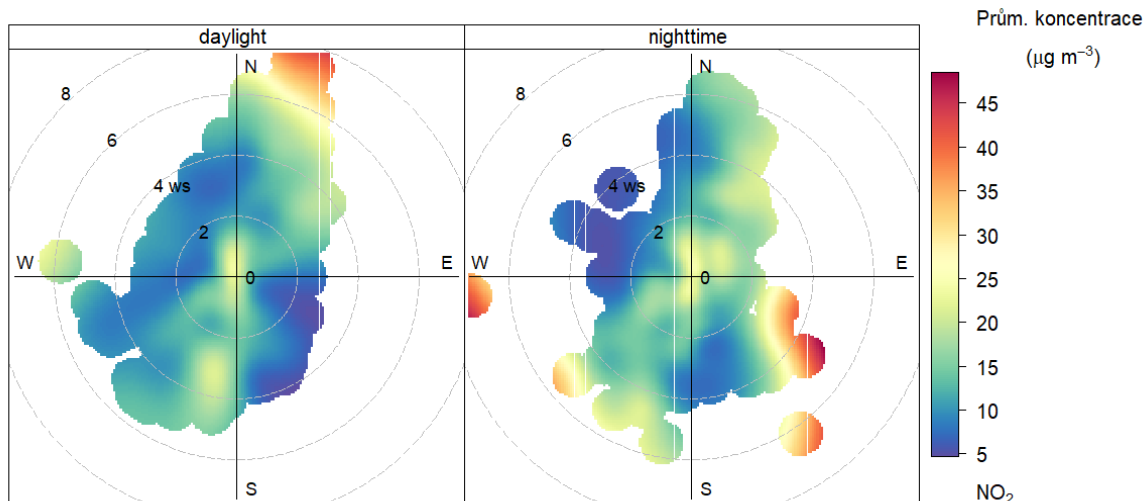


Obr. 46 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro NO₂, Hranice, rok 2020

Z Obr. 46 vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při bezvětří a dále ojediněle při vysokých rychlostech větru. Nízké rychlosti větru a severní až severovýchodní proudění (nejčastější směr proudění dle větrné růžice) pak nejvíce přispívaly k měřeným koncentracím NO₂. Následující Obr.

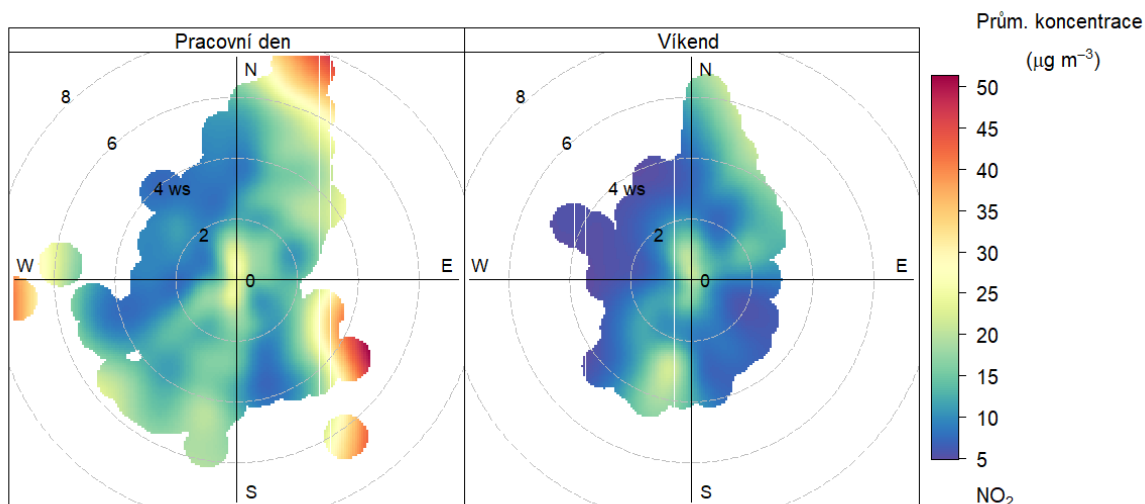


47 zobrazuje koncentrační růžici ve dne a v noci. V obou případech jsou zvýšené koncentrace měřeny při bezvětří, v denních hodinách jsou měřeny vyšší koncentrace i při vyšších rychlostech větru a severovýchodním směru proudění větru, v noci pak ojediněle při zvýšených rychlostech větru a jihovýchodním popř. západním proudění.



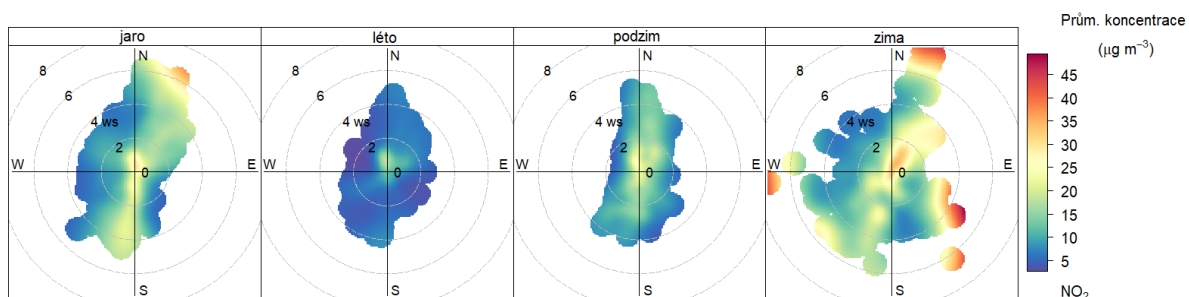
Obr. 47 - Koncentrační růžice ve dne (daytime) a v noci (nighttime), Hranice, rok 2020

Obdobně lze koncentrační růžici rozlišit na pracovní dny a víkend (Obr. 48). Z obrázku je patrné, že vyšší koncentrace jsou měřeny v pracovní dny, což může být důsledek většího provozu ve městě.



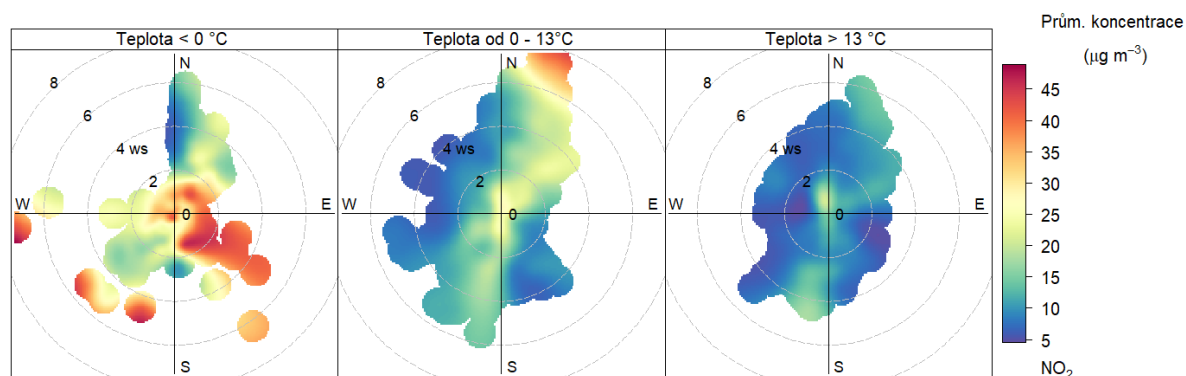
Obr. 48 – Koncentrační růžice NO₂ v pracovní dny a o víkendu, lokalita Hranice, rok 2020

Následující Obr. 49 zobrazuje koncentrační růžice v jednotlivých ročních obdobích. Vysoké koncentrace se vyskytují zejména v zimě, v ostatních ročních obdobích jsou koncentrace zvýšené převážně při bezvětří.



Obr. 49 – Koncentrační růžice jednotlivých ročních období, Hranice, rok 2020

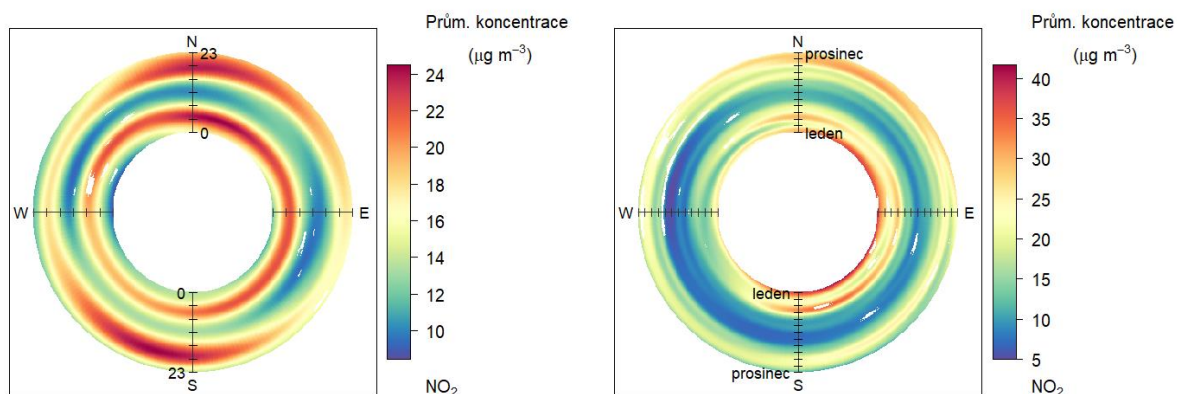
Zajímavé je také rozdělit koncentrační růžice na základě teplot vzduchu. Z Obr. 50 je pak patrné, že nejvyšší koncentrace jsou takřka výhradně měřeny při teplotách vzduchu nižších než 0 °C. Při vyšších teplotách jsou již pouze mírně zvýšené, především při bezvětrí.



Obr. 50 – Koncentrační růžice členěná dle teplot, Hranice, rok 2020

Cenné informace poskytuje rovněž průměrný denní a roční chod, členěný dle směru větru. V případě denního chodu je uprostřed první hodina po půlnoci a na okraji pak 23. hodina. V případě ročního chodu je pak uprostřed 1. 1. a na okraji 31. 12. Směry větru jsou totožné jako v případě růžic.

Z Obr. 51 pak vyplývá, že v případě lokality Hranice v roce 2020 byly nejvyšší koncentrace NO₂ měřeny v době ranní a odpolední dopravní špičky, a to zejména při proudění ze severovýchodu nebo jihozápadu. V případě ročního chodu jsou významné zejména zimní měsíce.



Obr. 51 – Průměrný denní chod (vlevo) a roční chod (vpravo) koncentrací dle směru větru, Hranice, rok 2020

3.2.5 Srovnání s lokalitami státní sítě imisního monitoringu

V této podkapitole budou koncentrace, naměřené v lokalitě Hranice, srovnány s hodnotami naměřenými ve státní síti imisního monitoringu Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ).

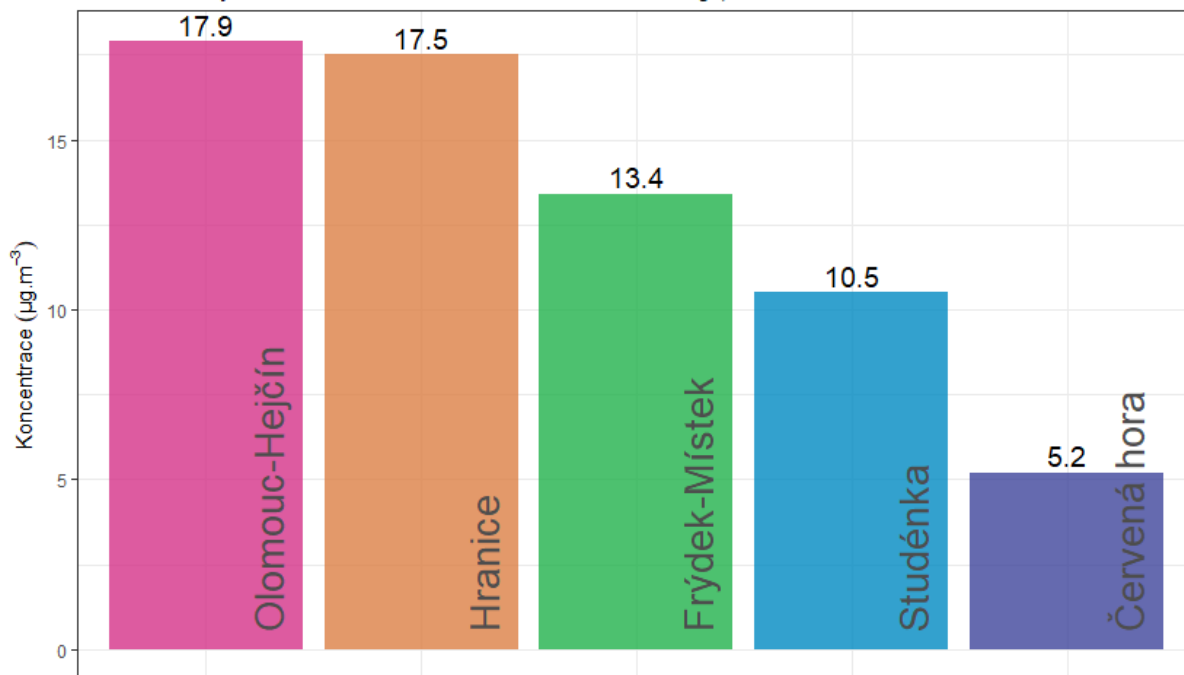
Na následujícím Obr. 52 jsou zobrazeny průměrné roční koncentrace legislativou sledovaného oxidu dusičitého NO_2 na blízkých lokalitách sítě imisního monitoringu v roce 2020. Ty jsou srovnány s lokalitou Hranice. Z grafu vyplývá, že v lokalitě Hranice jsou měřeny koncentrace typické pro městské pozadí. Koncentrace jsou na úrovni lokality Olomouc-Hejčín. Žádná z uvedených lokalit nepřekročila imisní limit pro průměrnou roční koncentraci NO_2 .

Následující graf na Obr. 53 zobrazuje průměrné měsíční koncentrace NO_2 naměřené v jednotlivých lokalitách. Z grafu je patrné, že jsou vyšší v chladné části roku. O absolutní hodnotě pak rozhoduje míra zatížení dopravou.



Průměrné roční koncentrace NO₂

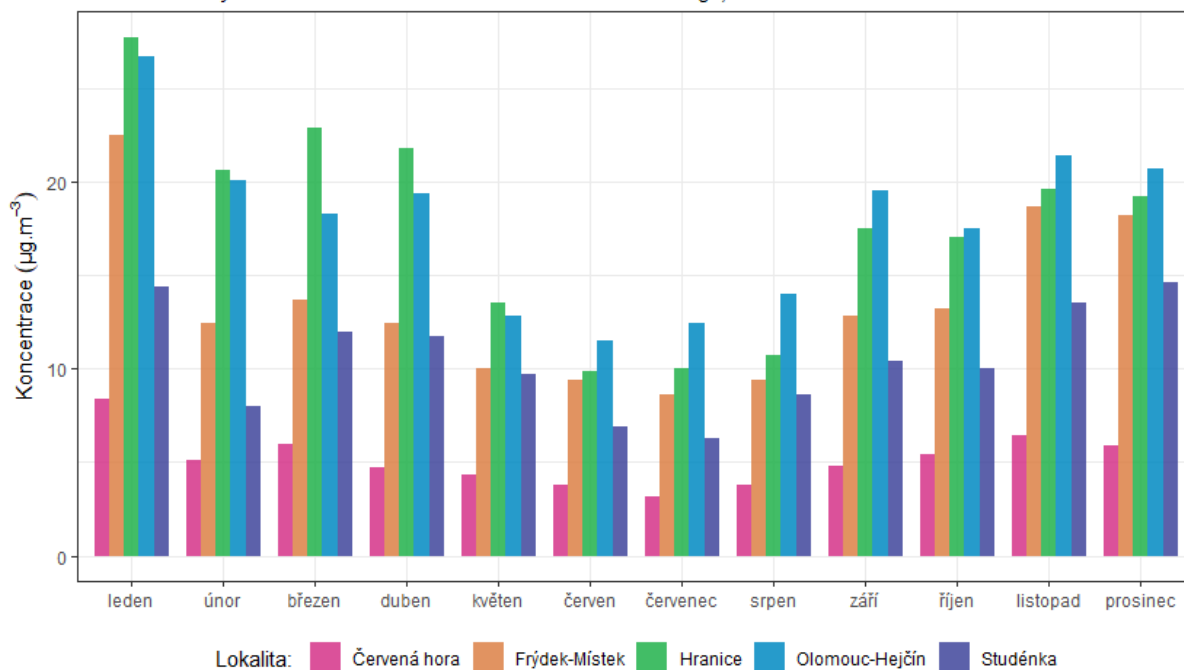
Srovnání lokality Hranice s lokalitami státní sítě imisního monitoringu, rok 2020



Obr. 52 – Srovnání průměrné roční koncentrace NO₂ lokality Hranice s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2020

Průměrné měsíční koncentrace NO₂

Srovnání lokality Hranice s lokalitami státní sítě imisního monitoringu, rok 2020



Obr. 53 – Srovnání průměrných měsíčních koncentrací NO₂ lokality Hranice s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2020



3.3 PŘÍZEMNÍ OZÓN

O₃ nemá vlastní významný zdroj. Jedná se o tzv. sekundární látku vznikající v celé řadě velmi komplikovaných nelineárních fotochemických reakcí [11]. Prekurzory O₃ jsou oxidy dusíku (NO_x) a nemetanické těkavé organické látky (NMVOC), v globálním měřítku hrají roli i metan (CH₄) a oxid uhelnatý (CO). Důležitou reakcí je fotolýza NO₂ zářením o vlnové délce 280–430 nm, při které vzniká NO a atomární kyslík. Reakcí atomárního a molekulárního kyslíku pak za přítomnosti katalyzátoru dochází ke vzniku molekuly O₃. Současně probíhá titrace O₃ oxidem dusnatým za vzniku NO₂ a O₂. Pokud je při této reakci O₃ nahrazen radikály, jeho koncentrace v atmosféře rostou. Důležitou úlohu při těchto reakcích hraje zejména radikál OH.

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

Při vzniku O₃ z prekurzorů nezáleží pouze na absolutním množství prekurzorů, ale i na jejich vzájemném poměru [12]. V oblastech, kde je režim limitovaný NO_x, charakterizovaný relativně nízkými koncentracemi NO_x a vysokými koncentracemi VOC, narůstají koncentrace O₃ s rostoucími koncentracemi NO_x, zatímco se vzrůstajícími koncentracemi VOC se mění jen málo. Naopak v oblastech s režimem limitovaným VOC dochází k poklesu koncentrací O₃ s rostoucími koncentracemi NO_x a nárůstu koncentrací O₃ s rostoucími koncentracemi VOC. Oblasti s vysokým poměrem NO_x/VOC jsou typicky znečištěné oblasti okolo center velkých měst. Závislost vzniku O₃ na počátečních koncentracích VOC a NO_x se často vyjadřují na diagramech ozonových isopleť. Jedná se o zobrazení maximální dosažené koncentrace ozonu jako funkce počáteční koncentrace NO_x a VOC. Významnou roli při vzniku O₃ hrají nejen koncentrace prekurzorů, ale i meteorologické podmínky [13]. Imisní koncentrace O₃ rostou s rostoucím ultrafialovým zářením a teplotou, naopak klesají s rostoucí relativní vlhkostí vzduchu. Vysoké koncentrace bývají spojeny s déletrvající anticyklonální situací. Kromě výše popsaného fotochemického mechanismu se koncentrace O₃ mohou zvyšovat i epizodicky v důsledku průniku stratosférického O₃ do troposféry a též při bouřkách. V poslední době se též zvyšuje význam dálkového přenosu O₃ v rámci proudění na severní polokouli do Evropy a Severní Ameriky ze zdrojových oblastí jihovýchodní Asie. O₃ je z atmosféry odstraňován reakcí s NO a suchou depozicí.

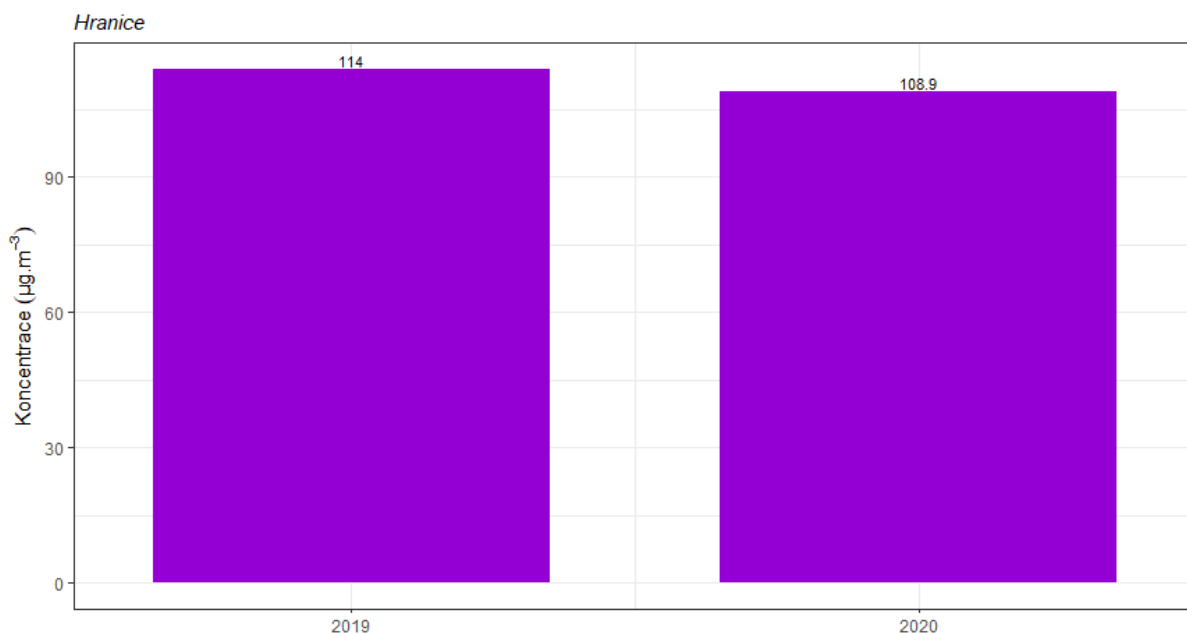
3.3.1 Vývoj 26. nejvyšších 8hodinových klouzavých průměrů za den v roce

Z hlediska ochrany kvality ovzduší stanovuje příloha 1, bod 4 zákona o ochraně ovzduší [14] imisní limit pro troposférický ozón. Pro ochranu zdraví lidí platí imisní limit pro maximální denní 8hodinový klouzavý průměr O₃. Hodnota imisního limitu je 120 µg·m⁻³, tato hodnota může být 25x za kalendářní rok překročena. **Plnění imisního limitu se vyhodnocuje na základě průměru za 3 kalendářní roky.**

Jelikož se lokalitě Hranice měří pouze dva roky, uvádí následující Obr. 54 hodnoty 26. nejvyšších 8hodinových klouzavých průměrů koncentrací O₃ za den v lokalitě Hranice pro roky 2019 a 2020. **Průměrná hodnota za tyto dva roky pak činí 111,5 µg·m⁻³, imisní limit tedy překročen nebyl.**



Vývoj 26. nejvyšších 8h klouzavých průměrů O₃



Obr. 54 – Vývoj 26. nejvyššího 8hodinového klouzavého průměru O₃ za den, lokalita Hranice

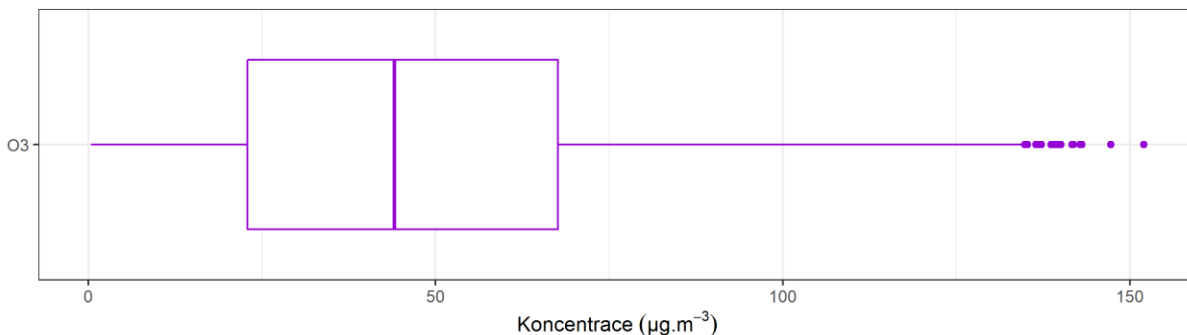
Následující Tab. 4 pak zobrazuje statistické zpracování naměřených hodinových dat pro přízemní ozón. Grafické znázornění hodinových koncentrací pomocí krabicových grafů za rok 2020 pak zobrazuje Obr. 55. Maximální naměřená hodinová koncentrace O₃ měla hodnotu 152 µg·m⁻³.

Tab. 4 – Statistické charakteristiky hodinových koncentrací O₃ v lokalitě Hranice, rok 2020

STATISTIKA	O ₃
PRŮMĚR	47,2
MAXIMUM	152
MEDIÁN	44,1
MINIMUM	0,4

Statistické zpracování hodinových koncentrací O₃

Hranice, rok 2020



Obr. 55 – Statistické zpracování hodinových koncentrací O₃ v lokalitě Hranice, rok 2020

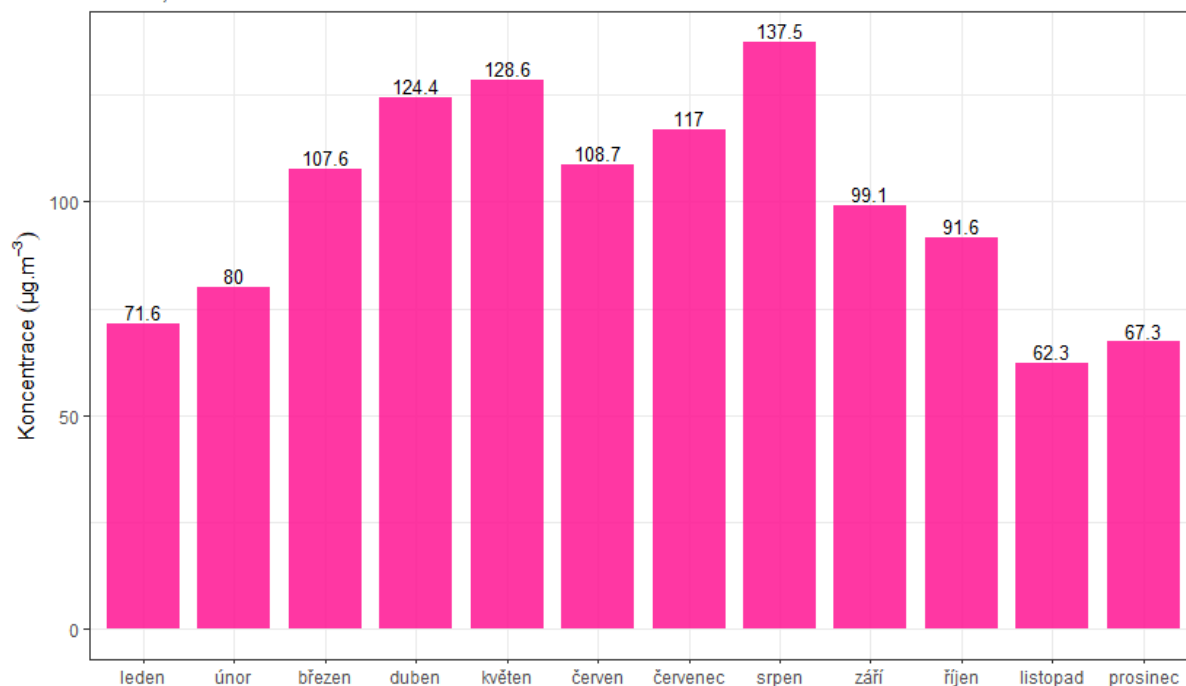


3.3.2 Průměrné měsíční koncentrace

Na Obr. 58 jsou zobrazeny Maximální 8h klouzavé průměry O_3 za den v jednotlivých měsících. Z obrázku je patrné, že v nejvyšší jsou hodnoty v teplé části roku, kdy je dostatek slunečního svitu pro fotochemické reakce vedoucí ke vzniku přízemního ozónu. Naopak v chladné části roku jsou měřeny koncentrace nižší. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace O_3 byla naměřena v srpnu.

Vývoj maximálních 8hodinových klouzavých průměrů O_3 v jednotlivých měsících

Hranice, rok 2020



Obr. 56 – Maximální 8h klouzavé průměry O_3 za den v jednotlivých měsících, Hranice, rok 2020

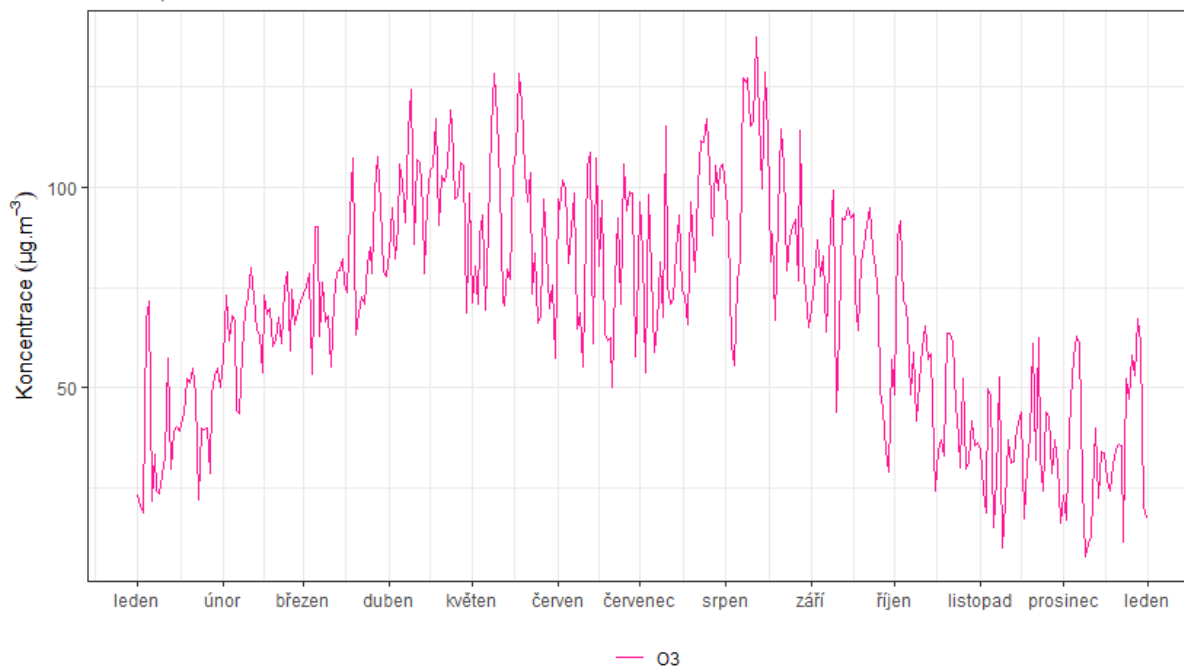
3.3.3 Vývoj průměrných denních koncentrací O_3

Vývoj maximálních 8h klouzavých průměrů O_3 za den v lokalitě Hranice zobrazuje následující Obr. 57.



Vývoj maximálních 8h klouzavých průměrů koncentrací O₃ za den

Hranice, rok 2020



Obr. 57 – Vývoj maximálních 8h klouzavých průměrů O₃ za den, Hranice, rok 2020

Z grafů je patrné, že v případě vývoje koncentrací O₃ dochází ke kulminaci v dubnu, květnu či srpnu. To souvisí s mechanismem tvorby přízemního ozónu.

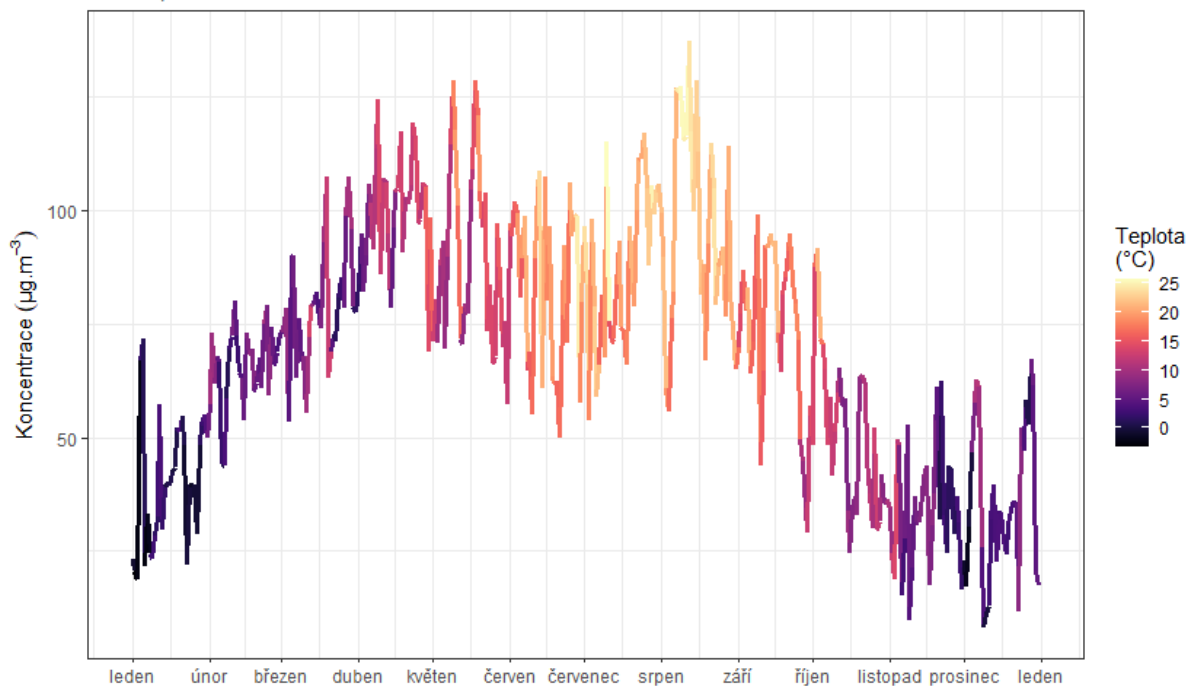
Na Obr. 58 jsou nad sebou zobrazeny dva grafy. Křivka vždy zobrazuje vývoj koncentrací O₃ v dané lokalitě. Zabarvení křivky na horním grafu vždy zobrazuje aktuální teplotu vzduchu, ve spodním grafu pak rychlost proudění větru. Následující Obr. 59 pak zobrazuje vliv slunečního záření.

Z uvedených grafů vyplývá, že meteorologické podmínky mají na koncentrace O₃ významný vliv, zejména pak teplota a sluneční záření. S rostoucím slunečním zářením a teplotou rostou rovněž koncentrace O₃. Rychlost větru tolik koncentrace neovlivňuje, přesto vyšší rychlosti větru zřejmě mírně přispívají k vyšším koncentracím O₃.



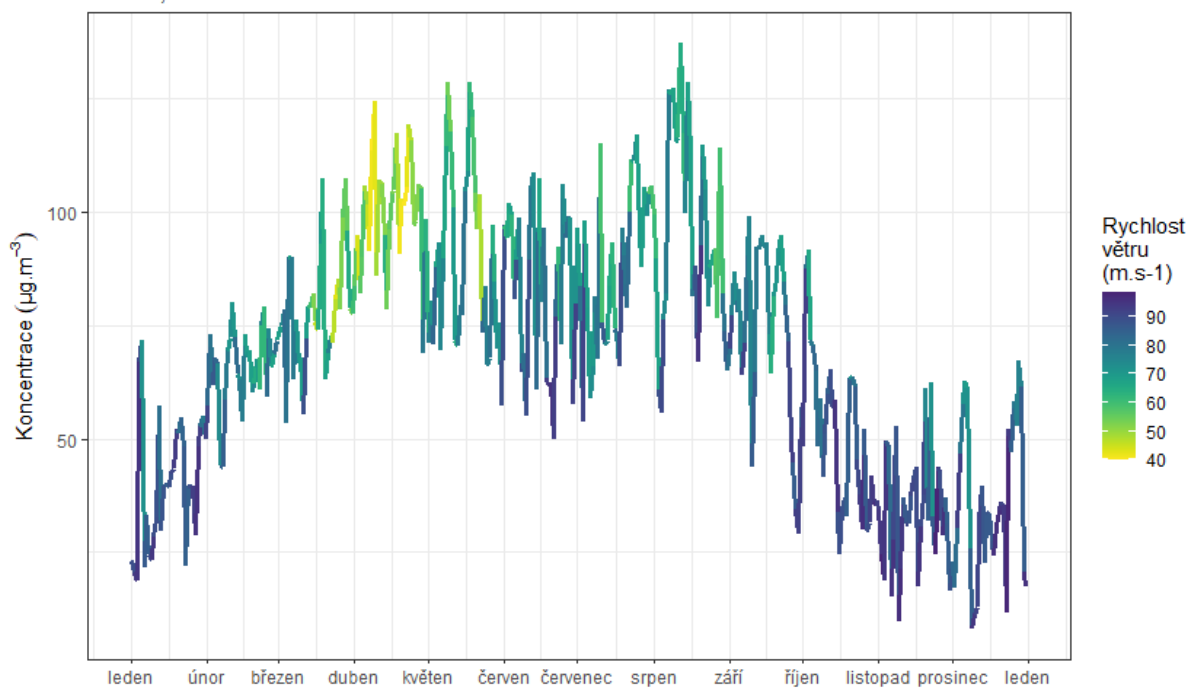
Vývoj maximálních 8h koncentrací O₃ za den v závislosti na teplotě vzduchu

Hranice, rok 2020



Vývoj maximálních 8h koncentrací O₃ za den v závislosti na rychlosti větru

Hranice, rok 2020

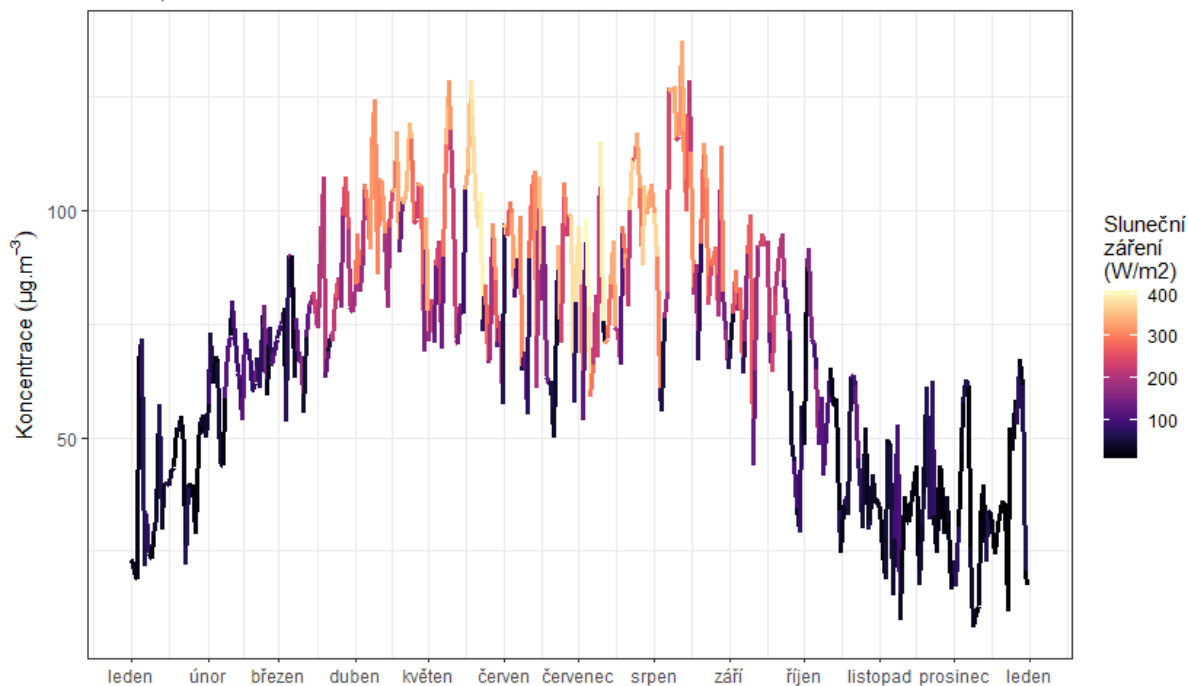


Obr. 58 – Vliv teploty (nahore) a rychlosti větru (dole) na koncentrace O₃, Hranice, rok 2020



Vývoj maximálních 8h koncentrací O₃ za den v závislosti na slunečním záření

Hranice, rok 2020



Obr. 59 – Vliv slunečního záření na koncentrace O₃, Hranice, rok 2020

Naopak z týdenního chodu průměrných denních koncentrací O₃ není patrný výrazný rozdíl mezi jednotlivými dny. Důležitějším faktorem jsou meteorologické podmínky (sluneční záření, teplota).

Průměrný týdenní chod denních koncentrací O₃

Hranice, rok 2020

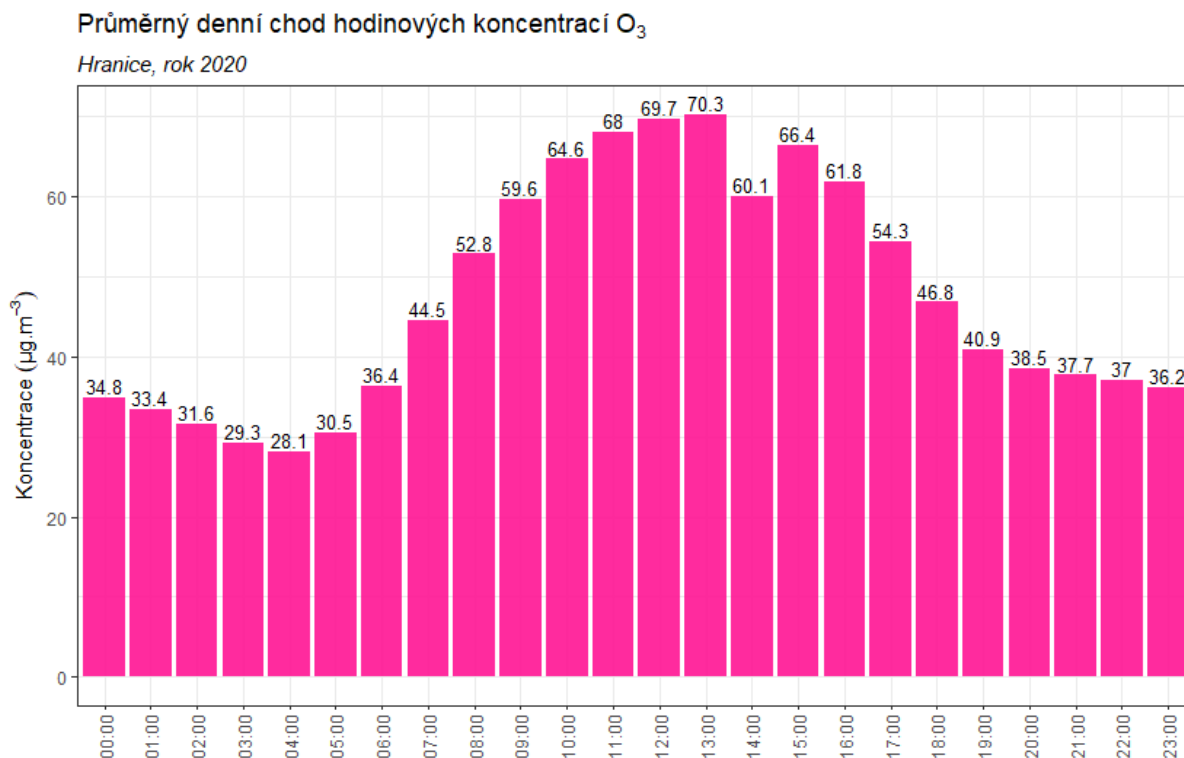


Obr. 60 - Průměrný týdenní chod denních koncentrací O₃, Hranice, rok 2020



3.3.4 Analýza hodinových koncentrací – denní chod a koncentrační růžice

Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod O₃ v lokalitě Hranice. Denní chod O₃ zobrazuje následující Obr. 61. Z grafu je patrné, že nejvyšší hodnoty koncentrací O₃ jsou dosahovány okolo poledne a po poledni – v době s nejvyšším slunečním svitem a s nejvyššími teplotami a slunečním svitem.



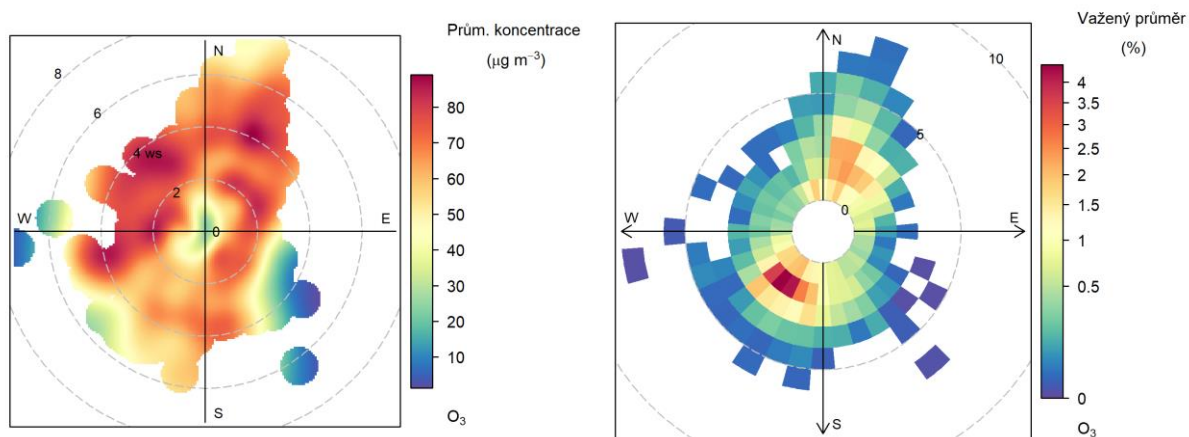
Obr. 61 – Denní chod hodinových koncentrací O₃, Hranice, rok 2020

Vysvětlení podstaty koncentračních růžic je uvedeno v kapitole 3.1.4.

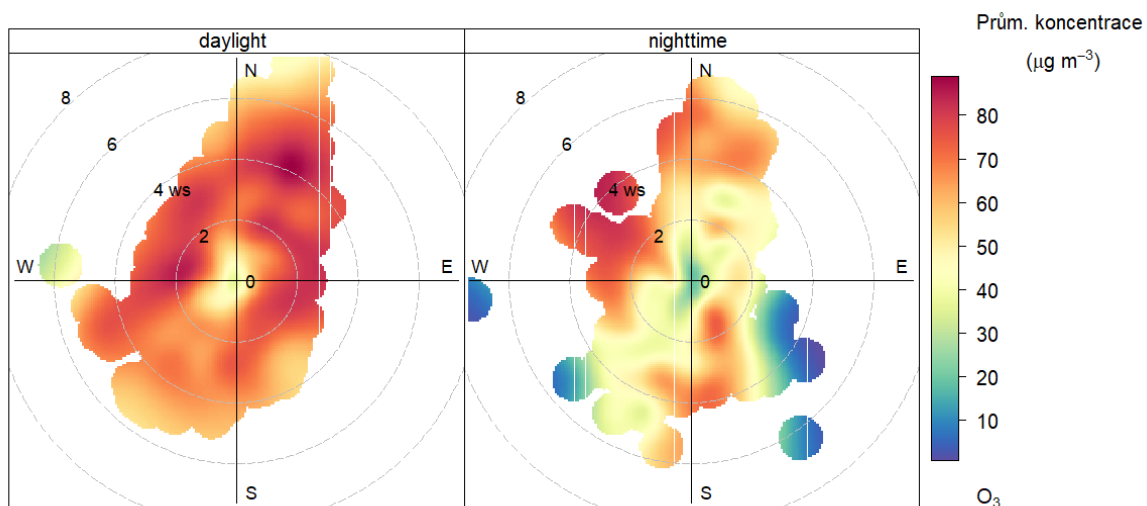
Následující Obr. 62 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici O₃ pro lokalitu Hranice.

Z Obr. 62 vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při téměř jakémkoliv proudění mimo bezvětří. Jihozápadní směry proudění se pak nejvíce podílely na měřených koncentracích O₃ v roce 2020.

Pokud se koncentrační růžice rozdělí na den a noc (Obr. 63), je velmi dobře patrné, že vysoké koncentrace O₃ se vyskytují převážně ve dne, v noci jsou vysoké koncentrace zaznamenány při proudění ze severozápadu.

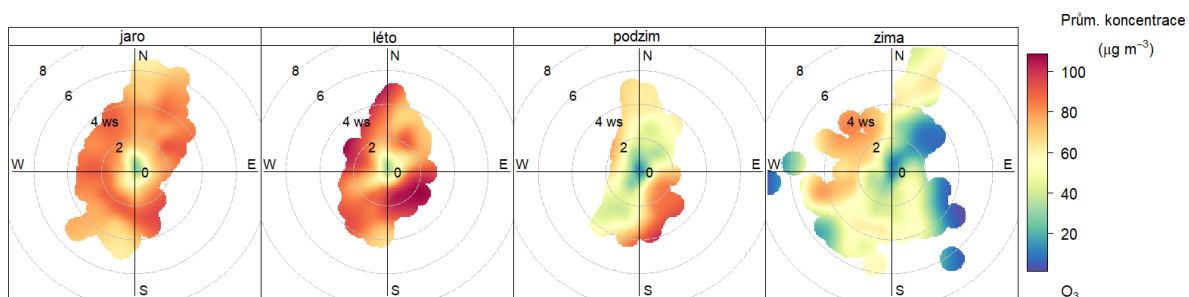


Obr. 62 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro O₃, Hranice, rok 2020



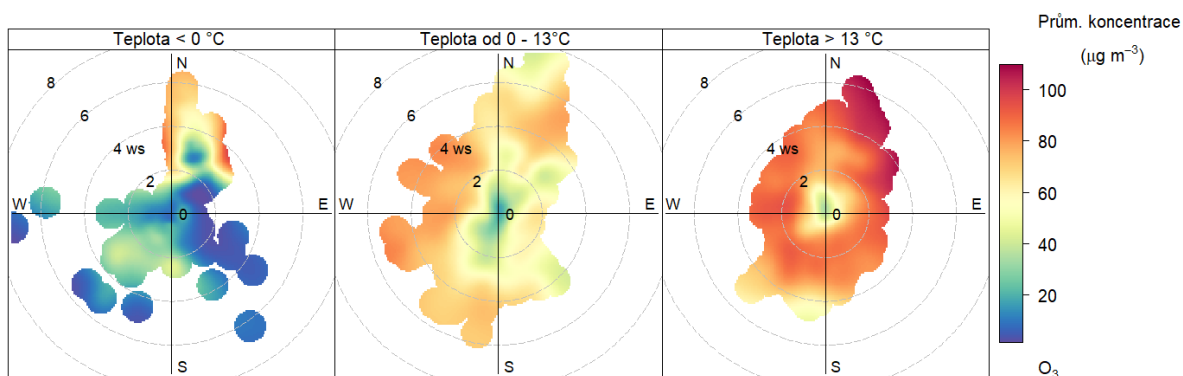
Obr. 63 - Koncentrační růžice ve dne (daytime) a v noci (nighttime), Hranice, rok 2020

Následující Obr. 64 zobrazuje koncentrační růžice v jednotlivých ročních obdobích. Nízké koncentrace lze sledovat převážně v zimě a také na podzim, v ostatních měsících jsou koncentrace výrazně vyšší.



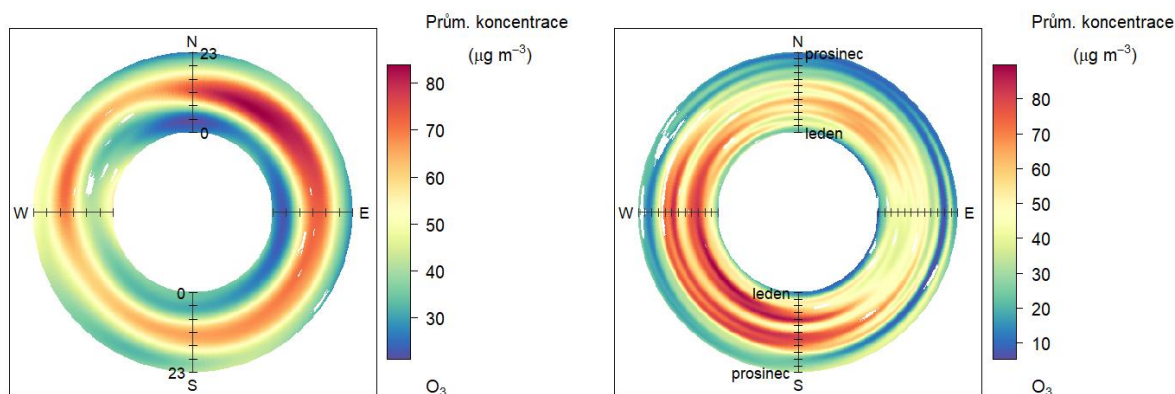
Obr. 64 – Koncentrační růžice jednotlivých ročních období, Hranice, rok 2020

Zajímavé je také rozdělit koncentrační růžice na základě teplot vzduchu. Z Obr. 65 je pak patrné, že nejvyšší koncentrace jsou takřka výhradně měřeny při teplotách vzduchu vyšších než 13 °C. Při nižších teplotách než bod mrazu jsou naopak nízké.



Obr. 65 – Koncentrační růžice členěná dle teplot, Hranice, rok 2020

Cenné informace poskytuje rovněž průměrný denní a roční chod, členěný dle směru větru. V případě denního chodu je uprostřed první hodina po půlnoci a na okraji pak 23. hodina. V případě ročního chodu je pak uprostřed 1. 1. a na okraji 31. 12. Směry větru jsou totožné jako v případě růžic.



Obr. 66 – Průměrný denní chod (vlevo) a roční chod (vpravo) koncentrací dle směru větru, Hranice, rok 2020

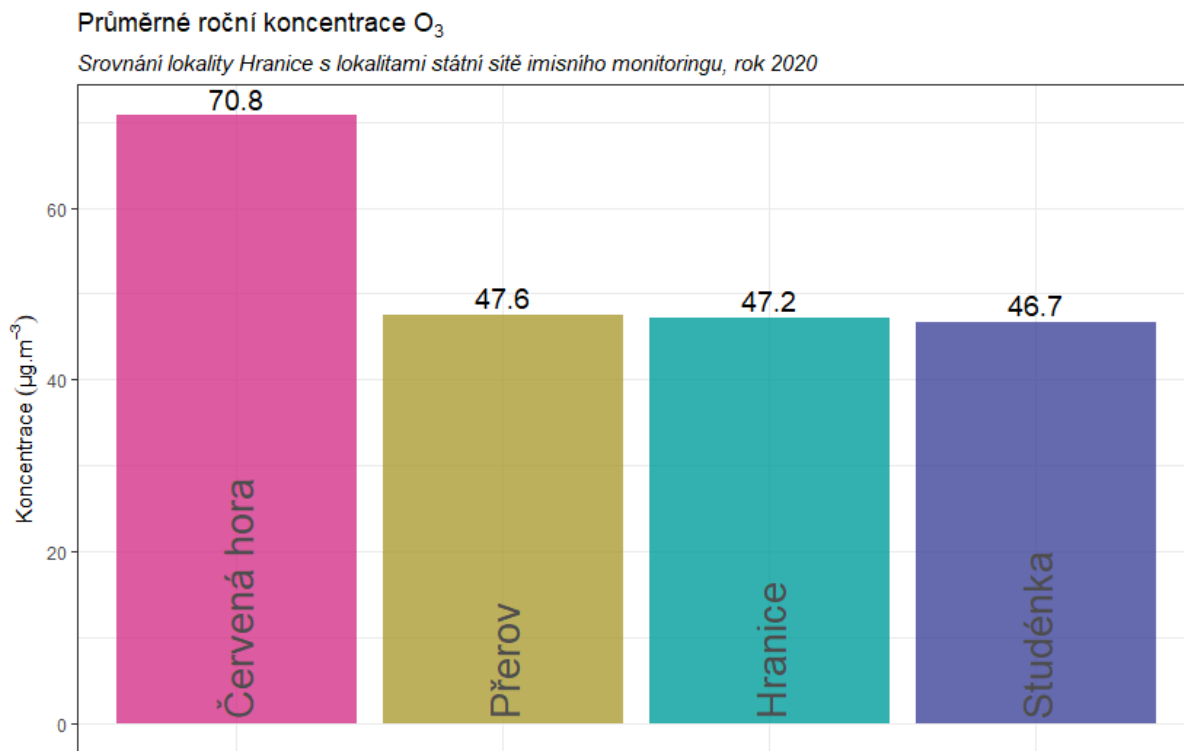
Z Obr. 66 pak vyplývá, že v případě lokality Hranice v roce 2020 byly nejvyšší koncentrace O_3 měřeny v denních hodinách, zejména kolem poledne. Z ročního chodu pak vyplývá, že koncentrace kulminovaly v teplé části roku.

3.3.5 Srovnání s lokalitami státní sítě imisního monitoringu

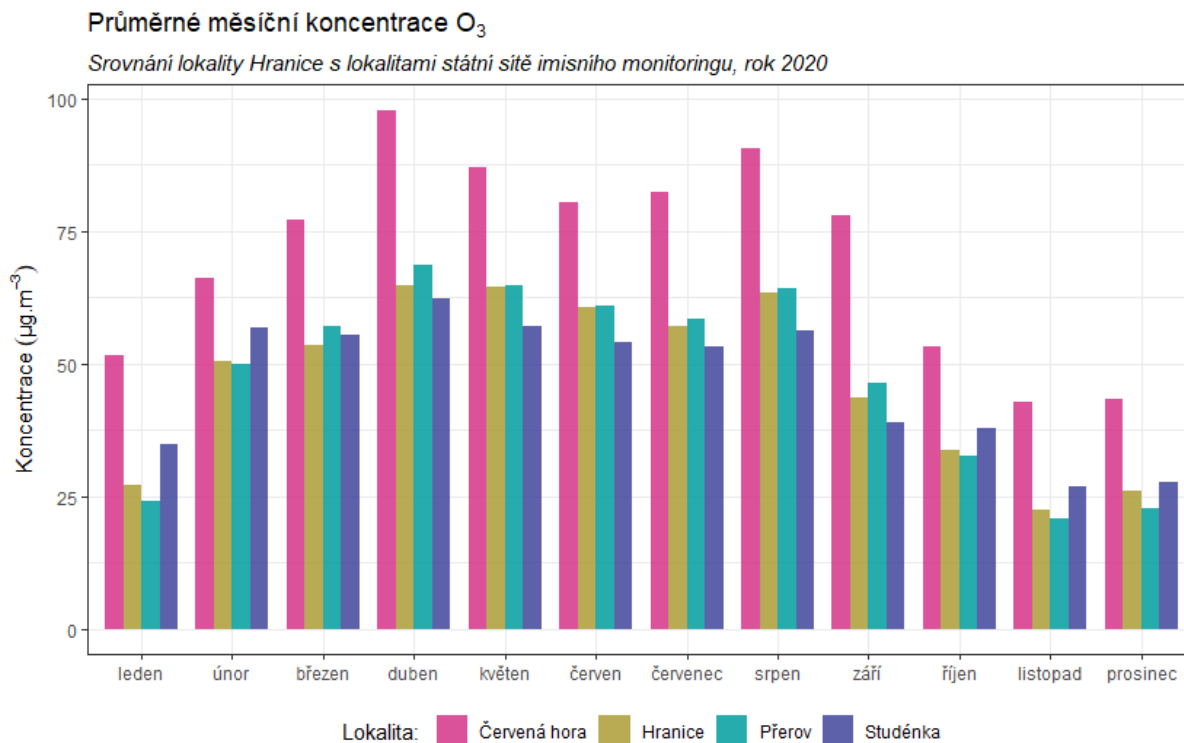
V této podkapitole budou koncentrace, naměřené v lokalitě Hranice, srovnány s hodnotami naměřenými ve státní síti imisního monitoringu Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ).

Na následujícím Obr. 67 jsou zobrazeny průměrné roční koncentrace přízemního ozónu O_3 na okolních lokalitách v roce 2020 a srovnány s lokalitou Hranice. Z grafu vyplývá, že v lokalitě Hranice jsou měřeny v podstatě totožné koncentrace, jako v lokalitě Studénka či Přerov. Nejvyšší koncentrace O_3 měřeny v lokalitě Červená hora. Souvisí to s mechanismem tvorby přízemního ozónu v atmosféře a také s přítomností látek, se kterými může O_3 reagovat a spotřebovávat se.

Následující graf na Obr. 68 zobrazuje průměrné měsíční koncentrace O_3 naměřené v jednotlivých lokalitách. Z grafu je patrné, že vysoké koncentrace jsou vždy měřeny v teplé části roku, což souvisí s tvorbou přízemního O_3 v atmosféře.



Obr. 67 – Srovnání průměrné roční koncentrace O₃ lokality Hranice s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2020



Obr. 68 – Srovnání průměrných měsíčních koncentrací O₃ lokality Hranice s okolními stanicemi státní sítě imisního monitoringu, rok 2020



4 ZÁVĚRY

- Vývoj průměrných denních koncentrací **PM₁₀** i **PM_{2,5}** odpovídá vývoji koncentrací na dalších stanicích státní sítě imisního monitoringu. Na úrovni hodinových koncentrací ovlivňují vývoj meteorologické podmínky (např. teplota) a s nimi související činnosti – zejména vytápění v lokálních topeništích. Maximální koncentrace PM₁₀ i PM_{2,5} byly měřeny ve večerních a nočních hodinách po zatopení. Důležitým faktorem je rovněž rychlost větru – pokud je bezvětří, nedochází k rozptylu škodlivin, ale naopak k jejich kumulaci a koncentrace rostou.
- Průměrné roční koncentrace PM₁₀ (20,6 µg·m⁻³) ani PM_{2,5} (14,9 µg·m⁻³) nepřekračují imisní limit pro průměrné roční koncentrace těchto škodlivin.
- Za rok 2020 byla hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ (50 µg·m⁻³) překročena 13x, imisní limit pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ je tak plněn.
- Koncentrace **oxidů dusíku** souvisí především se zatížením dopravou. Zvýšené koncentrace v rámci denního chodu tak byly pozorovány během ranní a večerní dopravní špičky. I tak byly koncentrace nízké, charakteristické pro městské pozadí. Okolo poledne dochází k poklesu koncentrací NO₂ také díky reakci této látky při tvorbě přízemního ozónu. V lokalitě Hranice jsou měřeny mírně vyšší koncentrace než na okolních stanicích státní sítě imisního monitoringu, avšak trend vývoje je na všech lokalitách podobný. Z hlediska týdenního chodu jsou vyšší koncentrace měřeny v pracovní dny s vyšším zatížením dopravou.
- Průměrná roční koncentrace NO₂ (17,5 µg·m⁻³) nepřekračuje imisní limit pro průměrnou roční koncentraci NO₂.
- Vysoké koncentrace přízemního ozónu **O₃** jsou měřeny převážně v letních dnech s vysokými teplotami a dlouhým časem slunečního svitu přes den. V zimě jsou koncentrace naopak nízké. Naměřené hodnoty byly nižší než koncentrace, které měřila stanice státní sítě imisního monitoringu Červená hora, srovnatelné s lokalitami Přerov či Studénka.
- V rámci přízemního ozónu se s imisním limitem srovnávají maximální 8hodinové klouzavé průměry v průměru za tři roky. Vzhledem k tomu, že k dispozici jsou pouze dva roky měření, použije se průměr 26. nejvyšších hodnot za roky 2019 a 2020. Ta měla hodnotu 111,5 µg·m⁻³, imisní limit pro přízemní ozón tedy překročen nebyl.



5 Citovaná literatura

- [1] Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší ve znění pozdějších předpisů, 2012 - 2017, MŽP, 2012.
- [2] R Core Team, „R: A language and environment for statistical computing,“ R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria., 2018. [Online]. Available: <https://www.R-project.org/>.
- [3] H. Wickham a et al., „Welcome to the tidyverse,“ *Journal of Open Source Software*, sv. 4, č. 43, p. 1686, 2019.
- [4] D. Carslaw a K. Ropkins, „Openair - an R package for air quality data analysis,“ *Environmental*, Sv. %1 z %227-28, pp. 52 - 61, 2012.
- [5] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2019, ISBN: ISBN 978-80-7653-009-6,“ ČHMÚ, 2020. [Online]. Available: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/Obsah_CZ.html.
- [6] U. EPA, „Particulate Matter (PM) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/pm-pollution>.
- [7] J. Keder, „Rozbor výsledků kontinuálního měření spekter velikostí částic analyzátorů Grimm,“ v *Ovzduší 2007*, Brno, 2007.
- [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] 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.
- [12] J. Fiala a D. Závodský, „Chemické aspekty znečištěného ovzduší – troposférický ozon,“ v *Kompendium ochrany kvality ovzduší*, Praha, 2003.
- [13] I. Colbeck a A. R. Mackenzie, „Air Pollution by photochemical oxidants,“ *Air Quality Monographs*, č. Elsevier. ISBN 0-444-88542-0, 1994.
- [14] Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, 2012.
- [15] Vyhláška č. 330/2012 Sb. o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích, Praha, 2012.
- [16] Š. L. Š. H. Tolasz R., „Počasí, podnebí a kvalita ovzduší v ČR v roce 2016 – vybrané události,“ 13 1 2016. [Online]. Available: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1484297500>.
- [17] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České Republiky 1996 - 2015,“ 1 12 2016. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html.
- [18] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České Republiky,“ 1996 - 2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html.



- [19] ČHMÚ, „Registr emisí a zdrojů znečištění ovzduší,“ 2010-2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emisnibilance_CZ.html.
- [20] 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.
- [21] WHO, „Air quality guidelines for Europe, Second Edition,“ *WHO Regional Publications, European Series*, sv. No. 91, 2000.
- [22] EEA, „Air quality in Europe — 2016 report,“ 2016. [Online]. Available: https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016/at_download/file.
- [23] ČHMÚ, kolektiv autorů, „Grafická ročenka 2017,“ Český hydrometeorologický ústav, 2018. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/Obsah_CZ.html.
- [24] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2018,“ 2019. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/18groc/gr18cz/IV.1.PM_CHMU2018.pdf. [Přístup získán 2019].