

VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ V LOKALITĚ ZUBŘÍ 30. 12. 2021 – 13. 1. 2022



ENVITECH BOHEMIA, s.r.o.

ÚDAJE O ZAKÁZCE

Zhotovitel: **ENVltech Bohemia s.r.o.**
Ovocná 1021/34, 161 00 Praha 6
IČO: 47119209

Objednatel: **Zlínský kraj**
tř. T. Bati 21, 761 90 Zlín
IČO: 70891320

Zpracovatelé: Pavel Chaloupecký
Richard Kula
Michal Adamec
Robert Skeřil

Datum předání zprávy: 31. ledna 2022
Počet výtisků: 1
Výtisk číslo: 1

OBSAH

1	MĚŘICÍ LOKALITA	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	7
2.3	TEPLOTA VZDUCHU	8
2.4	RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU	9
2.5	ATMOSFÉRICKÝ TLAK	10
3	VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ	11
3.1	SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{10} A $PM_{2,5}$	11
3.1.1	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE PRAŠNÉHO AEROSOLU	13
3.1.2	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ PRAŠNÉHO AEROSOLU – DENNÍ CHOD A KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	15
3.1.3	SROVNÁNÍ KONCENTRACÍ PRAŠNÉHO AEROSOLU S OKOLÍMI STANICEMI A S MĚŘICÍ KAMPAŇÍ V ROCE 2014	18
3.2	OXIDY DUSÍKU NO_2 , NO A NO_x	20
3.2.1	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE NO , NO_2 A NO_x	21
3.2.2	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – DENNÍ CHOD A KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	23
3.2.3	SROVNÁNÍ KONCENTRACÍ NO_2 S OKOLÍMI STANICEMI A S MĚŘICÍ KAMPAŇÍ V ROCE 2014	25
3.3	PŘÍZEMNÍ OZÓN	28
3.3.1	VÝVOJ 26. NEJVYŠŠÍCH 8HODINOVÝCH KLOUZAVÝCH PRŮMĚRŮ ZA DEN V ROCE	28
3.3.2	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – DENNÍ CHOD A KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	31
3.3.3	SROVNÁNÍ KONCENTRACÍ O_3 S OKOLÍMI STANICEMI	33
3.4	POLYCYKlické AROMATICKÉ UHLOVODÍKY (PAH)	35
3.4.1	MĚŘENÉ HODNOTY POLYCYKlickÝCH AROMATICKÝCH UHLOVODÍKŮ (PAU)	36
4	ZÁVĚRY	37
5	CITOVANÁ LITERATURA	38

1 MĚŘICÍ LOKALITA

Měření kvality ovzduší probíhalo v obytné zóně v ul. Na potoku. Z hlediska systemizace se jedná o městskou pozadňovou stanici, která je umístěna v obytné zóně. Reprezentativnost stanice je v rámci oblastní měřítka – městské nebo venkov (4–50 km).

Umístění měřicího místa: v blízkosti rodinných domů

Terén: rovina

GPS souřadnice: 49°29'02.4"N, 18°06'26.9"E, 378 m n. m.



1.1 IMISNÍ LIMITY

Pro škodliviny, měřené v lokalitě Zubří, 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 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	
Přízemní ozón O ₃	maximální denní osmihodinový klouzavý průměr	120 µg·m ⁻³	25
Benzo[a]pyren	1 kalendářní rok	1 ng·m ⁻³	

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 µg·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 µg·m⁻³, došlo k překročení imisního limitu.

Vzhledem ke krátkodobé měřicí kampani jsou imisní limity pouze orientační.

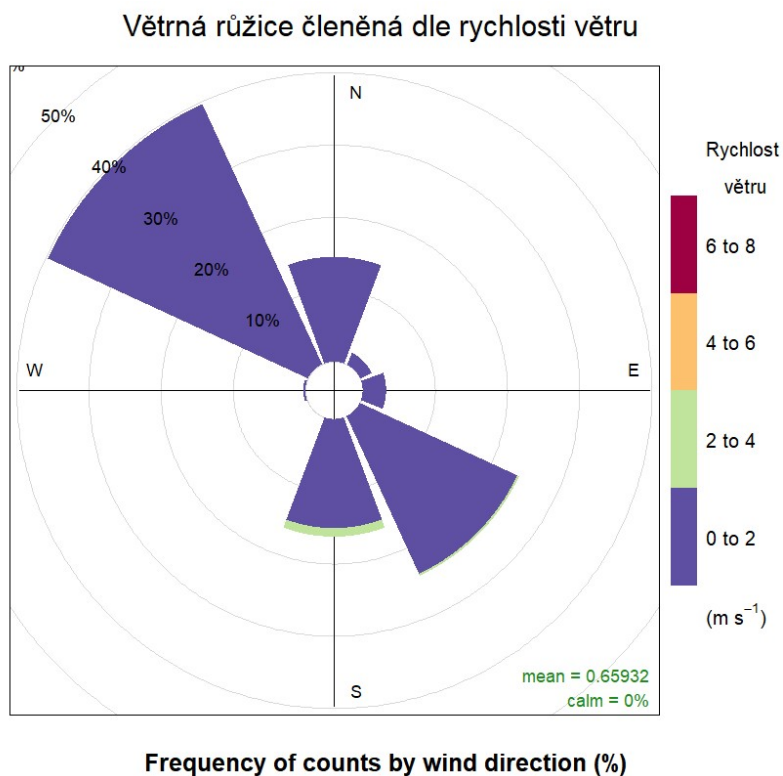
1.2 DATA A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

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 Zubří konstruovaná z hodinových rychlostí a směrů větru. Růžice naznačuje převažující severozápadní (cca 40 % času) a jihovýchodní (cca 25 % času) směr větru. Vyšší rychlosti větru byly zaznamenány jen v několika málo případech a pouze z jižních směrů. Bezvětří se během kampaně nevyskytovalo. V měřící lokalitě byly naměřeny převážně velmi nízké rychlosti větru (do $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), průměrná rychlost větru za celé měřené období byla zhruba $0,7 \text{ m/s}$.

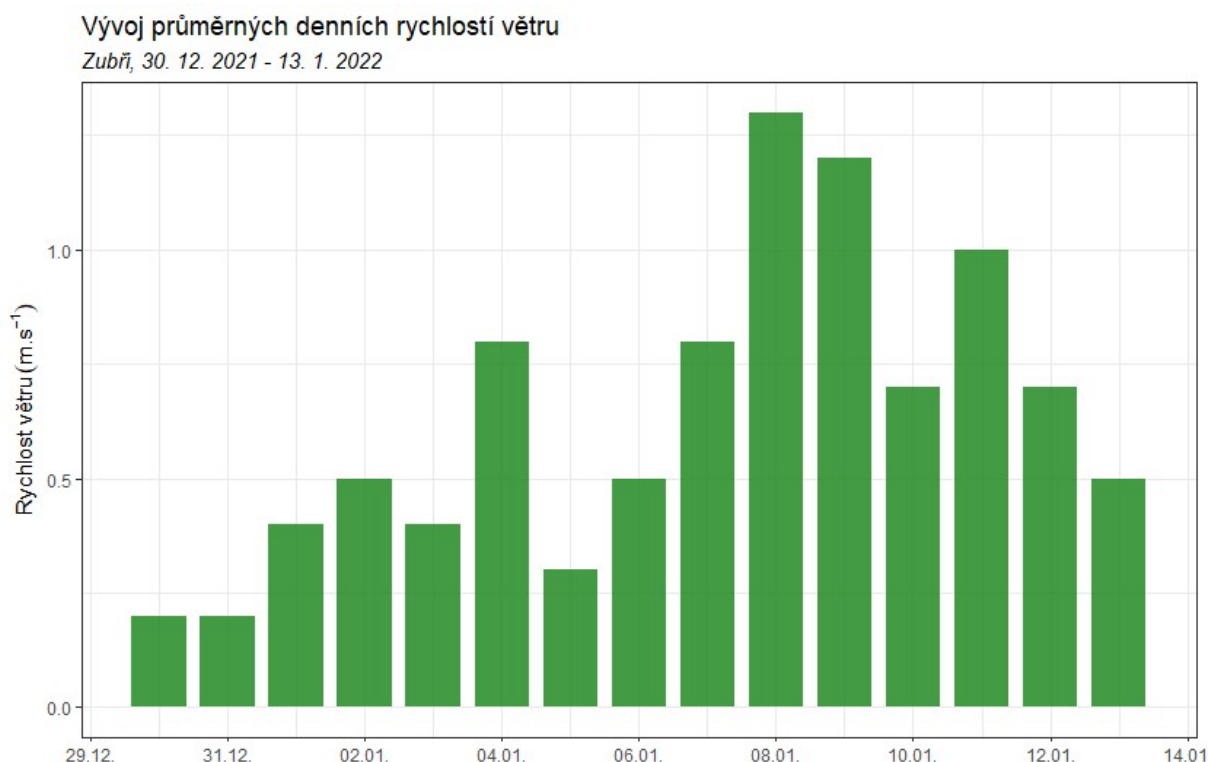


Obr. 1 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

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 Zubří. Z grafu je patrné, že během měřicí kampaně byly naměřeny převážně nízké průměrné denní rychlosti větru zhruba do 1,5 m/s, nejvyšší průměrná denní hodnota byla naměřena dne 8. 1. 2022.

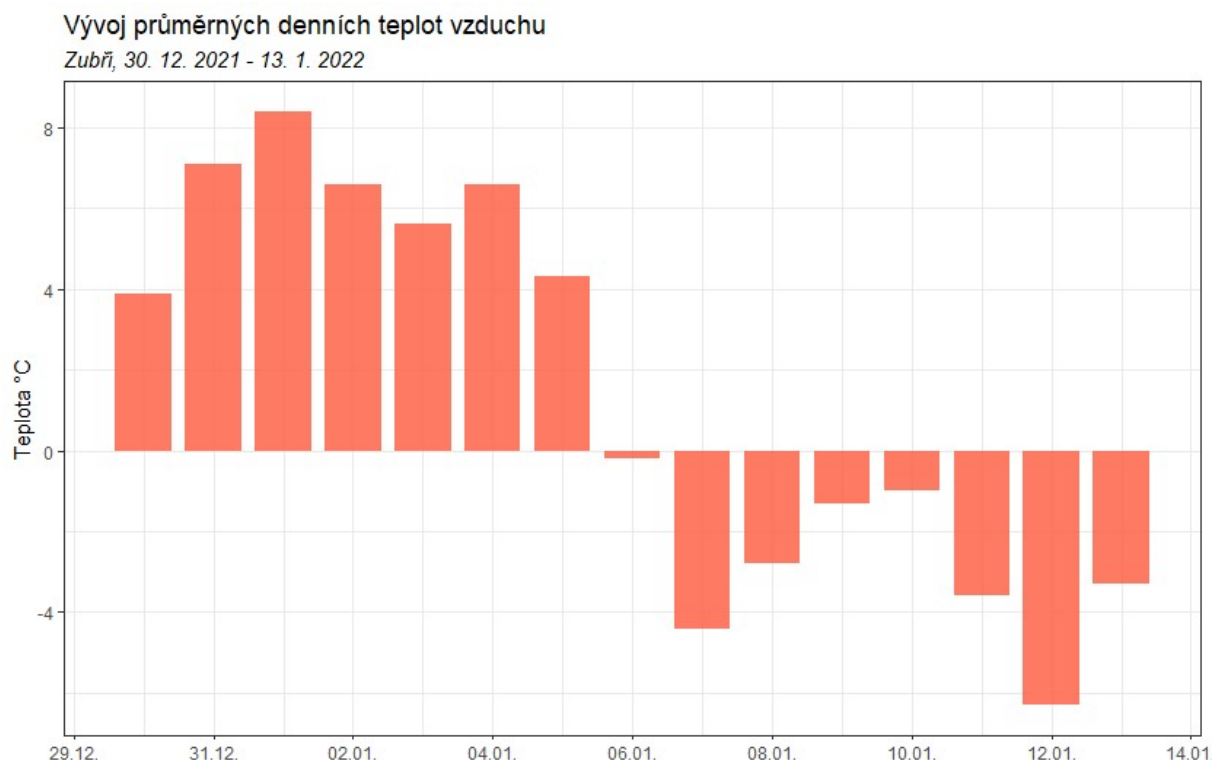


Obr. 2 – Průměrné denní rychlosti větru, Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

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. 3 zobrazuje průměrné denní teploty vzduchu v lokalitě Zubří během měřicí kampaně. Z grafu vyplývá, že vyšší hodnoty byly v této lokalitě naměřeny na začátku kampaně, poté průměrné denní teploty klesly pod bod mrazu. Nejnižší teploty pak byly naměřeny 12. 1. 2022, kdy průměrná denní teplota klesla na $-6,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Obr. 3).

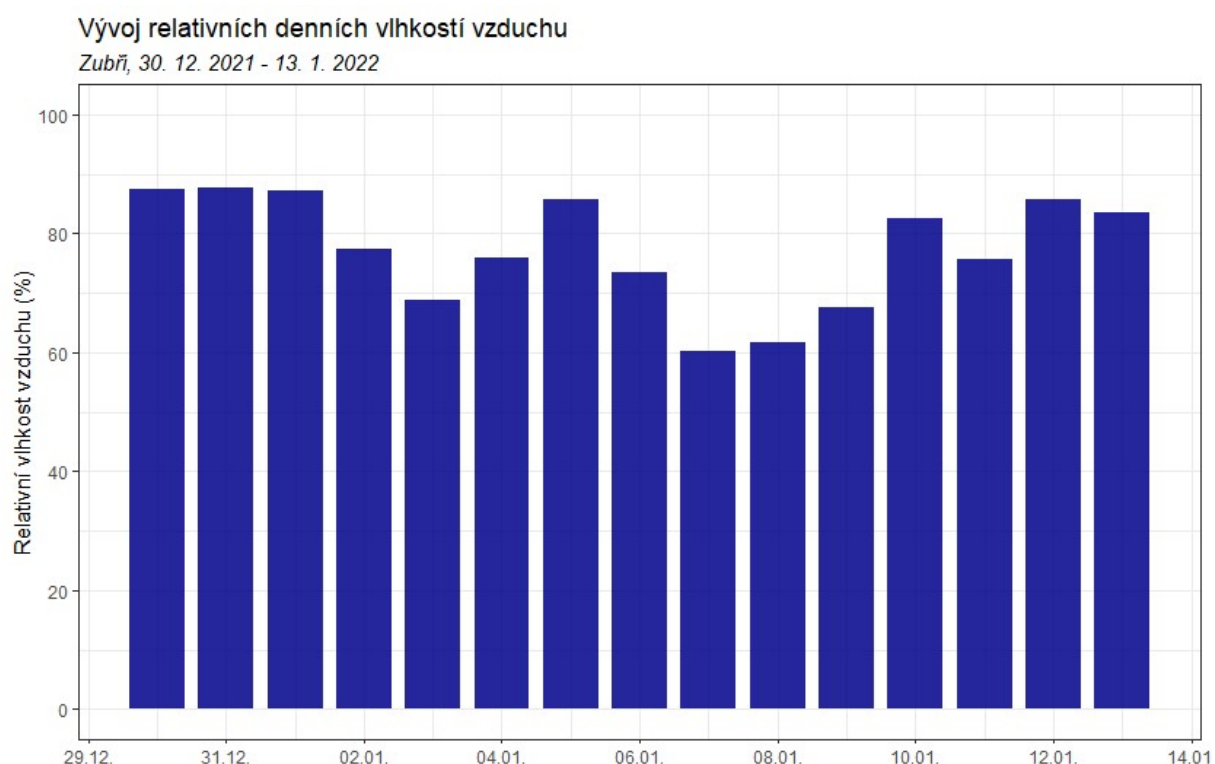


Obr. 3 – Průměrné denní teploty vzduchu, Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

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.

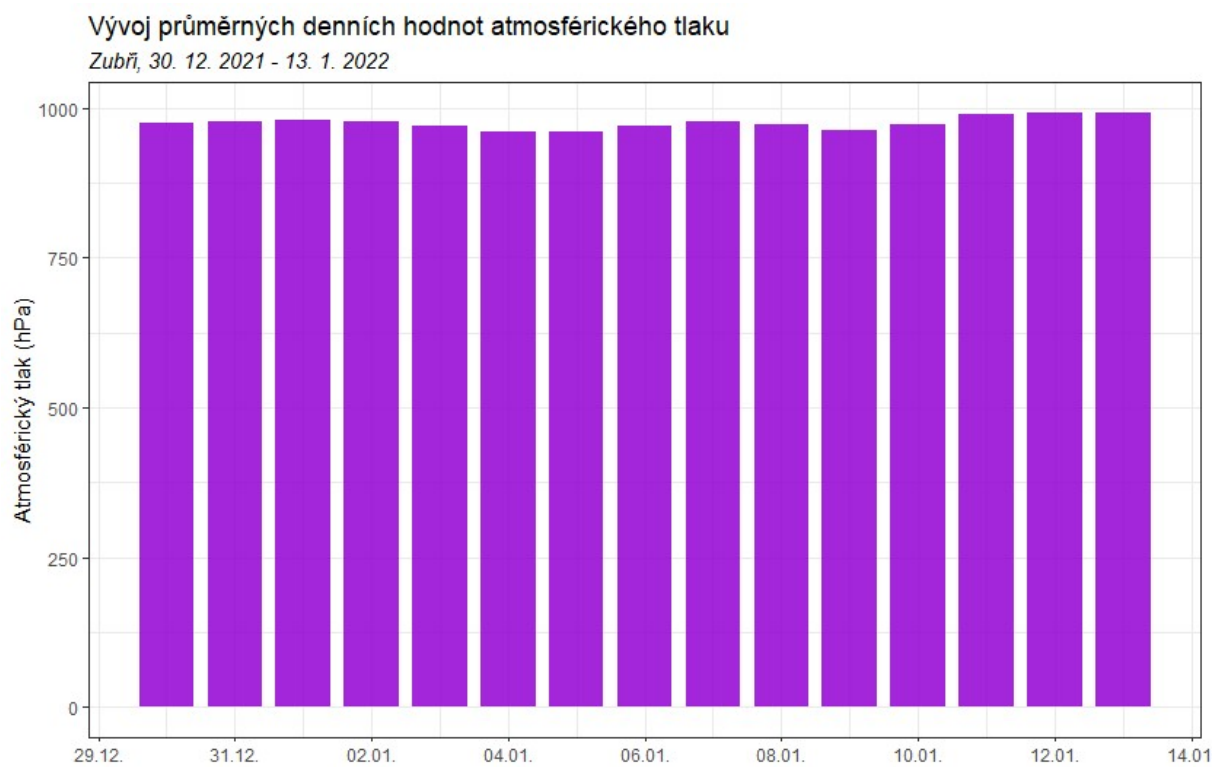
Následující Obr. 4 zobrazuje průměrné denní relativní vlhkosti vzduchu naměřené v lokalitě Zubří. Z grafu vyplývá, že hodnoty relativní vlhkosti se pohybovaly mezi 60 a 90 %, přičemž nejnižší relativní vlhkost byla naměřena dne 7. 1. 2022 (60,2 %).



Obr. 4 - Průměrné denní relativní vlhkosti vzduchu, Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

2.5 ATMOSFÉRICKÝ TLAK

Následující Obr. 5 zobrazuje denní hodnoty atmosférického tlaku v lokalitě Zubří. Ten vykazoval během sledovaného období jen nepatrné výchyly v trendu.



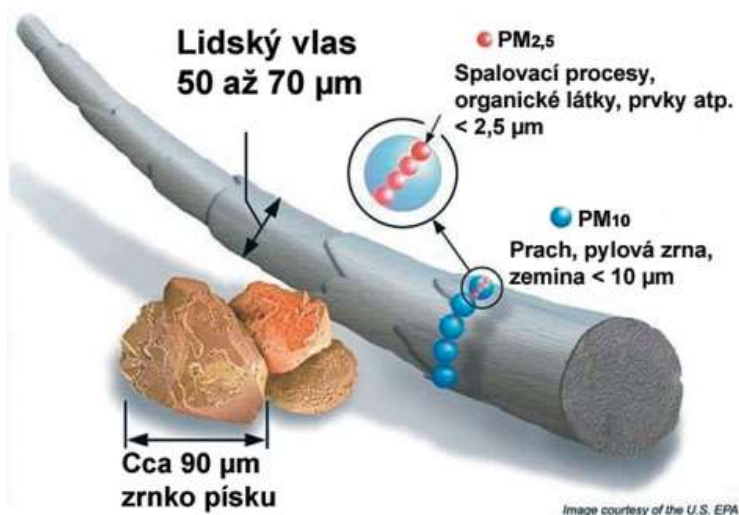
Obr. 5 – Průměrné denní hodnoty atmosférického tlaku, Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

3 VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ

3.1 SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{10} A $PM_{2,5}$

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 PM_{10} (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. 6.

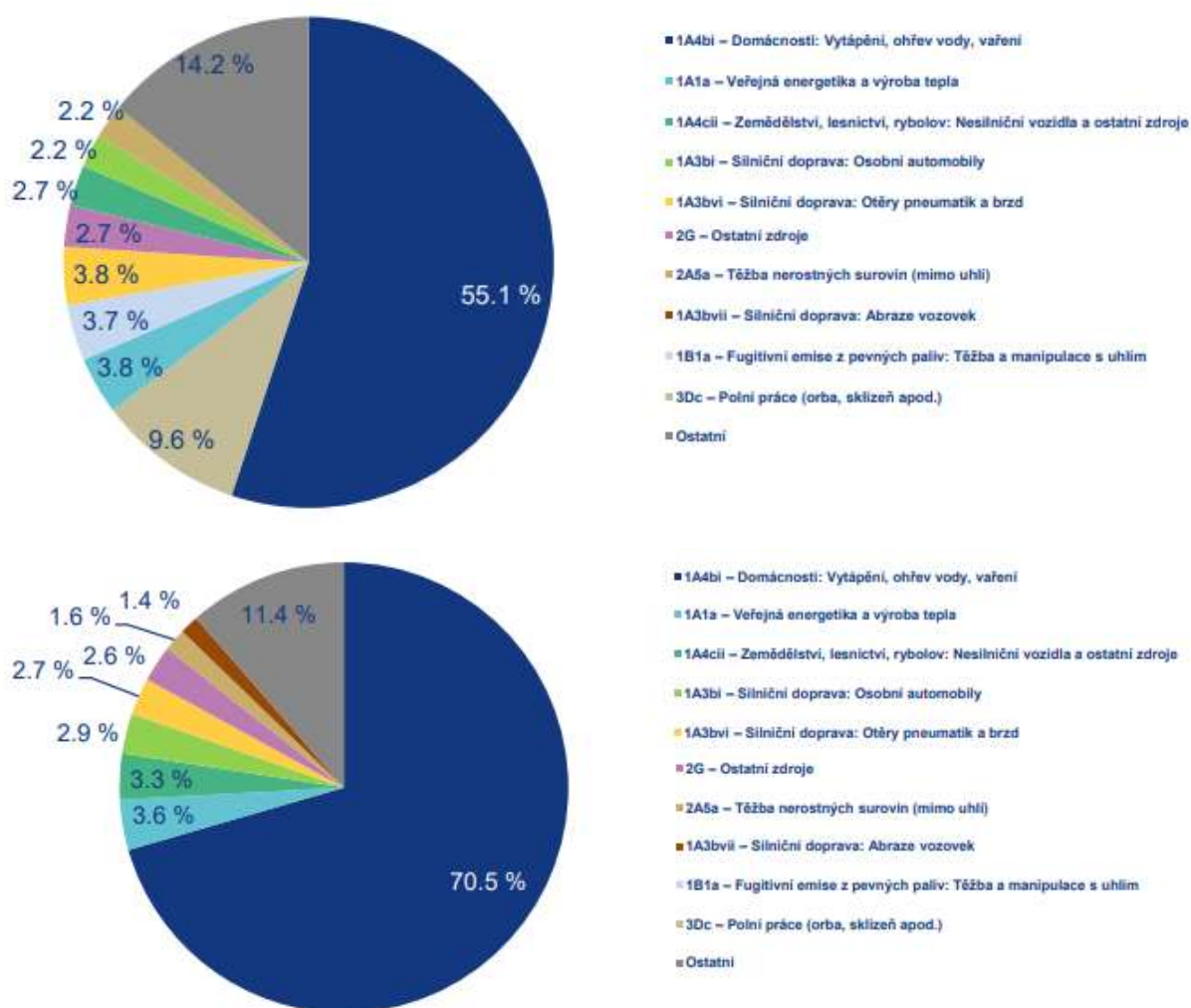


Obr. 6 – Srovnání velikostí částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ s lidským vlasem a zrnkem písku. Zdroj: US EPA

Emisní inventury částic PM_{10} 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 prашných materiálů, operace s prашnými materiály apod.). Zahrnuty jsou rovněž emise z otěrů pneumatik, brzdového obložení a abraze vozovek vypočítávané z dopravních výkonů. Kvalitu ovzduší ovlivňuje rovněž resuspenze částic (znovuzvření), která do standardně prováděných emisních inventur není zahrnuta.

Mezi hlavní zdroje emisí částic v roce 2019 patřil sektor 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření, který se podílel na znečišťování ovzduší v celorepublikovém měřítku látkami PM_{10} 55,1 % a $PM_{2,5}$ 70,5 %. Mezi další významné zdroje emisí PM_{10} patřil sektor 3Dc – Polní práce, kde tyto emise vznikají při zpracování půdy, sklizni a čištění zemědělských plodin. Tento sektor představoval 9,6 % emisí PM_{10} . Z hlediska účinku na lidské zdraví jsou velkým rizikem emise částic pocházející z dopravy, především ze spalování paliv ve vznětových motorech, které produkují částice o velikosti jednotek až

stovek nanometrů [5]. Mobilní zdroje se na emisích PM_{10} v roce 2019 podílely 12,2 % a na emisích $PM_{2,5}$ také 12,2 % [6].

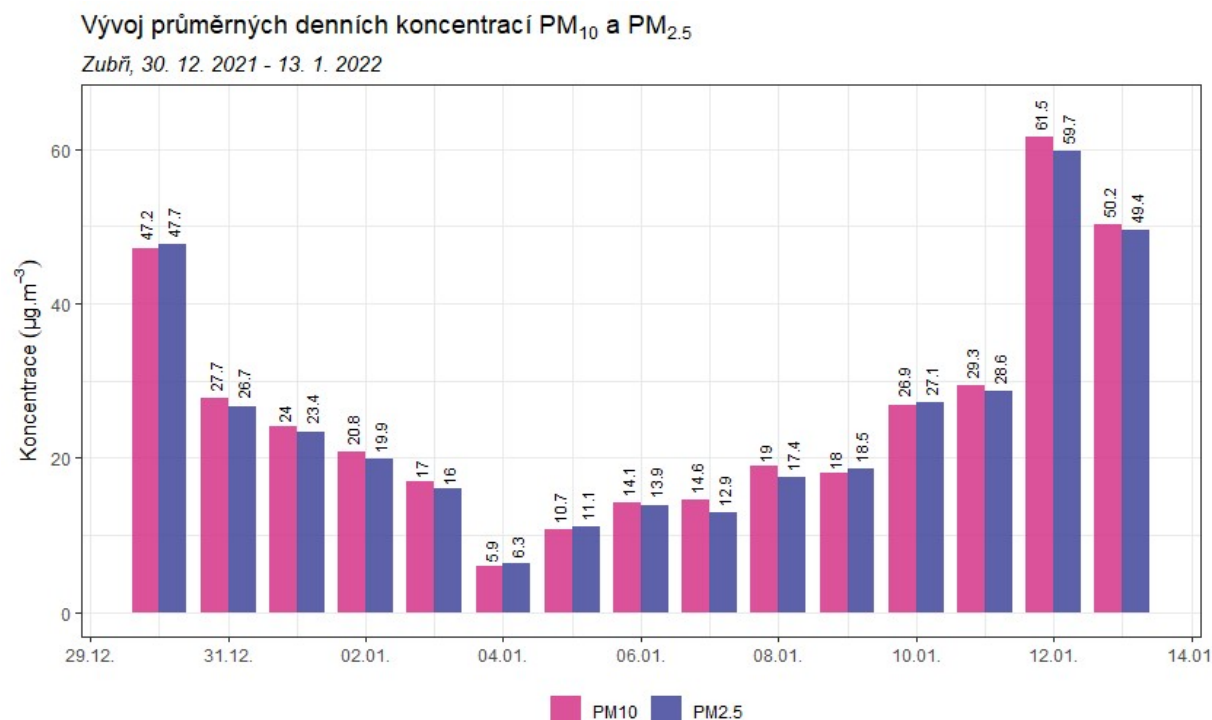


Obr. 7 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích PM_{10} (nahoře) a $PM_{2,5}$ (dole) v ČR, rok 2019 [6]

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 $1\ \mu m$ [7], [8].

3.1.1 Průměrné denní koncentrace prašného aerosolu

Vývoj průměrných denních koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ v lokalitě Zubří zobrazuje následující Obr. 8. Z grafu je patrné, že koncentrace jemnější frakce $PM_{2,5}$ do značné míry kopírují hrubší frakci PM_{10} a z velmi velké části tak PM_{10} tvoří.

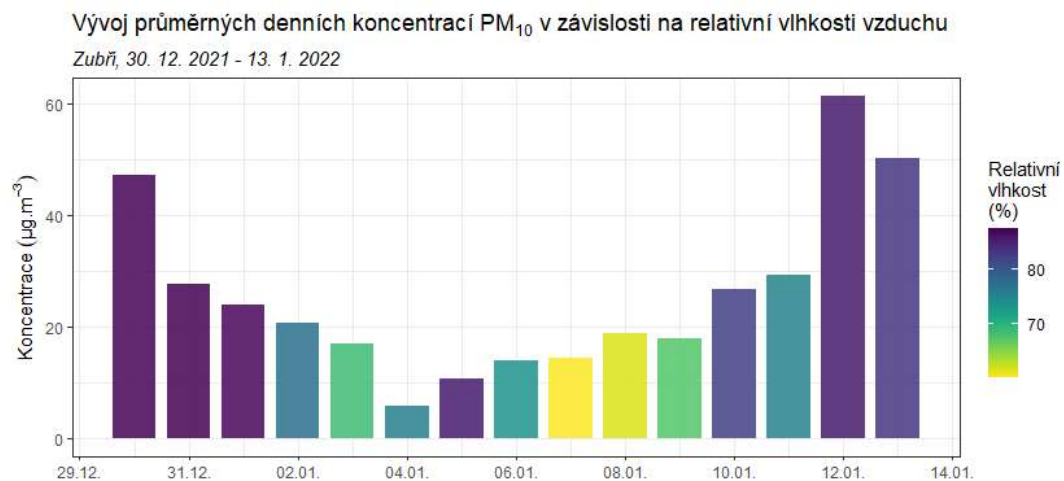
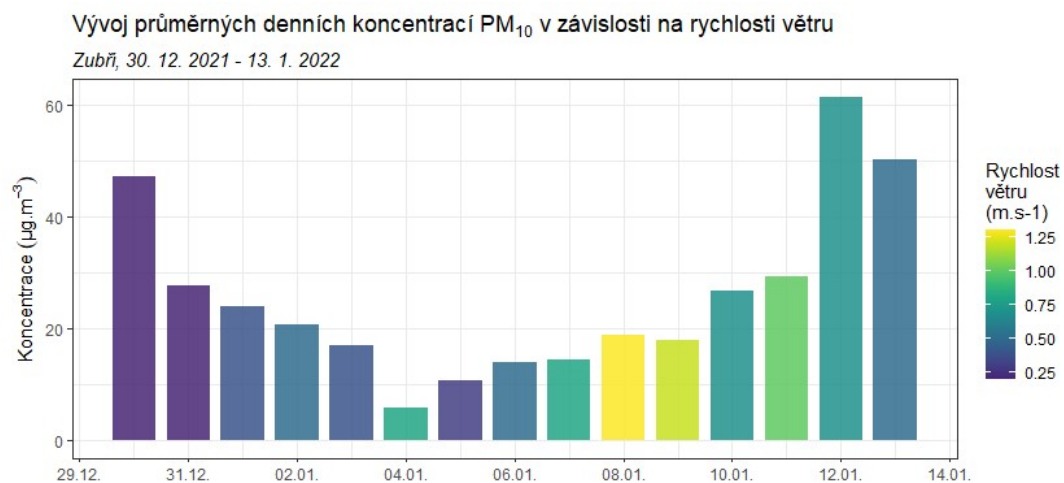
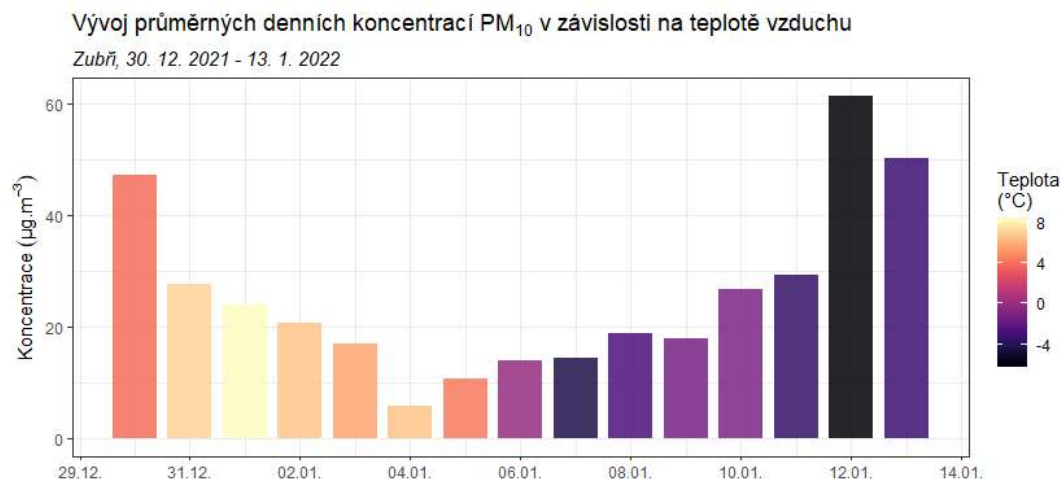


Obr. 8 – Vývoj průměrných hodinových koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$, Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

Průměrné denní koncentrace vyšší, než je hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM_{10} ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), se vyskytly v měřeném období 2x ke konci kampaně (12. a 13. 1.). V jednom kalendářním roce se může vyskytnout maximálně 35 dní s koncentrací vyšší než $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, pokud jich je více, dochází k překročení imisního limitu.

Vzhledem k tomu, že jsou trend i hodnoty PM_{10} a $PM_{2,5}$ téměř totožné (Obr. 8), bude vliv meteorologických podmínek zobrazen pouze pro PM_{10} , avšak totéž platí i pro jemnější frakce.

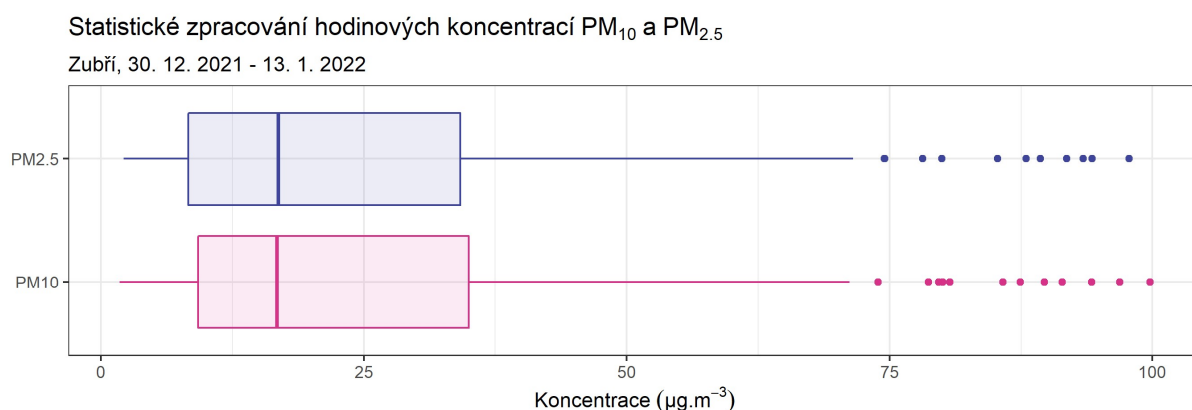
Na Obr. 9 jsou nad sebou zobrazeny 3 grafy. Sloupce vždy zobrazují vývoj koncentrací PM_{10} , zbarvení křivky na horním grafu vždy zobrazuje aktuální teplotu vzduchu, v prostředním grafu pak rychlost proudění větru a ve spodním relativní vlhkost vzduchu. Z grafů je pak patrné, že nejvyšší koncentrace PM_{10} byly naměřeny při nízkých teplotách vzduchu a nízkých rychlostech větru. To jsou mimo jiné podmínky charakteristické pro teplotní inverzi, která má výrazně negativní vliv na zvýšenou úroveň koncentrací znečišťujících látek v ovzduší. Nízké teploty se dále promítnou do zvýšené potřeby topit, takže se i zvyšují emise z lokálních topenišť – v chladné části roku nejvýznamnější zdroj prašnosti. Je tedy pravděpodobné, že hlavním zdrojem zvýšených koncentrací prašného aerosolu při nejnižších teplotách vzduchu jsou lokální topeniště v okolí měřicí lokality. Nízké rychlosti větru pak zabraňují dostatečnému rozptylu škodlivin a koncentrace se tak neustále zvyšují, což je zřejmé především v úvodu měřicí kampaně.



Obr. 9 – Vliv teploty vzduchu (nahore), rychlosti větru (uprostřed) a relativní vlhkosti vzduchu (dole) na koncentrace PM₁₀, Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

3.1.2 Analýza hodinových koncentrací prašného aerosolu – denní chod a koncentrační růžice

Statistické zpracování hodinových koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ zobrazuje následující Obr. 10. Je z něj patrné, že obě veličiny dosahují velmi podobných charakteristik včetně mediánu hodnot. Koncentrace PM_{10} dosahují mírně vyšší absolutní maximum. Maximální hodinová koncentrace PM_{10} měla během sledovaného období v této lokalitě hodnotu $99,8 \mu g \cdot m^{-3}$ a byla naměřena 12. 1. 2021 v 05:00.



Obr. 10 – Statistické zpracování hodinových koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$, Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

Číselně zobrazuje statistické údaje hodinových koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ během kampaně následující Tab. 2.

Tab. 2 – Statistické parametry průměrných hodinových koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ ($\mu g \cdot m^{-3}$), Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

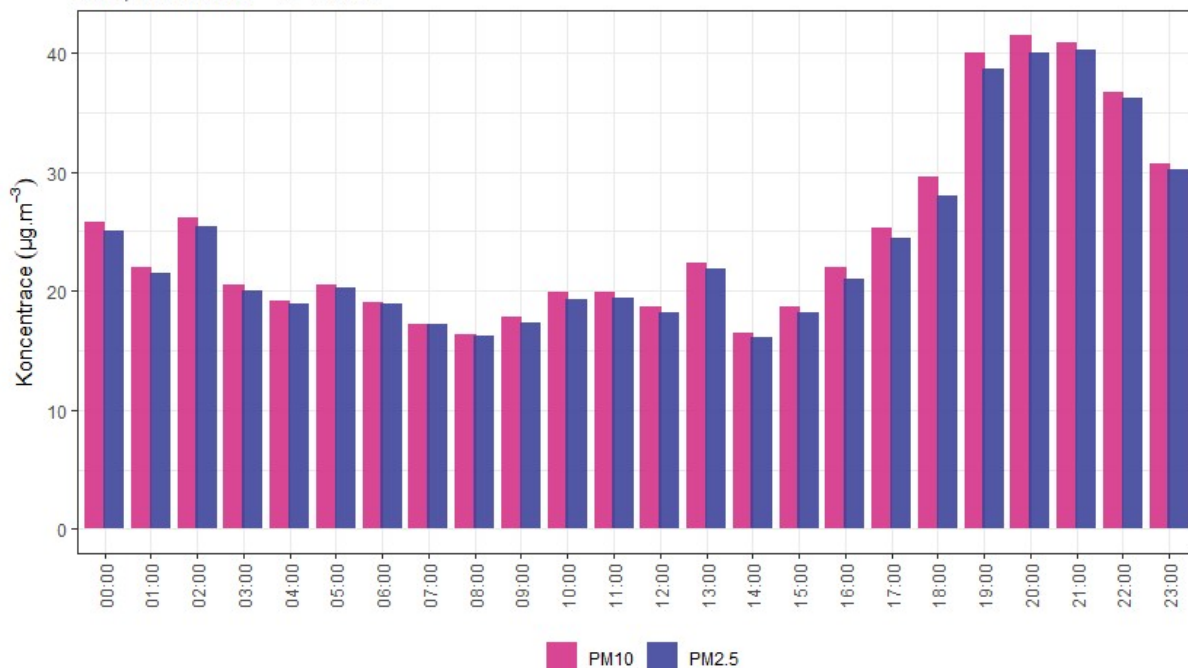
STATISTIKA	PM_{10}	$PM_{2,5}$
PRŮMĚR	24,4	23,8
MAXIMUM	99,8	97,8
MEDIÁN	16,7	16,9
MINIMUM	1,8	2,2

Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ v lokalitě Zubří. Denní chod koncentrací zobrazuje Obr. 11.

Z grafů je patrné, že nejvyšší hodnoty koncentrací PM_{10} jsou dosahovány ve večerních a nočních hodinách. Je to velmi pravděpodobně důsledek návratu lidí z práce a zatopení v lokálních topeništích, které tak plošně navyšují hodnoty koncentrací prašného aerosolu v území. Svůj vliv mají také rozptylové podmínky, které bývají v noci horší. Nárůst začíná okolo 17. hodiny a hodnoty zůstávají zvýšené zhruba do 21. hodiny. Poté dochází k postupnému poklesu koncentrací až do 8. hodiny ránní, kdy dochází k ranní špičce, která je patrně také závislá na zatopení v lokálních topeništích během ranních hodin. Mírně zvýšené hodnoty jsou pak měřeny během dopoledne.

Průměrný denní chod hodinových koncentrací PM₁₀ a PM_{2.5}

Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

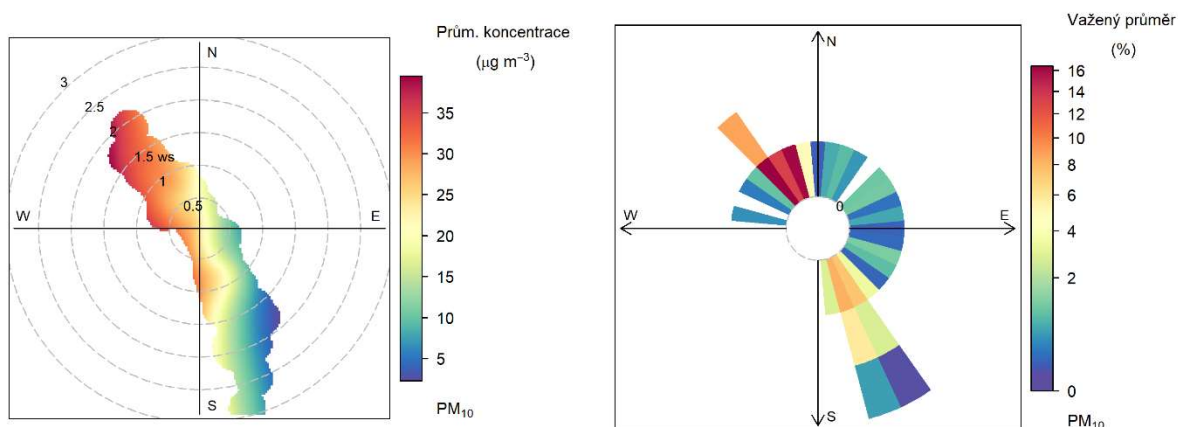


Obr. 11 – Denní chod hodinových koncentrací PM₁₀, PM_{2.5} a PM₁, Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

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.

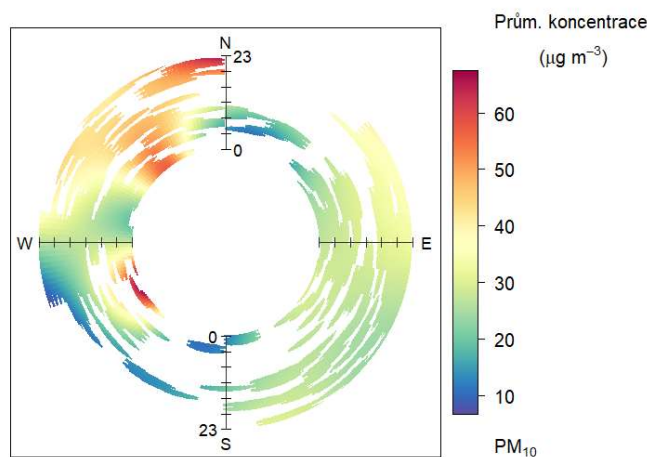
Následující Obr. 12 zobrazuje tyto dva typy koncentračních růžic pro lokalitu Zubří.



Obr. 12 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro PM_{10} , Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

Z Obr. 12 vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při severozápadním proudění. Co se týče relativního příspěvku k měřeným koncentracím, převládají rovněž severozápadní směry větru (z těchto směrů fouká nejčastěji) a nízké rychlosti větru. Na SZ od měřicí lokality není patrný žádný významný velký emisní zdroj prашného aerosolu, proto je pravděpodobné, že největší příspěvek k naměřeným koncentracím při SZ proudění mají lokální topeniště.

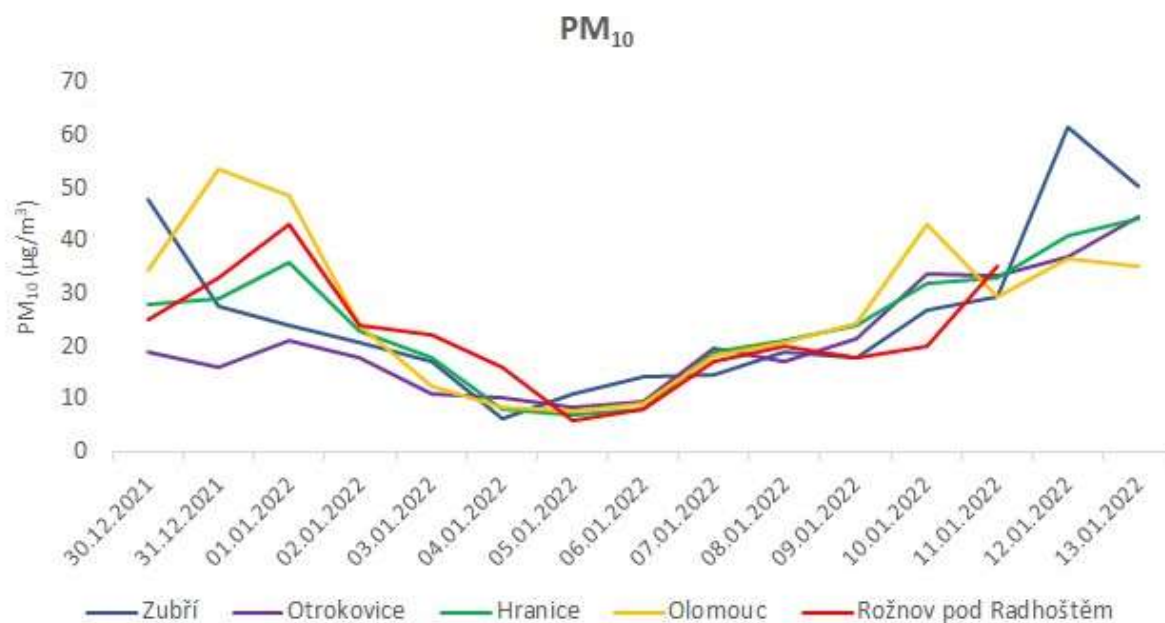
Cenné informace poskytuje rovněž průměrný denní chod členěný dle směru větru. Uprostřed kruhu je první hodina po půlnoci a na okraji pak 23. hodina.



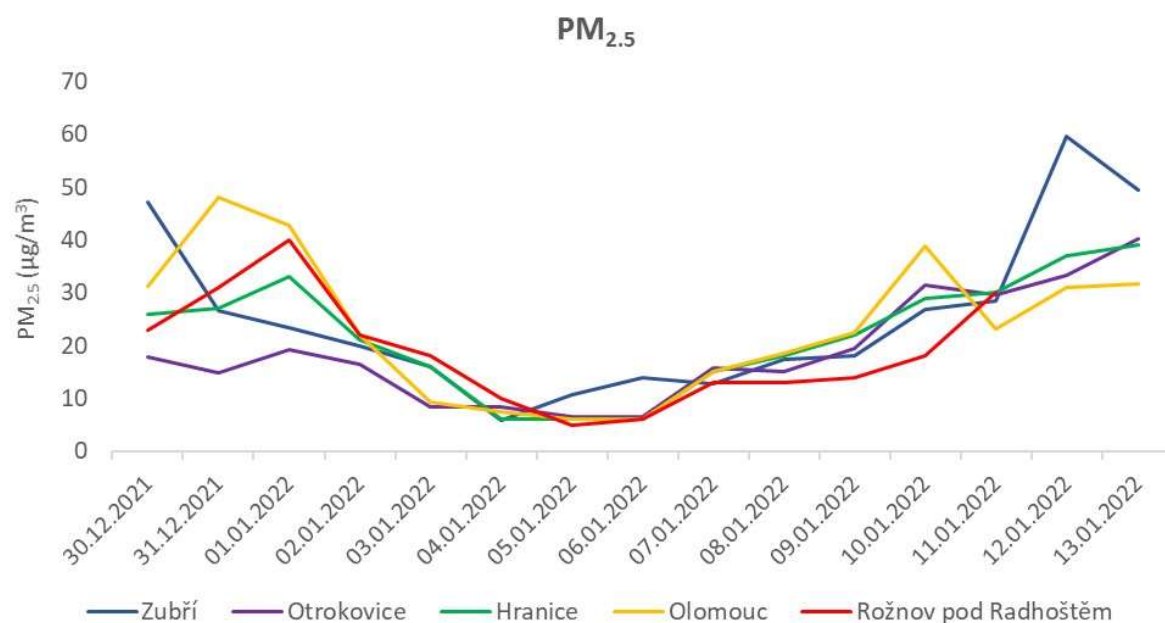
Obr. 13 – Průměrný denní chod (vlevo) a roční chod (vpravo) koncentrací dle směru větru, Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

Z Obr. 13 pak vyplývá, že v případě lokality Zubří byly nejvyšší koncentrace PM_{10} měřeny ve večerních a nočních hodinách, a to zejména ze severních až severozápadních směrů. V brzkých ranních hodinách byly zvýšené koncentrace zaznamenány rovněž ze západu.

3.1.3 Srovnání koncentrací prašného aerosolu s okolními stanicemi a s měřicí kampaní v roce 2014



Obr. 14 – Srovnání koncentrací PM₁₀ s okolními stanicemi 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

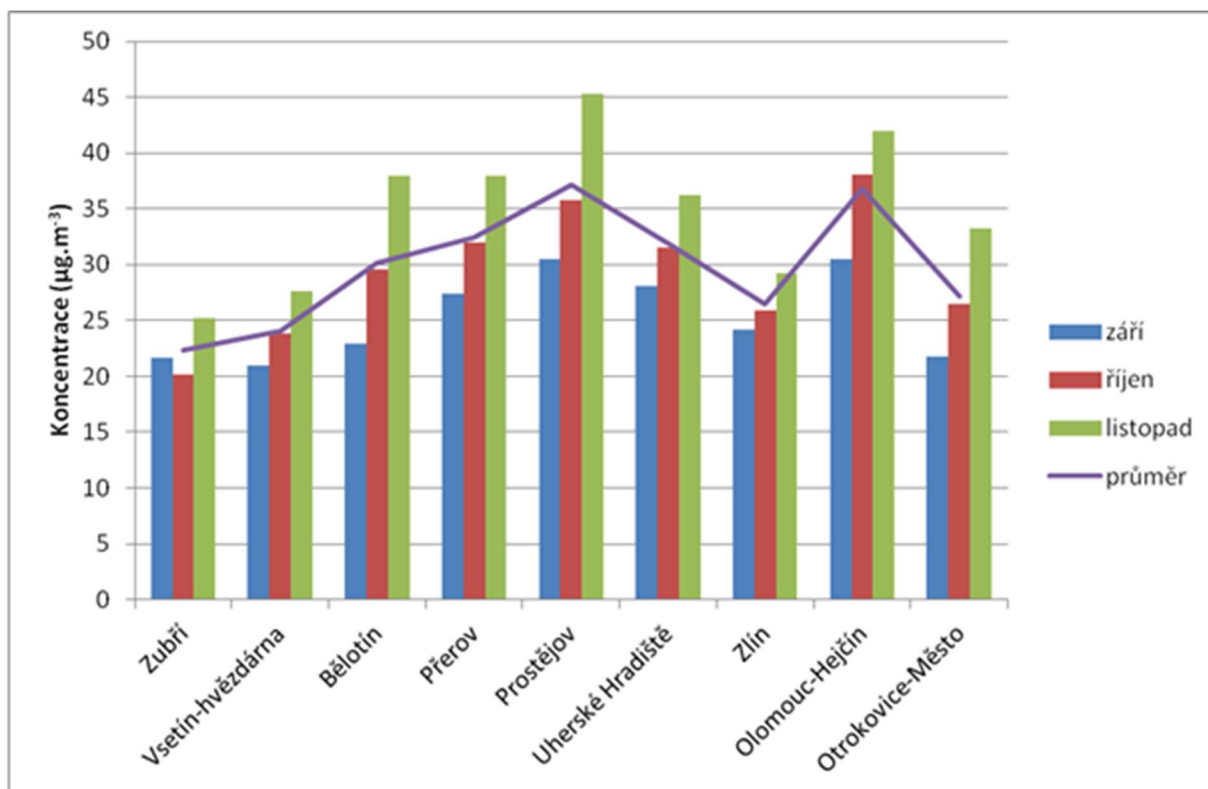


Obr. 15 – Srovnání koncentrací PM_{2.5} s okolními stanicemi 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

Na Obr. 14 a 15 je znázorněno porovnání koncentrací prašného aerosolu frakcí PM₁₀ a PM_{2.5} s vybranými stanicemi v regionu. Z grafu je patrné, že naměřené koncentrace v rámci měřicí kampaně

v Zubří odpovídají hodnotám naměřeným na okolních měřicích stanicích. Nejvyšší průměrné koncentrace byly naměřeny v lokalitě Olomouc, naopak nejnižší v Otrokovicích.

Uvedené zjištění je mírně v kontrastu se stavem, který byl zjištěn při měření v roce 2014 (viz Obr. 16), kdy koncentrace PM_{10} naměřené v lokalitě Zubří (prakticky stejná lokalita měření) byly v porovnání s okolními stanicemi o poznání nižší. Je složité srovnávat obě kampaně vzhledem k délce jejich trvání (3 měsíce X 2 týdny), jelikož během dvoutýdenní kampaně mohou mít vliv krátkodobé procesy či vlivy v okolí, ale i tak lze konstatovat, že je zde patrný negativní trend v lokalitě Zubří v porovnání s okolím.



Obr. 16 – Průměrné měsíční koncentrace PM_{10} a celkový průměr za měřené období v Zubří a na okolních stanicích AIM během kampaně v roce 2014

3.2 OXIDY DUSÍKU NO₂, NO A NO_x

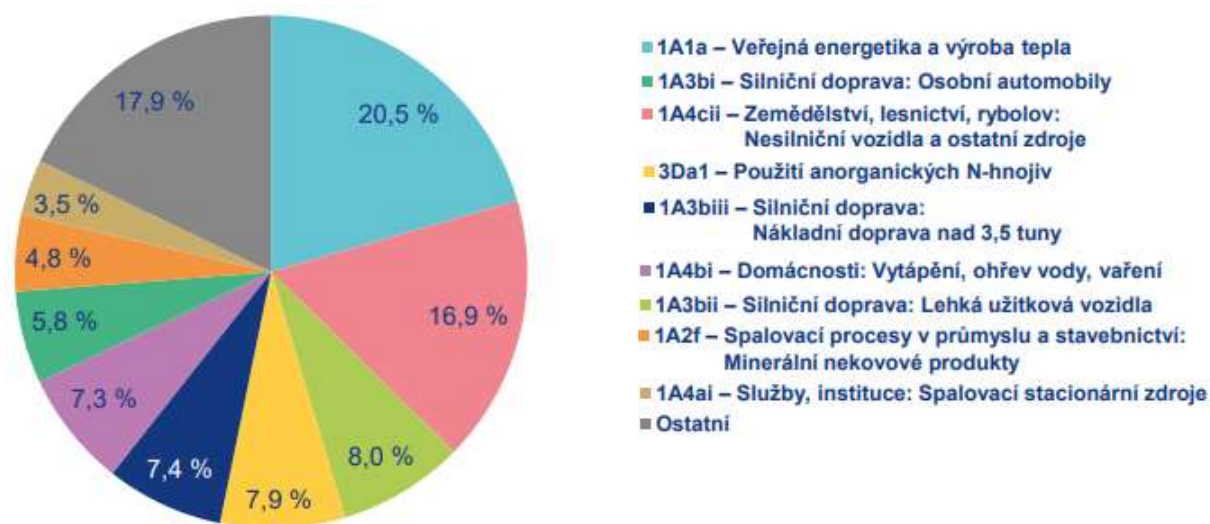
Při sledování a hodnocení kvality venkovního ovzduší se pod termínem oxidy dusíku (NO_x) rozumí směs oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO₂) [9].

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 [10]. 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 [11].



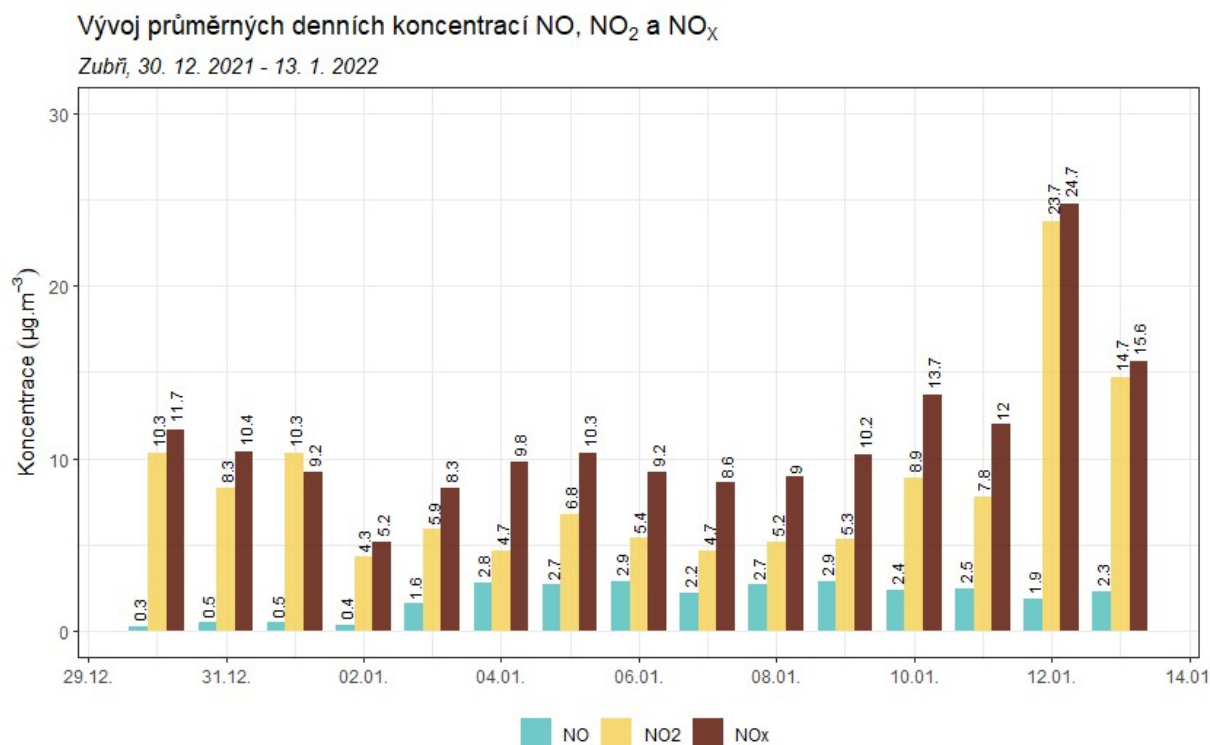
Obr. 17 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích NO_x v ČR, rok 2019 [6]

Největší množství emisí NO_x pochází z mobilních zdrojů. Sektory 1A3bi – Silniční doprava: Osobní automobily, 1A4cii – Zemědělství, lesnictví, rybolov: Nesilniční vozidla a ostatní stroje, 1A3biii – Silniční

doprava: Nákladní doprava nad 3,5t a 1A3bii – Lehká užitková vozidla se na celorepublikových emisích NO_x v roce 2019 podílely 38,1 %. Ze sektoru 1A1a – Veřejná energetika a výroba tepla bylo do ovzduší vneseno 20,5 % emisí NO_x . Nově byly v celém období dopočteny emise sektoru Použití anorganických N-hnojiv, které se v roce 2019 na celkových emisích podílely 7,9 % [6].

3.2.1 Průměrné denní koncentrace NO , NO_2 a NO_x

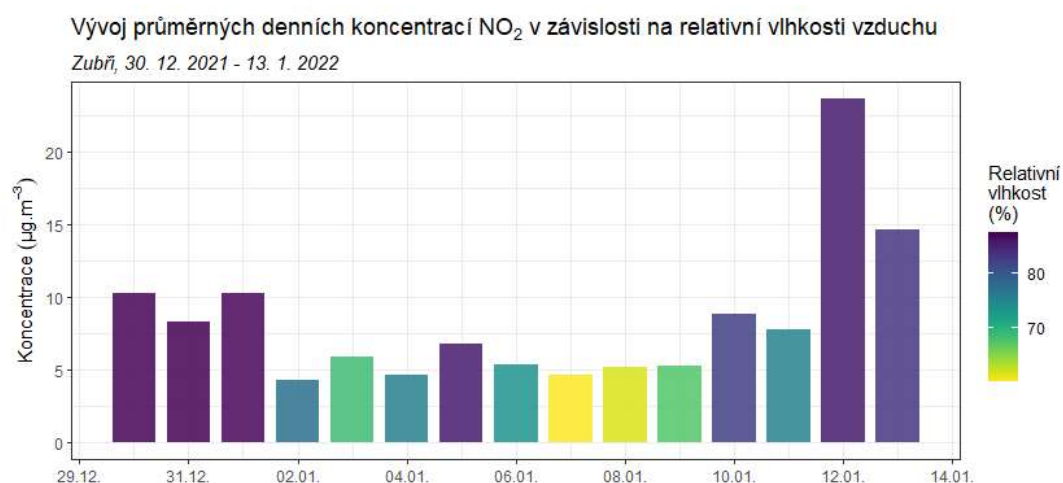
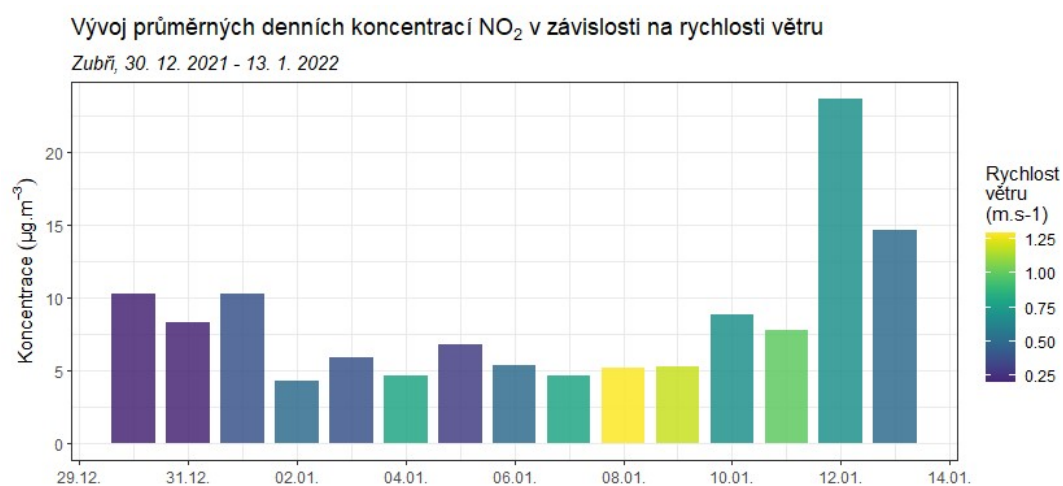
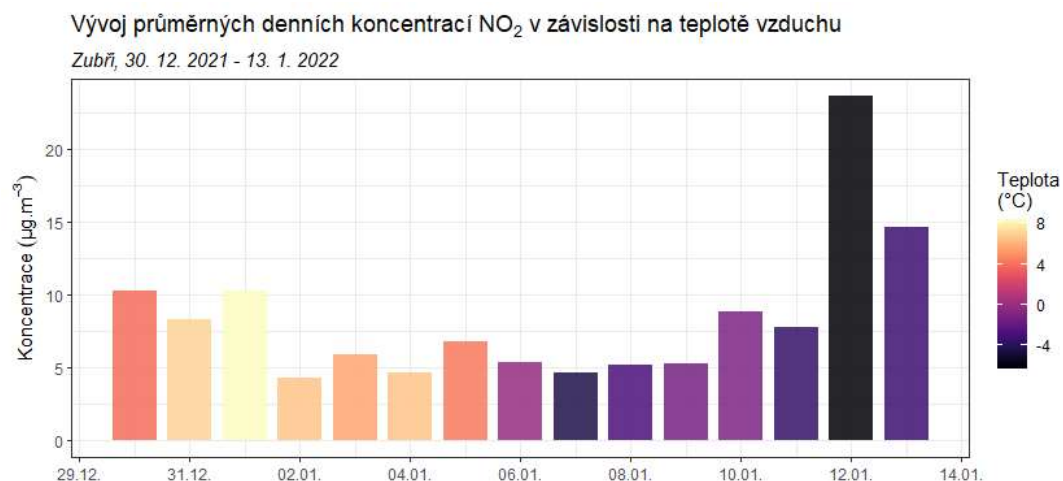
Vývoj průměrných denních koncentrací NO , NO_2 a NO_x v lokalitě Zubří zobrazuje následující Obr. 18.



Obr. 18 – Vývoj průměrných hodinových koncentrací NO , NO_2 a NO_x , Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

Z grafu je patrné, že koncentrace NO jsou proti koncentracím NO_2 jsou zhruba poloviční. Poměr NO / NO_2 za celou kampaň dosáhl hodnoty 0,67. To naznačuje jisté ovlivnění lokality dopravou. Dokládají to i velmi nízké hodnoty NO v době konce vánočních prázdnin a následujícího víkendu, kdy byl poměr NO / NO_2 velmi nízký a ovlivnění dopravou tak prakticky zanedbatelné a dominantním emisním zdrojem, který ovlivňoval v tomto období koncentrace oxidů dusíku tak byly především lokální topeniště. Celkově jsou však koncentrace NO_x v lokalitě nízké. Všechny hodnoty koncentrací NO_2 (ale i NO_x) se pohybují hluboko pod hodnotou imisního limitu pro průměrnou roční koncentrací NO_2 ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

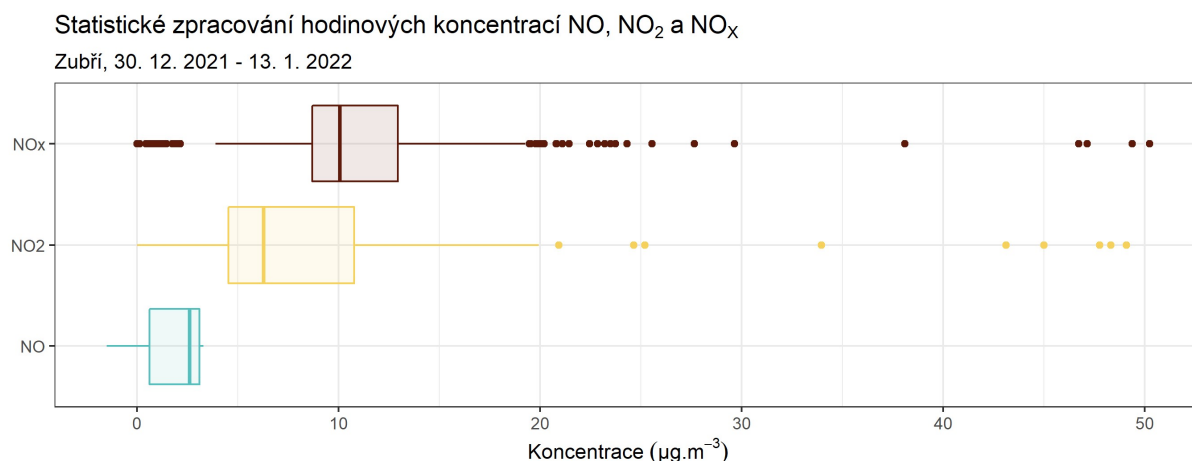
Vzhledem k tomu, že imisní limit je stanoven pouze pro koncentrace NO_2 , bude vliv meteorologických podmínek zobrazen pouze pro tuto látku. Na Obr. 19 jsou nad sebou zobrazeny 3 grafy. Sloupce vždy zobrazují vývoj koncentrací NO_2 v dané lokalitě. Zabarvení křivky na horním grafu vždy zobrazuje aktuální teplotu vzduchu, v prostředním grafu pak rychlost proudění větru a ve spodním grafu relativní vlhkost. Z grafů je patrné, že na koncentrace NO_2 má vliv jak teplota, tak rychlost větru. Nejvyšší koncentrace jsou pak měřeny při velmi nízkých rychlostech větru, resp. při nízkých teplotách.



Obr. 19 – Vliv teploty (nahore) a rychlosti větru (uprostřed) a relativní vlhkosti (dole) na koncentrace NO₂, Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

3.2.2 Analýza hodinových koncentrací – denní chod a koncentrační růžice

Statistické zpracování hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x zobrazuje následující Obr. . Je z něj patrné, že koncentrace NO jsou nižší než koncentrace NO₂. Koncentrace NO₂ nepřesahují 50 µg/m³, tedy se ani vzdáleně neblíží hodnotě imisního limitu pro maximální hodinovou koncentraci NO₂ (200 µg/m³). Maximální hodinová koncentrace NO₂ měla v této lokalitě hodnotu 49,1 µg/m³ a byla naměřena 12. 1. 2022 ve 03:00.



Obr. 20 – Statistické zpracování hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x, Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

Číselně zobrazuje statistické údaje hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x během kampaně následující Tab. 3.

Tab. 3 – Statistické parametry průměrných hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x (µg·m⁻³), Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

STATISTIKA	NO	NO ₂	NO _x
PRŮMĚŘ	2	8,2	11,1
MAXIMUM	3,3	49,1	50,2
MEDIÁN	2,6	6,3	10,1
MINIMUM	0	0	0

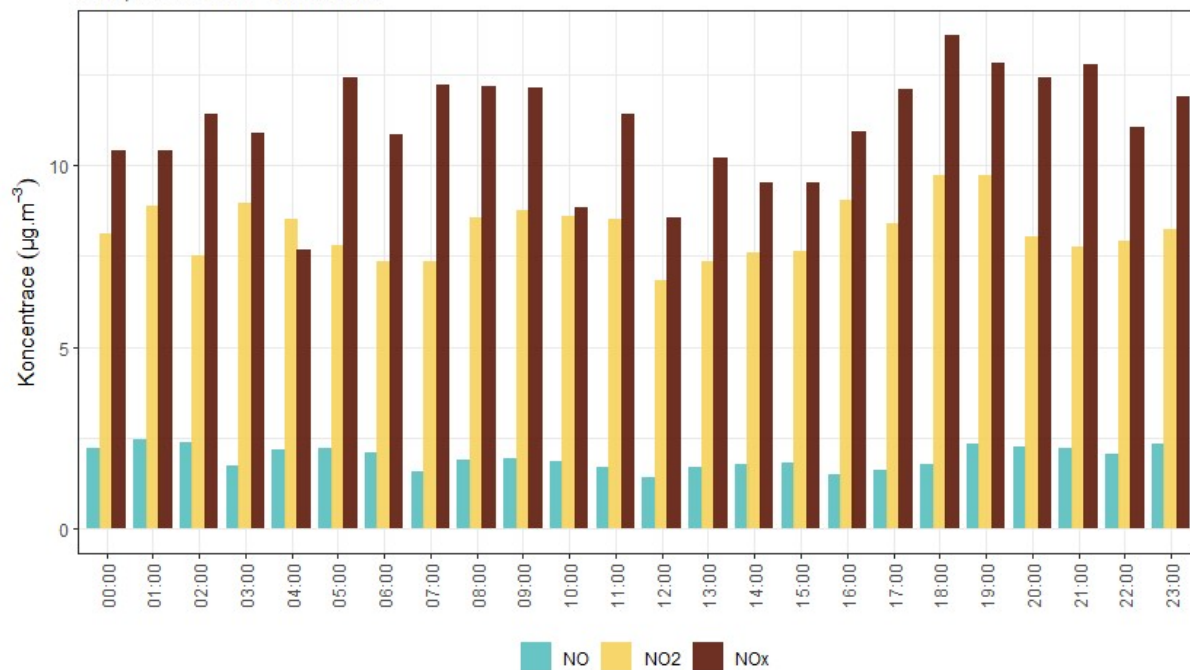
Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod koncentrací NO, NO₂ a NO_x v lokalitě Zubří. Denní chod zobrazuje následující Obr. .

Z grafů je patrné, že denní chod koncentrací NO₂ nebyl příliš výrazný, ale je zřejmé, že nejvyšší hodnoty byly dosahovány v době ranní a odpolední dopravní špičky. Večerní hodnoty jsou patrně navýšeny o vliv lokálních topenišť, vytápění domácností. Přesto jsou koncentrace NO₂ nízké, typické pro pozadřové lokality. Okolo poledne dochází k mírnému poklesu koncentrací, což může být s výjimkou menšího vlivu lokálních topenišť částečně způsobeno spotřebováním NO₂ na tvorbu přízemního ozónu. Tato reakce

probíhá pouze díky slunečního záření, proto lze největší úbytek koncentrací NO_2 očekávat okolo poledne.

Průměrný denní chod hodinových koncentrací NO , NO_2 a NO_x

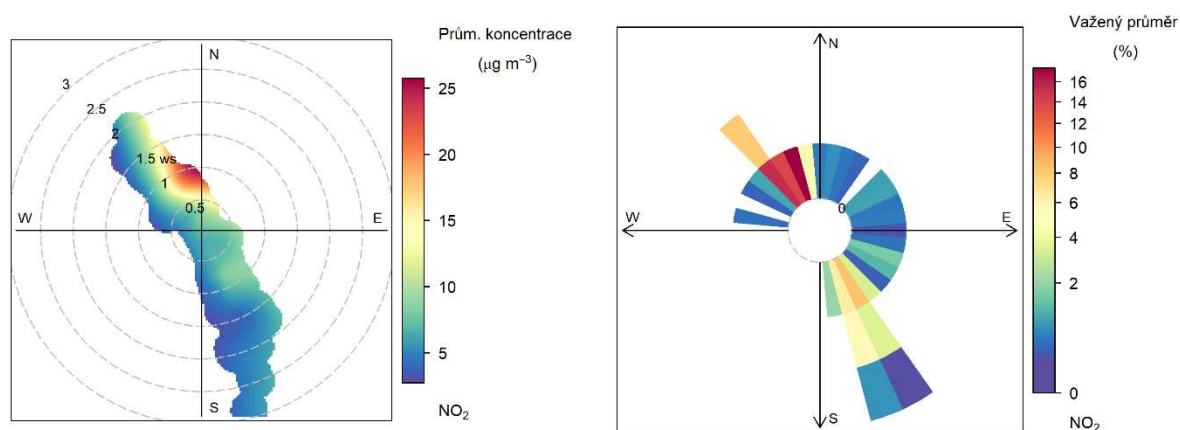
Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022



Obr. 21 – Denní chod hodinových koncentrací NO_2 , Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

Vysvětlení podstaty koncentračních růžic je uvedeno v kapitole 3.1.2.

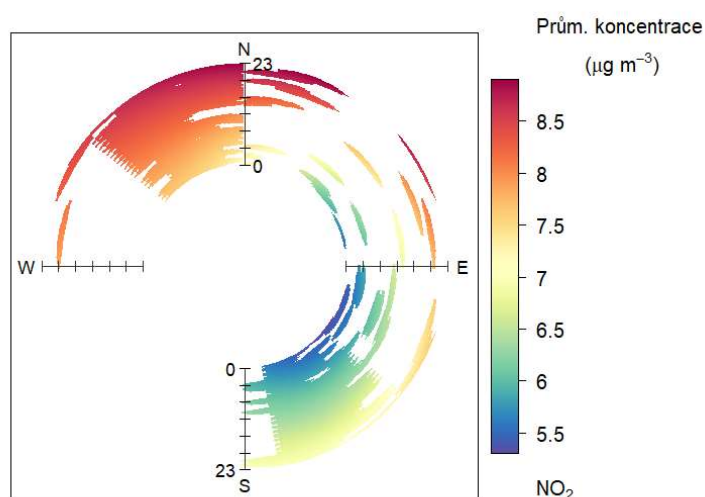
Následující Obr. zobrazuje dva typy koncentrační a váženou koncentrační růžici pro lokalitu Zubří.



Obr. 22 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro NO_2 , Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

Z Obr. vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při severním až severozápadním proudění. Nízké rychlosti větru a severozápadní proudění (nejčastější směr proudění dle větrné růžice) pak nejvíce přispívaly k měřeným koncentracím NO_2 . Na SZ od měřicí lokality není patrný žádný významný velký emisní zdroj oxidů dusíku, proto je pravděpodobné, že největší příspěvek k naměřeným koncentracím při SZ proudění mají lokální topeniště.

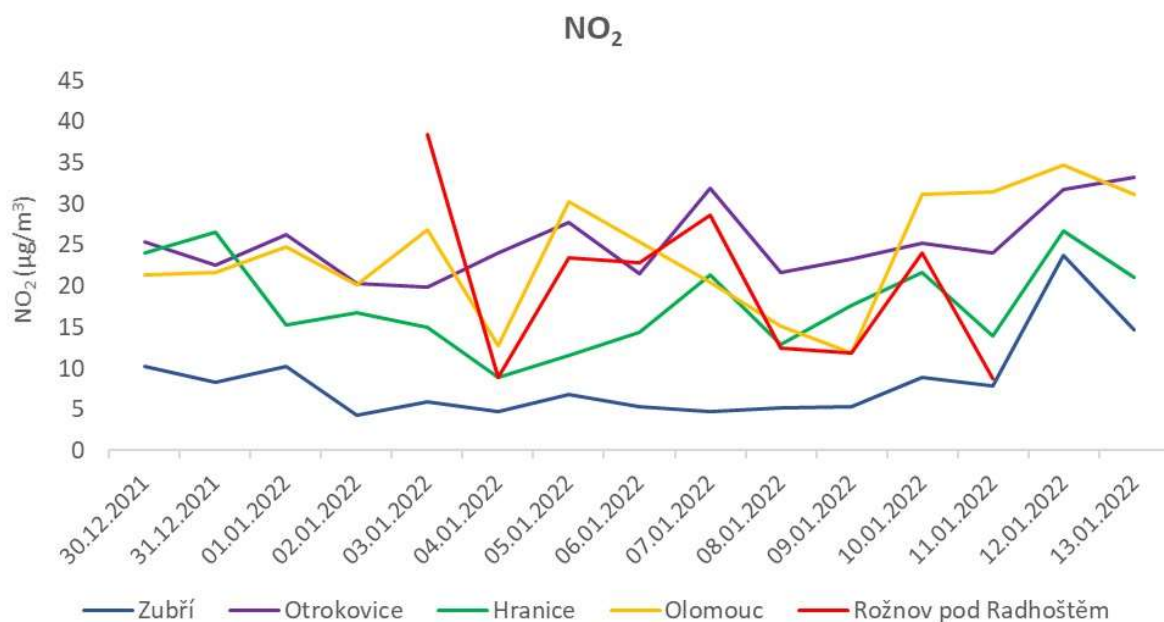
Z Obr. 20 pak vyplývá, že v případě lokality Zubří byly nejvyšší koncentrace NO_2 měřeny při proudění ze severu až severozápadu prakticky celý den s maximy ve večerních hodinách.



Obr. 20 – Průměrný denní chod koncentrací dle směru větru, Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

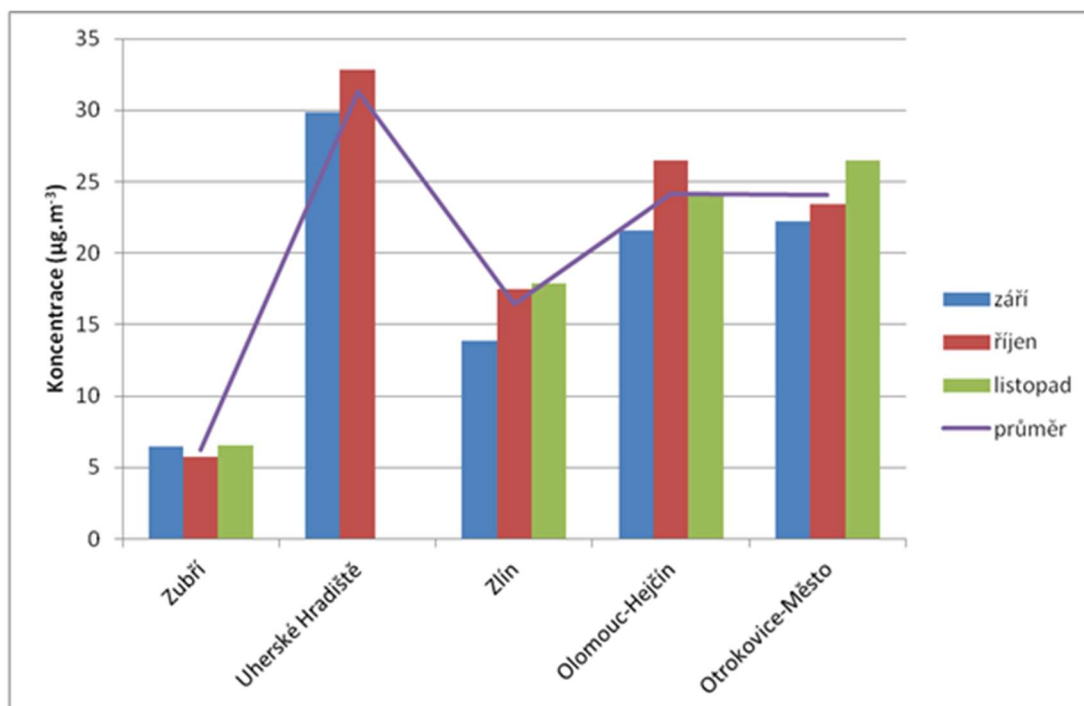
3.2.3 Srovnání koncentrací NO_2 s okolními stanicemi a s měřicí kampaní v roce 2014

Z následujícího Obr. 24 je zřejmé, že na rozdíl od prašného aerosolu jsou koncentrace NO_2 naměřené v lokalitě Zubří o poznání nižší než na vybraných imisních monitorovacích stanicích v regionu. Je to patrně způsobeno tím, že všechny porovnávané stanice jsou městské stanice s poměrně významným vlivem dopravy, kdežto lokalita měření v Zubří byla v obytné zóně mimo významný vliv hlavních dopravních komunikací.



Obr. 21 – Srovnání koncentrací NO₂ s okolními stanicemi 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

Z Obr. 25 je patrné, že koncentrace NO₂ naměřené v letošním roce i v roce 2014 jsou v porovnání s okolními stanicemi významně nižší a není zde patrný jednoznačný zhoršující nebo zlepšující se trend. Lze tedy konstatovat, že se daná lokalita za posledních 7 let z pohledu koncentrací oxidů dusíku příliš nezměnila.



Obr. 22 – Srovnání koncentrací NO_2 s okolními stanicemi naměřené v lokalitě Zubří během kampaně v roce 2014.

3.3 PŘÍZEMNÍ OZÓN

O₃ nemá vlastní významný zdroj. Jedná se o tzv. sekundární látku vznikající v celé řadě velmi komplikovaných nelineárních fotochemických reakcí [12]. 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 [13]. 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 [14]. 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.

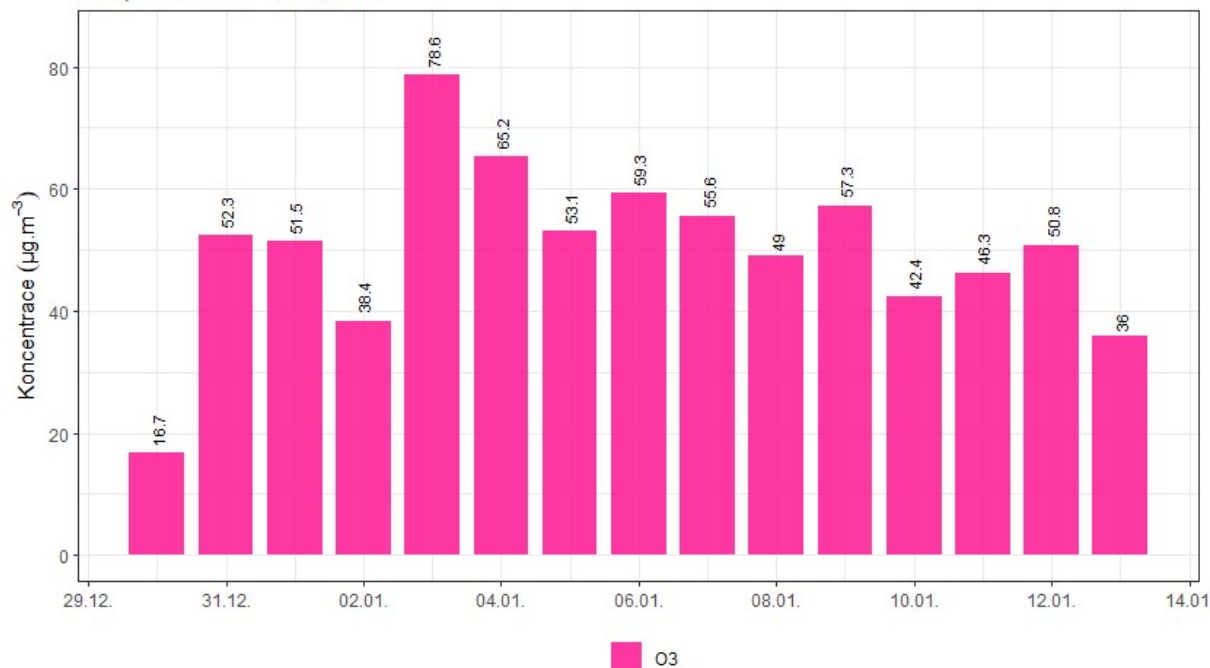
3.3.1 Vývoj nejvyšších 8hodinových klouzavých průměrů za den

Z hlediska ochrany kvality ovzduší stanovuje příloha 1, bod 4 zákona o ochraně ovzduší [15] 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.

Následující Obr. 23 uvádí hodnoty maximálních 8hodinových klouzavých průměrů koncentrací O₃ za den v lokalitě Zubří. Z grafu je patrné, že maximální hodnoty nepřesáhly 80 µg·m⁻³. Je to dáno faktem, že v zimním období jsou koncentrace přízemního ozónu výrazně nižší nežli v teplé části roku.

Vývoj maximálních 8h klouzavých průměrů koncentrací O₃ za den

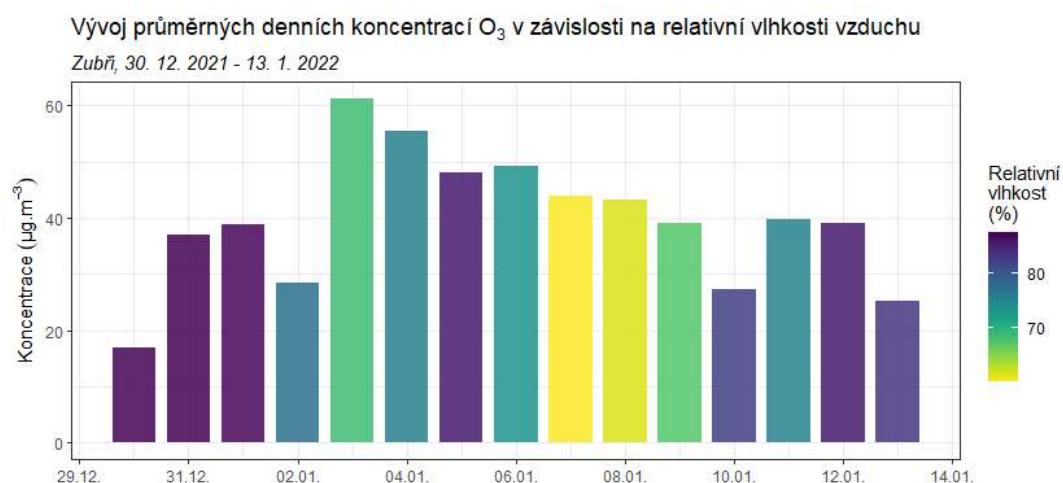
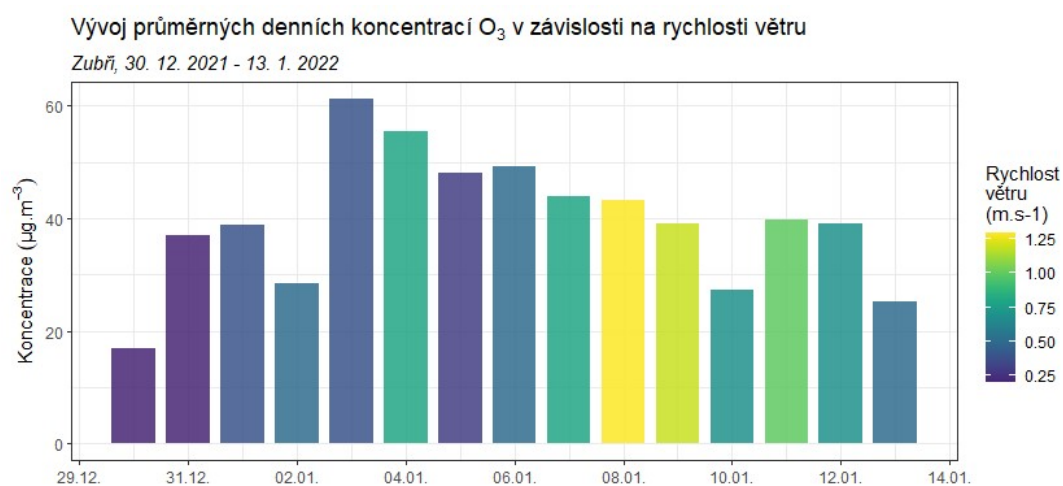
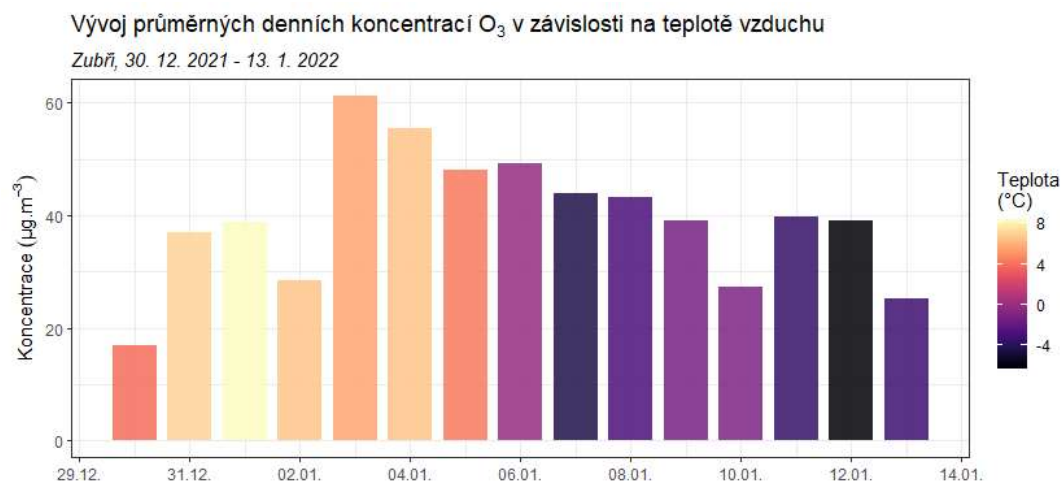
Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022



Obr. 23 – Vývoj 26. nejvyššího 8hodinového klouzavého průměru O₃ za den, lokalita Zubří

Na Obr. 24 jsou nad sebou zobrazeny 3 grafy. Sloupce vždy zobrazují vývoj koncentrací O₃ v dané lokalitě. Zabarvení křivky na horním grafu vždy zobrazuje aktuální teplotu vzduchu, v prostředním grafu pak rychlost proudění větru a ve spodním grafu relativní vlhkost.

Z uvedených grafů vyplývá, že meteorologické podmínky mají na koncentrace O₃ významný vliv, zejména pak teplota (potažmo 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.



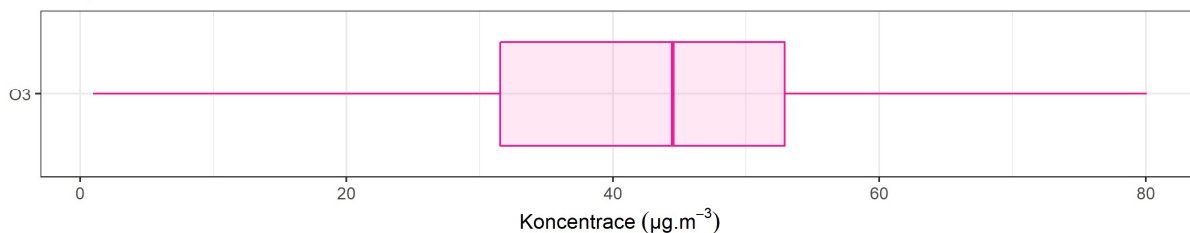
Obr. 24 – Vliv teploty (nahore) a rychlosti větru (uprostřed) a relativní vlhkosti (dole) na koncentrace O_3 , Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

3.3.2 Analýza hodinových koncentrací – denní chod a koncentrační růžice

Statistické zpracování hodinových koncentrací O_3 zobrazuje následující Obr. . Je z něj patrné, že koncentrace O_3 se v zimním období pohybují na velmi nízkých hodnotách. Maximální hodinová koncentrace O_3 měla v této lokalitě hodnotu $80,1 \mu g \cdot m^{-3}$ a byla naměřena 3. 1. 2022 v 13:00.

Statistické zpracování hodinových koncentrací O_3

Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022



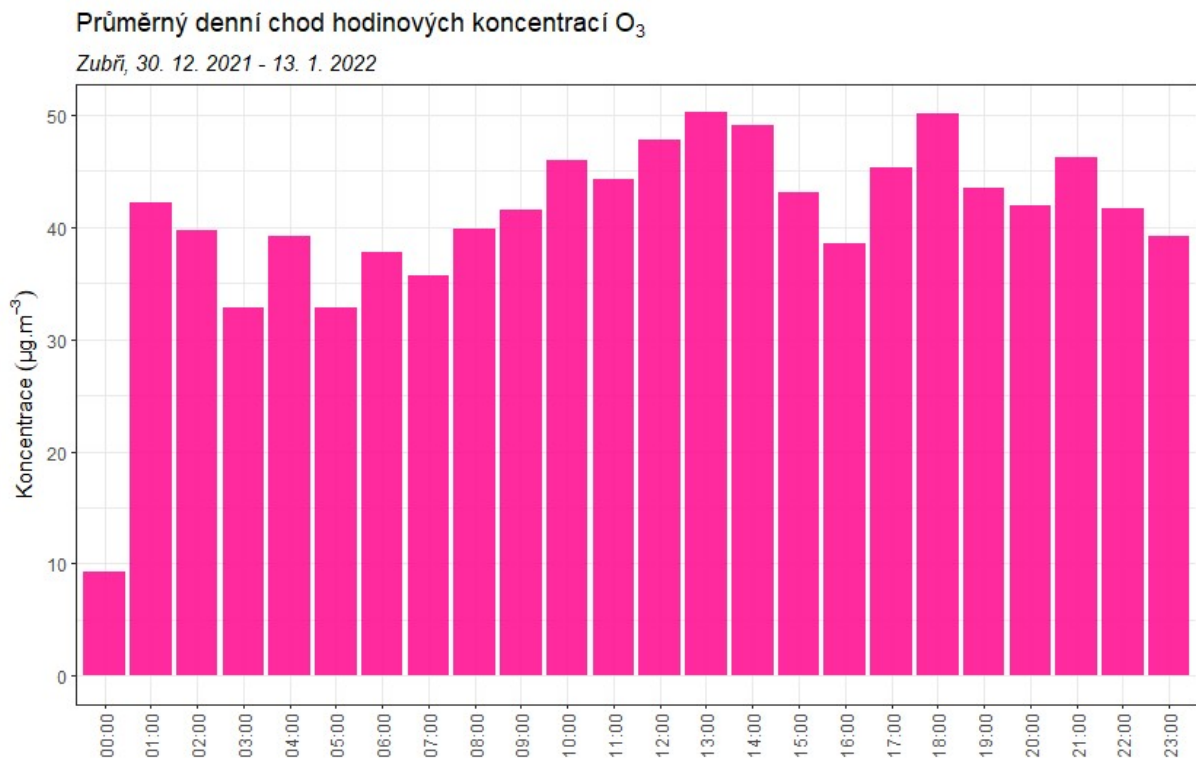
Obr. 25 – Statistické zpracování hodinových koncentrací NO , NO_2 a NO_x , Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

Číselně zobrazuje statistické údaje hodinových koncentrací O_3 během kampaně následující Tab. 4.

Tab. 4 – Statistické parametry průměrných hodinových koncentrací O_3 ($\mu g \cdot m^{-3}$), Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

STATISTIKA	O3
PRŮMĚR	40,7
MAXIMUM	80,1
MEDIÁN	44,5
MINIMUM	1

Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod O_3 v lokalitě Zubří. Denní chod O_3 zobrazuje následující Obr. 26. Z grafu je patrné, že nejvyšší hodnoty koncentrací O_3 jsou dosahovány okolo poledne a po poledni – v době s nejvyšším slunečním svitem a s nejvyššími teplotami a slunečním svitem. Vyšší koncentrace jsou měřeny 13:00 hodin.

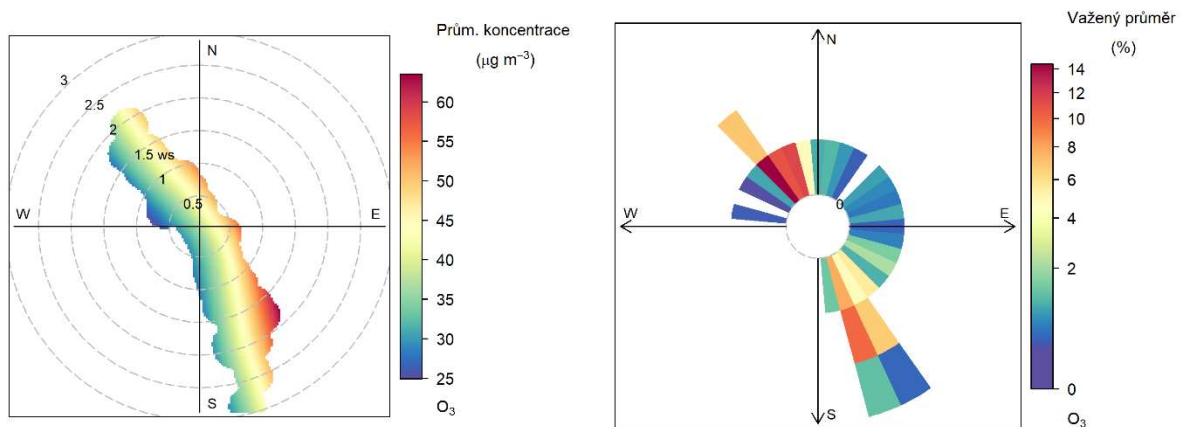


Obr. 26 – Denní chod hodinových koncentrací O_3 , Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

Vysvětlení podstaty koncentračních růžic je uvedeno v kapitole 3.1.2.

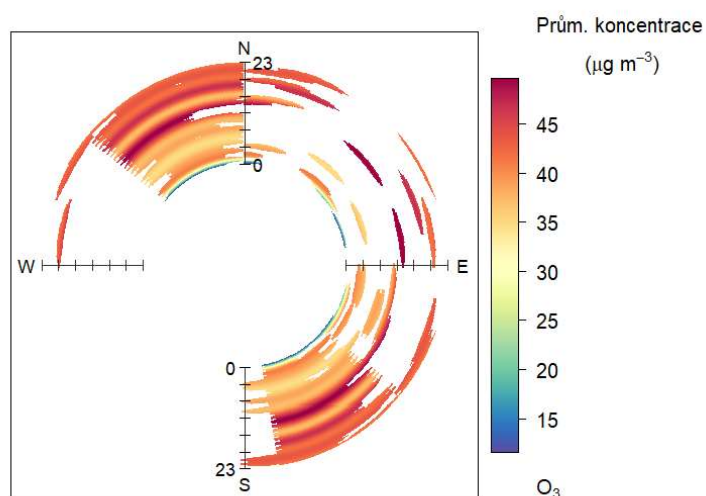
Následující Obr. zobrazuje dva typy koncentrační a váženou koncentrační růžici O_3 pro lokalitu Zubří.

Z Obr. vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při jihovýchodním proudění a vyšších rychlostech větru a dále při severovýchodním proudění a vyšších rychlostech větru. Severozápadní a jihovýchodní směry proudění se pak nejvíce podílely na měřených koncentracích O_3 .



Obr. 30 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro O_3 , Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

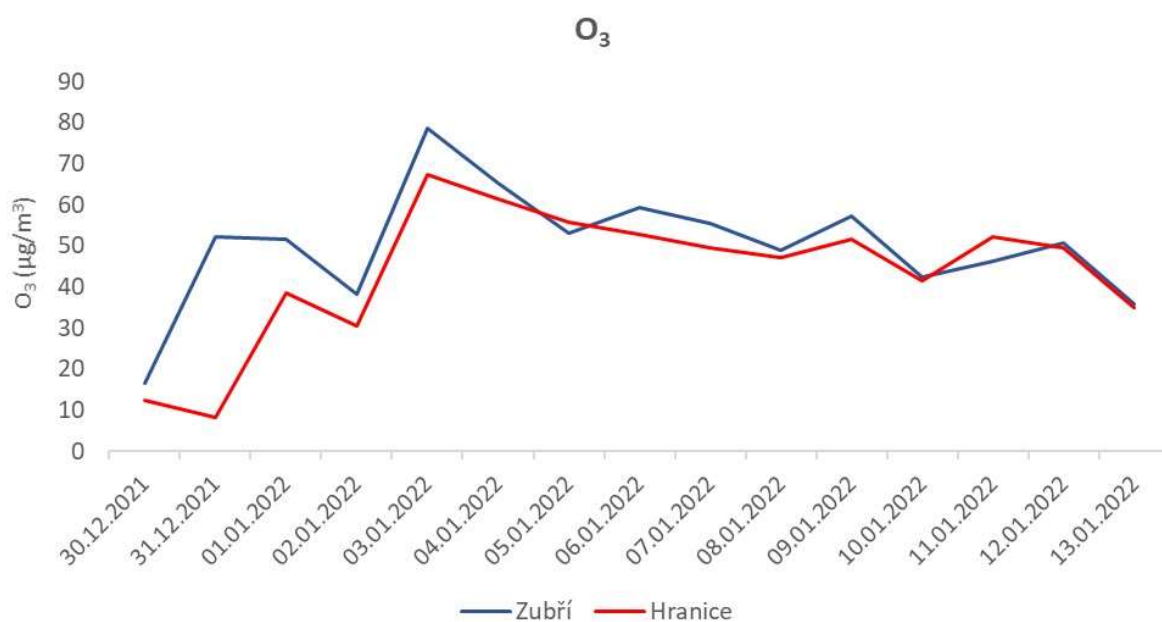
Cenné informace poskytuje rovněž průměrný denní a roční chod, členěný dle směru větru. V případě denního chodu je uprostřed první hodina po půlnoci a na okraji pak 23. hodina.



Obr. 27 – Průměrný denní chod (vlevo) a roční chod (vpravo) koncentrací dle směru větru, Zubří, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

Z Obr. 27 pak vyplývá, že v případě lokality Zubří byly nejvyšší koncentrace O_3 měřeny v denních hodinách, zejména kolem poledne, což je běžný denní chod ozónu v ovzduší.

3.3.3 Srovnání koncentrací O_3 s okolními stanicemi



Obr. 28 – Srovnání koncentrací O_3 se stanicí Hranice, 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

Na Obr. 32 je znázorněno srovnání vývoje koncentrací ozónu v lokalitě Zubří a na stanici Hranice. Koncentrace na obou lokalitách vykazují podobné hodnoty i trend. Mírně nižší koncentrace v lokalitě Hranice odpovídají městskému charakteru lokality, kde bývají naměřené koncentrace ozónu obecně nižší.

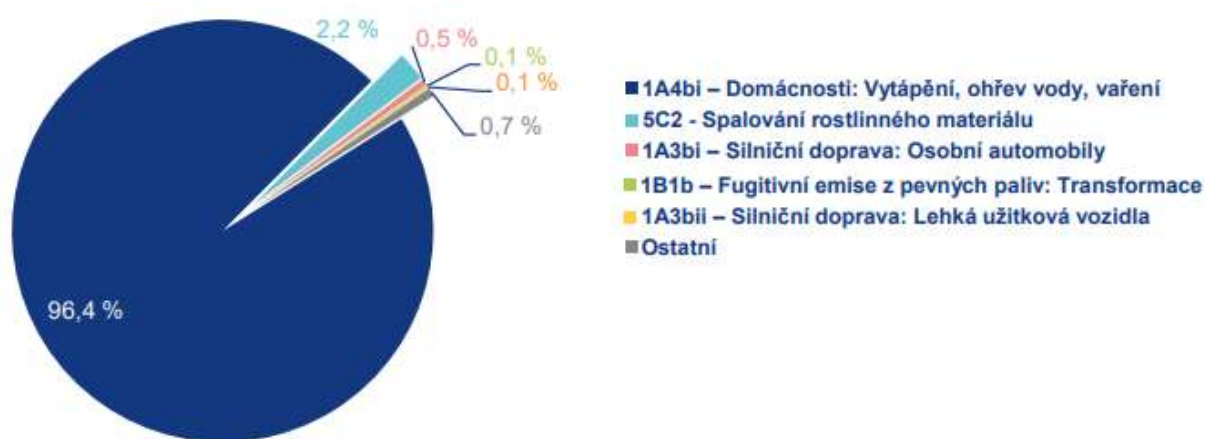
3.4 POLYCYKlickÉ AROMATICKÉ UHLOVODÍKY (PAH)

Benzo[a]pyren je legislativním zástupcem polycyklických aromatických uhlovodíků. Přírodní hladina pozadí benzo[a]pyrenu může být s výjimkou výskytu lesních požárů téměř nulová. Jeho antropogenním zdrojem, stejně jako ostatních polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH), je jednak nedokonalé spalování fosilních paliv, jak ve stacionárních (domácí topeniště) tak i v mobilních zdrojích (motory spalující naftu), ale také výroba koksu, železa a obalovny živičných směsí. Benzo[a]pyren, stejně jako další PAH s 5 a více aromatickými jádry, je navázán především na částice menší než 2,5 µm.

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

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

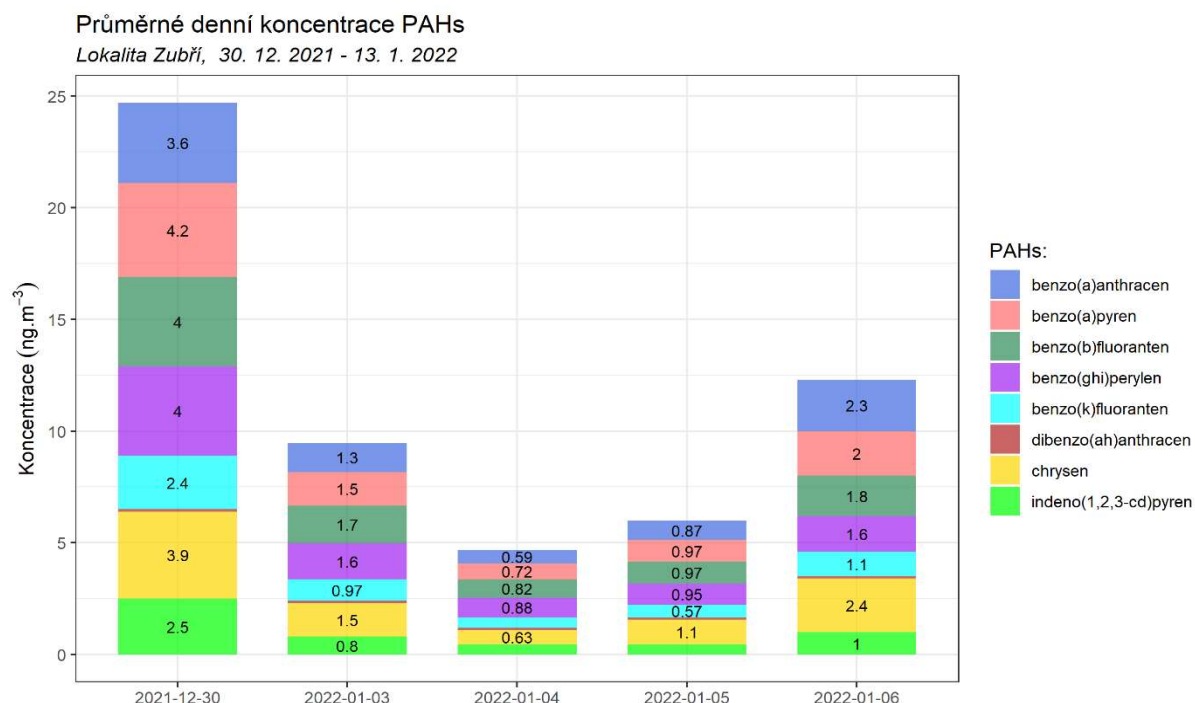
Sektor 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření se na emisích benzo[a]pyrenu v roce 2019 v celorepublikovém měřítku podílel 96,4 %. Hlavní příčinou takto vysokého podílu je spalování pevných paliv, především uhlí, v kotlích starších typů (odhořivací a prohořivací způsob spalování). Vzhledem k dominantnímu podílu sektoru 1A4bi jsou emise benzo[a]pyrenu rozloženy na území obydlené zástavby celé ČR. Nově byl pro celé období proveden odhad emisí ze spalování rostlinného materiálu (NFR 5C2), které se podílí v roce 2019 na celkových emisích 2,24 %. Vliv dopravy se uplatňuje především podél dálnic, komunikací s intenzivní dopravou a na území větších městských celků. Vliv sektoru dopravy je odhadován na 0,6 % (Obr. 29) [6].



Obr. 29 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích benzo[a]pyrenu v ČR, rok 2019 [6]

3.4.1 Měřené hodnoty polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU)

Polycyklické aromatické uhlovodíky byly odebrány během kampaně 5x v 24hodinových odběrech. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 5. Pro potřeby hodnocení byly koncentrace pod mezí detekce nahrazeny ½ hodnoty meze detekce. Hodnoty bez této změny jsou uvedeny v protokolech. Tučným písmem je zvýrazněn legislativou sledovaný benzo[a]pyren. Koncentrace benzo[a]pyrenu se pohybují nejčastěji na úrovni hodnoty imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci, což neznamená, že by musel být v této lokalitě limit překročen, protože v teplé části roku jsou koncentrace velmi nízké až nulové. V zimním období jsou podobné koncentrace obvyklé, protože látka je téměř výhradně emitována vytápěním domácností. V létě pak bývají jeho koncentrace téměř nulové. Vyšší koncentrace byly naměřeny pouze 30. 12. 2021, což může být způsobeno končícími vánočními prázdninami a tím zvýšenou intenzitou vytápění domácností. Graficky jsou koncentrace PAU znázorněny na Obr. 304. Skladba je poměrově ve všech dnech obdobná.



Obr. 30 – Měřené koncentrace PAH, Zubří 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

Tab. 5 – Měřené koncentrace PAU ($\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$), Zubří 30. 12. 2021 - 13. 1. 2022

PAH	30.12.2021	03.01.2022	04.01.2022	05.01.2022	06.01.2022
benzo(a)anthracen	3,6	1,3	0,59	0,87	2,3
benzo(a)pyren	4,2	1,5	0,72	0,97	2
benzo(b)fluoranten	4	1,7	0,82	0,97	1,8
benzo(ghi)perylene	4	1,6	0,88	0,95	1,6
benzo(k)fluoranten	2,4	0,97	0,46	0,57	1,1
dibenzo(ah)anthracen	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
chrysen	3,9	1,5	0,63	1,1	2,4
indeno(1,2,3-cd)pyren	2,5	0,8	0,47	0,46	1

4 ZÁVĚRY

- Vývoj průměrných denních koncentrací **PM₁₀** i **PM_{2,5}** sledoval stejné trendy, rovněž hodnoty byly velmi podobné – téměř veškerá PM₁₀ je tvořena PM_{2,5}. 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. Koncentrace PM₁₀ vykazují ve srovnání s vybranými stanicemi v regionu podobný trend i úroveň naměřených koncentrací. To je v kontrastu se stavem v roce 2014, kdy naměřené koncentrace PM₁₀ v lokalitě Zubří byly ve srovnání s okolními stanicemi o poznání nižší.
- Koncentrace **oxidů dusíku** souvisí především se zatížením dopravou a s vytápěním. 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. Maximální hodinové koncentrace se pohybovaly hluboko pod hodnotou imisního limitu. Koncentrace NO₁₀ naměřené v lokalitě Zubří jsou ve srovnání s vybranými stanicemi v regionu významně nižší. Podobný stav byl zjištěn i v roce 2014.
- Vysoké koncentrace **přízemního ozónu O₃** nebyly během kampaně měřeny, vyskytují se především v letních měsících. Podobně vysoké hodnoty byly naměřeny i na stanici Hranice.
- Koncentrace **benzo[*a*]pyrenu** se pohybovaly v okolí hodnoty imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci, což není v zimním období neobvyklé, protože látka je téměř výhradně emitována vytápěním domácností. V létě jsou pak koncentrace téměř nulové.

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] V. Michal, „O provozu vznětových motorů a aerosolech jimi produkovaných v městských aglomeracích,“ v *Konference ČAS 2010. Sborník konference*, Praha, 2010.
- [6] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020, ISBN: ISBN 978-80-7653-023-2,“ ČHMÚ, 2021. [Online]. Available: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/Obsah_CZ.html.
- [7] U. EPA, „Particulate Matter (PM) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/pm-pollution>.
- [8] J. Keder, „Rozbor výsledků kontinuálního měření spekter velikostí částic analyzátorů Grimm,“ v *Ovzduší 2007*, Brno, 2007.
- [9] USEPA, „Nitrogen Dioxide (NO₂) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/no2-pollution>.
- [10] P. WARNECK, *Chemistry of the natural atmosphere*, San Diego: Academic Press: ISBN 0-12-735632-0, 2000.
- [11] European Commission, „Position paper on air quality: nitrogen dioxide,“ 1997.
]
- [12] 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] *Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší*, 2012.
]

- [16] Vyhláška č. 330/2012 Sb. o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích, Praha, 2012.
- [17] 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>.
- [18] 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.
- [19] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České Republiky,“ 1996 - 2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html.
- [20] ČHMÚ, „Registr emisí a zdrojů znečištění ovzduší,“ 2010-2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emisnibilance_CZ.html.
- [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] WHO, „Air quality guidelines for Europe, Second Edition,“ *WHO Regional Publications, European Series*, sv. No. 91, 2000.
- [23] EEA, „Air quality in Europe — 2016 report,“ 2016. [Online]. Available: https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016/at_download/file.
- [24] 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.
- [25] 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].
- [26] 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.