

VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ V LOKALITĚ UHERSKÉ HRADIŠTĚ 16. – 30. 12. 2021



ENVITECH BOHEMIA, s.r.o.

ÚDAJE O ZAKÁZCE

Zhotovitel: ENVItch 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	7
2.4	RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU	8
2.5	ATMOSFÉRICKÝ TLAK	9
3	VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ	11
3.1	SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{10} A $PM_{2,5}$	11
3.1.1	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE PRAŠNÉHO AEROSOLU	12
3.1.2	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – DENNÍ CHOD A KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	15
3.1.3	SROVNÁNÍ KONCENTRACÍ PRAŠNÉHO AEROSOLU S OKOLNÍMI STANICEMI	19
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 OKOLNÍMI STANICEMI	25
3.3	PŘÍZEMNÍ OZÓN	26
3.3.1	VÝVOJ NEJVYŠŠÍCH 8HODINOVÝCH KLOUZAVÝCH PRŮMĚRŮ ZA DEN	26
3.3.2	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – DENNÍ CHOD A KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	29
3.3.3	SROVNÁNÍ KONCENTRACÍ TROPOSFÉRICKÉHO OZÓNU S OKOLNÍMI STANICEMI	31
3.4	OXID SIŘIČITÝ SO_2	32
3.4.1	PRŮMĚRNÉ DENNÍ KONCENTRACE SO_2	32
3.4.2	ANALÝZA HODINOVÝCH KONCENTRACÍ – DENNÍ CHOD A KONCENTRAČNÍ RŮŽICE	35
3.4.3	SROVNÁNÍ KONCENTRACÍ SO_2 S OKOLNÍMI STANICEMI	37
3.5	POLYCYKlické AROMATICKÉ UHLOVODÍKY (PAU)	38
3.5.1	NAMĚŘENÉ HODNOTY PAU	39
3.6	TĚKAVÉ ORGANICKÉ LÁTKY VOC	40
3.6.1	NAMĚŘENÉ HODNOTY VOC	41
3.7	TĚŽKÉ KOVY	42
3.7.1	MĚŘENÉ KONCENTRACE TĚŽKÝCH KOVŮ	42
3.8	PCDD/F	43
4	ZÁVĚRY	47
5	CITOVANÁ LITERATURA	48

1 MĚŘICÍ LOKALITA

Měření kvality ovzduší probíhalo v areálu střední školy Mesit v ul. Družstevní č.p. 818 v Uherském Hradišti. Z hlediska systemizace se jedná o městskou pozadovou lokalitu, která je umístěna v obytné zóně. Reprezentativnost stanice je v rámci okrskového měřítka 0,5 – 4 km.

Umístění měřicího místa: v areálu školy, u parkoviště

Okolní porost: ojedinělé stromy

Terén: rovina

Zástavba: rodinné domy, budovy školy

Průmysl: cca 600 m jihozápadním směrem firma CTZ s.r.o.

Doprava: ve vzdálenosti cca 100 m ul. Družstevní – minimální provoz

GPS souřadnice: 49°04'07.9"N, 17°28'51.4"E



1.1 IMISNÍ LIMITY

Pro škodliviny, měřené v lokalitě Uherské Hradiště, 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 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	
Oxid siřičitý SO ₂	1 hodina	350 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	24
Oxid siřičitý SO ₂	24 hodin	125 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	
Přízemní ozón O ₃	maximální denní osmihodinový klouzavý průměr	120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	25
Benzen	1 kalendářní rok	5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	
Benzo[a]pyren	1 kalendářní rok	1 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$	
Arsen	1 kalendářní rok	6 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$	
Kadmium	1 kalendářní rok	5 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$	
Nikl	1 kalendářní rok	20 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$	
Olovo	1 kalendářní rok	0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	

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 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 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.

Vzhledem ke krátkodobé měřicí kampani jsou imisní limity pouze orientační.

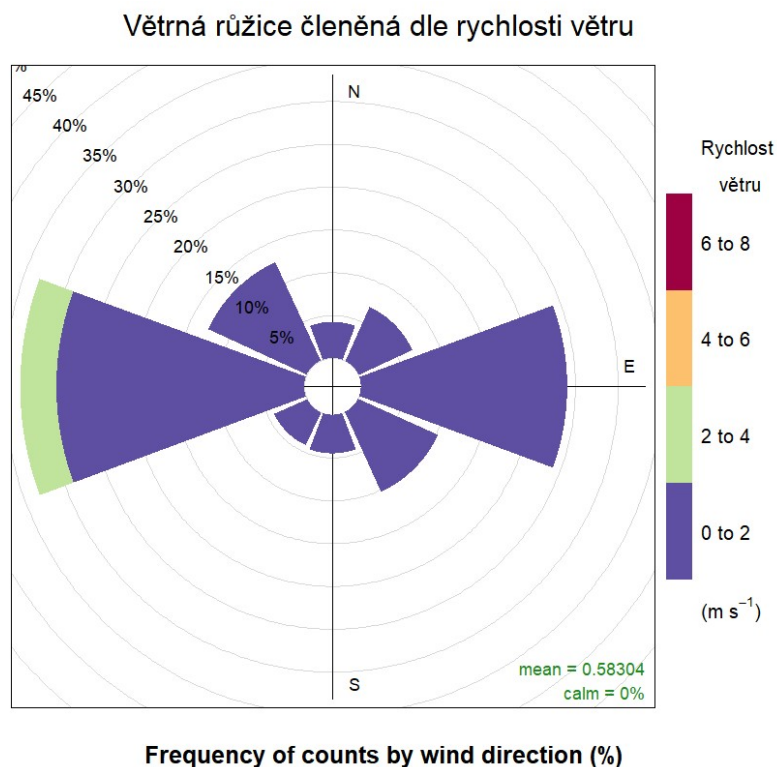
1.2 DATA A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

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 Uherské Hradiště konstruovaná z hodinových rychlostí a směrů větru. Růžice naznačuje převažující západní (cca 33 % času) a východní (cca 24 % času) směry. Vyšší rychlosti větru byly zaznamenány především ze západu. Bezvětrí se během kampaně nevyskytovalo. V lokalitě byly měřeny většinou nízké rychlosti větru (do $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), průměrná rychlost větru za celé měřené období byla zhruba $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

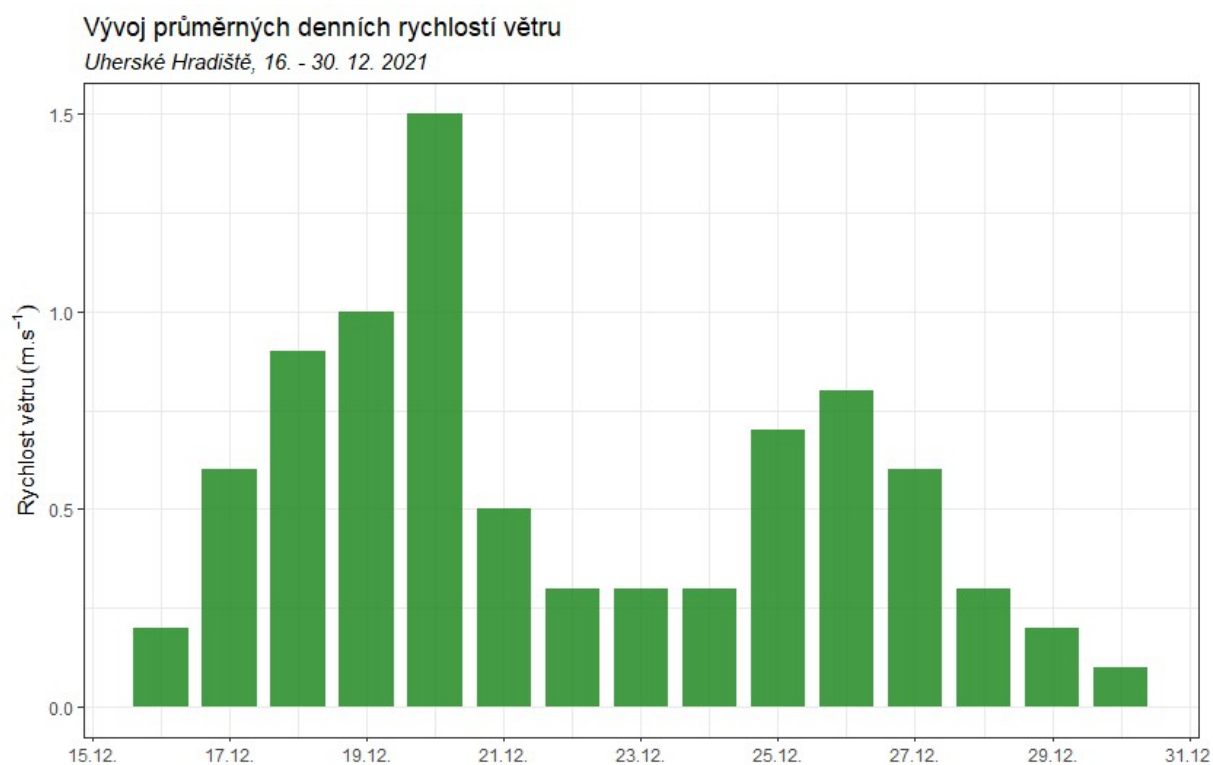


Obr. 1 – Větrná růžice členěná dle rychlosti větru, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

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 bezvětří 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 bezvětří, 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 ve sledovaném období v lokalitě Uherské Hradiště. Z grafu je patrné, že byly naměřeny převážně nízké denní průměry rychlosti větru - do $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, přičemž nejvyšší průměrná denní hodnota byla naměřena dne 20. 12. 2021.



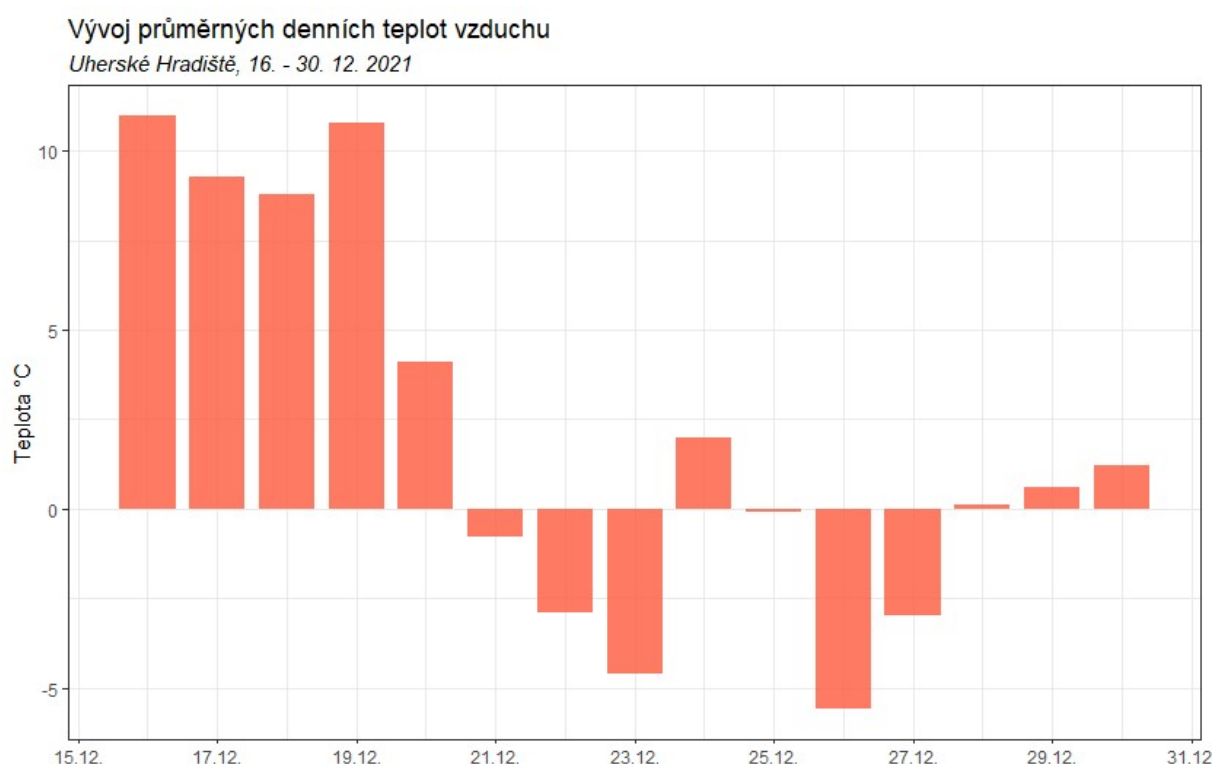
Obr. 2 – Průměrné denní rychlosti větru, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

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 Uherské Hradiště ve sledovaném období. Z grafu vyplývá, že vyšší hodnoty byly v této lokalitě naměřeny na začátku kampaně, poté průměrné denní teploty klesly i pod bod mrazu. Minimální teploty pak byly měřeny 26.12.2021, kdy průměrná denní teplota klesla na $-5,6^{\circ}\text{C}$ (Obr. 3).



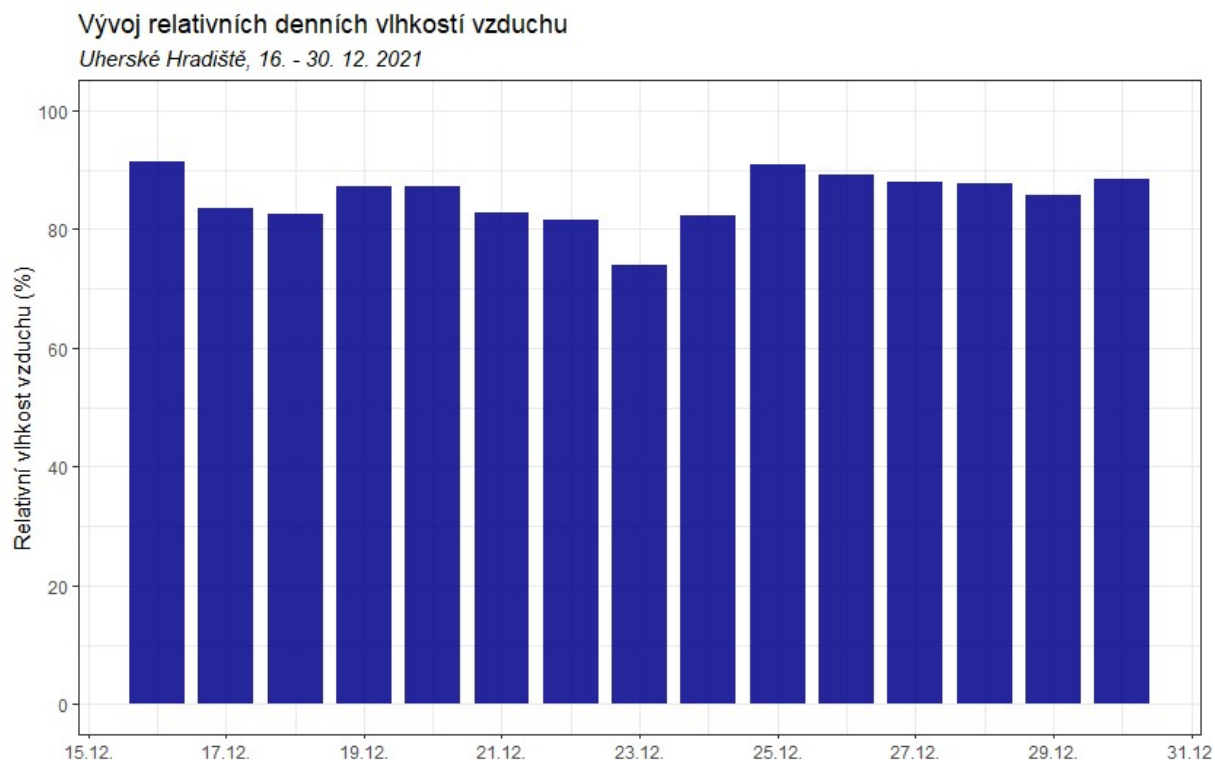
Obr. 3 – Průměrné denní teploty vzduchu, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

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.

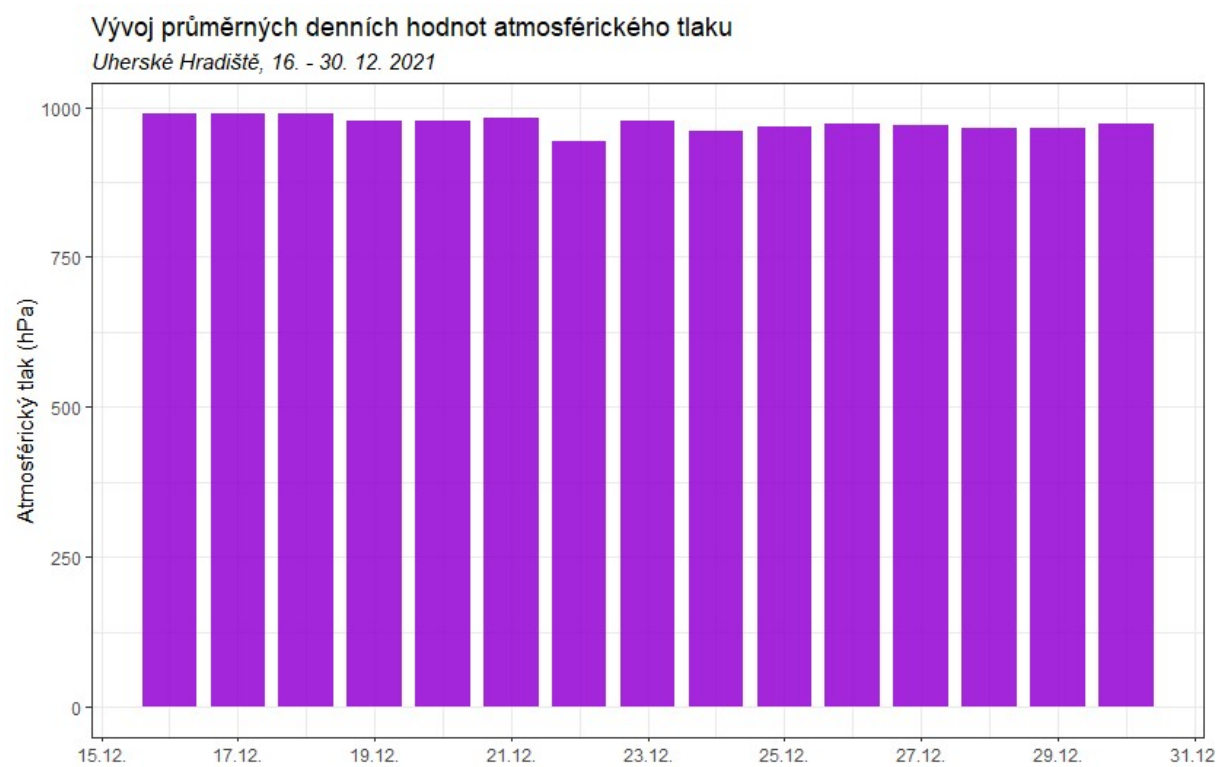
Následující Obr. 4 zobrazuje průměrné denní relativní vlhkosti vzduchu v lokalitě Uherské Hradiště ve sledovaném období. Z grafu vyplývá, že hodnoty relativní vlhkosti vykazovaly poměrně stabilní trend a pohybovaly se mezi nejčastěji 80 a 90 %.



Obr. 4 - Průměrné denní relativní vlhkosti vzduchu, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

2.5 ATMOSFÉRICKÝ TLAK

Následující Obr. 5 zobrazuje denní hodnoty atmosférického tlaku v lokalitě Uherské Hradiště.



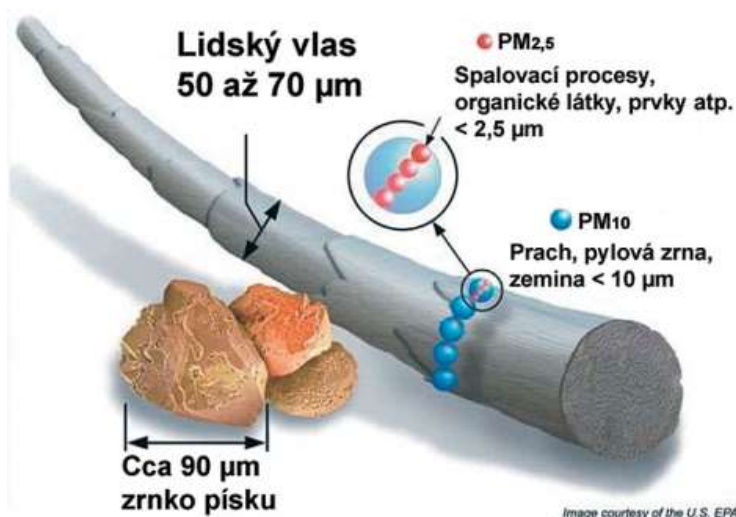
Obr. 5 – Průměrné denní hodnoty atmosférického tlaku, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

3 VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ

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

Suspendované částice jsou emitovány jak přírodními (např. sopky či prašné 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.

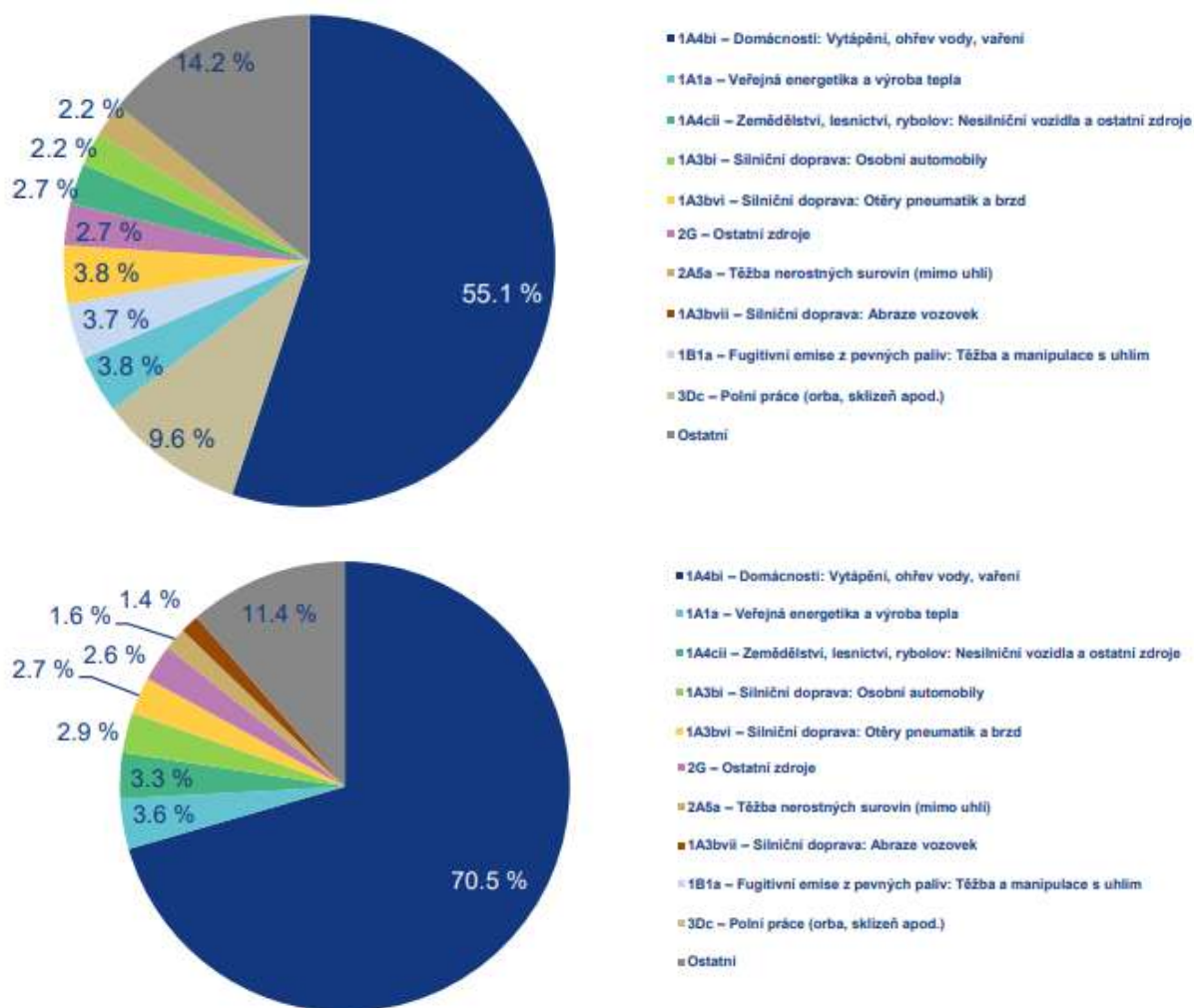
Z hlediska platné legislativy [1] jsou v ovzduší sledovány dvě velikostní frakce suspendovaných částic. Jedná se o hrubší frakci PM_{10} (suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 10 μm) a jemnější frakci $PM_{2,5}$ (suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým 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 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 (znovuvzvišení), 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].

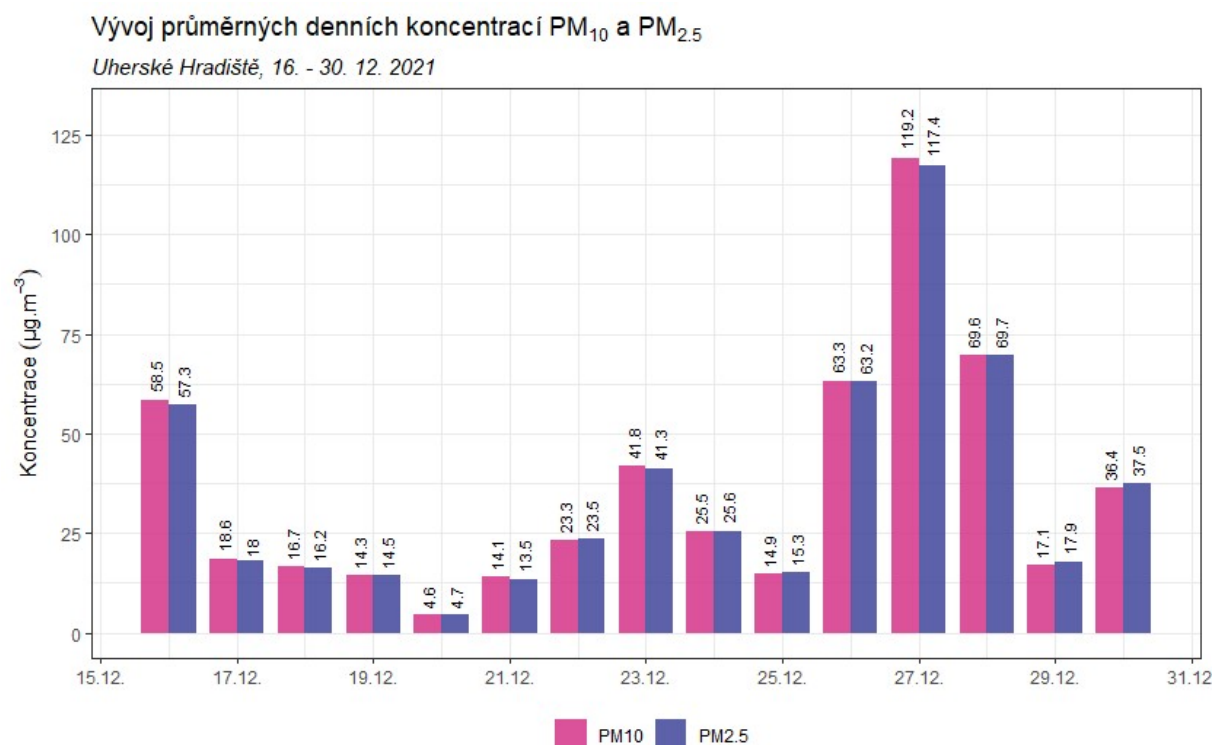


Obr. 7 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích PM₁₀ (nahoře) a PM_{2,5} (dole) v ČR, rok 2019 [6]

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 nemoci 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 [7], [8].

3.1.1 Průměrné denní koncentrace prašného aerosolu

Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁₀ a PM_{2,5} v lokalitě Uherské Hradiště zobrazuje následující Obr. 8. Z grafu je patrné, že koncentrace jemnější frakce PM_{2,5} do značné míry kopírují hrubší frakci PM₁₀ a dominantním podílem tak PM₁₀ tvoří.



Obr. 8 – Vývoj průměrných hodinových koncentrací PM₁₀ a PM_{2,5}, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

Průměrné denní koncentrace vyšší, než je hodnota imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ (50 µg·m⁻³), se vyskytly během kampaně 4x (16.12., 26.12., 27.12. a 28.12.). V jednom kalendářním roce se může vyskytnout maximálně 35 dní s koncentrací vyšší než 50 µg·m⁻³, pokud jich je více, dochází k překročení imisního limitu.

Vzhledem k tomu, že jsou trend i hodnoty PM₁₀ a PM_{2,5} téměř totožné (Obr. 8), bude vliv meteorologických podmínek zobrazen pouze pro PM₁₀, avšak totéž platí i pro jemnější frakce.

Na Obr. 9 jsou nad sebou zobrazeny 3 grafy. Sloupce vždy zobrazují vývoj koncentrací PM₁₀, zbarvení křivky na horním grafu vždy zobrazuje aktuální teplotu vzduchu, v prostředním grafu rychlost proudění větru a ve spodním grafu relativní vlhkost vzduchu. Obecně lze konstatovat, že zvýšené koncentrace se vyskytují převážně při nižších teplotách vzduchu (potřeba topit, inverzní charakter počasí) a při nižších rychlostech větru (horší rozptýl škodlivin). Nicméně v případě suspendovaných částic může i zvýšená rychlost větru navýšovat koncentrace. Jde zejména o zviření již jednou usazených částic (resuspenzi), nebo odnos sypkého materiálu.

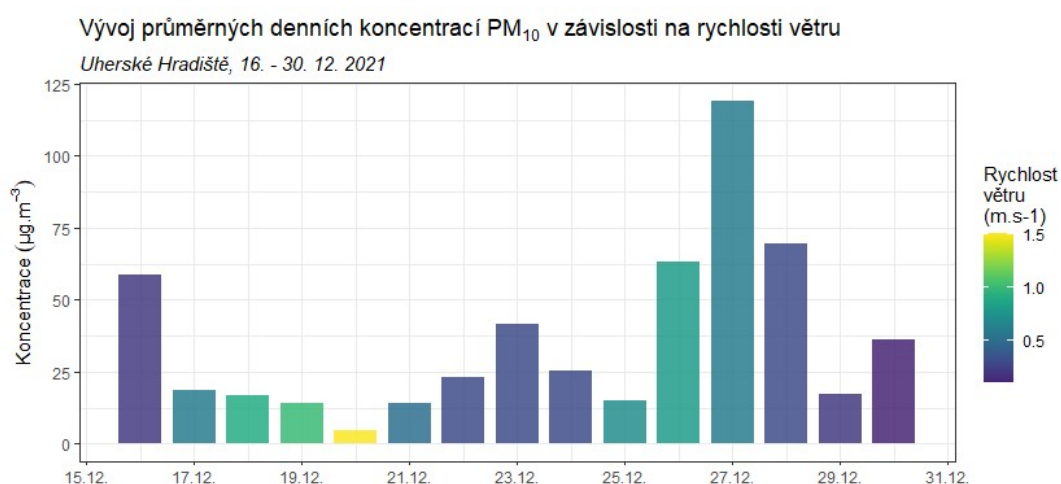
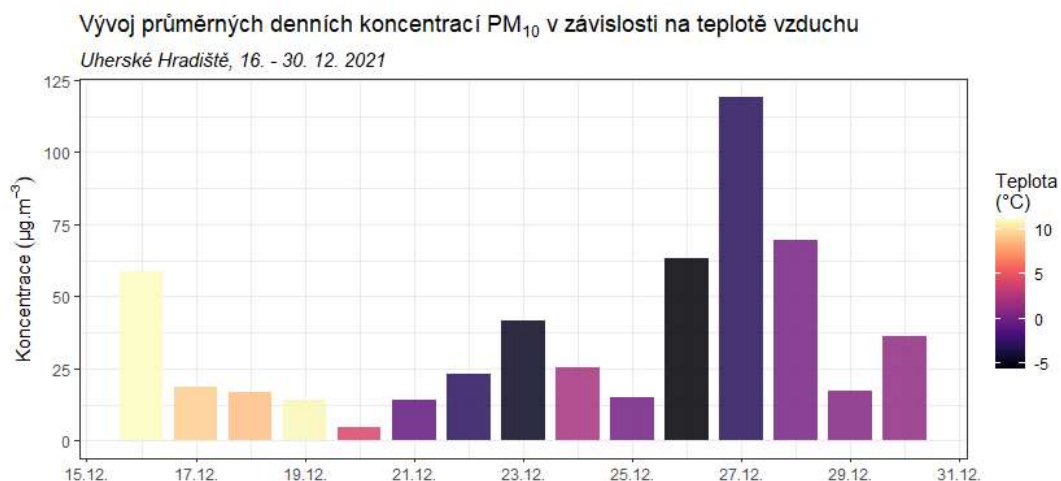
Z grafů je patrné, že nejvyšší koncentrace PM₁₀ byly naměřeny zejména při nízkých teplotách a nízkých rychlostech větru (do 1 m·s⁻¹). To jsou mimo jiné podmínky charakteristické pro teplotní inverzi, která má výrazně negativní vliv na zvýšenou úroveň koncentrací znečišťujících látek v ovzduší. Relativně z hlediska kampaně lze konstatovat, že např. 27. 12. byly rychlosti větru vyšší, stále se však pohybovaly v oblasti 1 m·s⁻¹, což jsou nízké rychlosti větru. Ty panovaly po čas celé měřicí kampaně. V případě rychlosti větru se zvýšené koncentrace pohybovaly zhruba do rychlosti 1 m·s⁻¹. I mírně zvýšené

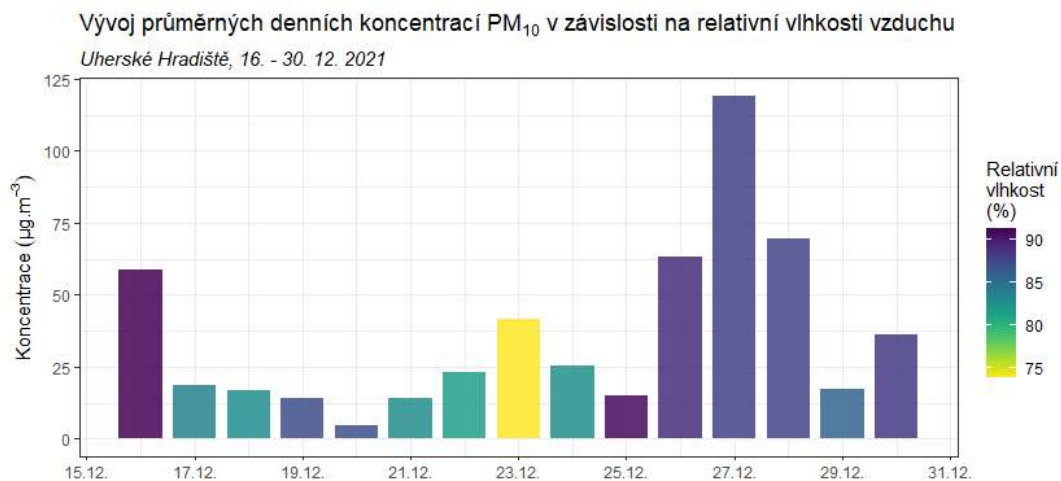
rychlosti větru mohly navyšovat koncentrace částic v ovzduší. V blízkosti měření (cca 0,5 km od měřicího místa) se vyskytuje zdroj CZT.

V případě teploty byly vysoké koncentrace PM nejčastěji měřeny ve dnech, kdy se průměrná teplota pohybovala pod bodem mrazu. Při nižších teplotách pravděpodobně došlo k náběhu vyššího výkonu a zvýšení primárních emisí, takže se i zvyšují emise z lokálních topenišť a nedalekého centrálního tepelného zdroje (CTZ s.r.o.), kde dochází ke spalování uhlí a zemního plynu. Vzhledem k palivu (hnědé uhlí prachové) mohlo docházet i k sekundárním emisím – vnos / zviření prachu při přepravě paliva (skládka / nakládka, dopravník).

Je tedy pravděpodobné, že hlavním zdrojem zvýšených koncentrací prашného aerosolu při nejnižších teplotách vzduchu jsou lokální topeniště v okolí měřicí lokality a nedaleký centrální tepelný zdroj. Nízké rychlosti větru pak zabraňují dostatečnému rozptýlu škodlivin a koncentrace se tak neustále zvyšují, což je zřejmé především ve 2. polovině měřicí kampaně.

V případě 27. 12. se mohl projevit také efekt 1. pracovního dne po svátcích, včetně viditelného nárůstu dopravy.

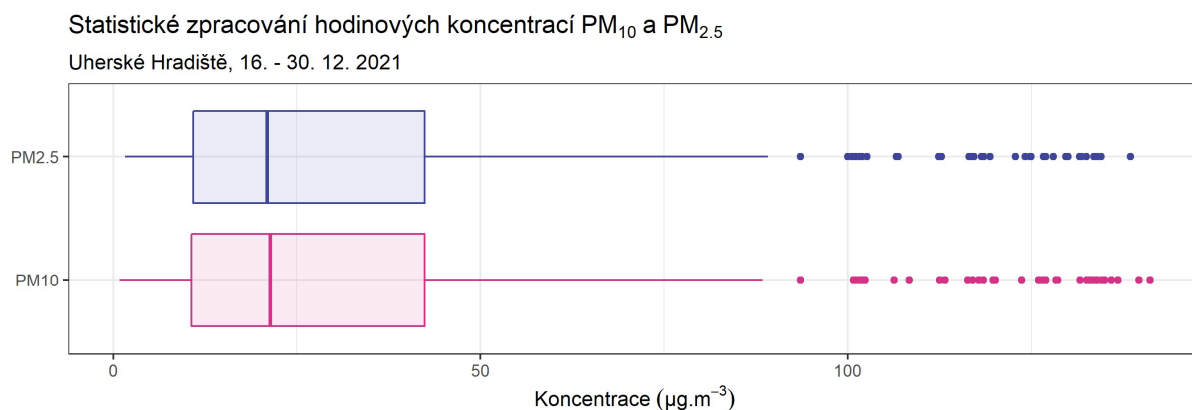




Obr. 9 – Vliv teploty (nahore) a rychlosti větru (uprostřed) a relativní vlhkosti (dole) na koncentrace PM_{10} , Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

3.1.2 Analýza hodinových koncentrací – 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 v této lokalitě hodnotu $141,2 \mu g \cdot m^{-3}$ a byla naměřena 27. 12. 2021 ve 23:00.



Obr. 10 – Statistické zpracování hodinových koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

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

Tab. 2.

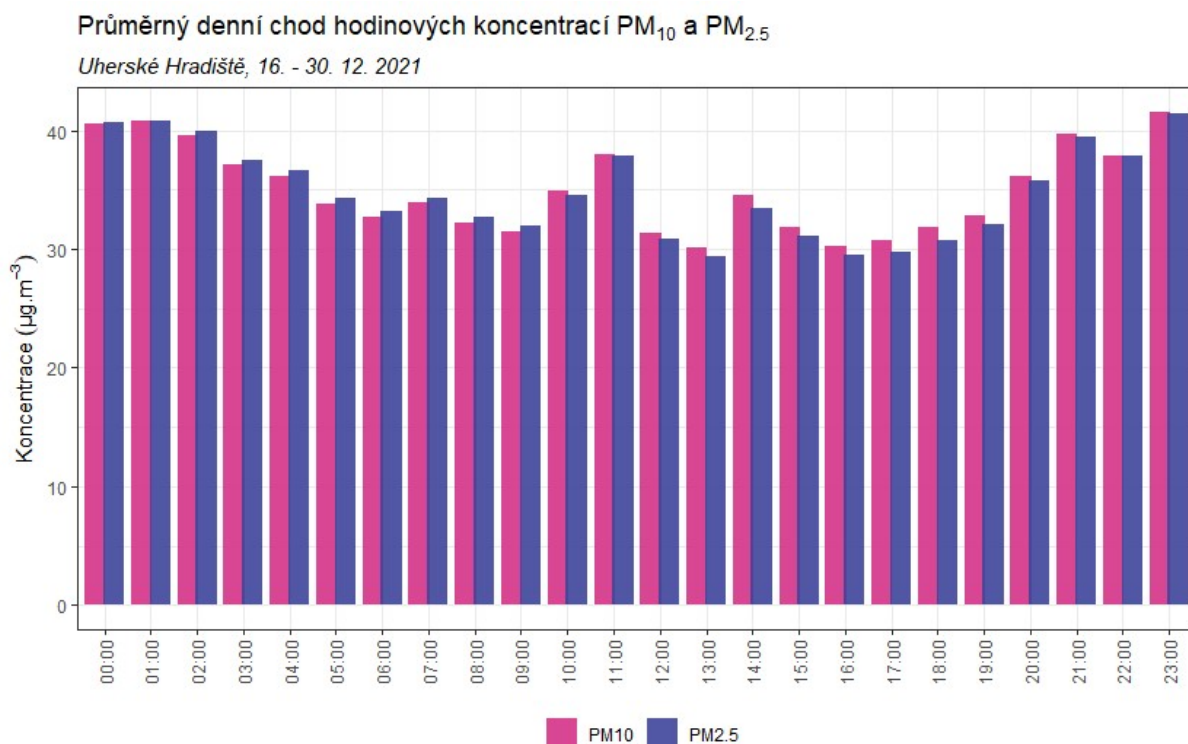
Tab. 2 – Statistické parametry průměrných hodinových koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ ($\mu g \cdot m^{-3}$), Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

STATISTIKA	PM_{10}	$PM_{2,5}$
PRŮMĚR	35	34,8
MAXIMUM	141,2	138,5
MEDIÁN	21,4	21
MINIMUM	0,9	1,6

Z uvedených dat je patrné, že $PM_{2,5}$ velmi těsně kopíruje PM_{10} , což potvrzuje výše zmíněný fakt, že se na koncentracích podílejí zejména spalovací zdroje, jako např. vytápění nebo nedaleký centrální tepelný zdroj.

Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ v lokalitě Uherské Hradiště. 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. Vliv na vyšší koncentrace ve večerních a nočních hodinách mohou mít i další zdroje pro výrobu tepla, především pak nedaleký centrální tepelný zdroj. Svůj vliv mají také rozptylové podmínky, které bývají v noci horší. Nárůst začíná kolem 17. hodiny a hodnoty zůstávají zvýšené zhruba do 23. hodiny. Poté dochází k postupnému poklesu koncentrací až do 6. hodiny ránní, která je patrně také závislá na zatopení v lokálních topeništích během ranních hodin. Mírně zvýšené hodnoty jsou pak měřeny během dopoledne.

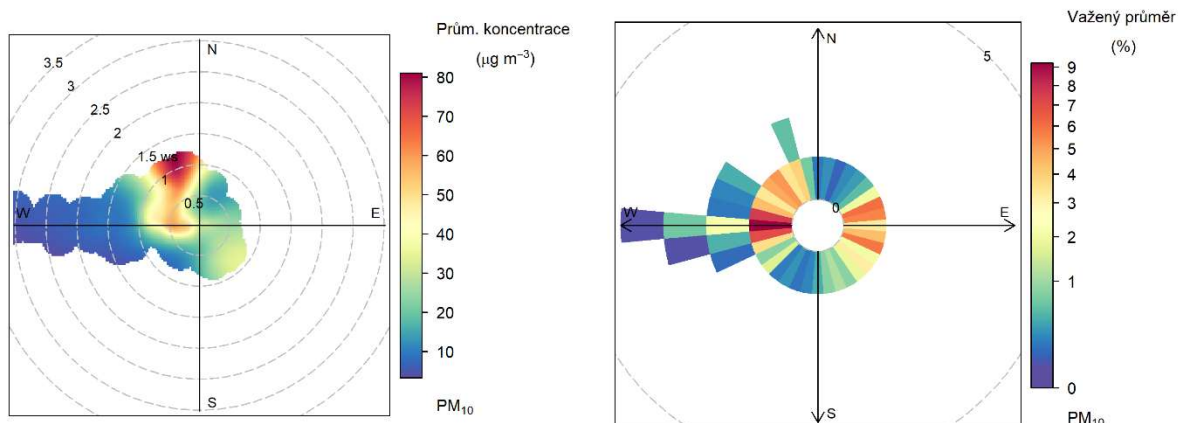


Obr. 11 – Denní chod hodinových koncentrací PM₁₀ a PM_{2.5}, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

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.

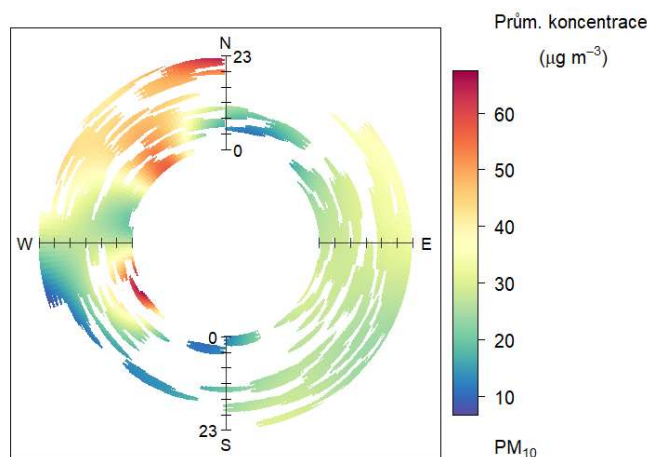
Následující Obr. 12 zobrazuje tyto dva typy koncentračních růžic pro lokalitu Uherské Hradiště.



Obr. 12 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro PM_{10} , Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

Z Obr. 12 vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při severním až severozápadním proudění. Co se týče relativního příspěvku k měřeným koncentracím, převládají západní směry větru (z těchto směrů fouká nejčastěji) a nízké rychlosti větru. Vzhledem ke zjištění, že nejvyšší koncentrace byly naměřeny při severním až severozápadním proudění, je pravděpodobné, že v této lokalitě nebude příspěvek emisí z lokálních topenišť tak dominantní jako v jiných lokalitách, ale bude zde také významný příspěvek nedalekého centrálního tepelného zdroje.

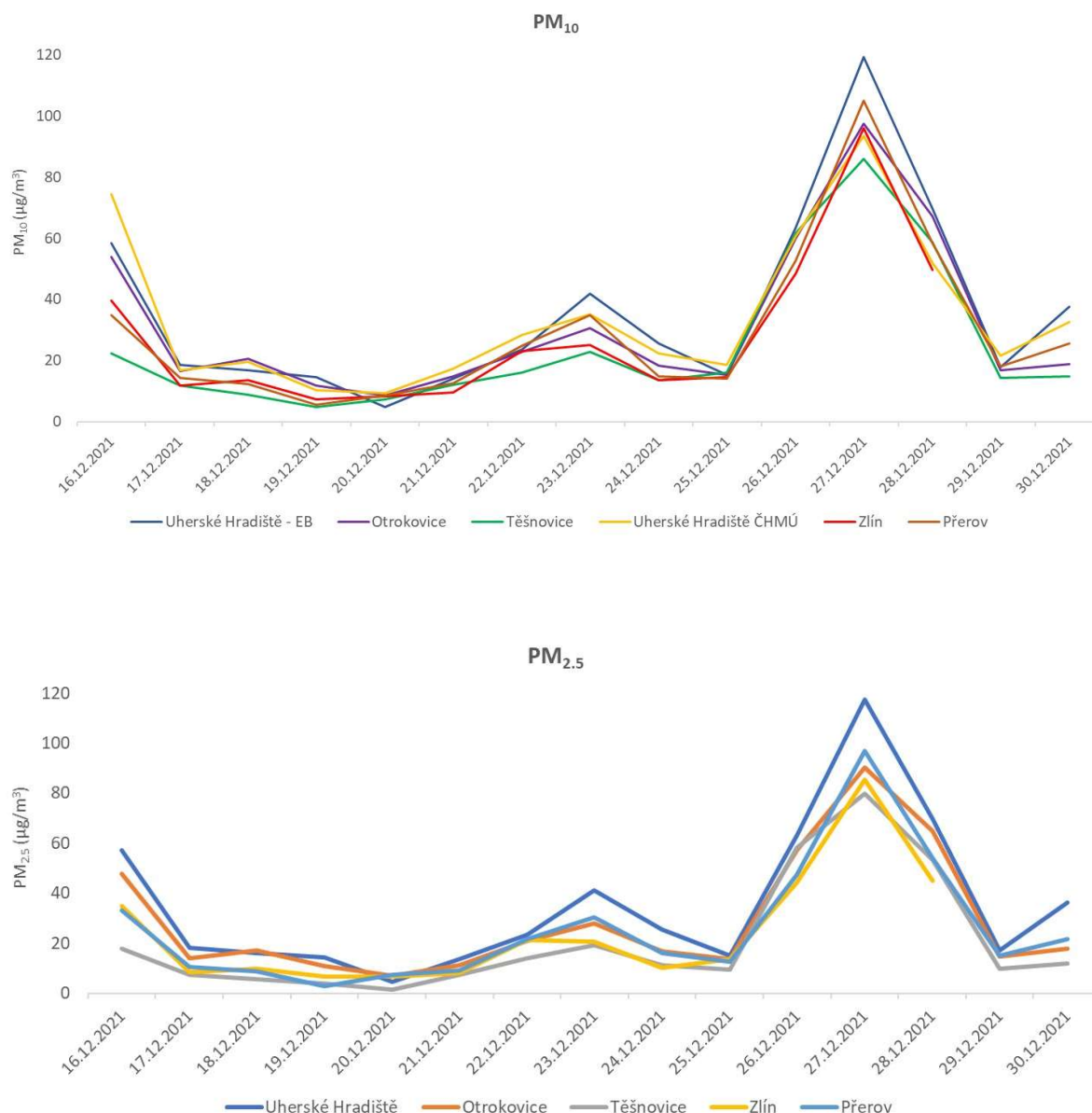
Cenné informace poskytuje rovněž průměrný denní chod členěný dle směru větru. Uprostřed kruhu je první hodina po půlnoci a na okraji pak 23. hodina.



Obr. 13 – Průměrný denní chod (vlevo) a roční chod (vpravo) koncentrací dle směru větru, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

Z Obr. 13 pak vyplývá, že v případě lokality Uherské Hradiště 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. Vliv na koncentrace tak mohly mít zejména zdroje pro výrobu tepla a lokální topeniště.

3.1.3 Srovnání koncentrací prašného aerosolu s okolními stanicemi



Obr. 14 – Srovnání koncentrací PM_{10} a $PM_{2.5}$ s okolními stanicemi 16. - 30. 12. 2021

Na Obr. 14 je znázorněno porovnání koncentrací prašného aerosolu frakcí PM_{10} a $PM_{2.5}$ s vybranými stanicemi v regionu. Z grafu je patrné, že naměřené koncentrace v rámci měřicí kampaně v Uherském Hradišti byly po většinu období mírně zvýšené oproti koncentracím naměřeným na okolních měřicích stanicích. Rozdíl je patrný především u menších částic, což patrně ukazuje na výraznější příspěvek spalovacích procesů (lokální topeniště + nedaleký centrální tepelný zdroj). Nejnižší průměrné koncentrace byly dle předpokladů naměřeny v lokalitě Těšnovice, která je umístěna mimo obydlenu část obce. Koncentrace PM_{10} v rámci Uherského Hradiště - v porovnání se stanicí ČHMÚ, která je umístěna v dopravně zatížené lokalitě – byly v měřené lokalitě vyšší při vyšších koncentracích (patrně z důvodu dominantního příspěvku spalovacích zdrojů v okolí měřené lokality), kdežto nižší při nižších koncentracích (patrně z důvodu menšinového příspěvku dopravy na koncentrace prašného aerosolu na stanici ČHMÚ).

3.2 OXIDY DUSÍKU NO₂, NO A NO_x

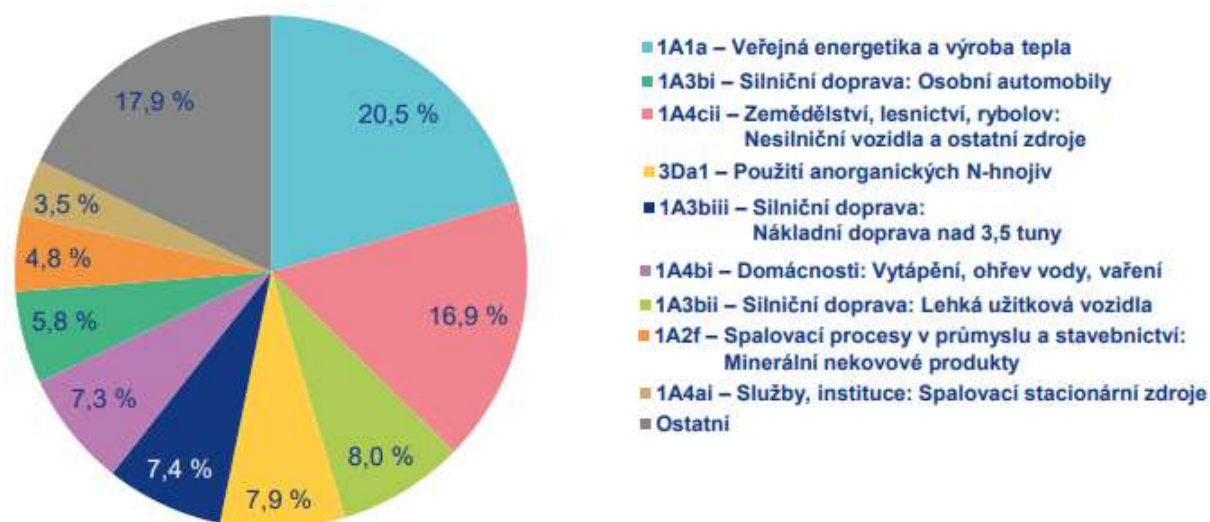
Při sledování a hodnocení kvality venkovního ovzduší se pod termínem oxidy dusíku (NO_x) rozumí směs oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO₂) [9].

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].

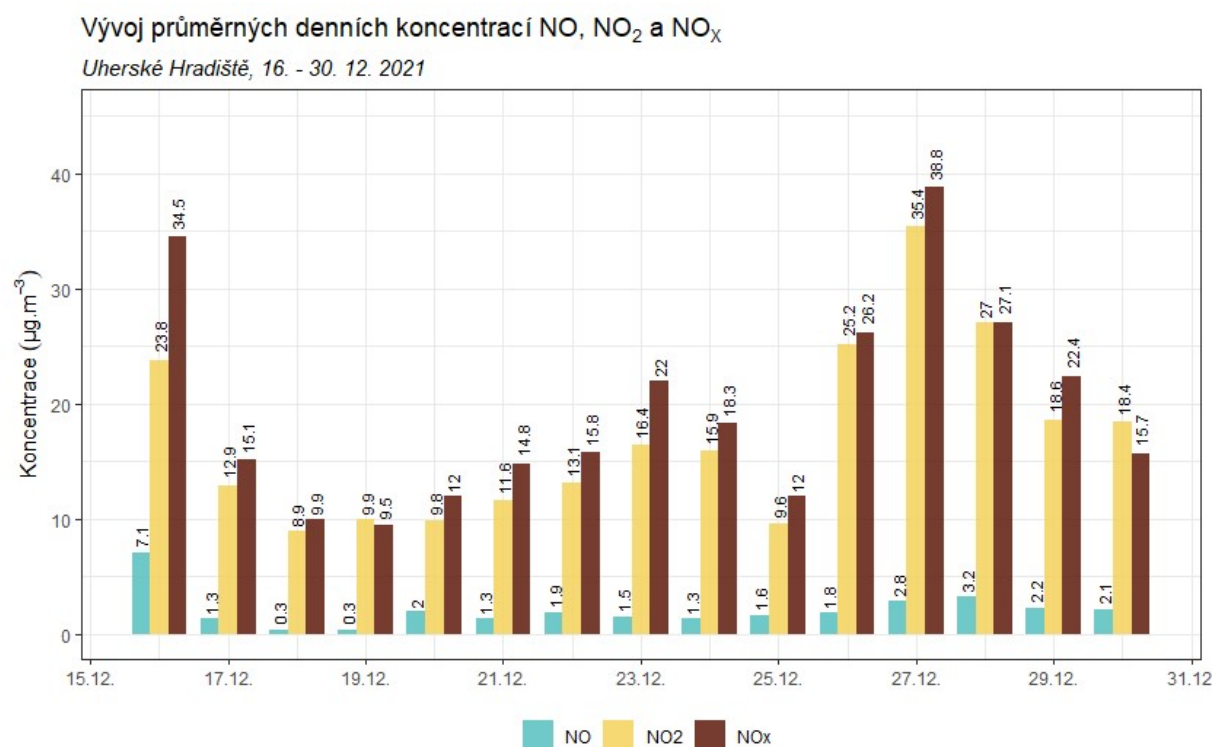


Obr. 155 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích NO_x v ČR, rok 2019 [6]

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 Uherské Hradiště zobrazuje následující Obr. 166.

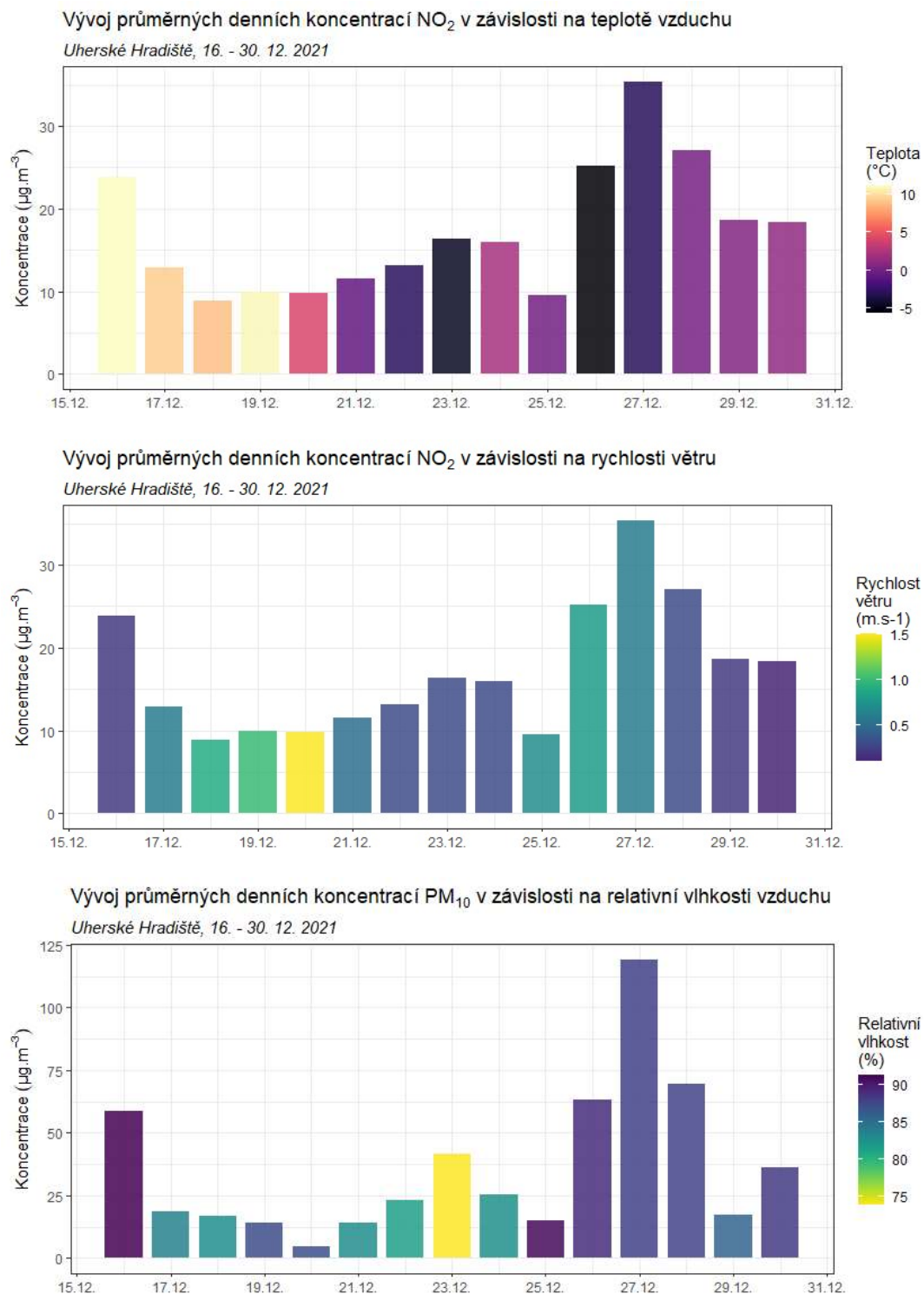


Obr. 16 – Vývoj průměrných hodinových koncentrací NO , NO_2 a NO_x , Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

Z grafu je patrné, že koncentrace NO jsou proti koncentracím NO_2 velmi nízké. Poměr NO / NO_2 za celou kampaň dosáhl hodnoty 0,12. To naznačuje pouze velmi nízké ovlivnění lokality dopravou. Vyšší koncentrace NO_2 pak naznačují vliv lokálního vytápění a zdrojů na výrobu tepla, jako např. nedaleký CTZ. Všechny hodnoty koncentrací NO_2 (ale i NO_x) se pohybují 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. 17 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

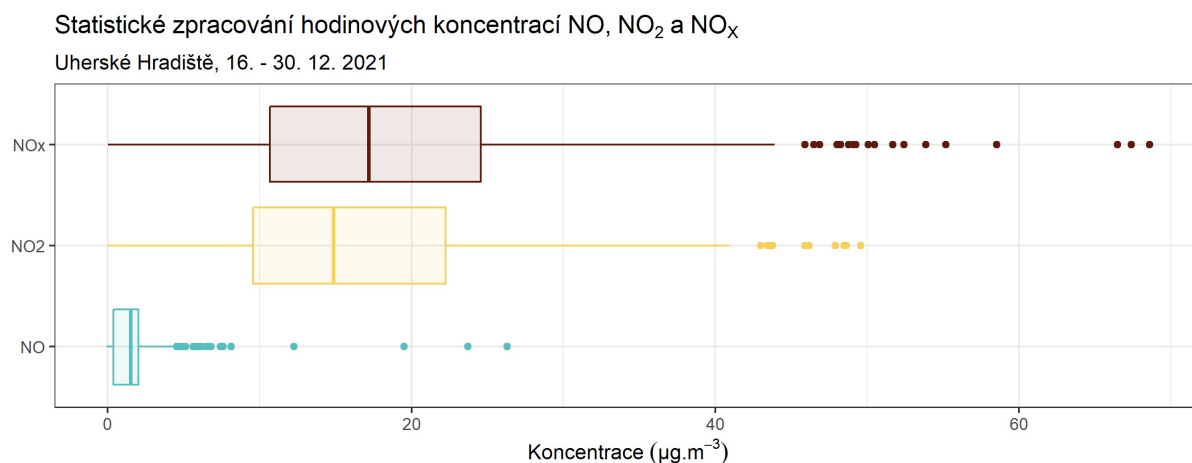
vlhkost. Z grafů je patrné, že na koncentrace NO_2 má vliv jak teplota, tak rychlost větru. Nejvyšší koncentrace jsou pak měřeny při velmi nízkých rychlostech větru, resp. při nízkých teplotách.



Obr. 17 – Vliv teploty (nahore), rychlosti větru (uprostřed) a relativní vlhkosti (dole) na koncentrace NO_2 , Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

3.2.2 Analýza hodinových koncentrací – denní chod a koncentrační růžice

Statistické zpracování hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x zobrazuje následující Obr. 18. Je z něj patrné, že koncentrace NO jsou výrazně nižší než koncentrace NO₂. Koncentrace NO₂ nepřesahují 50 µg·m⁻³, tedy se ani vzdáleně neblíží hodnotě imisního limitu pro maximální hodinovou koncentraci NO₂ (200 µg·m⁻³). Maximální hodinová koncentrace NO₂ měla v této lokalitě hodnotu 49,6 µg·m⁻³ a byla naměřena 27. 12. 2021 v 18:00.



Obr. 18 – Statistické zpracování hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

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), Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

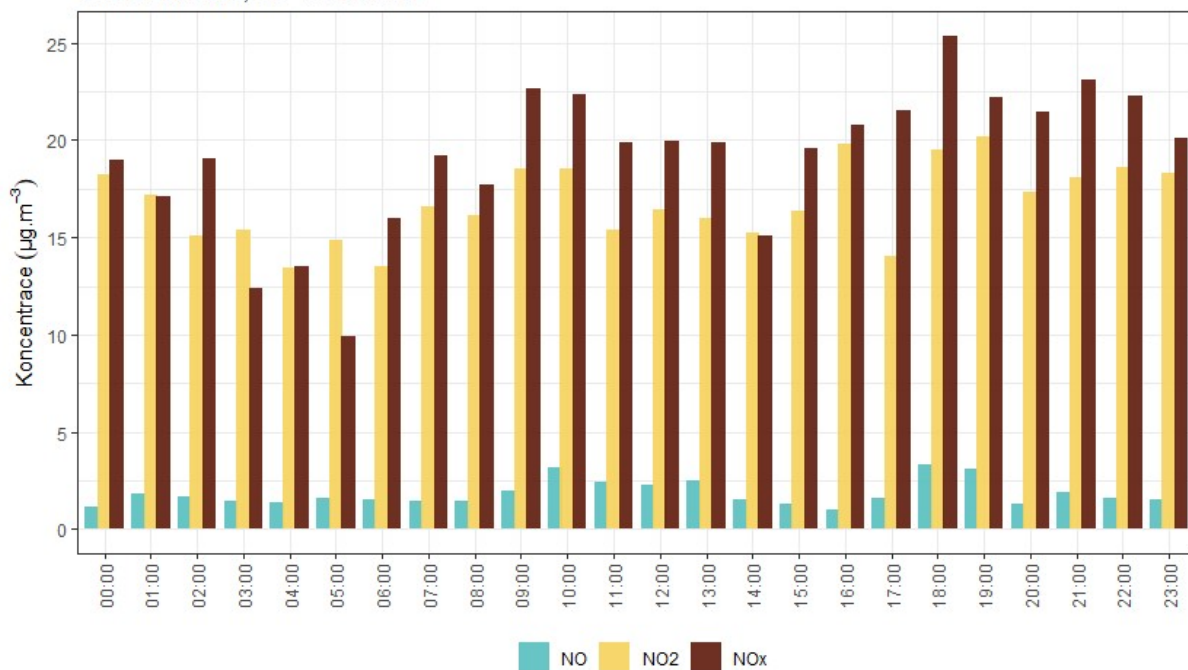
STATISTIKA	NO	NO ₂	NO _x
PRŮMĚR	1,8	16,8	19,2
MAXIMUM	26,3	49,6	68,6
MEDIÁN	1,5	14,9	17,2
MINIMUM	0	0	0

Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod koncentrací NO, NO₂ a NO_x v lokalitě Uherské Hradiště. Denní chod zobrazuje následující Obr. 19.

Z grafů je patrné, že nejvyšší hodnoty koncentrací NO₂ byly dosahovány v době ranní a odpolední dopravní špičky. Vyšší večerní hodnoty, spojené s významně vyšším NO₂ proti NO, mohou být také zvýšeny vlivem lokálních topenišť a nedalekého CTZ. Přesto jsou koncentrace NO₂ nízké, typické pro pozadřové lokality. Okolo poledne 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.

Průměrný denní chod hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x

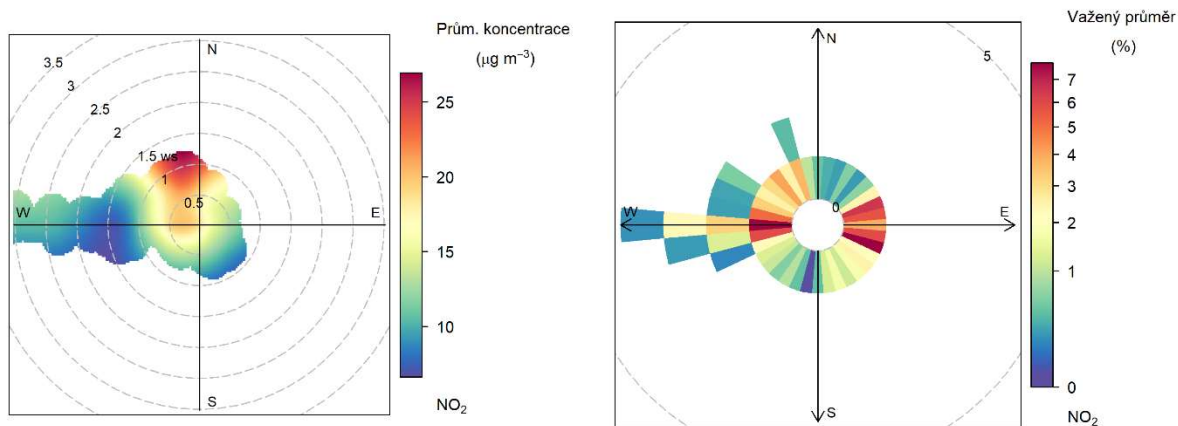
Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021



Obr. 19 – Denní chod hodinových koncentrací NO₂, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

Vysvětlení podstaty koncentračních růžic je uvedeno v kapitole 3.1.2.

Následující Obr. 2020 zobrazuje dva typy koncentrační a váženou koncentrační růžici pro lokalitu Uherské Hradiště.

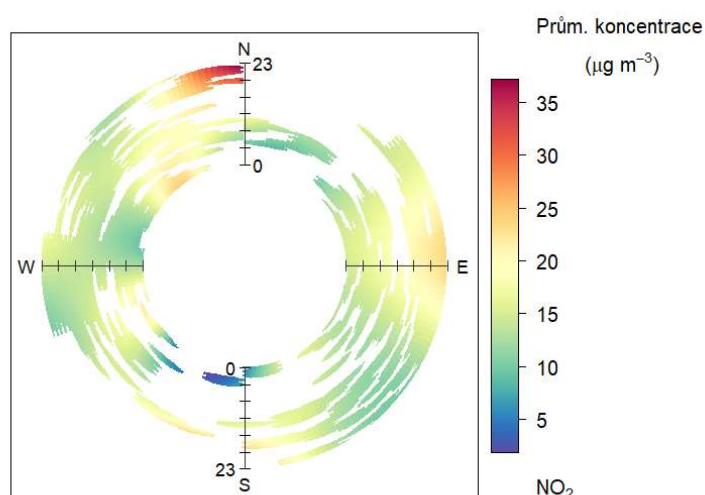


Obr. 2020 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro NO₂, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

Z Obr. 2020 vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při bezvětří a při severním až severozápadním proudění. Nízké rychlosti větru a západní, resp. východní proudění (nejčastější směr

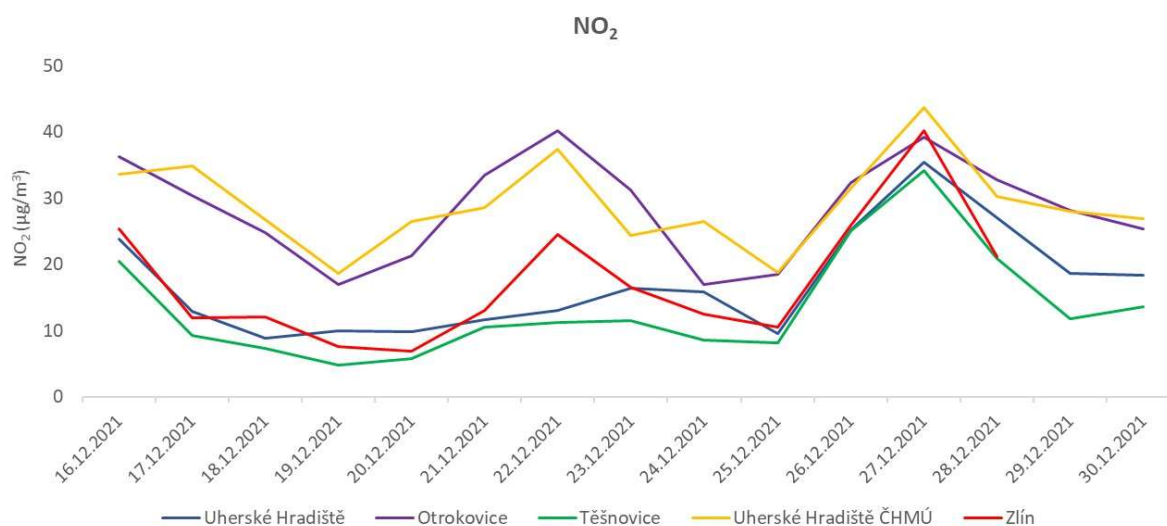
proudění dle větrné růžice) pak nejvíce přispívaly k měřeným koncentracím NO_2 . Přibližně severním až severozápadním směrem od lokality měření je situován zmiňovaný centrální tepelný zdroj, který tak kromě dopravy a lokálních topenišť pravděpodobně také ovlivňuje úroveň koncentrací NO_2 v lokalitě.

Z Obr. 21 pak vyplývá, že v případě lokality Uherské Hradiště byly nejvyšší koncentrace NO_2 měřeny zejména ve večerních hodinách při proudění ze severu až severozápadu. To opět potvrzuje tvrzení uvedené v předchozím odstavci.



Obr. 21 – Průměrný denní chod koncentrací dle směru větru, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

3.2.3 Srovnání koncentrací NO_2 s okolními stanicemi



Obr. 22 – Srovnání koncentrací NO_2 s okolními stanicemi 16. - 30. 12. 2021

Z Obr. 24 je zřejmé, že na rozdíl od prašného aerosolu jsou koncentrace NO_2 naměřené v lokalitě Uherské Hradiště o poznání nižší než na dopravních imisních monitorovacích stanicích v regionu – Uherské Hradiště (stanice ČHMÚ) a Otrokovice, přibližně na stejné úrovni jako městská pozadřová stanice Zlín a nepatrně vyšší než na pozadřové stanici Těšnovice. Vzhledem k významnému vlivu emisí z dopravy na koncentrace NO_2 se jedná o očekávané zjištění.

3.3 PŘÍZEMNÍ OZÓN

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

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

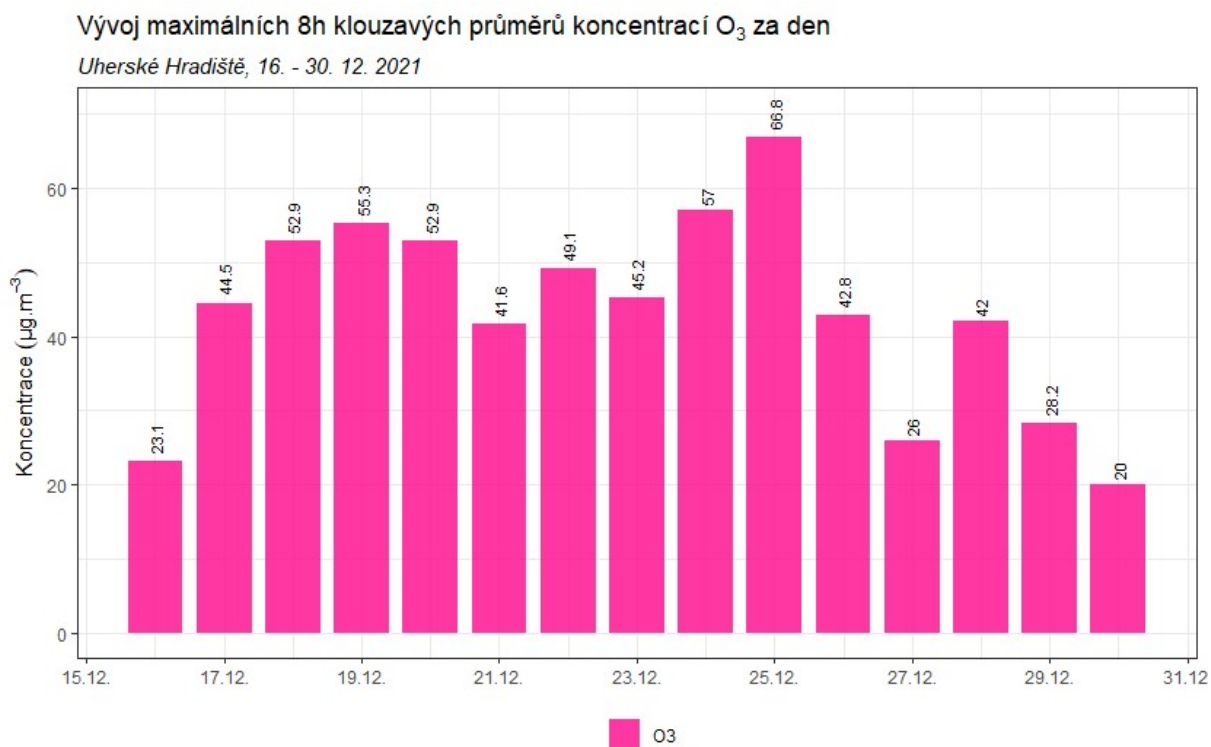
Při vzniku O_3 z prekurzorů nezáleží pouze na absolutním množství prekurzorů, ale i na jejich vzájemném poměru [13]. V oblastech, kde je režim limitovaný NO_x , charakterizovaný relativně nízkými koncentracemi NO_x a vysokými koncentracemi VOC, narůstají koncentrace O_3 s rostoucími koncentracemi NO_x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

3.3.1 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 O_3 . Hodnota imisního limitu je $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, tato hodnota může být 25x za kalendářní rok překročena. Plnění imisního limitu se vyhodnocuje na základě průměru za 3 kalendářní roky.

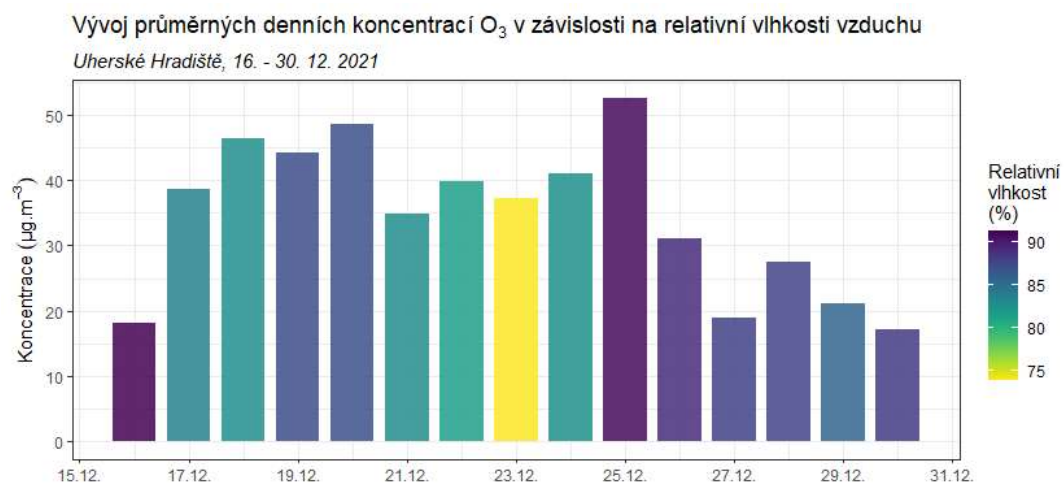
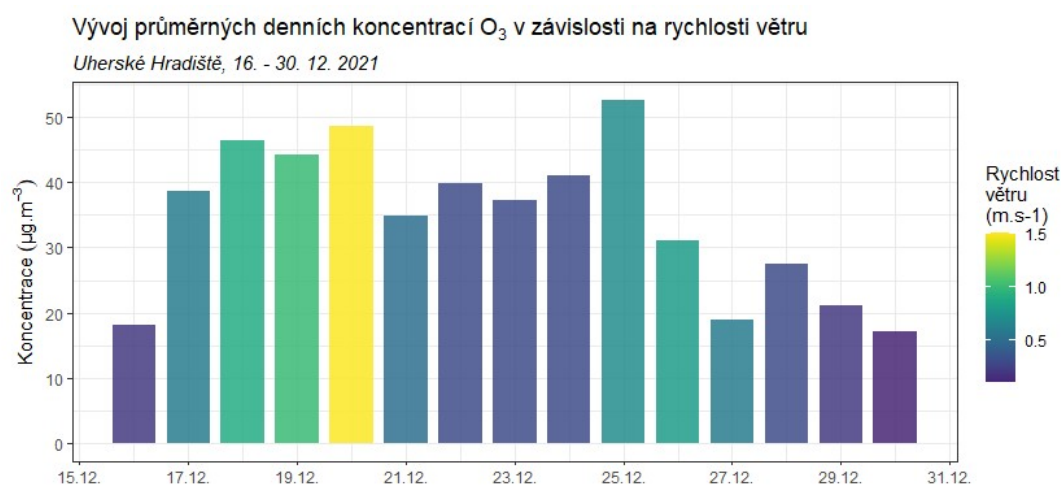
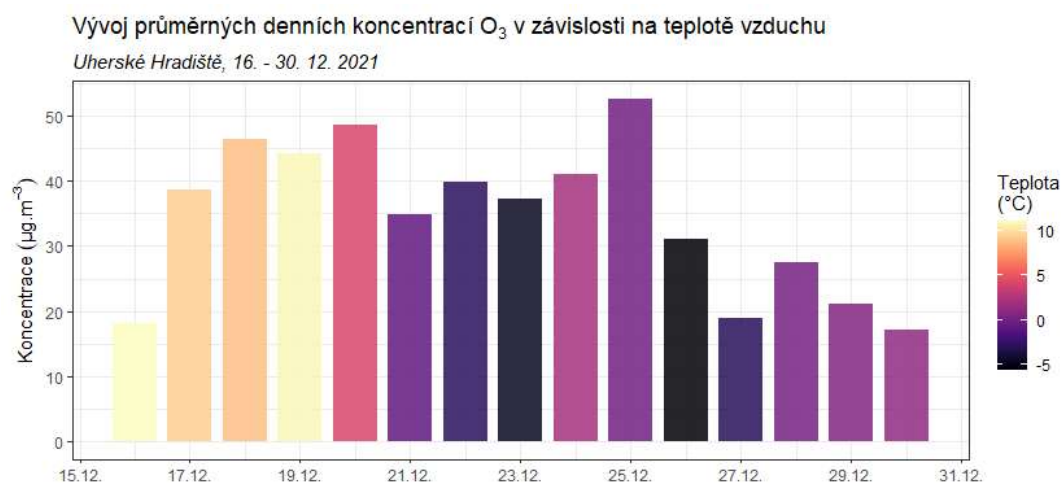
Následující Obr. 23 uvádí hodnoty maximálních 8hodinových klouzavých průměrů koncentrací O_3 za den v lokalitě Uherské Hradiště. Z grafu je patrné, že maximální hodnoty nepřesáhly $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Je to dáno faktem, že v zimním období jsou koncentrace přízemního ozónu výrazně nižší nežli v teplé části roku.



Obr. 23 – Vývoj 26. nejvyššího 8hodinového klouzavého průměru O_3 za den, lokalita Uherské Hradiště

Na Obr. 24 jsou nad sebou zobrazeny 3 grafy. Sloupce vždy zobrazují vývoj koncentrací O_3 v dané lokalitě. Zabarvení křivky na horním grafu vždy zobrazuje aktuální teplotu vzduchu, v prostředním pak rychlost proudění větru a ve spodním grafu relativní vlhkost vzduchu.

Z uvedených grafů vyplývá, že meteorologické podmínky mají na koncentrace O_3 významný vliv, zejména pak teplota vzduchu (potažmo sluneční záření). S rostoucím slunečním zářením a teplotou vzduchu rostou rovněž koncentrace O_3 . Rychlost větru tolik koncentrace neovlivňuje, přesto vyšší rychlosti větru zřejmě mírně přispívají k vyšším koncentracím O_3 .



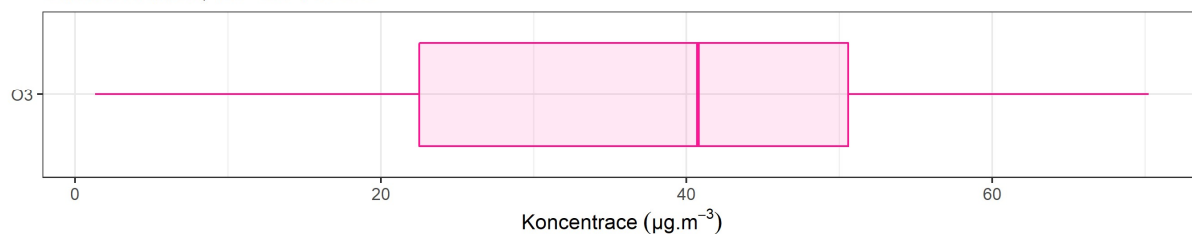
Obr. 24 – Vliv teploty (nahore) a rychlosti větru (uprostřed) a relativní vlhkosti (dole) na koncentrace O_3 , Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

3.3.2 Analýza hodinových koncentrací – denní chod a koncentrační růžice

Statistické zpracování hodinových koncentrací O_3 zobrazuje následující Obr. 20. 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 $70,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a byla naměřena 25. 12. 2021 v 13:00.

Statistické zpracování hodinových koncentrací O_3

Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021



Obr. 25 – Statistické zpracování hodinových koncentrací NO , NO_2 a NO_x , Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

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

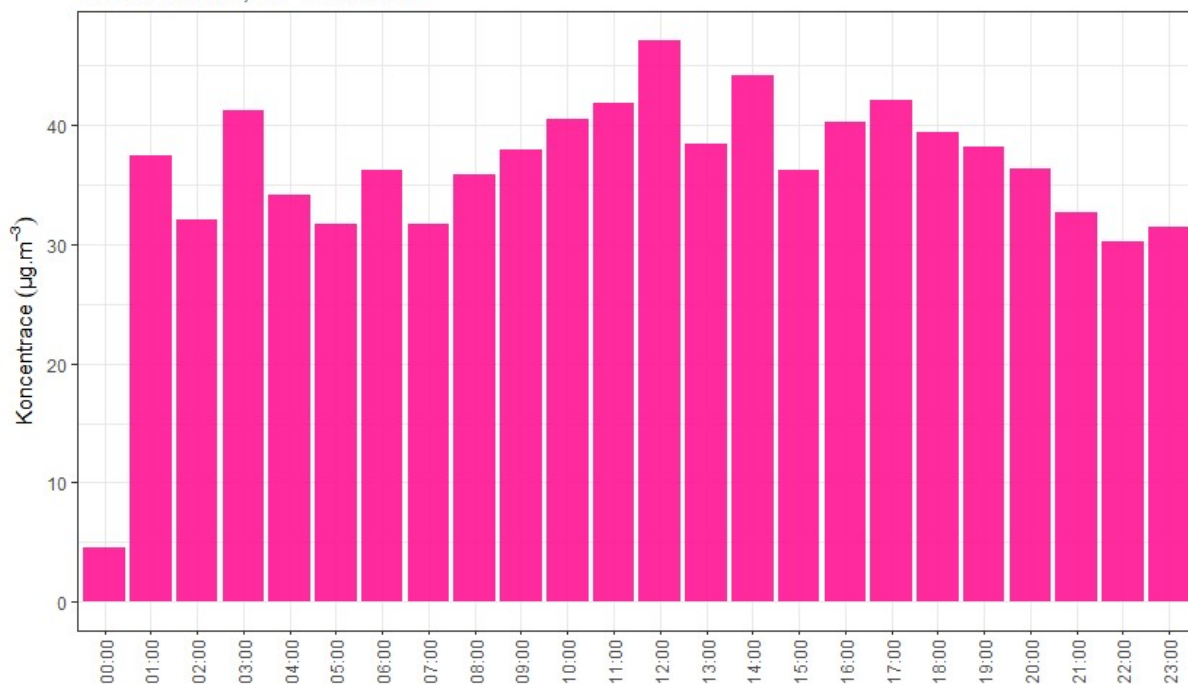
Tab. 4 – Statistické parametry průměrných hodinových koncentrací O_3 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

STATISTIKA	O_3
PRŮMĚR	35,8
MAXIMUM	70,2
MEDIÁN	40,8
MINIMUM	1,3

Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod O_3 v lokalitě Uherské Hradiště. 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. Nejvyšší koncentrace byly naměřeny okolo 12:00 hodin.

Průměrný denní chod hodinových koncentrací O₃

Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

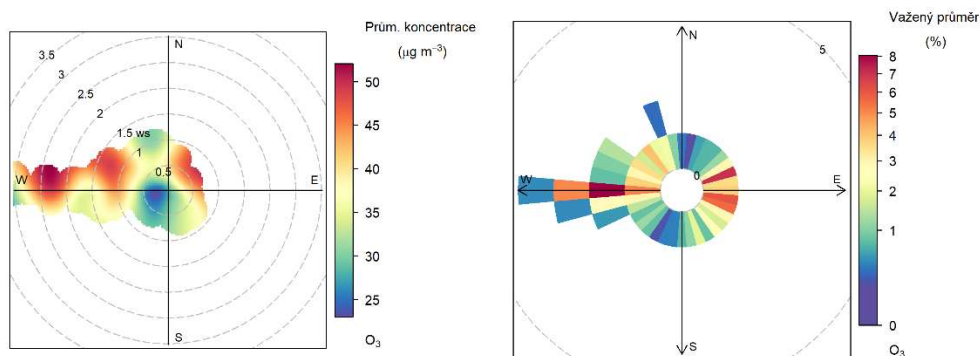


Obr. 26 – Denní chod hodinových koncentrací O₃, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

Vysvětlení podstaty koncentračních růžic je uvedeno v kapitole 3.1.2.

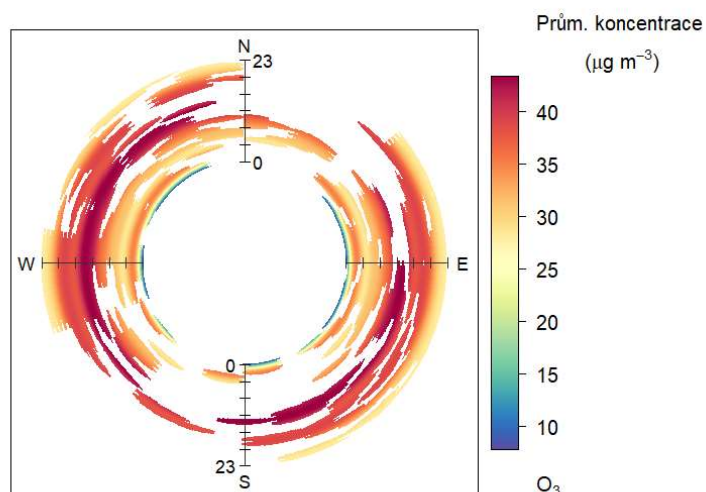
Následující Obr. 27 zobrazuje dva typy koncentrační a váženou koncentrační růžici O₃ pro lokalitu Uherské Hradiště.

Z Obr. 27 vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při západním až severozápadním proudění a vyšších rychlostech větru a dále při severovýchodním proudění a vyšších rychlostech větru. Západní směry proudění se pak nejvíce podílely na měřených koncentracích O₃.



Obr. 27 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro O₃, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

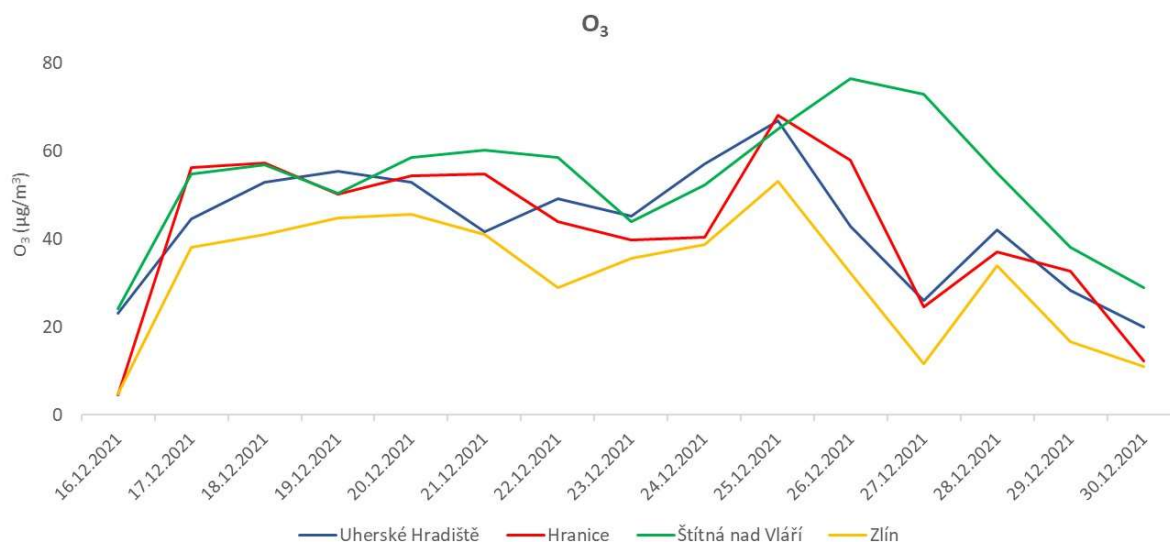
Cenné informace poskytuje rovněž průměrný denní a roční chod, členěný dle směru větru. V případě denního chodu je uprostřed první hodina po půlnoci a na okraji pak 23. hodina.



Obr. 30 – Průměrný denní chod (vlevo) a roční chod (vpravo) koncentrací dle směru větru, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

Z Obr. pak vyplývá, že v případě lokality Uherské Hradiště byly nejvyšší koncentrace O_3 měřeny v denních hodinách, zejména kolem poledne.

3.3.3 Srovnání koncentrací troposférického ozónu s okolními stanicemi



Obr. 281 – Srovnání koncentrací O_3 s okolními stanicemi, 16. - 30. 12. 2021

Z grafu na Obr. 31 je zřejmé, že během měřicí kampaně byly naměřené koncentrace ozónu v lokalitě Uherské Hradiště povětšinou na podobné úrovni jako koncentrace na stanici Hranice a nepatrně vyšší než v lokalitě Zlín. Nejvyšší koncentrace pak byly dle předpokladů naměřené na pozadové horské

stanici Štítná nad Vláří, jelikož koncentrace ozónu standardně rostou se vzdáleností od emisních zdrojů jeho prekurzorů a s nadmořskou výškou.

3.4 OXID SIŘIČITÝ SO₂

Oxid siřičitý SO₂ se dlouhodobě pohybuje v ČR na velmi nízkých koncentracích, jeho měření se omezuje na nezbytné minimum pro reporting.

Zdrojem emisí oxidů síry je především spalování pevných fosilních paliv, která síru obsahují. V roce 2019 pocházelo v celorepublikovém měřítku ze sektoru 1A1a – Veřejná energetika a výroba tepla 47,2 % emisí SO_x a ze sektoru 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření 21,7 % (Obr. 29). Vzhledem k převažujícímu vlivu sektoru Veřejná energetika a výroba tepla jsou emise SO_x koncentrovány do Ústeckého, Moravskoslezského a Středočeského kraje, ve kterých se nacházejí větší energetické výrobní celky [6].



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

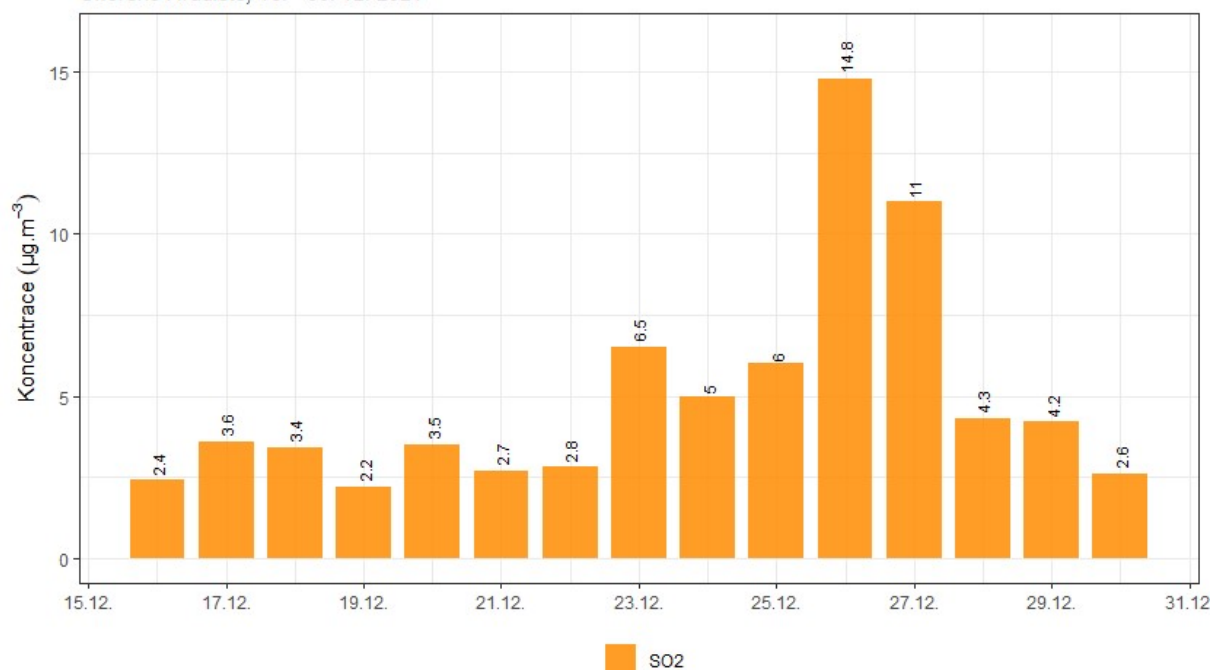
3.4.1 Průměrné denní koncentrace SO₂

Vývoj průměrných denních koncentrací SO₂ v lokalitě Uherské Hradiště zobrazuje následující Obr. .

Z grafu je patrné, že koncentrace SO₂ byly po celé sledované období velmi nízké. Všechny hodnoty koncentrací SO₂ se pohybovaly výrazně pod hodnotou imisního limitu pro průměrnou denní koncentrací SO₂ (125 µg·m⁻³). Maximální průměrná denní koncentrace během sledovaného období dosáhla 14,8 µg·m⁻³.

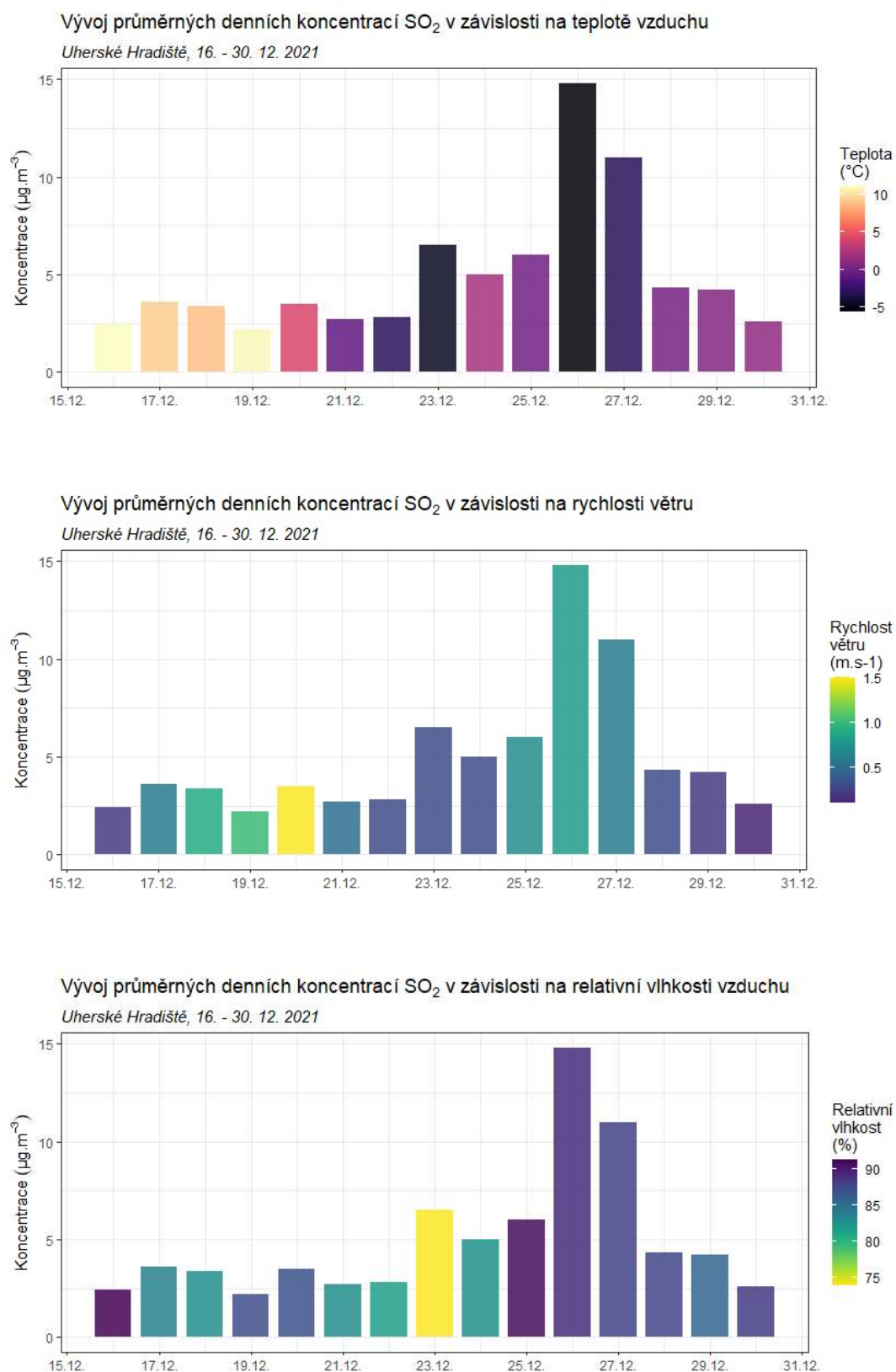
Vývoj maximálních 8h klouzavých průměrů koncentrací SO₂ za den

Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021



Obr. 33 – Vývoj průměrných hodinových koncentrací SO₂, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

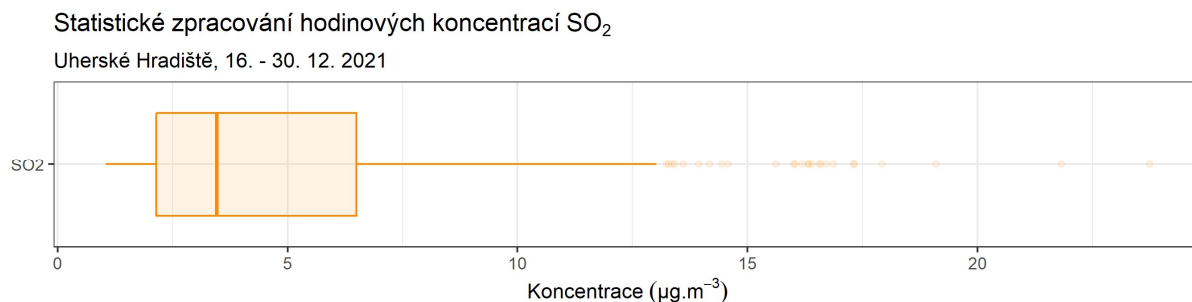
Na Obr. jsou nad sebou zobrazeny 3 grafy. Sloupce vždy zobrazují vývoj koncentrací SO₂ v dané lokalitě. Zabarvení křivky na horním grafu vždy zobrazuje aktuální teplotu vzduchu, v prostředním grafu pak rychlost proudění větru a ve spodním grafu relativní vlhkost. Z grafů je patrné, že na koncentrace SO₂ má vliv zejména teplota. Nejvyšší koncentrace jsou pak měřeny při nízkých teplotách, přičemž hlavním zdrojem emisí SO₂ je převážně spalování nekvalitního hnědého uhlí (ať už v lokálních topeništích, tak i v nedalekém centrálním tepelném zdroji).



Obr. 33 – Vliv teploty (nahore) a rychlosti větru (uprostřed) a relativní vlhkosti (dole) na koncentrace SO₂, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

3.4.2 Analýza hodinových koncentrací – denní chod a koncentrační růžice

Statistické zpracování hodinových koncentrací SO₂ zobrazuje následující Obr. 30. Je z něj patrné, že koncentrace SO₂ nepřesahují 25 µg·m⁻³, tedy se ani vzdáleně neblíží hodnotě imisního limitu pro maximální hodinovou koncentraci SO₂ (350 µg·m⁻³). Maximální hodinová koncentrace SO₂ měla v této lokalitě hodnotu 23,7 µg·m⁻³ a byla naměřena 26. 12. 2021 v 17:00.



Obr. 30 – Statistické zpracování hodinových koncentrací SO₂, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

Číselně zobrazuje statistické údaje hodinových koncentrací SO₂ během kampaně následující Tab. 5.

Tab. 5 – Statistické parametry průměrných hodinových koncentrací SO₂ (µg·m⁻³), Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

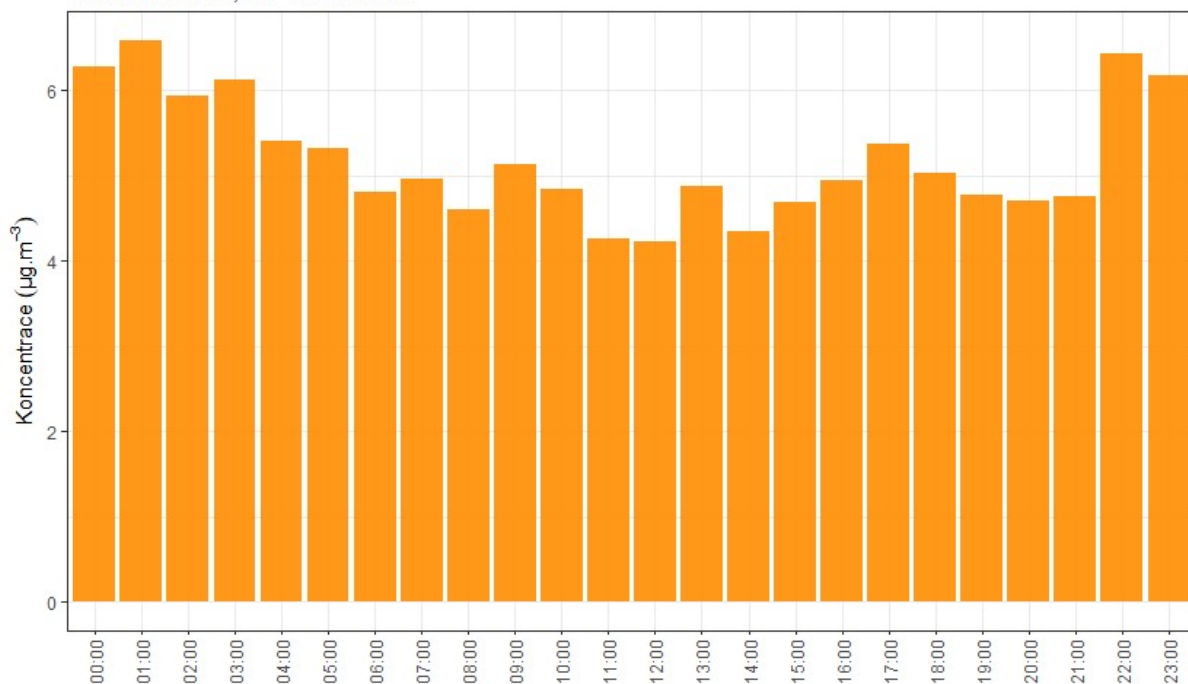
STATISTIKA	SO2
PRŮMĚR	5,2
MAXIMUM	23,7
MEDIÁN	3,5
MINIMUM	1

Zprůměrováním všech naměřených koncentrací v jednotlivé hodiny lze získat průměrný denní chod koncentrací SO₂ v lokalitě Uherské Hradiště. Denní chod zobrazuje následující Obr. 30.

Z grafů je patrné, že nejvyšší hodnoty koncentrací SO₂ dosahovány ve večerních a nočních hodinách, podobně jako v případě suspendovaných částic. To souvisí s podobným majoritním emisním zdrojem – lokální vytápění, popř. nedaleký CTZ.

Průměrný denní chod hodinových koncentrací SO₂

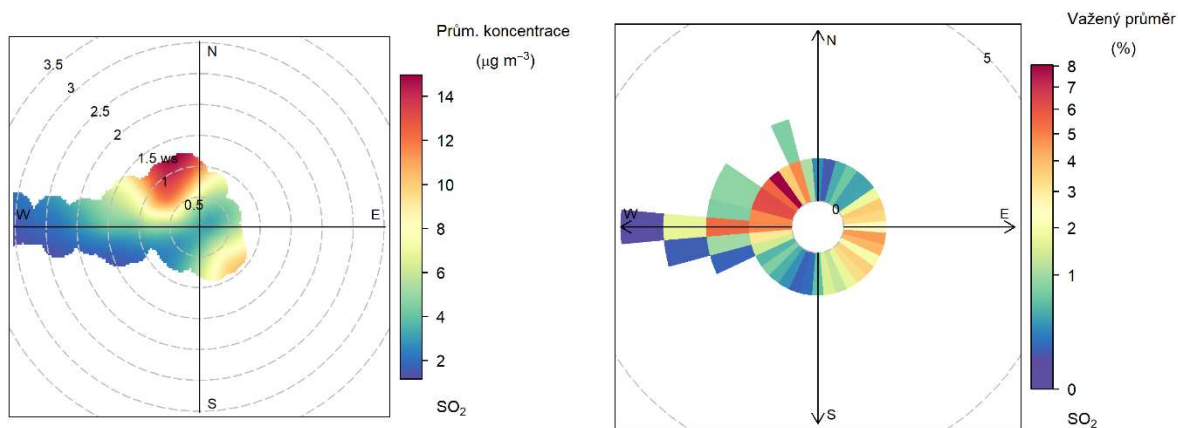
Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021



Obr. 35 – Denní chod hodinových koncentrací SO₂, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

Vysvětlení podstaty koncentračních růžic je uvedeno v kapitole 3.1.2.

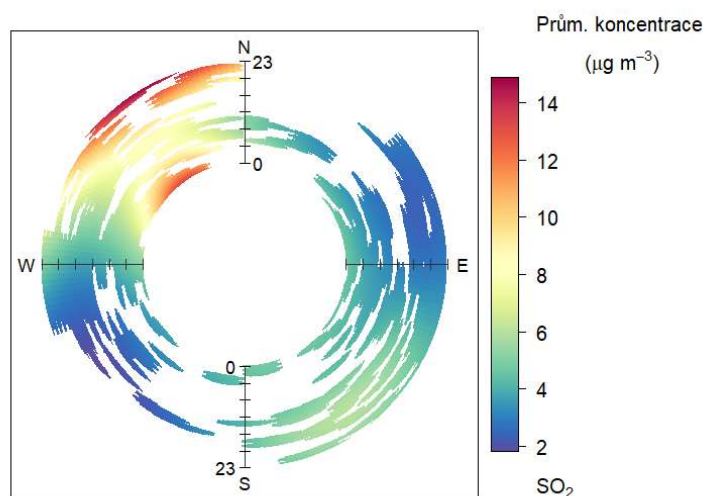
Následující Obr. 31 zobrazuje koncentrační a váženou koncentrační růžici pro lokalitu Uherské Hradiště.



Obr. 31 – Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro SO₂, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

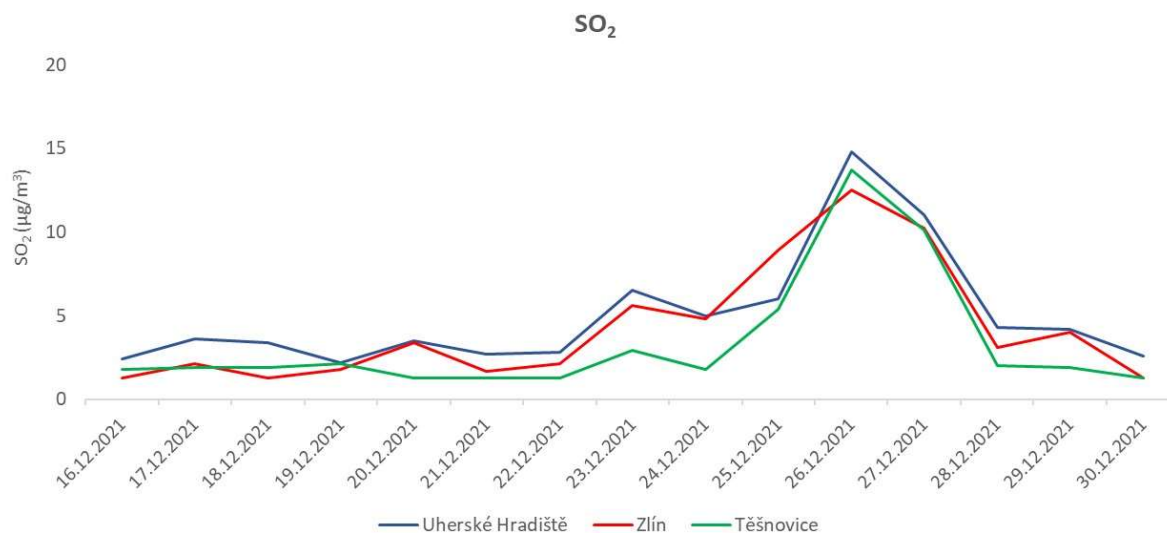
Z Obr. 31 vyplývá, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při severním až severozápadním proudění. Nízké rychlosti větru a severozápadní proudění (nejčastější směr proudění dle větrné růžice) pak nejvíce přispívaly k měřeným koncentracím SO₂.

Z Obr. 32 pak vyplývá, že v případě lokality Uherské Hradiště byly nejvyšší koncentrace SO_2 měřeny zejména ve večerních a nočních hodinách při proudění ze severozápadu, což opět poukazuje kromě vlivu lokálního vytápění také na pravděpodobný příspěvek nedalekého CTZ.



Obr. 327 – Průměrný denní chod koncentrací dle směru větru, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021

3.4.3 Srovnání koncentrací SO_2 s okolními stanicemi



Obr. 338 – Srovnání koncentrací SO_2 s okolními stanicemi, 16. - 30. 12. 2021

Z grafu na Obr. 38 je patrné, že naměřené koncentrace SO_2 na všech porovnávaných stanicích jsou velmi nízké, často pod úrovní detekčního limitu měřící techniky. Koncentrace SO_2 naměřené v lokalitách Zlín a Uherské Hradiště jsou téměř totožné a koncentrace SO_2 naměřené v pozadové venkovské lokalitě Těšnovice jsou nepatrně nižší.

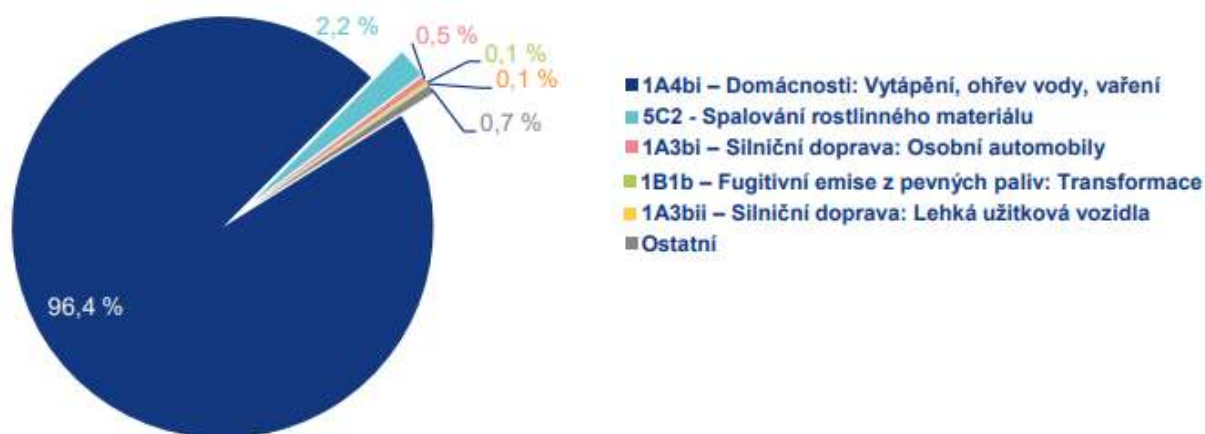
3.5 POLYCYKlickÉ AROMATICKÉ UHLOVODÍKY (PAU)

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 (PAU), 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 PAU 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 PAU, 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 (odhořívací a prohořívací 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. 34) [6].



Obr. 34 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích benzo[a]pyrenu v ČR, rok 2019 [6]

3.5.1 Naměřené hodnoty PAU

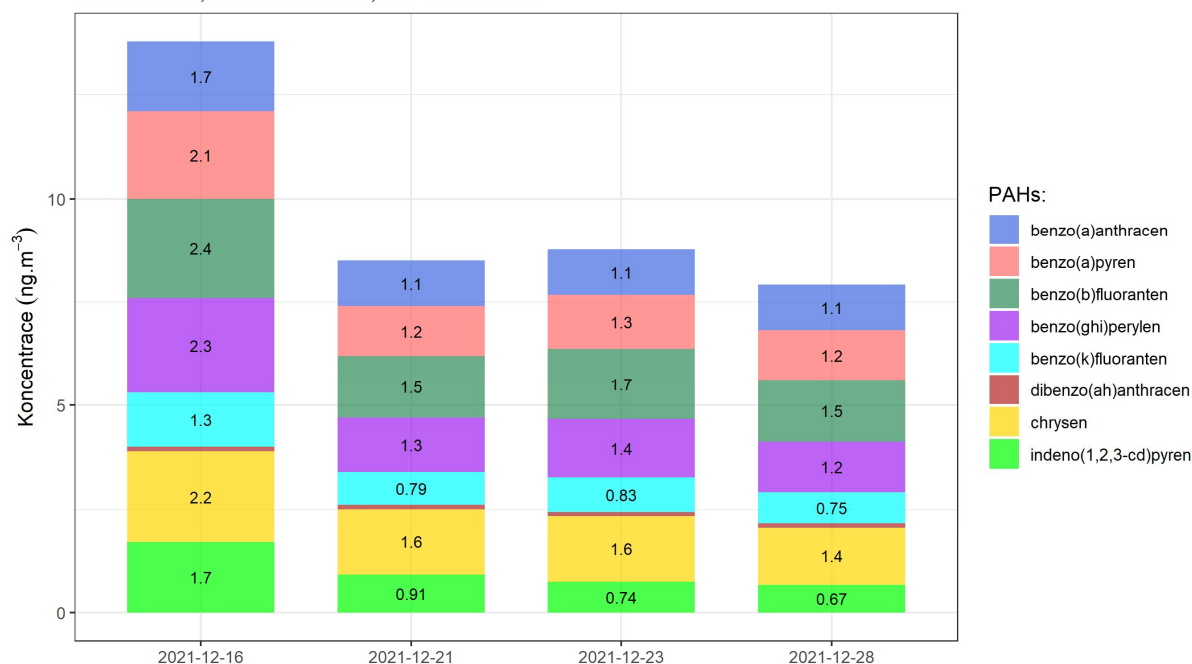
Polycyklické aromatické uhlovodíky byly odebírány během kampaně 4x v 24hodinových odběrech. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 6. Pro potřeby hodnocení byly koncentrace pod mezí detekce nahrazeny $\frac{1}{2}$ hodnoty meze detekce. Hodnoty bez této změny jsou uvedeny v protokolech. Tučným písmem je zvýrazněn legislativou sledovaný benzo[a]pyren. Koncentrace benzo[a]pyrenu se pohybují nejčastěji na úrovni hodnoty imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci, což neznamena, 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 v chladné části roku jsou spojeny s lokálním vytápěním a zdroji na výrobu tepla (např. CTZ). Graficky jsou koncentrace PAU znázorněny na Obr. 35. Zastoupení jednotlivých PAU je poměrově ve všech dnech obdobné. Je zajímavé, že nejvyšší koncentrace většiny PAU byly naměřeny 16.12., což nekoresponduje s maximy ostatních znečišťujících látek, se kterými běžně korelují – především PM_{10} . Toto maximum je způsobeno buď prokazatelně intenzivnější dopravou v tomto dni v měřené lokalitě (PAU mohou být zvýšené i v důsledku zvýšené dopravy), nebo nějakým krátkodobým lokálním zdrojem PAU (např. kouřová vlečka dopadající na měřicí stanici). V ostatních dnech byly naměřené koncentrace na standardní úrovni odpovídající zimnímu období na většině území České republiky.

Tab. 6 – Měřené koncentrace PAU ($ng \cdot m^{-3}$), Uherské Hradiště 16. – 30. 12. 2021

PAU	16.12.2021	21.12.2021	23.12.2021	28.12.2021
<i>benzo(a)anthracen</i>	1,7	1,1	1,1	1,1
benzo(a)pyren	2,1	1,2	1,3	1,2
<i>benzo(b)fluoranten</i>	2,4	1,5	1,7	1,5
<i>benzo(ghi)perylene</i>	2,3	1,3	1,4	1,2
<i>benzo(k)fluoranten</i>	1,3	0,79	0,83	0,75
<i>dibenzo(ah)anthracen</i>	0,1	0,1	0,1	0,1
<i>chrysen</i>	2,2	1,6	1,6	1,4
<i>indeno(1,2,3-cd)pyren</i>	1,7	0,91	0,74	0,67

Průměrné denní koncentrace PAHs

Lokalita Měsit, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021



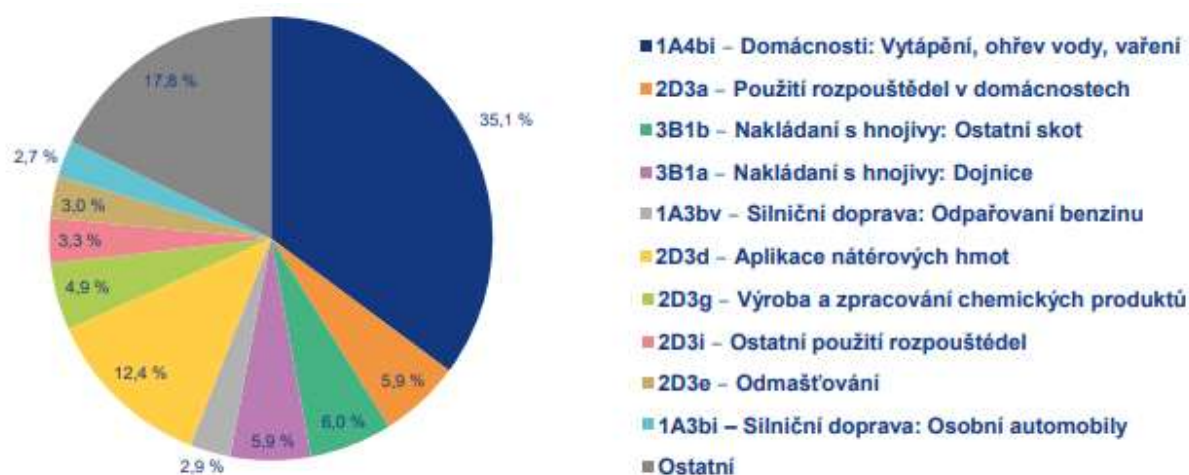
Obr. 35 – Měřené koncentrace PAU, Uherské Hradiště 16. – 30. 12. 2021

3.6 TĚKAVÉ ORGANICKÉ LÁTKY VOC

VOC (Volatile Organic Compounds) je anglická zkratka pro skupinu těkavých organických sloučenin. Jsou to sloučeniny schopné tvořit fotochemické oxidanty reakcí s oxidy dusíku, a to za přítomnosti slunečního záření. Jejich častými zdroji jsou barvy, laky, rozpouštědla a lepidla. VOC zatěžují životní prostředí a mohou dokonce poškodit lidské zdraví, například formou akutní otravy.

Těkavé organické sloučeniny (VOCs; Volatile Organic Compounds) jsou významnou skupinou polutantů ovzduší, které byly nalezeny v nižších vrstvách atmosféry všech velkých měst a průmyslových center. Kategorie VOCs zahrnuje stovky různých sloučenin, jejich výčet je často komplikován rozdílnými definicemi a názvoslovím. K označení těkavých organických sloučenin se používá také dalších termínů jako např. uhlovodíky (HCs) či nemetanické těkavé organické sloučeniny (NMVOCs).

Největší množství emisí NMVOC vzniklo v roce 2019 v sektoru 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření (35,1 %). Podíl mobilních zdrojů včetně odparů z palivového systému vozidel činil 16,8 %. Významné zdroje emisí NMVOC v ČR se nacházejí v sektoru užití a aplikace organických rozpouštědel (NFR 2D3), který se na znečišťování ovzduší těmito látkami podílel 31,4 %. Do tohoto sektoru spadají činnosti 2D3a – Použití rozpouštědel v domácnostech (5,9 %), 2D3d – Aplikace nátěrových hmot (12,4 %), 2D3e – Odmašťování (3 %), 2D3f – Chemické čištění (0,03 %), 2D3g – Výroba a zpracování chemických produktů (4,9 %), 2D3h – Tiskárenský průmysl (1,7 %) a 2D3i – Ostatní použití rozpouštědel (3,3 %). Část těchto emisí je do ovzduší vnášena řízeně, ale velká část jich uniká do ovzduší ve formě fugitivních emisí, jejichž omezování je obtížné. Dalším významným sektorem produkujícím emise NMVOC je zemědělství s celkovým podílem téměř 15 % (Obr.) [6].



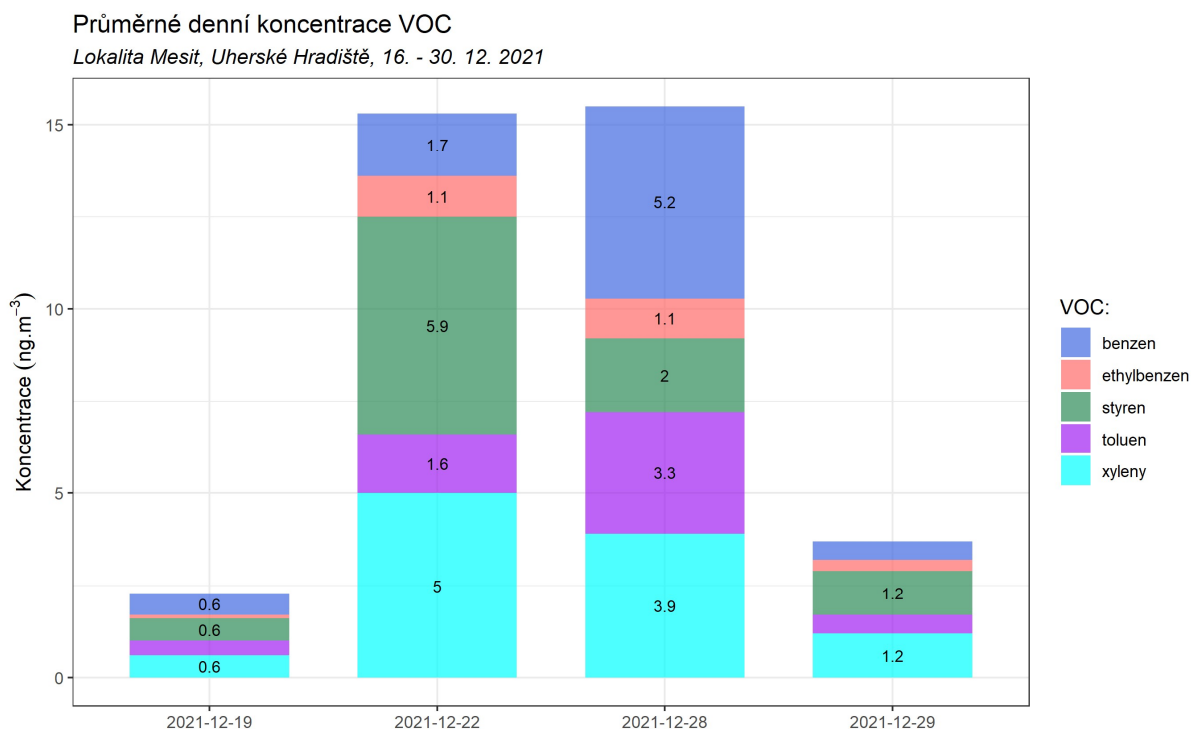
Obr. 41 – Podíl sektorů NFR na celkových emisích těkavých organických látek v ČR, rok 2019 [6]

3.6.1 Naměřené hodnoty VOC

Těkavé organické látky byly odebírány během kampaně 4x v 24hodinových odběrech. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 7. 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 benzen. Koncentrace benzenu se pohybují výrazně pod hodnotou imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci s výjimkou 28. 12. 2021, kdy se koncentrace mírně přes tuto hodnotu dostala. Vzhledem k tomu, že v letní období jsou koncentrace benzenu výrazně nižší, rozhodně to neznamena, že by mělo být pravděpodobné překročení ročního imisního limitu pro tuto látku v lokalitě Uherské Hradiště. Graficky jsou koncentrace VOC znázorněny na Obr. . 22.a 28. prosince byla suma VOC výrazně vyšší než ve zbylé dva dny, což neodpovídá průběhu koncentrací žádné z dalších měřených znečišťujících látek. Patrně to bylo způsobeno krátkodobým lokálním zdrojem VOC v okolí, jako např. zvýšená intenzita dopravy v nejbližším okolí.

Tab. 7 – Měřené koncentrace VOC ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), Uherské Hradiště 16. – 30. 12. 2021

VOC	19.12.2021	22.12.2021	28.12.2021	29.12.2021
BENZEN	0,6	1,7	5,2	0,5
ETHYLBENZEN	0,1	1,1	1,1	0,3
STYREN	0,6	5,9	2	1,2
TOLUEN	0,4	1,6	3,3	0,5
XYLENY	0,6	5	3,9	1,2



Obr. 42 – Měřené koncentrace VOC ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), Uherské Hradiště 16. – 30. 12. 2021

3.7 TĚŽKÉ KOVY

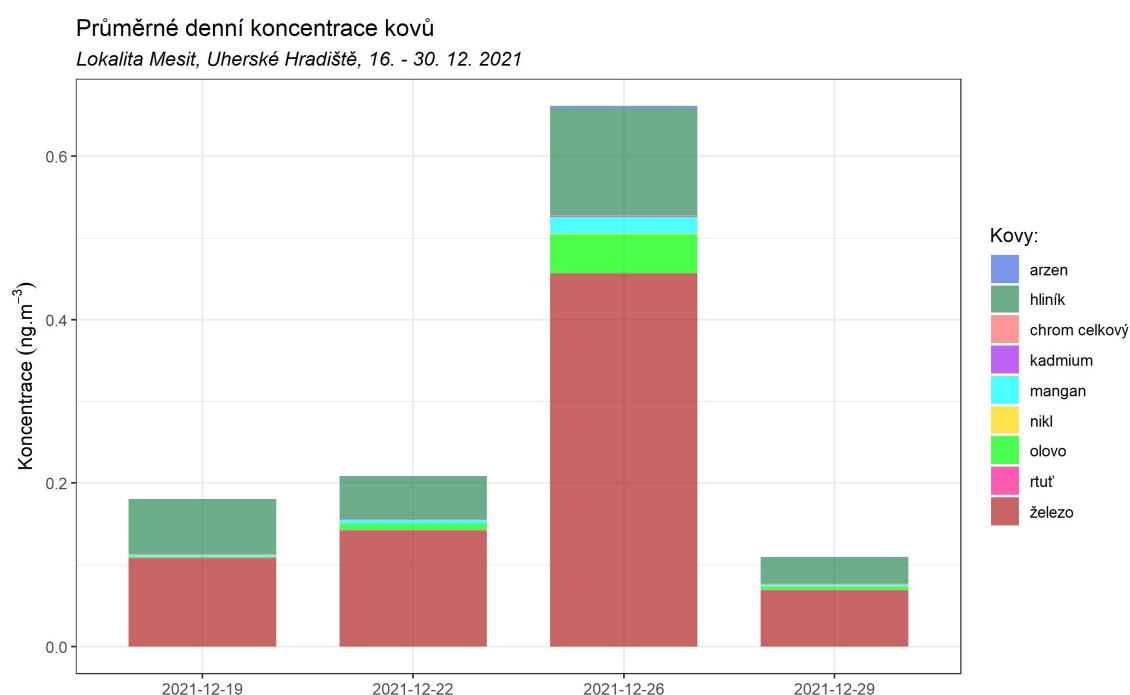
Legislativou sledované kovy jsou arsen, kadmium, nikl a olovo. Ve všech případech jsou v ČR dlouhodobě měřeny velmi nízké koncentrace těchto kovů, pod dolní mezí pro hodnocení.

3.7.1 Měřené koncentrace těžkých kovů

Kovy byly odebrány během kampaně 4x v 24hodinových odběrech. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 8. Pro potřeby hodnocení byly koncentrace pod mezí detekce nahrazeny $\frac{1}{2}$ hodnoty meze detekce. Hodnoty bez této změny jsou uvedeny v protokolech. Tučným písmem jsou zvýrazněny legislativou sledované kovy. Koncentrace se pohybují pod hodnotami imisních limitů pro průměrnou roční koncentraci. Naměřené koncentrace odpovídají standardním požadovým hodnotám měřeným v tomto období v České republice, s výjimkou 26.12., kdy byly mírně zvýšené. Graficky jsou koncentrace kovů znázorněny na Obr. . Nejvyšší koncentrace téměř všech sledovaných těžkých kovů byly naměřeny 26.12., kdy i ostatní znečišťující látky vykazovaly maximální koncentrace. Toto navýšení je velmi pravidelně spojeno s vyšší intenzitou vytápění, a to jak v lokálních topeništích, tak i v nedalekém CTZ. Koncentrace těžkých kovů v ostatních dnech dosahovaly navzájem podobné úrovně.

Tab. 8 – Měřené koncentrace kovů ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), Uherské Hradiště 16. – 30. 12. 2021

KOV	19.12.2021	22.12.2021	26.12.2021	29.12.2021
HLINÍK	0,06620000	0,05100000	0,13100000	0,03290000
ARZEN	0,00029800	0,00107000	0,00337000	0,00115000
KADMIUM	0,00006690	0,00031600	0,00104000	0,00021400
CHROM CELKOVÝ	0,00081500	0,00081500	0,00081500	0,00081500
ŽELEZO	0,10800000	0,14100000	0,45700000	0,06770000
RTUŤ	0,00068000	0,00136000	0,00068000	0,00068000
MANGAN	0,00234000	0,00460000	0,02030000	0,00202000
NIKL	0,00040800	0,00040800	0,00114000	0,00040800
OLOVO	0,00122000	0,00766000	0,04710000	0,00433000



Obr. 43 – Měřené koncentrace kovů ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), Uherské Hradiště 16. – 30. 12. 2021

3.8 PCDD/F

Do skupiny POPs zařazujeme polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU), polychlorované bifenylly (PCBs), organochlorové pesticidy (OCPs) a polychlorované dibenzo-p-dioxiny a dibenzofurany (PCDDs/Fs). Hlavním důvodem jejich sledování je prokázané široké spektrum toxických a genotoxických účinků těchto látek. Tyto látky jsou široce rozšířeny v prostředí, byly detekovány ve všech jeho složkách a patří mezi nejstabilnější organické polutanty v terestrickém prostředí. Některé z nich jako například PAH či PCDDs/Fs jsou v určitém malém množství přirozenou součástí prostředí. Koncentrace POPs začaly růst od průmyslové revoluce, především díky zvyšujícímu se využívání spalovacích a termických průmyslových procesů využívajících především fosilních paliv a zvýšenému užívání pesticidů v celé škále

odvětví. Jejich koncentrace závisí na blízkosti bodových zdrojů, ale vyskytují se i v odlehlých oblastech, kam se dostávají dálkovým transportem. Obecně jsou POPs v životním prostředí nebezpečné proto, že jsou silně rezistentní proti degradacím (chemickým i biologickým) a mají nepolární molekuly kumulující se v tukových tkáních a tím pádem dochází k silnému bioobohacování v trofických sítích.

Chování POPs v prostředí tím i jejich nebezpečnost lze charakterizovat zejména pěti environmentálně-chemickými parametry.

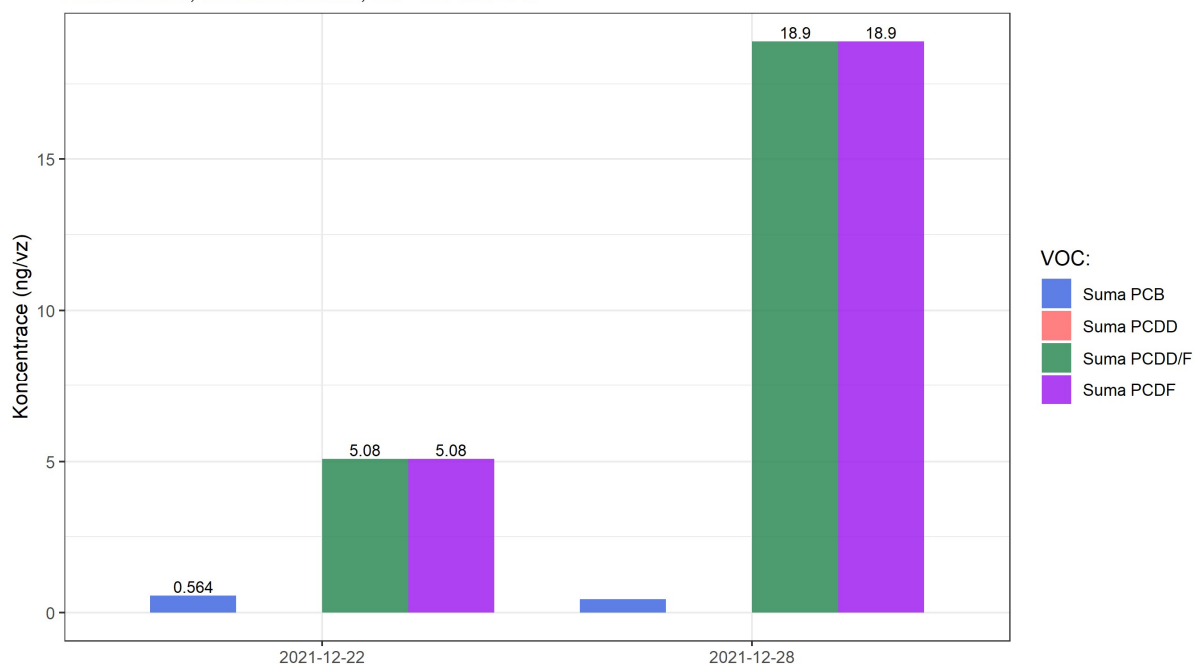
1. Rozpustnost ve vodě WS (mg.l^{-1}). Čím je její hodnota nižší, tím je látka hydrofobnější a lipofilnější, tím má větší tendenci kumulovat se v půdním prostředí a v živých organismech.
2. Těkání vyjádřené hodnotou Henryho konstanty (H v $\text{Pa.m}^3.\text{mol}^{-1}$). Čím je hodnota H vyšší, tím je látka těkavější, má vyšší tendenci přejít z půdního prostředí do atmosféry.
3. Rozdělovací koeficient n-oktanol-voda (Kow) představující míru tendence látky kumulovat se v živých organismech. Hodnota $\log Kow$ v rozmezí 3-6 představuje látky s vysokou tendencí k bioakumulaci.
4. Sorpce na organický uhlík (půdní organickou hmotu) vyjádřená pomocí rozdělovacího koeficientu organický uhlík (v tuhé fázi) x voda (Koc). Hodnoty $\log Koc$ vyšší než 3 charakterizují látky silně se sorbující v půdním prostředí, dlouhodobě v něm přítomné, ovšem také méně biodostupné.
5. Environmentální persistence vyjádřená pomocí poločasu života ($t_{1/2}$). V případě půdního prostředí se používá například označení $t_{1/2}(S)$ (poločas života polutantu v půdním prostředí).

Polychlorované dibenzo-p-dioxiny (PCDD) a polychlorované dibenzofurany (PCDF) jsou v různé míře chlorované tricyklické aromatické uhlovodíky, jejichž přítomnost v životním prostředí je vzhledem k velmi vysoké toxicitě považována za významný ekologický problém. Vznikají jako vedlejší produkt při různých antropogenních činnostech, zejména však ze spalovacích procesů, nejčastěji spalováním komunálního odpadu. Z tohoto důvodu jsou typickým ukazatelem spalování odpadu v lokálních topeništích. Mají také výrazný sezonní chod, tzn. v topné sezoně jsou koncentrace vyšší, v netopné naopak nižší. Dioxiny (triviální název pro PCDD a PCDF) lze stanovit dvěma způsoby – aktivní nebo pasivní metodou. Pasivní metoda je vhodná ke sledování pozadí na dané lokalitě, jedná se v podstatě o dlouhodobý (min. měsíční) odběr pomocí pasivních dozimetrů. Dioxiny se zachytávají na PUFu pomocí difuze. Aktivní způsob probíhá 24 hodin a jedná se o odběr ovzduší pomocí vysokoobjemových vzorkovačů zachycením na filtr a PUF zároveň. Výsledky obou typů odběrů pak získáváme ve specializované akreditované laboratoři.

Imisní limit nebyl v ČR stanoven. Detailní naměřené hodnoty jednotlivých PCDD/F jsou uvedeny v protokolech. V následujících Obr. 36 – Obr. 38 jsou uvedeny sumy těchto polutantů dle jednotlivých metodik uvedených v protokolech.

Průměrné denní koncentrace PCDDF

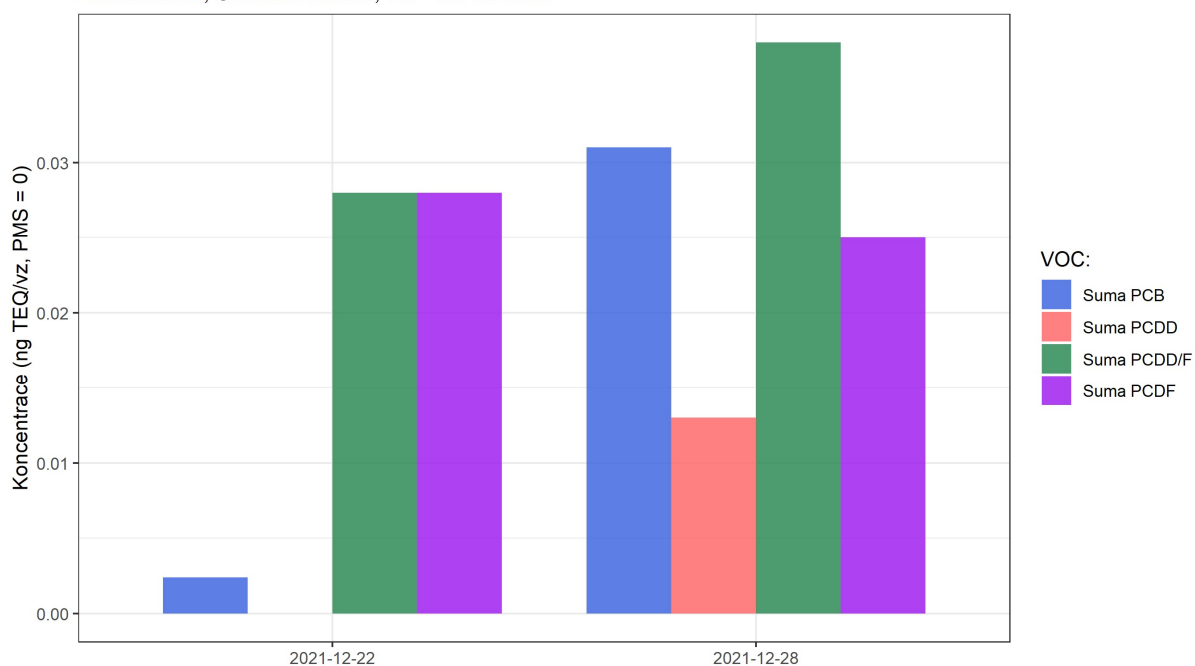
Lokalita Mesit, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021



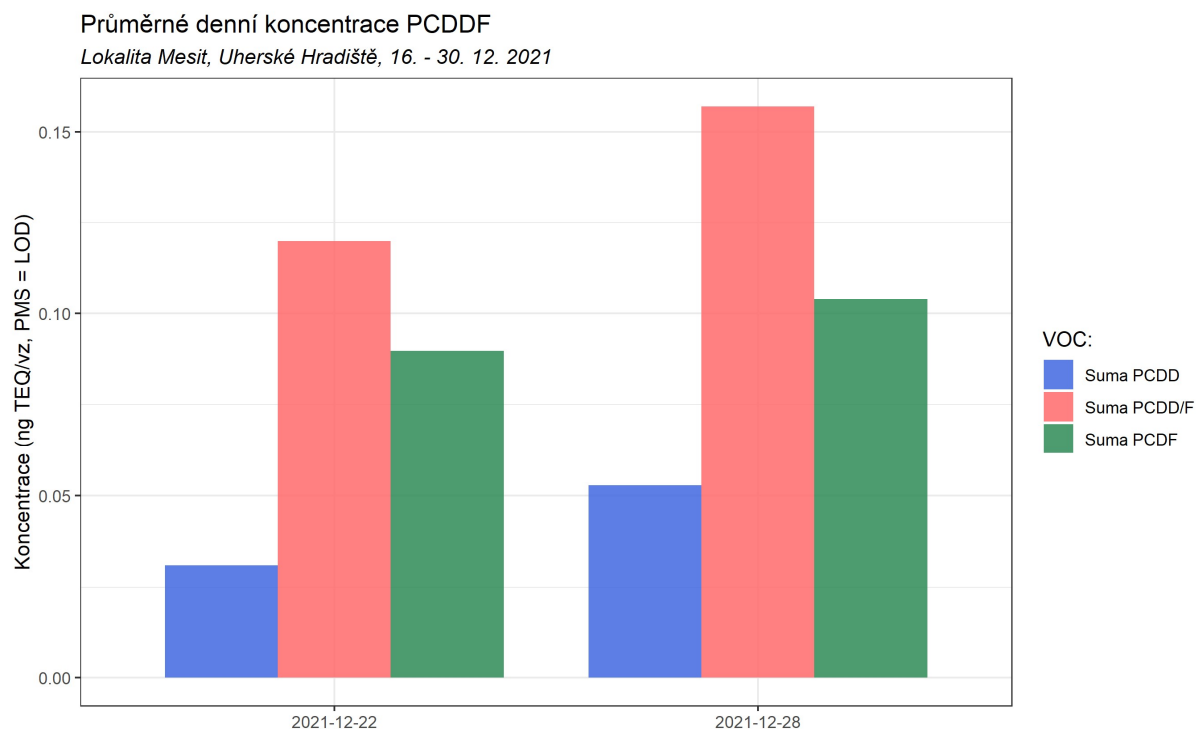
Obr. 36 – Suma PCDD/F (ng/vz)

Průměrné denní koncentrace PCDDF

Lokalita Mesit, Uherské Hradiště, 16. - 30. 12. 2021



Obr. 37 – Suma PCDD/F (ng TEQ/vz, PMS = 0)



Obr. 38 – Suma PCDD/F (ng TEQ/vz, PMS = LOD)

Zjištěné koncentrace PCDD/F v lokalitě Uherské Hradiště jsou typické pro zimní období spíše v méně znečištěných oblastech České republiky (např. v porovnání s koncentracemi zjištěnými před 2 lety v lokalitě Vsetín jsou zjištěné koncentrace přibližně třetinové). Pro stanovení dlouhodobějšího trendu by bylo třeba provést větší počet měření. Pro tyto látky není legislativou stanovený žádný imisní limit, proto lze porovnat změřené koncentrace pouze s ostatními lokalitami v republice, kde se tyto látky stanovují.

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 (především teplota vzduchu a rychlost větru) a s nimi související činnosti – zejména vytápění v lokálních topeništích a intenzivnější vytápění v nedalekém centrálním tepelném zdroji. 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 rozptýlu škodlivin, ale naopak k jejich kumulaci a koncentrace rostou. Oproti koncentracím naměřeným na okolních měřicích stanicích byly naměřené koncentrace v rámci měřicí kampaně v Uherském Hradišti po většinu období mírně zvýšené. Rozdíl je patrný především u menších částic, což patrně ukazuje na výraznější příspěvek spalovacích procesů (lokální topeniště + nedaleký centrální tepelný zdroj).
- 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 NO₂ naměřené v lokalitě Uherské Hradiště jsou o poznání nižší než na dopravních imisních monitorovacích stanicích v regionu – Uherské Hradiště (stanice ČHMÚ) a Otrokovice, přibližně na stejné úrovni jako městská pozadová stanice Zlín a nepatrně vyšší než na pozadové stanici Těšnovice.
- Vysoké koncentrace **přízemního ozónu O₃** nebyly během kampaně měřeny, vyskytují se především v letních měsících. Během měřicí kampaně byly naměřené koncentrace ozónu v lokalitě Uherské Hradiště povětšinou na podobné úrovni jako koncentrace na stanici Hranice a nepatrně vyšší než v lokalitě Zlín. Nejvyšší koncentrace pak byly dle předpokladů naměřené na pozadové horské stanici Štítná nad Vláří, jelikož koncentrace ozónu standardně rostou se vzdáleností od emisních zdrojů jeho prekurzorů a s nadmořskou výškou.
- Koncentrace **oxidu siřičitého** jsou celorepublikově velmi nízké. Maximální naměřené koncentrace se ani zdaleka neblížily imisním limitům pro hodinové či denní koncentrace SO₂. Naměřené koncentrace SO₂ na všech porovnávaných stanicích v regionu jsou velmi nízké, často pod úrovní detekčního limitu měřicí techniky.
- Koncentrace **benzo[a]pyrenu** se pohybovaly mírně nad hodnotou 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.
- Koncentrace **benzenu** byly v lokalitě až na jeden den nízké, je velmi pravděpodobné, že imisní limit by zde překročen nebyl podobně jako ve zbytku republiky.
- Koncentrace legislativou sledovaných **těžkých kovů** jsou celorepublikově nízké. Rovněž během kampaně byly naměřeny pouze nízké koncentrace.

- Zjištěné koncentrace **PCDD/F** v lokalitě Uherské Hradiště jsou typické pro zimní období spíše v méně znečištěných oblastech České republiky.

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 analyzátoru 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 produkováných 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.