

# Monitoring kvality ovzduší ve vybraných lokalitách města Brna

závěrečná zpráva



CENTRUM  
DOPRAVNÍHO  
VÝZKUMU



Český  
hydrometeorologický  
ústav



Bucek s.r.o.

# Monitoring kvality ovzduší ve vybraných lokalitách města Brna

Závěrečná zpráva

## Zadavatel

Masarykova univerzita

## Realizace a zodpovědné osoby

### Centrum dopravního výzkumu v. v. i.

Mgr. Roman Ličbinský, Ph.D.

### ENVitech Bohemia s. r. o.

Mgr. Pavel Chaloupecký

### Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě

Ing. Lucie Hellebrandová

### Český hydrometeorologický ústav

Mgr. Jáchym Brzezina, Ph.D.

### Bucek s. r. o.

Mgr. Jakub Bucek

Počet stran: 314



**Projektový manažer:** Mgr. Roman Ličbinský, Ph.D.



## Monitoring znečišťujících látek

Envitech Bohemia s. r. o.

**Mgr. Pavel Chaloupecký**

Mgr. Richard Kula

Ing. Jiří Komínek

Ing. Jaroslav Sucharda

Ing. Jana Minarčíková

Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě

**Ing. Lucie Hellebrandová**

David Kiča

Ing. David Marek

Ing. Martina Svobodová



## Laboratorní analýzy, projektová dokumentace, hodnocení zdrojů

Centrum dopravního výzkumu v. v. i.

**Mgr. Roman Ličbinský, Ph.D.**

Ing. Vilma Jandová

Mgr. Martina Bucková

RNDr. Jiří Huzlík, Ph.D.

Mgr. Jitka Hegrová, Ph.D.

Karel Effenberger



## Analýza dat a hodnotící zprávy

Český hydrometeorologický ústav

**Mgr. Jáchym Brzezina, Ph.D.**

Ing. Zuzana Vránová



## SEA a rozptylová studie

Bucek s. r. o.

**Mgr. Jakub Bucek**

Mgr. Daniela Fogašová

Mgr. Sylvie Grossmannová

# Obsah

Obsah.....	3
Úvod.....	7
Lokality měření.....	8
Přehled měřicích bodů a jejich charakteristika .....	8
Podrobný popis měřicích lokalit .....	10
Brno-Chrlice .....	10
Brno-Jundrov .....	11
Brno-Klajdovka.....	12
Brno-Líšeň .....	13
Brno-Kníníčky.....	14
Brno-Kohoutovice.....	15
Brno-Komín.....	16
Brno-Mokrá Hora .....	16
Brno-Řečkovice.....	16
Brno-Štýřice .....	17
Brno-Tuřany.....	17
Brno-Židenice.....	18
Monitorované parametry.....	19
Parametry měřené měřicím vozem (hodinové průměry).....	19
Parametry stanovované na základě vzorkování vzorkovači (24h průměry) .....	20
Parametry stanovované na základě pasivního vzorkování (týdenní průměry).....	20
Plán měření .....	21
Kontinuální monitoring.....	21
Vzorkování .....	22
Periody monitoringu .....	29
Imisní limity.....	31

Imisní limity pro ochranu zdraví a maximální počet jejich překročení.....	31
Imisní limity pro ochranu ekosystémů a vegetace.....	32
Imisní limity pro ochranu zdraví – celkový obsah v částicích PM <sub>10</sub> .....	32
Imisní limit pro přízemní ozon.....	33
Metodika analýzy a vizualizace dat.....	34
Automatické stanice (srovnání PM, NO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> ).....	34
Manuální stanice (BaP, BTEX, těžké kovy).....	35
Shromáždění dat.....	37
Měřicí technika.....	37
Sjednocení a reformátování dat.....	38
Verifikace dat.....	38
Statistické vyhodnocení dat.....	38
Použité technologie.....	42
Výsledky.....	43
Meteorologické parametry.....	43
Vliv meteorologických podmínek na kvalitu ovzduší.....	43
Teplota vzduchu.....	46
Rychlost větru.....	49
Směr větru.....	51
Koncentrace znečišťujících látek.....	55
Suspendované částice.....	55
Suspendované částice PM <sub>10</sub> .....	56
Suspendované částice PM <sub>2,5</sub> .....	75
Oxidy dusíku.....	95
Oxid dusičitý.....	97
Oxid dusnatý.....	117
Oxidy dusíku (NO <sub>x</sub> ).....	136

Oxid siřičitý.....	155
Oxid uhelnatý.....	174
Přízemní ozon.....	193
Těžké kovy.....	209
Arzen.....	211
Nikl.....	218
Kadmium.....	226
Olovo.....	233
Polycyklické aromatické uhlovodíky (benzo[ <i>a</i> ]pyren).....	242
BTXE.....	253
Benzen.....	253
Toluen.....	261
m,p-xylen.....	268
o-xylen.....	276
Etylbenzen.....	282
Imisní limity.....	290
Suspendované částice PM <sub>10</sub> .....	290
Roční imisní limit.....	290
24h imisní limit.....	291
Suspendované částice PM <sub>2,5</sub> .....	291
Oxid dusičitý.....	291
Roční imisní limit.....	291
Hodinový imisní limit.....	292
Oxid siřičitý.....	292
24h imisní limit.....	292
Hodinový imisní limit.....	292
Oxid uhelnatý.....	293

Přízemní ozon.....	293
Arzen.....	294
Kadmium.....	294
Nikl.....	294
Olovo.....	294
Benzo[ <i>a</i> ]pyren.....	295
Benzen.....	295
Zdroje znečištění.....	297
Kaiser-Meyer-Olkinův (KMO) test adekvátnosti odběru vzorků (MSA).....	297
Výsledky statistické analýzy.....	298
Hodnocení.....	300
Závěr.....	302
Monitoring.....	302
Výsledky.....	303
Meteorologické parametry.....	303
Suspendované částice PM <sub>10</sub> a PM <sub>2,5</sub> .....	304
Oxidy dusíku.....	305
Oxid siřičitý.....	306
Oxid uhelnatý.....	307
Přízemní ozon.....	307
Těžké kovy.....	308
Benzo[ <i>a</i> ]pyren.....	308
BTEX (benzen, toluen, etylbenzen, xyleny).....	309
Doporučení.....	310
Použitá literatura.....	311

# Úvod

Tato hodnotící zpráva představuje závěrečnou zprávu z monitoringu kvality ovzduší na 12 lokalitách na území města Brna. Celý projekt sestával z celkem čtyř etap, naplánovaných v jednotlivá roční období, realizovaných od února 2022 do začátku ledna 2023.

Níže uvedená zpráva představuje souhrn a závěrečné zhodnocení veškerých výsledků měření v rámci monitoringu. Toto hodnocení zahrnuje také srovnání s hodnotami naměřenými automatickými stanicemi imisního monitoringu v Brně, které mají data za celý rok.

## Lokality měření

Do měřicí kampaně bylo zahrnuto celkem 12 lokalit umístěných v různých částech města Brna. Tyto lokality se od sebe vzájemně odlišují nejen polohou v rámci města, ale také charakterem okolí – některé z lokalit jsou umístěny poblíž frekventované dopravní komunikace, jiné naopak na relativně odlehleém místě poblíž zeleně.

Pro přehlednost byl každé lokalitě přidělen třípísmenný kód (identifikátor), který je uveden v následujícím hodnocení. Tento identifikátor téměř ve všech případech odpovídá zkratce městské části, ve které se daná lokalita nachází, s výjimkou jedné lokality, kdy z důvodu dvou lokalit v jedné městské části je identifikátor odvozen od jména daného místa (Klajdovka).

U každé lokality byl také specifikován typ okolí a typ zóny, které charakterizují převažující využití plochy v okolí a zeměpisnou lokalizaci (město nebo předměstí).

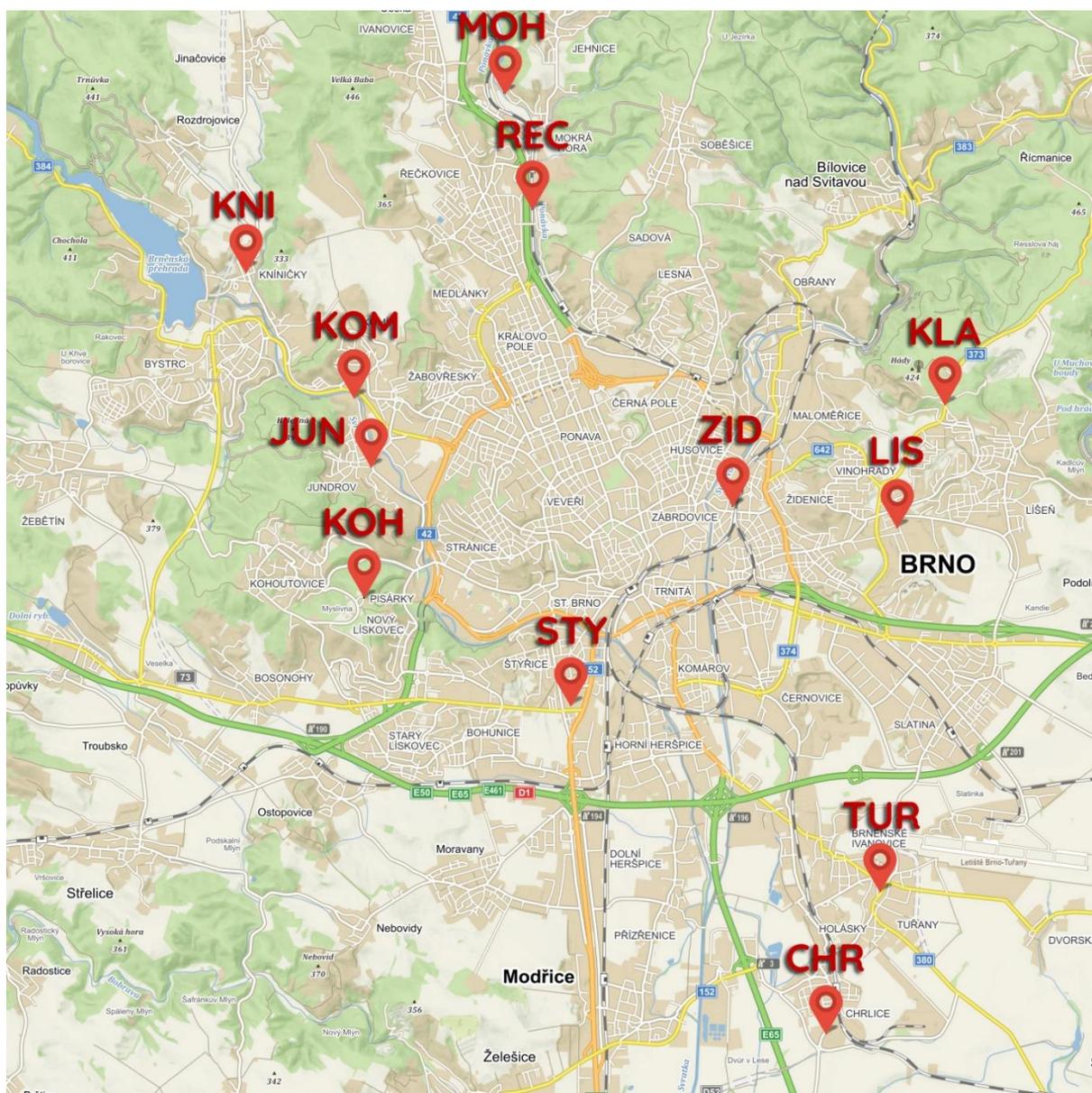
## Přehled měřicích bodů a jejich charakteristika

ID	městská část	adresa	zeměpisná šířka	zeměpisná délka
CHR	Brno-Chrlice	Rebešovická 782/77, 643 00	49.1259	16.6550
JUN	Brno-Jundrov	Veslařská 557/54, 637 00	49.2078	16.5551
KLA	Brno-Líšeň	Jedovnická 3912/7, 628 00	49.2168	16.6809
KNI	Brno-Kníničky	U Kaple, 635 00	49.2362	16.5276
KOH	Brno-Kohoutovice	Nad Pisárkami 276/1, 623 00	49.1888	16.5534
KOM	Brno-Komín	Svratecká 449, 624 00	49.2177	16.5514
LIS	Brno-Líšeň	Trnkova 2345/117, 628 00	49.1990	16.6703
MOH	Brno-Mokrý Hora	Úhledná 256/62, 621 00	49.2616	16.5842
REC	Brno-Řečkovice	Podhájí 1248/1, 621 00	49.2448	16.5905
STY	Brno-Štýřice	Vídeňská 297/99, 639 00	49.1734	16.5989
TUR	Brno-Tuřany	Tuřanské náměstí 88/3, 620 00	49.1465	16.6668
ZID	Brno-Židenice	Zábrdovická 158/13, 615 00	49.2020	16.6343

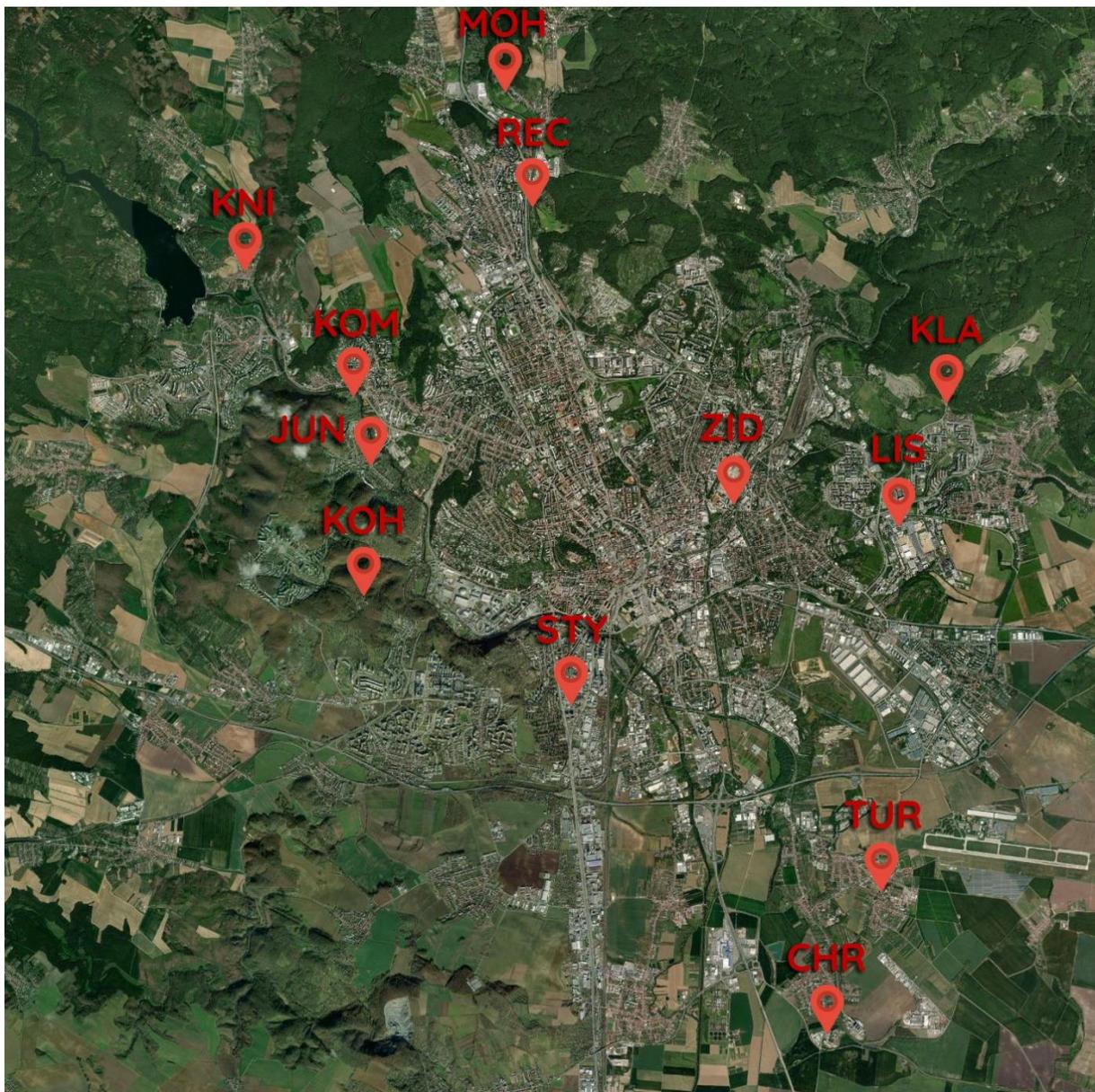
ID	městská část	typ	typ zóny
CHR	Brno-Chrlice	obytná, dopravní	předměstská
JUN	Brno-Jundrov	obytná, dopravní	městská
KLA	Brno-Líšeň	dopravní, přírodní	předměstská
KNI	Brno-Kníničky	obytná	předměstská
KOH	Brno-Kohoutovice	přírodní, obytná	předměstská
KOM	Brno-Komín	přírodní, dopravní	městská
LIS	Brno-Líšeň	průmyslová	městská
MOH	Brno-Mokrý Hora	přírodní, obytná	předměstská
REC	Brno-Řečkovice	přírodní, dopravní	předměstská

ID	městská část	typ	typ zóny
STY	Brno-Štýřice	dopravní	městská
TUR	Brno-Tuřany	obytná, dopravní	předměstská
ZID	Brno-Židenice	obytná, průmyslová	městská

Umístění všech měřicích bodů v rámci města Brna ukazují následující terénní a silniční mapy.



Obrázek 1 – silniční mapa Brna a okolí s vyznačením lokalit měření, označených příslušnými třípísmennými zkratkami. Zdroj: mapy.cz



Obrázek 2 – terénní mapa Brna a okolí s vyznačením lokalit měření, označených příslušnými třípísmennými zkratkami. Zdroj: mapy.cz

## Podrobný popis měřicích lokalit

### Brno-Chrlice

Měření probíhalo v areálu společnosti Moravia Tech, ve vzdálenosti přibližně 25 metrů od hlavní komunikace, ulice Rebešovické. Na druhé straně komunikace se poblíž nachází budova správy a údržby dálnic. Ve vzdálenosti přibližně 260 metrů vzdušnou čarou je kruhový objezd propojující ulici Rebešovickou s ulicí Davidkovou.

Městská část Brno-Chrlice představuje čtvrť na předměstí Brna v jeho jihovýchodním cípu. Katastrální výměra městské části je 949 ha a žije zde přibližně 3200 obyvatel.

V širším okolí od místa měření probíhá dálnice D2, spojující město Brno s Bratislavou. Nejkratší vzdálenost měřicího bodu od dálnice je 820 metrů. Za dálnicí je velké obchodní centrum Olympia (2,25 km) a čistírna odpadních vod (1,56 km). Směrem na východ od Chrlic leží průmyslová zóna (1,2 km). Střed městské části a hlavní obytná část se nachází severně od měřicího bodu, který je v kontextu městské části na jejím úplném jihu, poblíž dálnice.



Obrázek 3 – umístění měřicí techniky u areálu Moravia Tech, lokalita Brno-Chrlice (CHR).



Obrázek 4 - okolí měřicí techniky u areálu Moravia Tech, lokalita Brno-Chrlice (CHR). Pohled na ulici Rebešovickou.

## Brno-Jundrov

Měření probíhalo u úřadu městské části Jundrov vedle ulice Veslařská. Od hlavní komunikace byla měřicí technika vzdálena přibližně 25 metrů.

Městská část Brno-Jundrov leží v severozápadní části Brna. Střed městské části leží v údolí řeky Svratky. Na západ je ve výraznějším převýšení jundrovská obora a hojně se zde vyskytují také zahrádkářské kolonie. V městské části žije přibližně 4600 obyvatel na rozloze 4,15 km<sup>2</sup>.

Ulice Veslařská je hlavní komunikací Jundrova a spojuje městské části Žabovřesky/Komín s městskou částí Brno-Pisárky. Je také často využívána pro nájezd na dálnice kolem Brna. V ranních hodinách tedy nejsou v tomto místě neobvyklé dopravní kolony.



Obrázek 5 - umístění měřicí techniky v lokalitě Brno-Jundrov (JUN). V pozadí ulice Veslařská.

## Brno-Klajdovka

Měření probíhalo před budovou hotelu Velká Klajdovka u přiléhající komunikace ulice Jedovnické. Územně tato lokalita spadá do městské části Brno-Líšeň<sup>1</sup>. Ulice Jedovnická představuje hlavní tah z Brna směrem na severovýchod. Lokalita je ve výrazně vyšší nadmořské výšce než centrum Brna směrem na jihozápad.

Na západ a severozápad od lokality se rozkládá Hádecká planinka, národní přírodní rezervace o rozloze více než 83 ha. Zalesněná je i oblast na východ od této lokality. Směrem na jih a jihovýchod se rozkládá městská část Brno-Líšeň, kterou v této oblasti tvoří zejména rodinná a panelová zástavba.

---

<sup>1</sup> v této městské části probíhalo měření na dvou místech, proto na rozdíl od všech ostatních lokalit, byla tato pojmenována jinak než podle příslušné městské části. Druhá lokalita pak byla pojmenována Brno-Líšeň.



Obrázek 6 – umístění měřicí techniky u hotelu Velká Klajdovka a přiléhající ulice Jedovnická.

## Brno-Líšeň

Měření v městské části Brno-Líšeň probíhalo přímo před budovou České televize Brno. Na jih, jihovýchod a východ od tohoto místa se nachází průmyslový areál. Přibližně 300 metrů od měřicího bodu je křižovatka dvou významných dopravních komunikací, ulice Jedovnické a ulice Novolíšeňské.

Městská část Brno-Líšeň má přibližně 26 700 obyvatel a rozkládá se na území o velikosti 15,7 km<sup>2</sup>. Měřicí místo se nachází v níže položené části Líšně.



Obrázek 7 - umístění měřicí techniky u budovy České televize, lokalita Brno-Líšeň (LIS).

## Brno-Kníničky

Měření v městské části Kníničky probíhalo u místní kaple sv. Cyrila a Metoděje na křižovatce ulic Ondrovy a U Kaple. Toto místo leží v obytné zóně Kníniček.

Městská část Kníničky leží v severozápadním cípu Brna, na východ od brněnské přehrady. Jedná se tedy o předměstskou lokalitu. Přílehlá ulice Ondrova je místní hlavní komunikací, vedoucí od brněnské zoologické zahrady směrem na sever do obce Jinačovice.



Obrázek 8 - umístění měřicí techniky v lokalitě Brno-Kníničky (KNI).

## Brno-Kohoutovice

Měření v městské části Brno-Kohoutovice probíhalo za hotelem Myslivna Brno. Jedná se o odlehlé a vyvýšené místo. V bezprostředním okolí se nachází víceméně pouze budova hotelu a restaurace, jinak je místo obklopeno lesem (Masarykův háj).



Obrázek 9 - umístění měřicí techniky za hotelem Myslivna Brno v lokalitě Brno-Kohoutovice (KOH).

## Brno-Komín

Měření v městské části Brno-Komín probíhalo ve sportovním areálu Káčata. Areál leží v údolí řeky Svratky. Přes řeku ve vzdálenosti přibližně 90 metrů od měřicího bodu, probíhá místní hlavní dopravní komunikace, velmi často intenzivně dopravně zatížená, ulice Kníničská.

Směrem na západ a jihozápad se rozprostírá do kopce obora Holedná. Směrem na sever a východ je obytná část Komína a již zmiňovaná dopravní komunikace.

## Brno-Mokrá Hora

Měření v městské části Mokrá Hora probíhalo u ulice Úhledné, v relativně klidné části Mokré Hory. Městská část jako taková leží v severním cípu na předměstí Brna. Směrem na východ, jihovýchod a jih probíhá významná silnice pro motorová vozidla, ulice Hradecká. Nejkratší přímá vzdálenost této tepny od měřicího bodu je přibližně 500 metrů.

Na západ od měřicího místa leží ve vzdálenosti 290 m velké obchodní centrum Globus.



Obrázek 10 - umístění měřicí techniky v lokalitě Brno-Mokrá Hora (MOH).

## Brno-Řečkovice

V městské části Brno-Řečkovice probíhalo měření u ulice Podhájí. Jedná se o malou, klidnou ulici. Směrem na východ od měřicího bodu se rozprostírá rozsáhlá oblast zeleně.

Naopak směrem na západ probíhá velmi významná silnice pro motorová vozidla, ulice Hradecká, která představuje hlavní tah z Brna na sever k městům Kuřim, Tišnov a dalším. Nejkratší přímá vzdálenost měřicího bodu od ulice Hradecké je přibližně 90 metrů.

Dále na západ za ulicí Hradeckou leží obytná část městské části Brno-Řečkovice.

## Brno-Štýřice

Měření v městské části Brno-Štýřice probíhalo v areálu firem u křižovatky významných dopravních komunikací, ulice Jihlavské a ulice Vídeňské. Místo, kde stál měřicí vůz, se nachází 70 metrů od ulice Jihlavské a 145 metrů od křižovatky s ulicí Vídeňskou. Kromě ulice Jihlavské a Vídeňské je nedaleko měřicího místa také ulice Heršpická, a to směrem na východ. Měřicí bod je tedy ze všech stran kromě severu obklopen velmi významnými dopravními komunikacemi.

Směrem na jih od měřicího bodu leží Londýnské náměstí a Business Park Brno. Směrem na jihozápad se rozprostírá brněnský ústřední hřbitov. Na západ od měřicího bodu za ulicí Vídeňskou je obytná část v podobě vyšších panelových domů.



Obrázek 11 – umístění měřicí techniky poblíž ulice Vídeňské a Jihlavské.

## Brno-Tuřany

V městské části Brno-Tuřany probíhalo měření naproti úřadu městské části, u ulice Hanácké na Tuřanském náměstí. Brno-Tuřany jsou předměstskou lokalitou v jihovýchodní části Brna. Měření probíhalo v obytné části, poblíž ulic Hanácké a Špirkovy.

Směrem na východ od stanice se nachází komerční areál s řadou různých firem. Ve vzdálenosti 750 metrů směrem na severovýchod začíná areál hlavního brněnského letiště, Brno-Tuřany.

## Brno-Židenice

Měření v městské části Brno-Židenice probíhalo v areálu místního koupaliště a městských lázní. 70 metrů jižně od měřicího bodu vede v západovýchodním směru významná dopravní komunikace ulice Zábřdovická. Směrem na sever se rozprostírá areál Nové Zbrojovky. Dříve zde byl průmyslový areál, dnes je celá tato oblast předmětem velmi intenzivních stavebních prací a postupně se zde buduje nová čtvrť s komerčním i rezidenčním využitím.

V blízkosti měřicího bodu probíhají stavební práce a demolice nejen u Nové Zbrojovky, ale i na přilehlých komunikacích, například na ulici Lazaretní.



Obrázek 12 - měřicí technika v areálu koupaliště v Brně-Židenicích (lokality ZID).

## Monitorované parametry

V rámci měřicích kampaní byly monitorovány koncentrace řady znečišťujících látek, a to jak těch, které jsou uvedeny v zákoně o ochraně ovzduší<sup>2</sup>, tak některých dalších látek, které se rutinně na stanicích imisního monitoringu nesledují a nemají v zákoně stanovenou hodnotu imisního limitu pro ochranu zdraví ani pro ochranu ekosystémů.

Kromě těchto látek byly monitorovány také meteorologické parametry, protože právě meteorologické podmínky mohou mít v některých situacích velmi zásadní vliv na kvalitu ovzduší a znalost těchto faktorů je důležitá pro následné hodnocení.

Měření bylo realizováno prostřednictvím dvou tzv. měřicích vozů a dále prostřednictvím tzv. vzorkovačů. Měřicí vozy jsou automobily nebo vozíky, uvnitř kterých jsou umístěny analyzátoři pro monitoring koncentrací různých látek a dále měřidla meteorologických parametrů (teploměr, stožár s anemometrem atd.). Vůz je vybaven také počítačem a modemem a data jsou téměř v reálném čase odesílána do centrály. Vůz tedy poskytuje data v pravidelných, relativně krátkých intervalech. Pro účely tohoto hodnocení jsou používány hodinové průměry jednotlivých parametrů.

Vzorkovače jsou zařízení, které čerpadlem prosávají vzduch přes filtr, na kterém se částice z ovzduší zachytávají. Tyto filtry jsou následně technikem odvezeny do laboratoře, kde probíhá analýza částic na filtru za účelem stanovení koncentrací dalších znečišťujících látek, které analyzátoři v měřicím voze nelze stanovit. Filtr je ve vzorkovači vyměněn v předem nastaveném intervalu, v tomto případě každých 24 hodin. K dispozici jsou tedy v tomto případě 24h průměry koncentrací daných látek v den vzorkování. Tímto způsobem se stanovují například koncentrace těžkých kovů nebo polycyklických aromatických uhlovodíků.

V případě měření tzv. BTXE (benzen, toluen, xylen a etylbenzen) bylo využito pasivního vzorkování po dobu jednoho týdne (dva týdenní průměry z dvoutýdenní kampaně).

### Parametry měřené měřicím vozem (hodinové průměry)

- koncentrace **suspendovaných částic PM<sub>10</sub>**
- koncentrace **suspendovaných částic PM<sub>2,5</sub>**
- koncentrace **oxidu dusičitého (NO<sub>2</sub>)**

---

<sup>2</sup> Zákon č. 201/2012 Sb. - o ochraně ovzduší a související předpisy

- koncentrace **oxidu dusnatého (NO)**
- koncentrace **oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>)**
- koncentrace **oxidu siřičitého (SO<sub>2</sub>)**
- koncentrace **oxidu uhelnatého (CO)**
- koncentrace **přízemního ozonu (O<sub>3</sub>)**
- **teplota vzduchu** ve 2 m
- **vlhkost vzduchu** ve 2 m
- **rychlost větru**
- **směr větru**

### Parametry stanovované na základě vzorkování vzorkovači (24h průměry)

- koncentrace těžkých kovů
  - koncentrace **arzenu**
  - koncentrace **kadmia**
  - koncentrace **niklu**
  - koncentrace **olova**
- koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků
  - koncentrace **benzo[*a*]pyrenu (BaP)**

### Parametry stanovované na základě pasivního vzorkování (týdenní průměry)

- koncentrace BTXE
  - koncentrace **benzenu**
  - koncentrace **toluenu**
  - koncentrace **m,p-xylenu**
  - koncentrace **o-xylenu**
  - koncentrace **ethylbenzenu**

# Plán měření

## Kontinuální monitoring

Na každé lokalitě byla provedena čtyři etapová měření o délce přibližně 2 týdny. Jednotlivé etapy byly naplánovány tak, aby co nejvíce zasahovaly do různých ročních období (jarní, letní, podzimní a zimní). Všechna data a časy jsou v čase UTC<sup>3</sup>.

Tabulka 1 – interval a délka monitoringu měřicím vozem v jednotlivých lokalitách během jednotlivých etap.

ID	Začátek měření	Konec měření
ZID	8. 3. 2022 9:00	22. 3. 2022 7:00
	3. 5. 2022 12:00	17. 5. 2022 5:00
	6. 9. 2022 9:00	20. 9. 2022 6:00
	15. 11. 2022 9:00	29. 11. 2022 8:00
KNI	8. 2. 2022 13:00	22. 2. 2022 8:00
	3. 5. 2022 12:00	17. 5. 2022 7:00
	9. 8. 2022 10:00	23. 8. 2022 8:00
	18. 10. 2022 13:00	1. 11. 2022 9:00
KLA	22. 2. 2022 10:00	8. 3. 2022 7:00
	17. 5. 2022 8:00	31. 5. 2022 6:00
	23. 8. 2022 8:00	6. 9. 2022 7:00
	1. 11. 2022 10:00	15. 11. 2022 7:00
REC	22. 2. 2022 11:00	8. 3. 2022 7:00
	17. 5. 2022 10:00	31. 5. 2022 7:00
	26. 7. 2022 11:00	9. 8. 2022 7:00
	29. 11. 2022	13. 12. 2022 9:00
LIS	8. 2. 2022 1:00	22. 2. 2022 7:00
	31. 5. 2022 9:00	14. 6. 2022 8:00
	26. 7. 2022 8:00	9. 8. 2022 7:00
	18. 10. 2022 9:00	1. 11. 2022 8:00
JUN	8. 3. 2022 10:00	22. 3. 2022 8:00
	31. 5. 2022 10:00	14. 6. 2022 8:00
	23. 8. 2022 10:00	6. 9. 2022 7:00
	15. 11. 2022 9:00	29. 11. 2022 10:00
KOH	22. 3. 2022 10:00	5. 4. 2022 6:00
	14. 6. 2022 9:00	28. 6. 2022 5:00
	9. 8. 2022 9:00	23. 8. 2022 6:00
	29. 11. 2022 10:00	13. 12. 2022 8:00
KOM	22. 3. 2022 11:00	5. 4. 2022 11:00
	14. 6. 2022 11:00	28. 6. 2022 7:00
	6. 9. 2022 10:00	20. 9. 2022 5:00
	1. 11. 2022 11:00	15. 11. 2022 9:00
STY	5. 4. 2022 9:00	19. 4. 2022 7:00
	28. 6. 2022 7:00	12. 7. 2022 6:00
	20. 9. 2022 9:00	4. 10. 2022 7:00

<sup>3</sup> čas UTC je o hodinu pozadu oproti zimnímu času (SEČ) a o 2 hodiny pozadu oproti letnímu času (SELČ) v České republice.

	13. 12. 2022 10:00	27. 12. 2022 7:00
MOH	5. 4. 2022 14:00 28. 6. 2022 10:00 20. 9. 2022 9:00 13. 12. 2022 15:00	19. 4. 2022 6:00 12. 7. 2022 7:00 4. 10. 2022 7:00 27. 12. 2022 7:00
CHR	19. 4. 2022 9:00 12. 7. 2022 8:00 4. 10. 2022 9:00 27. 12. 2022 9:00	3. 5. 2022 7:00 26. 7. 2022 6:00 18. 10. 2022 7:00 10. 1. 2023 8:00
TUR	20. 4. 2022 8:00 12. 7. 2022 10:00 4. 10. 2022 10:00 27. 12. 2022 9:00	3. 5. 2022 9:00 26. 7. 2022 7:00 18. 10. 2022 8:00 10. 1. 2023 10:00

## Vzorkování

V rámci vzorkování bylo odebráno vždy 5 vzorků z každé lokality ve stejném 2týdenním období, jako na daném místě stál a měřil měřicí vůz.

Tabulka 2 - interval a datum monitoringu těžkých kovů, benzo[*a*]pyrenu a BTXE v rámci této etapy monitoringu

ID	Datum vzorkování		
	těžké kovy	benzo[ <i>a</i> ]pyren	BTXE
ZID	11. 3.	10. 3.	8. 3. – 15. 3.
	12. 3.	13. 3.	15. 3. – 22. 3.
	14. 3.	16. 3.	3. 5. – 10. 5.
	17. 3.	19. 3.	10. 5. – 17. 5.
	20. 3.	21. 3.	6. 9. – 13. 9.
	4. 5.	6. 5.	13. 9. – 20. 9.
	7. 5.	9. 5.	15. – 22. 11.
	10. 5.	11. 5.	22. – 29. 11.
	13. 5.	12. 5.	
	16. 5.	15. 5.	
	7. 9.	9. 9.	
	10. 9.	12. 9.	
	13. 9.	14. 9.	
	16. 9.	15. 9.	
	19. 9.	18. 9.	
	18. 11.	17. 11.	
	19. 11.	20. 11.	
21. 11.	23. 11.		
24. 11.	26. 11.		
27. 11.	28. 11.		

ID	Datum vzorkování		
	těžké kovy	benzo[ <i>a</i> ]pyren	BTXE
KNI	9. 2.	10. 2.	9. 2. – 16. 2.
	12. 2.	12. 2.	16. 2. – 23. 2.
	15. 2.	14. 2.	4. 5. – 9. 5.
	18. 2.	17. 2.	9. 5. – 17. 5.
	21. 2.	20. 2.	10. 8. – 17. 8.
	4. 5.	6. 5.	17. 8. – 23. 8.
	7. 5.	9. 5.	19. – 26. 10.
	10. 5.	11. 5.	26. 10. – 2. 11.
	13. 5.	12. 5.	
	16. 5.	15. 5.	
	11. 8.	10. 8.	
	14. 8.	13. 8.	
	17. 8.	16. 8.	
	20. 8.	19. 8.	
	21. 8.	22. 8.	
	19. 10.	21. 10.	
	22. 10.	24. 10.	
	25. 10.	26. 10.	
	28. 10.	27. 10.	
	31. 10.	30. 10.	
KLA	24. 2.	23. 2.	22. 2. – 1. 3.
	27. 2.	26. 2.	2. 3. – 8. 3.
	28. 2.	1. 3.	17. 5. – 24. 5.
	2. 3.	4. 3.	24. 5. – 31. 5.
	6. 3.	7. 3.	23. 8. – 30. 8.
	19. 5.	18. 5.	30. 8. – 6. 9.
	22. 5.	21. 5.	1. – 8. 11.
	25. 5.	24. 5.	8. – 15. 11.
	28. 5.	27. 5.	
	29. 5.	30. 5.	
	26. 8.	25. 8.	
	27. 8.	28. 8.	
	29. 8.	31. 8.	
	1. 9.	3. 9.	
	4. 9.	5. 9.	
	3. 11.	2. 11.	
	6. 11.	5. 11.	
	9. 11.	8. 11.	
	12. 11.	11. 11.	
	13. 11.	14. 11.	

ID	Datum vzorkování		
	těžké kovy	benzo[ <i>a</i> ]pyren	BTXE
REC	24. 2.	23. 2.	22. 2. – 1. 3.
	27. 2.	26. 2.	2. 3. – 7. 3.
	28. 2.	1. 3.	18. 5. – 24. 5.
	2. 3.	4. 3.	24. 5. – 31. 5.
	6. 3.	7. 3.	27. 7. – 3. 8.
	19. 5.	18. 5.	3. 8. – 9. 8.
	22. 5.	21. 5.	30. 11. – 5. 12.
	25. 5.	24. 5.	5. – 12. 12.
	28. 5.	27. 5.	
	29. 5.	30. 5.	
	27. 7.	29. 7.	
	30. 7.	1. 8.	
	2. 8.	3. 8.	
	5. 8.	4. 8.	
	8. 8.	7. 8.	
	30. 11.	2. 12.	
	3. 12.	5. 12.	
	6. 12.	7. 12.	
	9. 12.	8. 12.	
	12. 12.	11. 12.	
LIS	10. 2.	8. 2.	8. 2. – 15. 2.
	12. 2.	11. 2.	15. 2. – 22. 2.
	15. 2.	14. 2.	31. 5. – 7. 6.
	18. 2.	17. 2.	7. 6. – 14. 6.
	21. 2.	20. 2.	26. 7. – 2. 8.
	3. 6.	29. 7.	2. 8. – 9. 8.
	4. 6.	2. 6.	18. – 25. 10.
	6. 6.	5. 6.	25. 10. – 1. 11.
	9. 6.	8. 6.	
	12. 6.	11. 6.	
	27. 7.	13. 6.	
	30. 7.	1. 8.	
	2. 8.	3. 8.	
	5. 8.	4. 8.	
	8. 8.	7. 8.	
	19. 10.	21. 10.	
	22. 10.	24. 10.	
	25. 10.	26. 10.	
	28. 10.	27. 10.	
	31. 10.	30. 10.	

ID	Datum vzorkování		
	těžké kovy	benzo[a]pyren	BTXE
JUN	11. 3.	10. 3.	9. 3. – 15. 3.
	12. 3.	13. 3.	15. 3. – 22. 3.
	14. 3.	16. 3.	1. 6. – 7. 6.
	17. 3.	19. 3.	7. 6. – 14. 6.
	20. 3.	21. 3.	24. 8. – 31. 8.
	3. 6.	2. 6.	31. 8. – 6. 9.
	4. 6.	5. 6.	16. – 22. 11.
	6. 6.	8. 6.	22. – 29. 11.
	9. 6.	11. 6.	
	12. 6.	13. 6.	
	26. 8.	25. 8.	
	27. 8.	28. 8.	
	29. 8.	31. 8.	
	1. 9.	3. 9.	
	4. 9.	5. 9.	
	18. 11.	17. 11.	
	19. 11.	20. 11.	
	21. 11.	23. 11.	
	24. 11.	26. 11.	
	27. 11.	28. 11.	
KOH	23. 3.	25. 3.	22. 3. – 29. 3.
	26. 3.	28. 3.	29. 3. – 5. 4.
	29. 3.	30. 3.	14. 6. – 21. 6.
	1. 4.	31. 3.	21. 6. – 28. 6.
	4. 4.	3. 4.	9. 8. – 16. 8.
	15. 6.	17. 6.	16. 8. – 23. 8.
	18. 6.	20. 6.	29. 11. – 6. 12.
	21. 6.	22. 6.	6. – 13. 12.
	24. 6.	23. 6.	
	27. 6.	26. 6.	
	11. 8.	10. 8.	
	14. 8.	13. 8.	
	17. 8.	16. 8.	
	20. 8.	19. 8.	
	21. 8.	22. 8.	
	30. 11.	2. 12.	
	3. 12.	5. 12.	
	6. 12.	7. 12.	
	9. 12.	8. 12.	
	12. 12.	11. 12.	

ID	Datum vzorkování		
	těžké kovy	benzo[ <i>a</i> ]pyren	BTXE
KOM	23. 3.	25. 3.	23. 3. – 29. 3.
	26. 3.	28. 3.	29. 3. – 5. 4.
	29. 3.	30. 3.	14. 6. – 21. 6.
	1. 4.	31. 3.	21. 6. – 28. 6.
	4. 4.	3. 4.	7. 9. – 13. 9.
	15. 6.	17. 6.	13. 9. – 20. 9.
	18. 6.	20. 6.	2. – 8. 11.
	21. 6.	22. 6.	8. – 15. 11.
	24. 6.	23. 6.	
	27. 6.	26. 6.	
	7. 9.	9. 9.	
	10. 9.	12. 9.	
	13. 9.	14. 9.	
	16. 9.	15. 9.	
	19. 9.	18. 9.	
	3. 11.	2. 11.	
	6. 11.	5. 11.	
	9. 11.	8. 11.	
	12. 11.	11. 11.	
	13. 11.	14. 11.	
STY	7. 4.	6. 4.	5. 4. – 12. 4.
	10. 4.	9. 4.	12. 4. – 19. 4.
	13. 4.	12. 4.	28. 6. – 5. 7.
	16. 4.	15. 4.	5. 7. – 12. 7.
	17. 4.	18. 4.	20. 9. – 27. 9.
	30. 6.	29. 6.	27. 9. – 4. 10.
	3. 7.	2. 7.	13. – 20. 12.
	6. 7.	5. 7.	20. – 27. 12.
	9. 7.	8. 7.	
	10. 7.	11. 7.	
	22. 9.	21. 9.	
	25. 9.	24. 9.	
	28. 9.	27. 9.	
	1. 10.	30. 9.	
	2. 10.	3. 10.	
	15. 12.	14. 12.	
	18. 12.	17. 12.	
	19. 12.	20. 12.	
	21. 12.	23. 12.	
	25. 12.	26. 12.	

ID	Datum vzorkování		
	těžké kovy	benzo[ <i>a</i> ]pyren	BTXE
MOH	7. 4.	6. 4.	6. 4. – 12. 4.
	10. 4.	9. 4.	12. 4. – 19. 4.
	13. 4.	12. 4.	29. 6. – 5. 7.
	16. 4.	15. 4.	5. 7. – 12. 7.
	17. 4.	18. 4.	21. 9. – 27. 9.
	30. 6.	29. 6.	27. 9. – 4. 10.
	3. 7.	2. 7.	14. – 21. 12.
	6. 7.	5. 7.	21. – 27. 12.
	9. 7.	8. 7.	
	10. 7.	11. 7.	
	22. 9.	21. 9.	
	25. 9.	24. 9.	
	28. 9.	27. 9.	
	1. 10.	30. 9.	
	2. 10.	3. 10.	
	15. 12.	14. 12.	
	18. 12.	17. 12.	
	19. 12.	20. 12.	
	21. 12.	23. 12.	
	25. 12.	26. 12.	
CHR	22. 4.	21. 4.	19. 4. – 26. 4.
	23. 4.	24. 4.	26. 4. – 3. 5.
	25. 4.	27. 4.	12. 7. – 19. 7.
	28. 4.	30. 4.	19. 7. – 26. 7.
	29. 4.	2. 5.	4. 10. – 11. 10.
	15. 7.	14. 7.	11. 10. – 18. 10.
	16. 7.	17. 7.	27. 12. – 3. 1.
	18. 7.	20. 7.	3. – 10. 1.
	21. 7.	23. 7.	
	24. 7.	25. 7.	
	7. 10.	6. 10.	
	8. 10.	9. 10.	
	10. 10.	12. 10.	
	13. 10.	15. 10.	
	16. 10.	17. 10.	
	30. 12.	29. 12.	
	31. 12.	1. 1.	
	2. 1.	4. 1.	
	5. 1.	7. 1.	
	8. 1.	9. 1.	

ID	Datum vzorkování		
	těžké kovy	benzo[ <i>a</i> ]pyren	BTXE
TUR	22. 4.	21. 4.	20. 4. – 27. 4.
	23. 4.	24. 4.	27. 4. – 2. 5.
	25. 4.	27. 4.	13. 7. – 20. 7.
	28. 4.	30. 4.	20. 7. – 26. 7.
	29. 4.	2. 5.	5. 10. – 11. 10.
	15. 7.	14. 7.	11. 10. – 18. 10.
	16. 7.	17. 7.	29. 12. – 3. 1.
	18. 7.	20. 7.	3. – 10. 1.
	21. 7.	23. 7.	
	24. 7.	25. 7.	
	7. 10.	6. 10.	
	8. 10.	9. 10.	
	10. 10.	12. 10.	
	13. 10.	15. 10.	
	16. 10.	17. 10.	
	30. 12.	29. 12.	
	31. 12.	1. 1.	
	2. 1.	4. 1.	
	5. 1.	7. 1.	
	8. 1.	9. 1.	

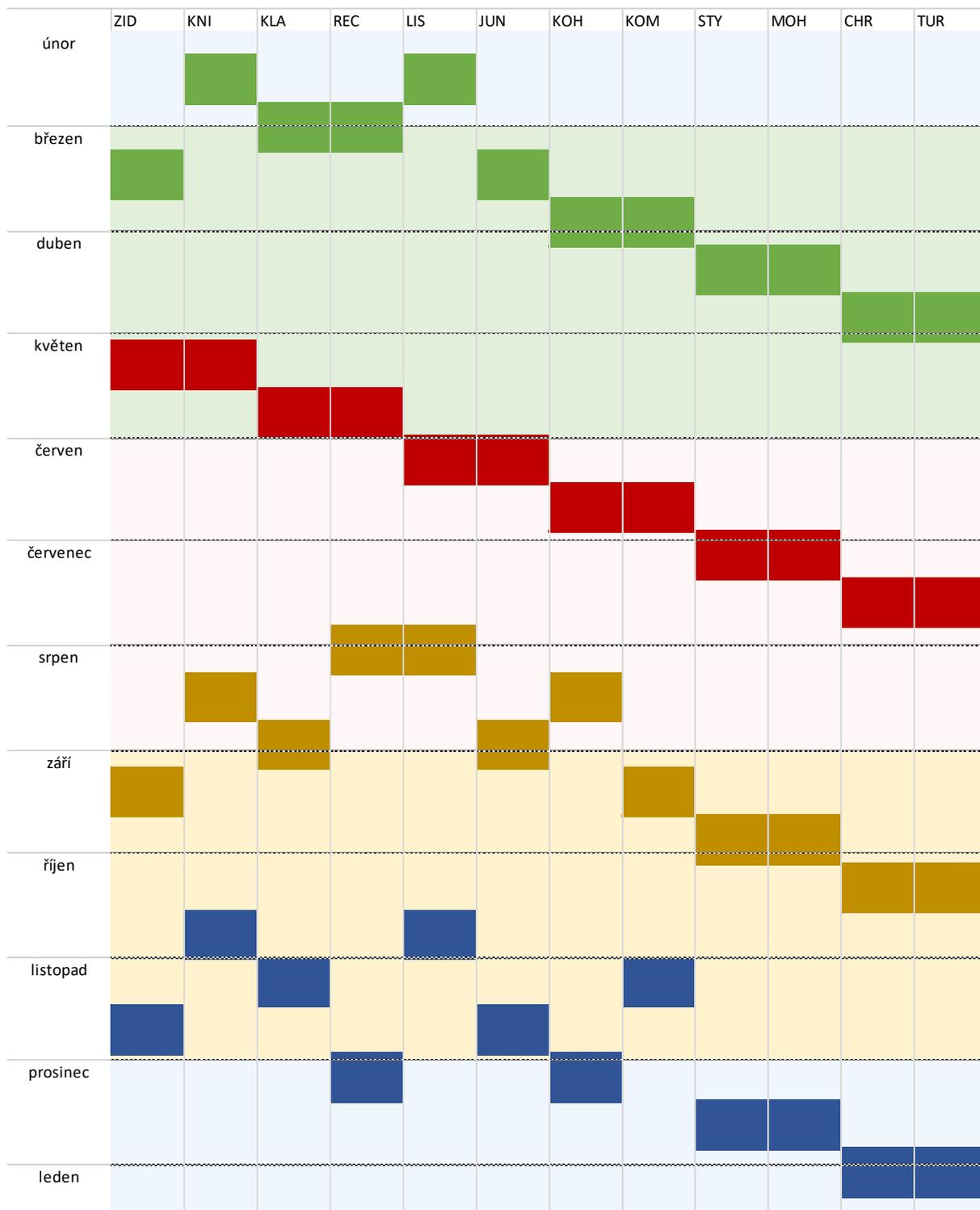
## Periody monitoringu

Z logistických a technických důvodů nebylo možné naplánovat veškerá měření tak, aby na každé lokalitě časový interval měření v jednotlivých kampaních odpovídal příslušnému skutečnému ročnímu období.

Ganttův diagram níže ukazuje období měření na jednotlivých lokalitách od února 2022 do poloviny ledna 2023. V Ganttově diagramu jsou světlými odstíny zvýrazněna meteorologická roční období – jaro (světle zelená), léto (světle červená), podzim (světle žlutá) a zima (světle modrá). Dále jsou v diagramu vyznačena období, kdy se na dané lokalitě měřilo tmavými barvami odstínu příslušné kampaně, tmavě zelená (jarní kampaň), tmavě červená (letní kampaň), tmavě žlutá (podzimní kampaň) a tmavě modrá (zimní kampaň).

Z Ganttova diagramu je patrné, že v některých případech nemusí skutečné období monitoringu korespondovat s názvem příslušné kampaně. Zároveň je patrné, že při dvou paralelních měřeních jsou mezi periodami někdy značné rozdíly. S ohledem na variabilitu počasí je nutné vzít toto v potaz při hodnocení. Obecně například platí, že s výjimkou přízemního ozonu bývají koncentrace znečišťujících látek nejvyšší v chladné části roku. Pokud tedy v rámci jedné kampaně bylo při měření na konkrétní lokalitě výrazně chladněji, může se to podepsat na koncentracích.

Z výše uvedeného plyne důležitý závěr, a to, že nelze srovnávat absolutní hodnoty koncentrací naměřené v jednotlivé měřicí kampaně mezi sebou právě z důvodu potenciálně odlišných dalších faktorů, jako jsou meteorologické a rozptylové podmínky.



Obrázek 13 - Ganttův diagram ukazuje intervaly měření na jednotlivých lokalitách. Barva boxu značí příslušnou měřicí kampaň - zelená (jaro), červená (léto), hnědá (podzim), modrá (zima). Podbarvení diagramu ukazuje shodnými barvami (ve světlejším odstínu) skutečné hranice meteorologických ročních období.

## Imisní limity

V zákoně o ochraně ovzduší jsou definovány tzv. imisní limity – hodnoty pro koncentrace vybraných znečišťujících látek ve venkovním ovzduší. Tyto limity jsou stanoveny zvláště pro ochranu zdraví a ochranu ekosystémů.

Každý imisní limit je definován prahovou hodnotou, dobou průměrování a v některých případech maximálním povoleným počtem překročení. Doba průměrování může být například rok (roční průměr), 24 hodin (24h průměr), hodina (hodinový průměr) nebo 8h klouzavý průměr. V případě některých limitů je daný limit považován za překročený až v případě, že je uvedená hodnota v rámci konkrétního průměrovacího období překročena vícekrát, než je povolený maximální počet překročení. Například pro suspendované částice PM<sub>10</sub> je stanoven imisní limit pro 24h průměr s maximálním povoleným počtem překročení 35x za kalendářní rok. Pokud je 24h průměrná hodnota vyšší než uvedený limit (v tomto případě 50 µg.m<sup>-3</sup>), hovoříme o „překročení hodnoty imisního limitu“. K samotnému překročení imisního limitu dojde až v případě, že je hodnota imisního limitu překročena více než 35x za kalendářní rok (k překročení hodnoty 50 µg.m<sup>-3</sup> ve 24h průměru dojde ve více než 35 dnech za rok). Přestože se tedy jedná o 24h imisní limit, hodnotit jeho překročení lze pouze v intervalu kalendářních let.

## Imisní limity pro ochranu zdraví a maximální počet jejich překročení

Tabulka 3 – imisní limity pro ochranu zdraví platné v České republice.

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [µg.m <sup>-3</sup> ]		Imisní limit [µg.m <sup>-3</sup> ] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
SO <sub>2</sub>	1 hodina	–	–	<b>350</b> max. 24x za rok
	24 hodin	50 max. 3x za rok	75 max. 3x za rok	<b>125</b> max. 3x za rok
NO <sub>2</sub>	1 hodina	100 max. 18x za rok	140 max. 18x za rok	<b>200</b> max. 18x za rok
	kalendářní rok	26	32	<b>40</b>
PM <sub>10</sub>	24 hodin	25 max. 35x za rok	35 max. 35x za rok	<b>50</b> max. 35x za rok

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]		Imisní limit [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
	kalendářní rok	20	28	<b>40</b>
PM <sub>2,5</sub>	kalendářní rok	12	17	<b>20</b> (od roku 2020) <sup>4</sup>
Pb	kalendářní rok	0,25	0,35	<b>0,5</b>
CO	maximální denní 8hod. klouzavý průměr	5 000	7 000	<b>10 000</b>
Benzen	kalendářní rok	2	3,5	<b>5</b>

## Imisní limity pro ochranu ekosystémů a vegetace

Tabulka 4 - imisní limity pro ochranu ekosystémů a vegetace platné v České republice.

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]		Imisní limit [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
SO <sub>2</sub>	rok a zimní období (1. 10. - 31. 3.)	8	12	<b>20</b>
NO <sub>x</sub>	kalendářní rok	19,5	24	<b>30</b>

## Imisní limity pro ochranu zdraví - celkový obsah v částicích PM<sub>10</sub>

Tabulka 5 - imisní limity pro ochranu zdraví pro látky obsažené v částicích PM<sub>10</sub> platné v České republice.

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [ $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ]		Imisní limit [ $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
As	kalendářní rok	2,4	3,6	<b>6</b>
Cd	kalendářní rok	2	3	<b>5</b>
Ni	kalendářní rok	10	14	<b>20</b>
Benzo(a)pyren	kalendářní rok	0,4	0,6	<b>1</b>

<sup>4</sup> do roku 2019 včetně limit 25  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

## Imisní limit pro přízemní ozon

Tabulka 6 – imisní limity pro přízemní ozon platné v České republice.

	Časový interval	Imisní limit
O <sub>3</sub>	maximální denní 8hod. klouzavý průměr	<b>120 µg.m<sup>-3</sup></b> max. 25x průměr za 3 roky
AOT40 <sup>5</sup>	vypočten z 1h hodnot v období květen–červenec	<b>18 000 µg.m<sup>-3</sup>.h</b> průměr za 5 let

---

<sup>5</sup> AOT40 znamená součet rozdílů mezi hodinovou koncentrací větší než 80 µg.m<sup>-3</sup> (= 40 ppb) a hodnotou 80 µg.m<sup>-3</sup> v dané periodě užitím pouze hodinových hodnot změřených každý den mezi 8:00 a 20:00 SEČ, vypočtený z hodinových hodnot v letním období (1.5. - 31.7.)

## Metodika analýzy a vizualizace dat

Jak bylo zmíněno v předchozím textu, určité omezení při hodnocení dat představuje fakt, že se na jednotlivých lokalitách měřilo v odlišná období s potenciálně odlišnými meteorologickými a rozptylovými podmínkami. Ty mohou mít na kvalitu velmi zásadní vliv. Toto omezení je možné částečně odfiltrovat srovnáním těchto dat s daty z ostatních, dlouhodobě a kontinuálně měřících stanic imisního monitoringu v Brně. Data z těchto stanic jsou k dispozici po celý rok.

Pokud je vypočítán průměr koncentrací pro jednotlivé látky ze stanic imisního monitoringu (s možností výpočtu dílčích průměrů z pozad'ových a dopravních stanic) a tento srovnán s průměry naměřenými v rámci tohoto projektu, lze tyto poměry vzájemně srovnávat. Tato metodika vychází z předpokladu, že v rámci Brna jsou meteorologické a rozptylové podmínky podobné. Zejména například vliv teploty vzduchu bude podobný – pokud je dané období chladnější, je tomu tak na území celého Brna a naopak.

Imisní limity jsou v české legislativě stanoveny často pro roční průměr, v případě 24h a hodinových limitů se sice jedná o průměr za určitou 24h nebo hodinovou periodu, i tento limit se však hodnotí v kontextu celého kalendářního roku, protože je důležité, kolikrát došlo k překročení hodnoty daného limitu v rámci roku a teprve podle toho můžeme hodnotit, zda byl překročen příslušný imisní limit jako takový. Na každé lokalitě v rámci tohoto projektu se měřila čtyři dvoutýdenní období, celkem tedy dva měsíce, což je pouze šestina roku. Tato data tedy nelze srovnávat s imisními limity. Lze stanovit například počet překročení hodnoty imisního limitu u některých limitů s kratší dobou průměrování (24h, hodina, 8h klouzavý průměr apod.). Určitý odhad překračování lze učinit na základě srovnání s hodnotami z ostatních stanic SSIM v Brně, jedná se však pouze o orientační hodnotu a nelze ji brát jako závaznou a vyvozovat z ní informaci, že v dané lokalitě je nebo není překračován imisní limit.

Pro účely srovnání hodnot se stanicemi SSIM, byly použity následující stanice imisního monitoringu v Brně.

### Automatické stanice (srovnání PM, NO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>)

<b>Brno-Tuřany</b>	Pozad'ová předměstská
<b>Brno-Lány</b>	Pozad'ová předměstská
<b>Brno-Výstaviště</b>	Dopravní městská

<b>Brno-Svatoplukova</b>	Dopravní městská
<b>Brno-Arboretum</b>	Pozad'ová městská
<b>Brno-Dětská nemocnice</b>	Pozad'ová městská
<b>Brno-Masná</b>	Pozad'ová městská
<b>Brno-Líšeň</b>	Pozad'ová městská
<b>Brno-Úvoz (hot spot)</b>	Dopravní městská

### Manuální stanice (BaP, BTEX, těžké kovy)

<b>Brno-Líšeň</b>	Pozad'ová městská
-------------------	-------------------



# Stanice imisního monitoringu v Brně



Stanice	Typ stanice	Typ zóny	Charakteristika zóny	Vlastník	Vznik
Brno-Arboretum					10/2012
Brno-Dětská nemocnice					1/2014
Brno-Komárov					1/2023
Brno-Kroftova					1/1971
Brno-Lány					1/2000
Brno-Líšeň					1/2009
Brno-Masná					1/2006
Brno-Soběšice					1/1971
Brno-Svatoplukova					1/2000
Brno-Tuřany					1/1994
Brno-Úvoz					1/2008
Brno-Výstaviště					1/2000

- dopravní automatická stanice (kontejner)
- požad'ová automatická stanice (kontejner)
- dopravní manuální stanice (vzorkovač)
- požad'ová manuální stanice (vzorkovač)

- městská zóna
- předměstská zóna
- obytná zóna
- obchodní zóna
- přírodní zóna
- požad'ová stanice
- dopravní stanice



Jáchym Brzezina | 2023 | [@jachym](https://twitter.com/jachym) | [www.infoviz.cz](http://www.infoviz.cz) | verze 2.0 | CC BY 4.0

Obrázek 14 - stanice imisního monitoringu v rámci státní sítě imisního monitoringů na území města Brna k lednu 2023. Zdroj: infoviz.cz.

## Shromáždění dat

V prvním kroku hodnocení byly shromážděny výsledky měření z obou měřicích vozů a výsledky analýz koncentrací těžkých kovů, polycyklických aromatických uhlovodíků a BTXE. Tyto výsledky byly shromážděny při tvorbě dílčích hodnotících zpráv za jednotlivé kampaně.

## Měřicí technika

Níže je uveden seznam použité měřicí techniky pro monitoring.

- prachoměr (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>)
  - Palas FIDAS 200
- analyzátor NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub>/NO
  - Horiba APNA 370
  - Envea AC32e
- analyzátor SO<sub>2</sub>
  - Horiba APSA 370
  - Envea AF22e
- analyzátor CO
  - Horiba APMA 370
  - Envea CO12e
- analyzátor O<sub>3</sub>
  - Horiba APOA 370
  - Envea O342e
- teplota a vlhkost vzduchu
  - Comet T3113D
  - Lufft WS300-UMB Smart Weather Sensor
- rychlost a směr větru
  - Gill WindSonic
- vzorkovače
  - Sven Leckel MVS6
  - Baghirra Hi 30 AUTO
  - Baghirra EnviSam 2.3
  - SKC Pocket Pump 210-1002 MH
  - enviVOC 07

## Sjednocení a reformátování dat

Pro další analýzu byly všechny datové soubory sjednoceny do unifikované struktury (názvy proměnných, způsob časové agregace atd.). Ta byla následně převedena do struktury vhodné pro import do databáze.

Pro snazší analýzu a hodnocení dat byla data převedena do databáze. Architektura databáze byla navržena tak, aby její struktura umožňovala import dat ze všech čtyř etap monitoringu a všech monitorovaných parametrů, jak kvality ovzduší, tak meteorologických podmínek.

## Verifikace dat

Z výsledného souboru dat byly vyřazeny chyby měření, popř. odchylky hodnot. Tyto odchylky byly nejprve vytipovány statistickými metodami a následně před jejich vyřazením jednotlivě zkontrolovány manuálně.

Manuální kontrola odchylek vychází ze zkušeností s chováním analyzátorů a koncentrací látek v ovzduší obecně. Vysoká hodnota sama o sobě neznamená automaticky odchylku, která by měla být vyřazena (pokud není znám objektivní důvod, proč je dané číslo nedůvěryhodné).

Příkladem zneplatněných hodnot mohou být například hodnoty koncentrací v první hodině nebo hodinách měření na konkrétní lokalitě. Při převozu měřicí techniky a jejím rychlém zprovoznění může v některých případech dojít k naměření neobvykle nízkých nebo naopak vysokých hodnot koncentrací. Přístroj se musí nejprve stabilizovat. Pokud tedy koncentrace určité látky na začátku měření výrazněji vybočuje z následně naměřených hodnot, a navíc je pozorována rychlá změna, jedná se s největší pravděpodobností o chybu měření a takováto hodnota je zneplatněna.

Na prvotní verifikaci navazovala druhá verifikace dat, která byla provedena až po ukončení veškerých měření a opět vycházela z podpůrných dat z analyzátorů, ale například také ze souměření, které bylo za tímto účelem provedeno.

Výsledky prezentované v této zprávě vychází z těchto verifikovaných dat.

## Statistické vyhodnocení dat

Statistické hodnocení zahrnuje různé způsoby agregací, srovnání a výpočet dílčích základních statistických parametrů datového souboru.

Výsledky jsou ve zprávě prezentovány graficky prostřednictvím různých typů vizualizací od základních typů (čárové a sloupcové grafy), přes méně tradiční (např. heatmapy, větrné růžice) až po specializované vizualizace používané v oboru hodnocení dat o kvalitě ovzduší (např. koncentrační růžice). Infografika na další straně představuje shrnutí, jak interpretovat některé ze specializovaných typů vizualizací použitých v rámci této zprávy.



# Jak rozumět koncentračním růžicím?

## K čemu koncentrační růžice slouží a jak ji interpretovat?

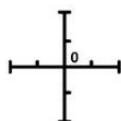


Hodnocení dat o kvalitě ovzduší není snadné a často během něj používáme některé speciální typy grafů, které napomáhají pochopení daných údajů.

Pro někoho, kdo se s podobným grafem nikdy nesešel, může být problematické se v něm zorientovat a pochopit, jak z něho získat informace a co tyto informace znamenají.

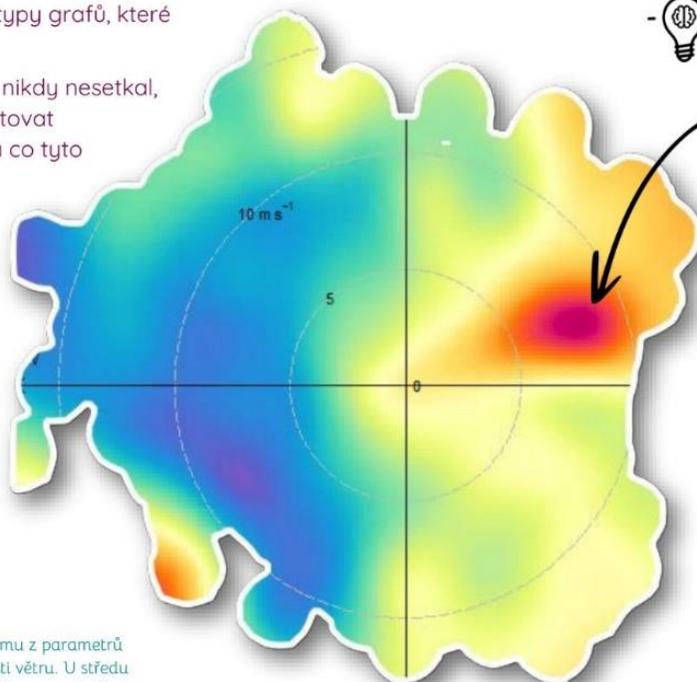
V této infografice si představíme jeden z vůbec nejpoužívanějších grafů hodnocení kvality ovzduší, a tím je tzv. **koncentrační růžice**.

**Koncentrační růžice se dá jednoduše popsat jako graf zobrazující informaci o třech parametrech, z nichž dva z nich jsou směr větru a koncentrace určité látky a třetím parametrem nejčastěji rychlost větru.**



Vzdálenost od středu odpovídá jednomu z parametrů – v tomto případě a nejčastěji rychlosti větru. U středu odpovídá 0 (bezvětrí). Narůstající vzdálenost od středu znamená vyšší hodnotu.

Jeden z parametrů, u tohoto typu grafu směr větru, je vyznačen úhlem dané hodnoty od středu. Jinými slovy, nahoře růžice je sever, vpravo východ, dole jih a nalevo západ.



### Příklad - co ukazuje růžice vlevo?

Růžice vlevo naznačuje, že nejvyšší koncentrace dané látky jsou pozorovány při **severovýchodním** proudění, a to spíše při **vyšších rychlostech větru** než bezvětrí. Tento fakt naznačuje možnost nějakého vzdálenějšího zdroje, který se projevuje pouze pokud více fouká vítr a znečišťující látku do dané lokality „dofouká“. Naopak nejnižší koncentrace jsou pozorovány při západním proudění při vyšších rychlostech větru.

Na závěr doplníme, že se v tomto konkrétním případě jedná o růžici koncentrací prachových částic PM<sub>10</sub> z lokality Brno-Tuřany. Nejvyšší koncentrace prachových částic zde bývají právě při SV proudění, kdy se sem dostává znečištění až z Moravskoslezského kraje či Polska. Jelikož se jedná o vzdálený zdroj, projevuje se více při nenulových rychlostech větru.



Jeden z parametrů je zobrazen formou barvy, vedle podobného typu grafu je tedy vždy ukázána škála s příslušnými hodnotami parametru pro jednotlivé barvy. V tomto případě indikují barvy koncentraci znečišťující látky – od modré (nejnižší) až po tmavě červenou (nejvyšší).

Jáchym Brzezina © 2022 [@jachym](https://twitter.com/jachym) | [www.infoviz.cz](http://www.infoviz.cz)



Obrázek 15 – infografika vysvětlující interpretaci koncentračních růžic. Zdroj: infoviz.cz.



# Jak rozumět anulárním koncentračním růžicím?

## K čemu anulární koncentrační růžice slouží a jak ji interpretovat?



Hodnocení dat o kvalitě ovzduší není snadné a často během něj používáme některé speciální typy grafů, které napomáhají pochopení daných údajů.

Pro někoho, kdo se s podobným grafem nikdy nesetkal, může být problematické se v něm zorientovat a pochopit, jak z něho získat informace a co tyto informace znamenají.

V této infografice si představíme jeden z typů koncentračních růžic, tzv. **anulární koncentrační růžici**.

**Koncentrační růžice je graf zobrazující informaci o třech parametrech. Tím prvním je vždy směr větru, tím druhým v tomto případě koncentrace znečišťující látky a třetí může být variabilní a vztahuje se nejčastěji k časovému intervalu – hodině, měsíci v roce apod.**



Třetí z parametrů je nejčastěji časový interval. Jeho průběh je vyjádřen vzdáleností od vnější strany. Například na vnitřní straně může být půlnoc, na vnější straně poslední hodina dne. Stejně tak může být na vnitřní straně leden a na vnější prosinec.

Jeden z parametrů, u tohoto typu grafu směr větru, je vyznačen úhlem dané hodnoty od středu. Jinými slovy, nahoře růžice je sever, vpravo východ, dole jih a nalevo západ.



Jeden z parametrů je zobrazen formou barvy, vedle podobného typu grafu je tedy vždy ukázána škála s příslušnými hodnotami parametru pro jednotlivé barvy. V tomto případě indikují barvy koncentraci znečišťující látky – od modré (nejnižší) až po tmavě červenou (nejvyšší).



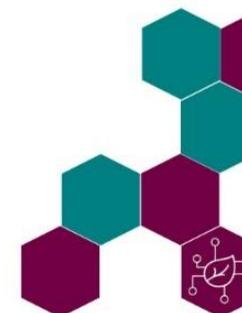
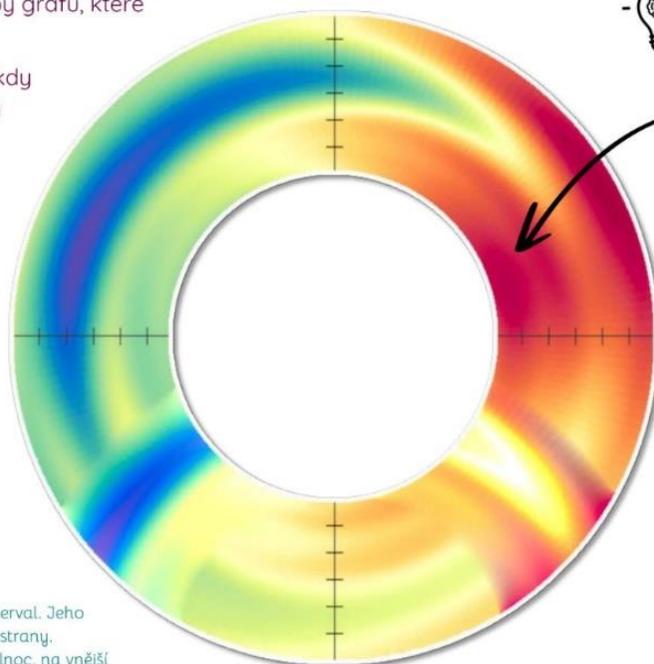
### Příklad – co ukazuje růžice vlevo?

Růžice vlevo ukazuje, že nejvyšší hodnoty koncentrací (červené odstíny) jsou pozorovány při **severovýchodním až východním proudění** (pravý horní roh až pravá strana růžice).

V ilustrační růžici vlevo záměrně nejsou uvedeny popisky u vnitřního a vnějšího okraje, abychom si mohli vysvětlit více případů.

Pokud by u vnitřní strany byla půlnoc a vnější poslední hodina dne, ukazovala by růžice průběh koncentrací během dne. Dobře patrné je pak například to, že při severozápadním proudění jsou koncentrace nejnižší přibližně v odpoledních hodinách (pás nízkých koncentrací (modře) mezi okraji).

Pokud by u vnitřní stranice byl leden a vnější prosinec, znamenalo by to, že jsou koncentrace při severozápadním proudění nejnižší v létě, a naopak vyšší na začátku a konci roku



Jáchym Brzezina © 2022 [@jachym](https://twitter.com/jachym) | [www.infoviz.cz](http://www.infoviz.cz)

Obrázek 16 – infografika vysvětlující interpretaci anulárních koncentračních růžic. Zdroj: infoviz.cz.

## Použité technologie

Pro zpracování této zprávy byl pro dílčí části zpracování použit různý software a programovací jazyky, uvedené v seznamu níže.

- **Microsoft Word** – textový editor
- **Microsoft Excel** – tabulkový procesor
- **MySQL** – systém řízení databází postavených na relačním databázovém modelu
- **R** – programovací jazyk a prostředí pro statistickou analýzu dat a jejich grafické zobrazení
- **PHP** – skriptovací programovací jazyk určený pro tvorbu dynamických internetových stránek a webových aplikací
- **Python** – vysokoúrovňový programovací jazyk
- **SQL** – standardizovaný strukturovaný dotazovací jazyk určený pro práci s daty v relačních databázích
- **Javascript/jQuery/HTML/CSS** – sada programovacích jazyků, knihoven a technologií určených pro tvorbu internetových stránek (včetně např. vykreslování grafů)
- **Affinity Photo** – grafický editor

V rámci hodnocení byly využity skripty, databáze a webové aplikace vytvořené na míru pro účely zpracování dat a jejich vyhodnocení v rámci tohoto projektu autory zprávy.

## Výsledky

Sekce výsledky je rozdělena podle jednotlivých monitorovaných parametrů. V rámci každé kapitoly jsou hodnoceny naměřené hodnoty pro daný parametr na všech lokalitách. Uvedeny jsou také hodnoty ze stanic Státní sítě imisního monitoringu (SSIM) z informačního systému kvality ovzduší (ISKO), který je ve správě Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ).

Jednotlivé lokality byly označeny podle městské části, ve které se daná lokalita nachází. Těmto lokalitám pak byly přiděleny třípísmenné kódy viz seznam lokalit výše. Hodnocení níže se však vztahuje k dané lokalitě, nikoliv k celé městské části, jejíž název nese. Různé lokality měly rozdílný charakter, některé např. byly poblíž významné dopravní komunikace a svým charakterem odpovídaly dopravní stanici, jiné odpovídaly stanicím pozad'ovým. Hodnocení níže se zabývá těmito konkrétními lokalitami a není průměrnou, reprezentativní hodnotou pro danou městskou část!

## Meteorologické parametry

### Vliv meteorologických podmínek na kvalitu ovzduší

Kvalitu ovzduší, mimo vlastní zdroje znečišťování ovzduší, výrazně ovlivňují i meteorologické podmínky. Obecně lze říci, že nejvyšší koncentrace znečišťujících látek v ovzduší bývají pozorovány v zimě, naopak nejnižší v létě. Výjimkou jsou koncentrace přízemního ozonu, kde je tomu přesně naopak v důsledku principu vzniku tohoto sekundárního polutantu fotochemickými reakcemi.

Důvodů pro vysoké koncentrace většiny znečišťujících látek v zimním období je více. S nízkými teplotami je spojeno vytápění domácností tuhými palivy, a právě lokální vytápění se dle emisní bilance 2019 podílí na emisích PM<sub>10</sub> (55,1 %) i PM<sub>2,5</sub> (70,5 %) nejvýrazněji.

Velmi významnou roli, často dokonce dominantní, v kvalitě ovzduší hrají také rozptylové podmínky – především pak směr a rychlost větru a teplotní zvrstvení atmosféry. Při nízkých rychlostech větru je výrazně omezeno promíchávání vzduchu a dochází tedy ke kumulaci znečišťujících látek v místě zdroje. Negativní vliv mají také zimní teplotní inverze. Inverzní situace je synoptická situace, při níž teplota vzduchu s rostoucí nadmořskou výškou vzrůstá. Má tedy opačný průběh než obvyklý, kdy teplota s rostoucí nadmořskou výškou klesá. Inverzní vrstva v atmosféře zabraňuje promíchávání vzduchu a vede tedy k

hromadění vodní páry (tvorba mlh a nízké inverzní oblačnosti) i znečištění vzduchu pod vrstvou inverze.

Je důležité zmínit, že zhoršené rozptylové podmínky nemusí znamenat vysoké koncentrace znečišťujících látek v ovzduší, ale naopak situace s vysokými koncentracemi polutantů nastávají takřka ve všech případech za nepříznivých rozptylových podmínek.

Na základě směru větru se znečišťující látky v ovzduší pohybují do okolních oblastí, často stovky kilometrů a hovoříme o tzv. dálkovém transportu, který může být i přeshraniční.

Kvalitu ovzduší ovlivňují také srážky, ať už dešťové či sněhové, které mají pozitivní vliv a snižují koncentrace znečišťujících látek v ovzduší prostřednictvím mokré depozice.



# Vliv meteorologických podmínek na kvalitu ovzduší



Kvalita ovzduší není dána jen samotným množstvím emisí, ale i dalšími faktory. Jedním z nejvýznamnějších jsou **meteorologické a rozptylové podmínky, které mohou mít na kvalitu ovzduší vliv velmi výrazný a v určitých situacích i dominantní**. Právě meteorologické a rozptylové podmínky **bývají hlavním zdrojem meziroční variability** v úrovni znečištění ovzduší.



## Rychlost větru

Rychlost větru má na kvalitu ovzduší **velmi výrazný vliv**. Pro kvalitu ovzduší jsou **obecně prospěšné vyšší rychlosti větru**, které zajistí intenzivnější rozptyl – znečišťující látky se od svého zdroje rychle šíří a nedochází k jejich kumulaci.

**V určitých specifických situacích může být vliv rychlosti větru na ovzduší opačný**. Příkladem takové situace jsou **lesní požáry** nebo **stavební činnost** – při vyšších rychlostech větru může docházet k intenzivní resuspenzi, tedy víření částic již usazených na povrchu a v případě lesních požárů šíření znečištění do širšího okolí.



## Srážky

Srážky, ať už kapalného (např. déšť) nebo pevného (např. sněžení) skupenství, **mají na koncentrace znečišťujících látek v ovzduší velmi pozitivní vliv**. Zejména při intenzivnějších srážkách se úroveň znečištění ovzduší velmi rychle snižuje. Částice jsou smývány z ovzduší na povrch.



## Směr větru

Směr větru **ovlivňuje, kam se bude znečištění primárně šířit z místa svého zdroje**. V určité lokalitě tak může být kvalita ovzduší výrazně zhoršená, pokud zrovna fouká ze směru významného zdroje. Toto platí i na delší vzdálenosti. V oblasti Jihomoravského a Zlínského kraje bývají například koncentrace v zimním období nejvyšší při severovýchodním proudění, kdy se do těchto oblastí dostává znečištění z Moravskoslezského kraje nebo až z Polska, kde bývá znečištění zejména v topné sezóně velmi významné. Na naše území se může na velkou vzdálenost dostat při určitém směru proudění a podmínkách například i písek ze Sahary.



## Teplota vzduchu

Teplota vzduchu má na kvalitu ovzduší **vliv jak přímý, tak nepřímý**.

Přímý vliv teploty souvisí s **teplotním zvrstvením atmosféry**. Za běžných podmínek teplota s rostoucí výškou nad povrchem v přízemní vrstvě atmosféry klesá. Teplejší vzduch u povrchu tedy přirozeně stoupá vzhůru a s ním dochází i k rozptylu znečišťujících látek ve vertikálním směru. Za určitých podmínek (nejčastěji v zimě) se může v určité výšce nad povrchem vytvořit vrstva teplejšího vzduchu, tzv. **inverzní vrstva**. Vzduch pod touto vrstvou je chladnější, a tedy nestoupá. Během této přízemní teplotní inverze je velmi omezen rozptyl a znečištění se u země kumuluje.

Nepřímý vliv teploty vzduchu spočívá ve **vlivu teploty na zdroje znečišťování ovzduší**. Nejvýznamnějším zdrojem znečištění je v České republice **vytápění**. Nízké teploty znamenají vyšší míru vytápění, a s tím souvisí také větší množství emisí z vytápění. Teplota vzduchu má vliv i na emise jiných zdrojů, vyšší emise mají například také vozy při studeném startu.



## Intenzita slunečního záření

Intenzita slunečního záření **ovlivňuje koncentrace přízemního ozonu**. Tato znečišťující látka **nemá přímý zdroj** a vzniká až reakcemi v ovzduší. Tyto reakce označujeme jako fotochemické – jsou katalyzovány slunečním zářením. Nejvyšší koncentrace přízemního ozonu bývají pozorovány během horkých a slunečných letních dnů s vysokými teplotami vzduchu. Právě za těchto podmínek probíhají reakce, dávající vznik přízemnímu ozonu, nejintenzivněji.

V zimním období může mít sluneční záření pozitivní vliv na kvalitu ovzduší, protože ohřívá povrchy a může tak snižovat potřebu vytápění.

## Příklad: únor 2020

Dobrým příkladem vlivu meteorologických podmínek na kvalitu ovzduší je únor 2020. Tento měsíc byla totiž kvalita ovzduší velmi výjimečně dobrá, a to díky kombinaci několika faktorů.



Průměrná teplota v ČR byla v únoru 2020 3,7 °C, dlouhodobý průměr 1981-2010 přitom činí -0,9 °C. Odchylnka o více než 4,5 °C je výjimečně vysoká.



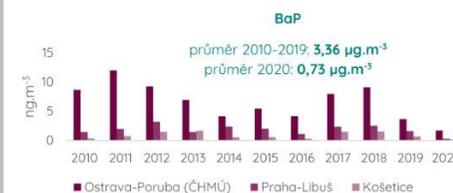
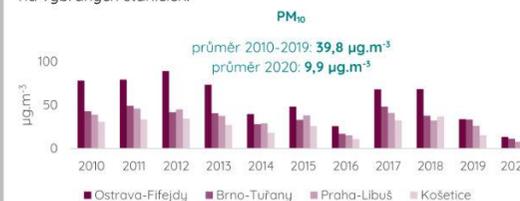
V ČR napršelo v únoru 2020 v průměru 78 mm srážek, v třicetiletí 1981-2010 to přitom bylo pouze 38 % - méně než polovina.



ČR se v únoru 2020 prohnaly dvě vichřice a celkově se jednalo o měsíc relativně větrný.

Vysoké teploty, bohaté srážky a větrno jsou faktory, které každý sám o sobě obecně přispívají k dobré kvalitě ovzduší. V zimních měsících bývají koncentrace znečišťujících látek (s výjimkou ozonu) nejvyšší. V únoru 2020 byly hodnoty koncentrací různých znečišťujících látek na řadě stanic téměř nebo zcela na úrovni letních měsíců.

Grafy ukazují průměrné únorové koncentrace částic PM<sub>10</sub> a benzo[*a*]pyrenu na vybraných stanicích.



**Koncentrace v únoru 2020 byly na stanicích často o desítky procent nižší, než je únorový průměr 2010-2019. Za tímto zlepšením stojí právě vliv meteorologických a rozptylových podmínek.**

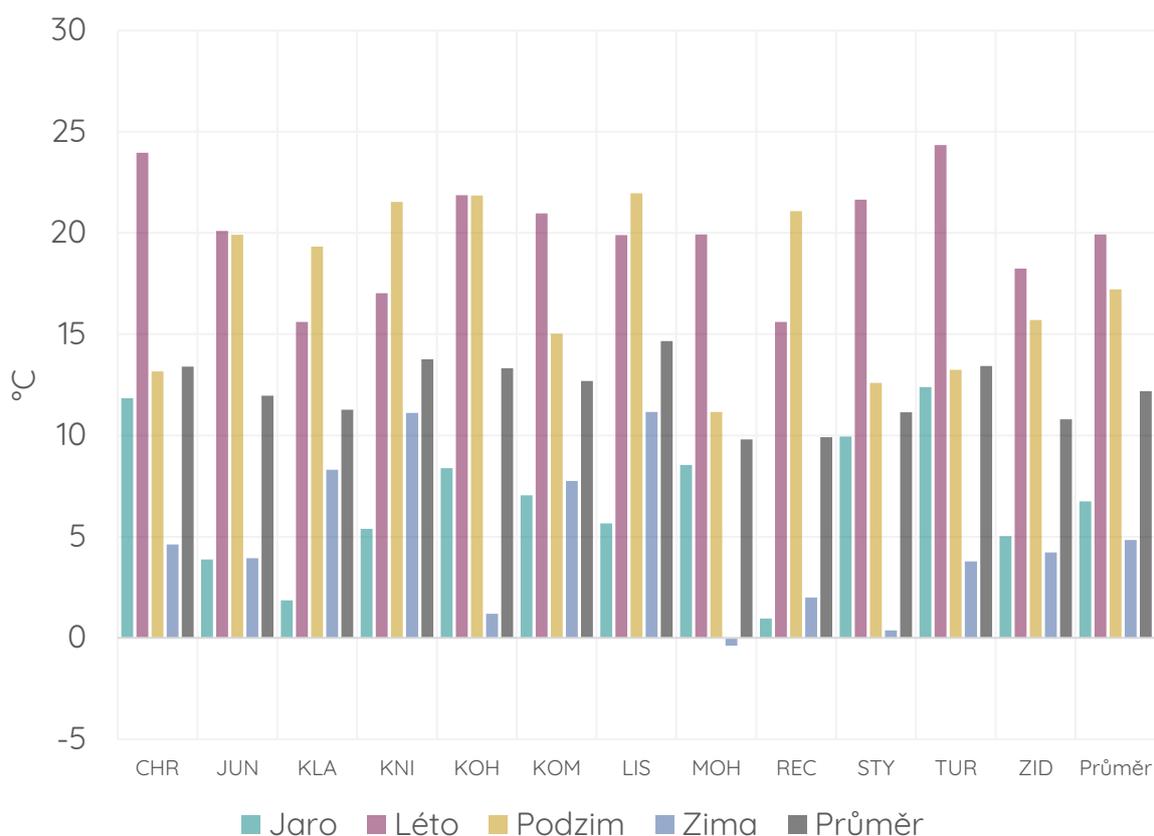
Zdroj dat: ČHMÚ



## Teplota vzduchu

Během celého monitoringu byla na jednotlivých měřených lokalitách monitorována také teplota vzduchu. Jak bylo popsáno v předchozím textu, teplota vzduchu může přímo i nepřímo ovlivňovat koncentrace znečišťujících látek. V chladném období například determinuje intenzitu vytápění, tedy množství emisí z této kategorie zdrojů.

Následující graf ukazuje průměrné teploty za jednotlivé dvoutýdenní kampaně ze všech monitorovaných lokalit a celkovou průměrnou teplotu pro jednotlivé lokality a kampaně.



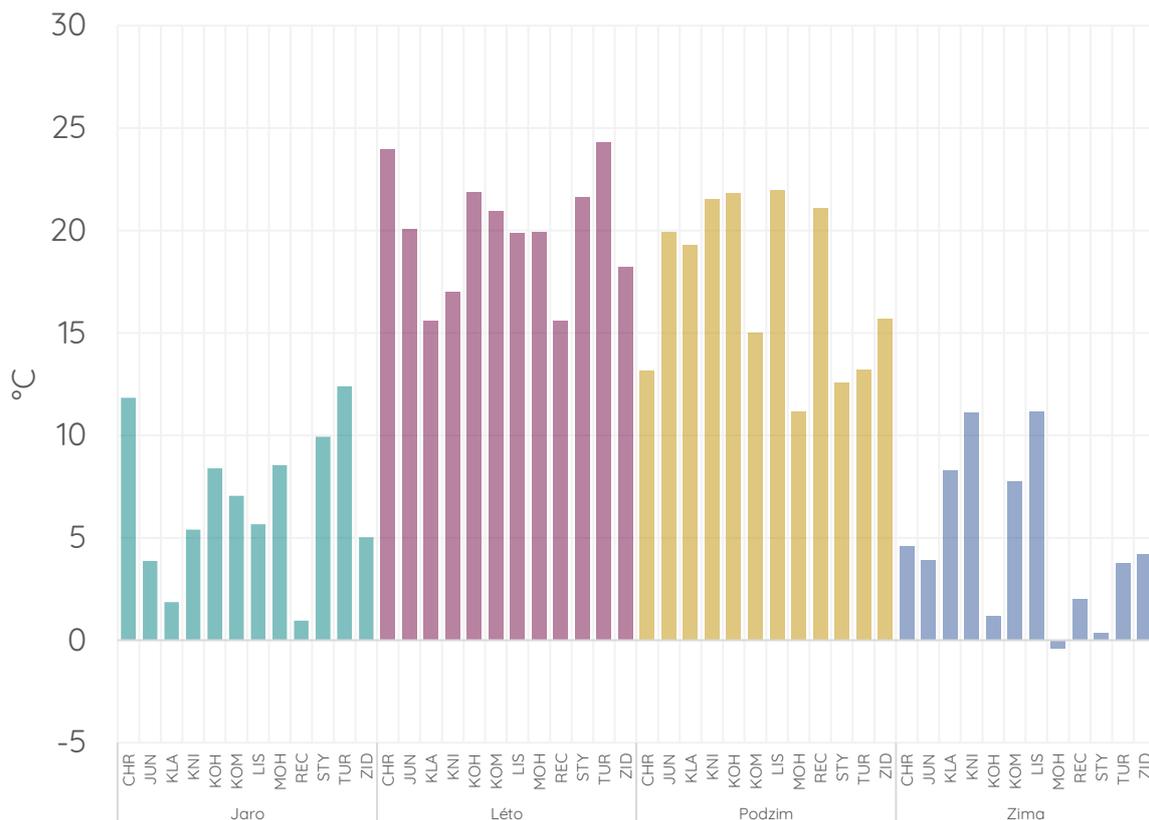
Obrázek 18 – průměrná teplota za jednotlivé dvoutýdenní kampaně na jednotlivých monitorovacích lokalitách včetně celkového průměru.

Z výše uvedeného grafu je patrných několik informací:

- Nejvyšší průměrná teplota byla dle očekávání zaznamenána v letní kampani.
- Během podzimní kampaně byla naměřena relativně vysoká průměrná teplota, která byla výrazně vyšší než v průběhu jarní kampaně a jen o 2 °C nižší než v případě letní kampaně.
- Průměrná teplota jarní kampaně byla jen o 2 °C vyšší než v případě zimní kampaně, která byla dle očekávání nejchladnější.

Relativně vysoká průměrná teplota v podzimním období souvisí jak s faktem, že byly některé podzimní měsíce obecně teplé (zejména říjen), tak se skutečností, že některá měření v rámci podzimní kampaně probíhala ve skutečnosti už v letním období.

Výrazné byly ale i rozdíly mezi jednotlivými lokalitami v rámci shodné kampaně, pro lepší ilustraci byl výše uvedený graf zpracován tak, aby byly lépe srovnatelné teploty vzduchu v rámci kampaně mezi lokalitami.

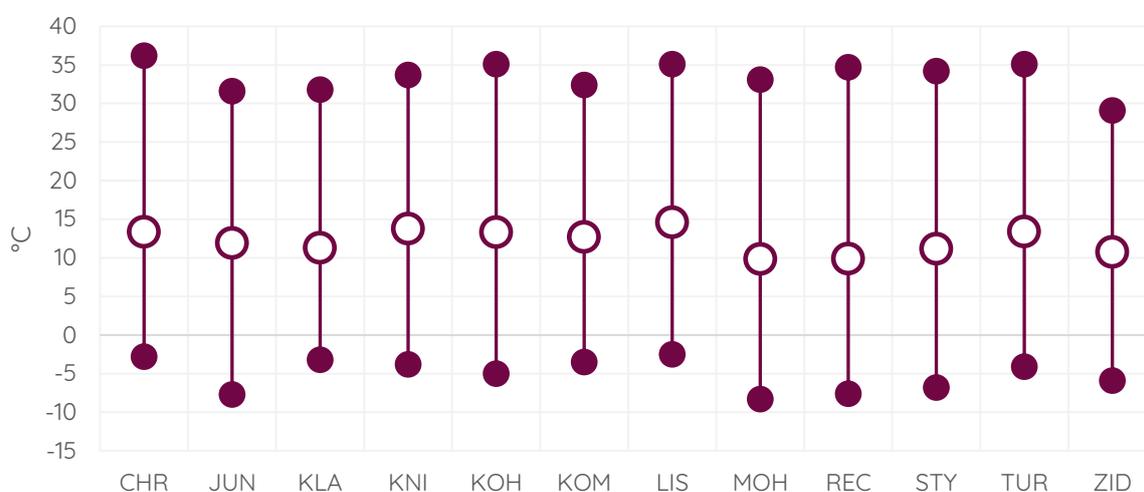


Obrázek 19 - průměrná teplota za jednotlivé dvoutýdenní kampaně na jednotlivých monitorovacích lokalitách.

Jak ukazuje graf výše, v některých případech byl rozdíl v průměrné teplotě za příslušnou dvoutýdenní kampaň mezi monitorovanými lokalitami i více než 10 °C. Například v průběhu jarní kampaně byla průměrná teplota v lokalitě Řečkovice jen 1,0 °C, zatímco v lokalitě Tuřany to v rámci jarní kampaně bylo 12,4 °C, tedy rozdíl 11,4 °C. Toto však neznámá, že je v lokalitě Brno-Tuřany o více než 10 °C více než v lokalitě Brno-Řečkovice. Jedná se o rozdíl primárně daný odlišnou dobou monitoringu. Zatímco v Řečkovicích probíhala jarní kampaň v období od 22. 2. do 8. 3. 2022, v lokalitě Tuřany probíhal monitoring od 20. 4. 2022 do 3. 5. 2022, tedy o dva měsíce později, v část roku, která je charakteristická postupným nárůstem teplot v rámci běžného průměrného ročního chodu teplot v České republice.

Rozdíly v průměrných teplotách potvrzují předpoklad popsany v předchozích kapitolách, tedy že nelze srovnávat naměřené koncentrace znečišťujících látek na jednotlivých lokalitách přímo mezi sebou v rámci konkrétní kampaně, protože monitoring probíhal paralelně vždy jen na dvou lokalitách, a tudíž panovaly během těchto měření odlišné meteorologické a rozptylové podmínky, které mohly velmi zásadně koncentrace v danou chvíli ovlivňovat.

V grafu níže jsou zobrazeny průměrné hodnoty za všechny čtyři kampaně pro jednotlivé lokality spolu s absolutně nejvyšší a nejnižší naměřenou teplotou za celé projektové měření.



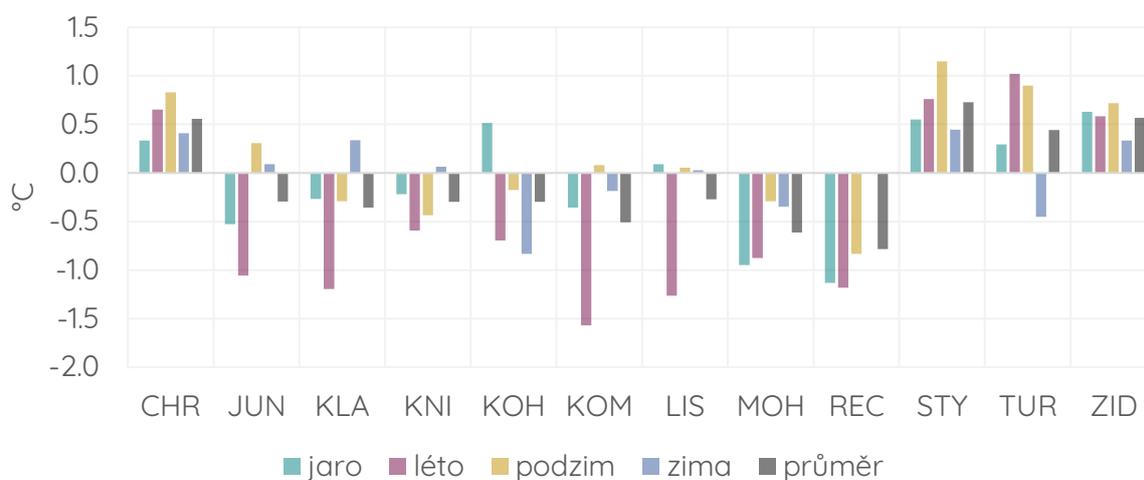
Obrázek 20 – průměrná teplota vzduchu (bílý bod) za všechny čtyři měřicí kampaně na jednotlivých lokalitách a nejvyšší a nejnižší absolutní hodnota teploty vzduchu naměřená na jednotlivých lokalitách.

V rámci města Brna se teploty vzduchu v dlouhodobém průměru liší jen minimálně. Mírně tepleji bývá blíže centru města, kde se výrazněji projevuje tepelný ostrov města. Metodika hodnocení v rámci této zprávy spočívá primárně ve srovnání hodnot naměřených v tomto projektovém měření s hodnotami na dalších stanicích imisního monitoringu a následné srovnání poměrů hodnot z projektových lokalit a průměru ze stanic v Brně.

Jak bylo popsáno výše, vychází se v tomto případě z předpokladu, že v delším horizontu (dny, týdny) se meteorologické a rozptylové podmínky v rámci území Brna liší jen minimálně.

Platnost výše uvedeného předpokladu dobře ilustruje následující graf. Ten ukazuje rozdíl mezi průměrnou teplotou vzduchu na jednotlivých lokalitách v jednotlivých měřicích

kampaních a příslušným průměrem z ostatních stanic v rámci SSIM na území Brna pro totožné období.



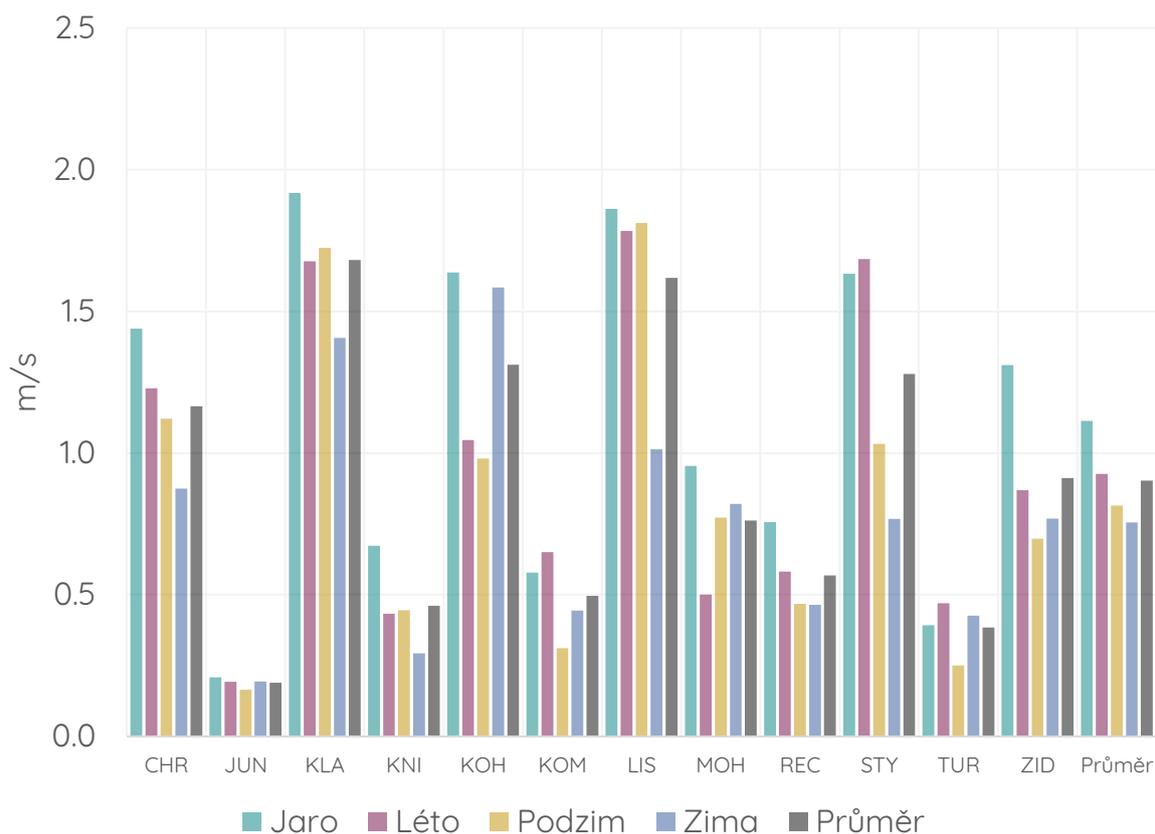
Obrázek 21 – rozdíl mezi průměrnou teplotou vzduchu na jednotlivých lokalitách v jednotlivých měřicích kampaních oproti průměrné teplotě z ostatních stanic SSIM na území Brna v totožných obdobích.

Jak ukazuje graf, průměrná teplota se v celkovém průměru lišila od průměru z ostatních brněnských stanic o hodnotu do 1 °C, tedy velmi málo. V dílčích kampaních byl rozdíl přibližně do 1,5 °C.

## Rychlost větru

Rychlost větru je důležitým faktorem pro kvalitu ovzduší. Obecně platí, že čím je rychlost větru vyšší, tím je vyšší rozptyl látek v ovzduší, a tedy i lepší kvalita ovzduší. Výjimkou z tohoto pravidla mohou být například lokality poblíž stavenišť, kde naopak vyšší rychlosti větru způsobují intenzivnější resuspenzi, a tedy i koncentrace znečišťujících látek. Podobně se mohou chovat i měřicí body poblíž polí, kde zejména v období holé půdy, nezmrzlé půdy a sucha může být velmi intenzivní resuspenze z eroze půdy.

Následující graf ukazuje průměrné rychlosti větru za jednotlivé dvoutýdenní kampaně ze všech monitorovaných lokalit a celkovou průměrnou rychlost větru pro jednotlivé lokality a kampaně.



Obrázek 22 - průměrná rychlost větru za jednotlivé dvoutýdenní kampaně na jednotlivých monitorovacích lokalitách včetně celkového průměru.

Z výše uvedeného grafu jsou patrné následující informace:

- Mezi jednotlivými lokalitami jsou často výraznější rozdíly v průměrné rychlosti větru.
- V rámci jedné lokality nejsou rozdíly mezi jednotlivými měřicími kampaněmi tak výrazné jako rozdíly mezi jednotlivými lokalitami.

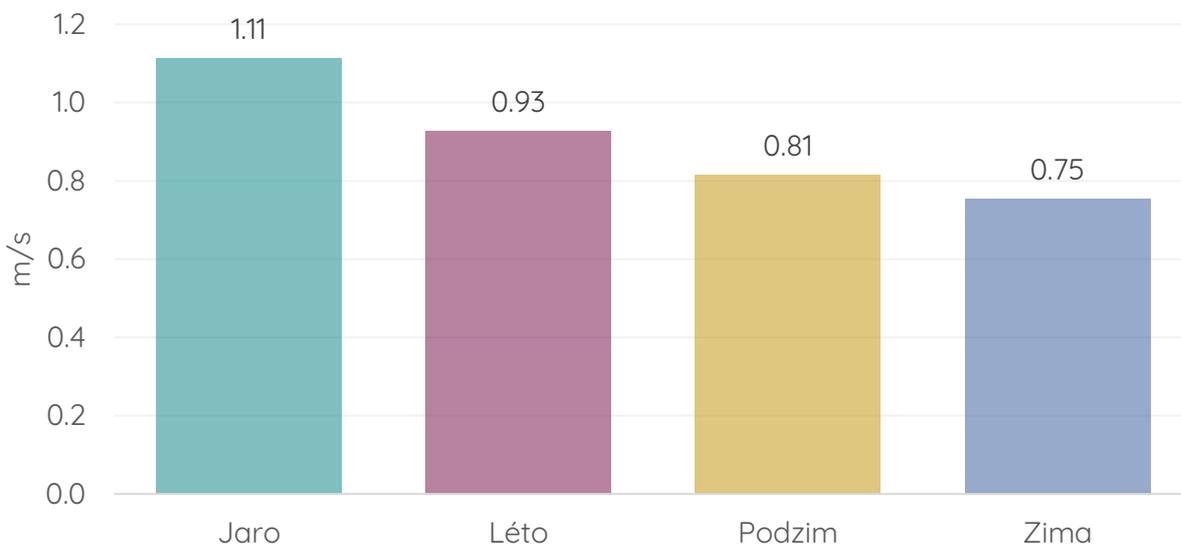
Rychlost větru v konkrétní lokalitě se odvíjí od dvou základních faktorů:

- Plošná rychlost větru - rychlost větru v širším okolí daná aktuálními povětrnostními podmínkami.
- Překážky v okolí - lokálně ovlivňuje směr a rychlost větru okolní terén. Například v husté zástavbě jsou rychlosti větru výrazně nižší.

Rozdíly mezi jednotlivými lokalitami výše jsou primárně dány právě rozdílnými překážkami v okolí. Vyšší rychlosti větru byly zaznamenány například v lokalitě Klajdovka, která se nachází na vyvýšeném místě na východní straně Brna.

V celkovém průměru byla nejvyšší rychlost větru v monitorovaných lokalitách během jarní kampaně (1,1 m/s). To koresponduje s obecným dlouhodobým ročním chodem rychlosti

větru v České republice, kde bývají nejvyšší rychlosti větru ze všech ročních období právě na jaře. Naopak nejnižší (0,8 m/s) byly průměrné rychlosti větru během zimní kampaně.



Obrázek 23 – průměrná rychlost větru ze všech monitorovaných lokalit v jednotlivých měřicích kampaních.



Obrázek 24 – průměrná rychlost větru v jednotlivých monitorovaných lokalitách

## Směr větru

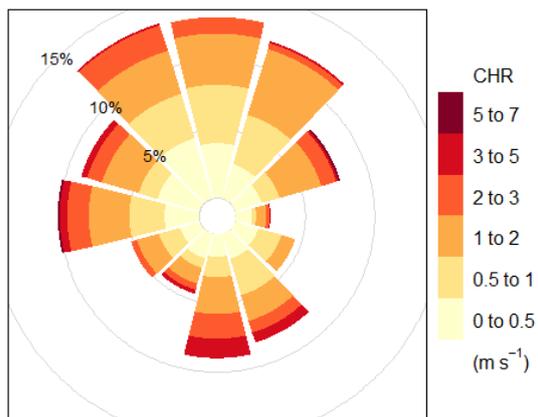
Směr větru představuje velmi důležitý faktor při hodnocení výsledků naměřených koncentrací znečišťujících látek. Právě na základě směru větru lze odvozovat například potenciální zdroje znečištění ovzduší v dané lokalitě.

Na tomto místě je také důležité zmínit, že měření směru větru ve městě obecně je často velmi výrazně ovlivněné překážkami v bezprostředním okolí měřicího místa. Stožár, na

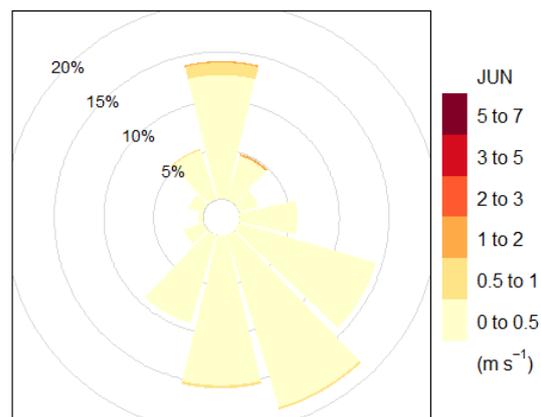
jehož konci je umístěn právě senzor měření rychlosti a směru větru, se nachází přibližně ve výšce 10 metrů. Pokud jsou však v okolí překážky vyšší, dochází k ovlivnění proudění v daném místě.

Směr větru se nejčastěji vyjadřuje prostřednictvím tzv. větrných růžic, což je speciální typ grafu, který ukazuje zastoupení jednotlivých směrů větru v daném místě.

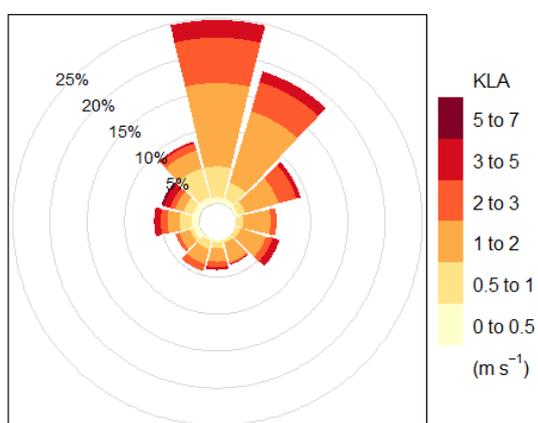
Větrné růžice níže byly zpracovány pro jednotlivé lokality z dat ze všech měřicích kampaní. Zároveň byla za účelem možnosti srovnání sjednocena škála barev, které reprezentují rychlosti větru. Kromě zastoupení jednotlivých směrů větru na jednotlivých lokalitách tak lze z růžic srovnat i rychlosti větru v dané lokalitě. Například je patrné, že v lokalitě Jundrov byly rychlosti ve všech směrech nízké (světle žlutý odstín), naopak například v lokalitě Líšeň jsou patrné rychlosti větru vyšší.



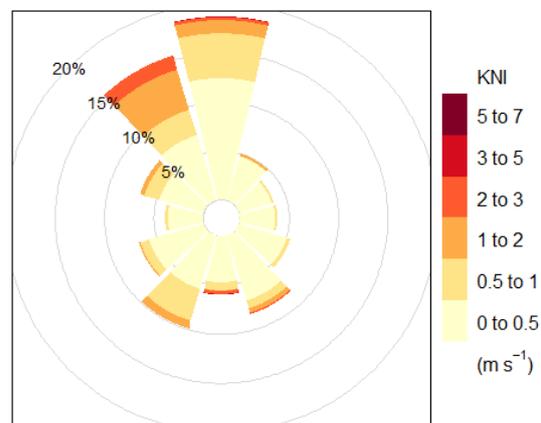
Obrázek 25 - větrná růžice zkonstruovaná z dat za všechny čtyři měřicí kampaně v lokalitě Chrlice



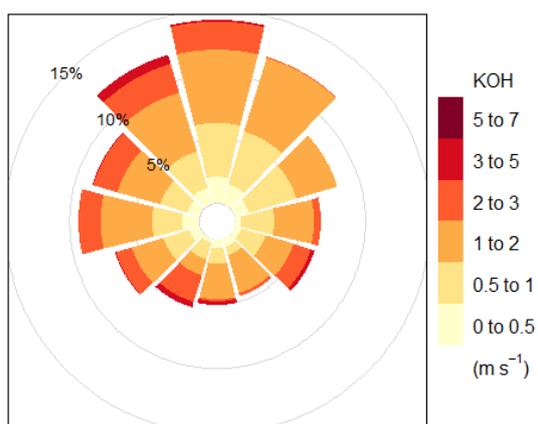
Obrázek 26 - větrná růžice zkonstruovaná z dat za všechny čtyři měřicí kampaně v lokalitě Jundrov



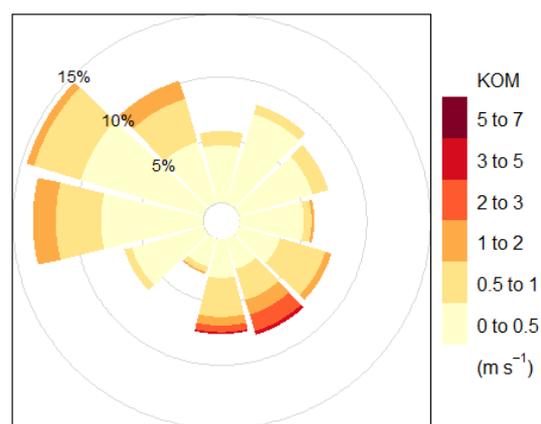
Obrázek 27 - větrná růžice zkonstruovaná z dat za všechny čtyři měřicí kampaně v lokalitě Klajdovka



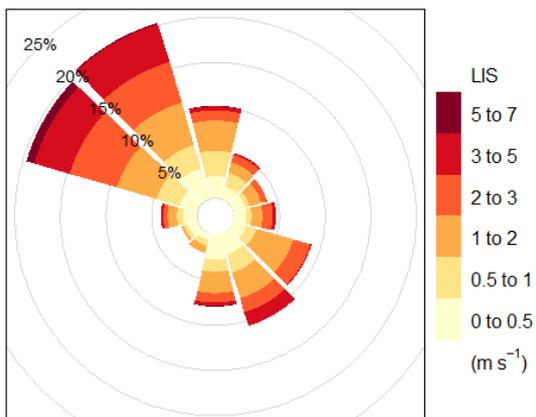
Obrázek 28 - větrná růžice zkonstruovaná z dat za všechny čtyři měřicí kampaně v lokalitě Kníničky



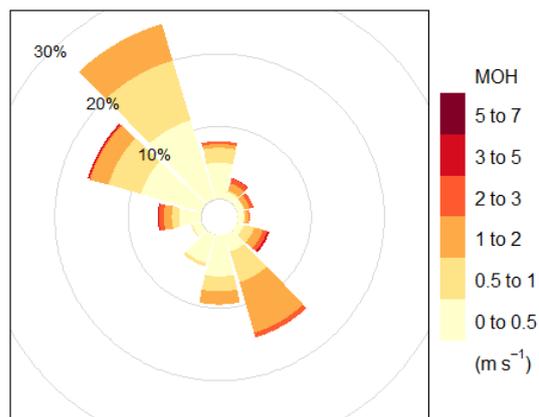
Obrázek 29 - větrná růžice zkonstruovaná z dat za všechny čtyři měřicí kampaně v lokalitě Kohoutovice



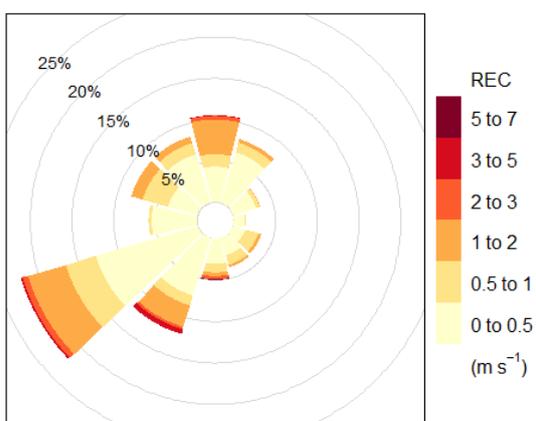
Obrázek 30 - větrná růžice zkonstruovaná z dat za všechny čtyři měřicí kampaně v lokalitě Komín



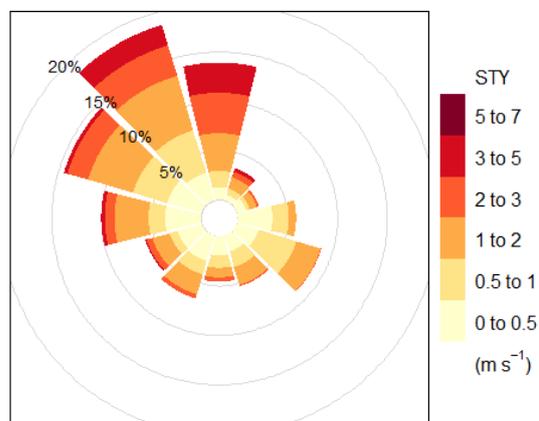
Obrázek 31 - větrná růžice zkonstruovaná z dat za všechny čtyři měřicí kampaně v lokalitě Líšeň



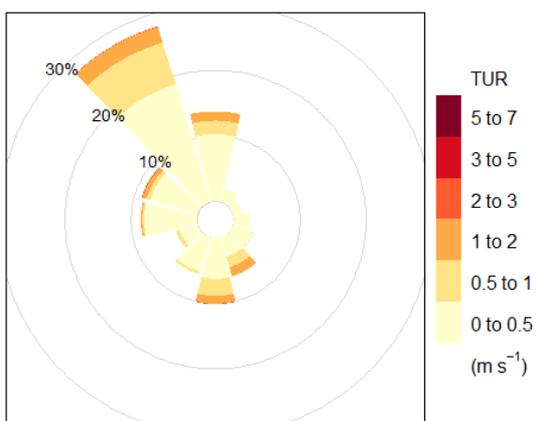
Obrázek 32 - větrná růžice zkonstruovaná z dat za všechny čtyři měřicí kampaně v lokalitě Mokrá Hora



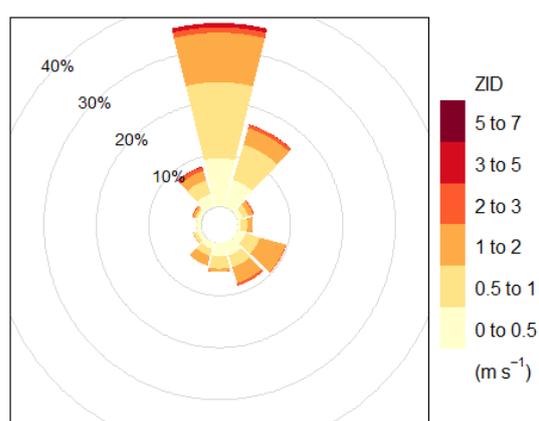
Obrázek 33 - větrná růžice zkonstruovaná z dat za všechny čtyři měřicí kampaně v lokalitě Řečkovice



Obrázek 34 - větrná růžice zkonstruovaná z dat za všechny čtyři měřicí kampaně v lokalitě Štýřice



Obrázek 35 - větrná růžice zkonstruovaná z dat za všechny čtyři měřicí kampaně v lokalitě Tuřany



Obrázek 36 - větrná růžice zkonstruovaná z dat za všechny čtyři měřicí kampaně v lokalitě Židenice

## Koncentrace znečišťujících látek

### Suspendované částice

Suspendované částice (particulate matter, PM, někdy též označované jako prachové částice či aerosoly) představují komplexní, různorodou směs extrémně malých pevných částic a kapiček v ovzduší, a to organické i anorganické povahy. Základní dělení PM je založeno na jejich aerodynamickém průměru. Právě jejich velikost je totiž klíčová pro dopady na lidské zdraví (Kim, 2015). Rozlišujeme částice frakce PM<sub>10</sub>, což značí soubor suspendovaných částic s maximálním aerodynamickým průměrem 10 μm, dále PM<sub>2,5</sub> značící soubor částic s maximálním aerodynamickým průměrem 2,5 μm. Čím menší je velikost částic, tím snadněji a hlouběji pronikají do dýchacího systému. Ultrajemné částice (< 0,1 μm) se mohou dostat dokonce až do krevního oběhu.

Částice PM samy o sobě mohou působit dráždivě. Zároveň však na ně mohou být navázány různé další zdraví škodlivé látky, jako například těžké kovy či polyaromatické uhlovodíky. Kromě velikosti tedy hraje roli také jejich morfologie a chemické složení. Neexistuje bezpečná spodní hranice koncentrace a negativní zdravotní účinky mohou být zaznamenány i při velmi nízkých koncentracích. Dlouhodobá expozice může vést k vyšší úmrtnosti na choroby srdečně-cévní a respirační, rakovině plic, výskytu symptomů chronického zánětu průdušek a snížení plicních funkcí u dětí i dospělých. (Trasande, 2016). Krátkodobá expozice zvýšeným koncentracím aerosolových částic se podílí na nárůstu celkové nemocnosti i úmrtnosti, zejména na onemocnění srdečně-cévní a dýchací a na zvýšení počtu osob hospitalizovaných pro tato onemocnění, zvýšení kojenecké úmrtnosti, zvýšení výskytu respiračních symptomů jako je kašel a ztížené dýchání – zejména u astmatiků a na změnách plicních funkcí při spirometrickém vyšetření. Dlouhodobá expozice ovzduší znečištěnému aerosolem má za následek vyšší úmrtnost na choroby srdečně-cévní a respirační, včetně rakoviny plic a s tím související zkrácení délky života, zvýšení nemocnosti na onemocnění dýchacího ústrojí a výskytu symptomů chronického zánětu průdušek a snížení plicních funkcí u dětí i dospělých. Přibývá důkazů o vlivu expozice částicím na vznik diabetu II. typu, na neurologický vývoj u dětí a neurologické poruchy u dospělých.

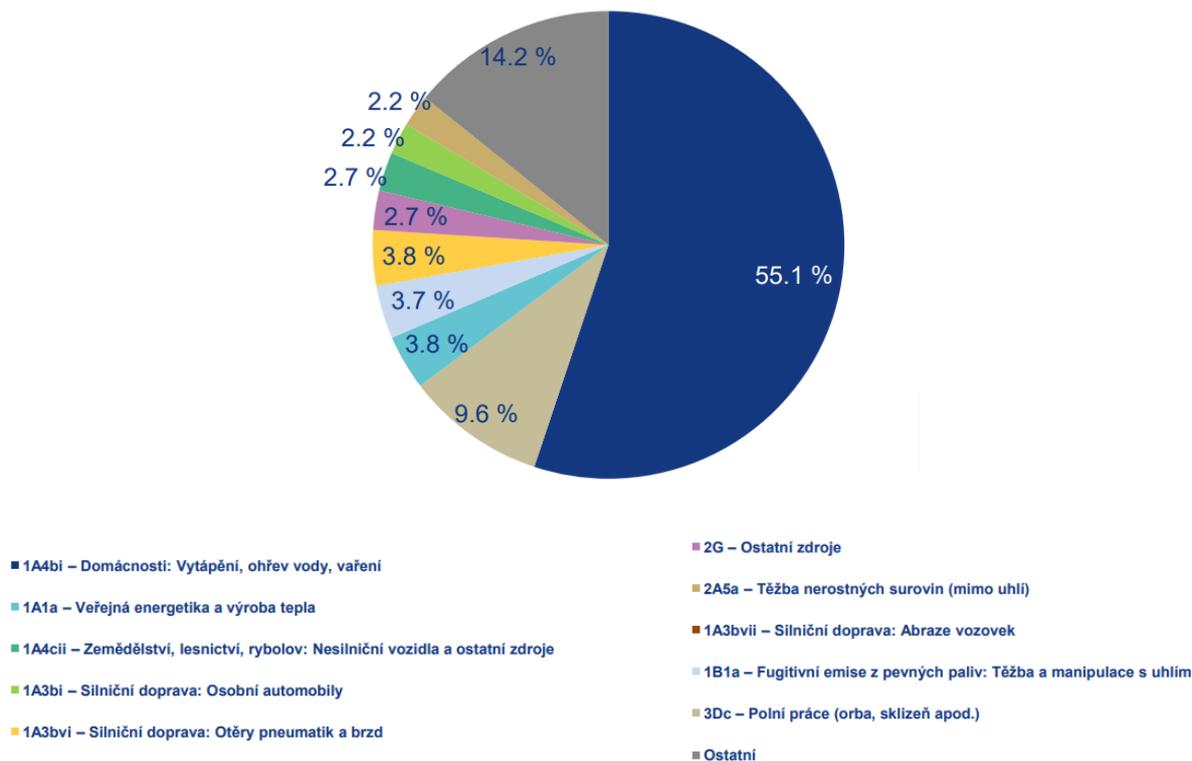
Zdrojem suspendovaných částic v ovzduší jsou jak přírodní procesy, tak antropogenní činnost. Z přirozených procesů je to například větrná eroze nebo vulkanická činnost. Z lidských zdrojů je to celá řada technologických procesů, spalování odpadu v

domácnostech, doprava atd. (Vierkötter, 2017). Nezanedbatelným zdrojem suspendovaných částic je i víření prachu, tzv. resuspenze (Hetem, 2016). Částice deponované na povrchu vozovky se turbulentním prouděním, vyvolaném například projíždějícím vozidlem, dostávají zpět do ovzduší. V principu podobný proces se děje i na chodnících, střeách budov, okenních parapetech, ale i ve vnitřních prostorách budov, kde k víření prachu chůzí (Wang, 2021).

Koncentrace suspendovaných částic v ovzduší se stanovuje pomocí automatických  $\beta$ -prachoměrů, pomocí optických analyzátorů či gravimetricky. V případě měření pomocí  $\beta$ -prachoměrů jsou prašné aerosolové částice zachytávány pomocí podtlaku na filtrační pásku ze skelného vlákna, která se automaticky odvíjí mezi  $\beta$ -zářičem a Geiger-Müllerovým počítačem. Metoda je tedy založena na absorpci beta záření ve vzorku zachyceném na filtračním materiálu. Z rozdílu absorpce beta záření mezi exponovaným a neexponovaným filtračním materiálem, který je úměrný hmotnosti zachyceného prašného aerosolu, je odvozen údaj o jeho koncentraci. Analýza vzorku probíhá automaticky, což je velkou výhodou. U metody optického aerosolového spektrometru se určuje velikost částic prostřednictvím rozptýleného světla podle Lorenz-Mieovy metody. Hodnota koncentrace částic je dedukována z počtu impulzů rozptýleného světla. Amplituda (výška) impulzu rozptýleného světla je měřítkem pro stanovení průměru částic. V případě gravimetrie jsou aerosolové částice zachytávány filtrací venkovního ovzduší konstantní rychlostí na příslušný filtr. Celková hmotnost aerosolových částic zachycených na filtru ( $\mu\text{g}$ ) je rovna rozdílu hmotnosti filtru po a před expozicí. Tato metoda je velmi přesná, její nevýhodou je ovšem nemožnost sledování koncentrací v reálném čase.

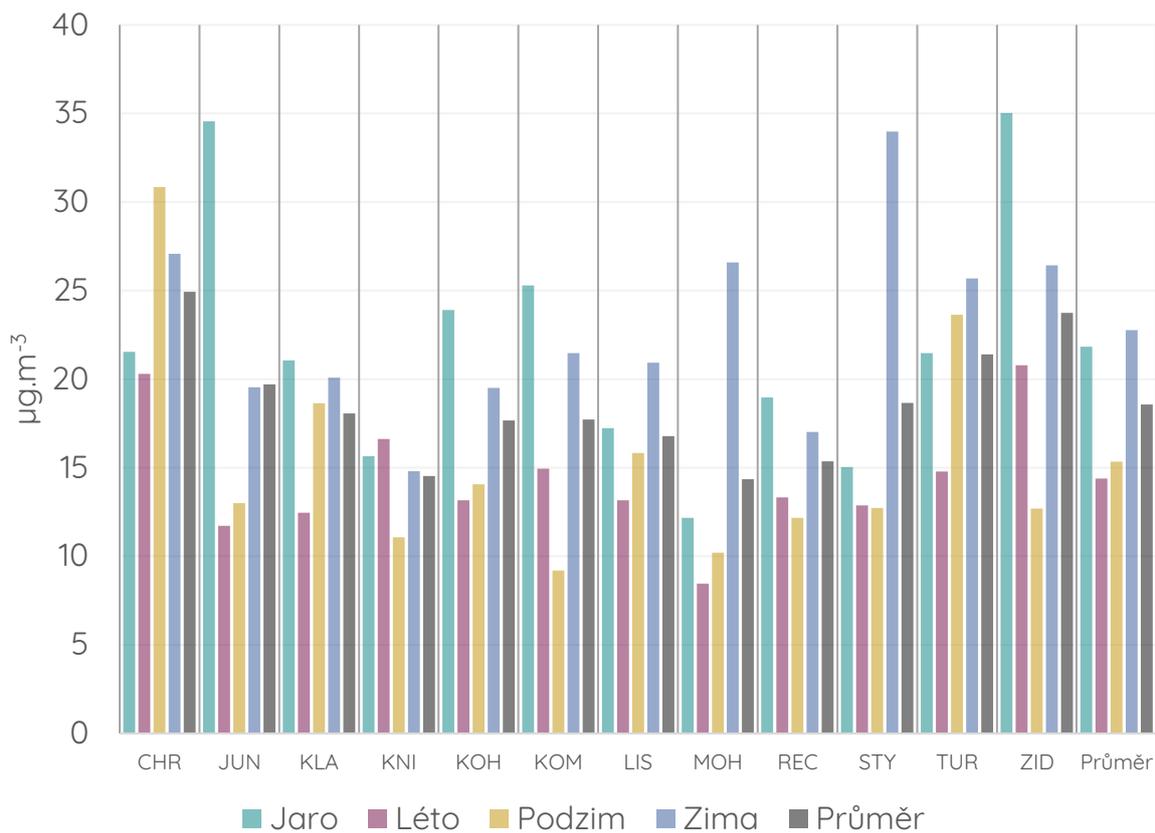
### Suspendované částice $\text{PM}_{10}$

Suspendované částice  $\text{PM}_{10}$  jsou částice o aerodynamickém průměru do 10  $\mu\text{m}$ . Často vznikají mechanicky, například erozí půdy, při sopečných výbuších, zemědělských či stavebních pracích, ale také během spalovacích procesů při nedokonalém spalování. Hlavním zdrojem suspendovaných částic  $\text{PM}_{10}$  v České republice bylo v roce 2019 (nejnovější data) lokální vytápění domácností, které přispívalo k celkovým emisím  $\text{PM}_{10}$  z více než poloviny (55,1 %). Dalšími významnými zdroji byly polní práce (9,6 %), veřejná energetika a výroba tepla (3,8 %) a fugitivní emise z pevných paliv (3,7 %).



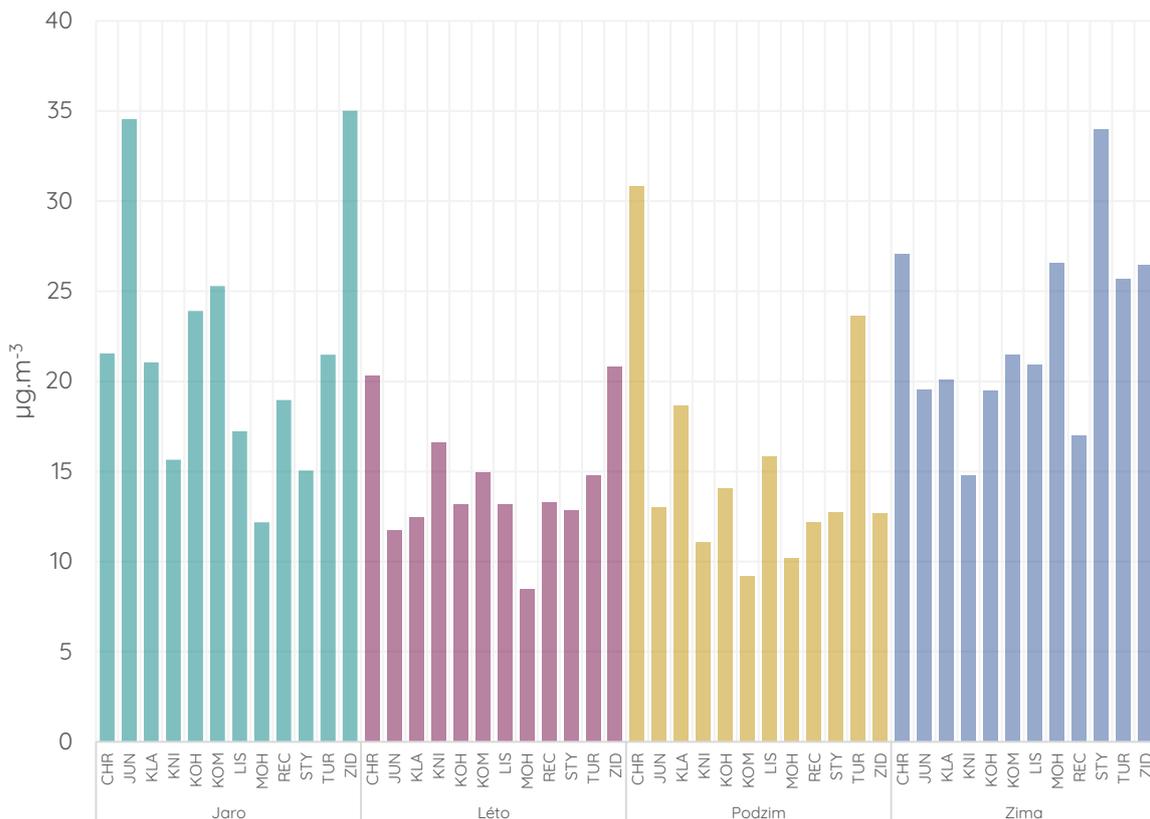
Obrázek 37 - emisní zdroje suspendovaných částic PM<sub>10</sub> v České republice (emisní bilance 2019)

Následující graf ukazuje průměrné koncentrace částic PM<sub>10</sub> pro jednotlivé kampaně a celkově.



Obrázek 38 - průměrné koncentrace částic PM<sub>10</sub> v jednotlivých měřicích kampaních a lokalitách a celkový průměr.

Následující graf ukazuje totožné koncentrace, tentokrát seřazené podle jednotlivých měřicích kampaní.



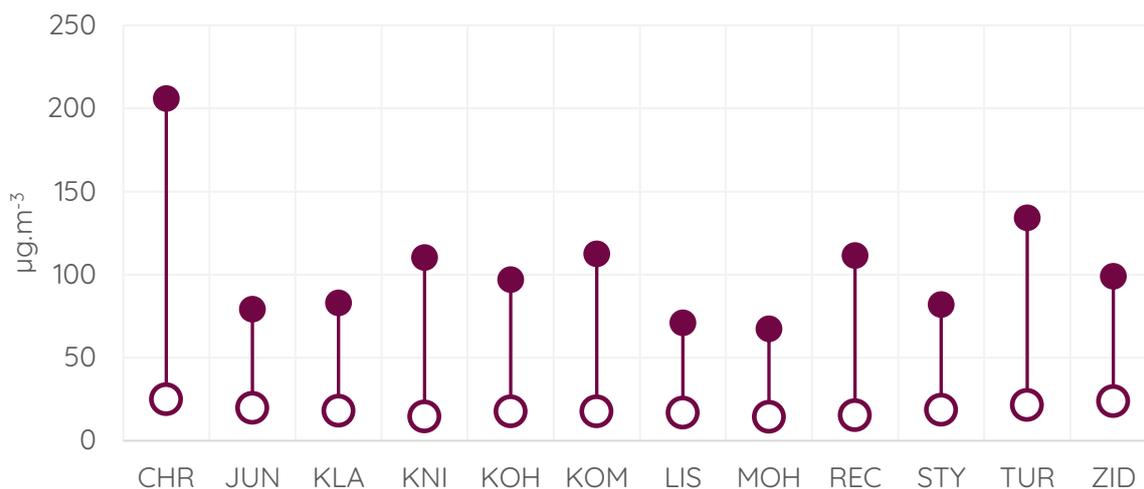
Obrázek 39 - průměrné koncentrace částic PM<sub>10</sub> v jednotlivých měřicích kampaních.

Celkové průměrné koncentrace suspendovaných částic PM<sub>10</sub> za všechny čtyři měřicí kampaně na všech lokalitách ukazuje následující graf.



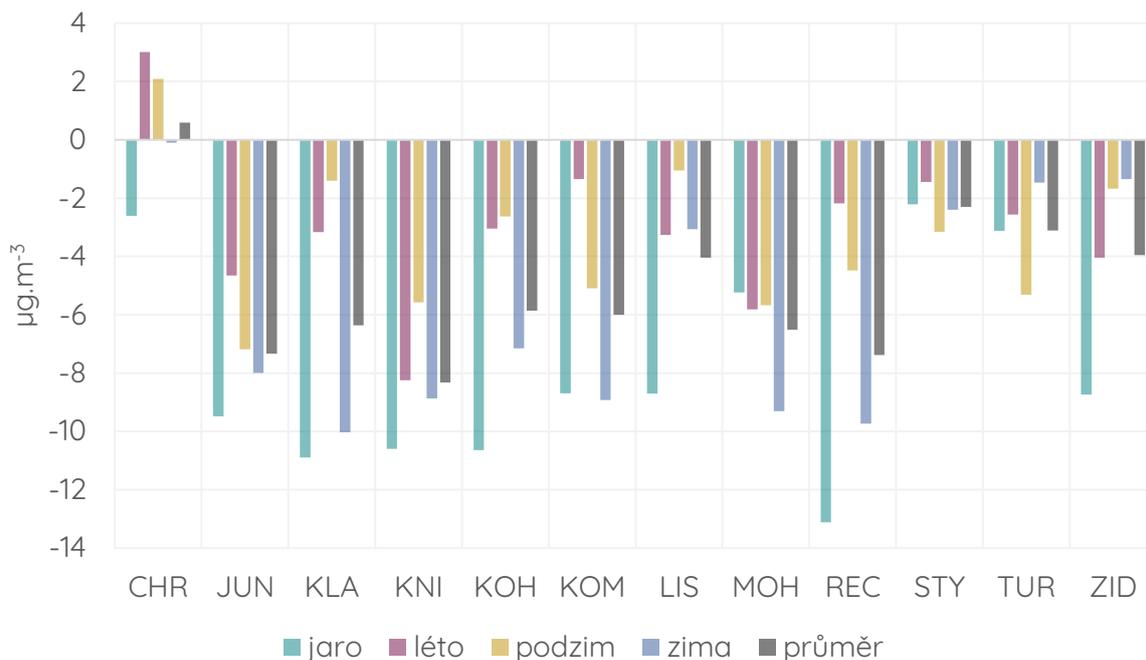
Obrázek 40 - průměrné koncentrace částic PM<sub>10</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny měřicí kampaně

Graf níže ukazuje průměrnou koncentraci (bílý bod) a maximální naměřenou hodinovou koncentraci částic PM<sub>10</sub> za celé období monitoringu pro jednotlivé lokality.



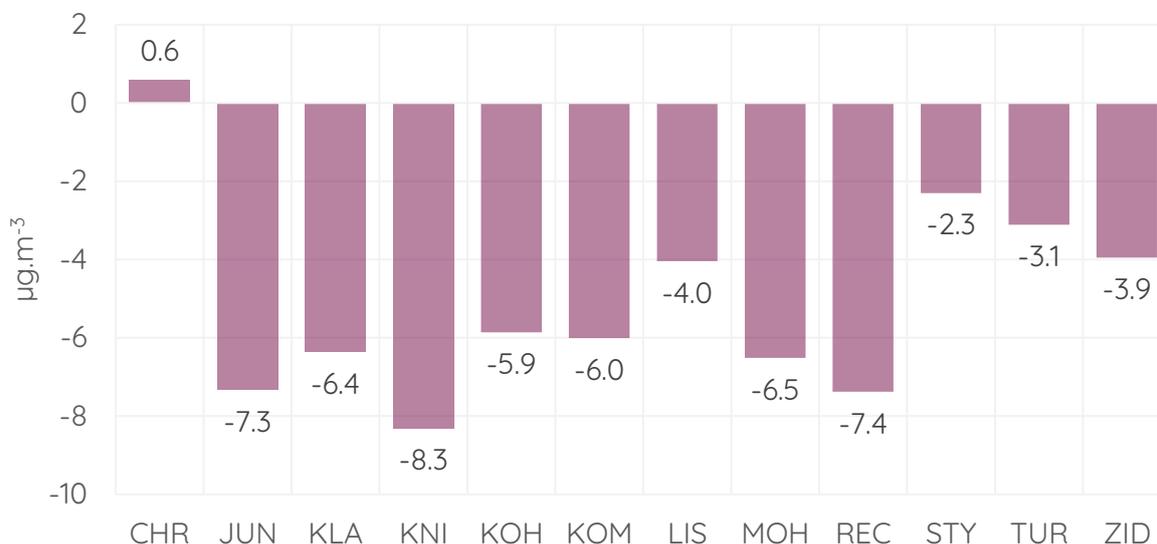
Obrázek 41 – průměrné a nejvyšší hodinové koncentrace částic PM<sub>10</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny měřicí kampaně.

Jak bylo popsáno v textu výše, vyšší vypovídající hodnotu než absolutní hodnoty, má srovnání s hodnotami naměřenými ve stejném čase na ostatních brněnských stanicích v rámci SSIM. Hodnoty v grafu níže reprezentují rozdíl průměrné koncentrace z dané lokality a průměru ze všech brněnských stanic SSIM pro shodný čas. Záporné hodnoty značí koncentrace nižší, než byl průměr koncentrací pro brněnské stanice v SSIM a naopak. Tyto rozdíly byly zvlášť spočítány pro pozad'ové a dopravní stanice. Jelikož je pro různé látky odlišný počet dopravních a pozad'ových stanic, které danou látku v Brně monitorují, bylo by srovnání s celkovým průměrem zkreslující.



Obrázek 42 – rozdíl průměrné koncentrace částic PM<sub>10</sub> v jednotlivých měřicích lokalitách a kampaních z průměrné koncentrace z brněnských dopravních stanic SSIM v příslušném období

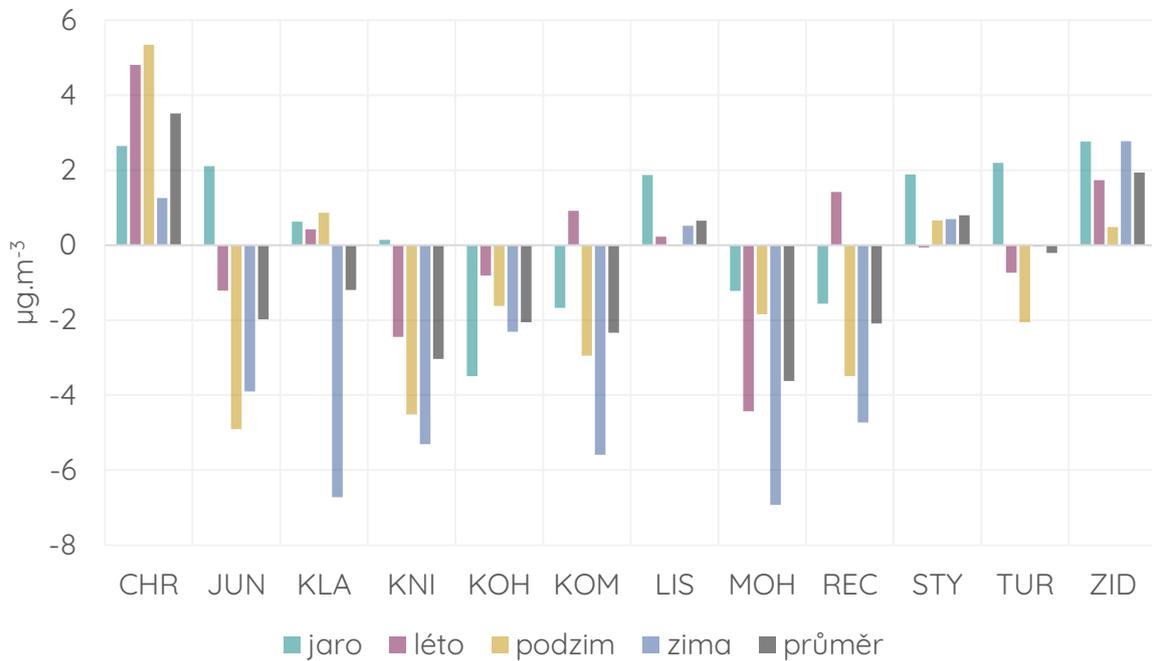
Graf níže pak ukazuje totéž, tentokrát však přehledněji pouze pro průměrný rozdíl za všechny čtyři měřicí kampaně.



Obrázek 43 – rozdíl průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím částic PM<sub>10</sub> v totožném období z dopravních stanic státní sítě imisního monitoringu v Brně.

V případě srovnání s průměrnými koncentracemi částic PM<sub>10</sub> z brněnských dopravních stanic je patrné, že koncentrace částic PM<sub>10</sub> byly až na lokalitu Chrlice na všech stanicích nižší. Rozdíl u většiny lokalit činí do 8 µg·m<sup>-3</sup>.

Následující grafy představují totožné srovnání, tentokrát však s průměrem z nikoliv dopravních, ale pozad'ových stanic.



Obrázek 44 - rozdíl průměrné koncentrace částic PM<sub>10</sub> v jednotlivých měřicích lokalitách a kampaních z průměrné koncentrace z brněnských pozad'ových stanic SSIM v příslušném období.

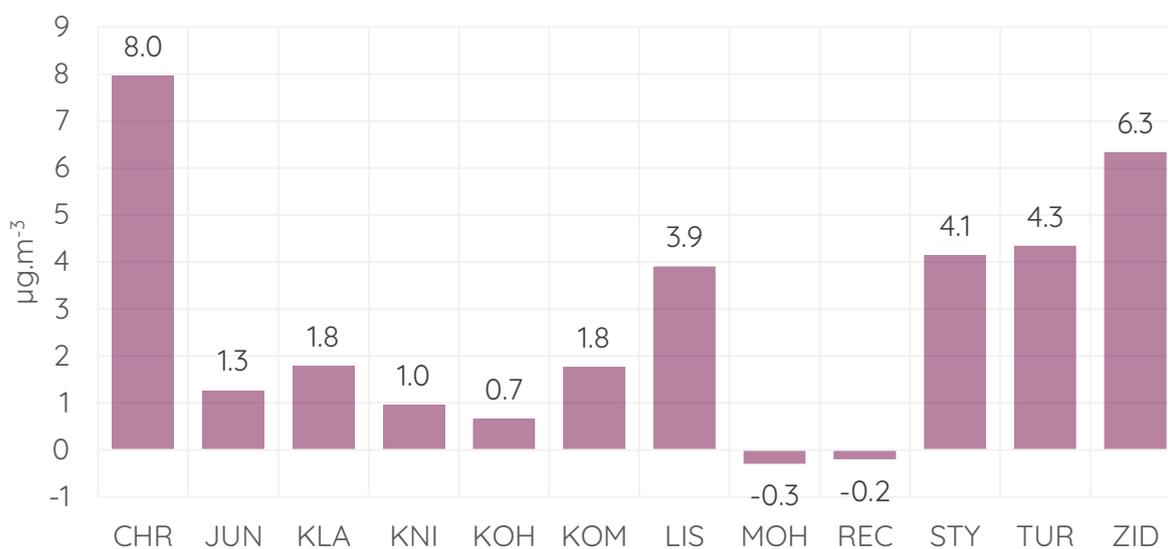
Graf níže pak ukazuje totéž, tentokrát však přehledněji pouze pro průměrný rozdíl za všechny čtyři měřicí kampaně.



Obrázek 45 - rozdíl průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím částic PM<sub>10</sub> v totožném období z pozad'ových stanic státní sítě imisního monitoringu v Brně.

V případě srovnání s pozadovými stanicemi jsou patrné lokality, kde jsou koncentrace vyšší, jedná se například o lokalitu Chrlice, Židenice nebo Štýřice, což byly lokality s vyšším dopravním zatížením. Rozdíly jsou obecně velmi malé.

Pro srovnání je níže uvedeno srovnání ještě s průměrem regionální pozadové stanice Mikulov-Sedlec – odlehlé stanice reprezentující krajské pozadí.

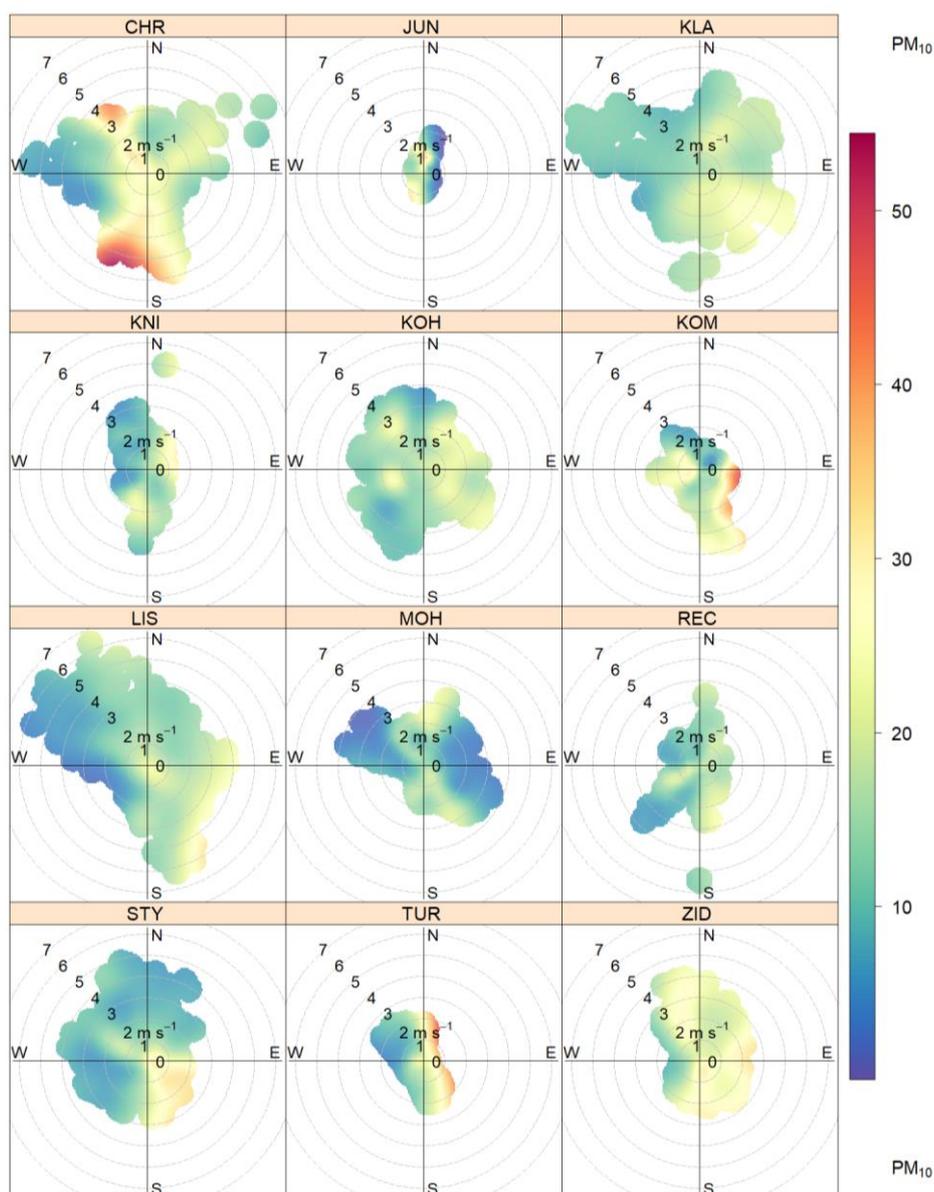


Obrázek 46 - rozdíl průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím částic PM<sub>10</sub> v totožném období z regionální pozadové stanice Mikulov-Sedlec.

V případě srovnání se stanicí v Mikulově-Sedleci jsou koncentrace na většině měřených lokalitách dle očekávání vyšší. Souvisí to s různými zdroji emisí částic PM<sub>10</sub> na území Brna (např. doprava, lokální vytápění apod.). V lokalitě Mokrá Hora a Řečkovice byly koncentrace částic PM<sub>10</sub> v průměru dokonce nižší. Rozdíl však je zcela nevýznamný a nečiní ani 0,5 µg.m<sup>-3</sup>. V lokalitě Mikulov-Sedlec bývají někdy koncentrace částic PM<sub>10</sub> zvýšené v důsledku zemědělských prací nebo eroze půdy. To může být příčinou, proč zde jsou koncentrace víceméně totožné s některými okrajovými brněnskými lokalitami.

Koncentrační růžice vyjadřují vztah mezi rychlostí větru, směrem větru a koncentracemi konkrétní znečišťující látky. Umožňují tedy například hodnotit, ze kterého směru přicházelo znečištění při nejvyšších hodnotách. Princip a způsob interpretace koncentračních růžic ukazuje Obrázek 15.

Následující přehled ukazuje koncentrační růžice pro všechny lokality za všechny měřicí kampaně se sjednocenou škálou pro možnost srovnání.



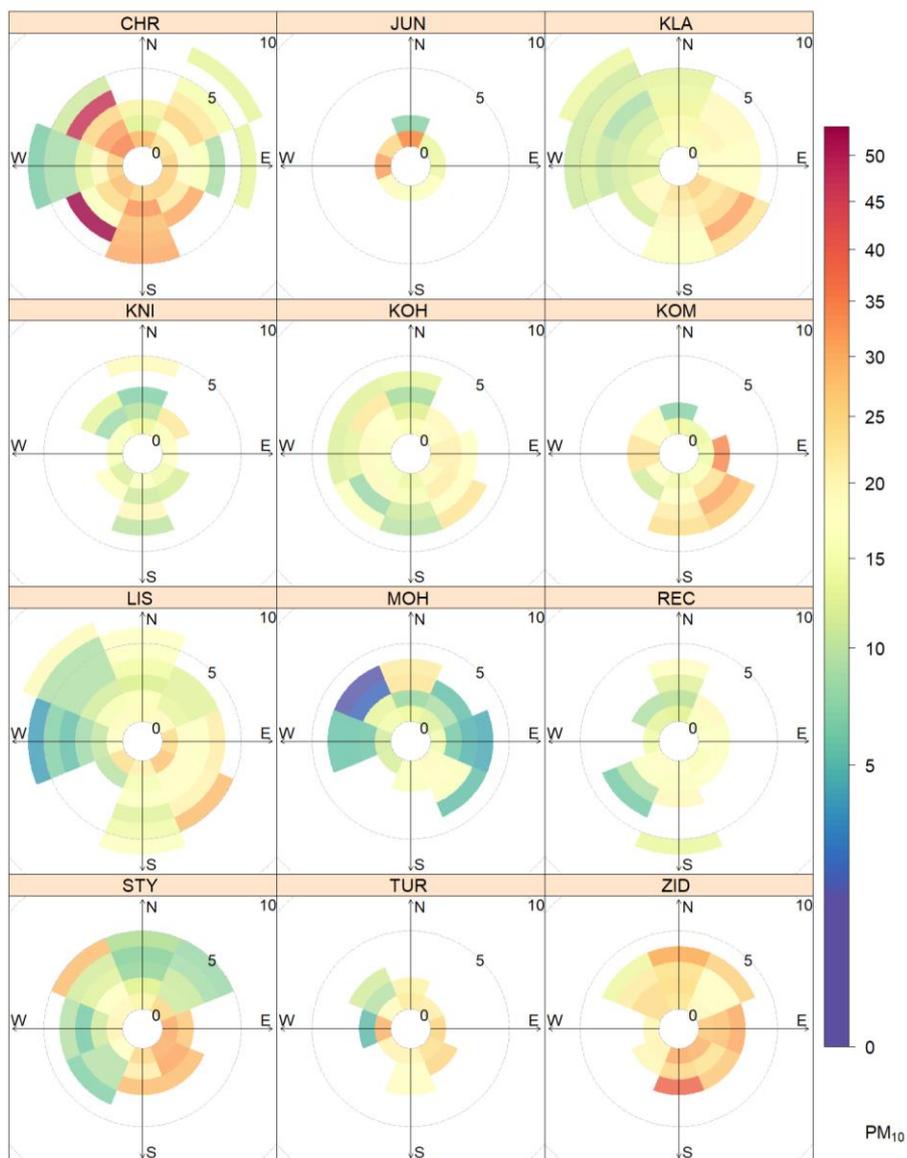
Obrázek 47 – koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi částic PM<sub>10</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny čtyři měřicí kampaně.

Vyšší koncentrace jsou patrné například:

- V lokalitě Chrlice při jihozápadním proudění a vyšších rychlostech větru – v tomto směru se nachází frekventovaná dálnice D2 na Bratislavu.
- V lokalitě Komín při východním proudění – v tomto směru se v blízkosti měřícího bodu nachází dopravně silně zatížená komunikace 384 (Kníničská).
- V lokalitě Tuřany při severovýchodním proudění – v tomto případě se jedná o znečištění z odpalování pyrotechniky. O novoroční půlnoci proudilo z východu, proto se toto znečištění projevilo tímto způsobem. Blíže je toto znečištění popsáno

v kapitole u koncentračních růžic pro částice  $PM_{2,5}$ , protože jsou ohňostroje zdrojem zejména těchto menších částic a projevují se více na jejich koncentracích.

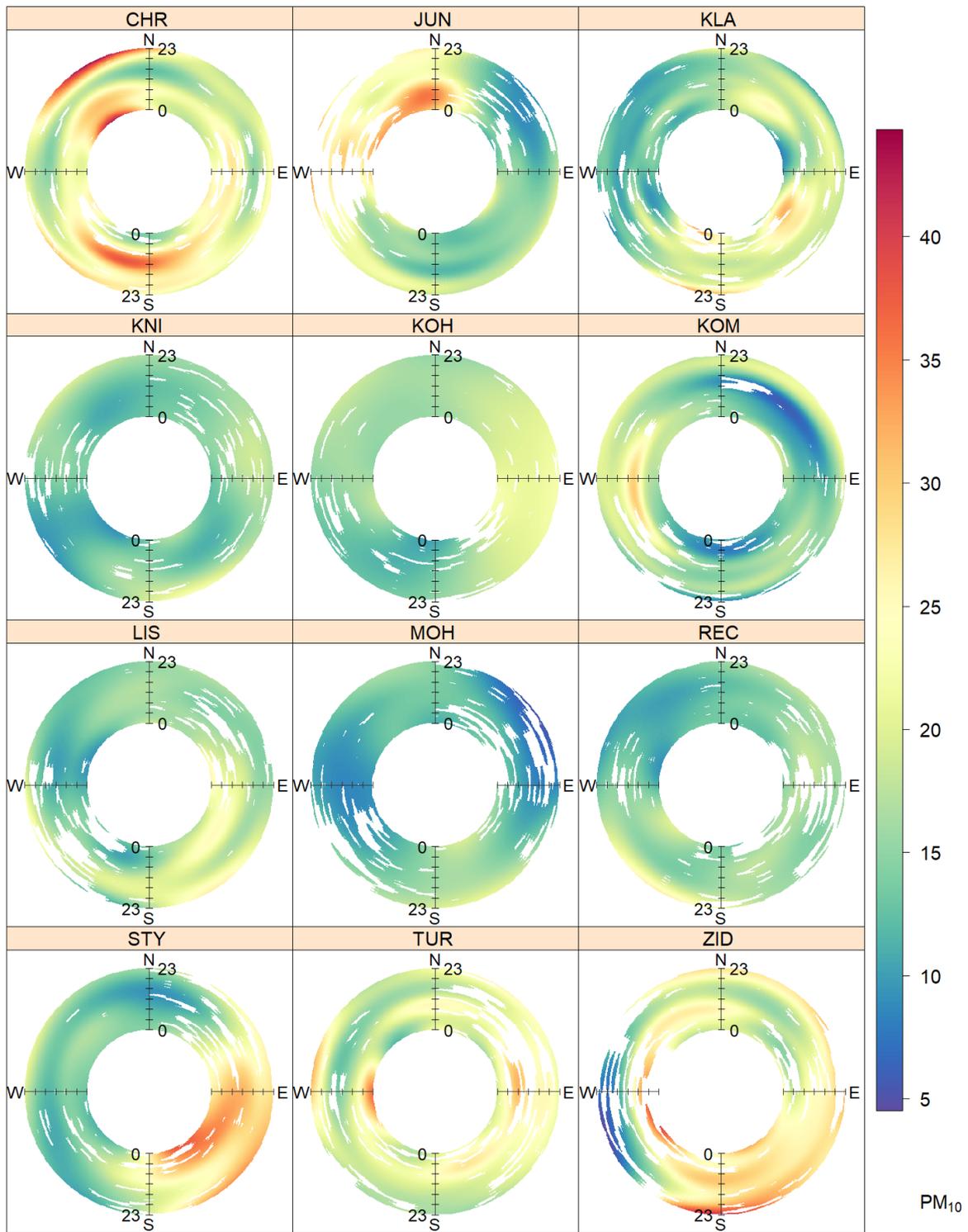
Vizualizace níže ukazuje tzv. vážené koncentrační růžice. V tomto případě je brán v potaz i čas, po který z daného směru znečištění proudilo. Zatímco koncentrační růžice (ne vážené) ukazují průměrnou koncentraci pro konkrétní směr a rychlost větru, u vážené koncentrační růžice je hodnoceno celkové množství znečištění, které se v dané lokalitě při dané kombinaci směru a rychlosti větru vyskytlo. Pokud je tedy například určitý směr proudění velmi častý, i přes relativně nízké koncentrace z daného směru, může v celkovém součtu daný směr přispívat k celkovému znečištění významně a naopak.



Obrázek 48 – vážené koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi částic  $PM_{10}$  pro jednotlivé lokality měření za všechny čtyři měřicí kampaně.

Z výše uvedených růžic je patrné, který směr proudění má v dané lokalitě nejvýznamnější vliv (kombinace četnosti daného směru proudění a průměrných koncentrací v tomto směru).

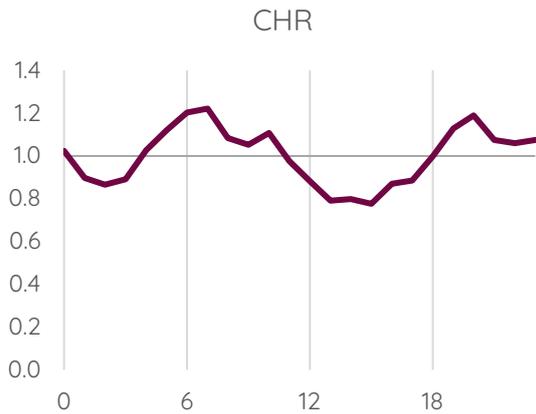
Vztah mezi směrem větru, koncentrací znečišťující látky a hodinou dne ukazují tzv. anulární koncentrační růžice. Jejich interpretace je blíže popsána v grafice výše (Obrázek 16). Následující přehled anulárních koncentračních růžic ukazuje tento vztah pro suspendované částice  $PM_{10}$  jako souhrn ze všech měřicích kampaní pro jednotlivé lokality.



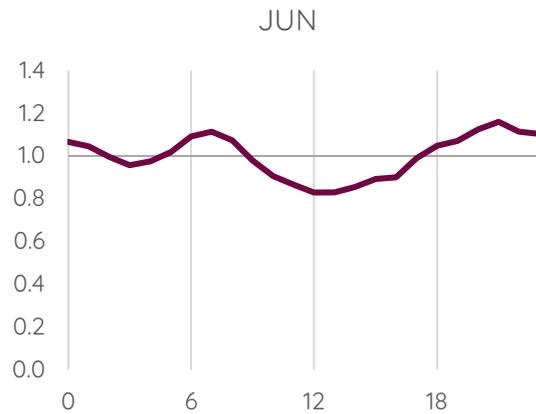
Obrázek 49 - anulární koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi směrem větru, koncentracemi suspendovaných částic PM<sub>10</sub> a hodinou dne (UTC) pro jednotlivé lokality za všechny měřicí kampaně.

Následující grafy ukazují průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub>. V tomto případě je cílem zobrazit průměrný denní chod, nikoliv absolutní hodnoty koncentrací. Hodnoty tedy byly normalizovány - každá z průměrných koncentrací pro konkrétní hodinu a lokalitu byla srovnána s celkovým průměrem pro danou lokalitu. Hodnota pro každou hodinu tedy

ukazuje podíl průměrné koncentrace v danou hodinu dne oproti celkovému průměru. Například hodnota 2 ukazuje, že v danou hodinu dne byly koncentrace v průměru dvojnásobné oproti průměru pro danou lokalitu. Pro všechny grafy byla použita totožná škála, aby bylo možné srovnávat variabilitu denního chodu koncentrací. Všechny hodiny dne jsou v čase UTC (v případě letního času -2 hodiny oproti občanskému času, v případě zimního času -1 hodina oproti občanskému času).



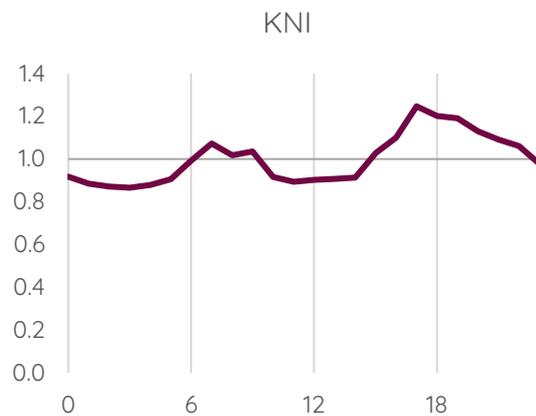
Obrázek 50 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Chrlice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



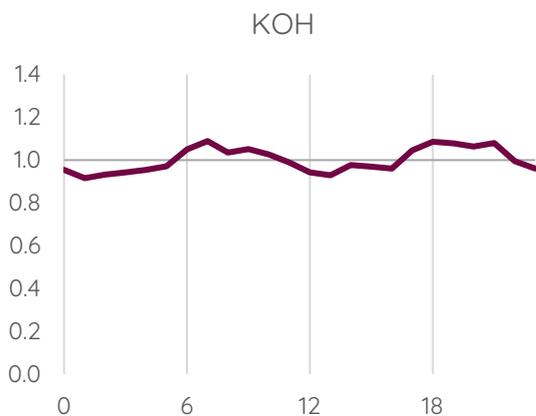
Obrázek 51 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Jundrov. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 52 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Klajdovka. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



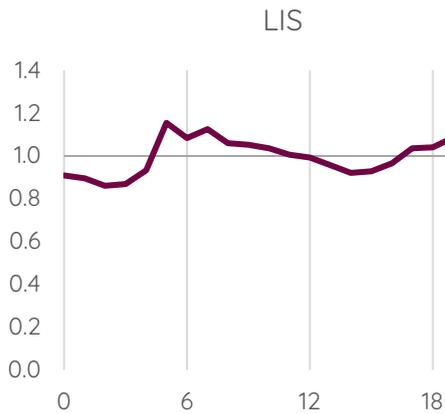
Obrázek 53 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Kníničky. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



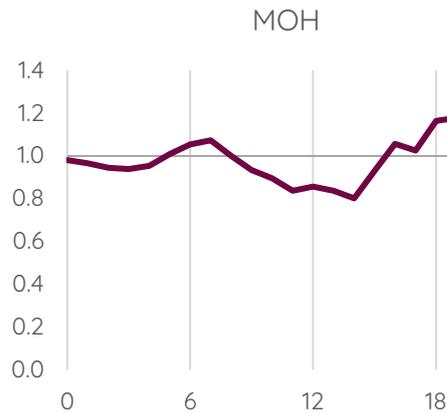
Obrázek 54 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Kohoutovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



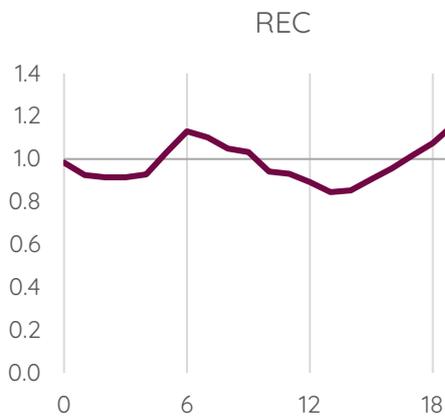
Obrázek 55 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Komín. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



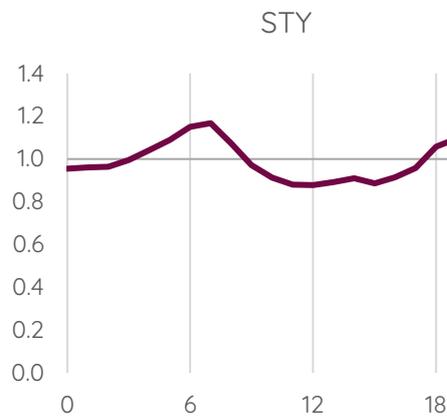
Obrázek 56 - průměrný denní chod koncentrací částic  $PM_{10}$  v lokalitě Líšeň. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



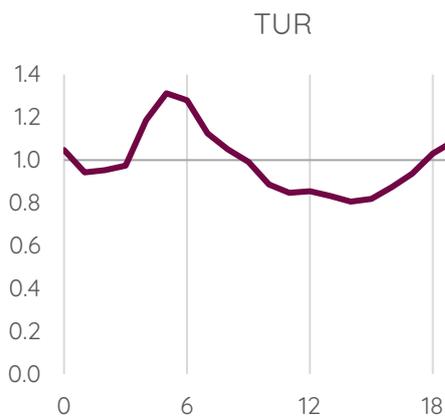
Obrázek 57 - průměrný denní chod koncentrací částic  $PM_{10}$  v lokalitě Mokrá Hora. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



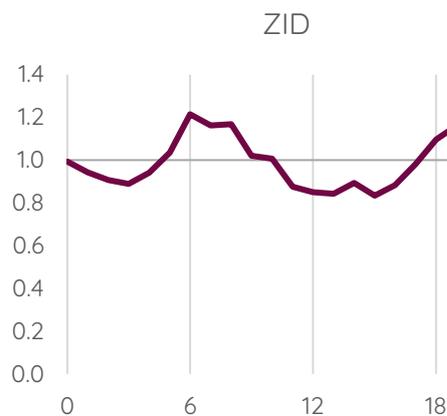
Obrázek 58 - průměrný denní chod koncentrací částic  $PM_{10}$  v lokalitě Řečkovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 59 - průměrný denní chod koncentrací částic  $PM_{10}$  v lokalitě Štýřice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 60 - průměrný denní chod koncentrací částic  $PM_{10}$  v lokalitě Tuřany. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 61 - průměrný denní chod koncentrací částic  $PM_{10}$  v lokalitě Židenice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.

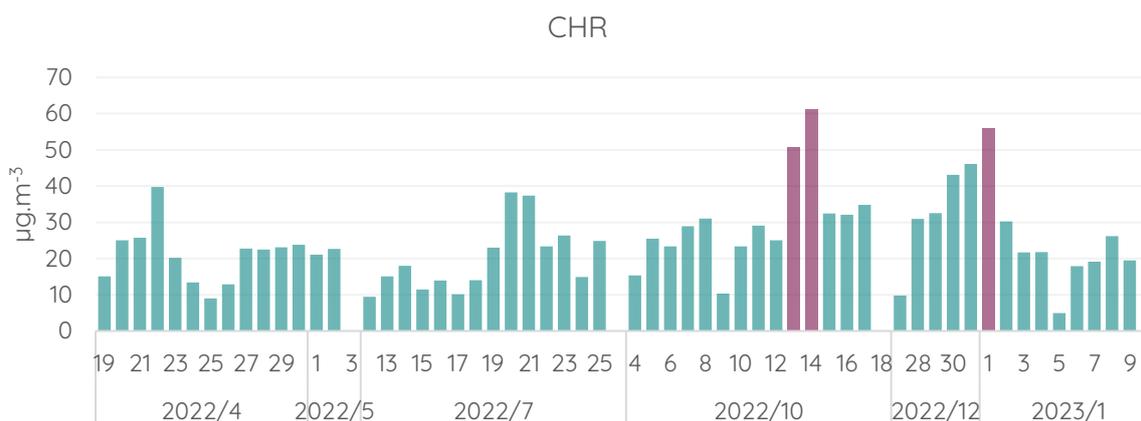
Na většině grafů relativního průměrného denního chodu koncentrací částic PM<sub>10</sub> jsou patrné dvě denní špičky, a to v ranních a odpoledních až večerních hodinách. Tyto špičky patrně souvisí zejména s dopravními špičkami.

Odlíšná je například křivka pro lokalitu Mokrá Hora. Zde není patrný ranní nárůst, naopak je zde výraznější nárůst ve večerních hodinách. V tomto případě lze předpokládat potenciální vliv lokálního vytápění, které bývá typické nárůstem koncentrací právě ve večerních hodinách, zároveň se jedná o lokalitu na okraji Brna, a právě v okrajových městských částech bývá podíl vytápění pevnými palivy obecně vyšší. Podobně vypadá i křivka z lokality Komín.

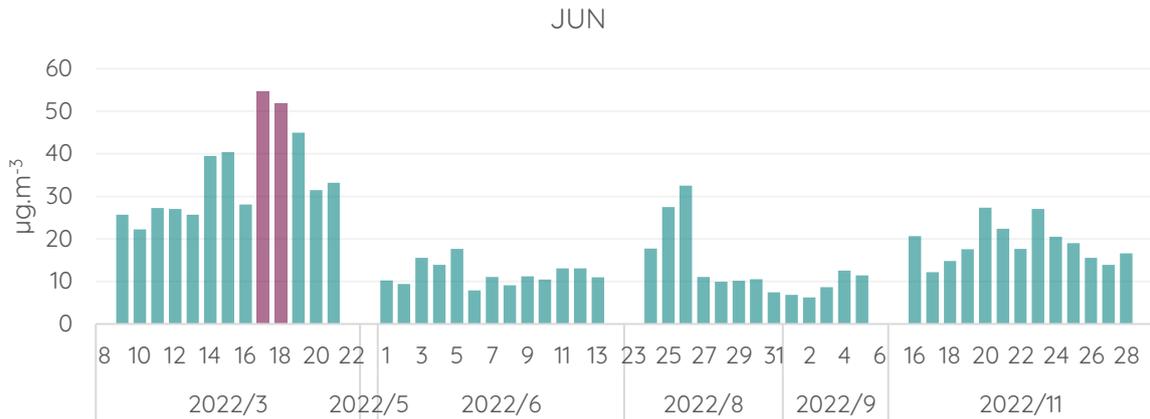
Křivka v lokalitě Kohoutovice je velmi plochá – denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> je velmi nevýrazný. To lze přičíst faktu, že se jedná o lokalitu uprostřed zalesněné oblasti, kde se výrazněji neprojevuje ani doprava, ani vytápění nebo jiné zdroje v blízkém okolí.

Následující sloupcové grafy ukazují průměrné denní koncentrace částic PM<sub>10</sub>. Denní průměrné koncentrace byly spočítány pouze pro ty dny, pro které byla dostupná data pro alespoň 75 % (16) hodin dne.

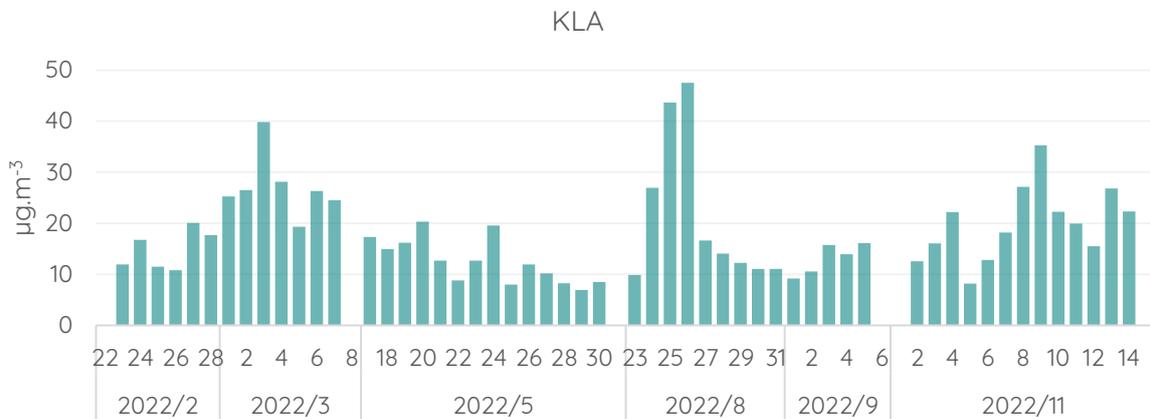
Pro částice PM<sub>10</sub> existuje kromě ročního imisního limitu také 24h imisní limit. Jeho hodnota je 50  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a považuje se za překročený při více než 35 překročeních za rok. Ve sloupcovém grafu jsou hodnoty vyšší než hodnota 24h imisního limitu zvýrazněny vínovou barvou. Denní průměrné koncentrace jsou počítány z intervalu 0-0 UTC.



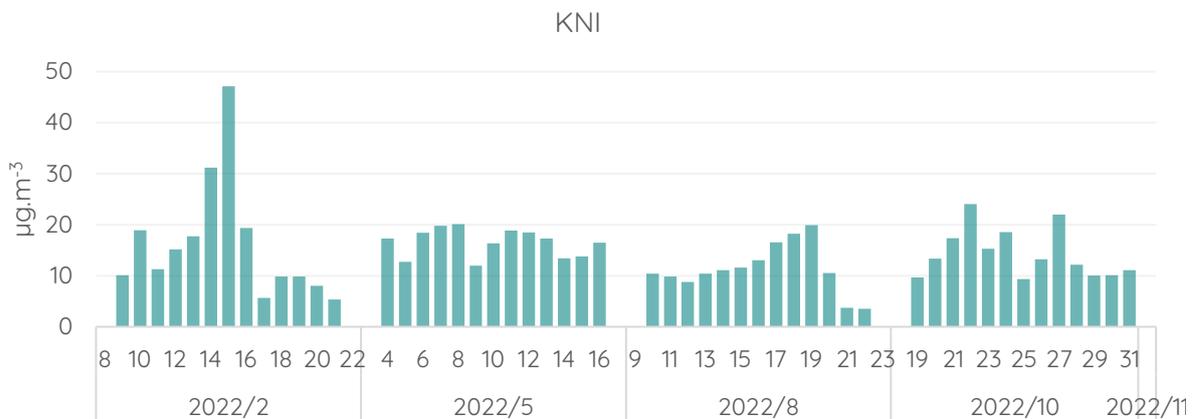
Obrázek 62 – průměrné denní koncentrace částic PM<sub>10</sub> za všechny dny měření v lokalitě Chrlice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin. Dny s průměrnou koncentrací vyšší, než je hodnota 24h imisního limitu, jsou zvýrazněny vínově.



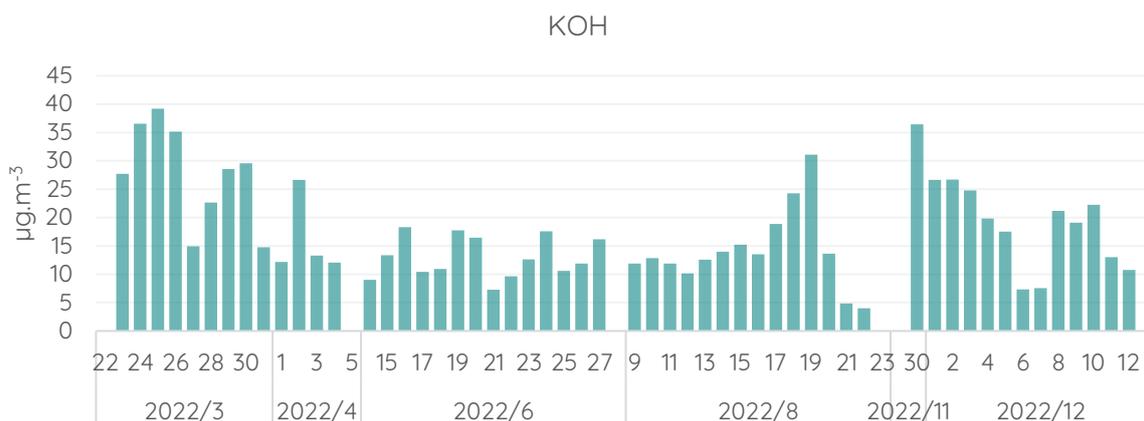
Obrázek 63 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>10</sub> za všechny dny měření v lokalitě Jundrov, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin. Dny s průměrnou koncentrací vyšší, než je hodnota 24h imisního limitu, jsou zvýrazněny vínově.



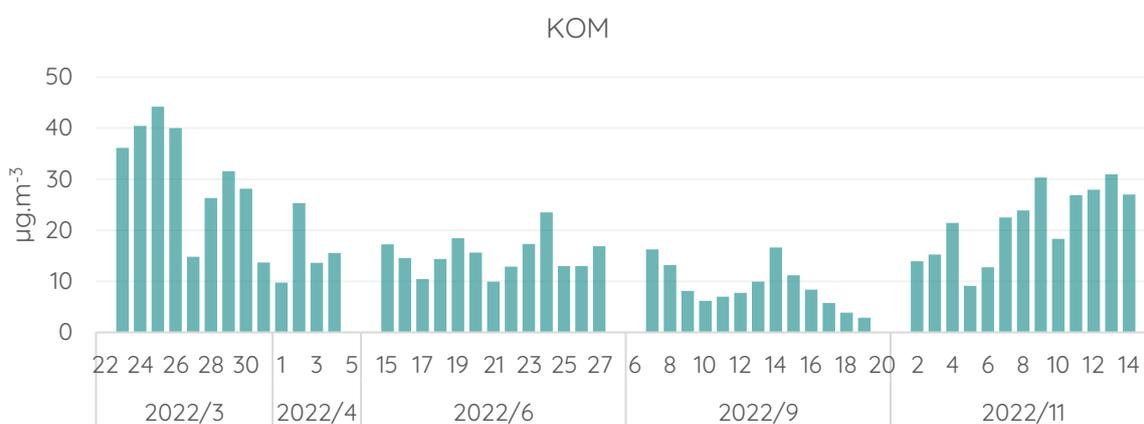
Obrázek 64 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>10</sub> za všechny dny měření v lokalitě Klajdovka, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin. Dny s průměrnou koncentrací vyšší, než je hodnota 24h imisního limitu, jsou zvýrazněny vínově.



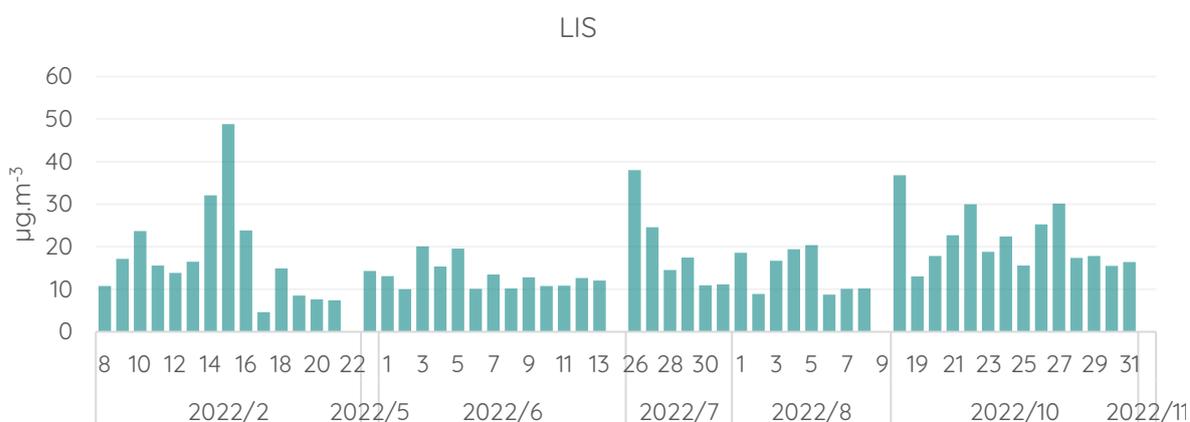
Obrázek 65 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>10</sub> za všechny dny měření v lokalitě Kníničky, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin. Dny s průměrnou koncentrací vyšší, než je hodnota 24h imisního limitu, jsou zvýrazněny vínově.



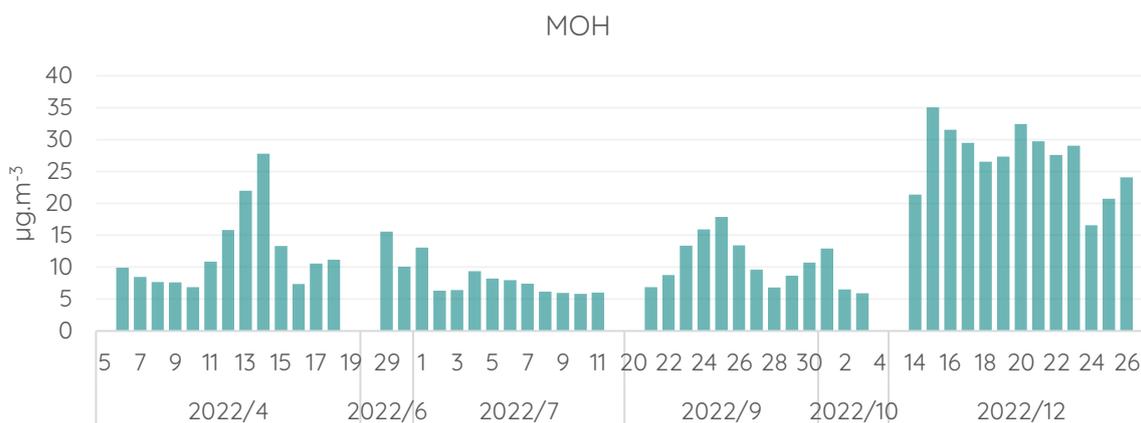
Obrázek 66 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>10</sub> za všechny dny měření v lokalitě Kohoutovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin. Dny s průměrnou koncentrací vyšší, než je hodnota 24h imisního limitu, jsou zvýrazněny vínově.



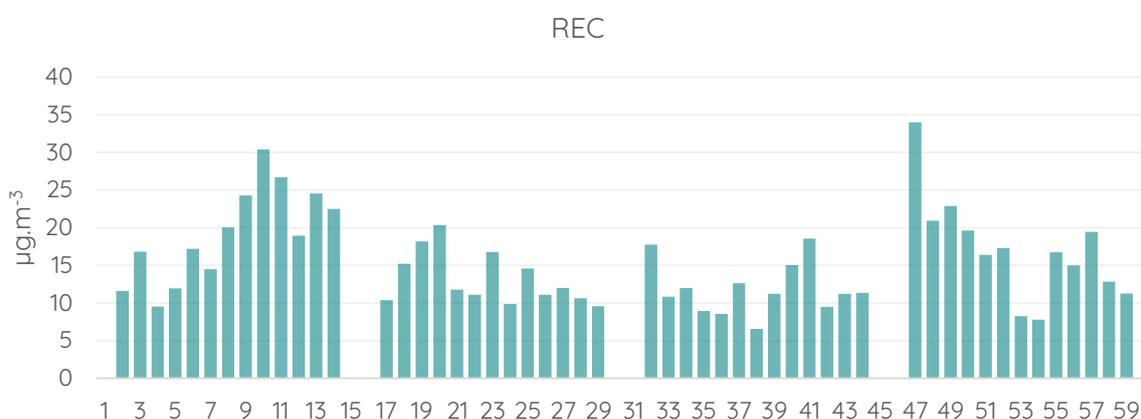
Obrázek 67 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>10</sub> za všechny dny měření v lokalitě Komín, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin. Dny s průměrnou koncentrací vyšší, než je hodnota 24h imisního limitu, jsou zvýrazněny vínově.



Obrázek 68 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>10</sub> za všechny dny měření v lokalitě Líšeň, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin. Dny s průměrnou koncentrací vyšší, než je hodnota 24h imisního limitu, jsou zvýrazněny vínově.



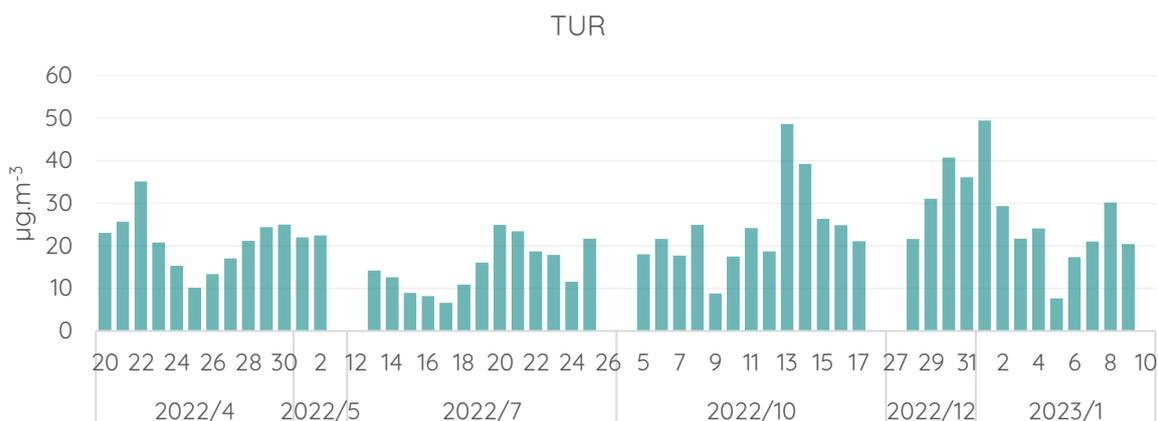
Obrázek 69 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>10</sub> za všechny dny měření v lokalitě Mokrá Hora, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin. Dny s průměrnou koncentrací vyšší, než je hodnota 24h imisního limitu, jsou zvýrazněny vínově.



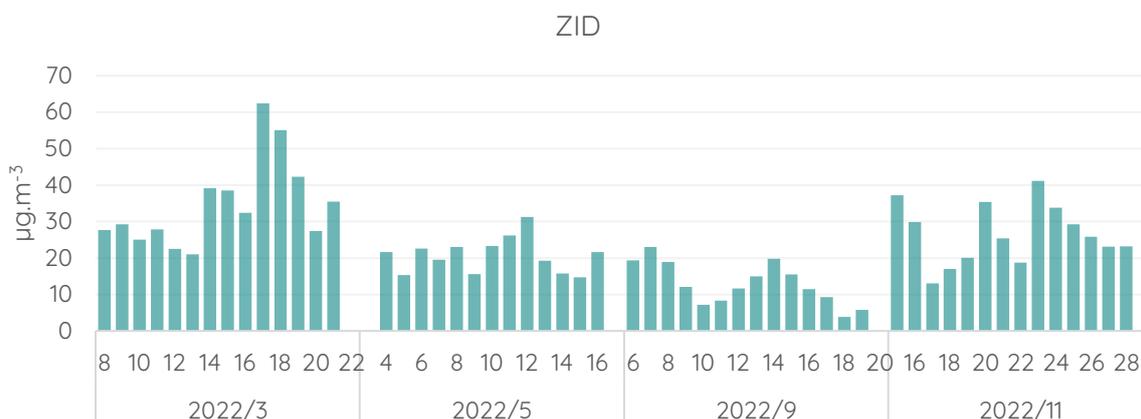
Obrázek 70 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>10</sub> za všechny dny měření v lokalitě Řečkovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin. Dny s průměrnou koncentrací vyšší, než je hodnota 24h imisního limitu, jsou zvýrazněny vínově.



Obrázek 71 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>10</sub> za všechny dny měření v lokalitě Štýřice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin. Dny s průměrnou koncentrací vyšší, než je hodnota 24h imisního limitu, jsou zvýrazněny vínově.



Obrázek 72 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>10</sub> za všechny dny měření v lokalitě Tuřany, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin. Dny s průměrnou koncentrací vyšší, než je hodnota 24h imisního limitu, jsou zvýrazněny vínově.



Obrázek 73 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>10</sub> za všechny dny měření v lokalitě Židenice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin. Dny s průměrnou koncentrací vyšší, než je hodnota 24h imisního limitu, jsou zvýrazněny vínově.

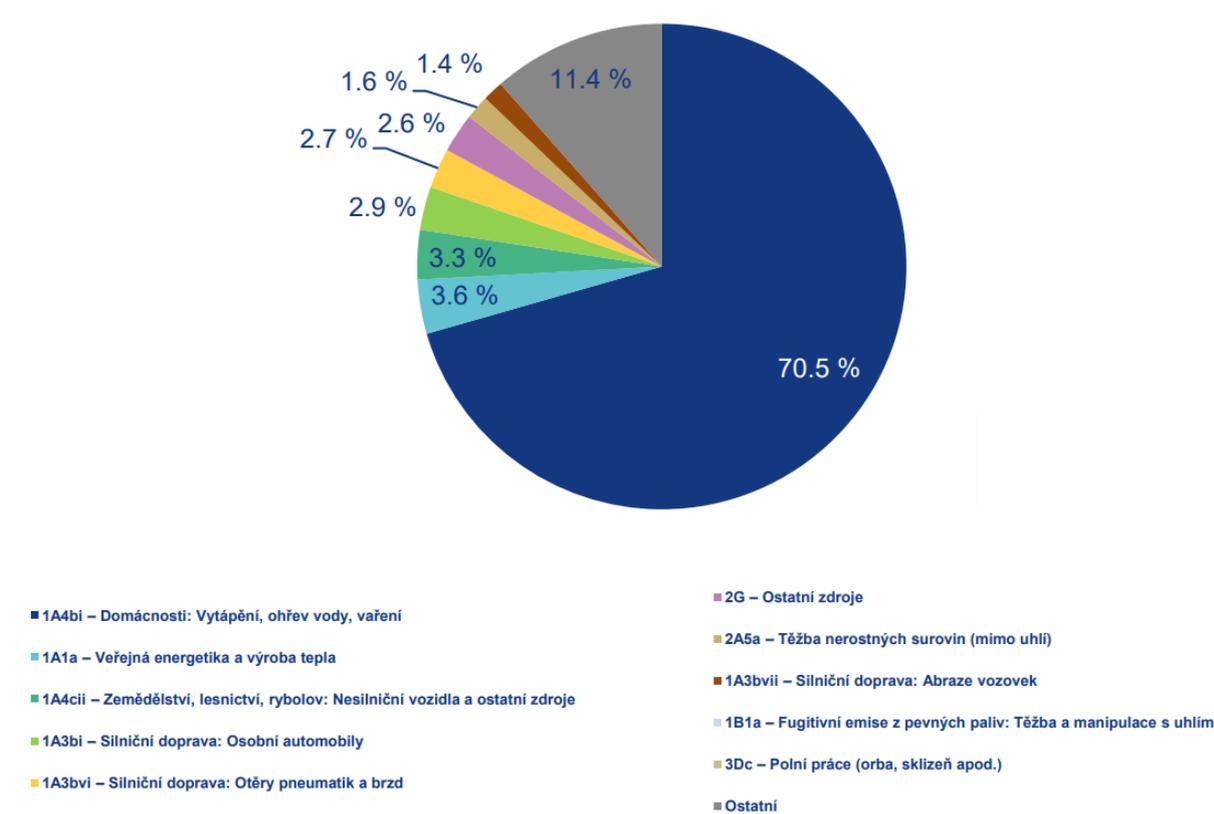
Za celou dobu monitoringu došlo k překročení hodnoty 24h imisního limitu pro částice PM<sub>10</sub> pouze 5x, a to na dvou lokalitách – v Chrlicích (3x) a v Jundrově (2x). Vůbec nejvyšší denní průměrná koncentrace částic PM<sub>10</sub> byla naměřena 14. října 2022 v lokalitě Chrlice (61,2 ug.m<sup>-3</sup>). Vyšší koncentrace částic PM<sub>10</sub> byly ten den naměřeny i na jiných stanicích v Brně, například na stanici Brno-Svatoplukova (51,0 ug.m<sup>-3</sup>) nebo na předměstské pozad'ové stanici Brno-Lány (45,7 ug.m<sup>-3</sup>).

### Suspendované částice PM<sub>2,5</sub>

Suspendované částice PM<sub>2,5</sub> představují chemicky různorodou směs organických a anorganických částic, jejichž společným znakem je aerodynamický průměr do 2,5 µm. Jedná se tedy o částice menší, a tedy zdravotně potenciálně rizikovější, jelikož pronikají

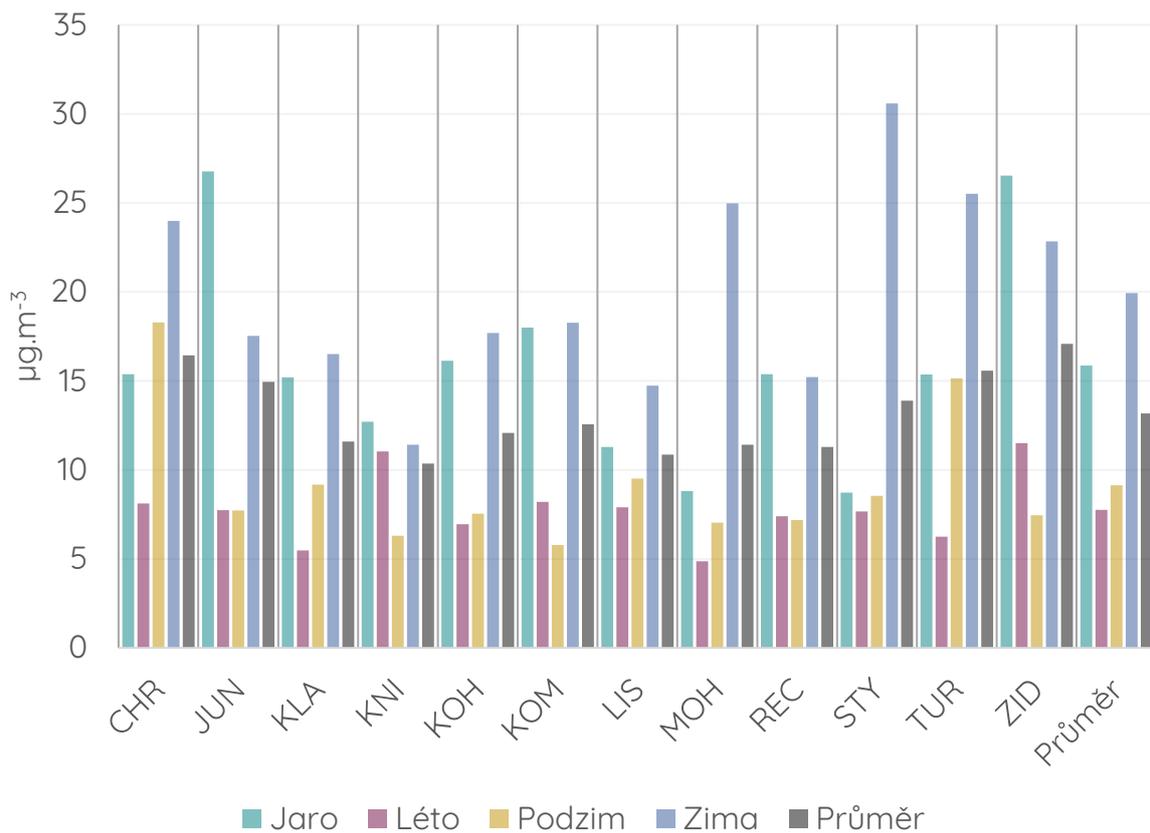
hlouběji do dýchacího systému, stejně jako částice  $PM_{1,0}$ , kde mohou působit zánětlivě a zhoršovat tak průběh kardiovaskulárních a plicních onemocnění (Wang, 2021). Navíc vzhledem ke své nižší váze můžou v ovzduší setrvávat déle, či se snadněji šířit na větší vzdálenosti. Zdrojem částic této frakce jsou velmi často spalovací procesy.

Téměř tři čtvrtiny (70,5 %) emisí  $PM_{2,5}$  v České republice pochází z lokálního vytápění domácností. Dalšími významnými, avšak řádově méně zastoupenými kategoriemi zdrojů jsou veřejná energetika a výroba tepla (3,6 %), silniční doprava (3,3 %) a zemědělství, lesnictví a rybolov (2,9 %). Tato čísla jsou platná pro Českou republiku jako celek, v dílčích oblastech, například ve městech, bude toto zastoupení odlišné. Lokální vytápění domácností je problémem zejména v menších obcích, naopak automobilová doprava mívá výraznější zastoupení ve městech.



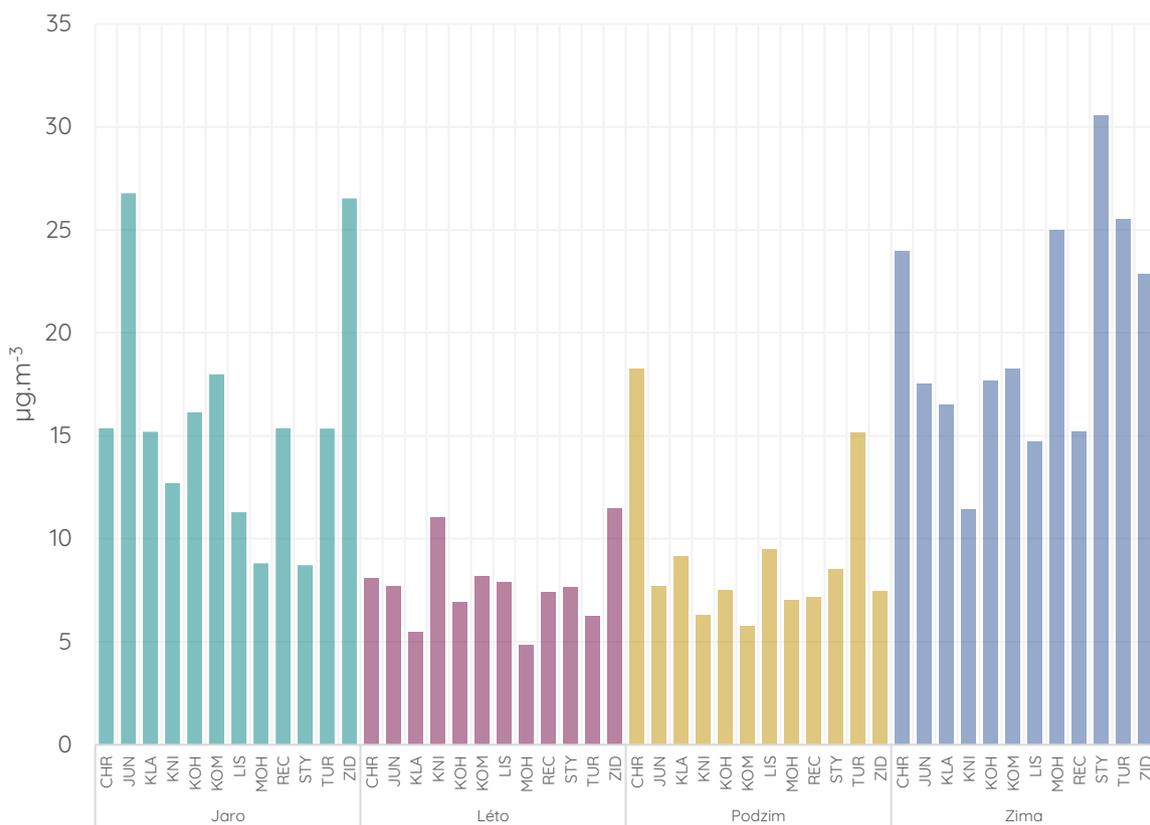
Obrázek 74 - emisní zdroje suspendovaných částic  $PM_{2,5}$  v České republice (emisní bilance 2019)

Následující graf ukazuje průměrné koncentrace částic  $PM_{2,5}$  pro jednotlivé kampaně a celkově.



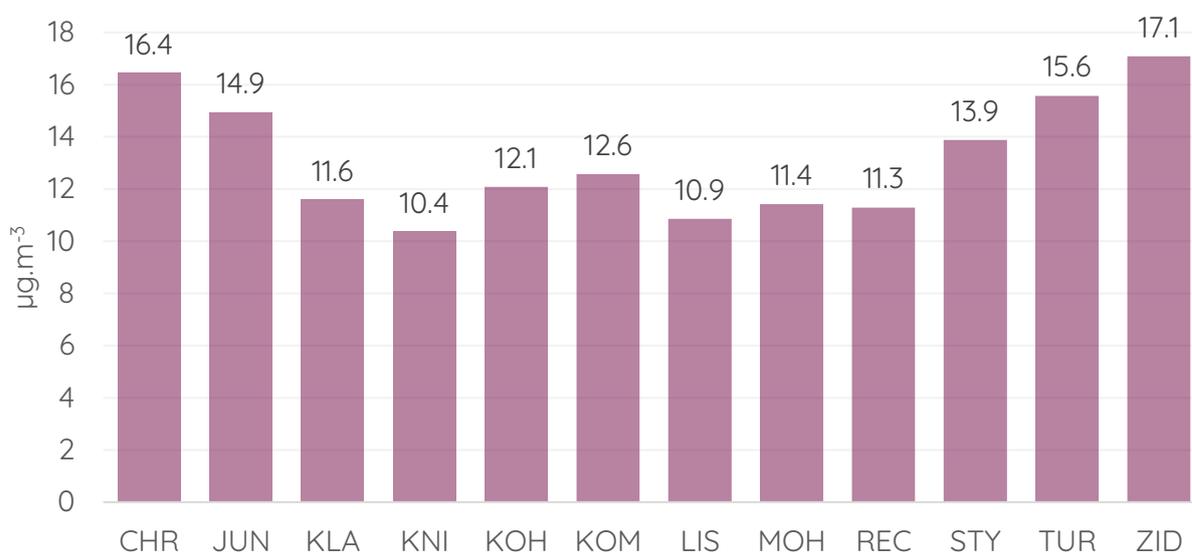
Obrázek 75 - průměrné koncentrace částic PM<sub>2.5</sub> v jednotlivých měřicích kampaních a lokalitách a celkový průměr.

Následující graf ukazuje totožné koncentrace, tentokrát seřazené podle jednotlivých měřicích kampaní.



Obrázek 76 - průměrné koncentrace částic PM<sub>2.5</sub> v jednotlivých měřicích kampaních.

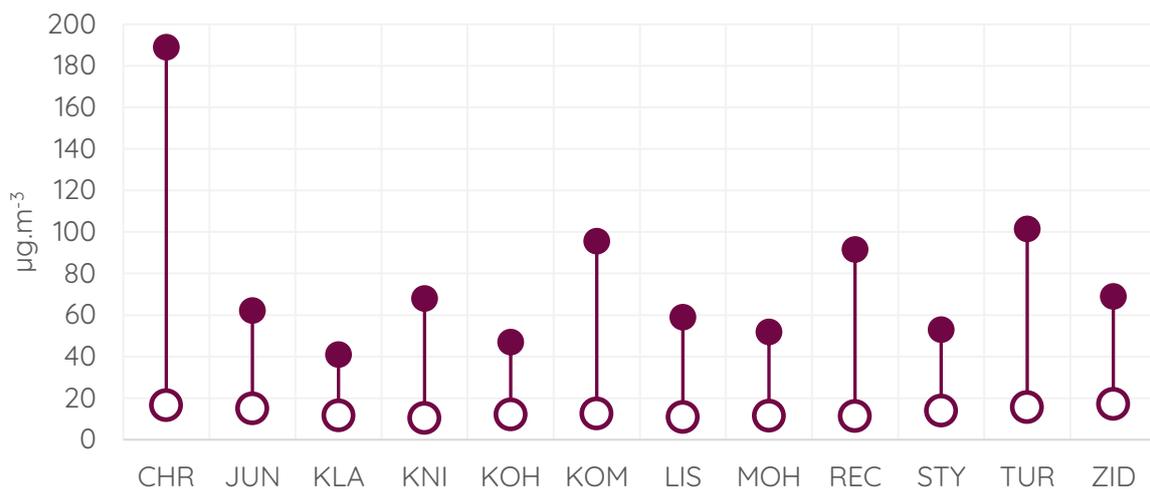
Celkové průměrné koncentrace suspendovaných částic PM<sub>2.5</sub> za všechny čtyři měřicí kampaně na všech lokalitách ukazuje následující graf.



Obrázek 77 - průměrné koncentrace částic PM<sub>2.5</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny měřicí kampaně

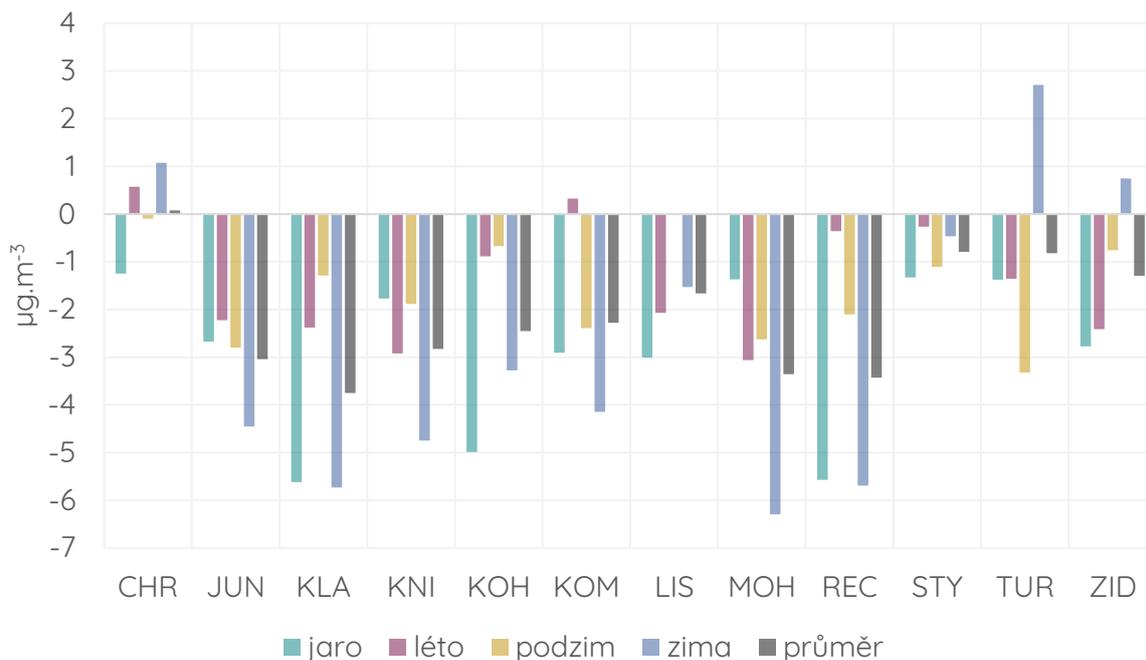
Jak je patrné z grafu výše, nejvyšší průměrná koncentrace částic PM<sub>2.5</sub> za všechny měřicí kampaně byla v absolutních hodnotách v lokalitě Židenice a Chrlice, naopak nejnižší v lokalitách Kníničky a Líšeň.

Graf níže ukazuje průměrnou koncentraci (bílý bod) a maximální naměřenou hodinovou koncentraci částic PM<sub>10</sub> za celé období monitoringu pro jednotlivé lokality.



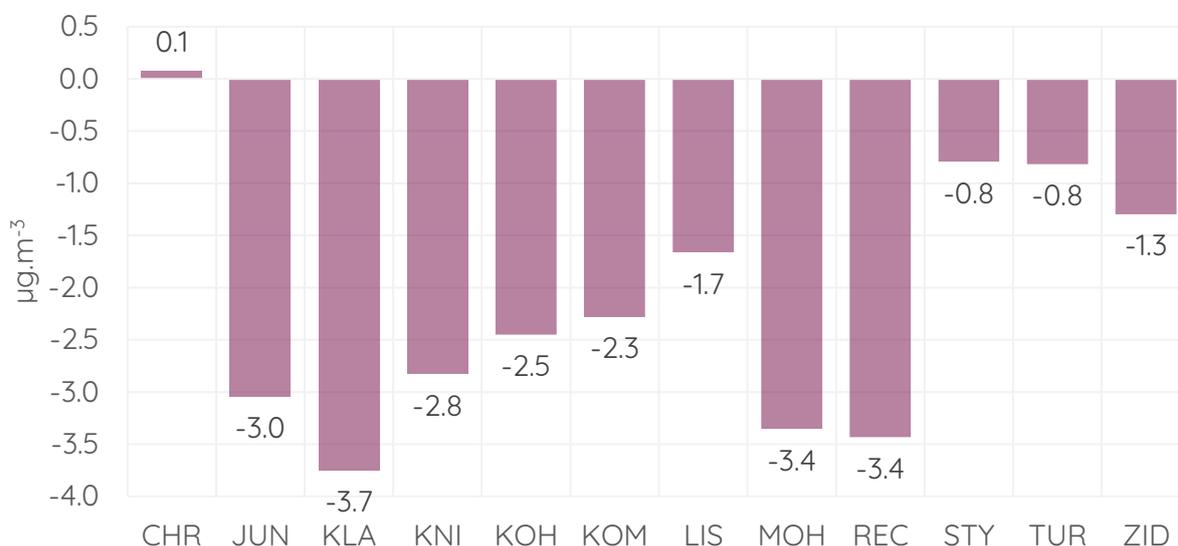
Obrázek 78 - průměrné a nejvyšší hodinové koncentrace částic PM<sub>2.5</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny měřicí kampaně.

Jak bylo popsáno v textu výše, vyšší vypovídající hodnotu než absolutní hodnoty, má srovnání s hodnotami naměřenými ve stejném čase na ostatních brněnských stanicích v rámci SSIM. Hodnoty v grafu níže reprezentují rozdíl průměrné koncentrace z dané lokality a průměru ze všech brněnských stanic SSIM pro shodný čas. Záporné hodnoty značí koncentrace nižší, než byl průměr koncentrací pro brněnské stanice v SSIM a naopak. Tyto rozdíly byly zvlášť spočítány pro pozad'ové a dopravní stanice. Jelikož je pro různé látky odlišný počet dopravních a pozad'ových stanic, které danou látku v Brně monitorují, bylo by srovnání s celkovým průměrem zkreslující.



Obrázek 79 - rozdíl průměrné koncentrace částic PM<sub>2.5</sub> v jednotlivých měřicích lokalitách a kampaních z průměrné koncentrace z brněnských dopravních stanic SSIM v příslušném období.

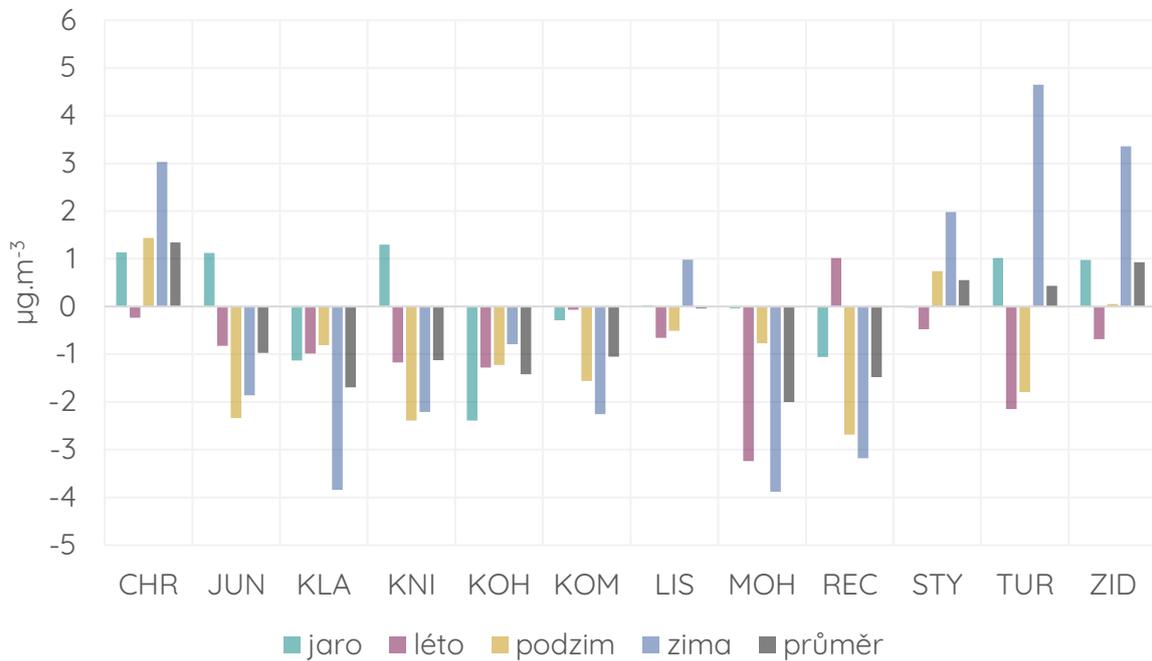
Graf níže pak ukazuje totéž, tentokrát však přehledněji pouze pro průměrný rozdíl za všechny čtyři měřicí kampaně.



Obrázek 80 - rozdíl průměrné koncentrace PM<sub>2.5</sub> v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím částic PM<sub>2.5</sub> v totožném období z dopravních stanic státní sítě imisního monitoringu v Brně.

Na všech sledovaných lokalitách byly koncentrace částic PM<sub>2.5</sub> nižší, než činil průměr z brněnských dopravních stanic v totožném období. U dopravně zatíženějších lokalit byl rozdíl velmi malý (např. CHR, STY, TUR nebo ZID). V případě lokalit odlehlých (MOH, KLA, REC) byl rozdíl přibližně 3,5 µg.m<sup>-3</sup>.

Následující grafy představují totožné srovnání, tentokrát však s průměrem z nikoliv dopravních, ale pozad'ových stanic.



Obrázek 81 - rozdíl průměrné koncentrace částic PM<sub>2.5</sub> v jednotlivých měřicích lokalitách a kampaních z průměrné koncentrace z brněnských pozad'ových stanic SSIM v příslušném období.

Graf níže pak ukazuje totéž, tentokrát však přehledněji pouze pro průměrný rozdíl za všechny čtyři měřicí kampaně.



Obrázek 82 - rozdíl průměrné koncentrace PM<sub>2.5</sub> v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím částic PM<sub>2.5</sub> v totožném období z pozad'ových stanic státní sítě imisního monitoringu v Brně.

V celkovém souhrnu můžeme říci, že rozdíly oproti průměru z pozad'ových stanic nebyly výrazné. V celkovém průměru se pohybují do  $\pm 2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Pro srovnání je níže uvedeno srovnání ještě s průměrem regionální pozad'ové stanice Mikulov-Sedlec – odlehlé stanice reprezentující krajské pozadí.

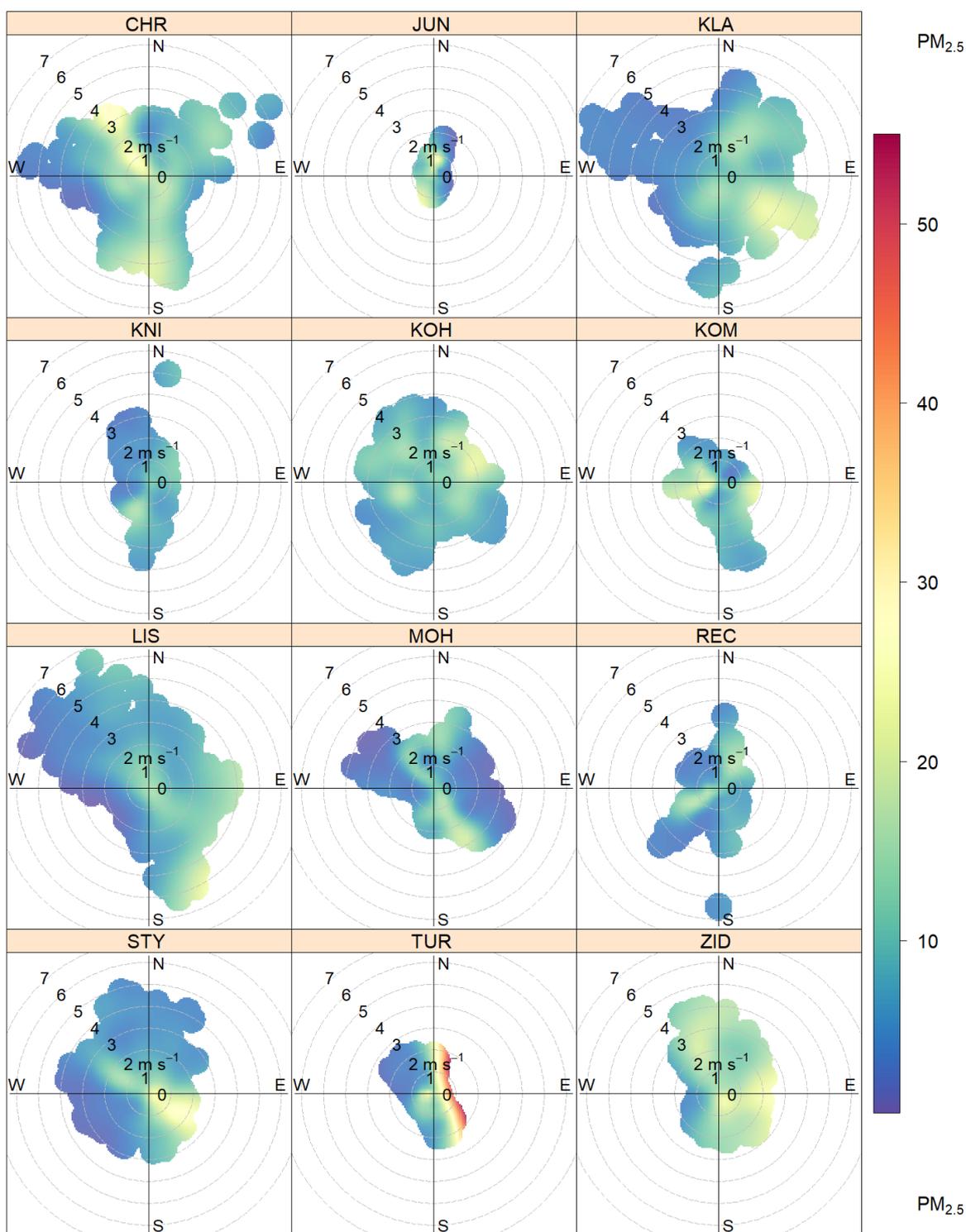


Obrázek 83 - rozdíl průměrné koncentrace  $\text{PM}_{2.5}$  v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím částic  $\text{PM}_{2.5}$  v totožném období z regionální pozad'ové stanice Mikulov-Sedlec.

V případě srovnání se stanicí v Mikulově-Sedleci jsou koncentrace na všech měřených lokalitách dle očekávání vyšší, s výjimkou lokality Řečkovice. Souvisí to s různými zdroji emisí částic  $\text{PM}_{2.5}$  na území Brna (např. doprava, lokální vytápění apod.). Rozdíl je zde vyšší než v případě částic  $\text{PM}_{10}$ . To pravděpodobně souvisí s faktem, že v případě stanice Mikulov-Sedlec se může obzvláště v době holé půdy výrazněji v dané oblasti projevit větrná eroze nebo vliv zemědělských prací, což jsou zdroje primárně větších částic, a tedy se projeví v koncentracích  $\text{PM}_{10}$ , ale výrazně méně u koncentrací frakce  $\text{PM}_{2.5}$ . Na rozdíl od částic  $\text{PM}_{10}$  zde již na žádné lokalitě nebyly koncentrace  $\text{PM}_{2.5}$  nižší než v lokalitě Mikulov-Sedlec. Rozdíly v lokalitách REC, KOH a KLA jsou zanedbatelné (do  $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

Koncentrační růžice vyjadřují vztah mezi rychlostí větru, směrem větru a koncentracemi konkrétní znečišťující látky. Umožňují tedy například hodnotit, ze kterého směru přicházelo znečištění při nejvyšších hodnotách. Princip a způsob interpretace koncentračních růžic ukazuje Obrázek 15.

Následující přehled ukazuje koncentrační růžice pro všechny lokality za všechny měřicí kampaně se sjednocenou škálou pro možnost srovnání.

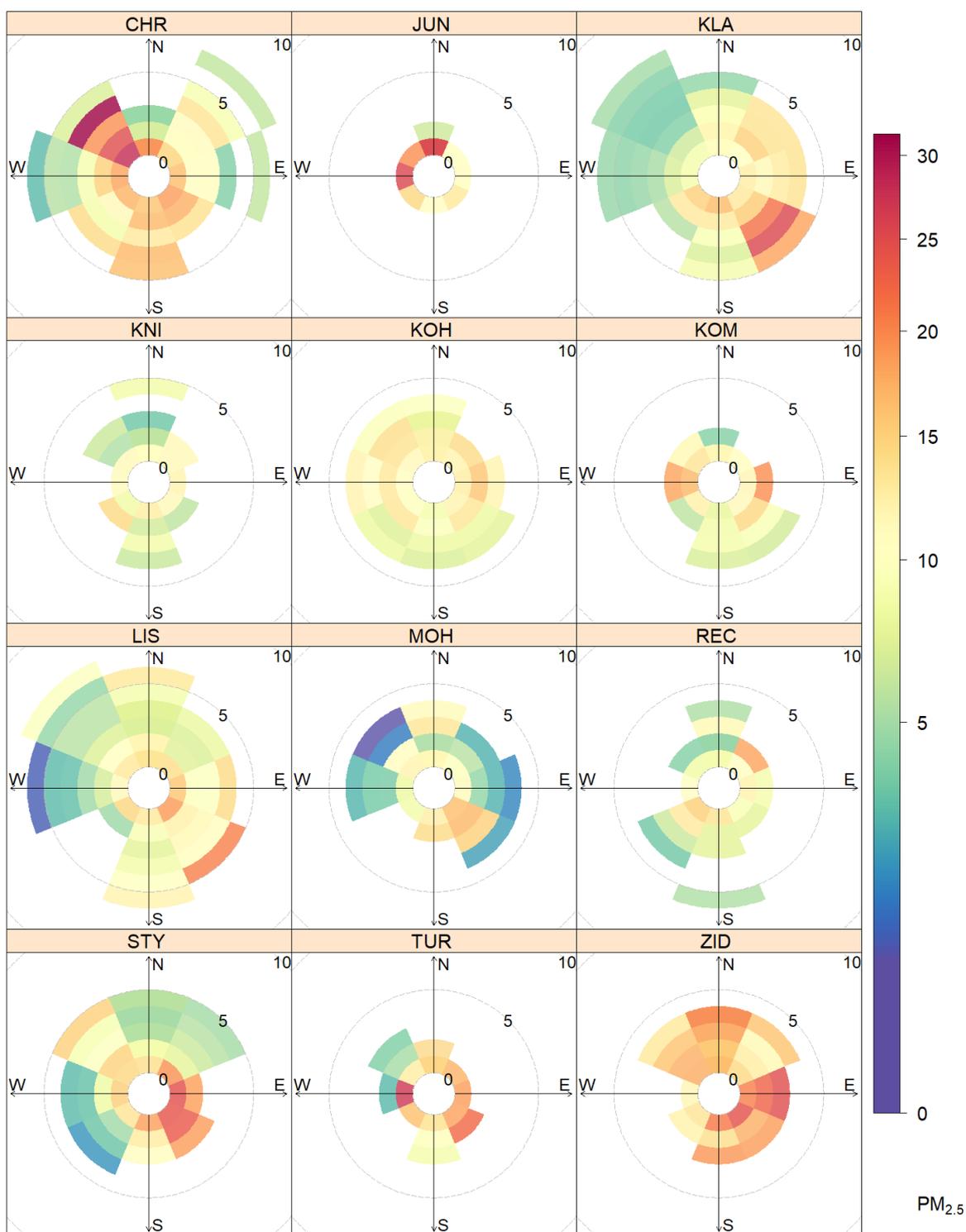


Obrázek 84 - koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi částic  $PM_{2.5}$  pro jednotlivé lokality měření za všechny čtyři měřicí kampaně.

Výše uvedené růžice ukazují, že nejvyšší koncentrace částic  $PM_{2.5}$  byly pozorovány v Tuřanech při východním proudění. Tyto vysoké koncentrace byly v lokalitě naměřeny o

novoroční noci. Příčinou takto vysokých koncentrací tak byly odpaly pyrotechniky. Ty se projevují každoročně plošným zvýšením koncentrací, a to zejména koncentrací částic  $PM_{2,5}$  (Brzezina, 2022). Toto zvýšení se projevuje v celém městě Brně a dalších urbanizovaných lokalitách v České republice. Tato hodnota tedy nesouvisí s nějakým konkrétním zdrojem v dané lokalitě a se zdrojem, který se projevuje výrazněji jen jednou ročně. Jelikož v době šíření tohoto znečištění Brnem proudilo převážně z východu, reflektoval se tento fakt v růžici tímto způsobem. Koncentrace o novoroční půlnoci bývají často nejvyšší za celý nově začínající rok, proto je toto znečištění krátkodobě velmi významné (Brzezina, 2020).

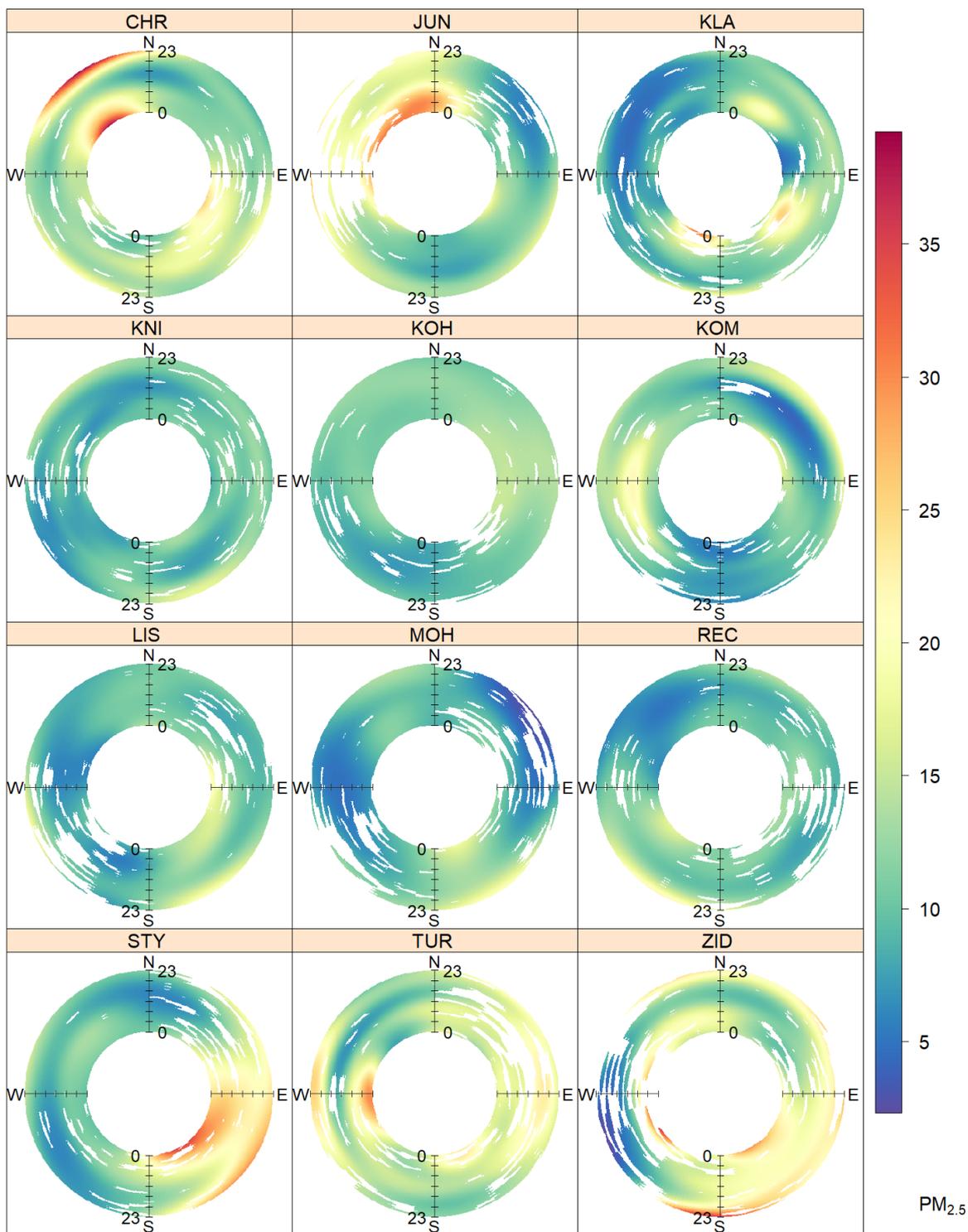
Vizualizace níže ukazuje tzv. vážené koncentrační růžice. V tomto případě je brán v potaz i čas, po který z daného směru znečištění proudilo. Zatímco koncentrační růžice (ne vážené) ukazují průměrnou koncentraci pro konkrétní směr a rychlost větru, u vážené koncentrační růžice je hodnoceno celkové množství znečištění, které se v dané lokalitě při dané kombinaci směru a rychlosti větru vyskytlo. Pokud je tedy například určitý směr proudění velmi častý, i přes relativně nízké koncentrace z daného směru, může v celkovém součtu daný směr přispívat k celkovému znečištění významně a naopak.



Obrázek 85 - vážené koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi částic PM<sub>2.5</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny čtyři měřicí kampaně.

Z výše uvedených růžic je patrné, který směr proudění má v dané lokalitě nejvýznamnější vliv (kombinace četnosti daného směru proudění a průměrných koncentrací v tomto směru).

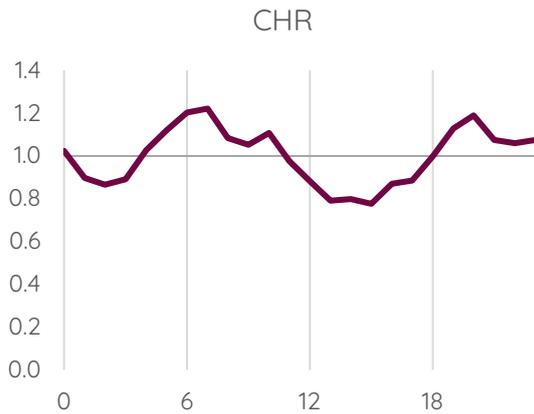
Vztah mezi směrem větru, koncentrací znečišťující látky a hodinou dne ukazují tzv. anulární koncentrační růžice. Jejich interpretace je blíže popsána v grafice výše (Obrázek 16). Následující přehled anulárních koncentračních růžic ukazuje tento vztah pro suspendované částice  $PM_{2,5}$  jako souhrn ze všech měřících kampaní pro jednotlivé lokality.



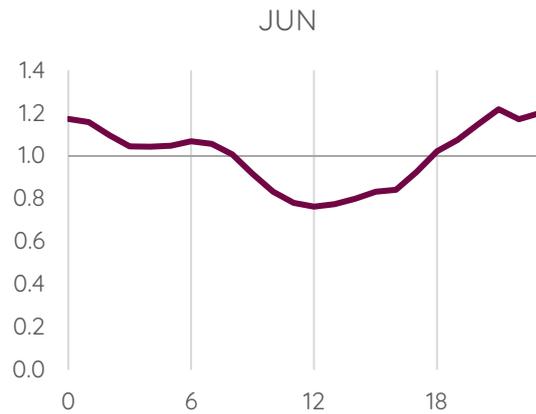
Obrázek 86 - anulární koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi směrem větru, koncentracemi suspendovaných částic PM<sub>2.5</sub> a hodinou dne (UTC) pro jednotlivé lokality za všechny měřicí kampaně.

U některých anulárních koncentračních růžic je patrné, že koncentrace jsou zvýšené zejména ve večerních, popř. ranních hodinách. Tento chod je typický při vlivu lokálních topenišť, týká se např. lokalit Jundrov nebo Chrlice.

Následující grafy ukazují průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>2.5</sub>. V tomto případě je cílem zobrazit průměrný denní chod, nikoliv absolutní hodnoty koncentrací. Hodnoty tedy byly normalizovány – každá z průměrných koncentrací pro konkrétní hodinu a lokalitu byla srovnána s celkovým průměrem pro danou lokalitu. Hodnota pro každou hodinu tedy ukazuje podíl průměrné koncentrace v danou hodinu dne oproti celkovému průměru. Například hodnota 2 ukazuje, že v danou hodinu dne byly koncentrace v průměru dvojnásobné oproti průměru pro danou lokalitu. Pro všechny grafy byla použita totožná škála, aby bylo možné srovnávat variabilitu denního chodu koncentrací. Všechny hodiny dne jsou v čase UTC (v případě letního času -2 hodiny oproti občanskému času, v případě zimního času -1 hodina oproti občanskému času).



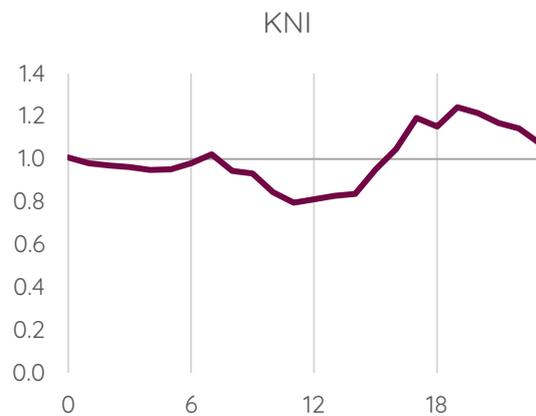
Obrázek 87 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Chrlice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



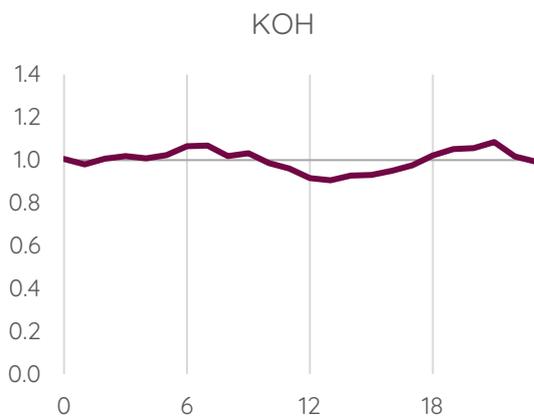
Obrázek 88 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Jundrov. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 89 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Klajdovka. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



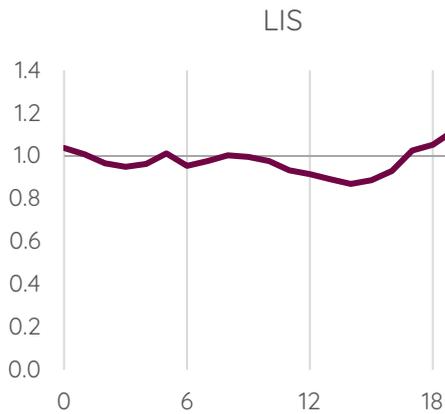
Obrázek 90 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Kníničky. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



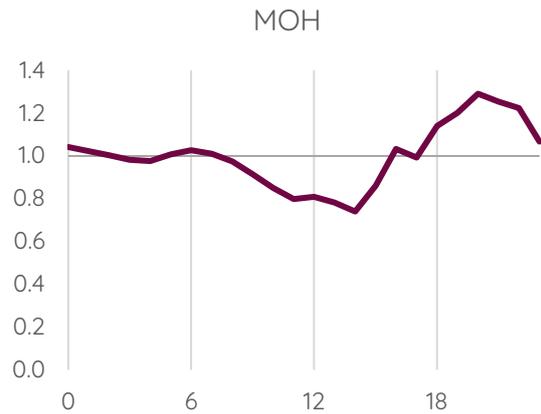
Obrázek 91 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Kohoutovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



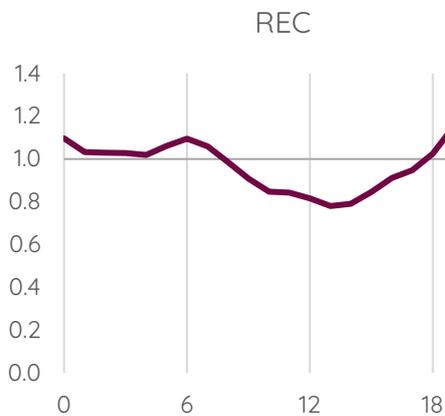
Obrázek 92 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Komín. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



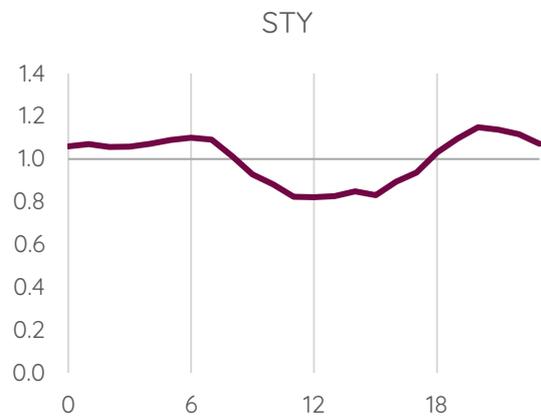
Obrázek 93 - průměrný denní chod koncentrací částic  $PM_{10}$  v lokalitě Líšeň. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



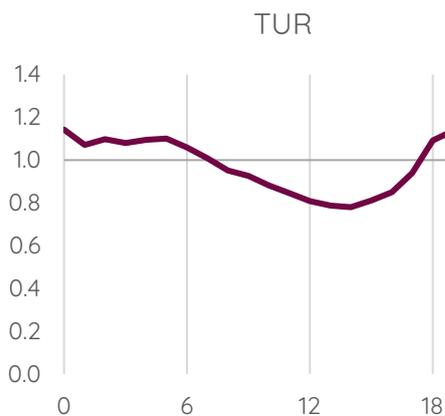
Obrázek 94 - průměrný denní chod koncentrací částic  $PM_{10}$  v lokalitě Mokrá Hora. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



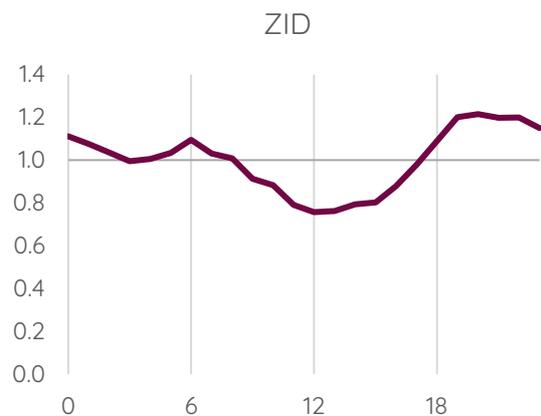
Obrázek 95 - průměrný denní chod koncentrací částic  $PM_{10}$  v lokalitě Řečkovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 96 - průměrný denní chod koncentrací částic  $PM_{10}$  v lokalitě Štýřice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 97 - průměrný denní chod koncentrací částic  $PM_{10}$  v lokalitě Tuřany. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.

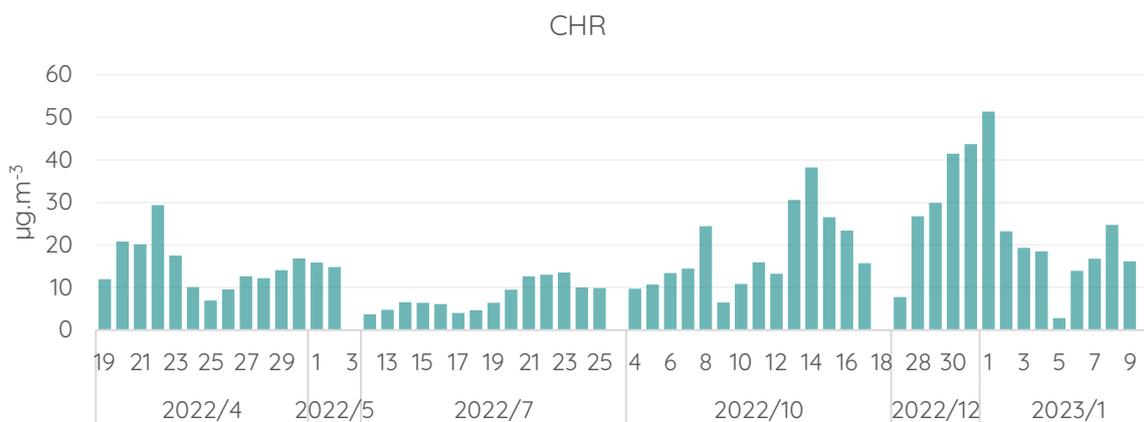


Obrázek 98 - průměrný denní chod koncentrací částic  $PM_{10}$  v lokalitě Židenice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.

Denní chod koncentrací částic PM<sub>2,5</sub> se velmi podobá dennímu chodu koncentrací částic PM<sub>10</sub>. Na některých lokalitách jsou patrné dopravní špičky (např. CHR, ZID). U některých lokalit, které jsou spíše odlehlější nebo se zde výrazně neprojevuje vliv dopravy nebo lokálního vytápění, je denní chod relativně plochá křivka (např. KOH). U některých lokalit je patrný nárůst zejména ve večerních hodinách, což obzvláště u částic PM<sub>2,5</sub> ukazuje na potenciální vliv lokálního vytápění (např. MOH, KNI). Vliv lokálního vytápění se nejlépe posuzuje na základě koncentrací benzo[a]pyrenu, kterému je věnována kapitola v dalším textu.

Následující sloupcové grafy ukazují průměrné denní koncentrace částic PM<sub>10</sub>. Denní průměrné koncentrace byly spočítány pouze pro ty dny, pro které byla dostupná data pro alespoň 75 % (16) hodin dne.

Pro částice PM<sub>2,5</sub> je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven imisní limit pouze pro roční průměrnou koncentraci, proto tyto denní hodnoty nelze, na rozdíl od částic PM<sub>10</sub>, srovnávat s hodnotou 24h imisního limitu.



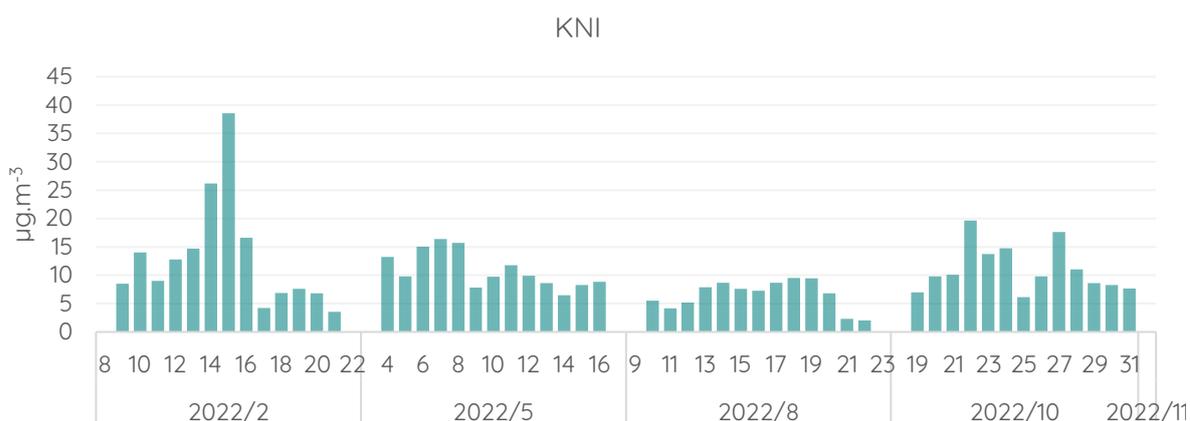
Obrázek 99 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>2,5</sub> za všechny dny měření v lokalitě Chrlice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



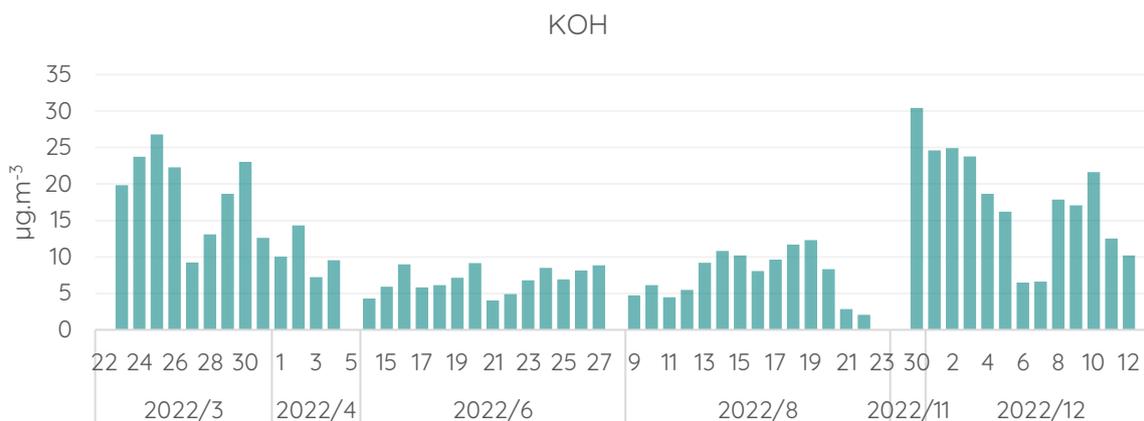
Obrázek 100 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>2,5</sub> za všechny dny měření v lokalitě Jundrov, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



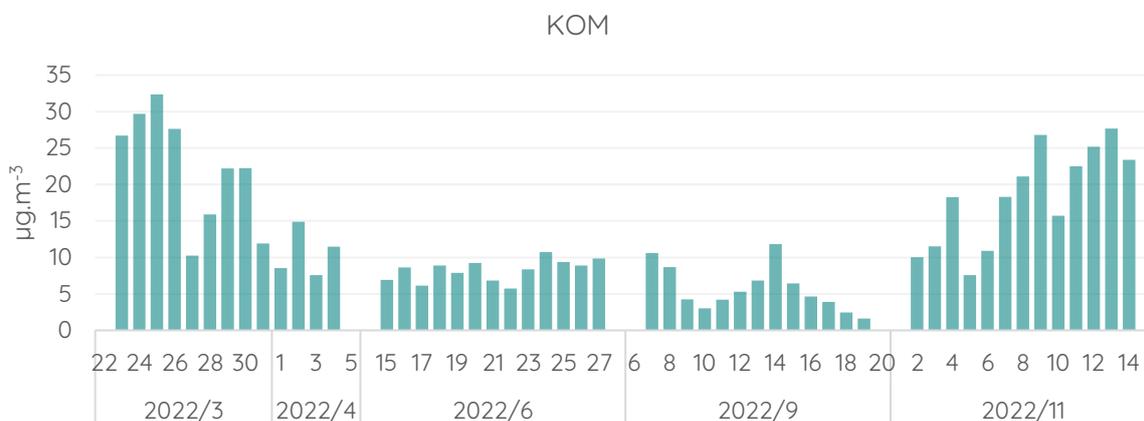
Obrázek 101 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>2,5</sub> za všechny dny měření v lokalitě Klajdovka, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



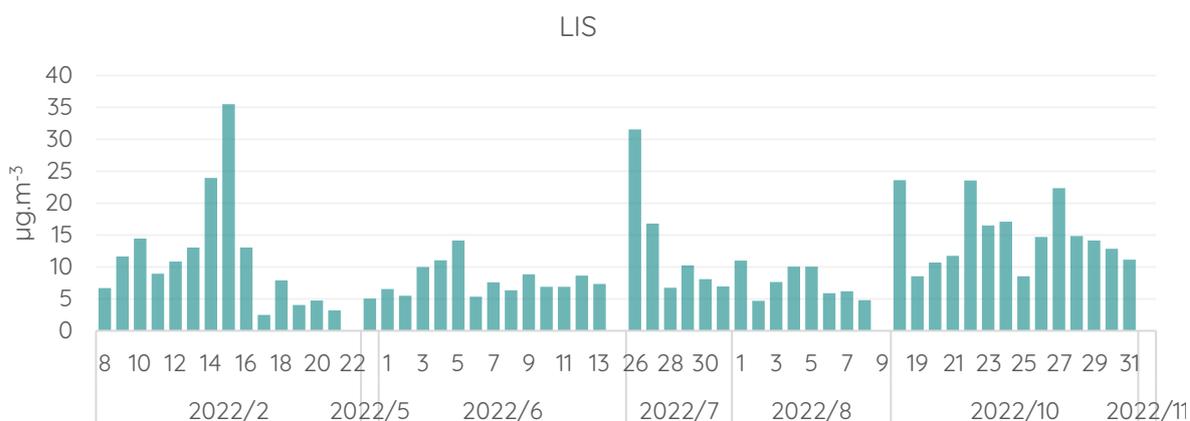
Obrázek 102 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>2,5</sub> za všechny dny měření v lokalitě Kníničky, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



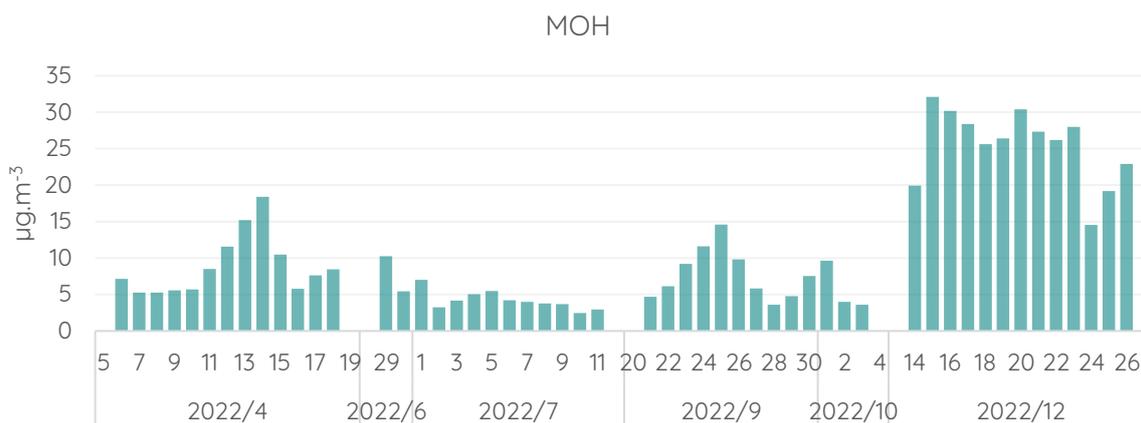
Obrázek 103 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>2.5</sub> za všechny dny měření v lokalitě Kohoutovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



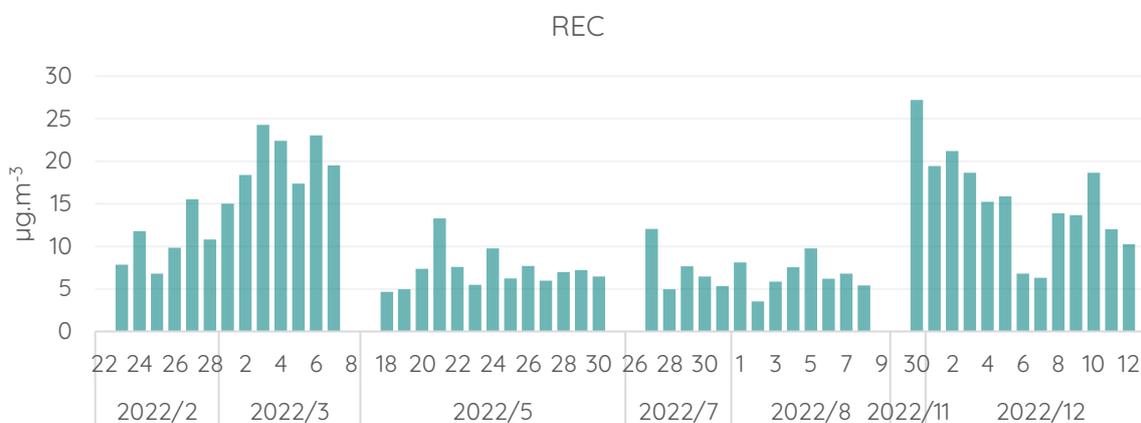
Obrázek 104 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>2.5</sub> za všechny dny měření v lokalitě Komín, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



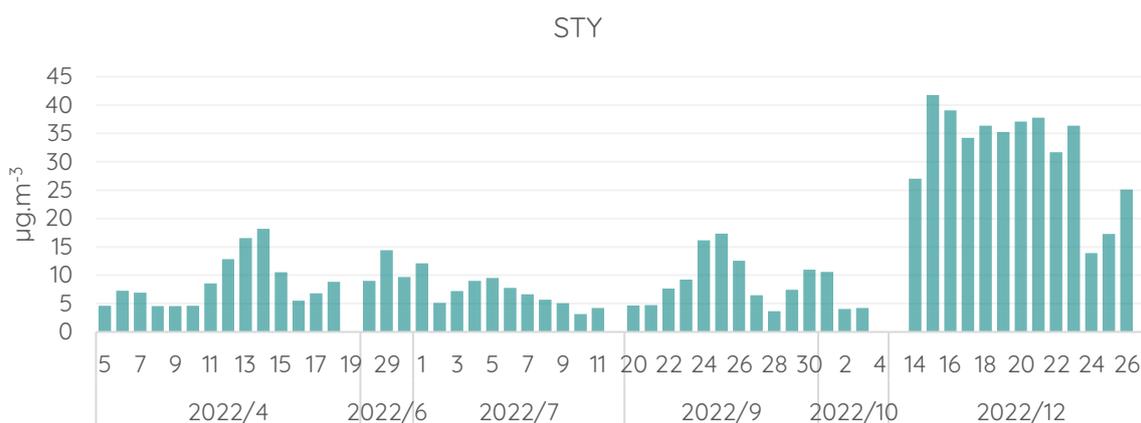
Obrázek 105 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>2.5</sub> za všechny dny měření v lokalitě Líšeň, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



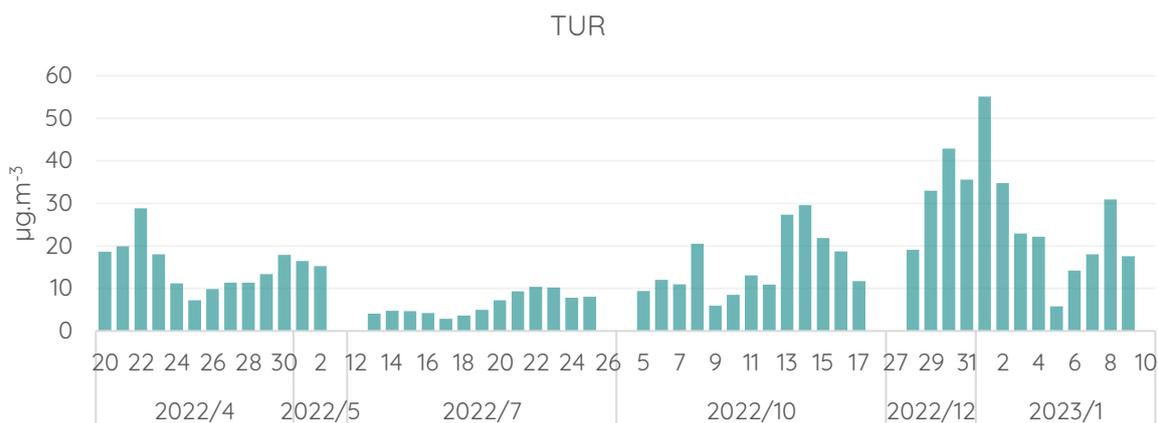
Obrázek 106 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>2,5</sub> za všechny dny měření v lokalitě Mokrá Hora, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



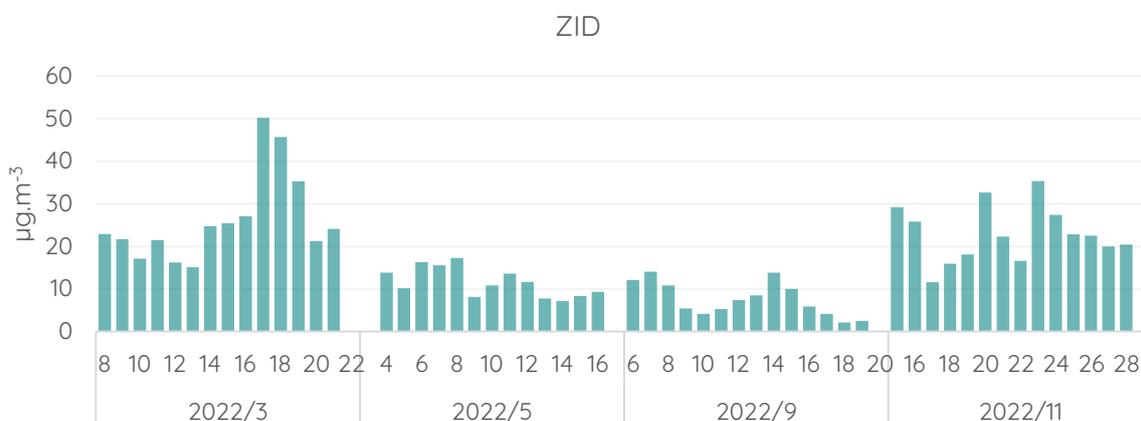
Obrázek 107 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>2,5</sub> za všechny dny měření v lokalitě Řečkovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 108 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>2,5</sub> za všechny dny měření v lokalitě Štýřice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 109 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>2,5</sub> za všechny dny měření v lokalitě Tuřany, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 110 - průměrné denní koncentrace částic PM<sub>2,5</sub> za všechny dny měření v lokalitě Židenice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.

Nejvyšší průměrná denní koncentrace částic PM<sub>2,5</sub> (55,1 ug.m<sup>-3</sup>) byla zaznamenána v lokalitě Tuřany, a to 1. 1. 2023. Jak bylo zmíněno výše, tato vysoká hodnota souvisí s odpalováním pyrotechniky v souvislosti s novoročními oslavami. Projevuje se ve městech plošně a koncentrace PM<sub>2,5</sub> mohou dosahovat i třímístných hodnot, v závislosti na intenzitě odpalu, vzdálenosti měřicího bodu od odpališť a aktuálních meteorologických a rozptylových podmínkách. 1. 1. 2023 probíhalo měření paralelně s lokalitou Chrlice. I zde byly průměrné denní koncentrace vyšší než 50 ug.m<sup>-3</sup>.

## Oxidy dusíku

V kontextu kvality ovzduší se jako oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>) označuje součet koncentrací oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO<sub>2</sub>). Vzhledem k faktu, že NO je přechodný meziprodukt a rychle oxiduje mj. na NO<sub>2</sub>, jsou koncentrace NO<sub>x</sub> závislé především na koncentracích NO<sub>2</sub>. Oxidy dusíku se negativně podepisují na životním prostředí, a to hlavně

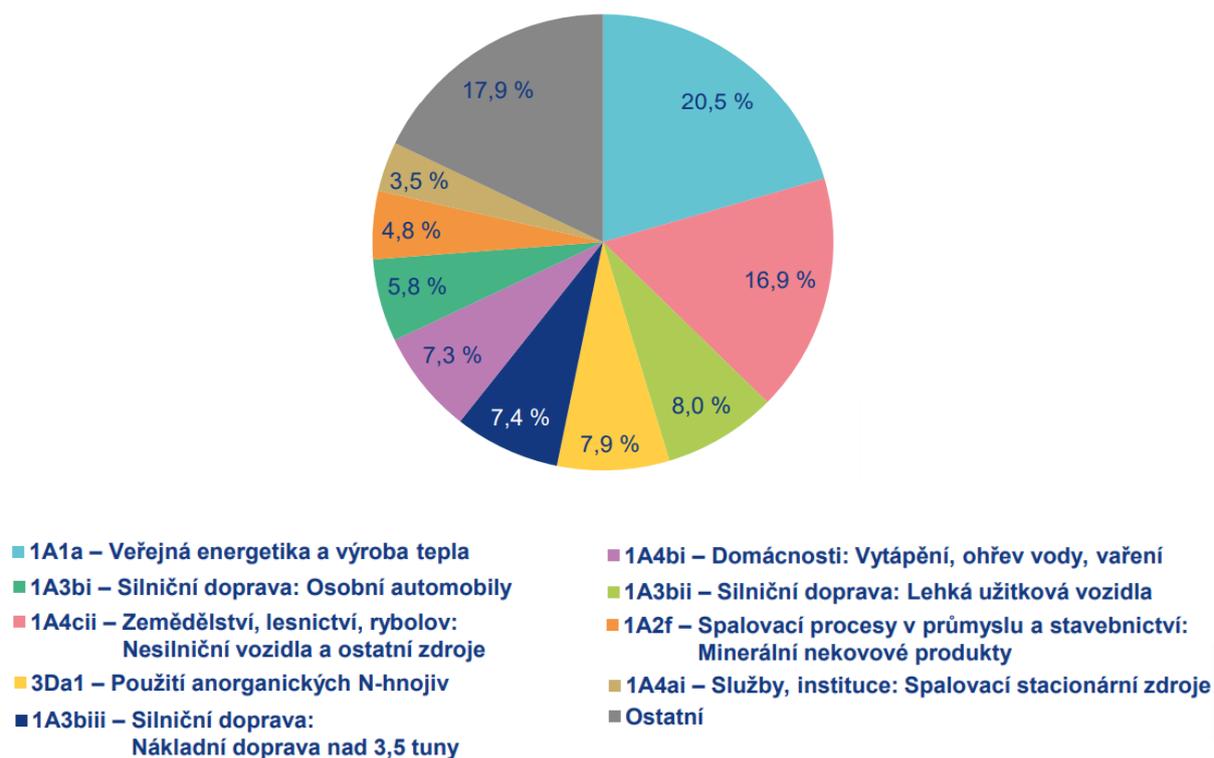
ve spojitosti s globálním oteplováním (oxid dusný se řadí mezi tzv. skleníkové plyny) a kyselých deštích (spolu s oxidem siřičitým), (Mohajan, 2018). Oxidy dusíku fungují také spolu s organickými těkavými látkami (VOC) a slunečním zářením jako prekuzory vzniku nežádoucího přízemního ozónu.

Oxidy dusíku mají širokou škálu dopadů i na lidské zdraví. Snižují funkci plic a poškozují sliznice, přičemž mohou vést až k rozvoji astmatu a potížím s dýcháním a podrážděním očí. Přispívají též k rozvoji alergií. V oblastech s vysokou hladinou znečištění oxidy dusíku byl prokázán nárůst kardiovaskulárních nemocí včetně zvýšené úmrtnosti (Kampa, 2008).

Oxidy dusíku se tvoří při spalování paliv v závislosti na teplotě spalování, obsahu dusíku v palivu a přebytku spalovacího vzduchu. Emisními zdroji bývají teplárny, elektrárny, lokální topeniště, silniční doprava, ale také ta železniční a vodní. Vznikají i při některých chemicko-technologických procesech (např. výroba kyseliny dusičné, amoniaku, dusíkatých hnojiv). Koncentrace oxidů dusíku bývají obvykle zvýšené ve městech v blízkosti frekventovaných dopravních tepen. Mezi přírodní zdroje patří vulkanická činnost či půda v rámci denitrifikačních procesů, které v ní probíhají (Grant, 2013).

Měření  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}$  i  $\text{NO}_2$ ) probíhá chemiluminescenční metodou, kdy reakcí oxidu dusnatého ( $\text{NO}$ ) a ozónu ( $\text{O}_3$ ) v plynné fázi vzniká charakteristická luminiscence s intenzitou přímo úměrnou koncentraci oxidu dusnatého, dále oxid dusičitý a kyslík. Emise záření je měřena pomocí fotonásobiče. Měření lze provádět v několika cyklech, a to dle toho, zda je měřena koncentrace  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ , či  $\text{NO}_x$ . Provádí-li se cyklus  $\text{NO}$ , vzorek plynu prochází přímo měřicí komorou, kde dochází k oxidaci  $\text{NO}$  molekulami ozónu. Výstupní signál fotonásobiče je tak úměrný koncentraci  $\text{NO}$  v měřeném vzorku. Provádí-li se cyklus  $\text{NO}_x$  – vzorek plynu prochází konvertorem a poté je smíchán s ozónem uvnitř reakční komory. Výstupní signál fotonásobiče je pak úměrný koncentracím  $\text{NO} + \text{NO}_2$  v měřeném vzorku. A provádí-li se referenční cyklus, vzorek plynu prochází předreakční komorou, kde je smíchán s ozónem. Molekuly  $\text{NO}$  obsažené v měřeném vzorku jsou oxidovány na  $\text{NO}_2$  před vstupem do reakční komory. Výstupní signál z fotonásobiče je použit jako nulový referenční signál.

Dle nejnovější emisní bilance z roku 2019 je v České republice hlavním zdrojem  $\text{NO}_x$  v ovzduší kategorie Veřejná energetika a výroba tepla (20,5 %) a dále Silniční doprava: Osobní automobily (16,9 %). Doprava je však v tomto případě rozdělena do více kategorií a při sečtení veškerých kategorií týkajících se dopravy je patrné, že právě doprava je v současnosti hlavním zdrojem  $\text{NO}_x$ .



Obrázek 111 - emisní zdroje oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>) v České republice (emisní bilance 2019)

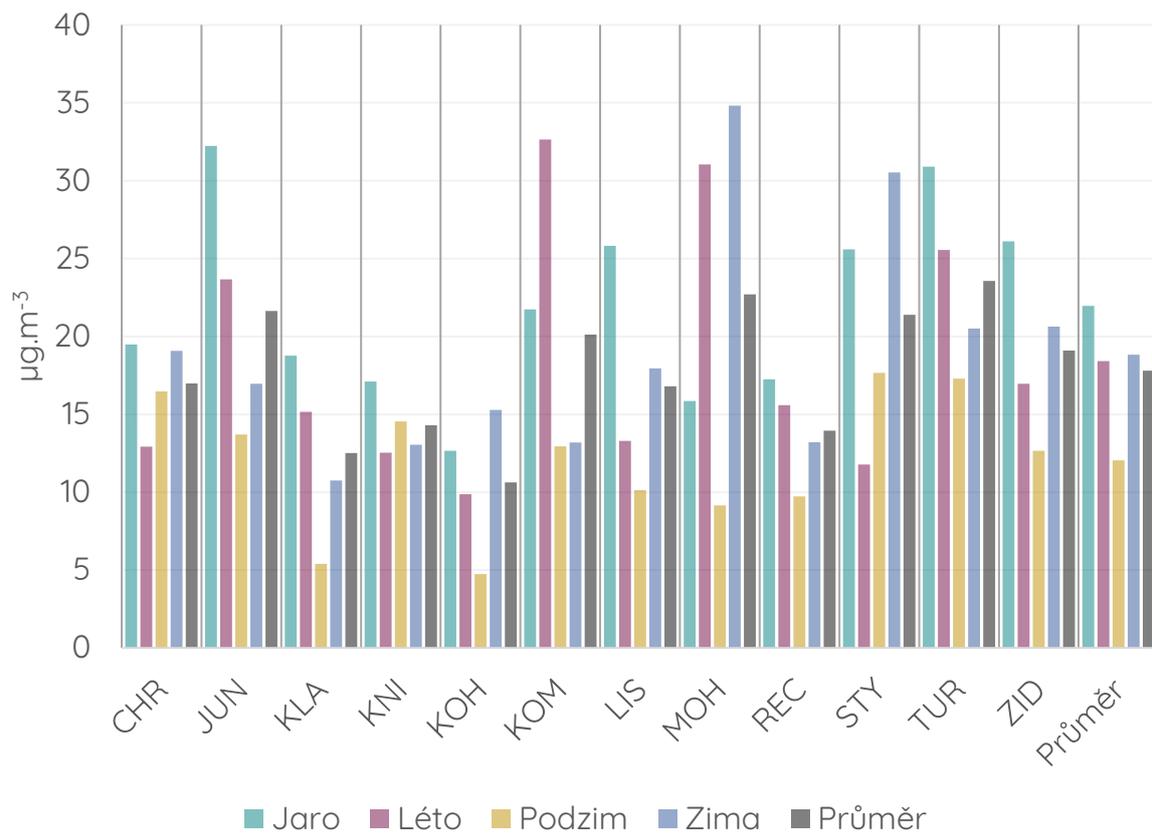
### Oxid dusičitý

Oxid dusičitý je v čisté plynné formě červenohnědý a silně agresivní a jedovatý. Jedná se o meziprodukt výroby kyseliny dusičné, obecně je používán jako oxidační činidlo v mnoha průmyslových technologiích. Nebezpečí vdechování oxidu dusičitého spočívá ve vzniku zánětů dýchacích cest, který může vést až k edému plic (Khaniabadi, 2017).

Měření oxidu dusičitého je založeno na chemiluminiscenci. Koncentrace tohoto plynu jsou zjišťovány sekundárně z rozdílu mezi koncentracemi oxidu dusnatého (NO) a oxidů dusíku (NO<sub>x</sub> = NO + NO<sub>2</sub>).

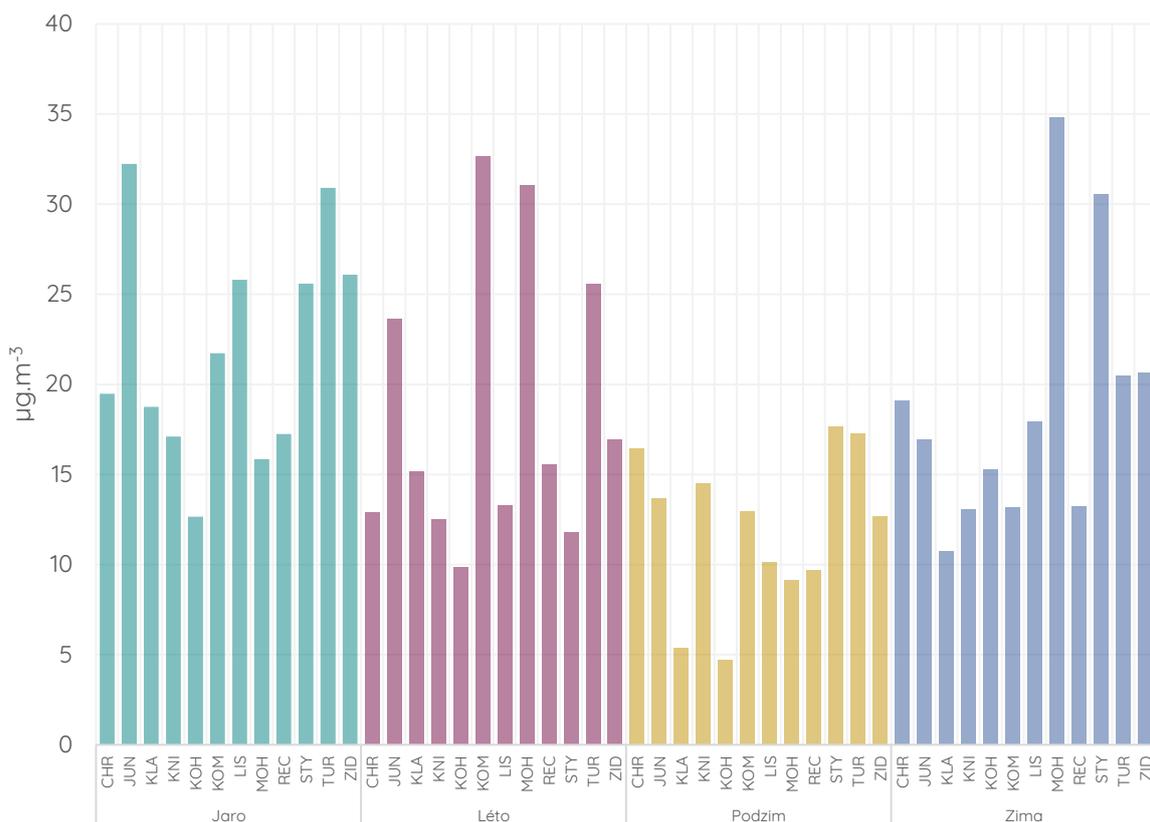
Nejvýznamnějším zdrojem oxidu dusičitého je doprava a v menší míře průmysl a domácnosti (WHO, 2006). Vzniká oxidací vzdušného dusíku za vysokých teplot ve spalovacích motorech. Patří na seznam plynů podílejících se na tvorbě nežádoucích kyselých dešťů (Kumar, S., 2017). Navíc spolu s kyslíkem a těkavými organickými látkami (VOC) reaguje za vzniku přízemního ozonu, polutantu, který může ve vysokých koncentracích způsobit vznik fotochemického smogu. Působení NO<sub>2</sub> bývá spojováno se zvýšením celkové, kardiovaskulární a respirační úmrtnosti (Costa, 2014).

Následující graf ukazuje průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> pro jednotlivé kampaně a celkově.



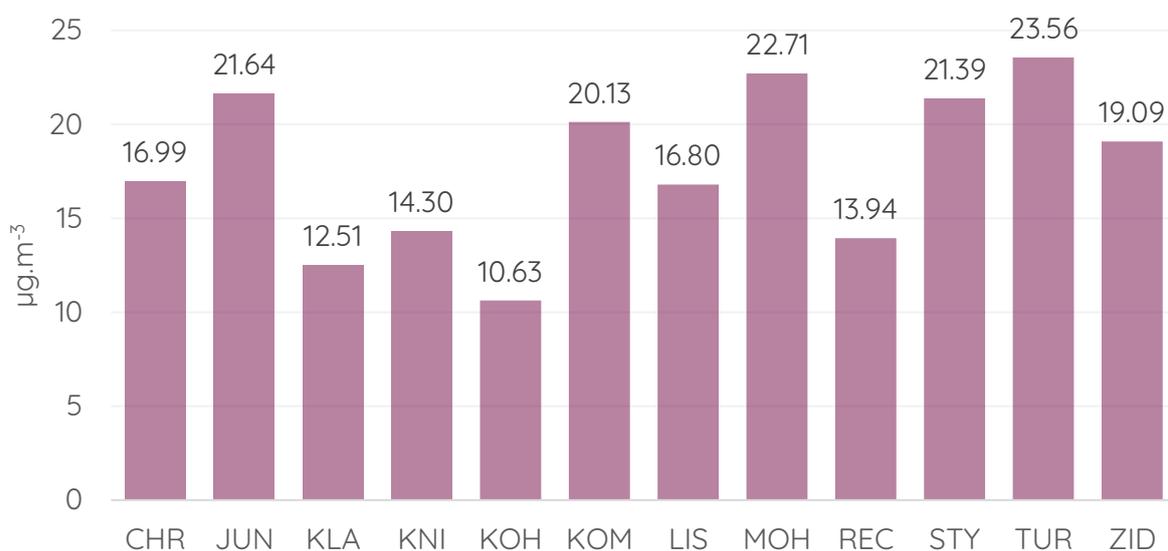
Obrázek 112 - průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> v jednotlivých měřicích kampaních a lokalitách a celkový průměr.

Následující graf ukazuje totožné koncentrace, tentokrát seřazené podle jednotlivých měřicích kampaní.



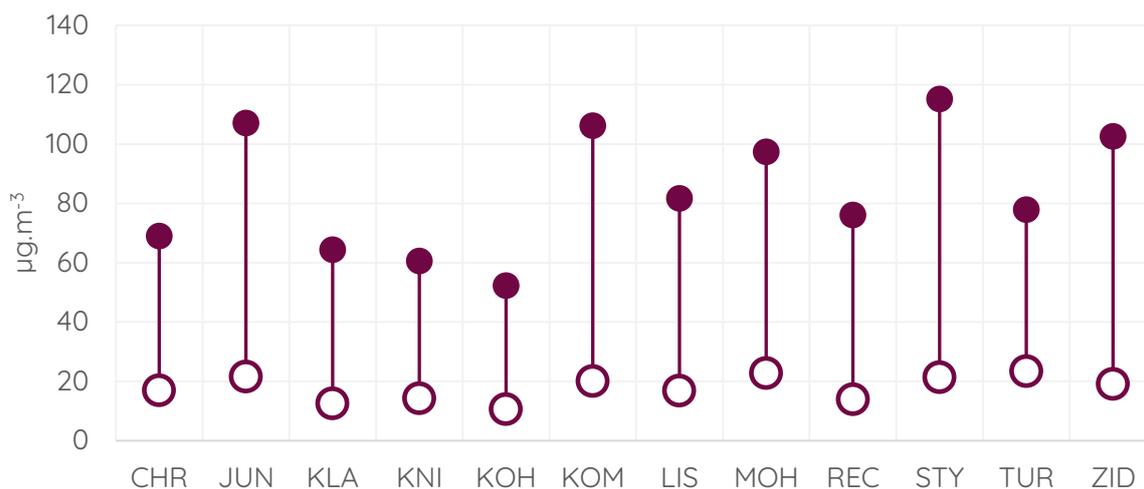
Obrázek 113 - průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> v jednotlivých měřicích kampaních.

Celkové průměrné koncentrace oxidu dusičitého za všechny čtyři měřicí kampaně na všech lokalitách ukazuje následující graf.



Obrázek 114 - průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny měřicí kampaně.

Graf níže ukazuje průměrnou koncentraci (bílý bod) a maximální naměřenou hodinovou koncentraci NO<sub>2</sub> za celé období monitoringu pro jednotlivé lokality.

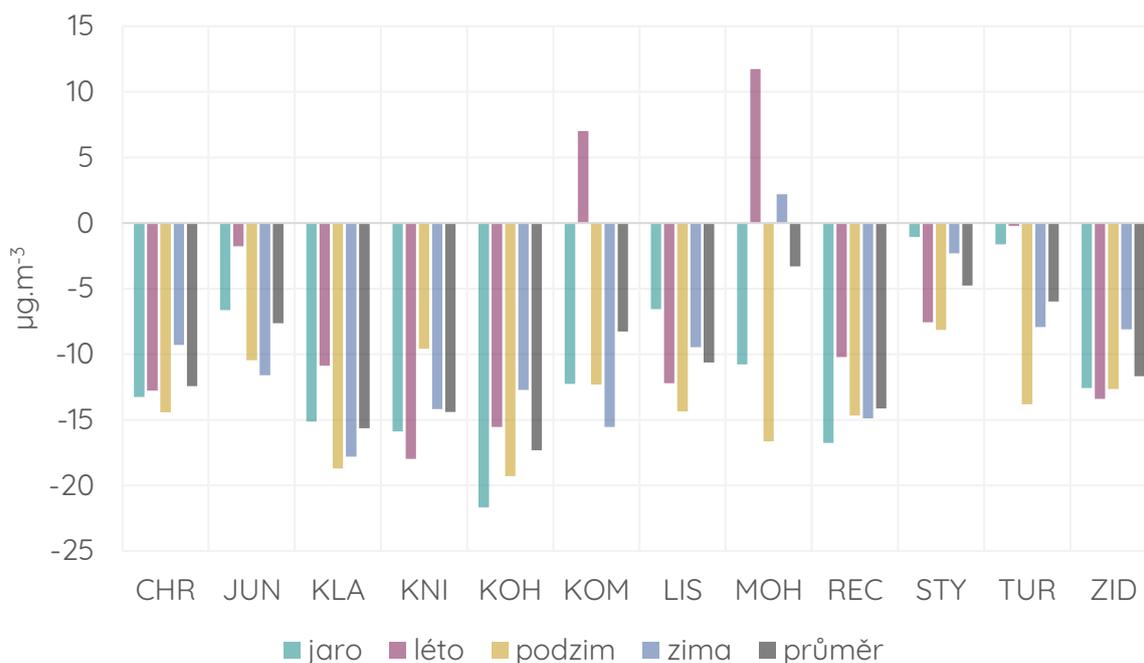


Obrázek 115 - průměrné a nejvyšší hodinové koncentrace NO<sub>2</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny měřicí kampaně.

V grafu výše je dobře patrné, že absolutně nejvyšší hodinové koncentrace oxidu dusičitého byly naměřeny v lokalitách s významným vlivem dopravy, například v lokalitě Jundrov, Komín nebo Štýřice.

Pro oxid dusičitý je kromě imisního limitu pro roční průměrnou koncentraci stanoven také imisní limit pro hodinovou průměrnou koncentraci. Jeho hodnota je 200 μg·m<sup>-3</sup> a tento limit se považuje za překročený, dojde-li k více než 3 překročením hodnoty imisního limitu za rok. Z výše uvedeného grafu tedy také vyplývá, že hodinový imisní limit 200 μg·m<sup>-3</sup> nebyl překročen ani jednou na žádné z monitorovaných lokalit, koncentrace oxidu dusičitého v hodinových průměrech nedosahovaly v maximech ani hodnoty 120 μg·m<sup>-3</sup>.

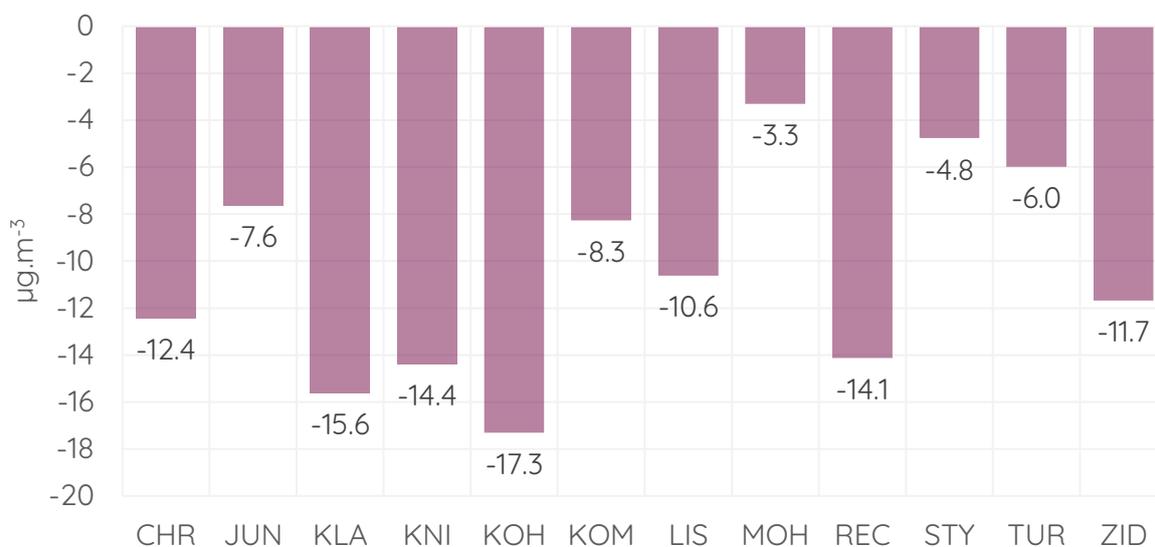
Jak bylo popsáno v textu výše, vyšší vypovídající hodnotu než absolutní hodnoty, má srovnání s hodnotami naměřenými ve stejném čase na ostatních brněnských stanicích v rámci SSIM. Hodnoty v grafu níže reprezentují rozdíl průměrné koncentrace z dané lokality a průměru ze všech brněnských stanic SSIM pro shodný čas. Záporné hodnoty značí koncentrace nižší, než byl průměr koncentrací pro brněnské stanice v SSIM a naopak. Tyto rozdíly byly zvlášť spočítány pro pozad'ové a dopravní stanice. Jelikož je pro různé látky odlišný počet dopravních a pozad'ových stanic, které danou látku v Brně monitorují, bylo by srovnání s celkovým průměrem zkreslující.



Obrázek 116 - rozdíl průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> v jednotlivých měřicích lokalitách a kampaních z průměrné koncentrace z brněnských dopravních stanic SSIM v příslušném období.

Překvapivé jsou ve srovnání s ostatními lokalitami relativně vysoké koncentrace NO<sub>2</sub> v lokalitě Mokrá Hora, která se svým charakterem spíše podobá lokalitám jako byly Kohoutovice nebo Klajdovka, s nižším dopravním zatížením. Vyšším koncentracím oxidů dusíku v této lokalitě se věnuje text v kapitole NO<sub>x</sub>.

Graf níže pak ukazuje totéž, tentokrát však přehledněji pouze pro průměrný rozdíl za všechny čtyři měřicí kampaně.



Obrázek 117 - rozdíl průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím NO<sub>2</sub> v totožném období z dopravních stanic státní sítě imisního monitoringu v Brně.

Ze srovnání s dopravními stanicemi SSIM je patrné, že ve všech lokalitách měřených v rámci tohoto projektu byly průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> nižší. To je pravděpodobně dáno faktem, že žádná z monitorovaných lokalit není v kombinaci tak malé vzdálenosti a tak intenzivně dopravně zatížené lokality, jako některé z brněnských dopravních stanic (zejména například stanice Brno-Svatoplukova nebo lokalita Brno-Úvoz). Nejvyšší rozdíl je pozorován na odlehlých lokalitách, například v lokalitě Kohoutovice nebo Klajdovka.

Následující grafy představují totožné srovnání, tentokrát však s průměrem z nikoliv dopravních, ale pozad'ových stanic.



Obrázek 118 - rozdíl průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> v jednotlivých měřicích lokalitách a kampaních z průměrné koncentrace z brněnských pozad'ových stanic SSIM v příslušném období.

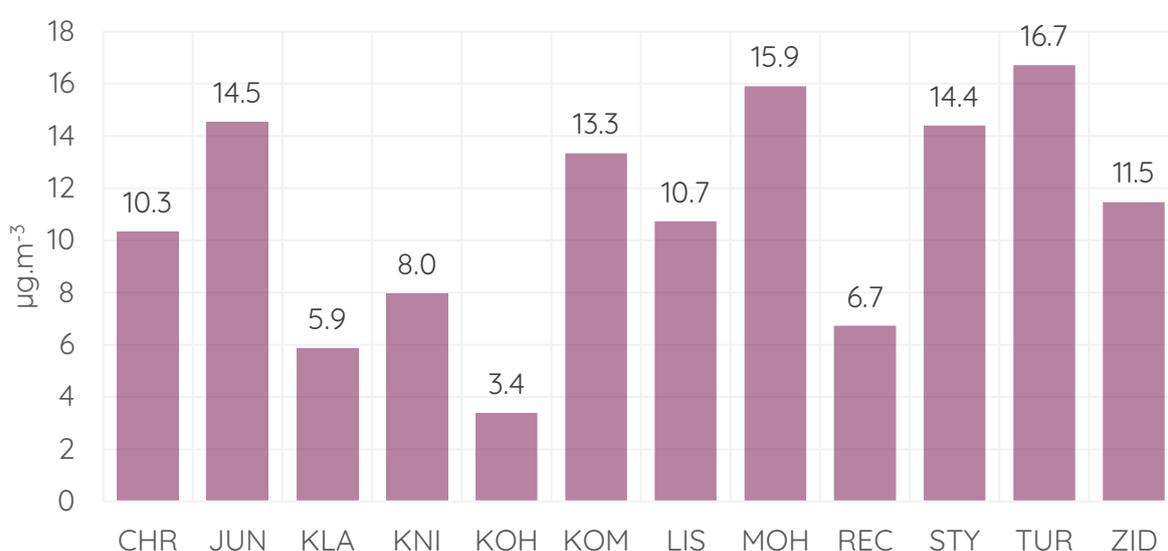
Graf níže pak ukazuje totéž, tentokrát však přehledněji pouze pro průměrný rozdíl za všechny čtyři měřicí kampaně.



Obrázek 119 - rozdíl průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím NO<sub>2</sub> v totožném období z pozad'ových stanic státní sítě imisního monitoringu v Brně.

V některých lokalitách byly průměrné koncentrace oxidu dusičitého vyšší, než je průměr pozad'ových stanic v Brně. To je dáno faktem, že vybrané lokality byly v relativně blízké vzdálenosti dopravním komunikacím. Právě u těchto lokalit jsou koncentrace zvýšené – například lokalita Štýřice, Tuřany nebo Jundrov. Naopak například lokalita Kohoutovice je ve velmi klidné lokalitě v areálu hotelu v blízkosti lesa a je tak odlehlější než většina pozad'ových stanic. Doprava se zde projevuje méně a koncentrace oxidu dusičitého jsou zde v průměru o více než  $7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  nižší, než je průměr pozad'ových brněnských stanic SSIM.

Pro srovnání je níže uvedeno srovnání ještě s průměrem regionální pozad'ové stanice Mikulov-Sedlec – odlehlé stanice reprezentující krajské pozadí.

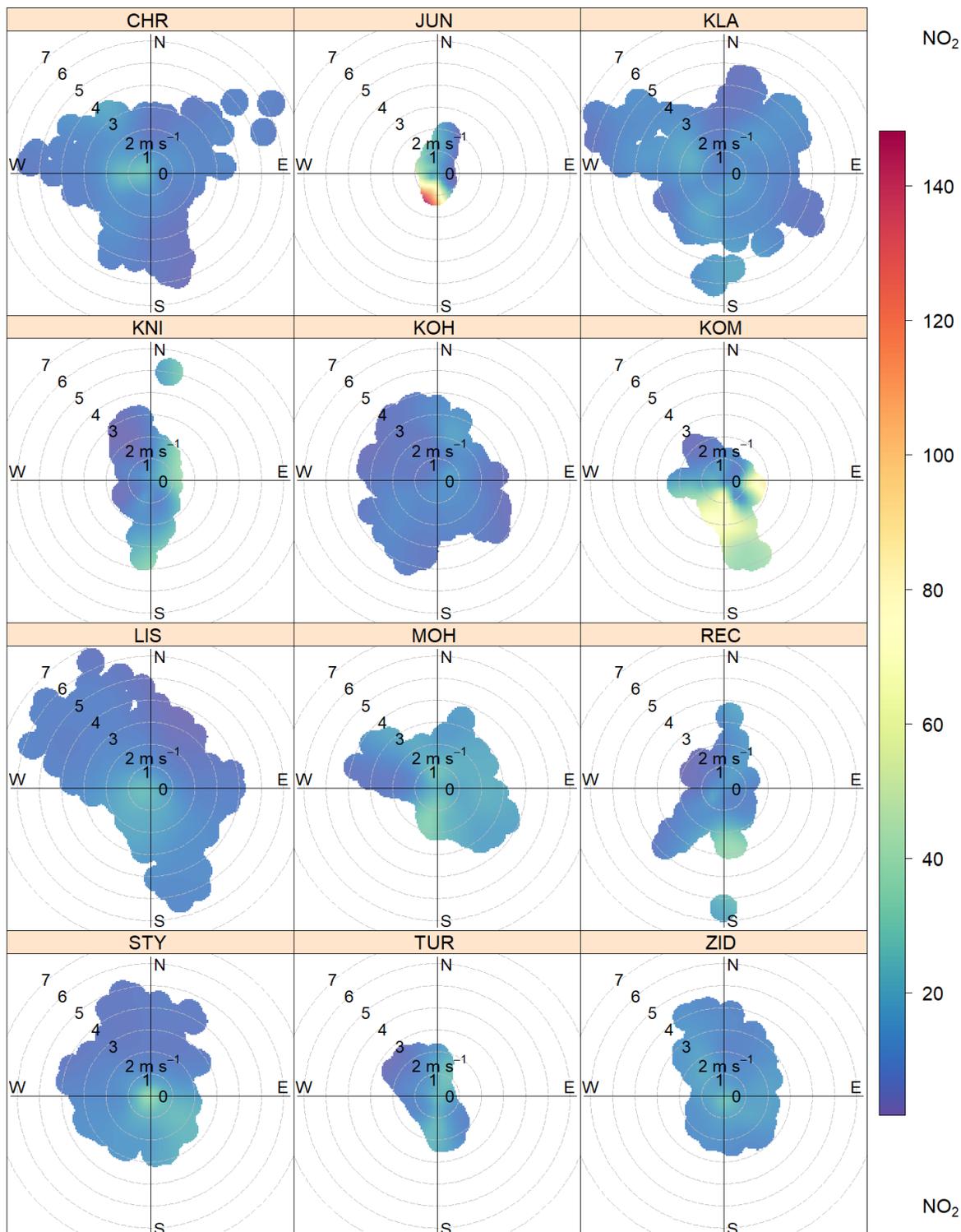


Obrázek 120 - rozdíl průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> v totožném období z regionální pozad'ové stanice Mikulov-Sedlec.

Ve srovnání s regionální pozad'ovou stanicí je dobře vidět, že vliv dopravy se v Brně projevuje, jako v každém městě, plošně a přestože jsou i v rámci města výraznější rozdíly, koncentrace NO<sub>2</sub> jsou stále v celém městě vyšší než ve zcela odlehlé lokalitě, kterou v tomto případě reprezentuje regionální pozad'ová stanice Mikulov-Sedlec. Koncentrace NO<sub>2</sub> na každé z lokalit monitorovaných v rámci tohoto projektu byly v průměru vyšší byly naměřeny na stanici Mikulov-Sedlec.

Koncentrační růžice vyjadřují vztah mezi rychlostí větru, směrem větru a koncentracemi konkrétní znečišťující látky. Umožňují tedy například hodnotit, ze kterého směru přicházelo znečištění při nejvyšších hodnotách. Princip a způsob interpretace koncentračních růžic ukazuje Obrázek 15.

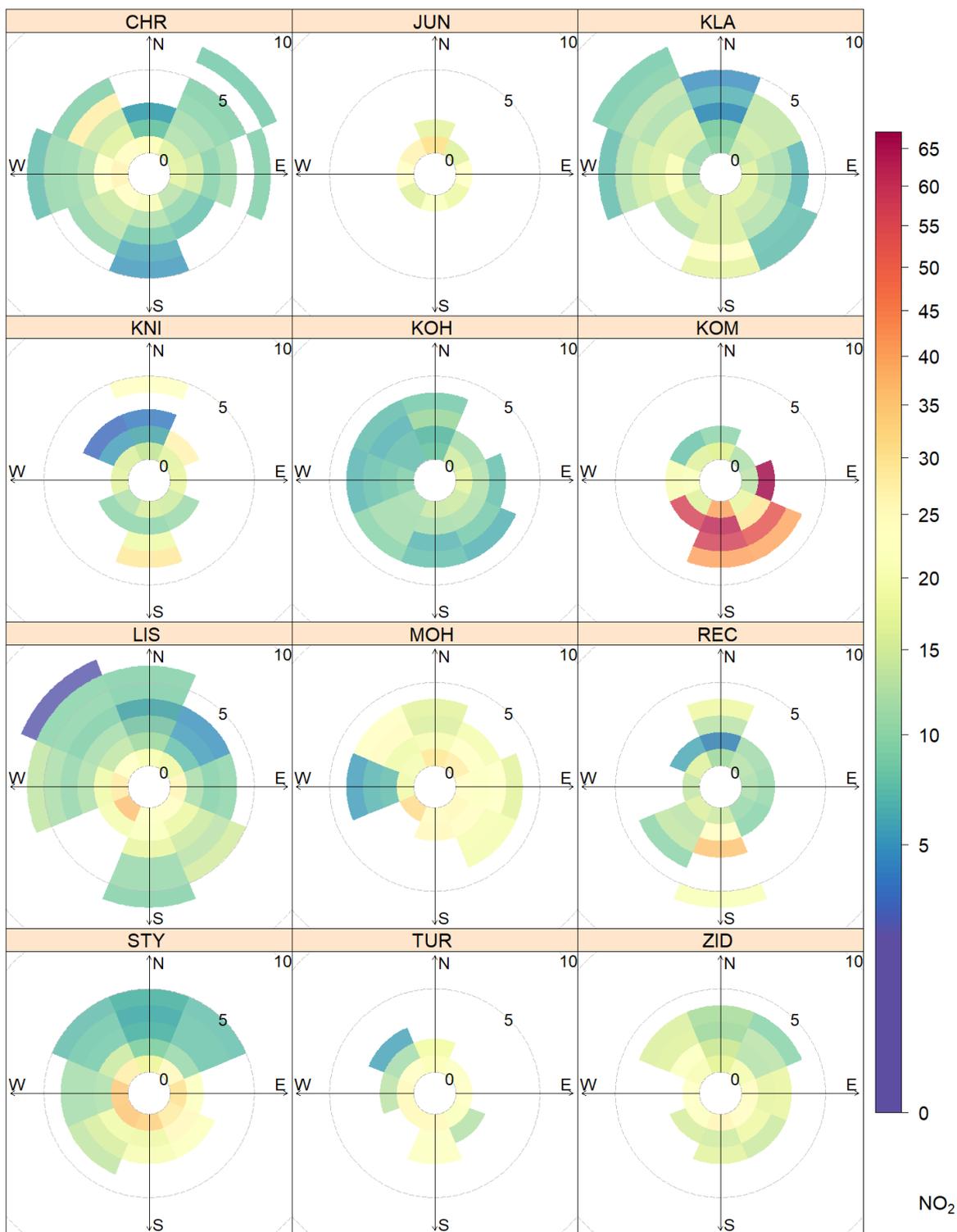
Následující přehled ukazuje koncentrační růžice pro všechny lokality za všechny měřicí kampaně se sjednocenou škálou pro možnost srovnání.



Obrázek 121 - koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi NO<sub>2</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny čtyři měřicí kampaně.

Nejvyšší koncentrace oxidu dusičitého byly v průměru pozorovány v lokalitě Jundrov při jižním proudění. V této lokalitě bylo měření prováděno blízko vozovky. Z jedné strany bylo měřicí místo zcela uzavřené stěnou budovy. Velmi nízké rychlosti větru v této lokalitě jsou patrné i z koncentračních růžic – vyšší rychlosti zde vůbec nebyly pozorovány a všechny hodnoty v růžici leží relativně blízko jejímu středu. Vysoká hodnota v případě růžice z Jundrova je dána tím, že v daný směr proudění nebyl v průběhu měření často zastoupen a v jedné z hodin, kdy v tomto směru proudilo, byly naměřeny vyšší koncentrace NO<sub>2</sub>. Celkový průměr pro tuto kombinaci rychlosti větru a jeho směru tak v průměru vyšla jako významná, jednalo se však o krátkodobé zvýšení.

Vizualizace níže ukazuje tzv. vážené koncentrační růžice. V tomto případě je brán v potaz i čas, po který z daného směru znečištění proudilo. Zatímco koncentrační růžice (ne vážené) ukazují průměrnou koncentraci pro konkrétní směr a rychlost větru, u vážené koncentrační růžice je hodnoceno celkové množství znečištění, které se v dané lokalitě při dané kombinaci směru a rychlosti větru vyskytlo. Pokud je tedy například určitý směr proudění velmi častý, i přes relativně nízké koncentrace z daného směru, může v celkovém součtu daný směr přispívat k celkovému znečištění významně a naopak.



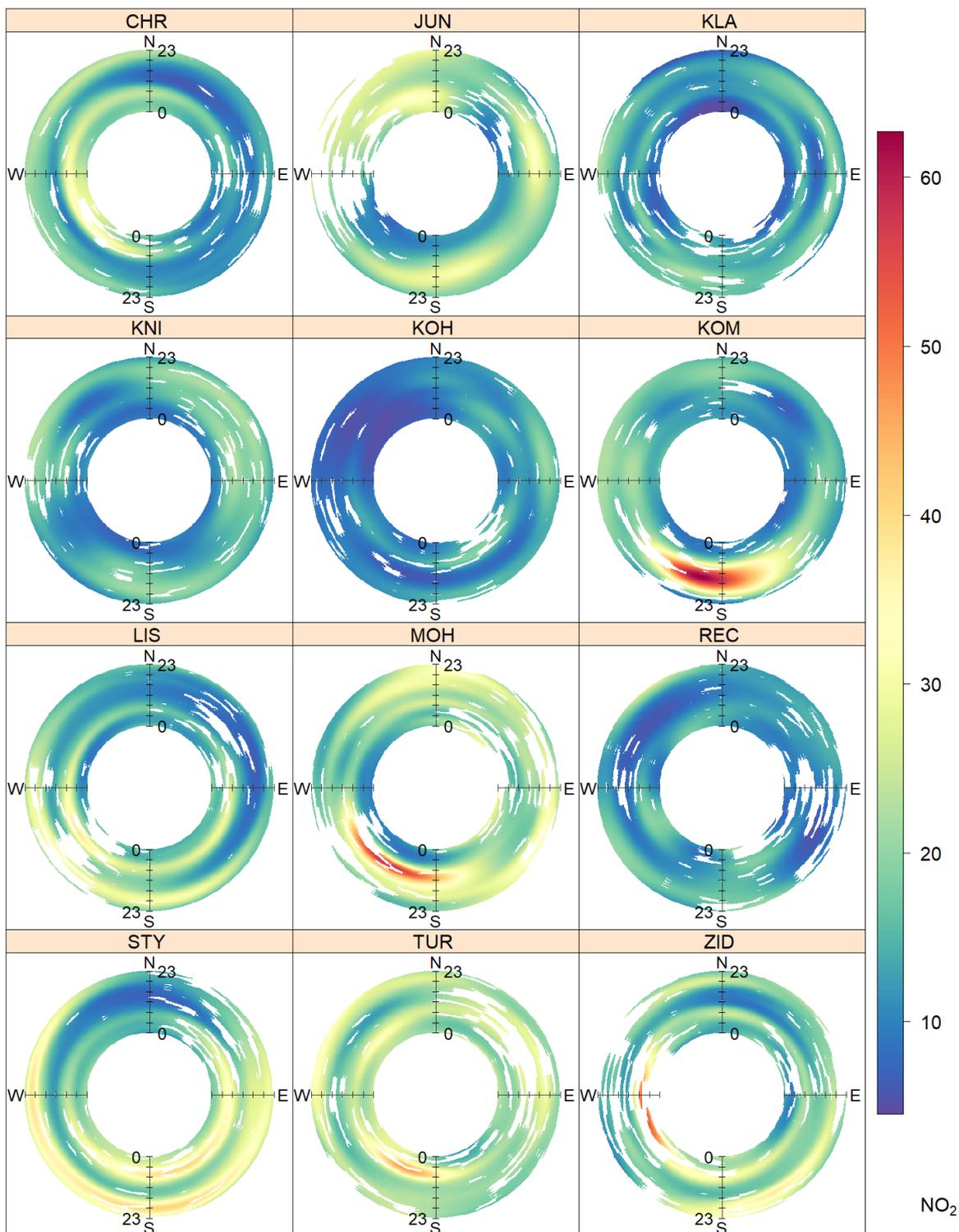
Obrázek 122 - vážené koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentrací NO<sub>2</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny čtyři měřicí kampaně.

V případě vážených koncentračních růžic je patrné, že v Jundrově není z jižního směru znečištění nijak výrazné a jednalo se o výše popsané krátkodobé zvýšení při relativně málo časté kombinaci směru a rychlosti větru. S ohledem na nízké rychlosti větru v této lokalitě

je zde znečištění ze všech směrů v celkovém podílu velmi podobné, jak ukazuje vážená koncentrační růžice z lokality Jundrov.

Velmi výrazně se na znečištění podílí zejména jihovýchodní směr u lokality Komín. Pravděpodobně se zde jedná o vliv blízké dopravní komunikace.

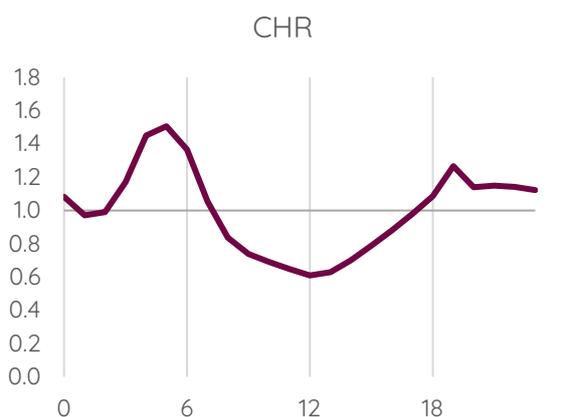
Vztah mezi směrem větru, koncentrací znečišťující látky a hodinou dne ukazují tzv. anulární koncentrační růžice. Jejich interpretace je blíže popsána v grafice výše (Obrázek 16). Následující přehled anulárních koncentračních růžic ukazuje tento vztah pro oxid dusičitý jako souhrn ze všech měřicích kampaní pro jednotlivé lokality.



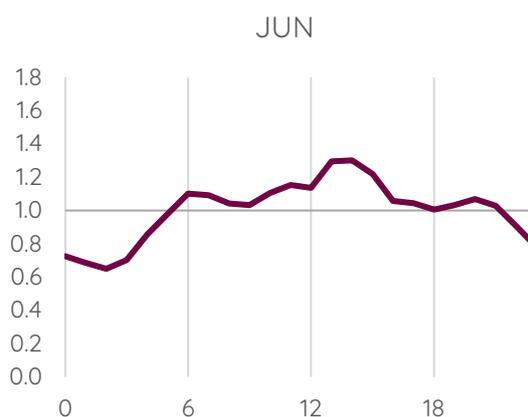
Obrázek 123 - anulární koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi směrem větru, koncentracemi NO<sub>2</sub> a hodinou dne (UTC) pro jednotlivé lokality za všechny měřicí kampaně.

U některých lokalit je v anulární koncentrační růžici dobře patrný vliv dopravy, která se projevuje zejména v ranních hodinách (např. lokalita Komín).

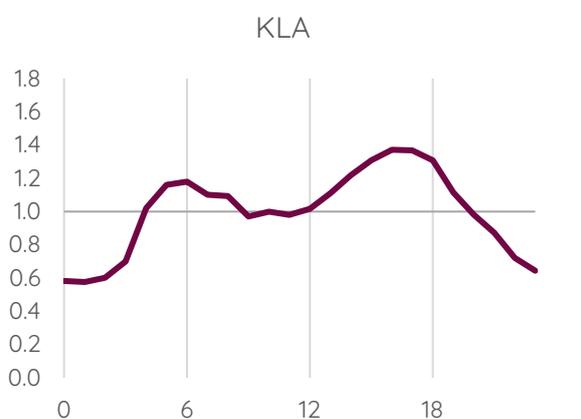
Následující grafy ukazují průměrný denní chod koncentrací oxidu dusičitého. V tomto případě je cílem zobrazit průměrný denní chod, nikoliv absolutní hodnoty koncentrací. Hodnoty tedy byly normalizovány – každá z průměrných koncentrací pro konkrétní hodinu a lokalitu byla srovnána s celkovým průměrem pro danou lokalitu. Hodnota pro každou hodinu tedy ukazuje podíl průměrné koncentrace v danou hodinu dne oproti celkovému průměru. Například hodnota 2 ukazuje, že v danou hodinu dne byly koncentrace v průměru dvojnásobné oproti průměru pro danou lokalitu. Pro všechny grafy byla použita totožná škála, aby bylo možné srovnávat variabilitu denního chodu koncentrací. Všechny hodiny dne jsou v čase UTC (v případě letního času -2 hodiny oproti občanskému času, v případě zimního času -1 hodina oproti občanskému času).



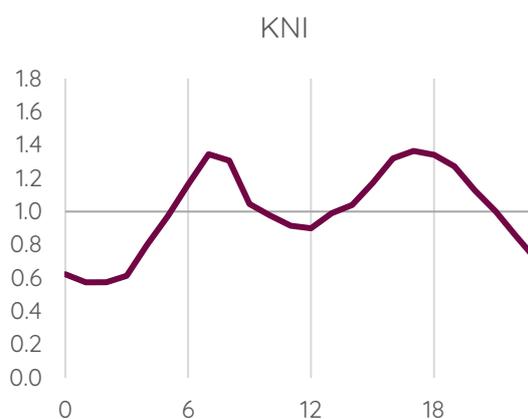
Obrázek 124 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>2</sub> v lokalitě Chrlice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



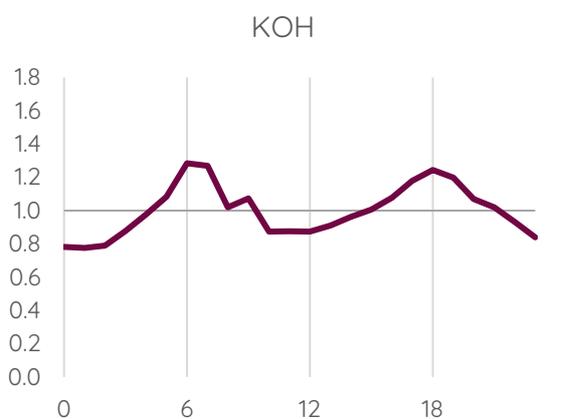
Obrázek 125 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>2</sub> v lokalitě Jundrov. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



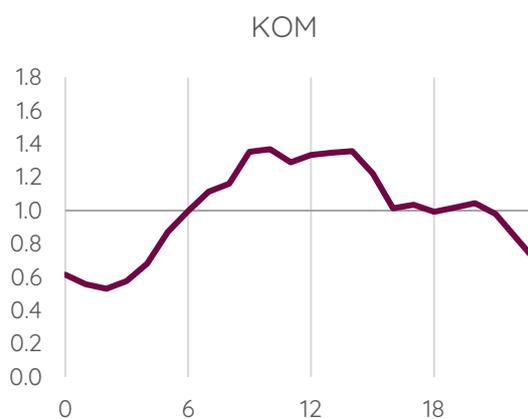
Obrázek 126 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>2</sub> v lokalitě Klajdovka. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



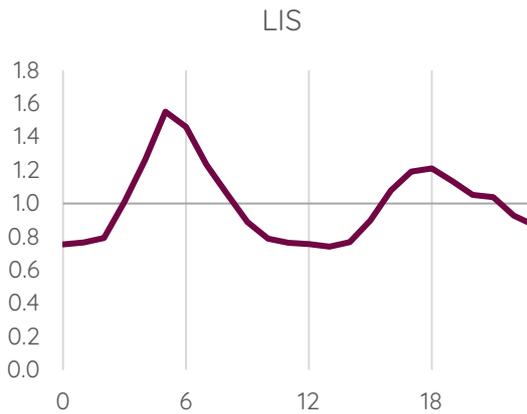
Obrázek 127 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>2</sub> v lokalitě Kníničky. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



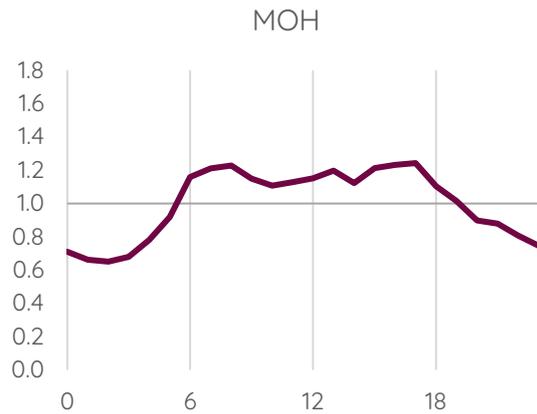
Obrázek 128 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>2</sub> v lokalitě Kohoutovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



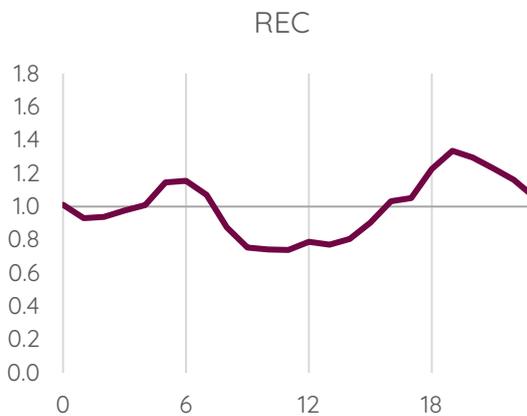
Obrázek 129 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>2</sub> v lokalitě Komín. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



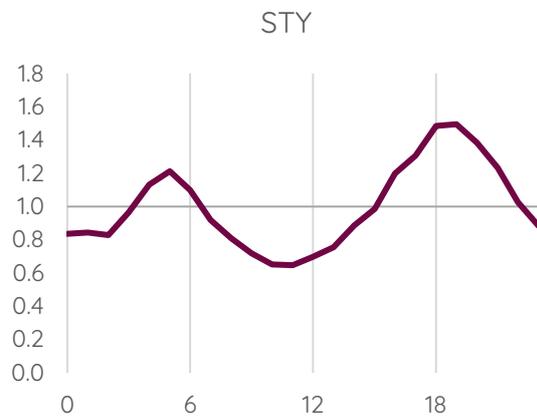
Obrázek 130 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>2</sub> v lokalitě Líšeň. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



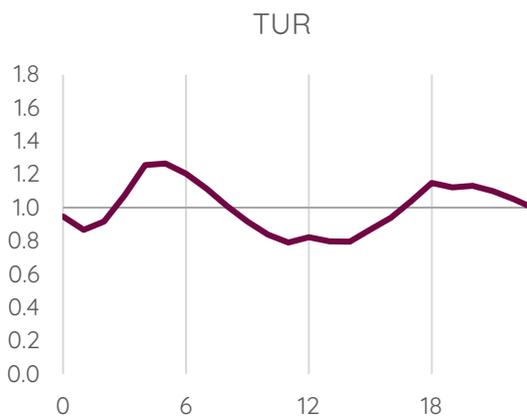
Obrázek 131 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>2</sub> v lokalitě Mokrá Hora. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



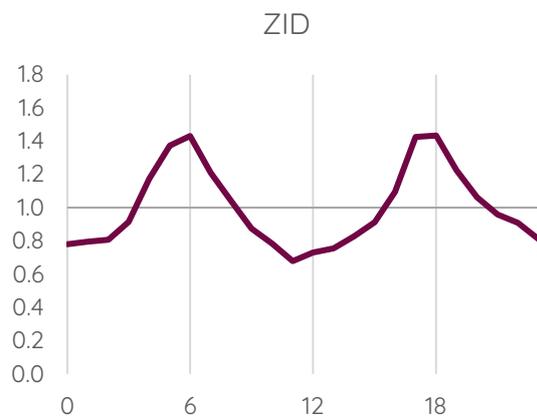
Obrázek 132 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>2</sub> v lokalitě Řečkovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 133 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>2</sub> v lokalitě Štýřice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



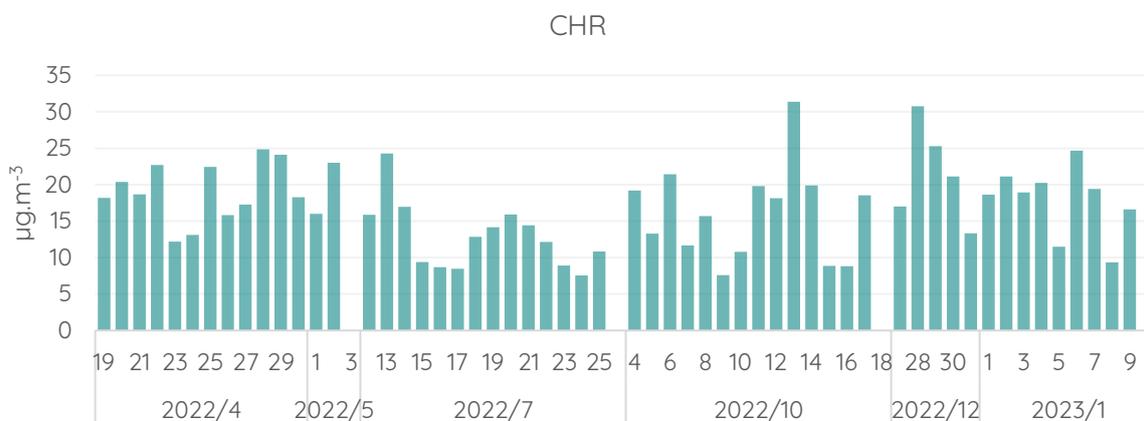
Obrázek 134 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>2</sub> v lokalitě Tuřany. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



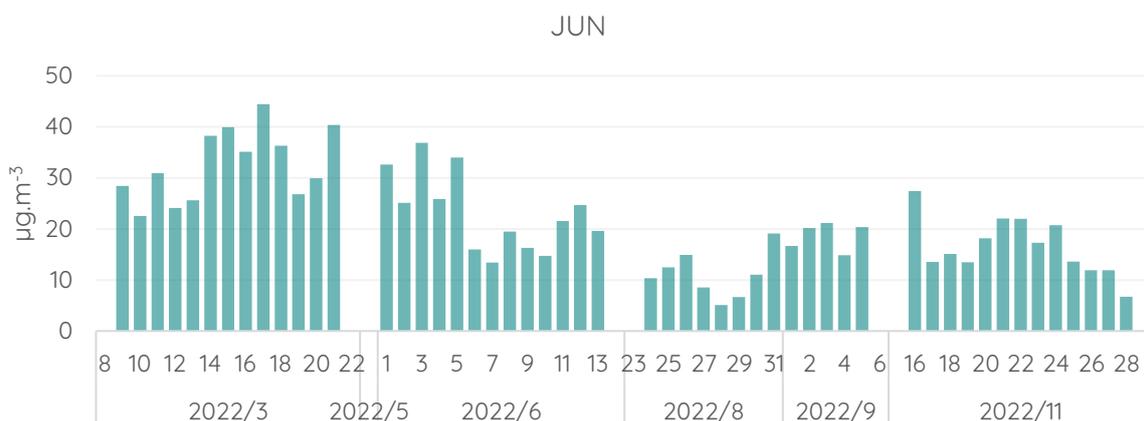
Obrázek 135 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>2</sub> v lokalitě Židenice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.

Grafy průměrného denního chodu koncentrací NO<sub>2</sub> dobře ilustrují vliv dopravy a tuto znečišťující látku. Téměř ve všech monitorovaných lokalitách je patrný typický denní chod znečišťujících látek při výrazném vlivu dopravy – jsou zde patrné dvě denní špičky, jedna korespondující s ranní dopravní špičkou, druhá s odpolední/večerní. V některých lokalitách je výraznější ranní špička (např. Chrlice, Líšeň), v jiných odpolední (např. Štýřice).

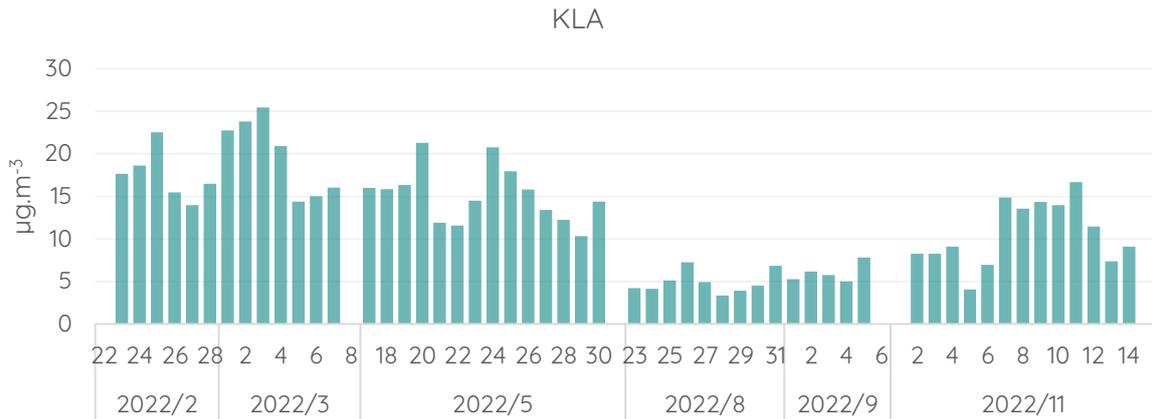
Následující sloupcové grafy ukazují průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub>. Denní průměrné koncentrace byly spočítány pouze pro ty dny, pro které byla dostupná data pro alespoň 75 % (16) hodin dne.



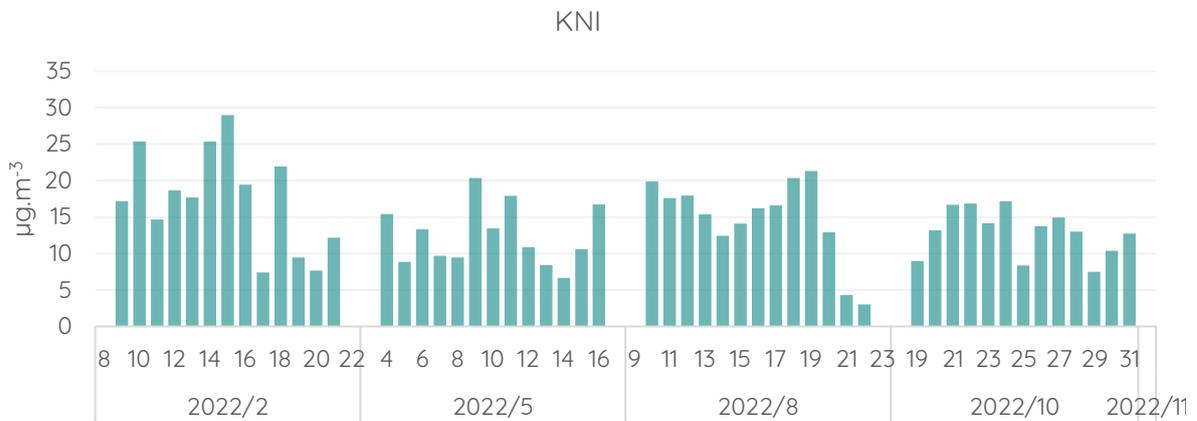
Obrázek 136 - průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Chrlice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



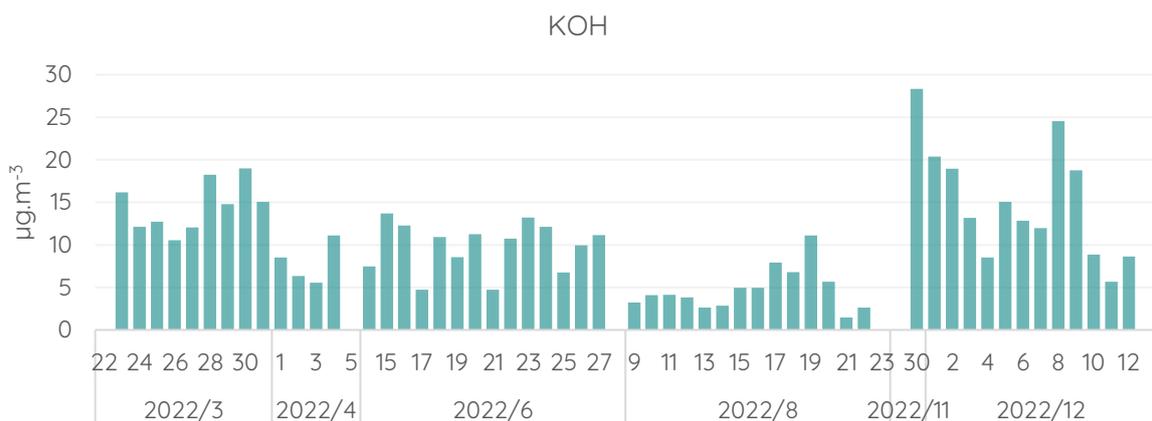
Obrázek 137 - průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Jundrov, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



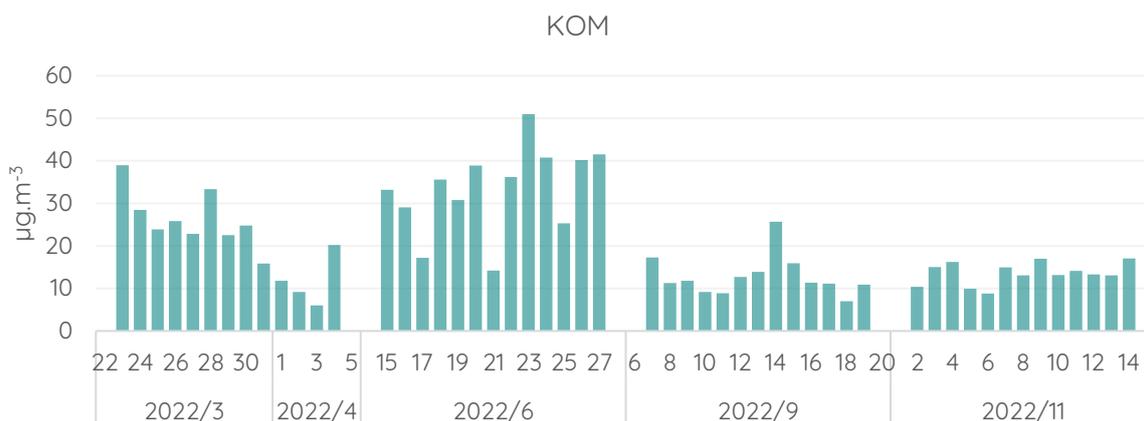
Obrázek 138 - průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Klajdovka, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



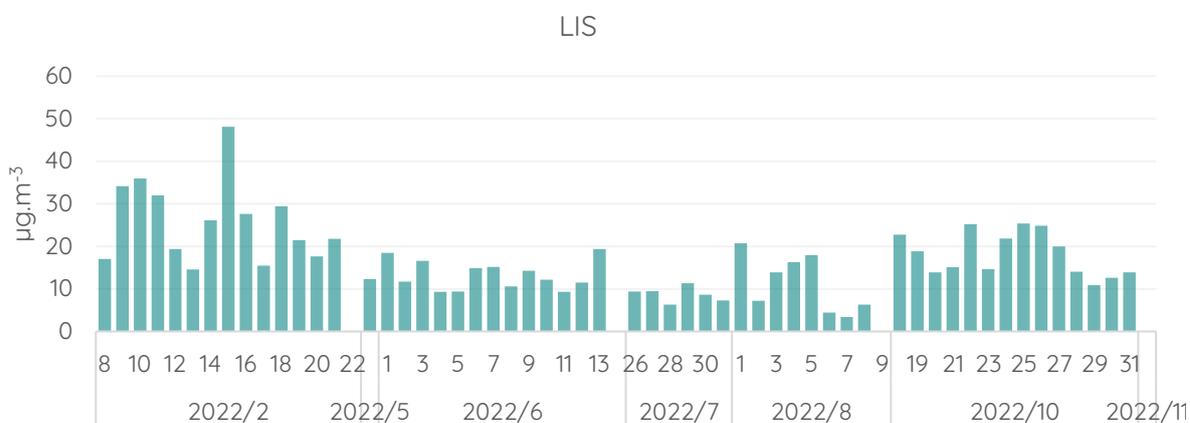
Obrázek 139 - průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Kníničky, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



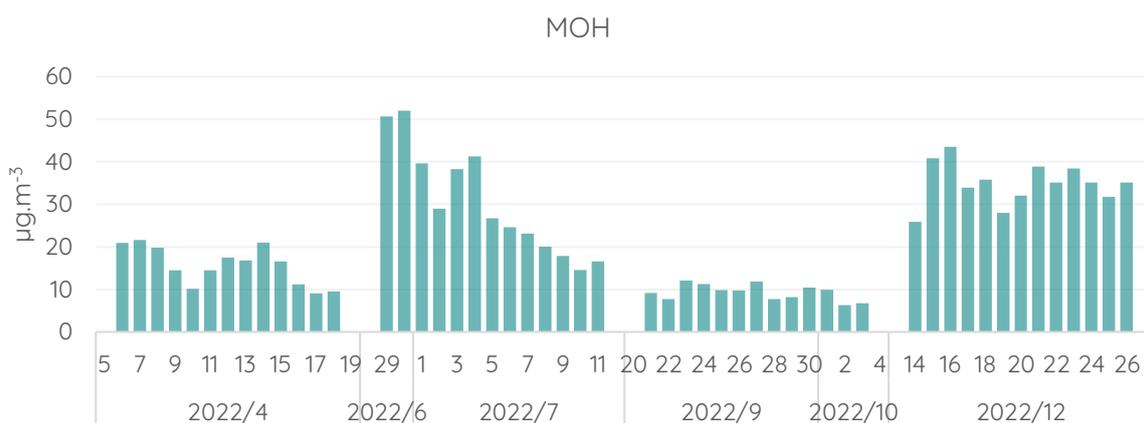
Obrázek 140 - průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Kohoutovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.

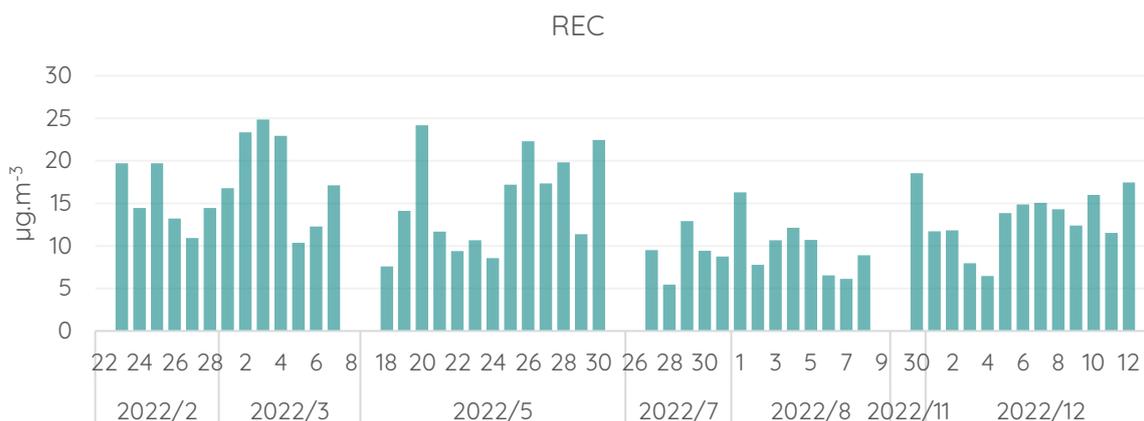


Obrázek 141 - průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Komín, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.

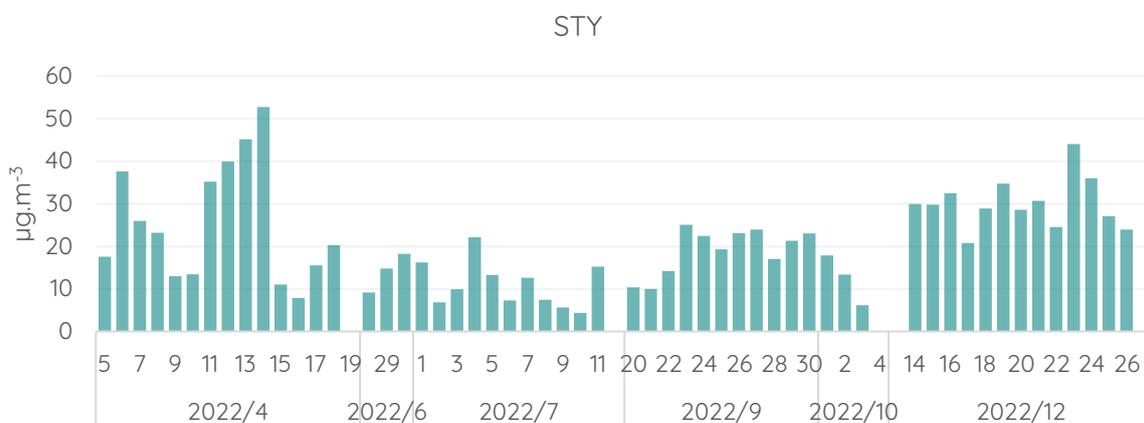


Obrázek 142 - průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Líšeň, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.

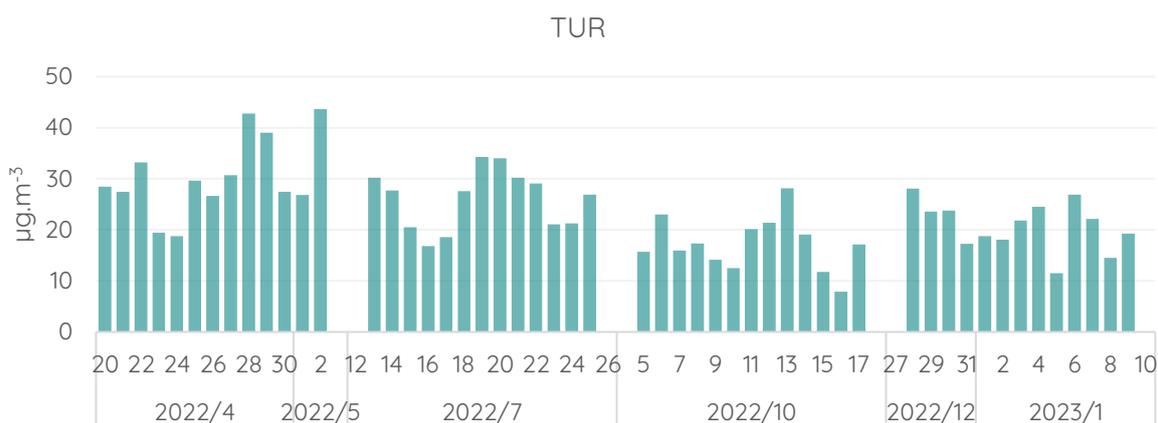




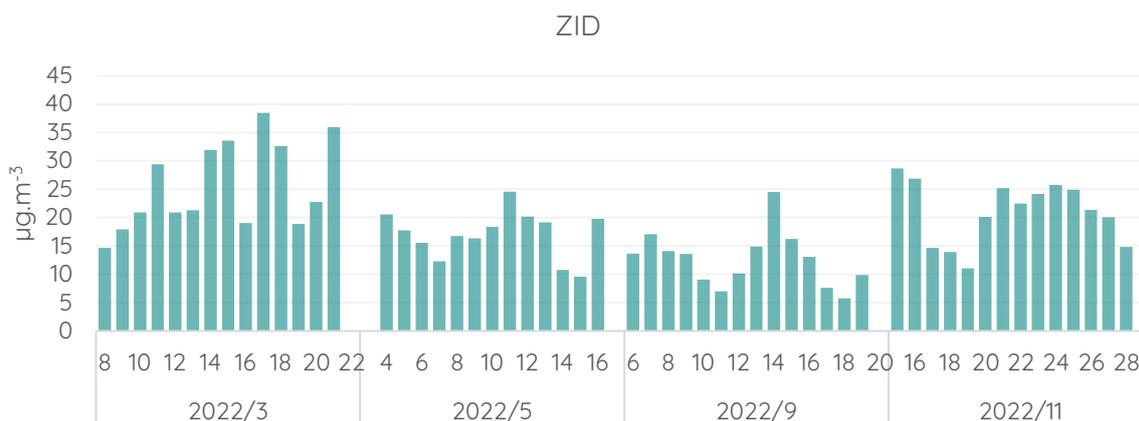
Obrázek 144 - průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Řečkovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 145 - průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Štýřice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 146 - průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Tuřany, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 147 - průměrné denní koncentrace NO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Židenice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.

Nejvyšší denní průměrná koncentrace NO<sub>2</sub> byla zaznamenána v lokalitách Štýřice (52,8 µg·m<sup>-3</sup>, 14. 4. 2022), Mokrá Hora (52,0 µg·m<sup>-3</sup>, 30. 6. 2022) a Komín (51,0 µg·m<sup>-3</sup>, 23. 6. 2022).

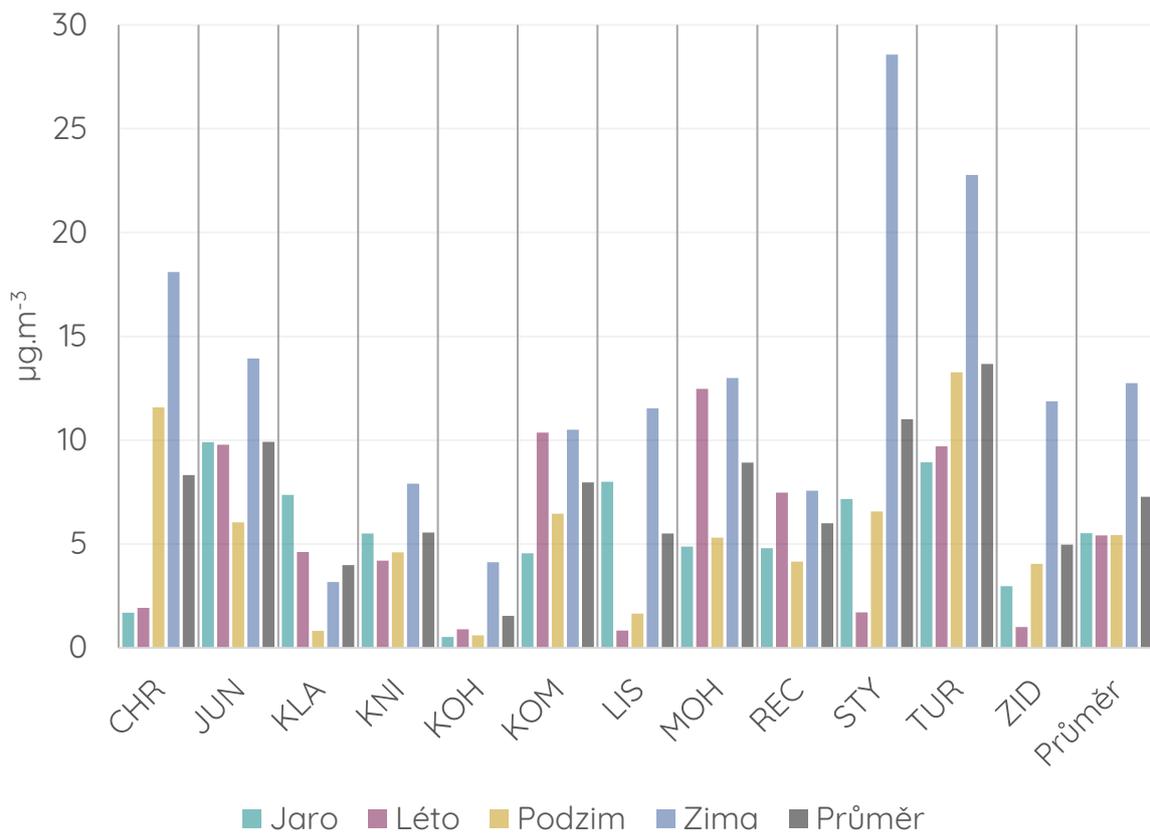
Pro oxid dusičitý je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven imisní limit pouze pro roční a hodinovou průměrnou koncentraci. Denní průměrné hodnoty tedy nelze srovnávat s konkrétní hodnotou imisního limitu.

### Oxid dusnatý

Oxid dusnatý je za normálních podmínek bezbarvý jedovatý plyn. Jedná se o velmi reaktivní molekulu, která snadno oxiduje na NO<sub>2</sub>, tedy představuje dočasný intermediát v řadě chemických reakcí probíhajících jak v troposféře, tak ve stratosféře (Tadic, 2021). Oxid dusnatý je taktéž meziproduktem při výrobě kyseliny dusičné, využívá se též v potravinářství. Jelikož NO v atmosféře rychle oxiduje na NO<sub>2</sub>, jsou jeho koncentrace vysoké zejména v blízkosti jeho zdroje. NO vzniká při nedokonalém spalování, např. ve spalovacích motorech. Koncentrace NO bývají typicky vysoké v lokalitách, které jsou dopravně zatíženy, tedy zejména v blízkosti samotných intenzivně zatížených komunikací. Následně vzniklý NO<sub>2</sub> se může šířit na větší vzdálenosti, např. napříč městem.

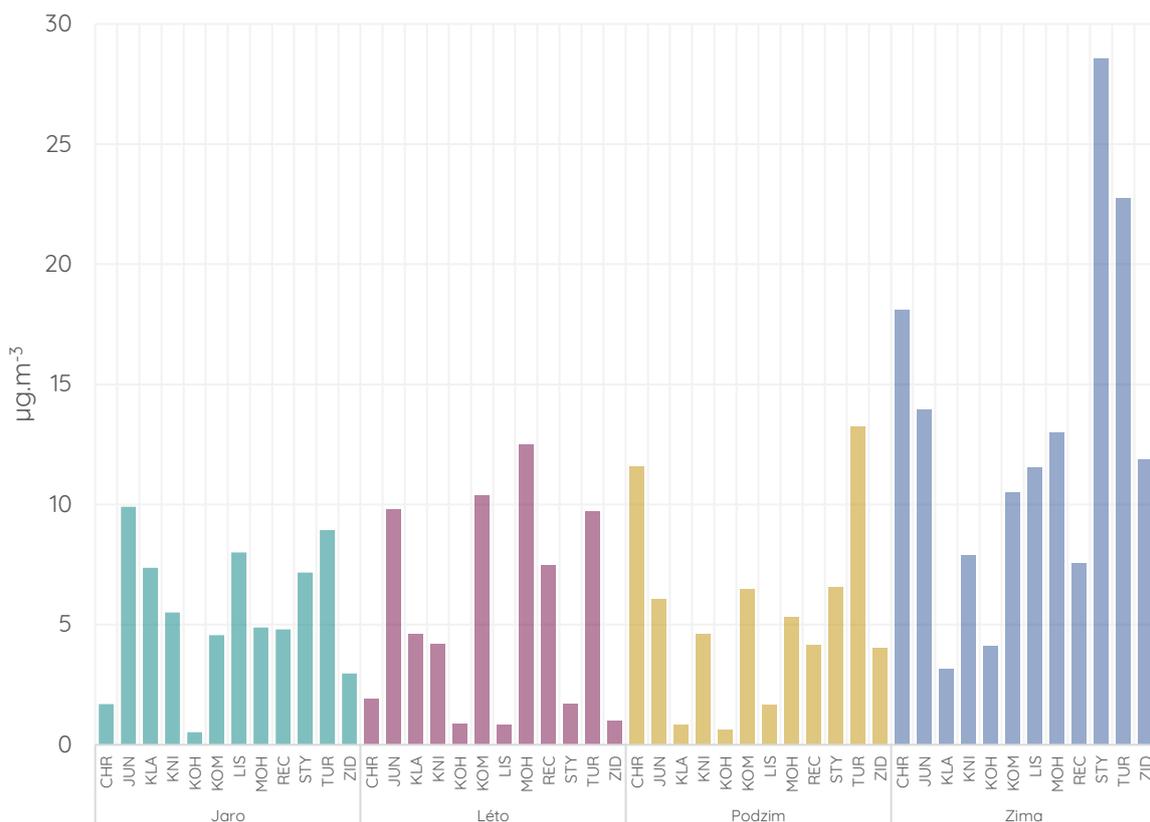
Měření oxidu dusnatého je založeno na chemiluminiscenci. Přímo pro NO není specifikován imisní limit.

Následující graf ukazuje průměrné koncentrace NO pro jednotlivé kampaně a celkově.



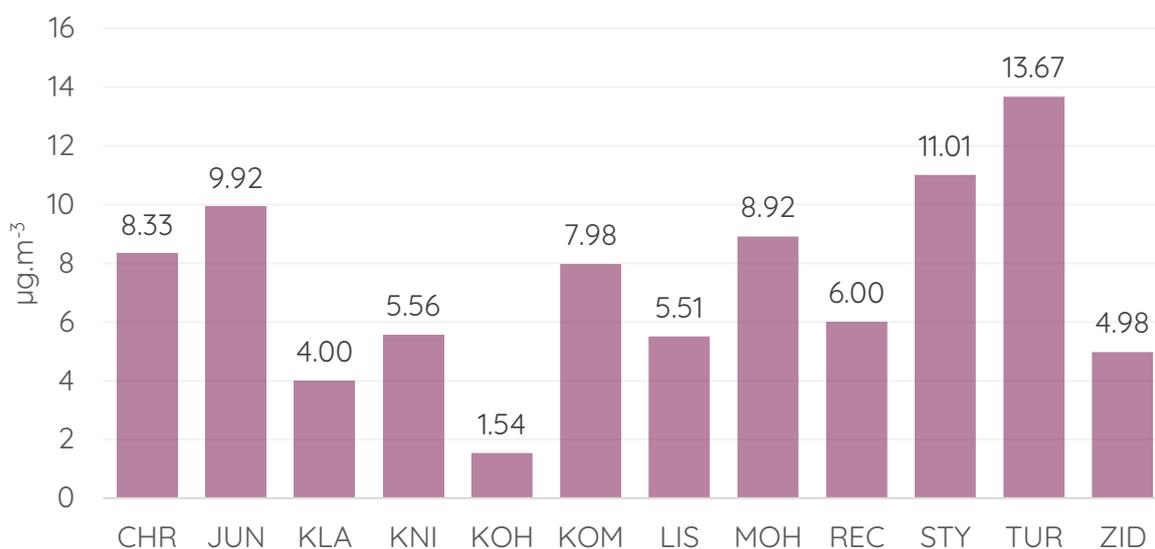
Obrázek 148 - průměrné koncentrace NO v jednotlivých měřicích kampaních a lokalitách a celkový průměr.

Následující graf ukazuje totožné koncentrace, tentokrát seřazené podle jednotlivých měřicích kampaní.



Obrázek 149 - průměrné koncentrace NO v jednotlivých měřicích kampaních.

Celkové průměrné koncentrace oxidu dusnatého za všechny čtyři měřicí kampaně na všech lokalitách ukazuje následující graf.

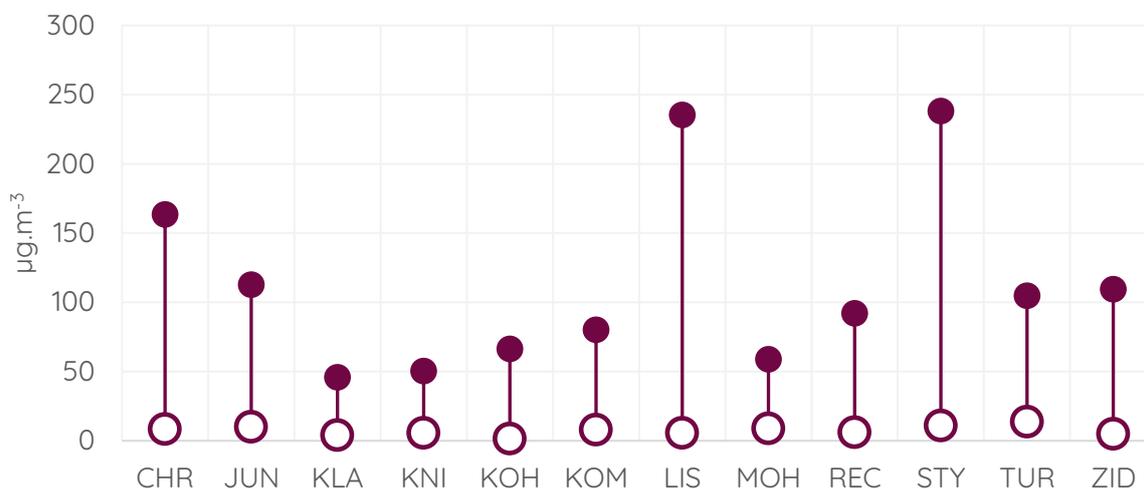


Obrázek 150 - průměrné koncentrace NO pro jednotlivé lokality měření za všechny měřicí kampaně.

V absolutních hodnotách byly nejvyšší průměrné koncentrace NO naměřeny v dopravně zatíženějších lokalitách Tuřany, Štýřice a Jundrov. NO na vzduchu oxiduje za vzniku NO<sub>2</sub> a

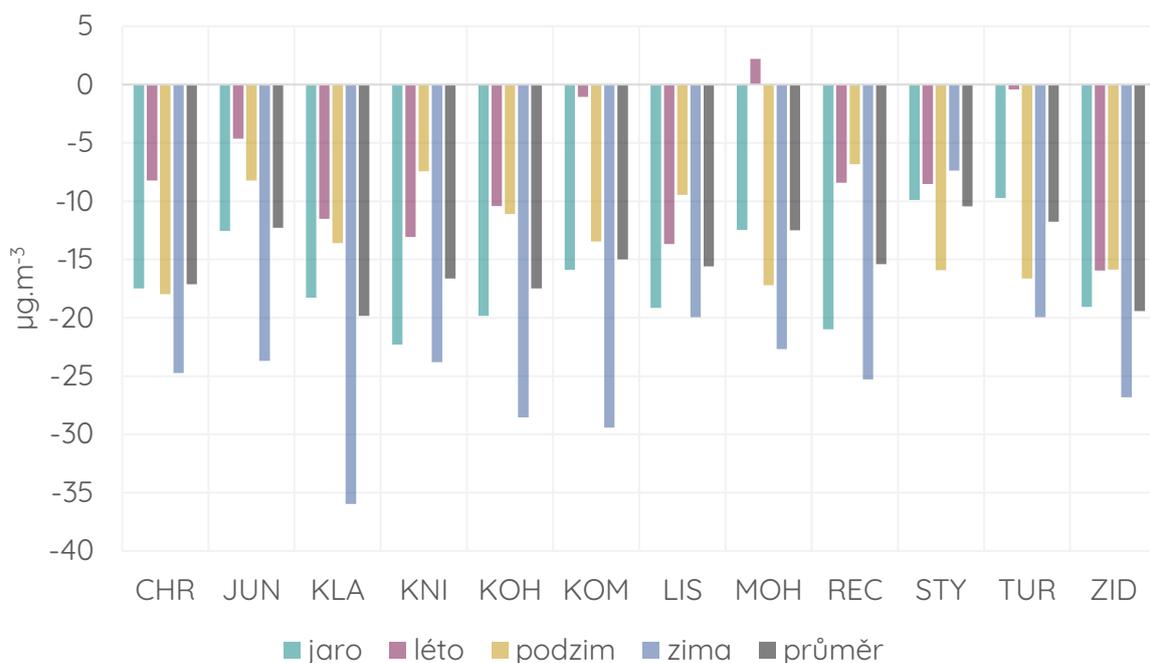
vysoké koncentrace NO jsou tak pozorovány zejména v malé vzdálenosti od zdroje NO (v tomto případě výfuků vozů).

Graf níže ukazuje průměrnou koncentraci (bílý bod) a maximální naměřenou hodinovou koncentraci NO za celé období monitoringu pro jednotlivé lokality.



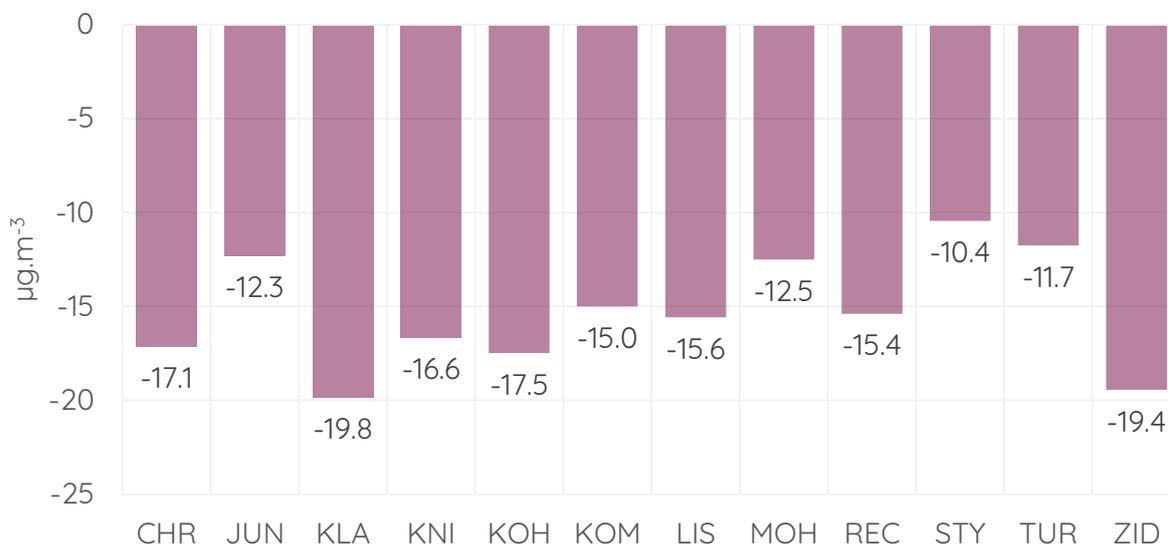
Obrázek 151 - průměrné a nejvyšší hodinové koncentrace NO pro jednotlivé lokality měření za všechny měřicí kampaně.

Jak bylo popsáno v textu výše, vyšší vypovídající hodnotu než absolutní hodnoty, má srovnání s hodnotami naměřenými ve stejném čase na ostatních brněnských stanicích v rámci SSIM. Hodnoty v grafu níže reprezentují rozdíl průměrné koncentrace z dané lokality a průměru ze všech brněnských stanic SSIM pro shodný čas. Záporné hodnoty značí koncentrace nižší, než byl průměr koncentrací pro brněnské stanice v SSIM a naopak. Tyto rozdíly byly zvlášť spočítány pro pozad'ové a dopravní stanice. Jelikož je pro různé látky odlišný počet dopravních a pozad'ových stanic, které danou látku v Brně monitorují, bylo by srovnání s celkovým průměrem zkreslující.



Obrázek 152 - rozdíl průměrné koncentrace NO v jednotlivých měřicích lokalitách a kampaních z průměrné koncentrace z brněnských dopravních stanic SSIM v příslušném období.

Graf níže pak ukazuje totéž, tentokrát však přehledněji pouze pro průměrný rozdíl za všechny čtyři měřicí kampaně.



Obrázek 153 - rozdíl průměrné koncentrace NO v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím NO v totožném období z dopravních stanic státní sítě imisního monitoringu v Brně.

V případě všech lokalit monitorovaných v rámci tohoto projektu byly průměrné koncentrace NO nižší, než je průměr pro brněnské dopravní stanice SSIM. Tento fakt lze vysvětlit skutečností, že tyto lokality nebyly v kombinaci tak výrazného dopravního zatížení

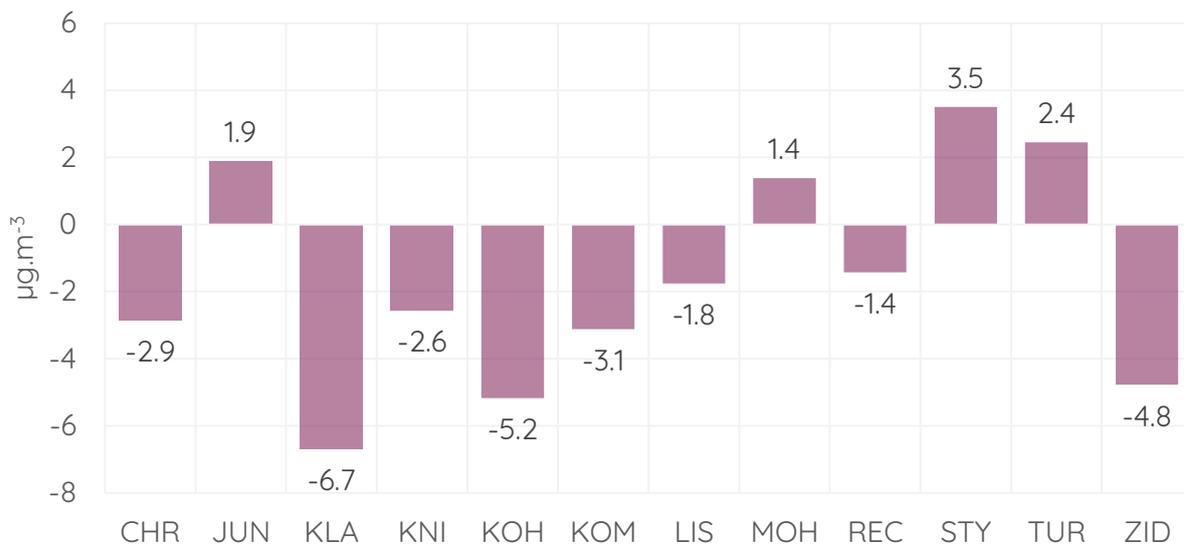
a blízkosti dopravní komunikaci, jako některé brněnské dopravní stanice. Nejvýraznější je tento rozdíl v případě odlehle lokality Klajdovka.

Následující grafy představují totožné srovnání, tentokrát však s průměrem z nikoliv dopravních, ale pozad'ových stanic.



Obrázek 154 - rozdíl průměrné koncentrace NO v jednotlivých měřicích lokalitách a kampaních z průměrné koncentrace z brněnských pozad'ových stanic SSIM v příslušném období.

Graf níže pak ukazuje totéž, tentokrát však přehledněji pouze pro průměrný rozdíl za všechny čtyři měřicí kampaně.



Obrázek 155 - rozdíl průměrné koncentrace NO v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím NO v totožném období z pozad'ových stanic státní sítě imisního monitoringu v Brně.

V případě srovnání s průměrem pozad'ových stanic je již patrné, že některé monitorované lokality zaznamenaly vyšší průměr. Většina těchto lokalit je v blízkosti dopravní komunikace, což je příčinou zvýšených koncentrací oxidu dusnatého v těchto lokalitách (Štýřice, Tuřany, Jundrov).

Pro srovnání je níže uvedeno srovnání ještě s průměrem regionální pozad'ové stanice Mikulov-Sedlec – odlehlé stanice reprezentující krajské pozadí.

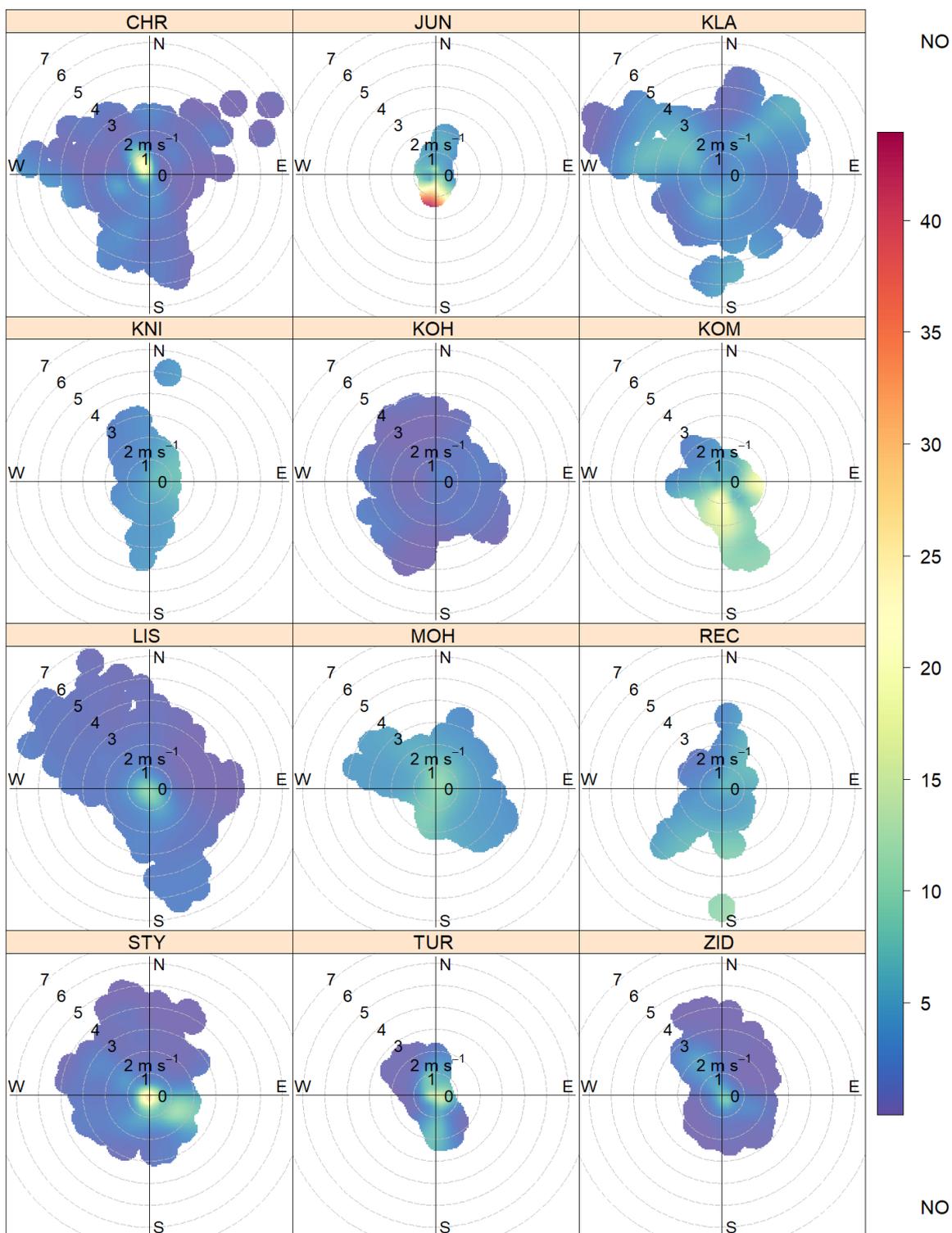


Obrázek 156 - rozdíl průměrné koncentrace NO v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrné koncentrace NO v totožném období z regionální pozad'ové stanice Mikulov-Sedlec.

Dle očekávání jsou koncentrace oxidu dusnatého na všech monitorovaných lokalitách v rámci tohoto projektu vyšší, než je průměr z regionální pozad'ové stanice, které je v úplné absenci blízkého zdroje dopravy.

Koncentrační růžice vyjadřují vztah mezi rychlostí větru, směrem větru a koncentracemi konkrétní znečišťující látky. Umožňují tedy například hodnotit, ze kterého směru přicházelo znečištění při nejvyšších hodnotách. Princip a způsob interpretace koncentračních růžic ukazuje Obrázek 15.

Následující přehled ukazuje koncentrační růžice pro všechny lokality za všechny měřicí kampaně se sjednocenou škálou pro možnost srovnání.

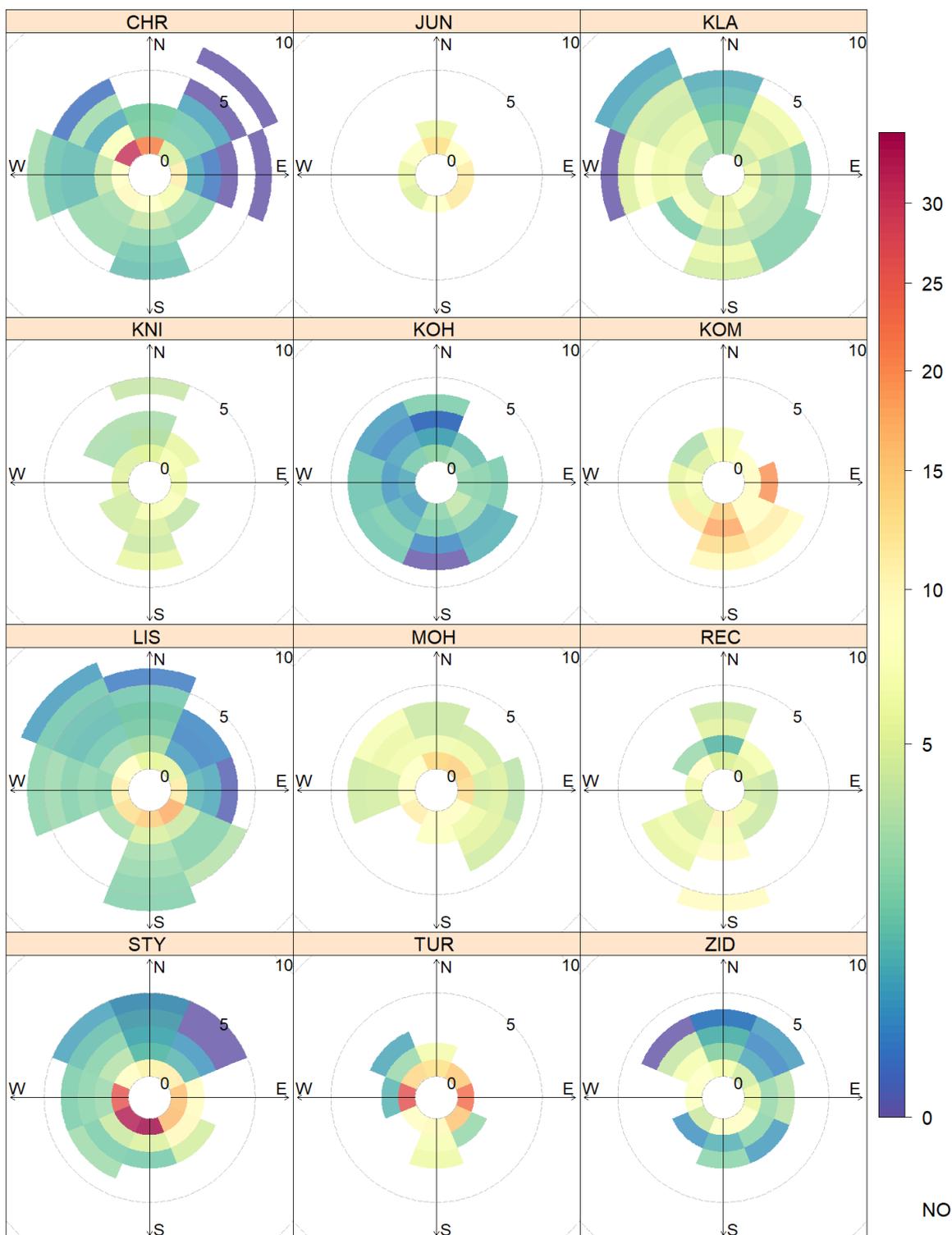


Obrázek 157 - koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi NO pro jednotlivé lokality měření za všechny čtyři měřicí kampaně.

Výše bylo popsáno, proč bývají koncentrace NO vyšší zejména velmi blízko zdrojů, ve městech zejména dopravních zdrojů. Toto dobře ilustrují i koncentrační růžice NO, u kterých je v případě lokalit s výraznějším vlivem dopravy patrné, že koncentrace byly nejvyšší při velmi nízkých rychlostech větru (u středu růžice), kdy dochází ke kumulaci

znečištění v daném místě. Toto je dobře patrné například u růžic z lokality Chrlice nebo Štýřice.

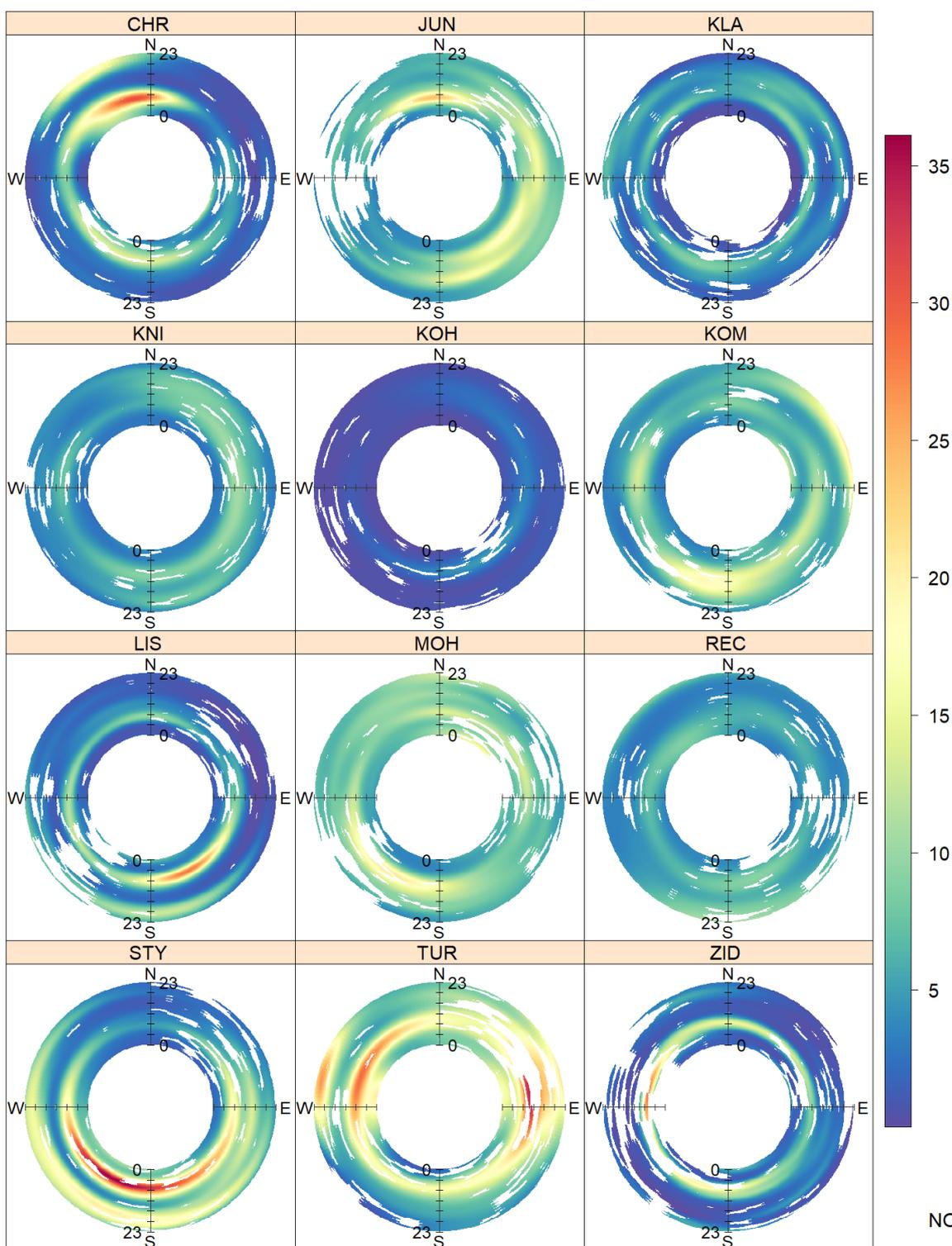
Vizualizace níže ukazuje tzv. vážené koncentrační růžice. V tomto případě je brán v potaz i čas, po který z daného směru znečištění proudilo. Zatímco koncentrační růžice (ne vážené) ukazují průměrnou koncentraci pro konkrétní směr a rychlost větru, u vážené koncentrační růžice je hodnoceno celkové množství znečištění, které se v dané lokalitě při dané kombinaci směru a rychlosti větru vyskytlo. Pokud je tedy například určitý směr proudění velmi častý, i přes relativně nízké koncentrace z daného směru, může v celkovém součtu daný směr přispívat k celkovému znečištění významně a naopak.



Obrázek 158 - vážené koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi NO pro jednotlivé lokality měření za všechny čtyři měřicí kampaně.

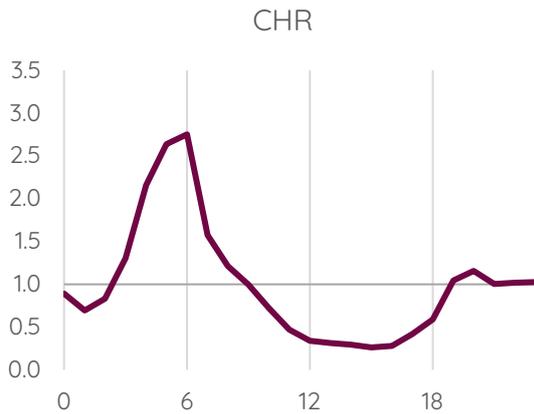
U výše uvedených vážených koncentračních růžic je opět velmi dobře patrný vliv dopravy. V lokalitách Štýřice, Tuřany, Komín i Chrlice má výrazný podíl směr, ve kterém se nachází dopravní komunikace a zároveň má významnou frekvenci zastoupení.

Vztah mezi směrem větru, koncentrací znečišťující látky a hodinou dne ukazují tzv. anulární koncentrační růžice. Jejich interpretace je blíže popsána v grafice výše (Obrázek 16). Následující přehled anulárních koncentračních růžic ukazuje tento vztah pro NO jako souhrn ze všech měřicích kampaní pro jednotlivé lokality.

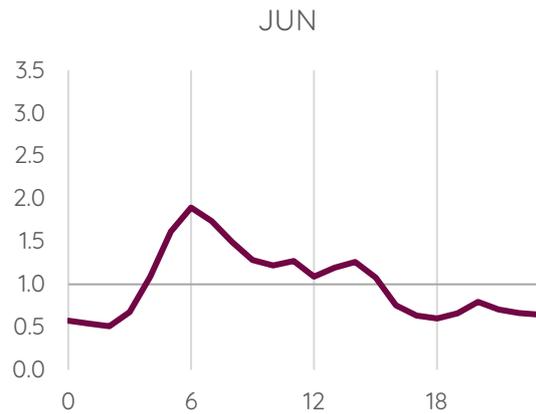


Obrázek 159 - anulární koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi směrem větru, koncentracemi NO a hodinou dne (UTC) pro jednotlivé lokality za všechny měřicí kampaně.

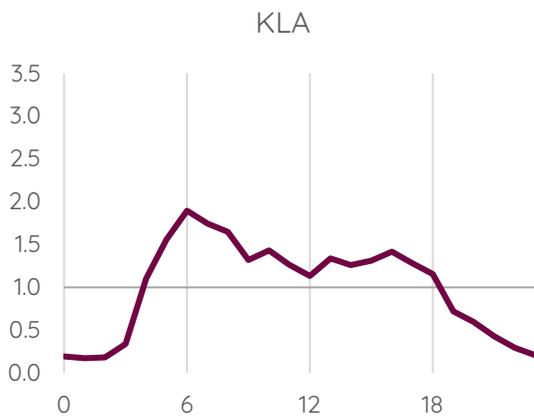
Následující grafy ukazují průměrný denní chod koncentrací oxidu dusičitého. V tomto případě je cílem zobrazit průměrný denní chod, nikoliv absolutní hodnoty koncentrací. Hodnoty tedy byly normalizovány – každá z průměrných koncentrací pro konkrétní hodinu a lokalitu byla srovnána s celkovým průměrem pro danou lokalitu. Hodnota pro každou hodinu tedy ukazuje podíl průměrné koncentrace v danou hodinu dne oproti celkovému průměru. Například hodnota 2 ukazuje, že v danou hodinu dne byly koncentrace v průměru dvojnásobné oproti průměru pro danou lokalitu. Pro všechny grafy byla použita totožná škála, aby bylo možné srovnávat variabilitu denního chodu koncentrací. Všechny hodiny dne jsou v čase UTC (v případě letního času -2 hodiny oproti občanskému času, v případě zimního času -1 hodina oproti občanskému času).



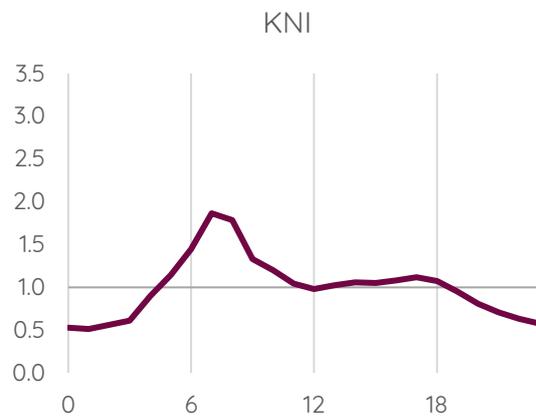
Obrázek 160 - průměrný denní chod koncentrací NO v lokalitě Chrlice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



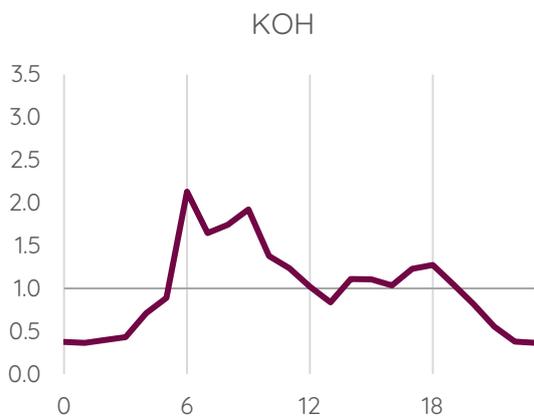
Obrázek 161 - průměrný denní chod koncentrací NO v lokalitě Jundrov. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



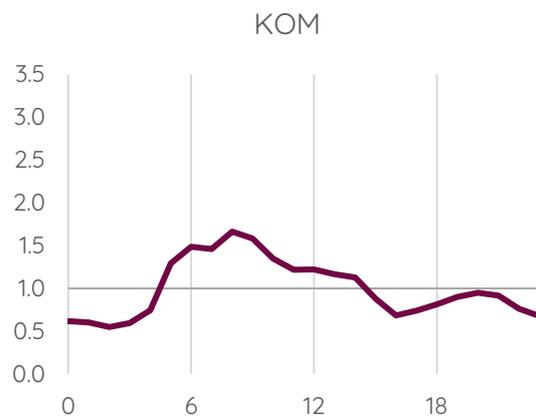
Obrázek 162 - průměrný denní chod koncentrací NO v lokalitě Klajdovka. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



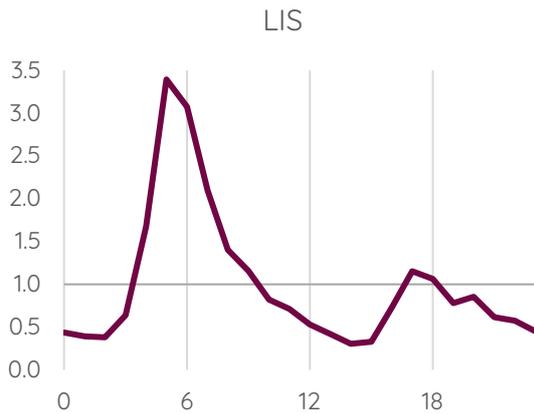
Obrázek 163 - průměrný denní chod koncentrací NO v lokalitě Kníničky. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



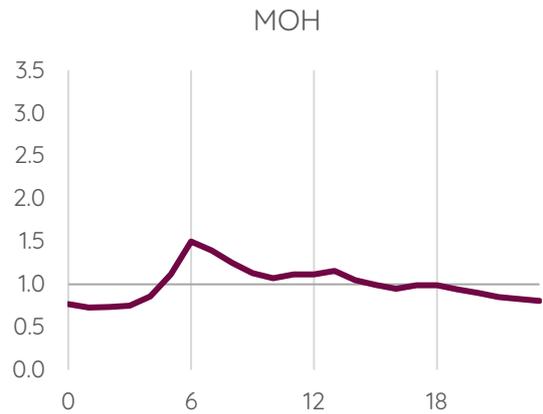
Obrázek 164 - průměrný denní chod koncentrací NO v lokalitě Kohoutovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



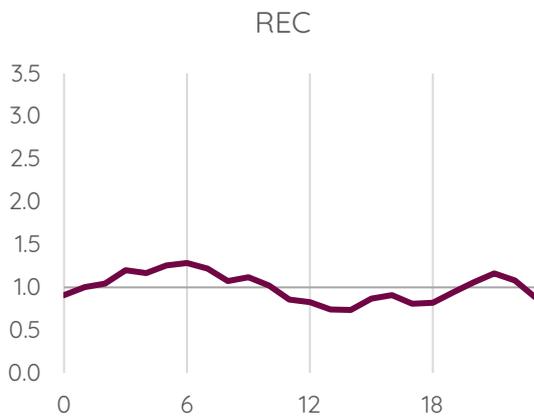
Obrázek 165 - průměrný denní chod koncentrací NO v lokalitě Komín. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



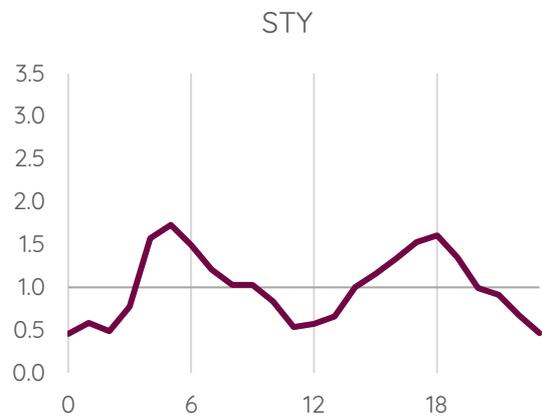
Obrázek 166 - průměrný denní chod koncentrací NO v lokalitě Líšeň. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



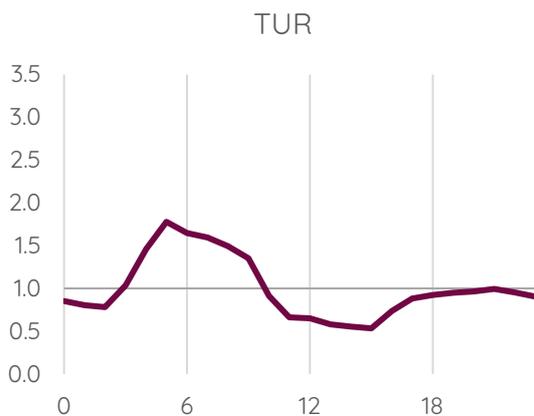
Obrázek 167 - průměrný denní chod koncentrací NO v lokalitě Mokrá Hora. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



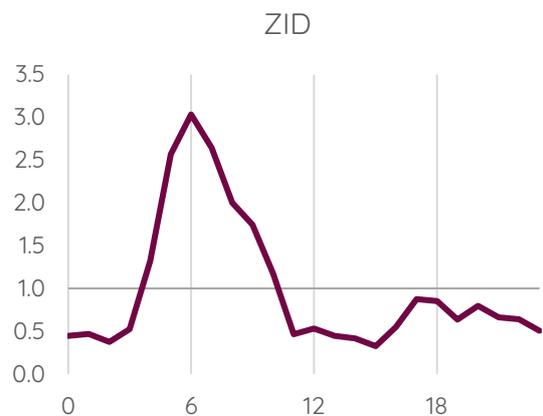
Obrázek 168 - průměrný denní chod koncentrací NO v lokalitě Řečkovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 169 - průměrný denní chod koncentrací NO v lokalitě Štýřice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



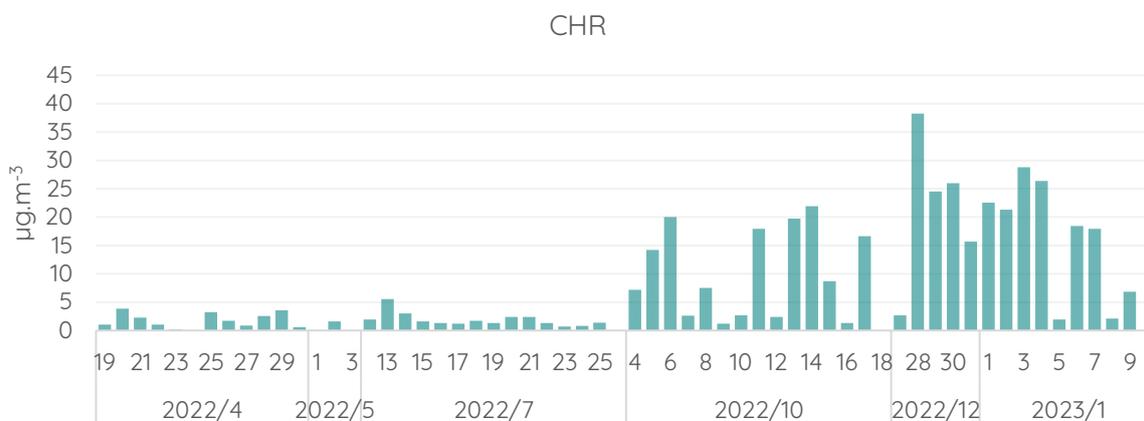
Obrázek 170 - průměrný denní chod koncentrací NO v lokalitě Tuřany. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



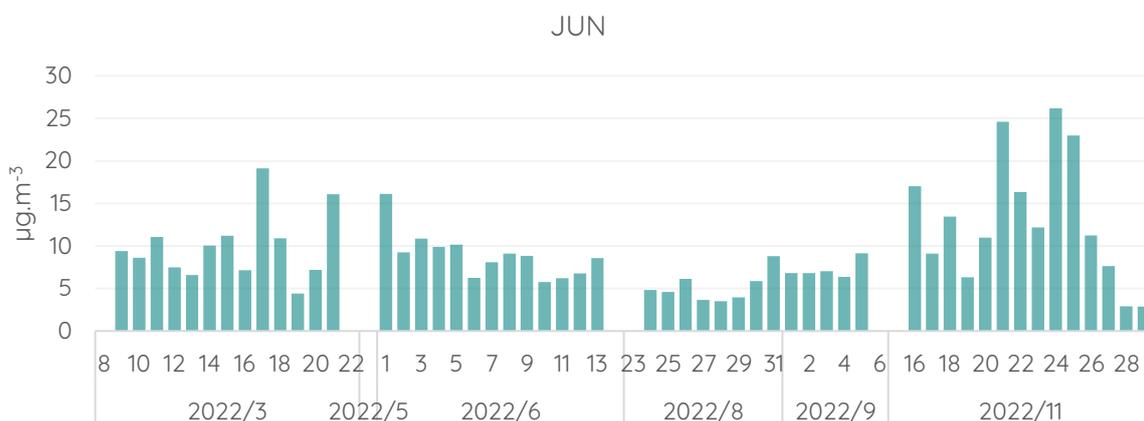
Obrázek 171 - průměrný denní chod koncentrací NO v lokalitě Židenice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.

Grafy průměrného denního chodu koncentrací oxidu dusnatého vykazují podobný charakter jako grafy průměrného denního chodu koncentrací oxidu dusičitého, vliv dopravy je zde ale ještě výraznější. Velmi výrazně se na koncentracích NO podepisují zejména ranní dopravní špičky, kdy na některých lokalitách stoupaly koncentrace až na více než trojnásobek průměrné denní koncentrace.

Následující sloupcové grafy ukazují průměrné denní koncentrace NO. Denní průměrné koncentrace byly spočítány pouze pro ty dny, pro které byla dostupná data pro alespoň 75 % (16) hodin dne.



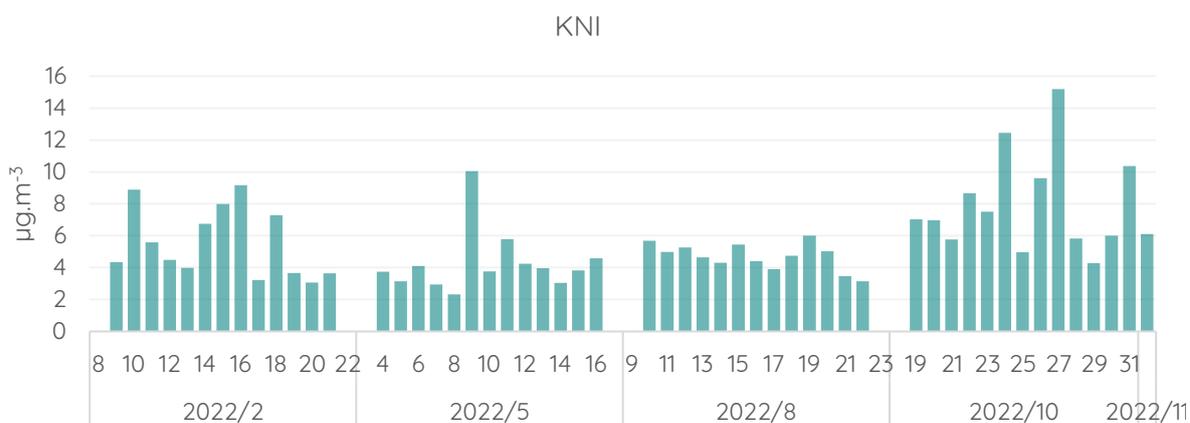
Obrázek 172 - průměrné denní koncentrace NO za všechny dny měření v lokalitě Chrlice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



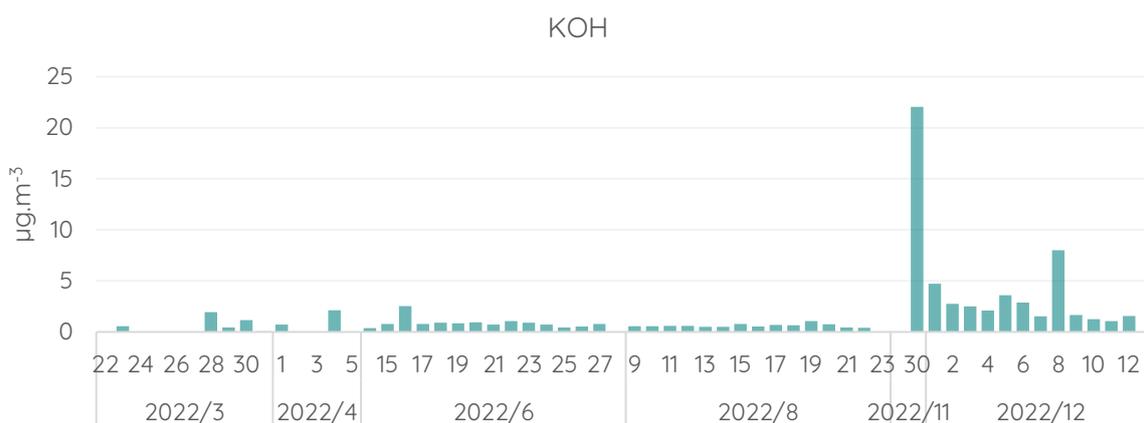
Obrázek 173 - průměrné denní koncentrace NO za všechny dny měření v lokalitě Jundrov, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



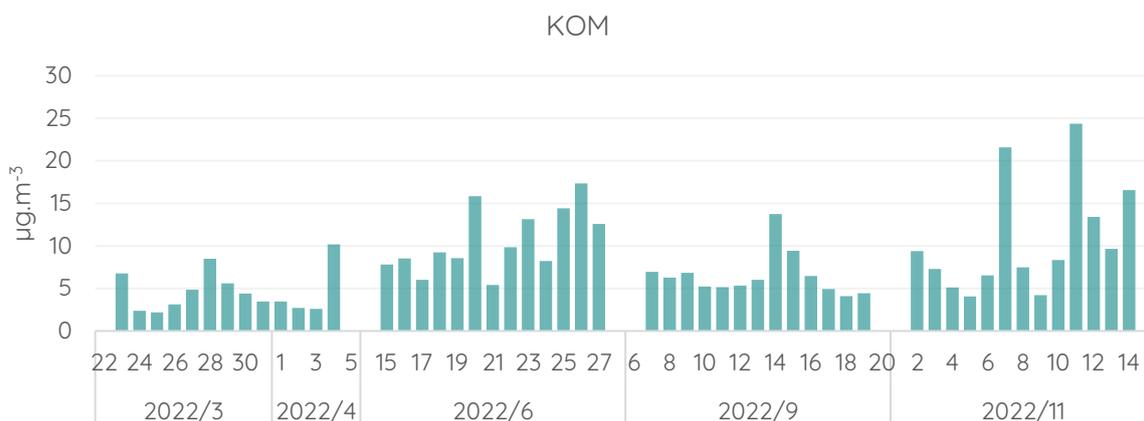
Obrázek 174 - průměrné denní koncentrace NO za všechny dny měření v lokalitě Klajdovka, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



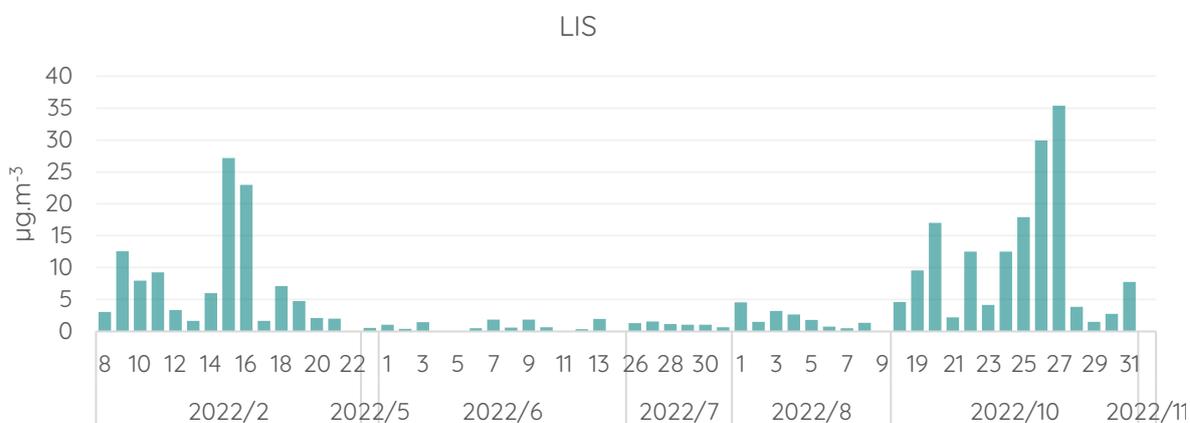
Obrázek 175 - průměrné denní koncentrace NO za všechny dny měření v lokalitě Kníničky, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



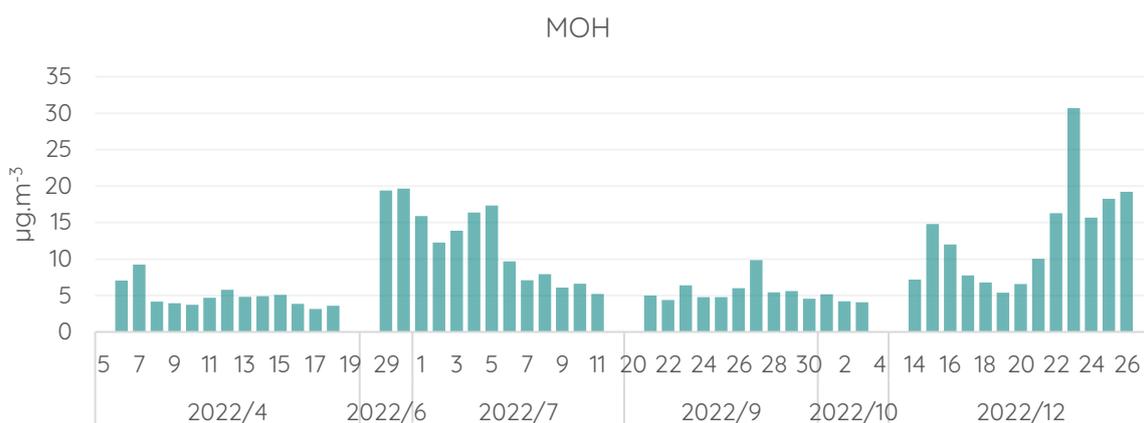
Obrázek 176 - průměrné denní koncentrace NO za všechny dny měření v lokalitě Kohoutovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



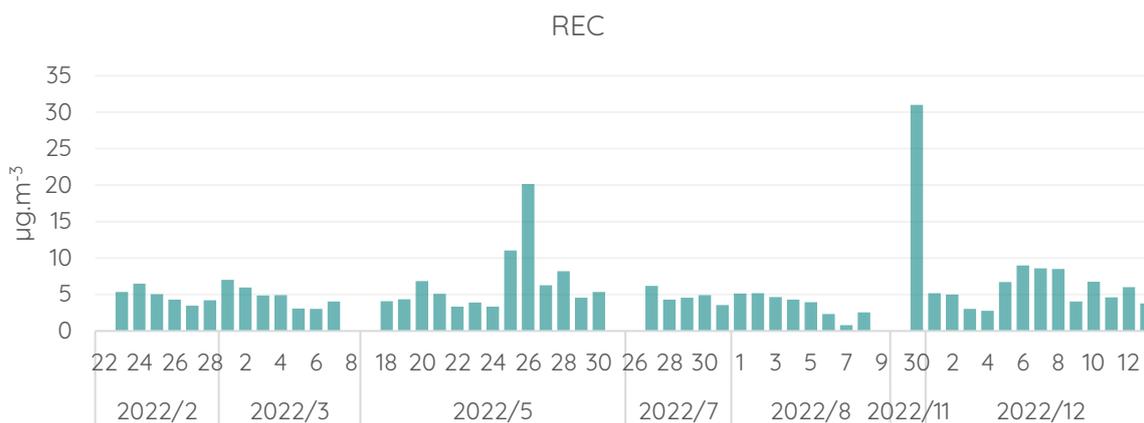
Obrázek 177 - průměrné denní koncentrace NO za všechny dny měření v lokalitě Komín, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



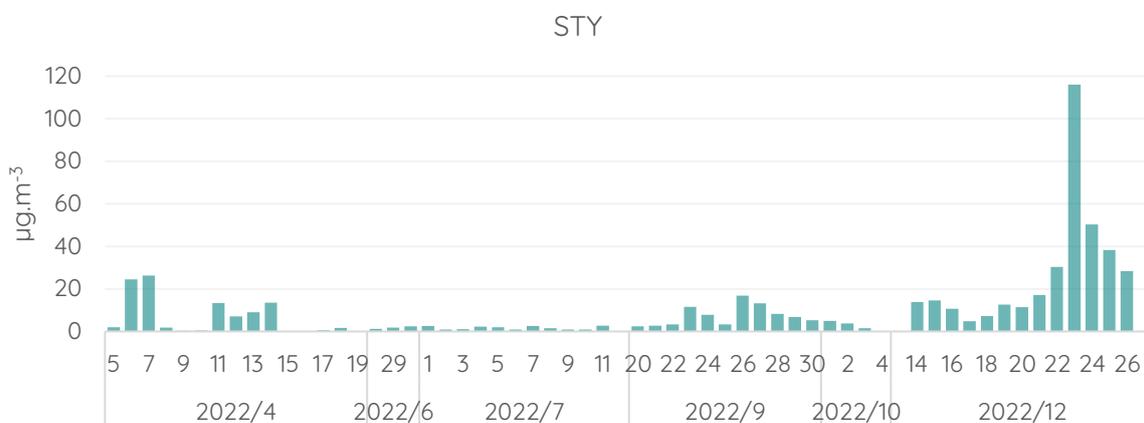
Obrázek 178 - průměrné denní koncentrace NO za všechny dny měření v lokalitě Líšeň, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



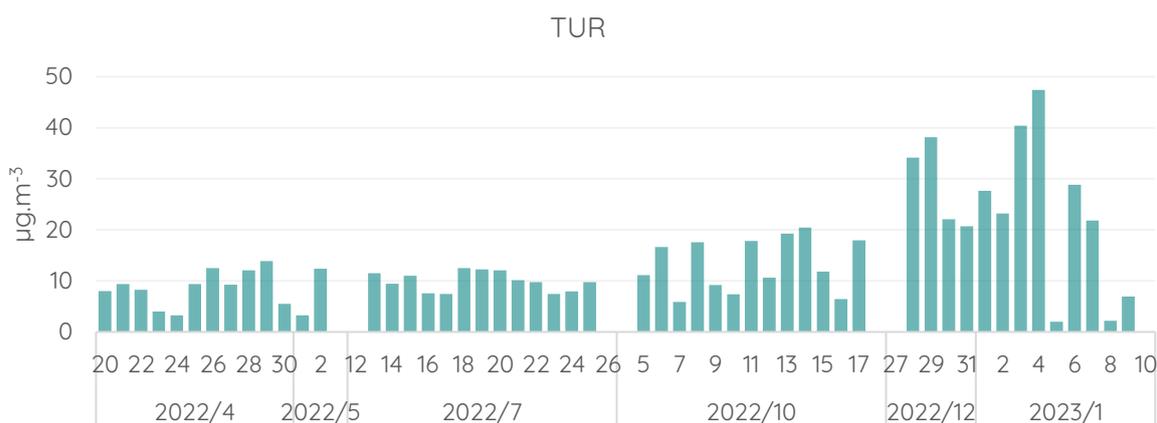
Obrázek 179 - průměrné denní koncentrace NO za všechny dny měření v lokalitě Mokrá Hora, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



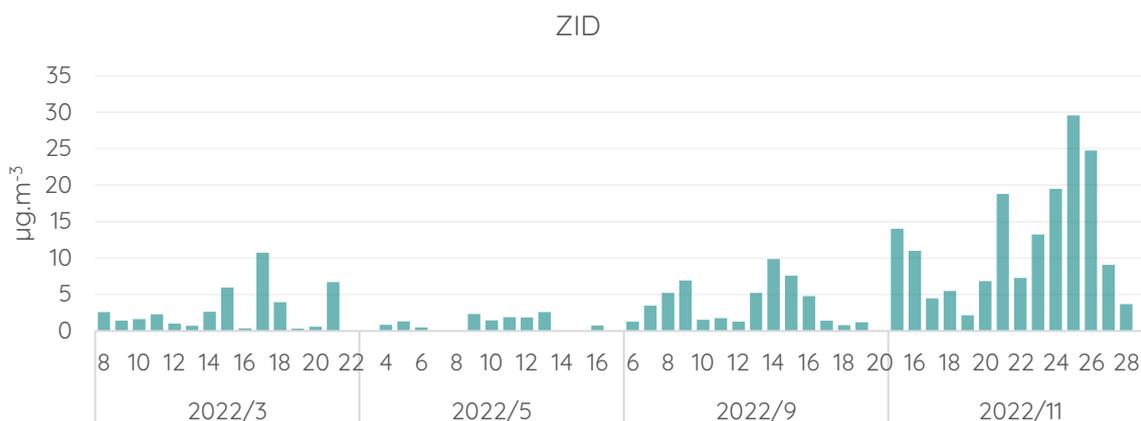
Obrázek 180 - průměrné denní koncentrace NO za všechny dny měření v lokalitě Řečkovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 181 - průměrné denní koncentrace NO za všechny dny měření v lokalitě Štýřice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 182 - průměrné denní koncentrace NO za všechny dny měření v lokalitě Tuřany, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



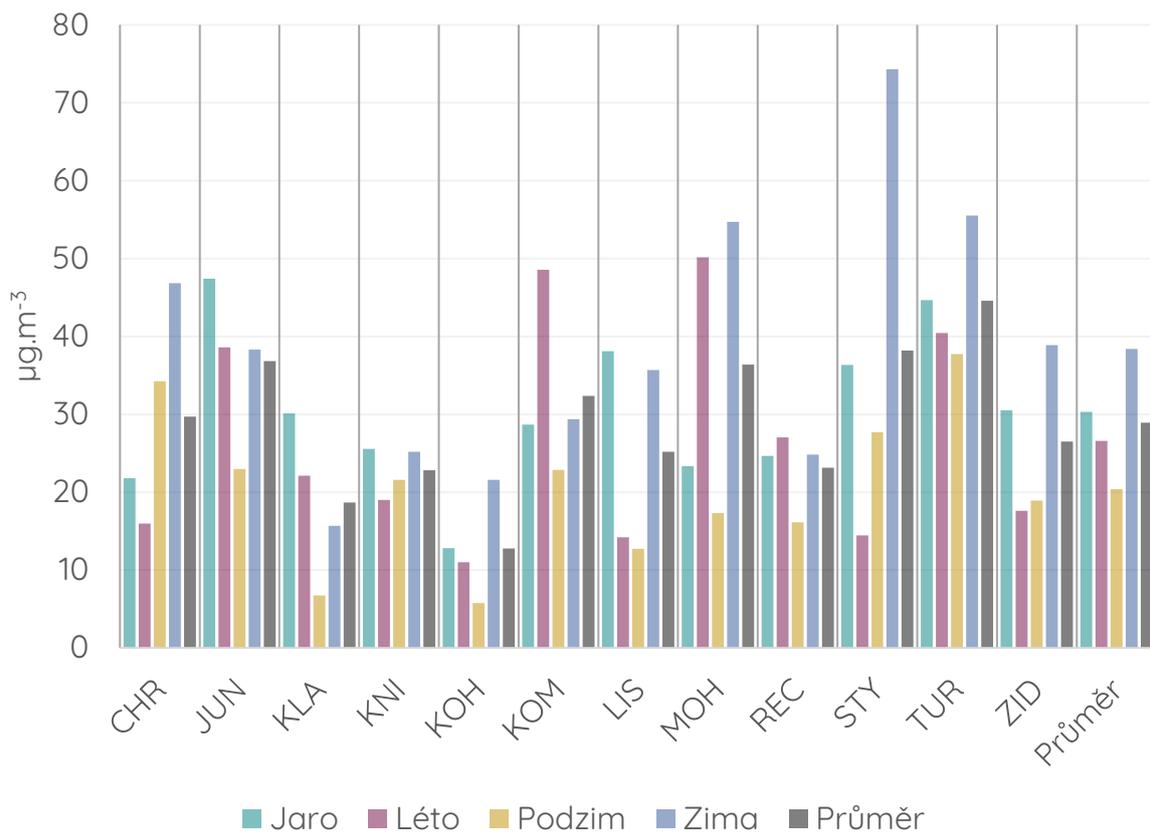
Obrázek 183 - průměrné denní koncentrace NO za všechny dny měření v lokalitě Židenice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.

Nejvyšší průměrná denní koncentrace oxidu dusnatého byla zaznamenána v lokalitě Štýřice 23. 12. 2022 (116,0 µg·m<sup>-3</sup>).

### Oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>)

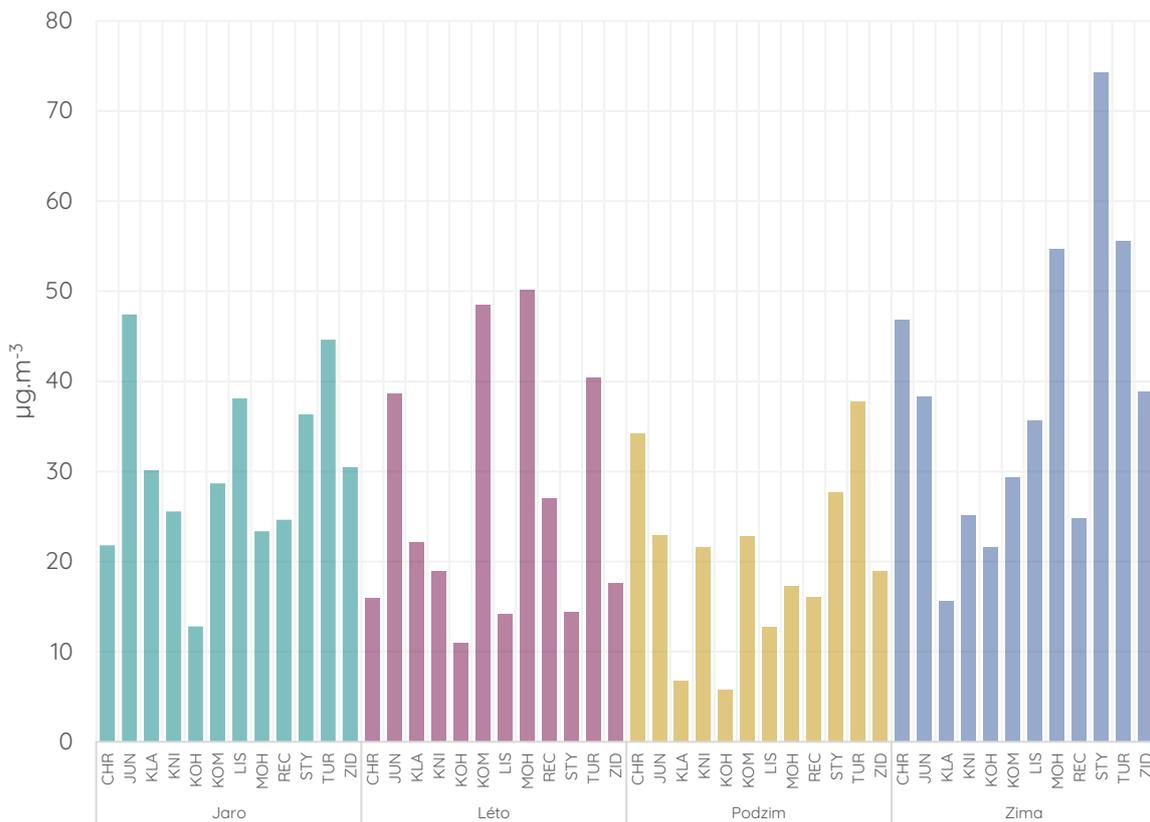
Oxidy dusíku v kontextu kvality ovzduší představují souhrnně oxid dusičitý a oxid dusnatý. Jelikož byly výsledky pro tyto dílčí znečišťující látky podrobně popsány v předchozích dvou kapitolách, jsou v této kapitole pouze shrnuty numerické výsledky měření bez podrobného vysvětlení.

Následující graf ukazuje průměrné koncentrace NO<sub>x</sub> pro jednotlivé kampaně a celkově.



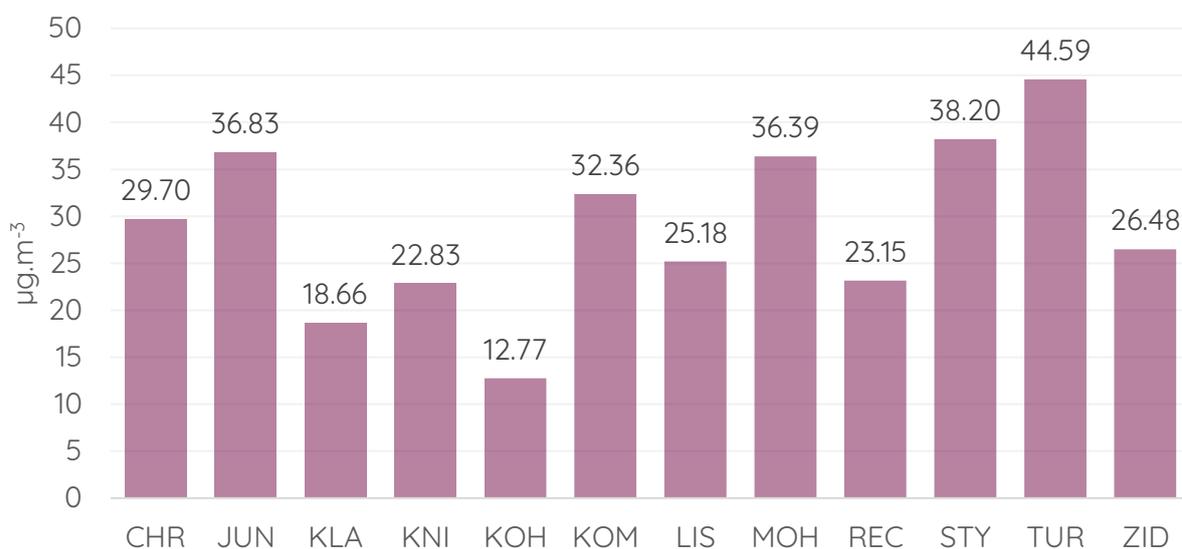
Obrázek 184 - průměrné koncentrace NO<sub>x</sub> v jednotlivých měřicích kampaních a lokalitách a celkový průměr.

Následující graf ukazuje totožné koncentrace, tentokrát seřazené podle jednotlivých měřicích kampaní.



Obrázek 185 - průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> v jednotlivých měřících kampaních.

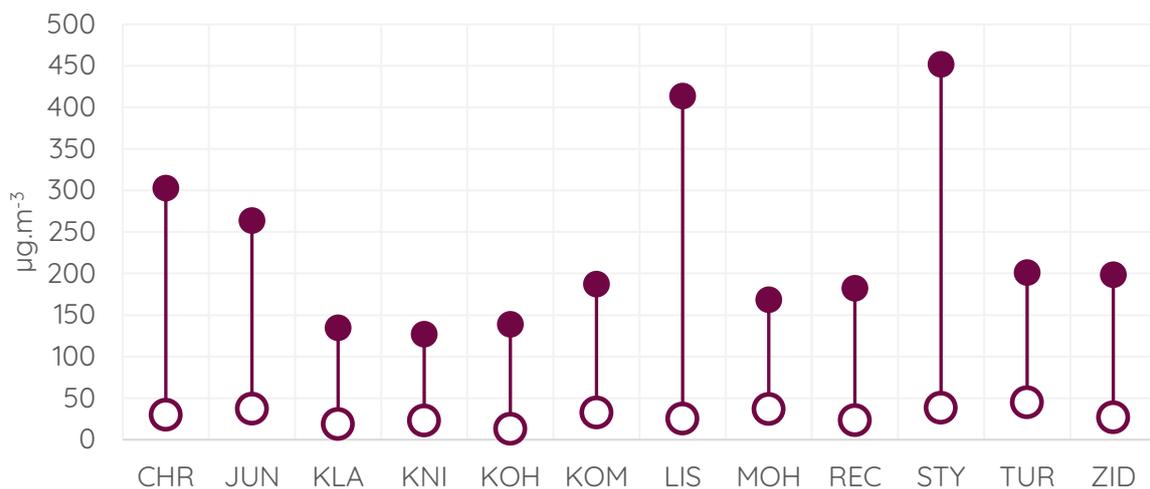
Celkové průměrné koncentrace oxidů dusíku za všechny čtyři měřící kampaně na všech lokalitách ukazuje následující graf.



Obrázek 186 - průměrné koncentrace NO<sub>x</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny měřící kampaně.

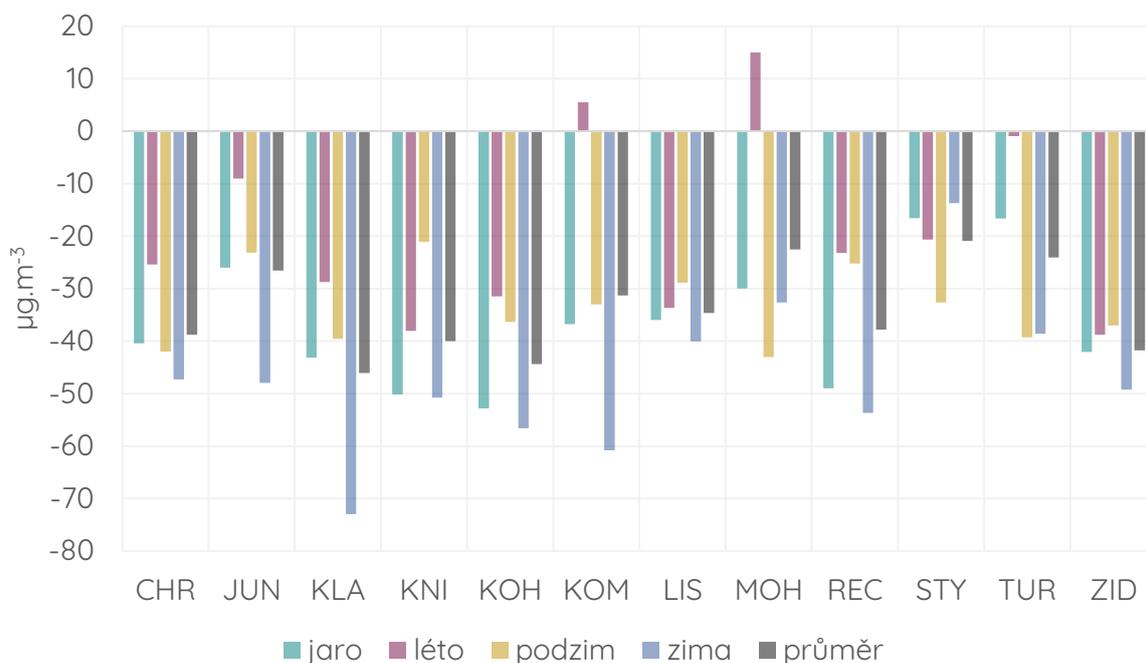
Graf absolutních průměrných koncentrací NO<sub>x</sub> ukazuje, že nejvyšší byly koncentrace v lokalitách, které byly v blízkosti dopravní komunikace a tou ovlivněny (Tuřany, Štýřice, Komín, Jundrov).

Graf níže ukazuje průměrnou koncentraci (bílý bod) a maximální naměřenou hodinovou koncentraci NO<sub>x</sub> za celé období monitoringu pro jednotlivé lokality.



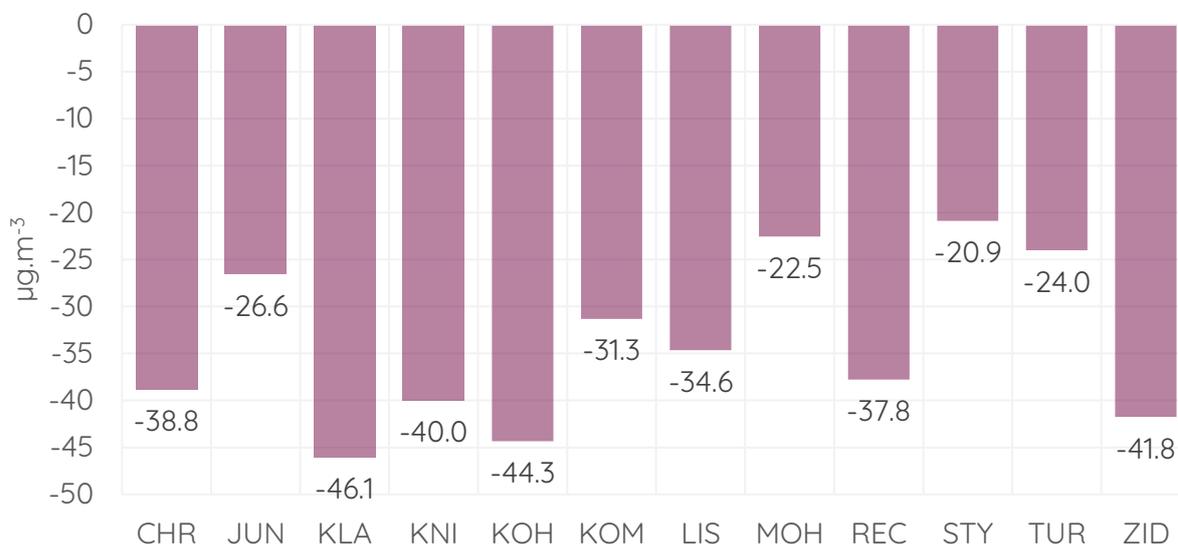
Obrázek 187 - průměrné a nejvyšší hodinové koncentrace NO<sub>2</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny měřicí kampaně.

Jak bylo popsáno v textu výše, vyšší vypovídající hodnotu než absolutní hodnoty, má srovnání s hodnotami naměřenými ve stejném čase na ostatních brněnských stanicích v rámci SSIM. Hodnoty v grafu níže reprezentují rozdíl průměrné koncentrace z dané lokality a průměru ze všech brněnských stanic SSIM pro shodný čas. Záporné hodnoty značí koncentrace nižší, než byl průměr koncentrací pro brněnské stanice v SSIM a naopak. Tyto rozdíly byly zvláště spočítány pro pozad'ové a dopravní stanice. Jelikož je pro různé látky odlišný počet dopravních a pozad'ových stanic, které danou látku v Brně monitorují, bylo by srovnání s celkovým průměrem zkreslující.



Obrázek 188 - rozdíl průměrné koncentrace NO<sub>x</sub> v jednotlivých měřicích lokalitách a kampaních z průměrné koncentrace z brněnských dopravních stanic SSIM v příslušném období.

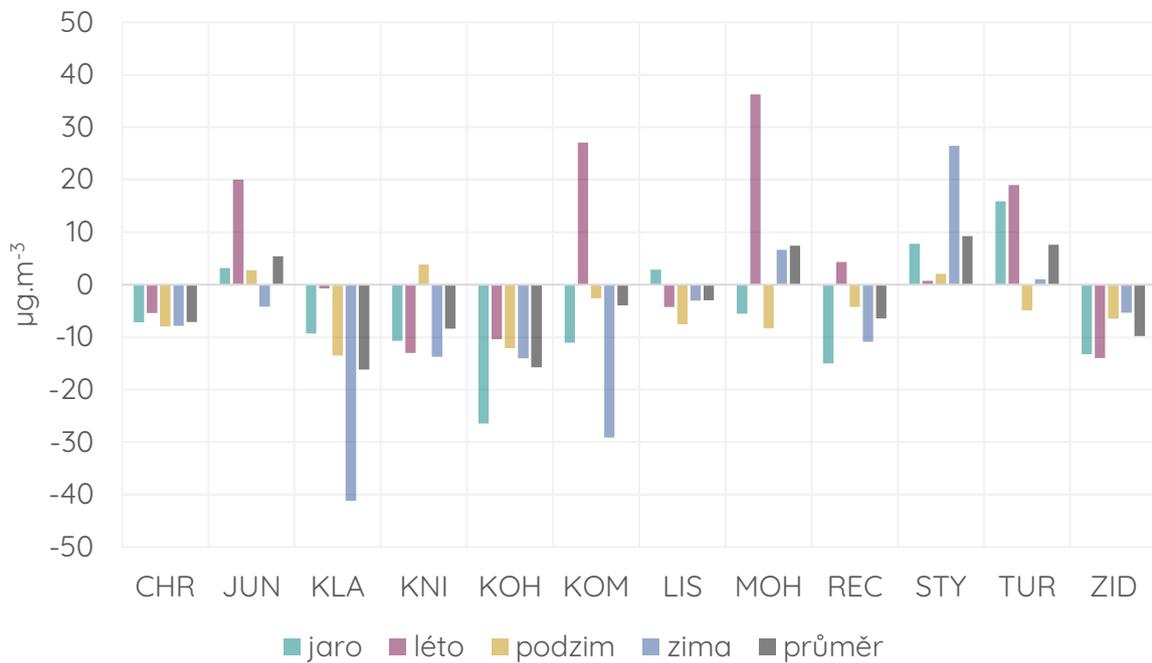
Graf níže pak ukazuje totéž, tentokrát však přehledněji pouze pro průměrný rozdíl za všechny čtyři měřicí kampaně.



Obrázek 189 - rozdíl průměrné koncentrace NO<sub>x</sub> v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím NO<sub>x</sub> v totožném období z dopravních stanic státní sítě imisního monitoringu v Brně.

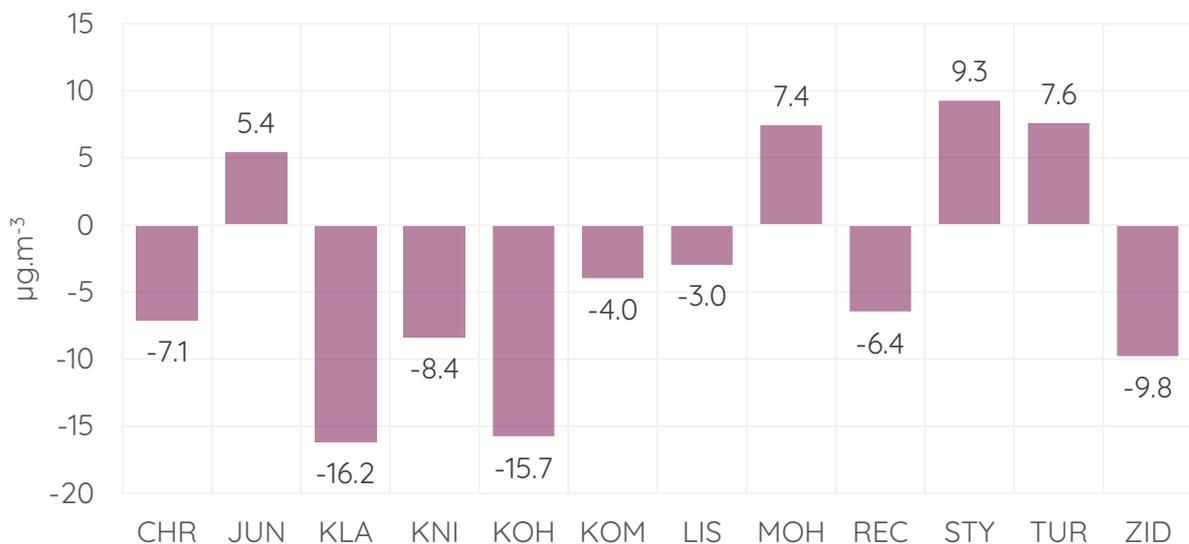
Ve srovnání s průměrem dopravních stanic SSIM v Brně byly koncentrace oxidů dusíku na všech monitorovaných lokalitách podprůměrné. Souvisí to s faktem, že lokality měřené v této kampani pravděpodobně nebyly v kombinaci tak malé vzdálenosti k vozovce a takového dopravního zatížení.

Následující grafy představují totožné srovnání, tentokrát však s průměrem z nikoliv dopravních, ale pozad'ových stanic.



Obrázek 190 - rozdíl průměrné koncentrace NO<sub>x</sub> v jednotlivých měřicích lokalitách a kampaních z průměrné koncentrace z brněnských pozad'ových stanic SSIM v příslušném období.

Graf níže pak ukazuje totéž, tentokrát však přehledněji pouze pro průměrný rozdíl za všechny čtyři měřicí kampaně.



Obrázek 191 - rozdíl průměrné koncentrace NO<sub>x</sub> v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím NO<sub>x</sub> v totožném období z pozad'ových stanic státní sítě imisního monitoringu v Brně.

V případě srovnání s pozad'ovými stanicemi je již patrné, že na některých lokalitách byly zaznamenány vyšší průměrné koncentrace NO<sub>x</sub>. To indikuje, že tyto lokality byly svým charakterem někde mezi dopravní a pozad'ovou stanicí – mohly být například ovlivněny dopravní komunikací, která nebyla tak dopravně vytížená nebo mohla být mezi měřenou lokalitou a dopravní komunikací větší vzdálenost. Vyšší než pozad'ový průměr byly koncentrace NO<sub>x</sub> například v lokalitách Jundrov, Štýřice nebo Tuřany. Naopak velmi nízké byly koncentrace dusíků na odlehlejších lokalitách Kohoutovice a Klajdovka v okrajové části Brna.

Pro srovnání je níže uvedeno srovnání ještě s průměrem regionální pozad'ové stanice Mikulov-Sedlec – odlehlé stanice reprezentující krajské pozadí.

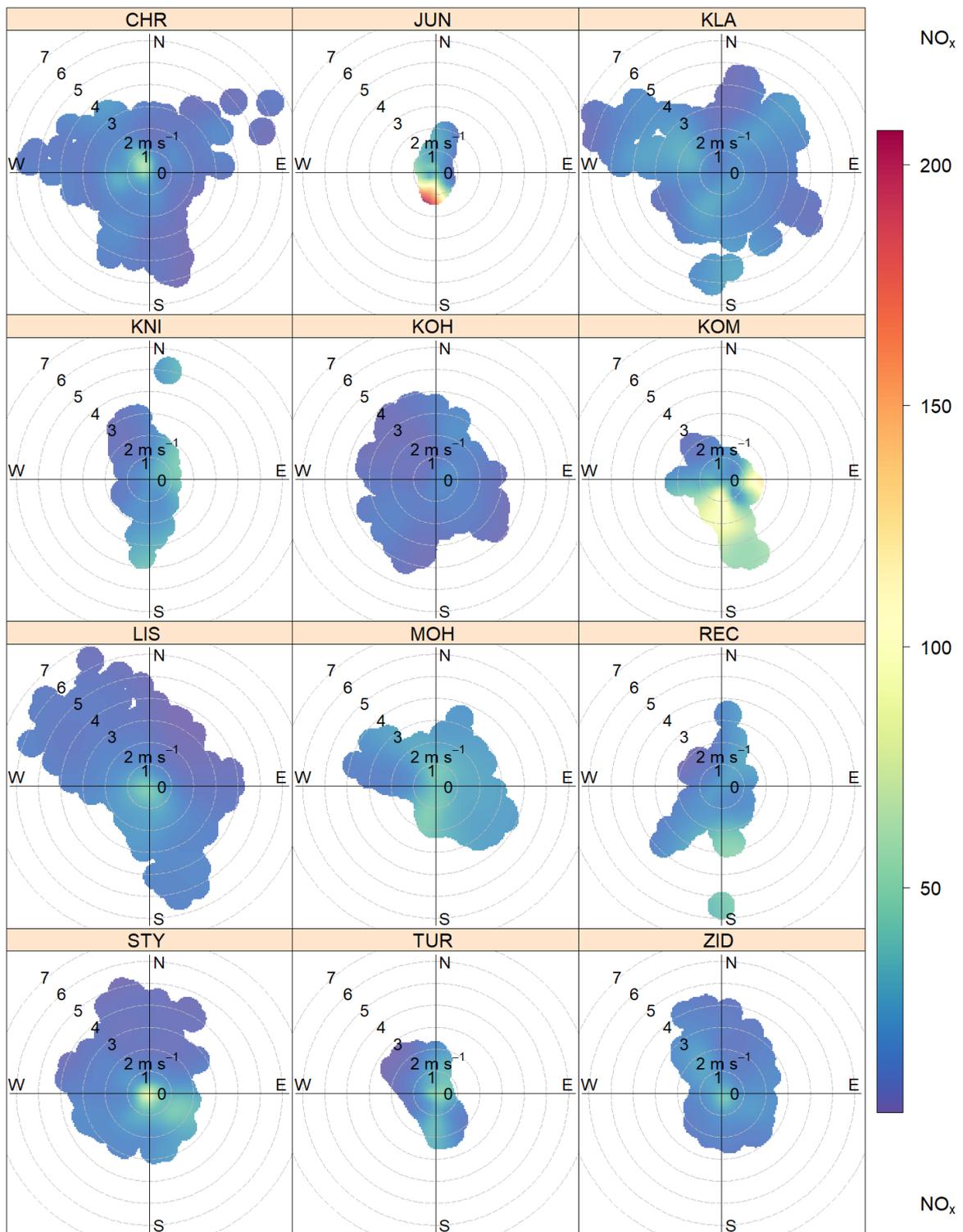


Obrázek 192 - rozdíl průměrné koncentrace NO<sub>x</sub> v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrné koncentrace NO<sub>x</sub> v totožném období z regionální pozad'ové stanice Mikulov-Sedlec.

Tak nízké jako v Mikulově-Sedleci na regionální pozad'ové stanici nebyly koncentrace oxidů dusíku na žádné z monitorovaných lokalit, což dobře ilustruje vliv dopravy, která je v České republice hlavním zdrojem emisí této látky.

Koncentrační růžice vyjadřují vztah mezi rychlostí větru, směrem větru a koncentracemi konkrétní znečišťující látky. Umožňují tedy například hodnotit, ze kterého směru přicházelo znečištění při nejvyšších hodnotách. Princip a způsob interpretace koncentračních růžic ukazuje Obrázek 15.

Následující přehled ukazuje koncentrační růžice pro všechny lokality za všechny měřicí kampaně se sjednocenou škálou pro možnost srovnání.

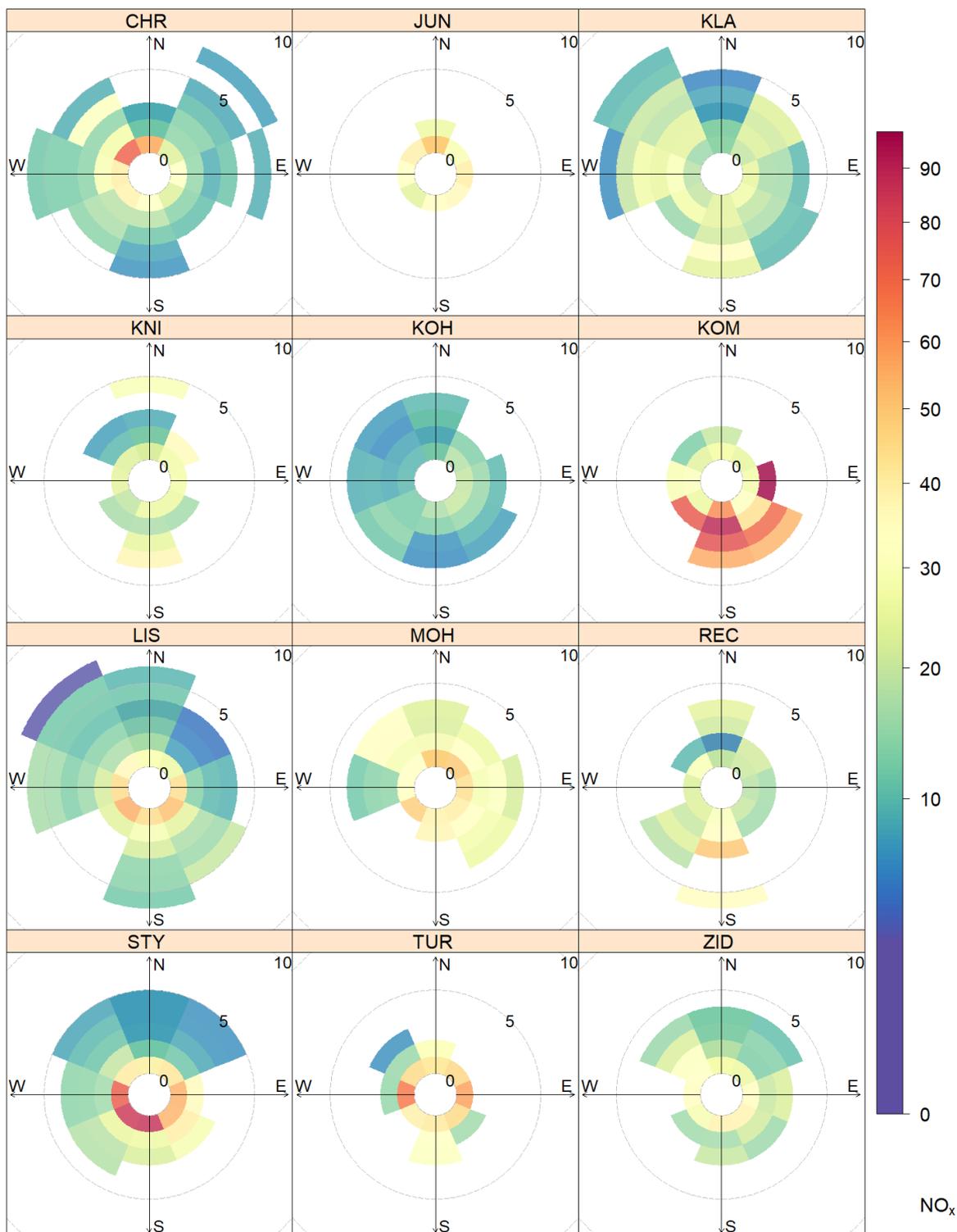


Obrázek 193 - koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi NO<sub>x</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny čtyři měřicí kampaně.

Pravděpodobné příčiny vysokých koncentrací oxidů dusíku v Jundrově při jižním proudění byly popsány v předchozích kapitolách. Patrné je, že na dopravně zatíženějších lokalitách jsou koncentrace nejvyšší při nízké rychlosti proudění (blízko středu růžice) – zdroj oxidů

dusíku (doprava) je zde blízko a při nízkých rychlostech větru se tyto látky v dané lokalitě více kumulují (např. Štýřice nebo Chrlice).

Vizualizace níže ukazuje tzv. vážené koncentrační růžice. V tomto případě je brán v potaz i čas, po který z daného směru znečištění proudilo. Zatímco koncentrační růžice (ne vážené) ukazují průměrnou koncentraci pro konkrétní směr a rychlost větru, u vážené koncentrační růžice je hodnoceno celkové množství znečištění, které se v dané lokalitě při dané kombinaci směru a rychlosti větru vyskytlo. Pokud je tedy například určitý směr proudění velmi častý, i přes relativně nízké koncentrace z daného směru, může v celkovém součtu daný směr přispívat k celkovému znečištění významně a naopak.

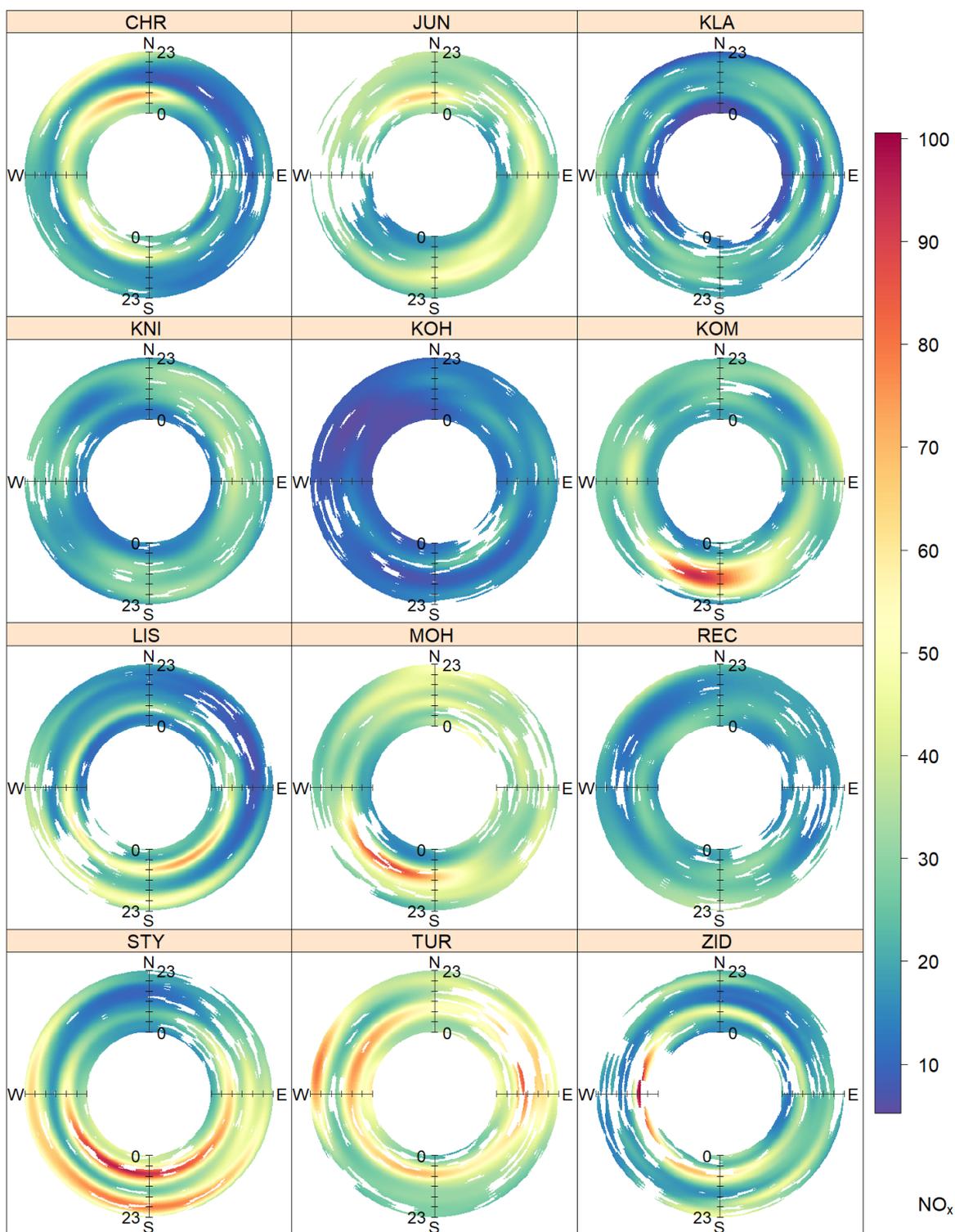


Obrázek 194 - vážené koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi NO<sub>x</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny čtyři měřicí kampaně.

Vážené koncentrační růžice ukazují, jak se který směr proudění podílí na celkovém množství znečištění (v závislosti na četnosti daného směru proudění a výši koncentrací daného dané látky v daném směru). V tomto ohledu například vidíme, že ve Štýřicích je dominantní směr jihozápadní, v komíně východní až jižní nebo například že v lokalitě

Jundrov je podíl směrů přibližně stejný (zde to může souviset s tím, že lokalita byla hodně uzavřená a obecně zde byly rychlosti větru velmi nízké a tedy se zde znečištění kumulovalo a směr proudění nehrál takovou roli).

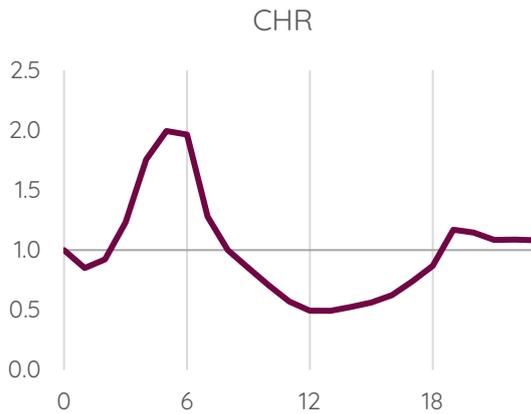
Vztah mezi směrem větru, koncentrací znečišťující látky a hodinou dne ukazují tzv. anulární koncentrační růžice. Jejich interpretace je blíže popsána v grafice výše (Obrázek 16). Následující přehled anulárních koncentračních růžic ukazuje tento vztah pro  $\text{NO}_x$  jako souhrn ze všech měřících kampaní pro jednotlivé lokality.



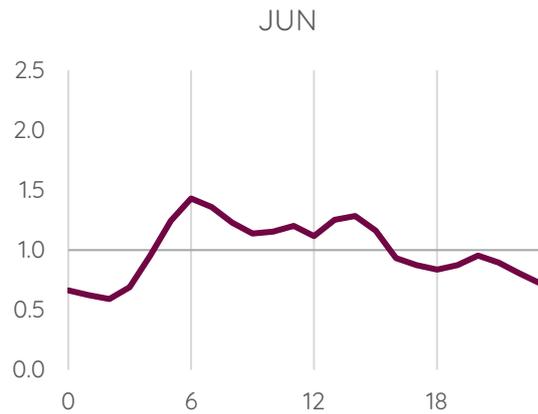
Obrázek 195 - anulární koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi směrem větru, koncentracemi NO<sub>x</sub> a hodinou dne (UTC) pro jednotlivé lokality za všechny měřící kampaně.

Vliv dopravy (vyšší koncentrace v ranních, příp. odpoledních hodinách) je dobře patrný například u lokality Štýřice. Zároveň je vidět, že tento vliv byl pozorován zejména při jihozápadním proudění, což je směr, ve kterém se nachází významná křižovatka dvou intenzivně zatížených dopravních komunikací u ústředního hřbitova Brno.

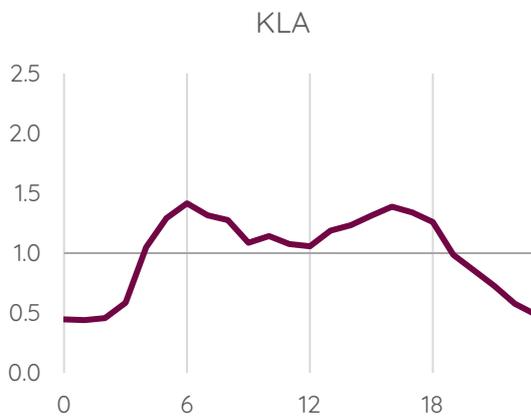
Následující grafy ukazují průměrný denní chod koncentrací oxidů dusíku. V tomto případě je cílem zobrazit průměrný denní chod, nikoliv absolutní hodnoty koncentrací. Hodnoty tedy byly normalizovány – každá z průměrných koncentrací pro konkrétní hodinu a lokalitu byla srovnána s celkovým průměrem pro danou lokalitu. Hodnota pro každou hodinu tedy ukazuje podíl průměrné koncentrace v danou hodinu dne oproti celkovému průměru. Například hodnota 2 ukazuje, že v danou hodinu dne byly koncentrace v průměru dvojnásobné oproti průměru pro danou lokalitu. Pro všechny grafy byla použita totožná škála, aby bylo možné srovnávat variabilitu denního chodu koncentrací. Všechny hodiny dne jsou v čase UTC (v případě letního času -2 hodiny oproti občanskému času, v případě zimního času -1 hodina oproti občanskému času).



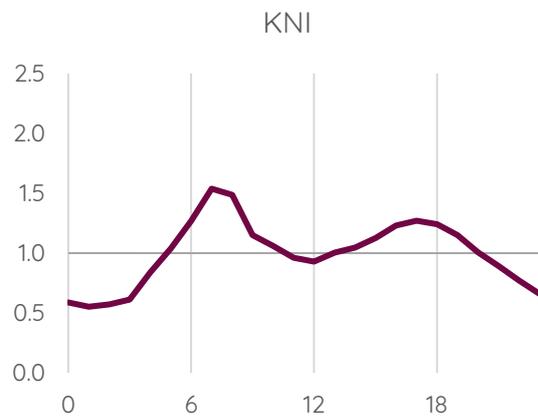
Obrázek 196 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>x</sub> v lokalitě Chrlice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



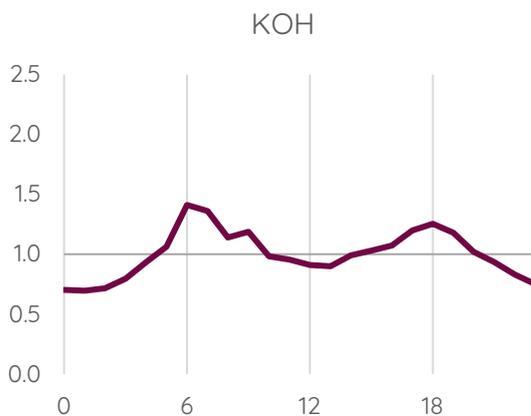
Obrázek 197 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>x</sub> v lokalitě Jundrov. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 198 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>x</sub> v lokalitě Klajdovka. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



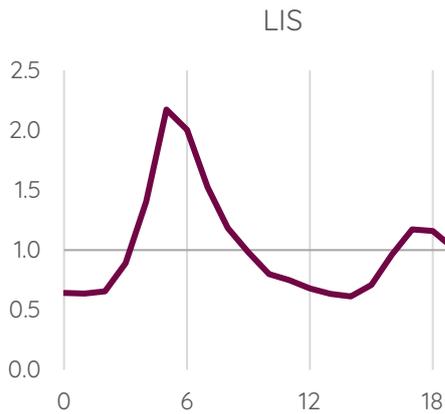
Obrázek 199 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>x</sub> v lokalitě Kníničky. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



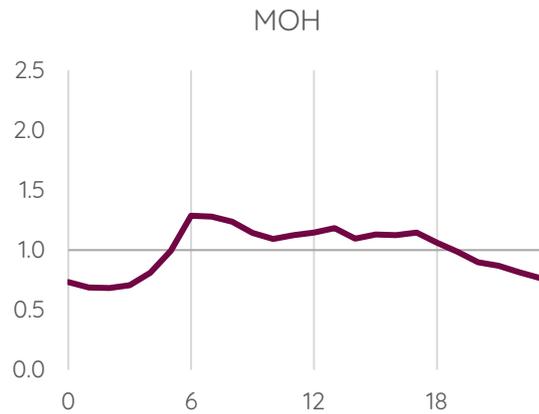
Obrázek 200 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>x</sub> v lokalitě Kohoutovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



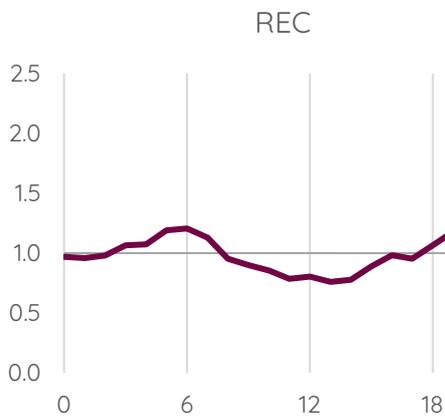
Obrázek 201 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>x</sub> v lokalitě Komín. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



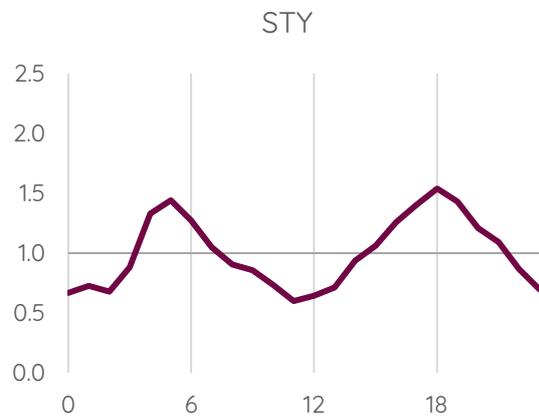
Obrázek 202 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>x</sub> v lokalitě Líšeň. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



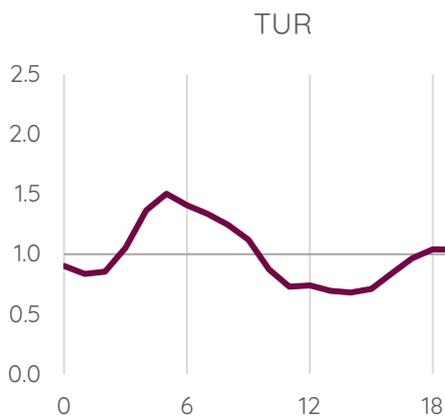
Obrázek 203 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>x</sub> v lokalitě Mokrá Hora. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



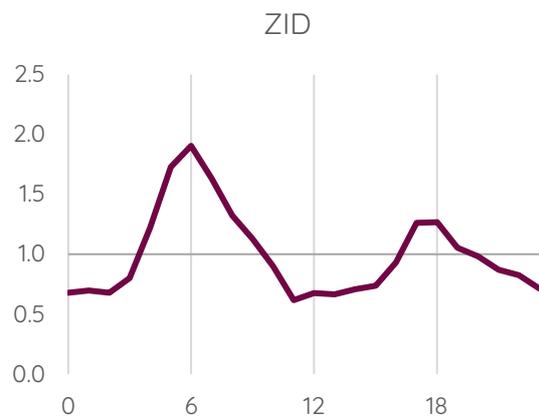
Obrázek 204 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>x</sub> v lokalitě Řečkovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 205 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>x</sub> v lokalitě Štýřice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



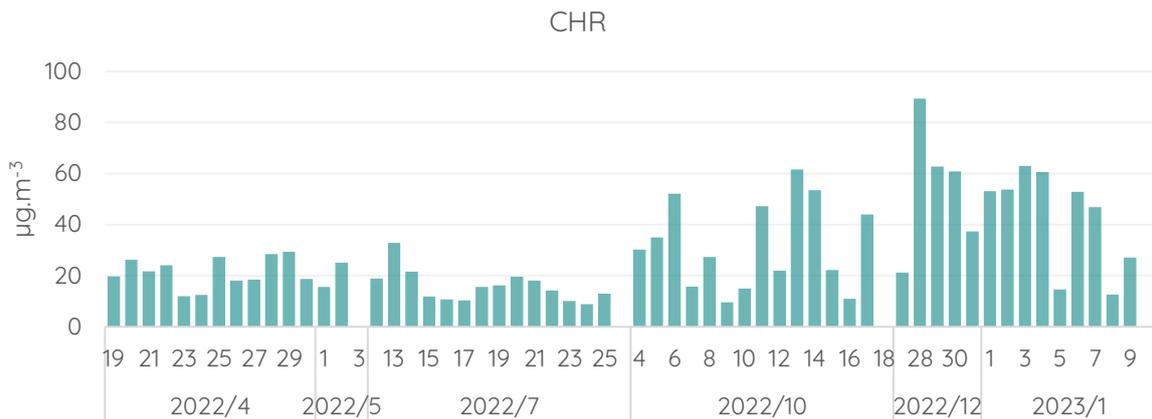
Obrázek 206 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>x</sub> v lokalitě Tuřany. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



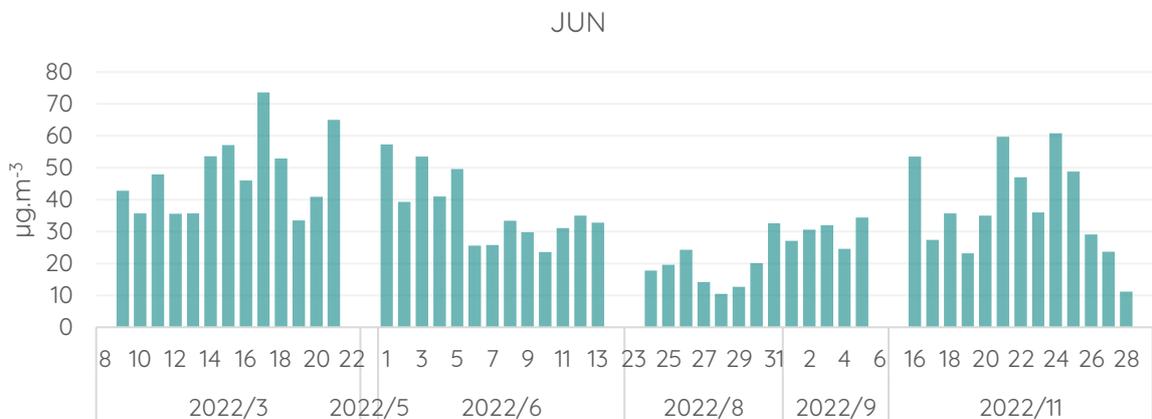
Obrázek 207 - průměrný denní chod koncentrací NO<sub>x</sub> v lokalitě Židenice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.

Na řadě lokalit je patrný typický průběh denního chodu pro výrazněji dopravou ovlivněné lokality – ranní a odpolední/večerní špička. V některých lokalitách jsou rozdíly výraznější, v jiných méně výrazné.

Následující sloupcové grafy ukazují průměrné denní koncentrace NO<sub>x</sub>. Denní průměrné koncentrace byly spočítány pouze pro ty dny, pro které byla dostupná data pro alespoň 75 % (16) hodin dne.



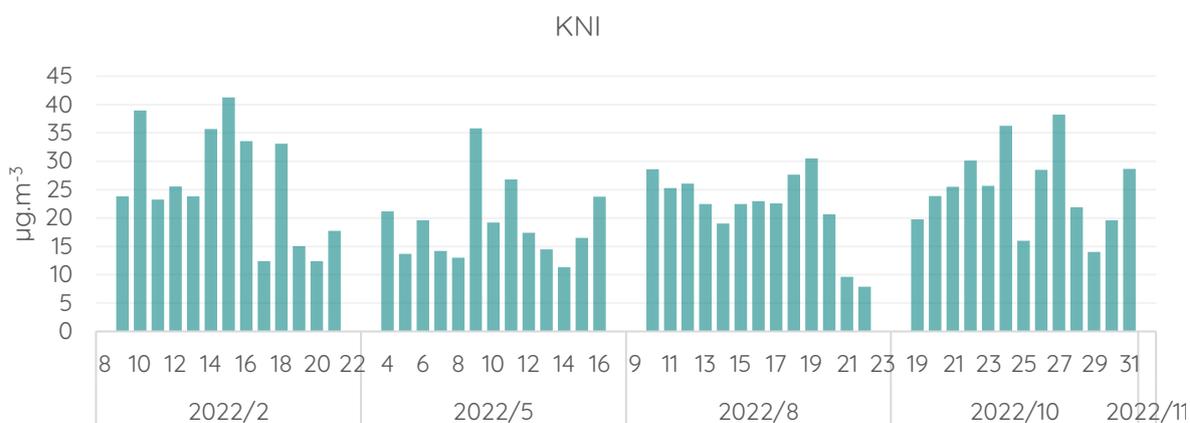
Obrázek 208 - průměrné denní koncentrace NO<sub>x</sub> za všechny dny měření v lokalitě Chrlice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



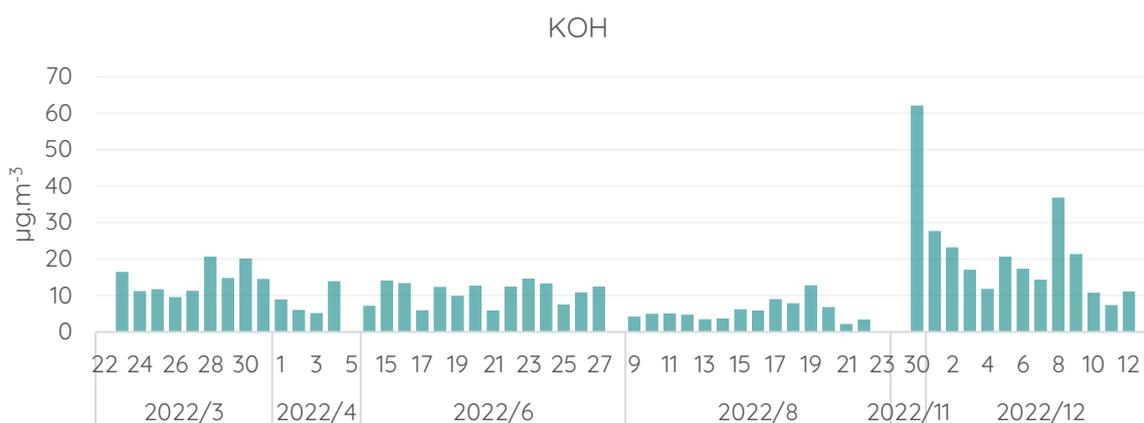
Obrázek 209 - průměrné denní koncentrace NO<sub>x</sub> za všechny dny měření v lokalitě Jundrov, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



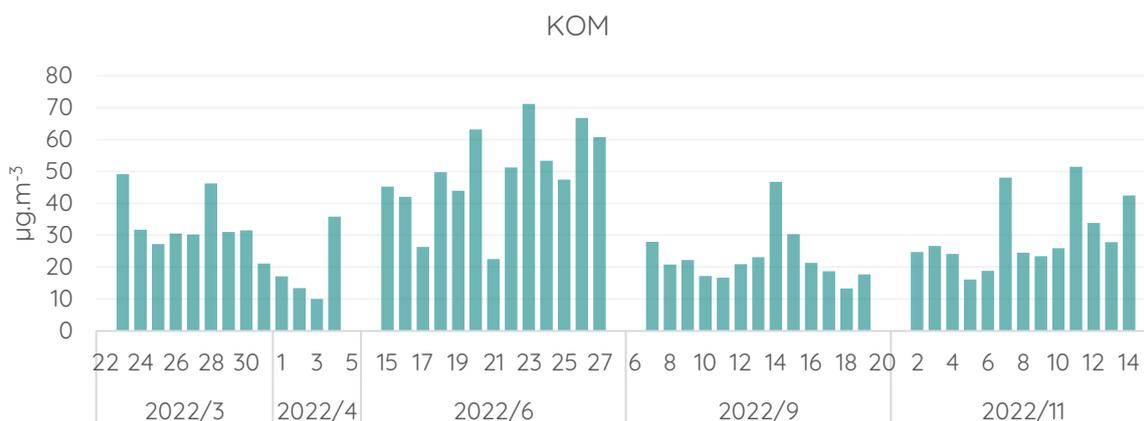
Obrázek 210 - průměrné denní koncentrace NO<sub>x</sub> za všechny dny měření v lokalitě Klajdovka, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



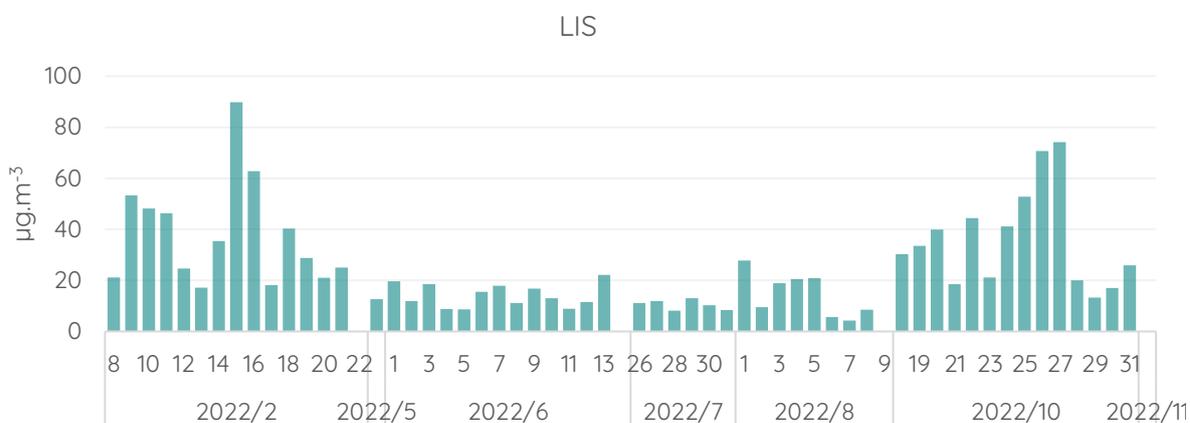
Obrázek 211 - průměrné denní koncentrace NO<sub>x</sub> za všechny dny měření v lokalitě Kníničky, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



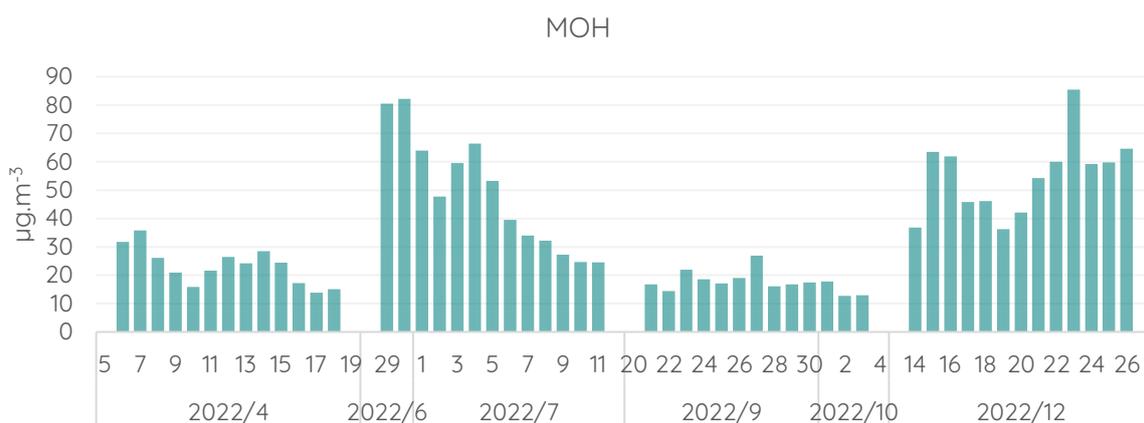
Obrázek 212 - průměrné denní koncentrace NO<sub>x</sub> za všechny dny měření v lokalitě Kohoutovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



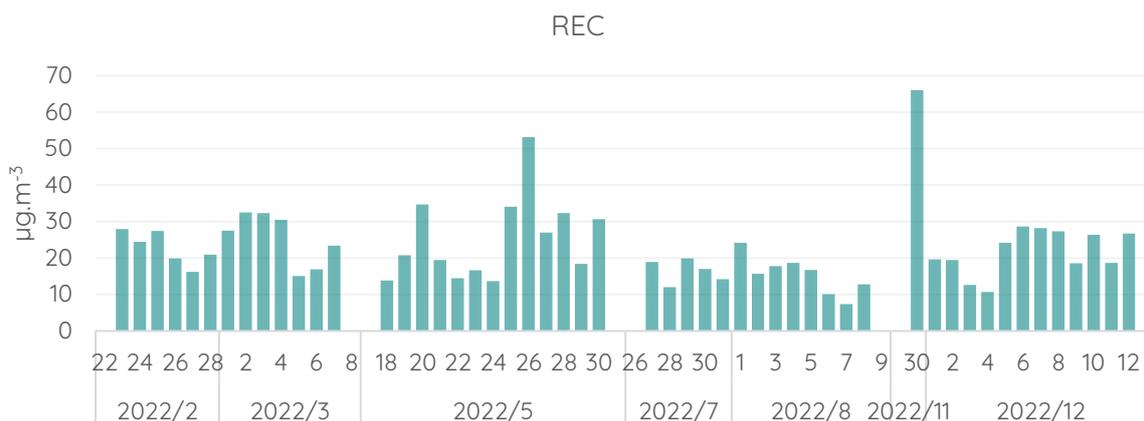
Obrázek 213 - průměrné denní koncentrace NO<sub>x</sub> za všechny dny měření v lokalitě Komín, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



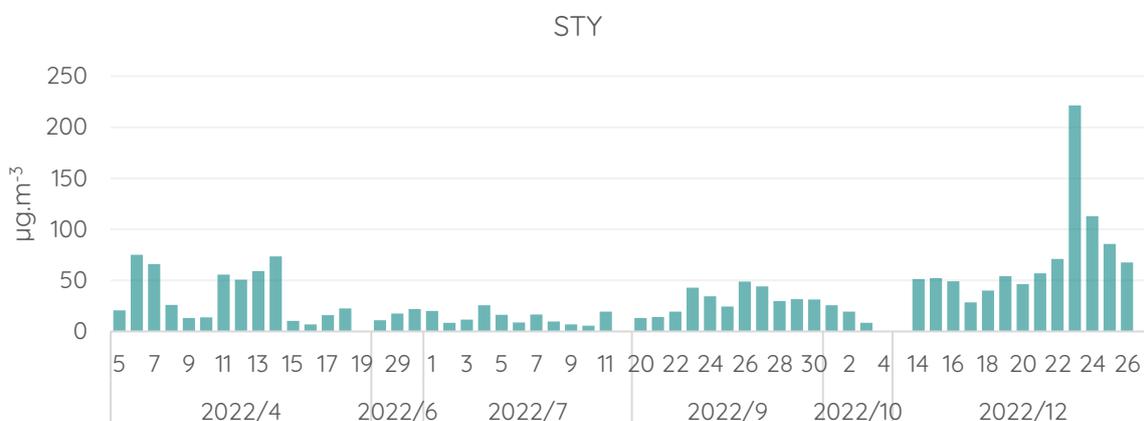
Obrázek 214 - průměrné denní koncentrace NO<sub>x</sub> za všechny dny měření v lokalitě Líšeň, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



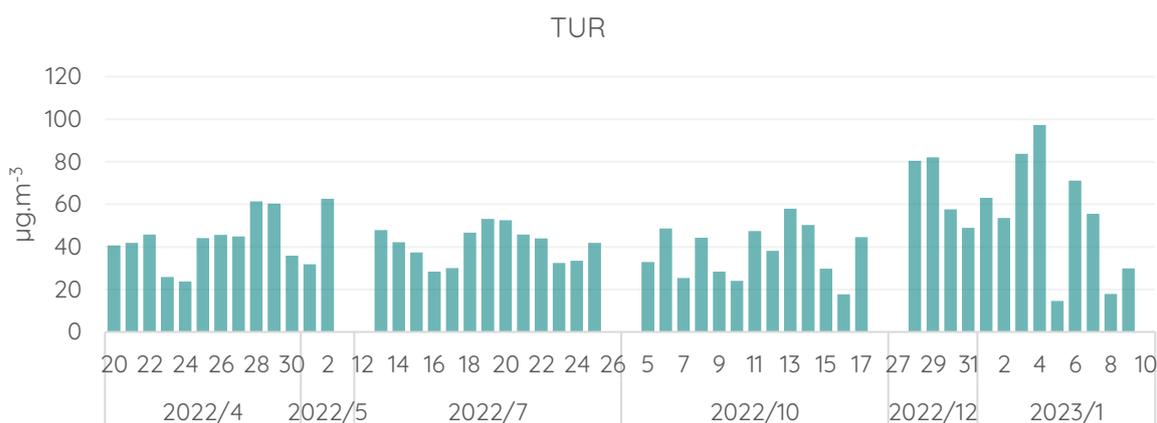
Obrázek 215 - průměrné denní koncentrace NO<sub>x</sub> za všechny dny měření v lokalitě Mokrá Hora, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



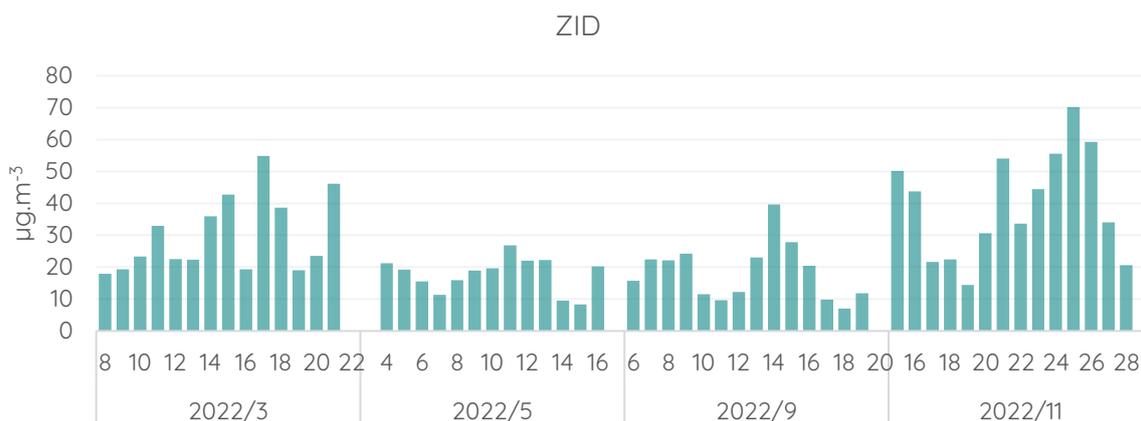
Obrázek 216 - průměrné denní koncentrace NO<sub>x</sub> za všechny dny měření v lokalitě Řečkovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 217 - průměrné denní koncentrace NO<sub>x</sub> za všechny dny měření v lokalitě Štýřice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 218 - průměrné denní koncentrace NO<sub>x</sub> za všechny dny měření v lokalitě Tuřany, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 219 - průměrné denní koncentrace NO<sub>x</sub> za všechny dny měření v lokalitě Židenice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.

Absolutně nejvyšší denní průměrná koncentrace oxidů dusíku byla naměřena v lokalitě Štýřice, a to 221,5 µg·m<sup>-3</sup>, 23. 12. 2022.

Pro oxidy dusíku jsou v zákoně o ochraně ovzduší stanoveny imisní limity pouze pro ekosystémy a vegetaci, nikoliv pro ochranu lidského zdraví.

Do jisté míry překvapením byly relativně vysoké koncentrace oxidů dusíku v lokalitě Mokrá Hora, kde byly očekávány hodnoty spíše na úrovni lokalit s nejnižšími koncentracemi, jako jsou Kohoutovice nebo Klajdovka.

Spolu s vyššími koncentracemi NO<sub>x</sub> zde byly také pozorovány relativně nízké koncentrace přízemního ozonu – koncentrace těchto dvou látek s ohledem na reakční mechanismus vzniku ozonu často chodí proti sobě. Vyšší koncentrace NO<sub>x</sub>, nižší koncentrace ozonu a zároveň vyšší koncentrace CO a benzenu svědčí o nějakém zdroji v okolí, který však pouze na základě dostupných dat nelze blíže určit.

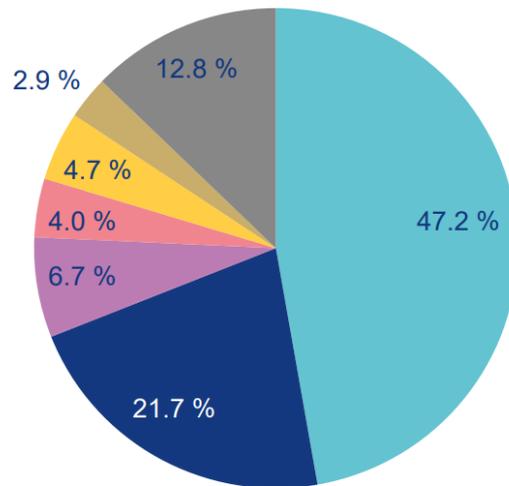
## Oxid siřičitý

Oxid siřičitý je bezbarvý štiplavě zapáchající jedovatý plyn těžší než vzduch. V minulosti se jednalo z hlediska kvality ovzduší o jeden z nejproblematictějších polutantů. S měřením koncentrací SO<sub>2</sub> se v České republice začalo na přelomu 60. a 70. let a jednalo se o první znečišťující látku, která byla tímto způsobem pravidelně monitorována. V současnosti leží hodnoty koncentrací SO<sub>2</sub> hluboko pod hranicí imisního limitu. K poklesu došlo hlavně díky legislativním změnám, díky nimž se výrazně snížily emise z tepelných elektráren a dalších průmyslových zdrojů (díky odsiřování spalin, používání kvalitnějších paliv).

Přírodním zdrojem oxidu siřičitého v ovzduší je vulkanická činnost (Santis, 2021), hlavním zdrojem je však lidská činnost, přičemž velké problémy s vysokými koncentracemi SO<sub>2</sub> mají například Čína či Indie (Li, 2017). Do ovzduší se SO<sub>2</sub> dostává spalováním fosilních paliv během průmyslových procesů i v domácnostech z lokálních topenišť. Vzniká jako vedlejší produkt spalování hnědého uhlí. Pro oxid siřičitý jsou platné imisní limity jak pro ochranu zdraví, tak pro ochranu ekosystémů a vegetace. Hodinový imisní limit pro ochranu zdraví je rovní 350 µg/m<sup>3</sup> a může být překročen maximálně 24x za rok. 24h imisní limit pro ochranu zdraví byl stanoven na 125 µg/m<sup>3</sup> a může být překročen maximálně 3x za rok. Imisní limit pro ochranu ekosystému a vegetace je platný pro rok a zimní období (říjen-březen) a má hodnotu 20 µg/m<sup>3</sup>. Oxid siřičitý je značně toxický plyn, který představuje velké riziko zejména pro rostliny, protože reakcí s chlorofylem narušuje fotosyntézu (Choi, 2014). U lidí působí dráždivě zejména na horní cesty dýchací, může podporovat vznik astmatu a dlouhodobá expozice vysokým koncentracím může narušovat krevní oběh a poškozovat srdeční sval (Heaviside, 2021).

Měření je založeno na excitaci molekuly SO<sub>2</sub> absorpcí ultrafialového (UV) záření vhodné vlnové délky a následné emisi záření přesně známé vlnové délky při přechodu molekuly do základního stavu. Intenzita tohoto záření je přímo úměrná koncentraci SO<sub>2</sub> ve vzorku a je měřena pomocí fotonásobiče, jehož signál je zpracován elektronikou analyzátoru a předán na výstup.

Dle nejnovější emisní bilance z roku 2019 je v České republice hlavním zdrojem SO<sub>2</sub> v ovzduší kategorie Veřejná energetika a výroba tepla (47,2 %) a dále Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření (21,7 %) a Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Železo a ocel (6,7 %).

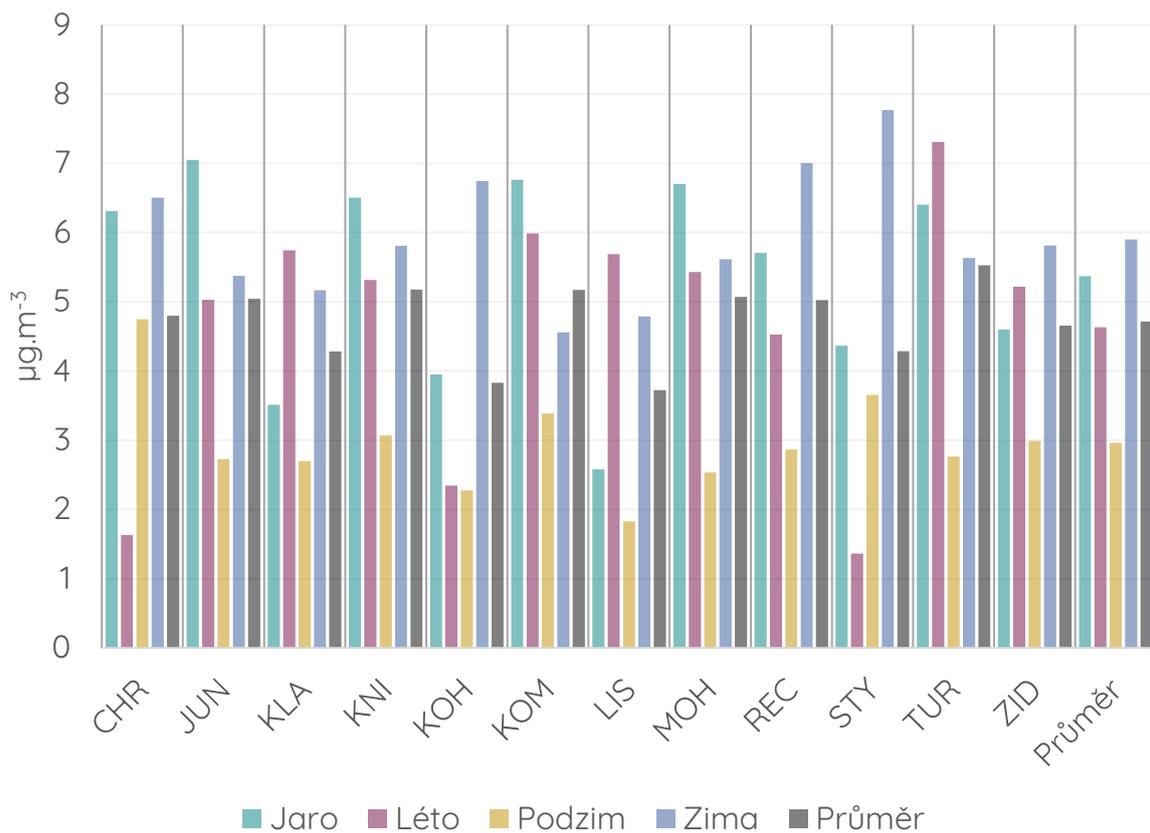


- 1A1a – Veřejná energetika a výroba tepla
- 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření
- 1A2a – Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Železo a ocel
- 1A2c – Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Chemický průmysl
- 1A2f – Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Minerální nekovové produkty
- 1A4ai – Služby, instituce: Spalovací stacionární zdroje
- Ostatní

Obrázek 220 - emisní zdroje oxidu siřičitého v České republice (emisní bilance 2019)

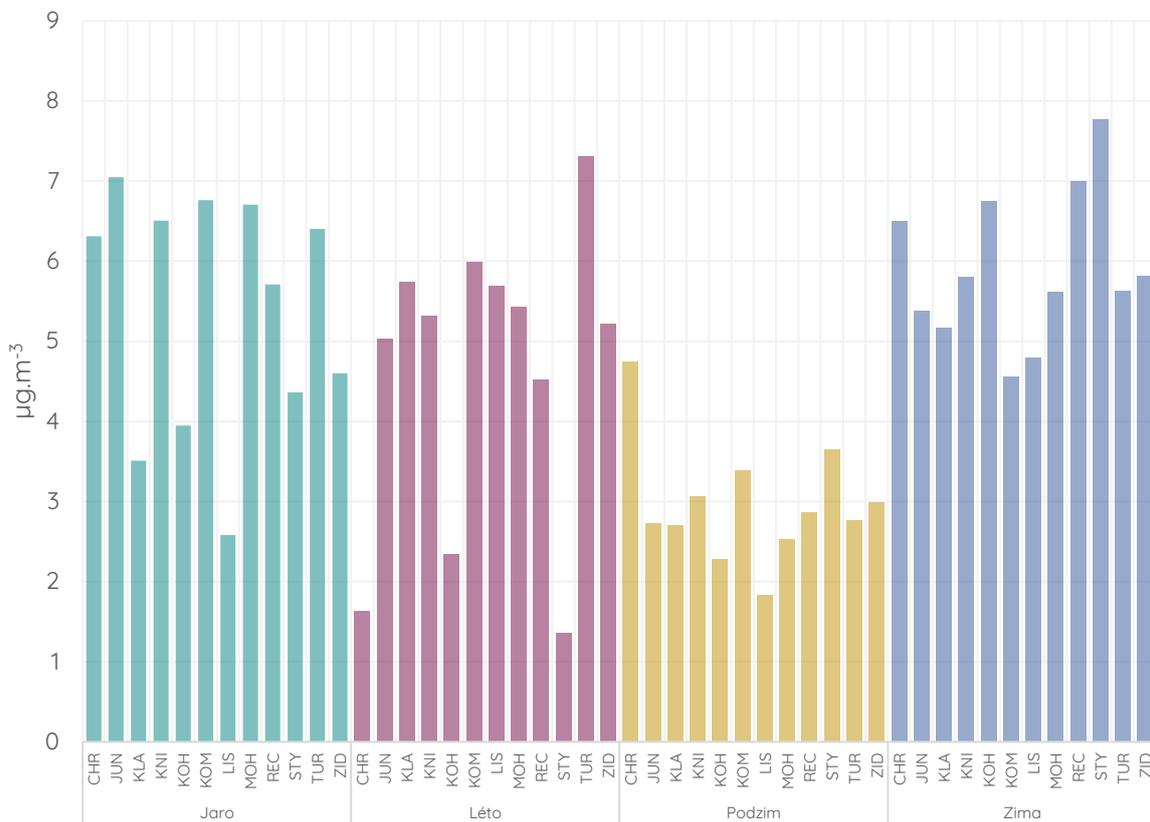
Vzhledem k převažujícímu vlivu sektoru Veřejná energetika a výroba tepla jsou emise SO<sub>2</sub> koncentrovány do Ústeckého, Moravskoslezského a Středočeského kraje, ve kterých se nachází větší energetické výrobní celky.

Následující graf ukazuje průměrné koncentrace SO<sub>2</sub> pro jednotlivé kampaně a celkově.



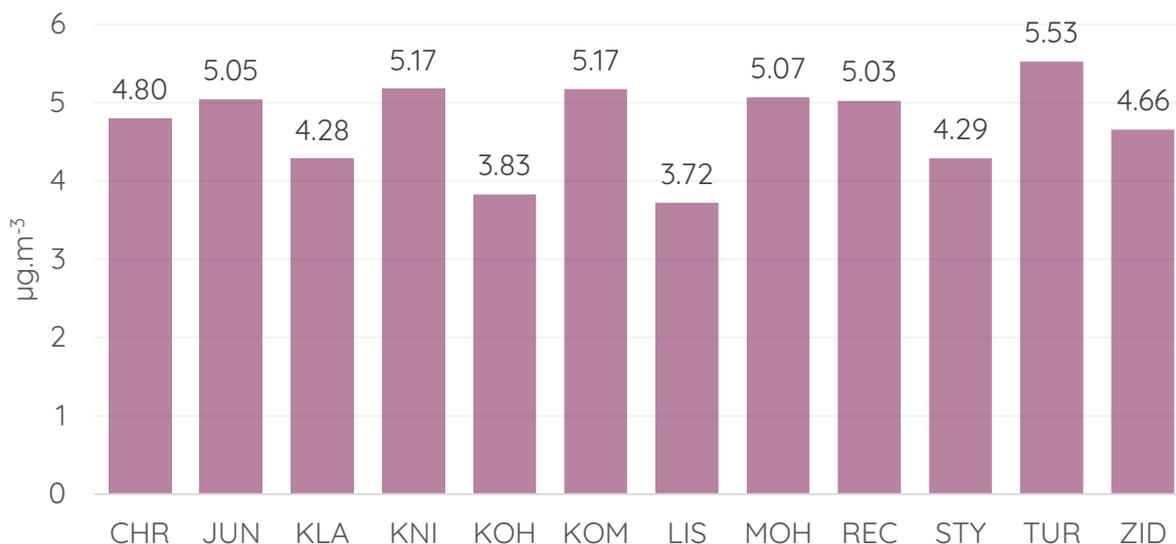
Obrázek 221 - průměrné koncentrace SO<sub>2</sub> v jednotlivých měřicích kampaních a lokalitách a celkový průměr.

Následující graf ukazuje totožné koncentrace, tentokrát seřazené podle jednotlivých měřicích kampaní.



Obrázek 222 - průměrné koncentrace SO<sub>2</sub> v jednotlivých měřicích kampaních.

Celkové průměrné koncentrace oxidu siřičitého za všechny čtyři měřicí kampaně na všech lokalitách ukazuje následující graf.

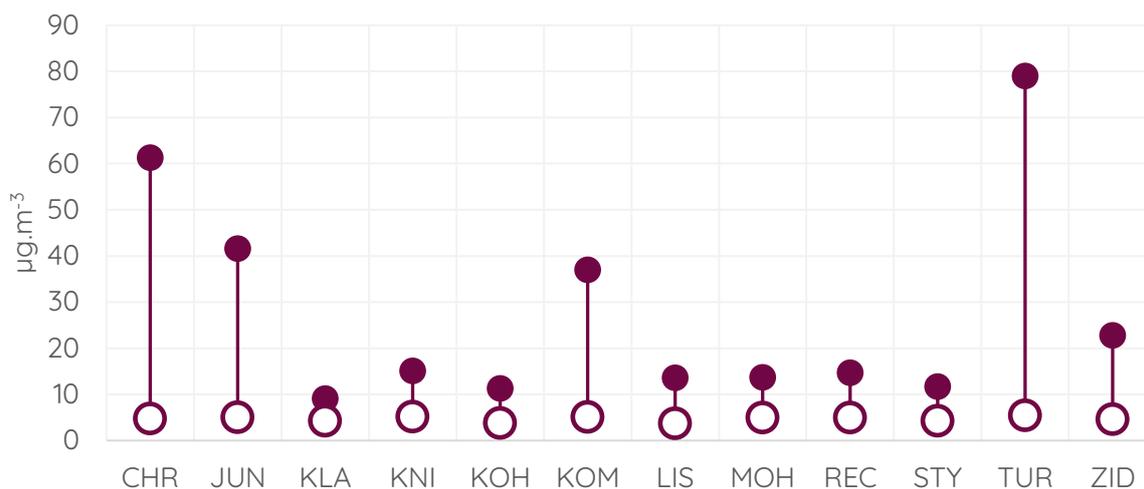


Obrázek 223 - průměrné koncentrace SO<sub>2</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny měřicí kampaně.

Koncentrace oxidu siřičitého jsou v současnosti v celé České republice velmi nízké. Potvrzují to i data z tohoto projektu. Rozdíly mezi jednotlivými lokalitami jsou v tomto případě zcela

zanedbatelné s ohledem na hodnoty imisních limitů. Hodnoty se obecně pohybují kolem 4 až 5  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a analyzátory měřící tyto koncentrace se v tomto případě již dostávají téměř na hranici meze detekce – koncentrace jsou tak nízké, že už lze rozdíly teoreticky vysvětlit i nepřesnostmi měření.

Graf níže ukazuje průměrnou koncentraci (bílý bod) a maximální naměřenou hodinovou koncentraci  $\text{SO}_2$  za celé období monitoringu pro jednotlivé lokality.



Obrázek 224 - průměrné a nejvyšší hodinové koncentrace  $\text{SO}_2$  pro jednotlivé lokality měření za všechny měřící kampaně.

Pro oxid siřičitý je v zákoně o ochraně ovzduší definován imisní limit pro hodinovou a 24h koncentraci. Limit pro hodinou koncentraci má hodnotu 350  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Přestože v průběhu měření v rámci tohoto projektu došlo v jednom případě k výraznějšímu zvýšení koncentrací  $\text{SO}_2$  na vyšší hodnoty, absolutně maximální průměrná hodinová koncentrace  $\text{SO}_2$  naměřená během těchto měřicích kampaní je 79,0  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (lokality Tuřany, 22. 4. 2022, 7 h UTC). Tato hodnota je stále více než čtyřnásobně nižší, než je hodnota příslušného imisního limitu. Hodinové průměrné koncentrace  $\text{SO}_2$  vyšší než 50  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  byly naměřeny v celkem pouze 6 hodinách, a to v rámci jedné epizody zvýšených koncentrací  $\text{SO}_2$  22. dubna 2022 v ranních hodinách. Vyšší koncentrace byly v tyto hodiny naměřeny na obou aktuálně monitorovaných lokalitách Tuřany a Chrlice – jednalo se tedy o znečištění plošného charakteru.

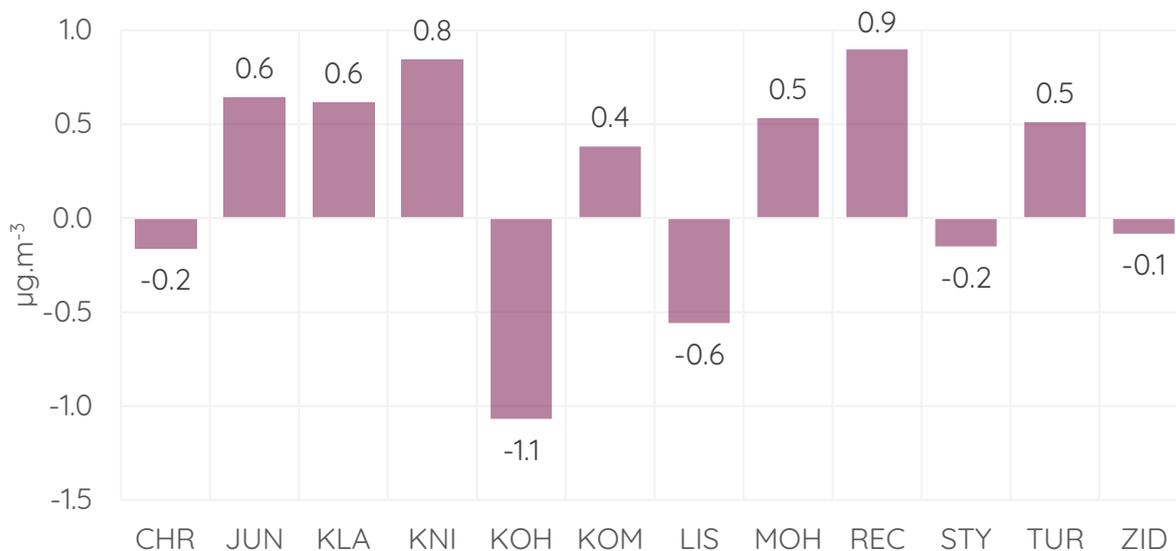
Jak bylo popsáno v textu výše, vyšší vypovídající hodnotu než absolutní hodnoty, má srovnání s hodnotami naměřenými ve stejném čase na ostatních brněnských stanicích v rámci SSIM. Hodnoty v grafu níže reprezentují rozdíl průměrné koncentrace z dané lokality a průměru ze všech brněnských pozadových stanic SSIM pro shodný čas. Záporné

hodnoty značí koncentrace nižší, než byl průměr koncentrací pro brněnské stanice v SSIM a naopak. V tomto případě je srovnání provedeno pouze s průměrem pro pozadové stanice. S ohledem na velmi nízké koncentrace SO<sub>2</sub> v České republice se koncentrace této látky pozorují jen na nutném minimálním počtu měřících stanic. Všechny stanice měřící SO<sub>2</sub> v Brně jsou pozadového typu. Doprava není významným zdrojem SO<sub>2</sub>, tedy není důvod se domnívat, že hodnoty z dopravních stanic by vypadaly odlišně.



Obrázek 225 - rozdíl průměrné koncentrace SO<sub>2</sub> v jednotlivých měřících lokalitách a kampaních z průměrné koncentrace z brněnských pozadových stanic SSIM v příslušném období.

Graf níže pak ukazuje totéž, tentokrát však přehledněji pouze pro průměrný rozdíl za všechny čtyři měřící kampaně.

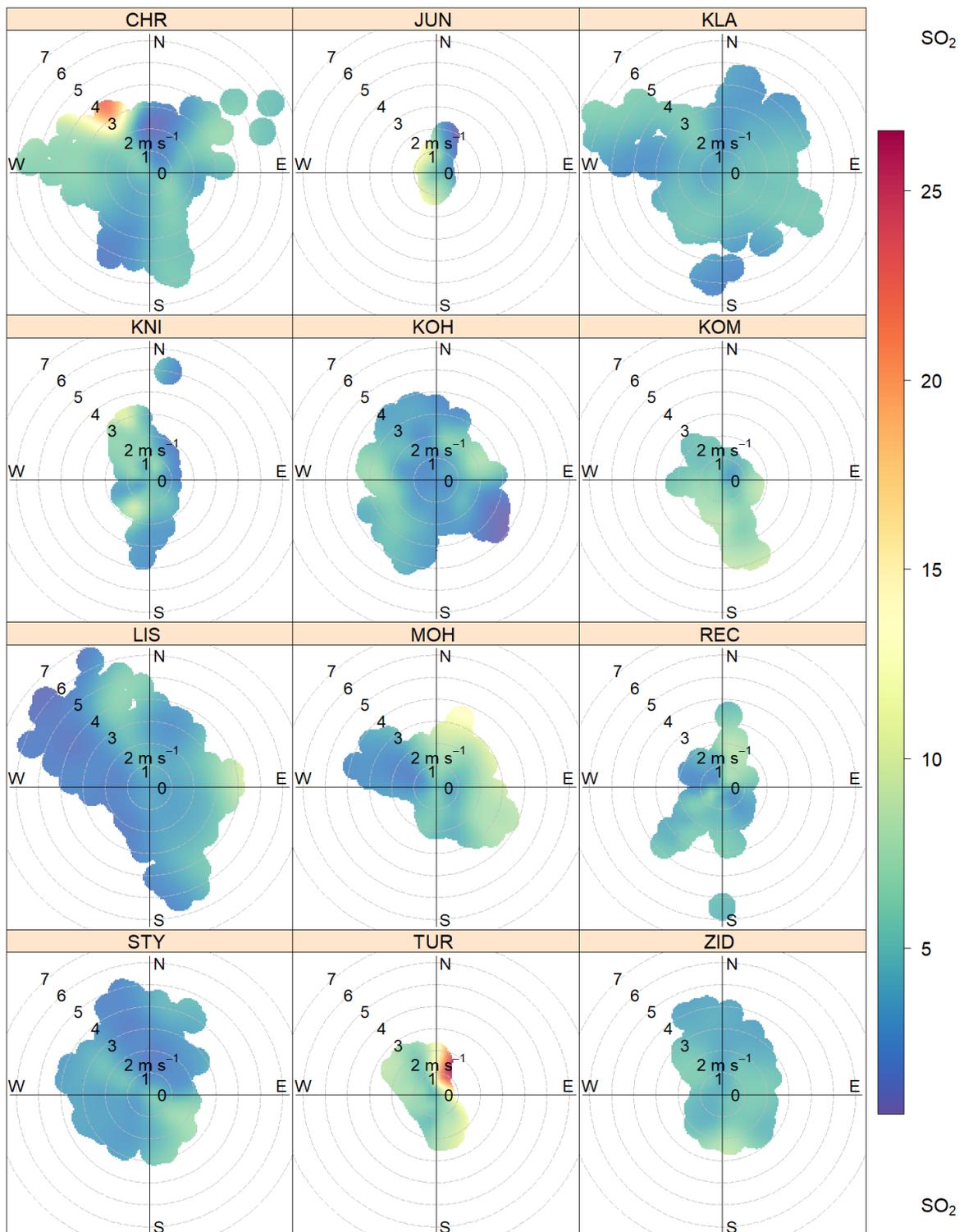


Obrázek 226 - rozdíl průměrné koncentrace SO<sub>2</sub> v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím SO<sub>2</sub> v totožném období z pozad'ových stanic státní sítě imisního monitoringu v Brně.

Zdrojem SO<sub>2</sub> není doprava a koncentrace SO<sub>2</sub> jsou napříč naším územím v naprosté většině míst velmi podobné. Potvrzují to i data výše – rozdíly mezi měřeními lokalitami a průměrem z pozad'ových stanic SSIM je většinou do 1 µg.m<sup>-3</sup>. Tyto rozdíly, jak bylo zmíněno výše, mohou být dány i nastavením analyzátoru. Přístroje jsou u takto nízkých hodnot už na hranici své meze detekce, tedy nejnižších změřitelných koncentrací. Tyto rozdíly tedy lze považovat za zcela zanedbatelné a nevýznamné.

Koncentrační růžice vyjadřují vztah mezi rychlostí větru, směrem větru a koncentracemi konkrétní znečišťující látky. Umožňují tedy například hodnotit, ze kterého směru přicházelo znečištění při nejvyšších hodnotách. Princip a způsob interpretace koncentračních růžic ukazuje Obrázek 15.

Následující přehled ukazuje koncentrační růžice pro všechny lokality za všechny měřicí kampaně se sjednocenou škálou pro možnost srovnání.

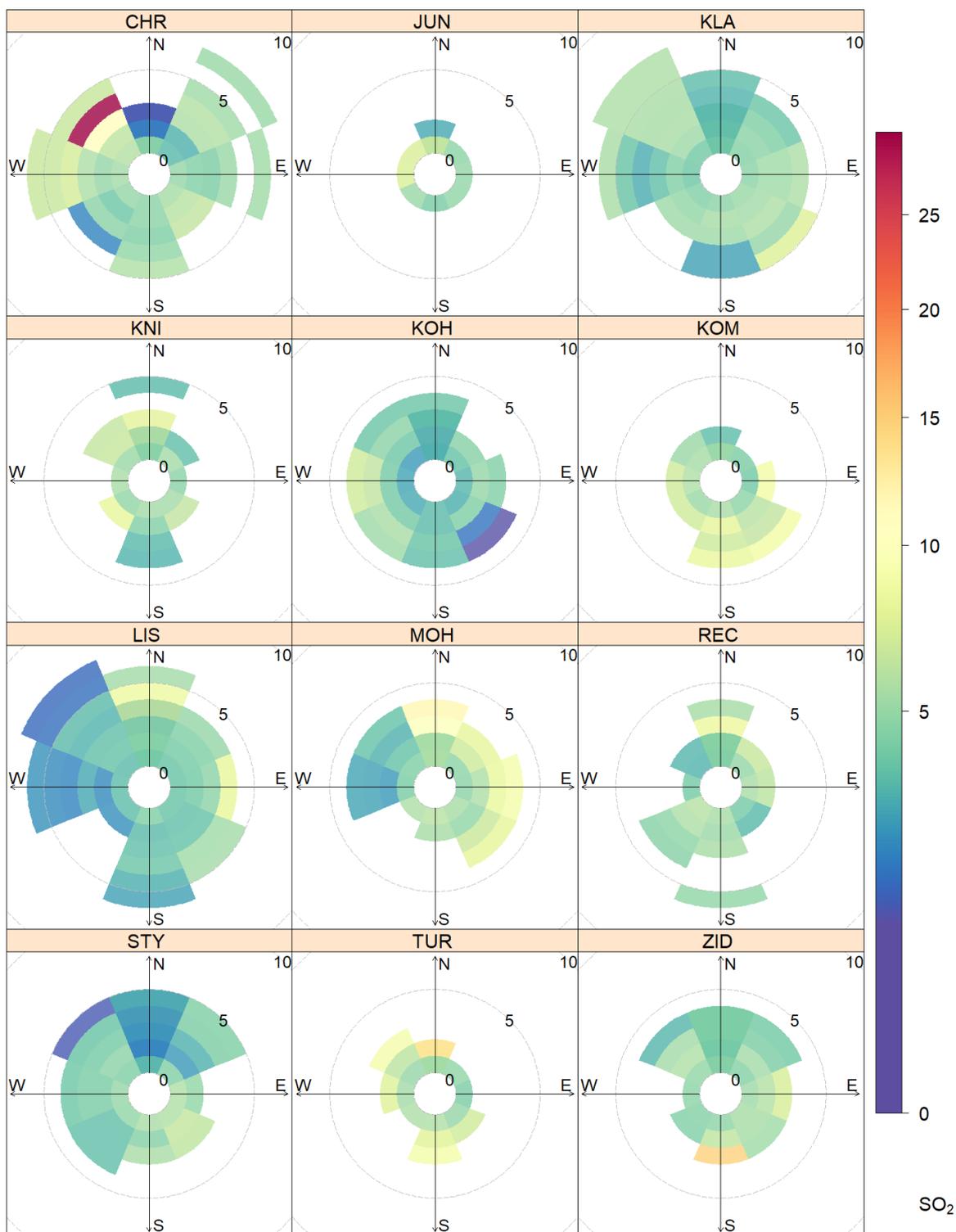


Obrázek 227 - koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi SO<sub>2</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny čtyři měřicí kampaně.

Koncentrační růžice SO<sub>2</sub> ukazují pouze zvýšené koncentrace ve výše zmiňované jedné epizodě zvýšených koncentrací v ranních hodinách 22. dubna 2022 v lokalitě Tuřany a Chrlice (dvou lokalitách, které v ten moment byly monitorovány). SO<sub>2</sub> nemá v okolí žádný

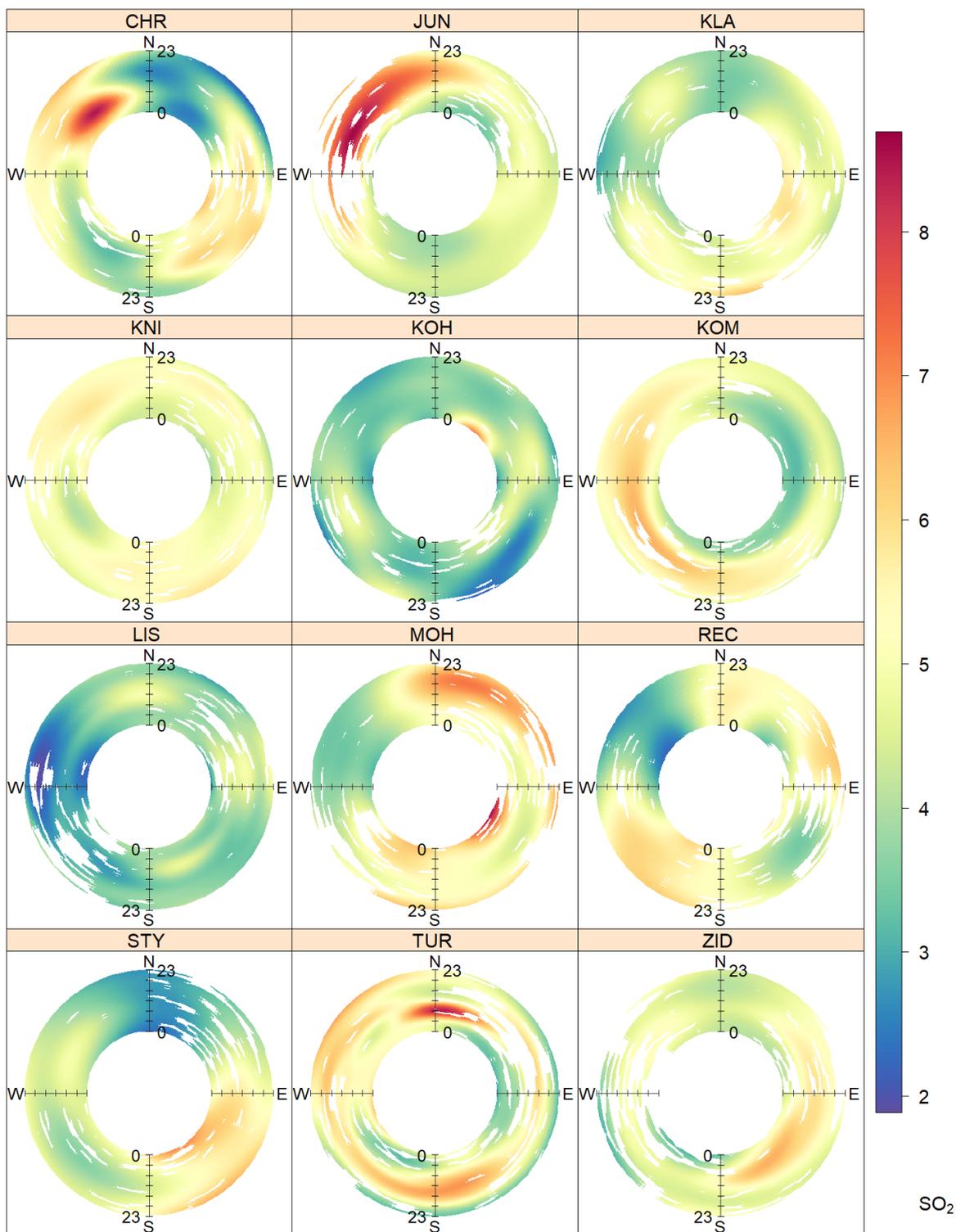
významný zdroj, což dokazují i velmi uniformní vzhled koncentračních růžic, které neukazují na nějaký hlavní směr vysokých koncentrací SO<sub>2</sub>.

Vizualizace níže ukazuje tzv. vážené koncentrační růžice. V tomto případě je brán v potaz i čas, po který z daného směru znečištění proudilo. Zatímco koncentrační růžice (ne vážené) ukazují průměrnou koncentraci pro konkrétní směr a rychlost větru, u vážené koncentrační růžice je hodnoceno celkové množství znečištění, které se v dané lokalitě při dané kombinaci směru a rychlosti větru vyskytlo. Pokud je tedy například určitý směr proudění velmi častý, i přes relativně nízké koncentrace z daného směru, může v celkovém součtu daný směr přispívat k celkovému znečištění významně a naopak.



Obrázek 228 - vážené koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi SO<sub>2</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny čtyři měřicí kampaně.

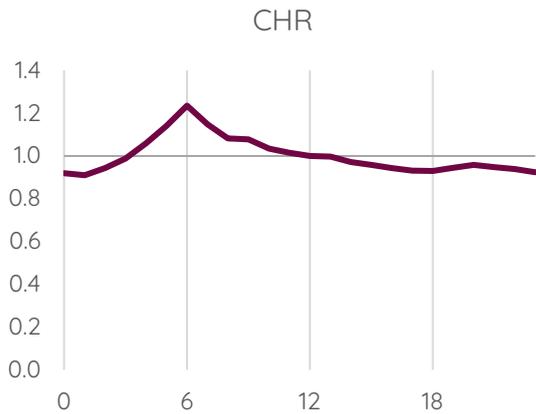
Vztah mezi směrem větru, koncentrací znečišťující látky a hodinou dne ukazují tzv. anulární koncentrační růžice. Jejich interpretace je blíže popsána v grafice výše (Obrázek 16). Následující přehled anulárních koncentračních růžic ukazuje tento vztah pro oxid siřičitý jako souhrn ze všech měřicích kampaní pro jednotlivé lokality.



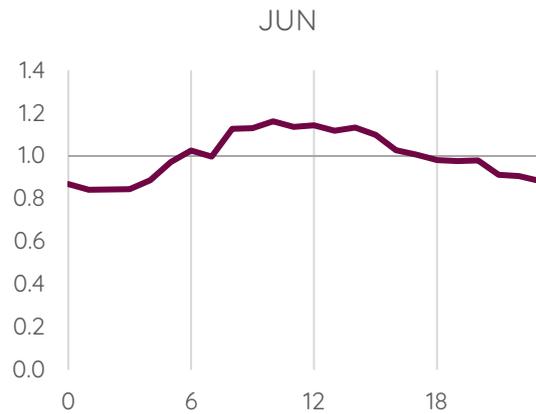
Obrázek 229 - anulární koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi směrem větru, koncentracemi SO<sub>2</sub> a hodinou dne (UTC) pro jednotlivé lokality za všechny měřící kampaně.

Následující grafy ukazují průměrný denní chod koncentrací oxidu siřičitého. V tomto případě je cílem zobrazit průměrný denní chod, nikoliv absolutní hodnoty koncentrací. Hodnoty tedy byly normalizovány - každá z průměrných koncentrací pro konkrétní hodinu a lokalitu byla srovnána s celkovým průměrem pro danou lokalitu. Hodnota pro každou

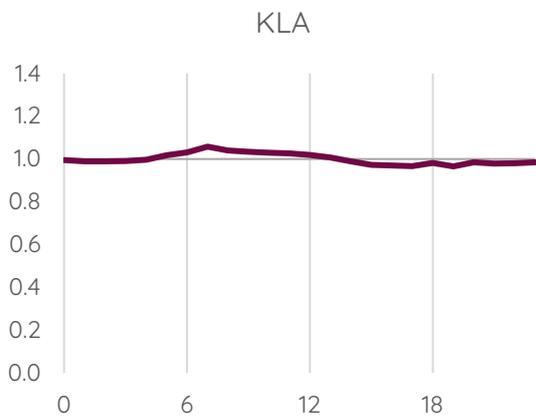
hodinu tedy ukazuje podíl průměrné koncentrace v danou hodinu dne oproti celkovému průměru. Například hodnota 2 ukazuje, že v danou hodinu dne byly koncentrace v průměru dvojnásobné oproti průměru pro danou lokalitu. Pro všechny grafy byla použita totožná škála, aby bylo možné srovnávat variabilitu denního chodu koncentrací. Všechny hodiny dne jsou v čase UTC (v případě letního času -2 hodiny oproti občanskému času, v případě zimního času -1 hodina oproti občanskému času).



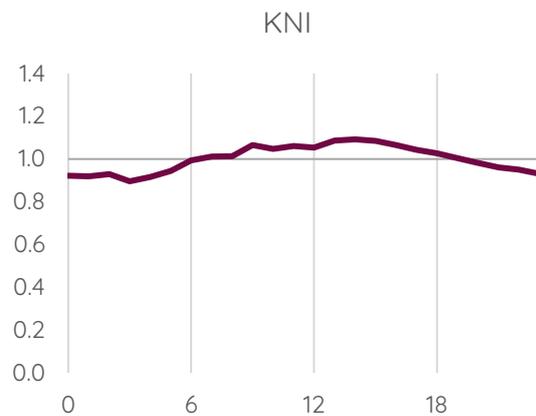
Obrázek 230 - průměrný denní chod koncentrací SO<sub>2</sub> v lokalitě Chrlice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



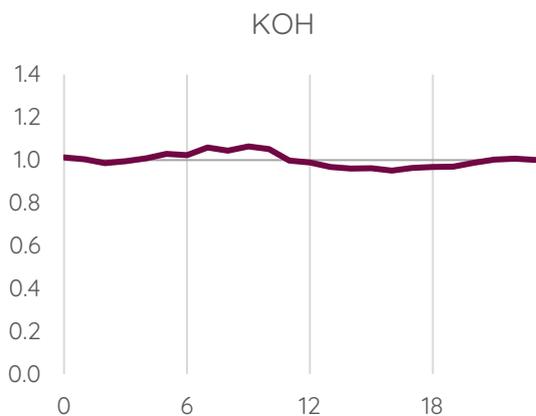
Obrázek 231 - průměrný denní chod koncentrací SO<sub>2</sub> v lokalitě Jundrov. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 232 - průměrný denní chod koncentrací SO<sub>2</sub> v lokalitě Klajdovka. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



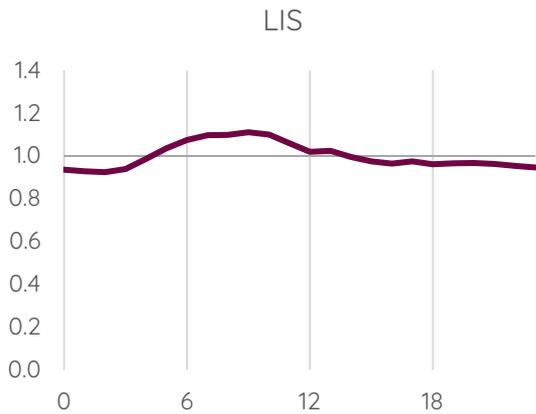
Obrázek 233 - průměrný denní chod koncentrací SO<sub>2</sub> v lokalitě Kníničky. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



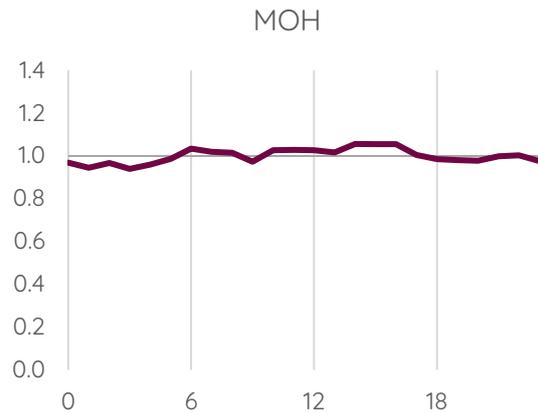
Obrázek 234 - průměrný denní chod koncentrací SO<sub>2</sub> v lokalitě Kohoutovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



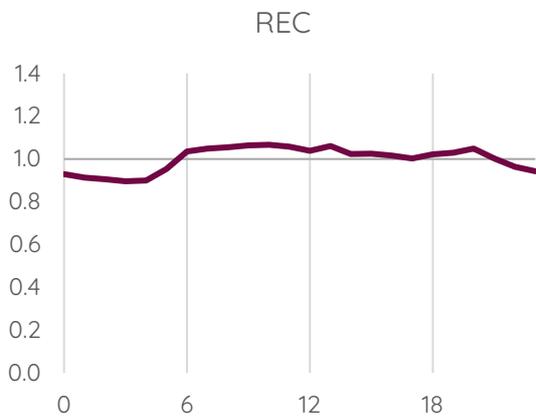
Obrázek 235 - průměrný denní chod koncentrací SO<sub>2</sub> v lokalitě Komín. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



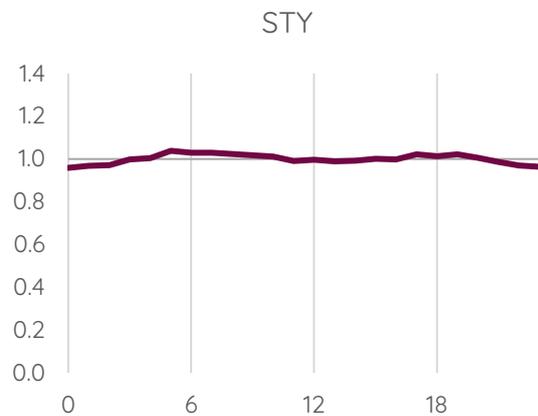
Obrázek 236 - průměrný denní chod koncentrací SO<sub>2</sub> v lokalitě Líšeň. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



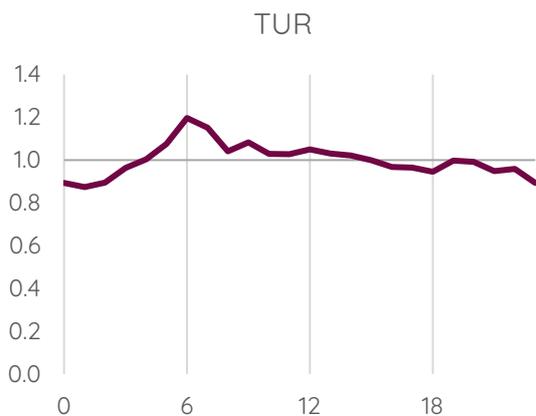
Obrázek 237 - průměrný denní chod koncentrací SO<sub>2</sub> v lokalitě Mokrý Hora. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



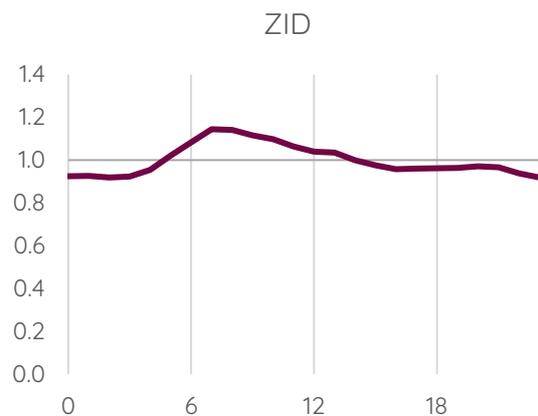
Obrázek 238 - průměrný denní chod koncentrací SO<sub>2</sub> v lokalitě Řečkovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 239 - průměrný denní chod koncentrací SO<sub>2</sub> v lokalitě Štýřice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



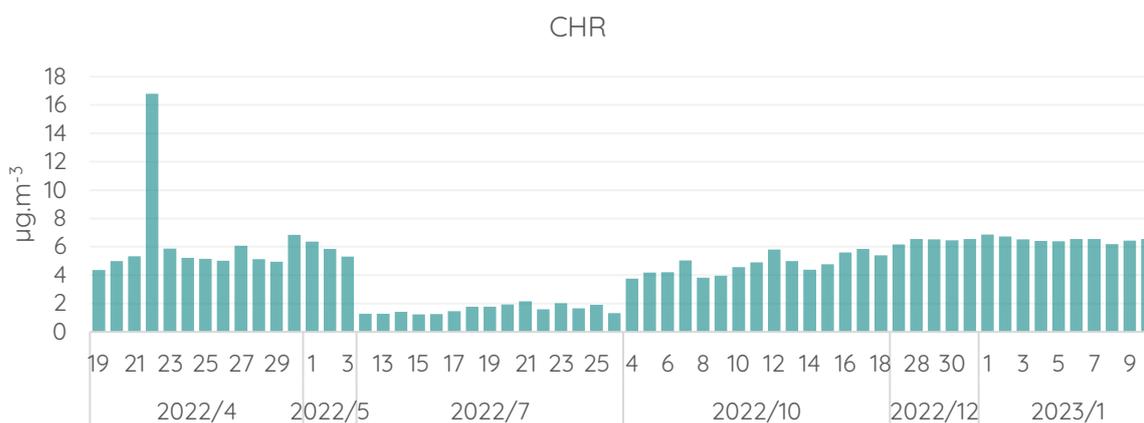
Obrázek 240 - průměrný denní chod koncentrací SO<sub>2</sub> v lokalitě Tuřany. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 241 - průměrný denní chod koncentrací SO<sub>2</sub> v lokalitě Židenice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.

Grafy denního průměrného chodu koncentrací SO<sub>2</sub> potvrzují, že koncentrace jsou plošně a trvale nízké. Během dne není sledován žádný významný trend.

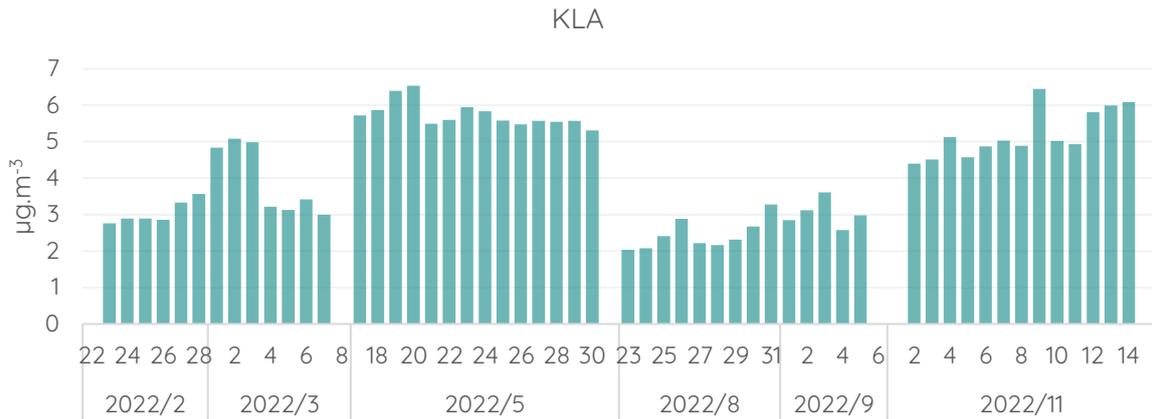
Následující sloupcové grafy ukazují průměrné denní koncentrace SO<sub>2</sub>. Denní průměrné koncentrace byly spočítány pouze pro ty dny, pro které byla dostupná data pro alespoň 75 % (16) hodin dne.



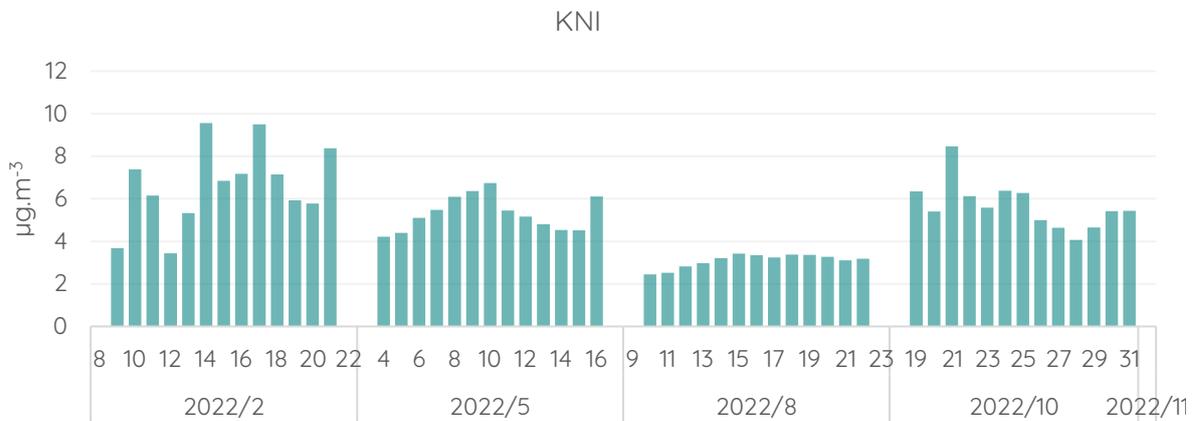
Obrázek 242 - průměrné denní koncentrace SO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Chrlice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



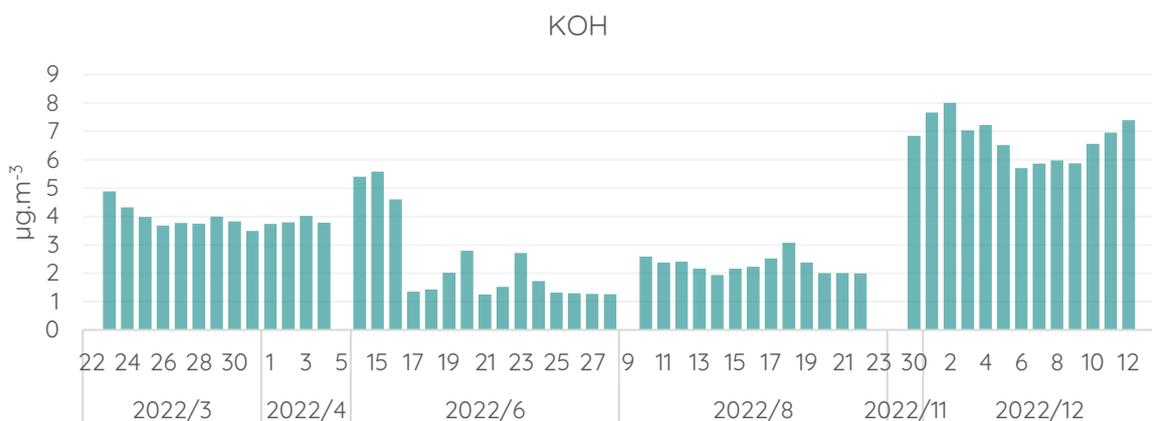
Obrázek 243 - průměrné denní koncentrace SO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Jundrov, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 244 - průměrné denní koncentrace SO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Klajdovka, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



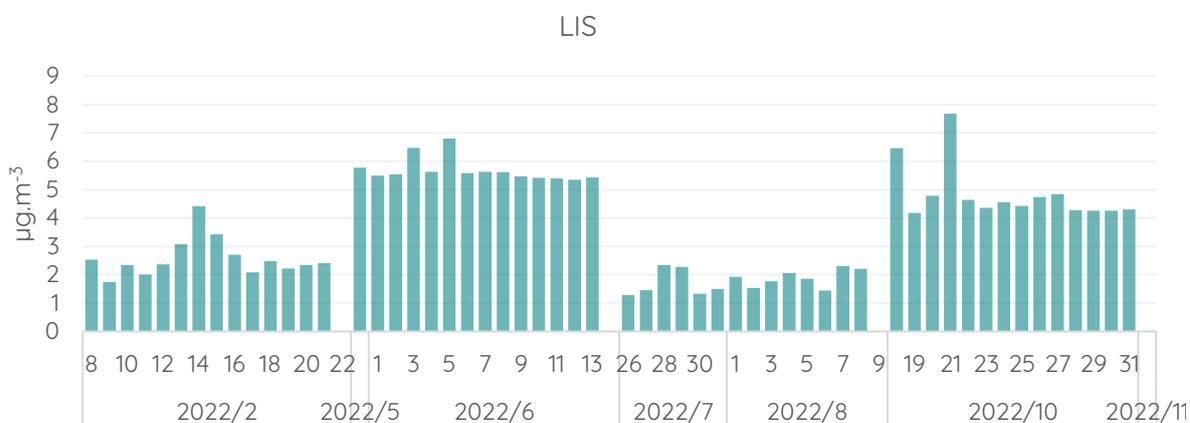
Obrázek 245 - průměrné denní koncentrace SO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Kníničky, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



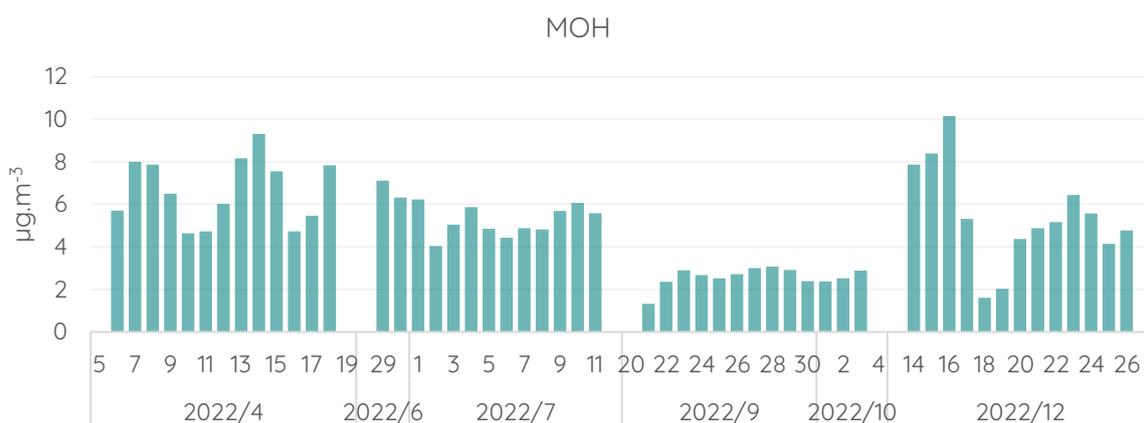
Obrázek 246 - průměrné denní koncentrace SO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Kohoutovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



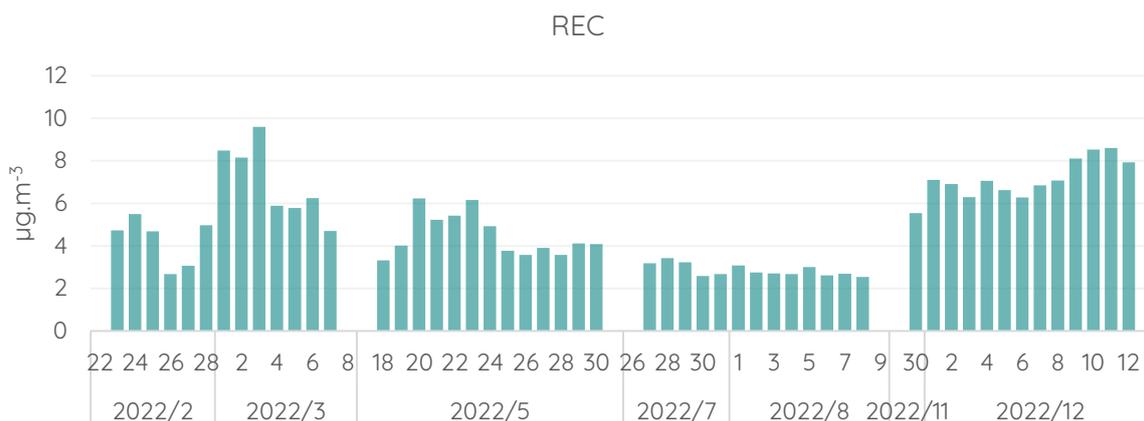
Obrázek 247 - průměrné denní koncentrace SO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Komín, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



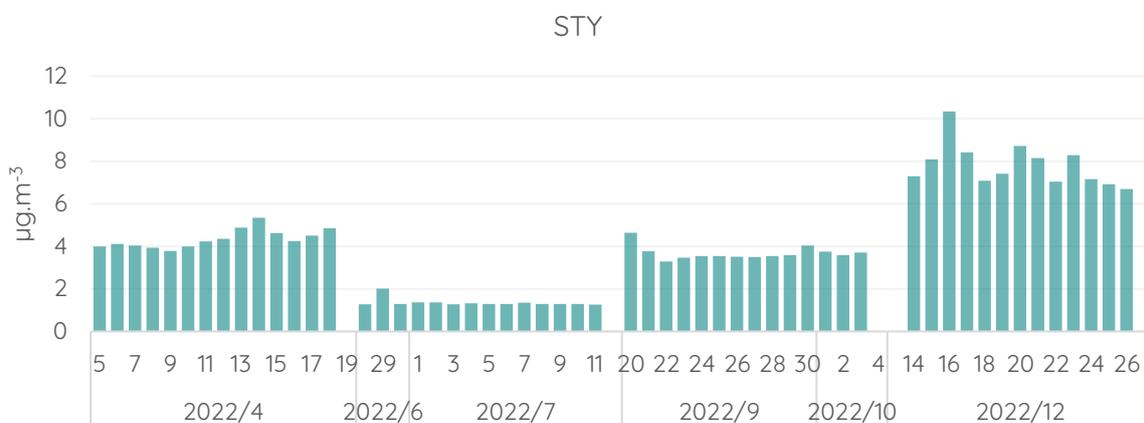
Obrázek 248 - průměrné denní koncentrace SO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Líšeň, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



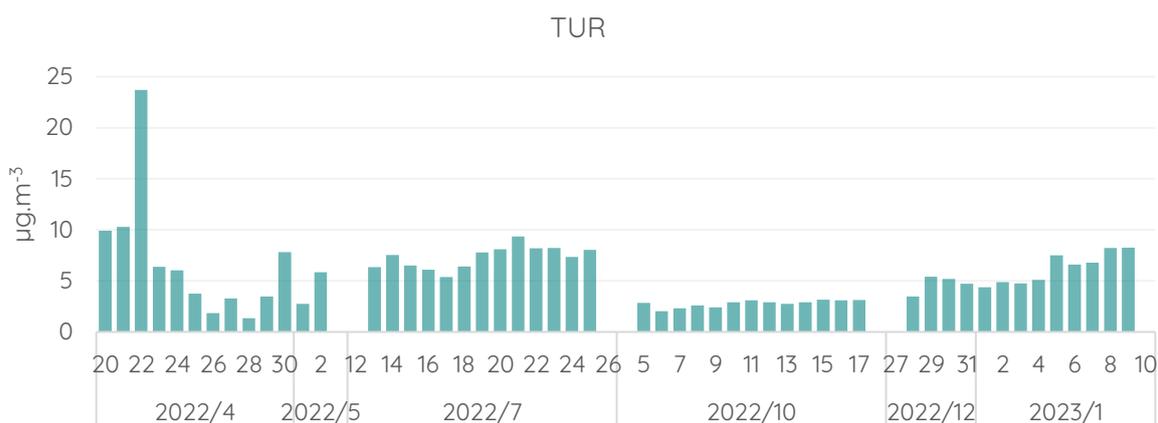
Obrázek 249 - průměrné denní koncentrace SO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Mokrá Hora, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



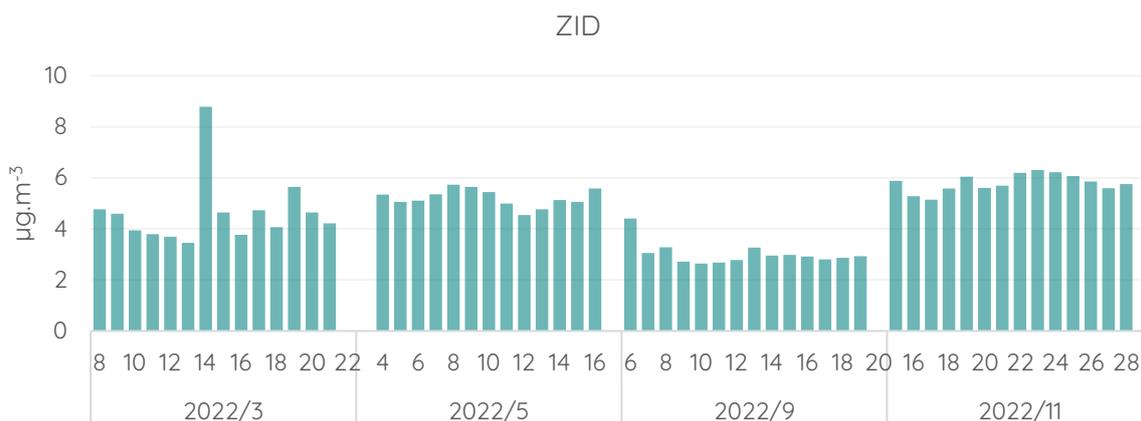
Obrázek 250 - průměrné denní koncentrace SO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Řečkovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 251 - průměrné denní koncentrace SO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Štýřice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 252 - průměrné denní koncentrace SO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Tuřany, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 253 - průměrné denní koncentrace SO<sub>2</sub> za všechny dny měření v lokalitě Židenice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.

Grafy průměrných denních koncentrací ukazují velmi nízké hodnoty 24h průměrů. V zákoně o ochraně ovzduší je pro SO<sub>2</sub> definován imisní limit pro 24h koncentraci. Hodnota tohoto limitu je 125 µg·m<sup>-3</sup>. Nejvyšší průměrná denní koncentrace ze všech monitorovaných lokalit a kampaní činila v rámci tohoto projektu 23,7 µg·m<sup>-3</sup> (lokalita Tuřany, 22. 4. 2022). Tato hodnota je více než pětinašobně nižší, než kolik činí hodnota příslušného imisního limitu.

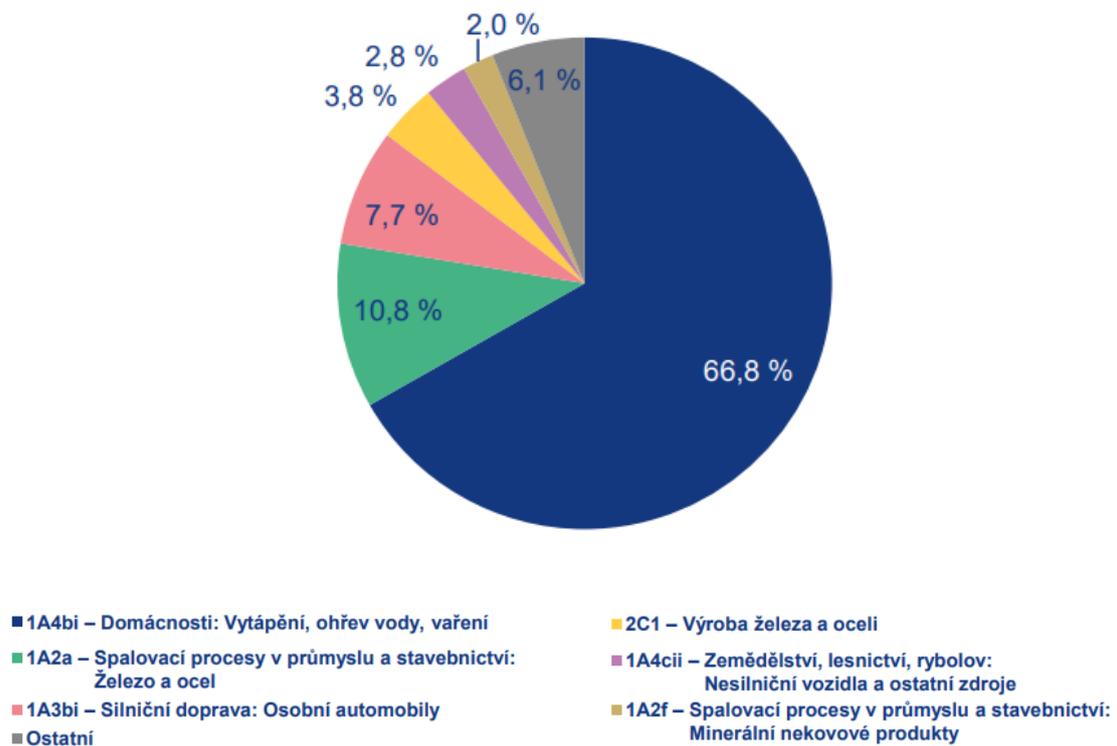
## Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý je bezbarvý jedovatý plyn lehčí než vzduch bez chuti, zápachu a dráždivých účinků. Vzhledem ke své toxicitě se jedná o jednu ze sledovaných látek znečišťujících ovzduší. Hlavním antropogenním zdrojem CO je především nedokonalé spalování fosilních paliv, kdy je teplota spalování příliš nízká, či není k dispozici dostatečné množství kyslíku nebo není čas hoření dostatečný, a namísto úplné oxidace na CO<sub>2</sub> se uvolňuje právě oxid uhelnatý. Většina světové produkce CO padá na vrub přirozeným procesům, mezi které patří například fotochemické procesy v troposféře, vulkanická činnost, lesní požáry a jiné přírodní procesy doprovázené hořením (Badr, 1994).

Toxicita tohoto plynu spočívá v jeho vazbě na krevní barvivo hemoglobin a následný vznik karboxyhemoglobinu (Rose, 2017). Vzniklý karboxyhemoglobin je poměrně stabilní a není schopen vázat kyslík, čímž dochází k blokaci přenosu kyslíku v těle.

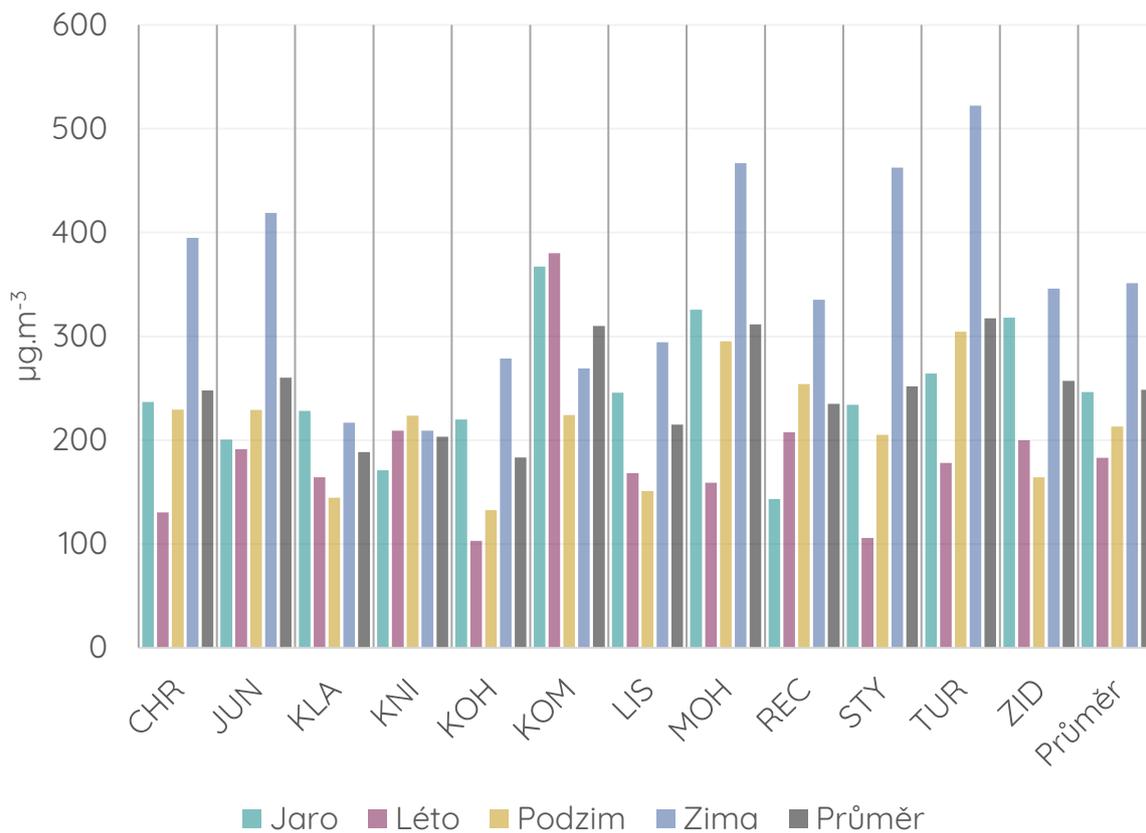
Měření koncentrací CO probíhá metodou nediverzní infračervené spektrometrie. Měření je založeno na sledování struktury infračerveného absorpčního spektra měřeného plynu vzhledem k dalším plynům přítomným v analyzovaném vzorku.

Dle nejnovější emisní bilance z roku 2019 je v České republice hlavním zdrojem CO v ovzduší kategorie Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření (66,8 %) a dále Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Železo a ocel (10,8 %) a Silniční doprava: osobní automobily (7,7 %).



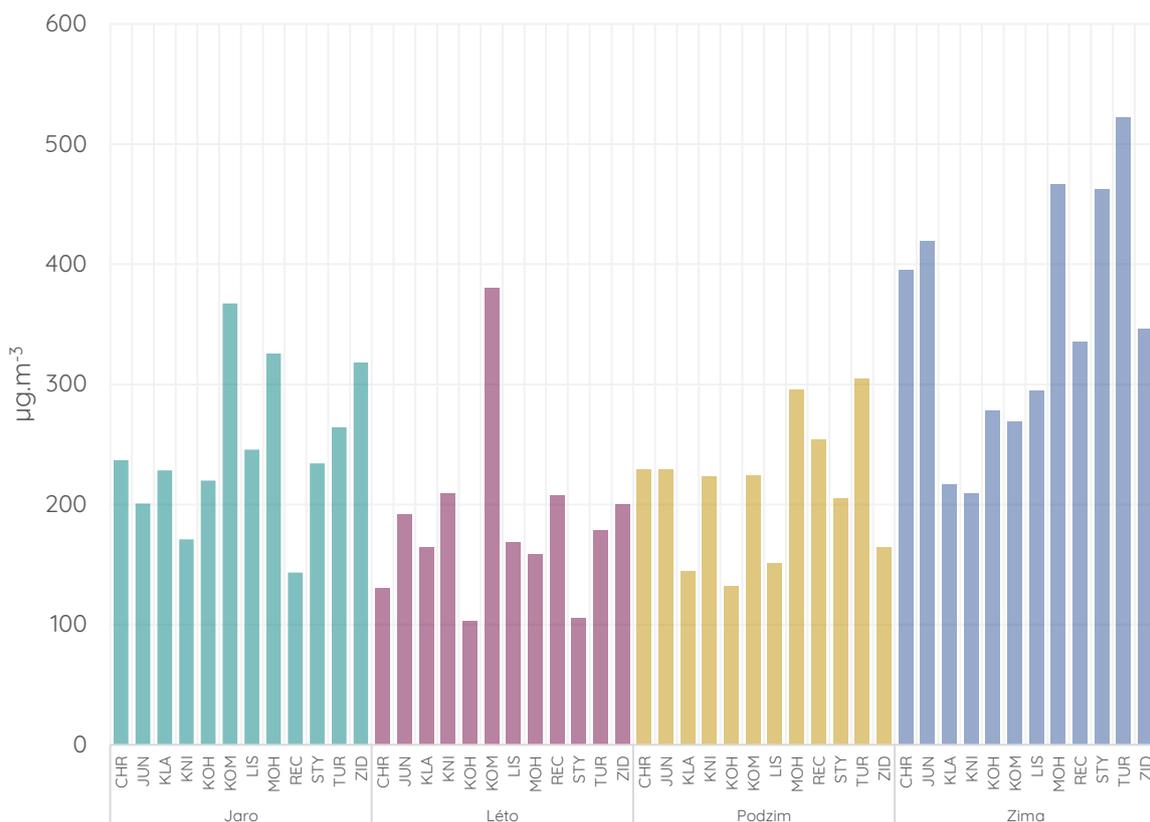
Obrázek 254 - emisní zdroje oxidu uhelnatého v České republice (emisní bilance 2019)

Následující graf ukazuje průměrné koncentrace CO pro jednotlivé kampaně a celkově.



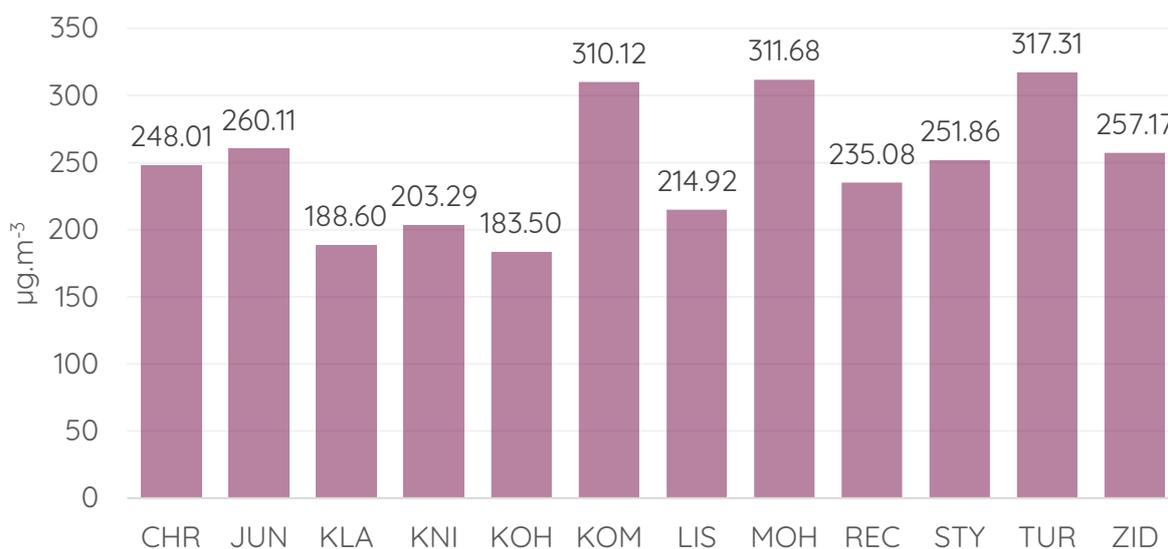
Obrázek 255 - průměrné koncentrace CO v jednotlivých měřicích kampaních a lokalitách a celkový průměr.

Následující graf ukazuje totožné koncentrace, tentokrát seřazené podle jednotlivých měřicích kampaní.



Obrázek 256 - průměrné koncentrace CO v jednotlivých měřicích kampaních.

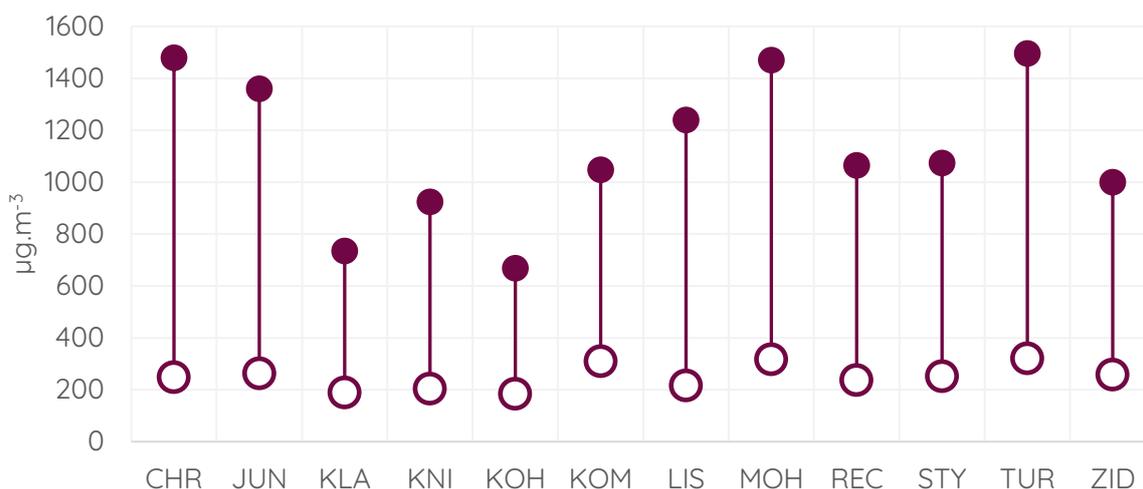
Celkové průměrné koncentrace oxidu uhelnatého za všechny čtyři měřicí kampaně na všech lokalitách ukazuje následující graf.



Obrázek 257 - průměrné koncentrace CO pro jednotlivé lokality měření za všechny měřicí kampaně.

Nejvýznamnějším zdrojem CO je ve městech doprava. Vyšší koncentrace tedy bývají pozorovány v dopravně zatížených lokalitách. V grafu výše je toto patrné například u lokalit Jundrov, Komín nebo Tuřany.

Graf níže ukazuje průměrnou koncentraci (bílý bod) a maximální naměřenou hodinovou koncentraci CO za celé období monitoringu pro jednotlivé lokality.

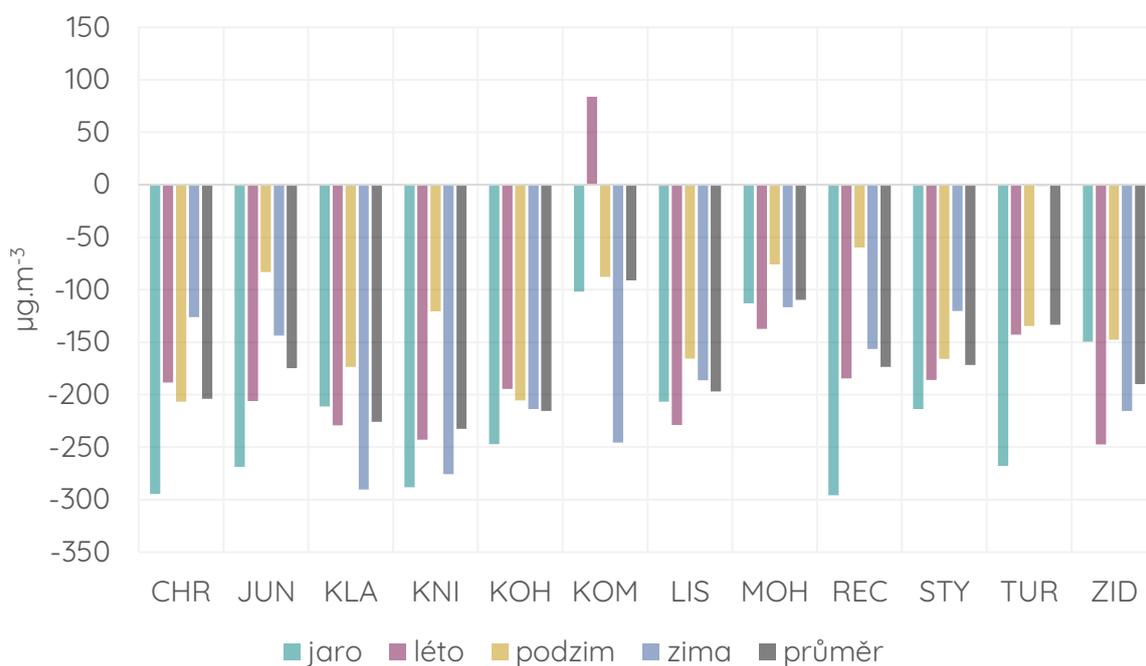


Obrázek 258 - průměrné a nejvyšší hodinové koncentrace CO pro jednotlivé lokality měření za všechny měřicí kampaně.

Graf výše lze využít ke srovnání hodnot s imisním limitem. Pro oxid uhelnatý je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven imisní limit pro maximální 8h klouzavý průměr koncentrací. Hodnota tohoto limitu je 10 000 µg·m<sup>-3</sup>. Jak je patrné z grafu výše, absolutně nejvyšší průměrné hodinové koncentrace CO se pohybovaly kolem 1500 µg·m<sup>-3</sup>. 8h průměry pak byly ještě nižší. Lze tedy říci, že v průběhu všech kampaní a u všech lokalit, nedošlo k překročení imisního limitu, a tomuto limitu se koncentrace na žádné lokalitě ani zdaleka nepřiblížily. Nutno také dodat, že obdobná situace je platná dlouhodobě plošně pro celou Českou republiku – k překračování imisního limitu CO nedochází nikde v České republice a koncentrace CO jsou celorepublikově dlouhodobě výrazně podlimitní.

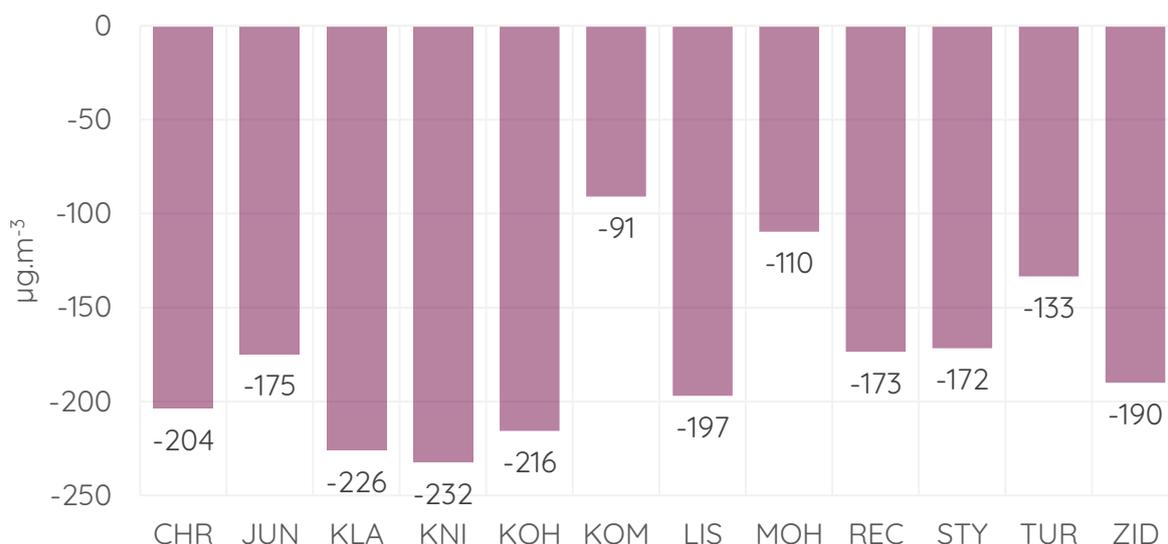
Jak bylo popsáno v textu výše, vyšší vypovídající hodnotu než absolutní hodnoty, má srovnání s hodnotami naměřenými ve stejném čase na ostatních brněnských stanicích v rámci SSIM. Hodnoty v grafu níže reprezentují rozdíl průměrné koncentrace z dané lokality a průměru ze všech brněnských stanic SSIM pro shodný čas. Záporné hodnoty značí koncentrace nižší, než byl průměr koncentrací pro brněnské stanice v SSIM a naopak. Tyto rozdíly byly zvlášť spočítány pro pozad'ové a dopravní stanice. Jelikož je pro různé

látky odlišný počet dopravních a pozad'ových stanic, které danou látku v Brně monitorují, bylo by srovnání s celkovým průměrem zkreslující.



Obrázek 259 - rozdíl průměrné koncentrace CO v jednotlivých měřicích lokalitách a kampaních z průměrné koncentrace z brněnských dopravních stanic SSIM v příslušném období.

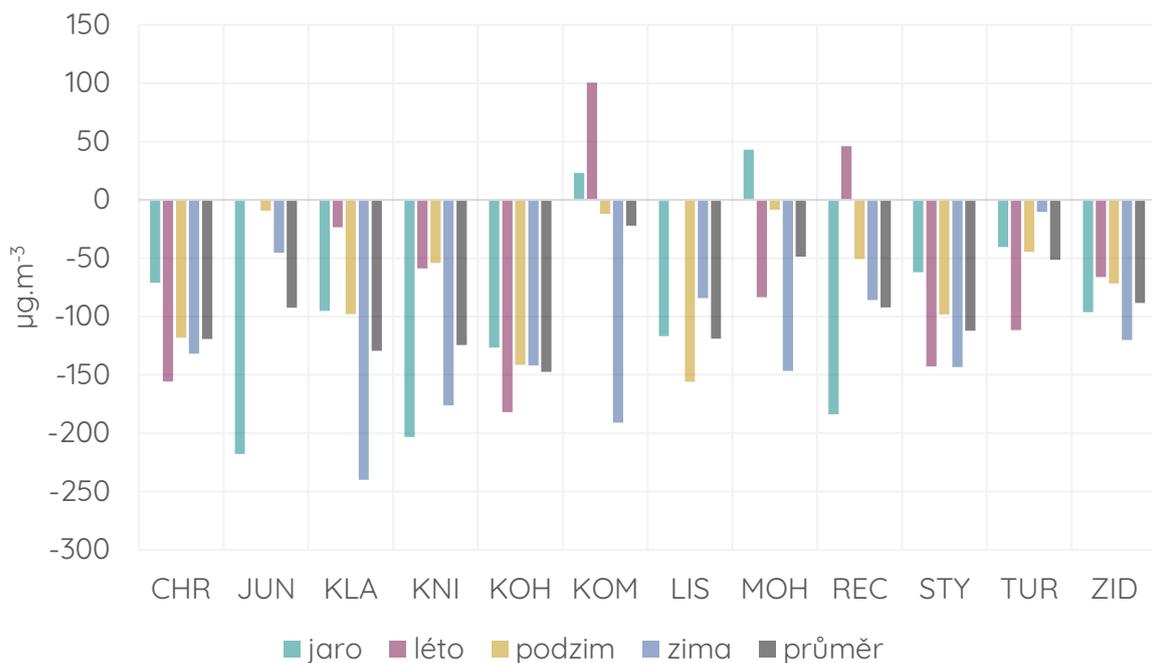
Graf níže pak ukazuje totéž, tentokrát však přehledněji pouze pro průměrný rozdíl za všechny čtyři měřicí kampaně.



Obrázek 260 - rozdíl průměrné koncentrace CO v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím CO v totožném období z dopravních stanic státní sítě imisního monitoringu v Brně.

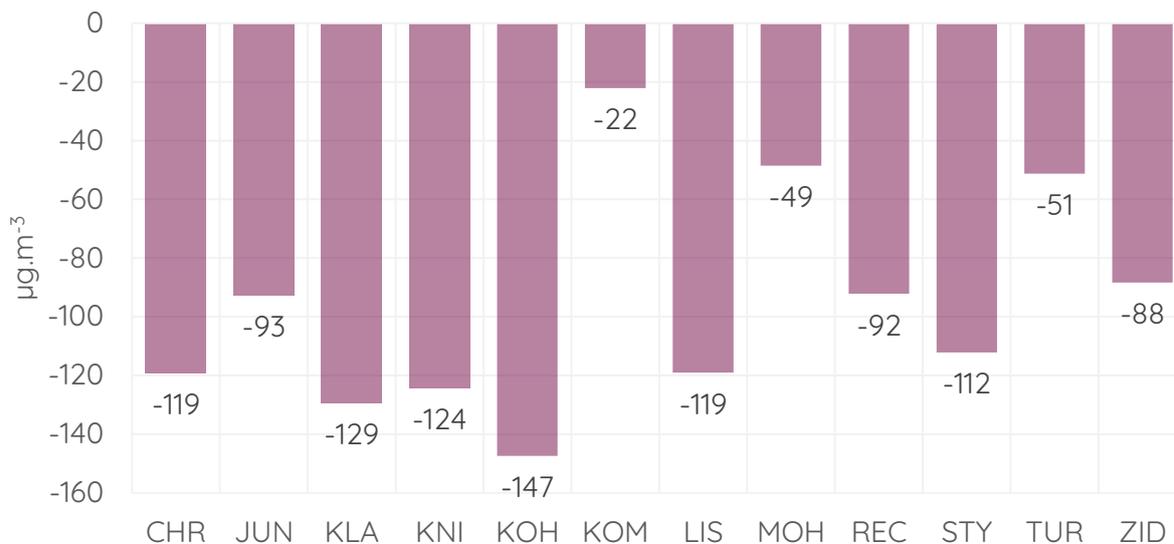
Hodnoty průměrných koncentrací CO byly v rámci tohoto projektu na všech lokalitách nižší, než je průměr dopravních stanic SSIM v Brně. Rozdíly se pohybují od přibližně -100 do -250  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . S ohledem na výši těchto hodnot a imisní limit nejsou tyto rozdíly příliš významné. Nejnižší byly koncentrace v dopravně nejméně zatížených lokalitách – Klajdovka, Kohoutovice, Kníničky – v okrajových částech Brna.

Následující grafy představují totožné srovnání, tentokrát však s průměrem z nikoliv dopravních, ale pozadových stanic.



Obrázek 261 - rozdíl průměrné koncentrace CO v jednotlivých měřicích lokalitách a kampaních z průměrné koncentrace z brněnských pozadových stanic SSIM v příslušném období.

Graf níže pak ukazuje totéž, tentokrát však přehledněji pouze pro průměrný rozdíl za všechny čtyři měřicí kampaně.

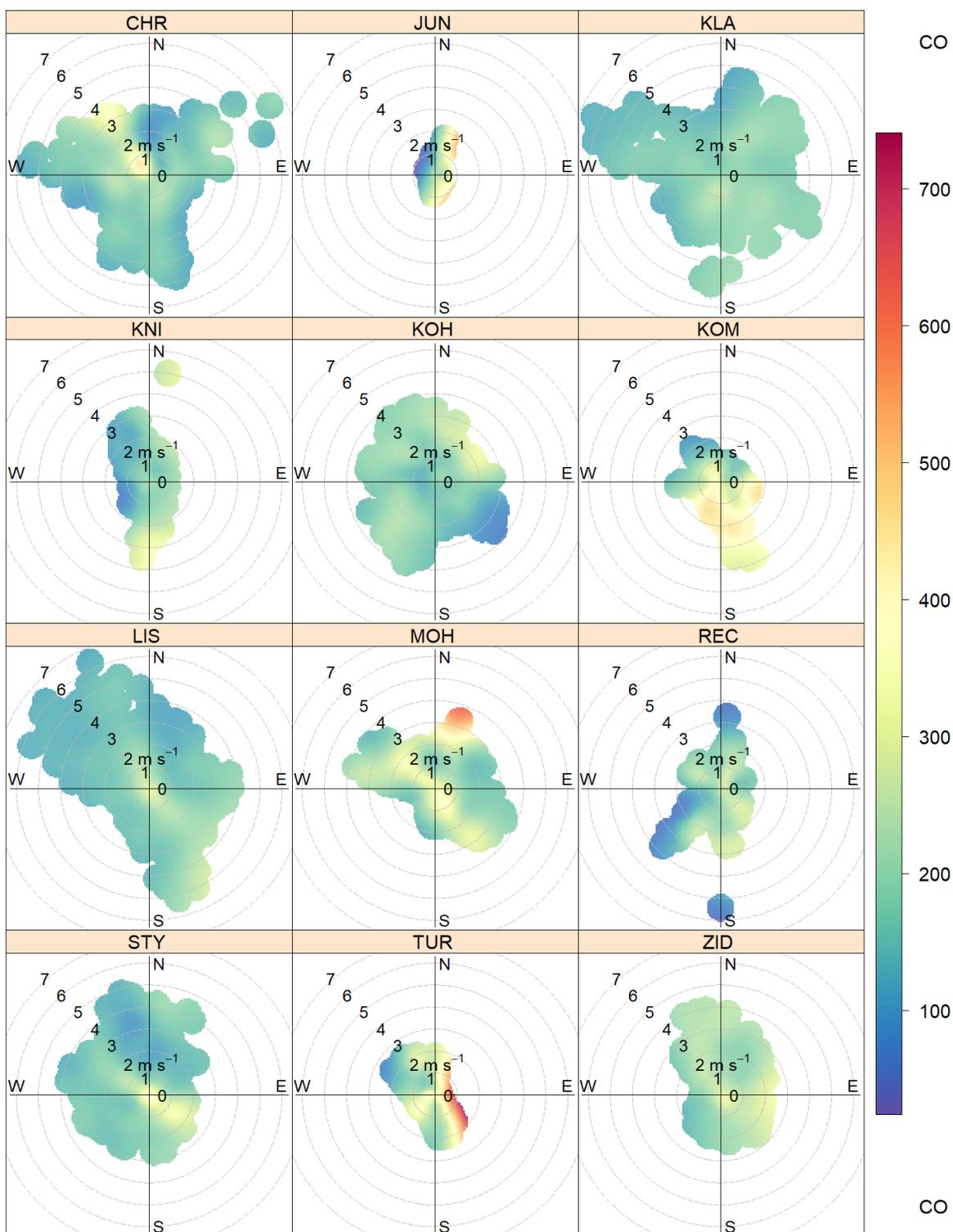


Obrázek 262 - rozdíl průměrné koncentrace CO v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím CO v totožném období z pozad'ových stanic státní sítě imisního monitoringu v Brně.

Rozdíly ve srovnání s pozad'ovými stanicemi jsou nižší, protože na pozad'ových stanicích bývají koncentrace CO nižší. S ohledem na výši hodnot koncentrací v absolutních hodnotách nejsou tyto rozdíly příliš významné, pohybují se od přibližně 0 do -150 µg·m<sup>-3</sup>.

Koncentrační růžice vyjadřují vztah mezi rychlostí větru, směrem větru a koncentracemi konkrétní znečišťující látky. Umožňují tedy například hodnotit, ze kterého směru přicházelo znečištění při nejvyšších hodnotách. Princip a způsob interpretace koncentračních růžic ukazuje Obrázek 15.

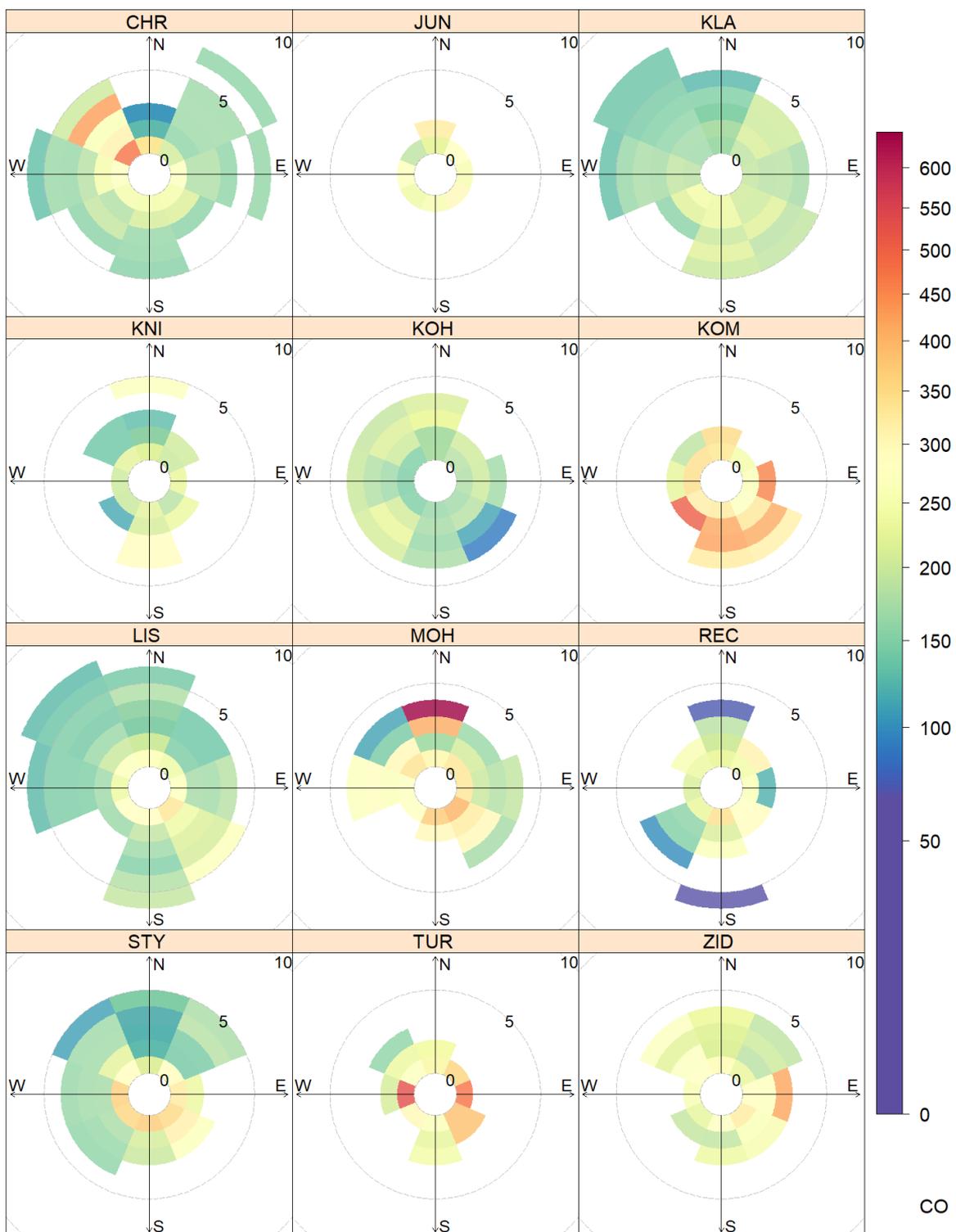
Následující přehled ukazuje koncentrační růžice pro všechny lokality za všechny měřicí kampaně se sjednocenou škálou pro možnost srovnání.



Obrázek 263 - koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi CO pro jednotlivé lokality měření za všechny čtyři měřicí kampaně.

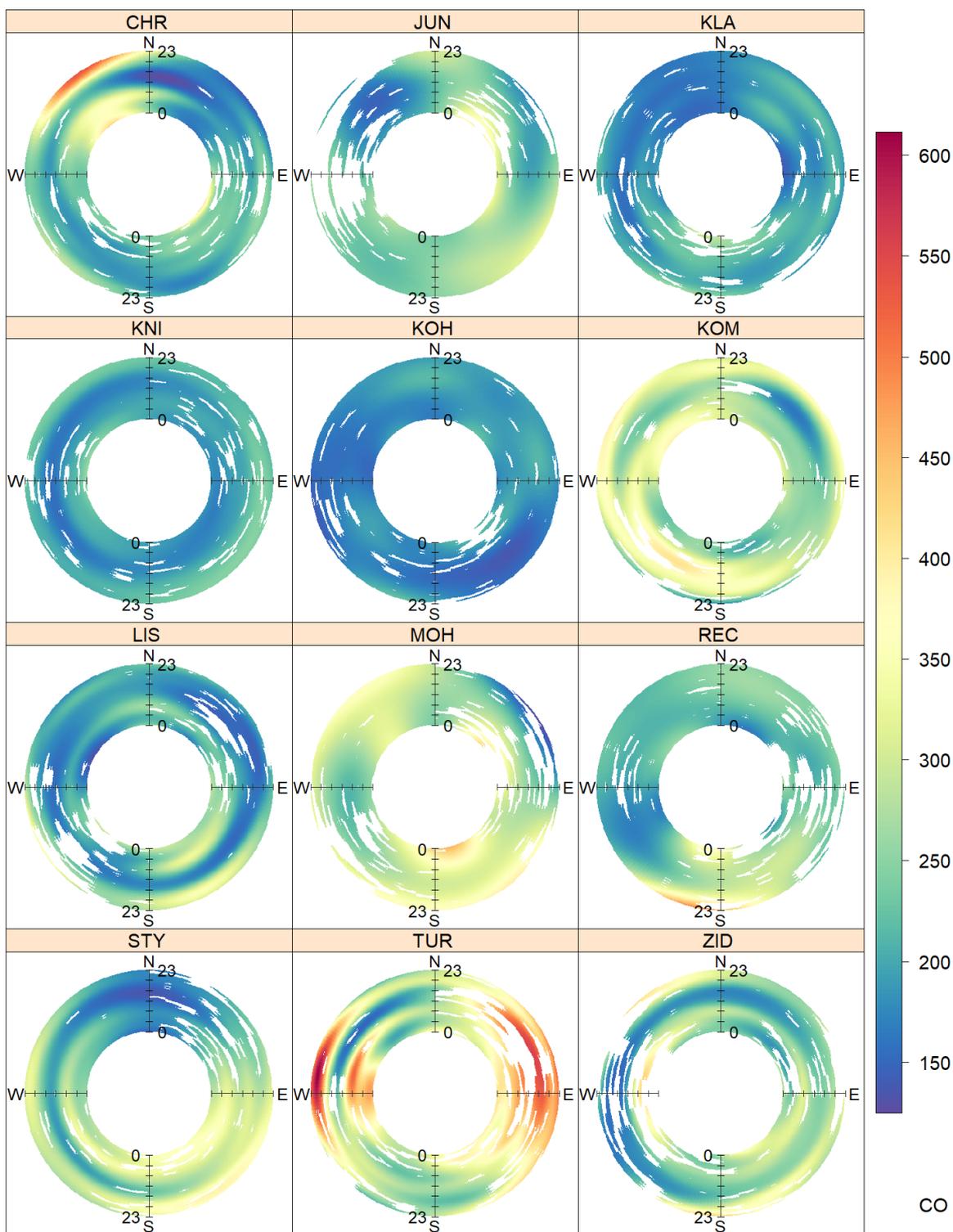
V případě koncentračních růžic pro CO je dobré si všimnout dvou faktů – tím prvním jsou, v souladu s hodnocením výše, relativně nízké hodnoty koncentrací (ve srovnání s imisním limitem) a zároveň fakt, že na většině lokalit, kde je významná doprava, že vyšší koncentrace jsou právě ve směru od dopravní komunikace.

Vizualizace níže ukazuje tzv. vážené koncentrační růžice. V tomto případě je brán v potaz i čas, po který z daného směru znečištění proudilo. Zatímco koncentrační růžice (ne vážené) ukazují průměrnou koncentraci pro konkrétní směr a rychlost větru, u vážené koncentrační růžice je hodnoceno celkové množství znečištění, které se v dané lokalitě při dané kombinaci směru a rychlosti větru vyskytlo. Pokud je tedy například určitý směr proudění velmi častý, i přes relativně nízké koncentrace z daného směru, může v celkovém součtu daný směr přispívat k celkovému znečištění významně a naopak.



Obrázek 264 - vážené koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi CO pro jednotlivé lokality měření za všechny čtyři měřicí kampaně.

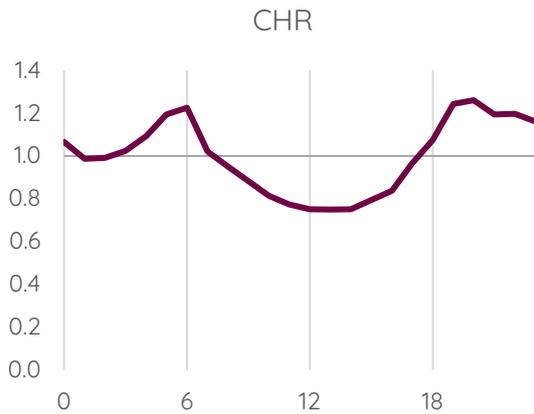
Vztah mezi směrem větru, koncentrací znečišťující látky a hodinou dne ukazují tzv. anulární koncentrační růžice. Jejich interpretace je blíže popsána v grafice výše (Obrázek 16). Následující přehled anulárních koncentračních růžic ukazuje tento vztah pro oxid uhelnatý jako souhrn ze všech měřících kampaní pro jednotlivé lokality.



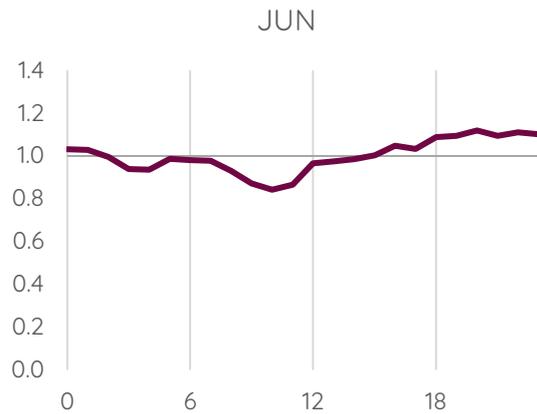
Obrázek 265 - anulární koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi směrem větru, koncentracemi CO a hodinou dne (UTC) pro jednotlivé lokality za všechny měřící kampaně.

Následující grafy ukazují průměrný denní chod koncentrací oxidu uhelnatého. V tomto případě je cílem zobrazit průměrný denní chod, nikoliv absolutní hodnoty koncentrací. Hodnoty tedy byly normalizovány - každá z průměrných koncentrací pro konkrétní hodinu a lokalitu byla srovnána s celkovým průměrem pro danou lokalitu. Hodnota pro každou

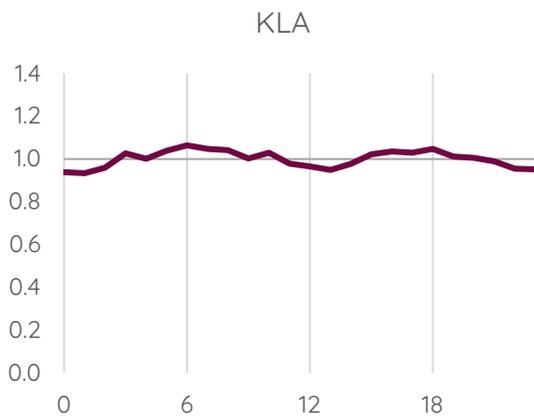
hodinu tedy ukazuje podíl průměrné koncentrace v danou hodinu dne oproti celkovému průměru. Například hodnota 2 ukazuje, že v danou hodinu dne byly koncentrace v průměru dvojnásobné oproti průměru pro danou lokalitu. Pro všechny grafy byla použita totožná škála, aby bylo možné srovnávat variabilitu denního chodu koncentrací. Všechny hodiny dne jsou v čase UTC (v případě letního času -2 hodiny oproti občanskému času, v případě zimního času -1 hodina oproti občanskému času).



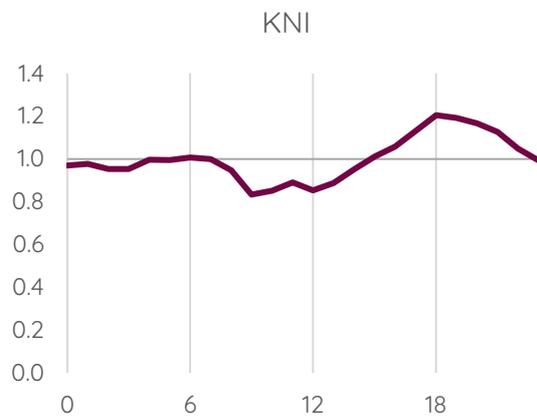
Obrázek 266 - průměrný denní chod koncentrací CO v lokalitě Chrlice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



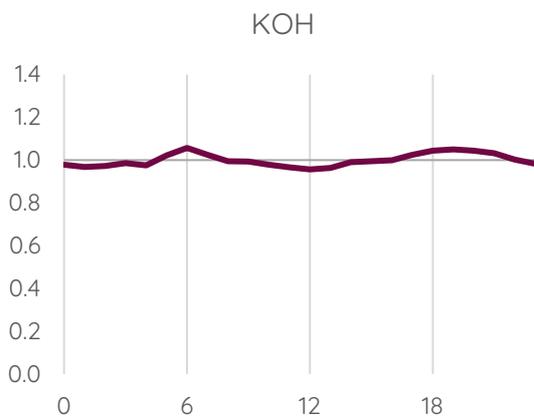
Obrázek 267 - průměrný denní chod koncentrací CO v lokalitě Jundrov. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 268 - průměrný denní chod koncentrací CO v lokalitě Klajdovka. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 269 - průměrný denní chod koncentrací CO v lokalitě Kníničky. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



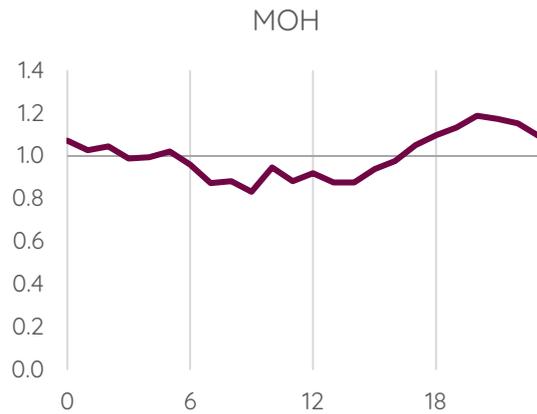
Obrázek 270 - průměrný denní chod koncentrací CO v lokalitě Kohoutovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



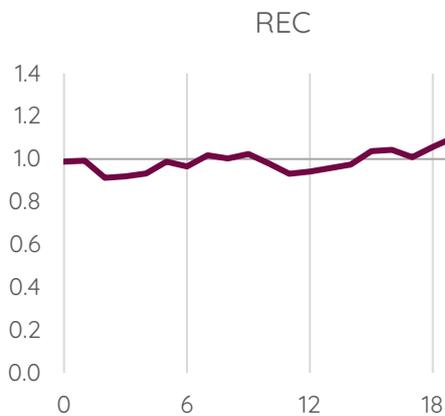
Obrázek 271 - průměrný denní chod koncentrací CO v lokalitě Komín. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



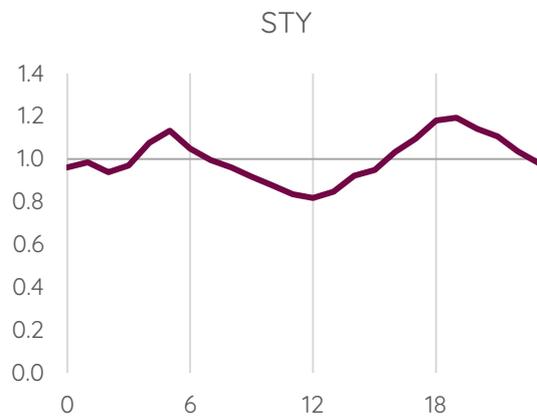
Obrázek 272 - průměrný denní chod koncentrací CO v lokalitě Líšeň. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



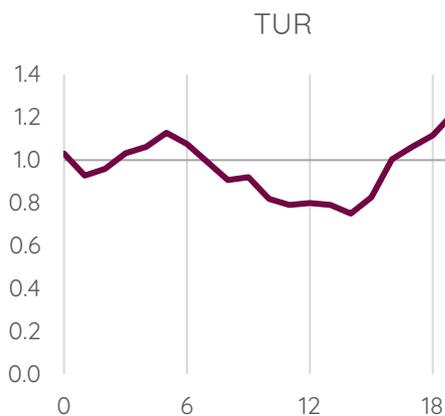
Obrázek 273 - průměrný denní chod koncentrací CO v lokalitě Mokrá Hora. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



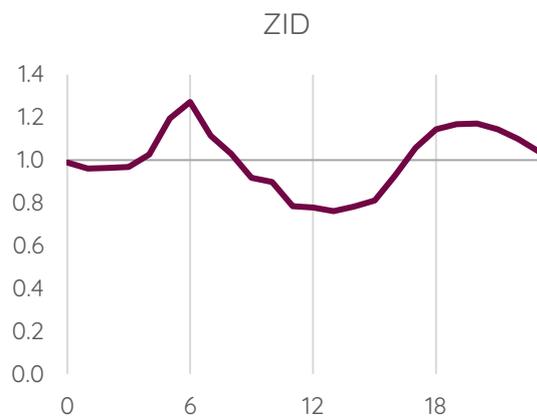
Obrázek 274 - průměrný denní chod koncentrací CO v lokalitě Řečkovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 275 - průměrný denní chod koncentrací CO v lokalitě Štýřice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



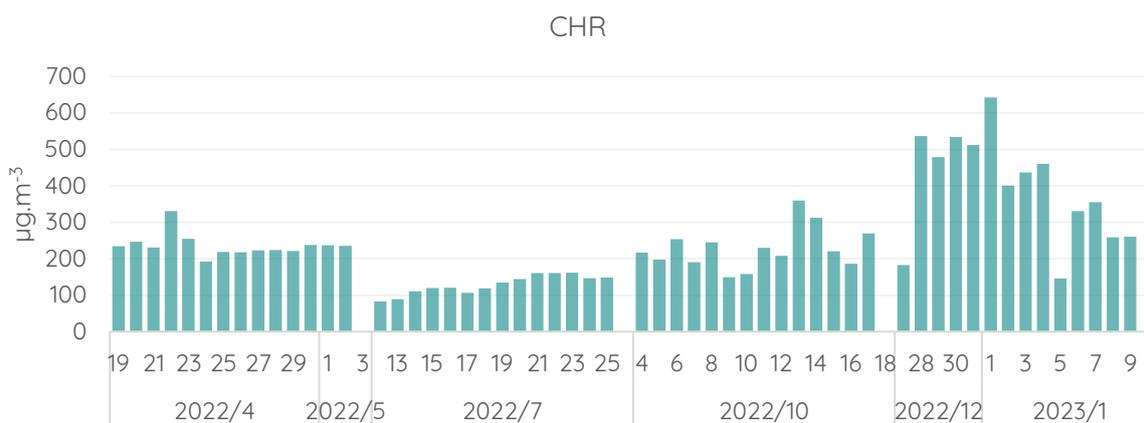
Obrázek 276 - průměrný denní chod koncentrací CO v lokalitě Tuřany. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



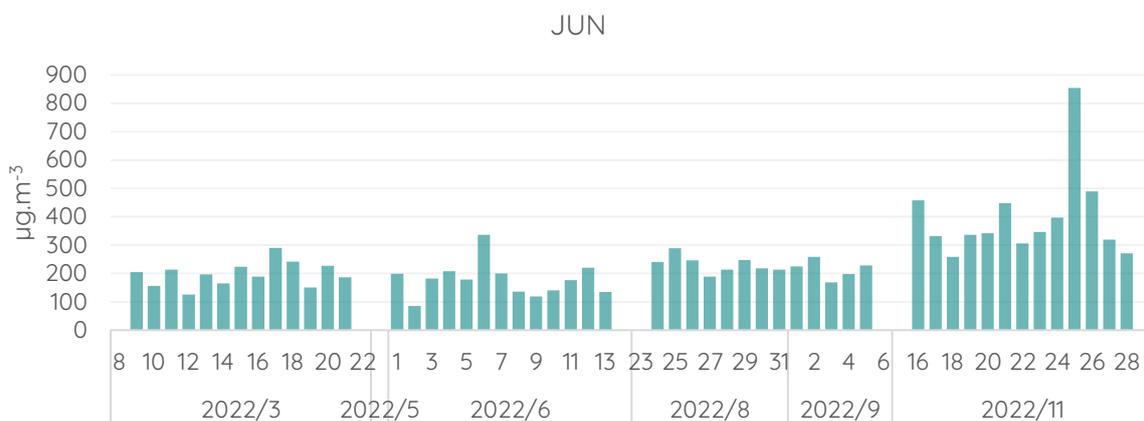
Obrázek 277 - průměrný denní chod koncentrací CO v lokalitě Židenice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.

V grafech průměrného denního chodu koncentrací CO je patrné, že na některých stanicích je vidět chod typický pro lokality ovlivněné dopravou s ranní a odpolední/večerní špičkou (např. Chrlice, Líšeň). Naopak na odlehlých lokalitách jsou koncentrace CO přes den velmi konstantní (např. Kohoutovice, Klajdovka).

Následující sloupcové grafy ukazují průměrné denní koncentrace CO. Denní průměrné koncentrace byly spočítány pouze pro ty dny, pro které byla dostupná data pro alespoň 75 % (16) hodin dne.



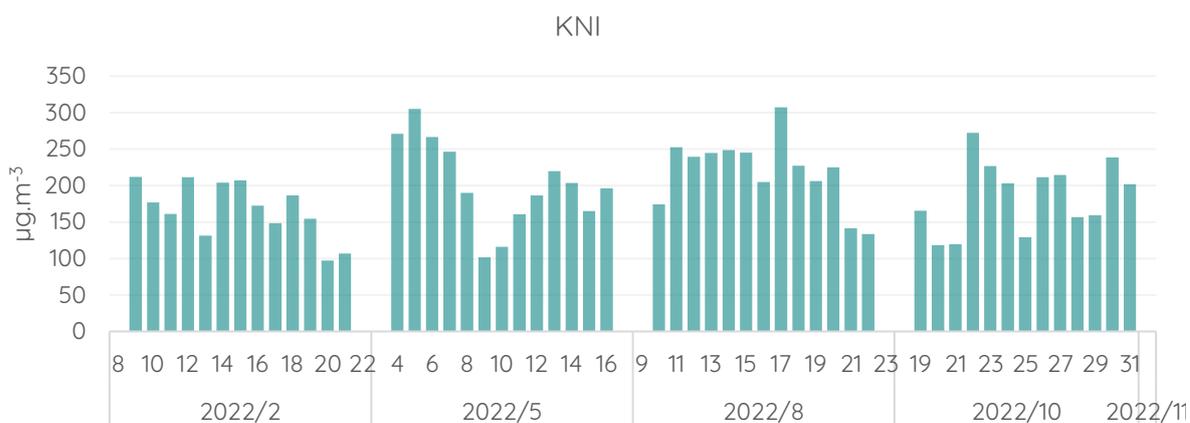
Obrázek 278 - průměrné denní koncentrace CO za všechny dny měření v lokalitě Chrlice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



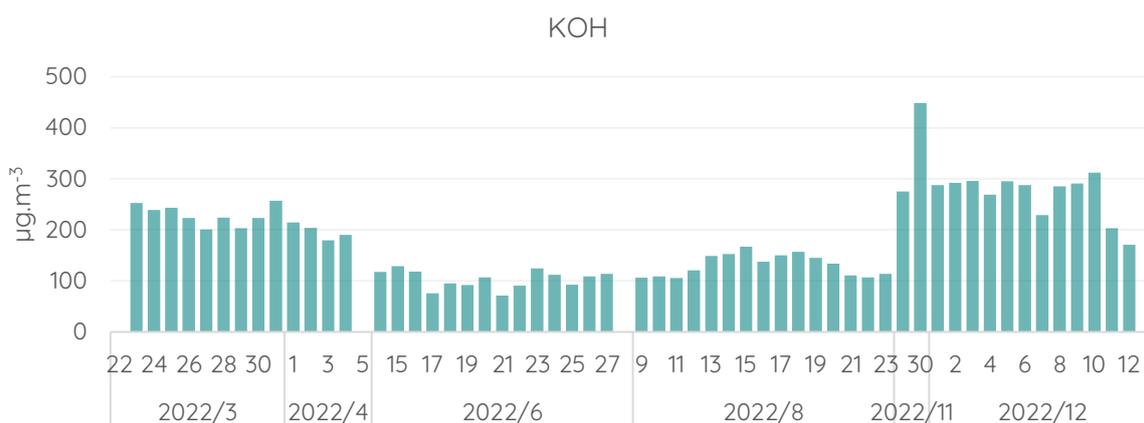
Obrázek 279 - průměrné denní koncentrace CO za všechny dny měření v lokalitě Jundrov, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



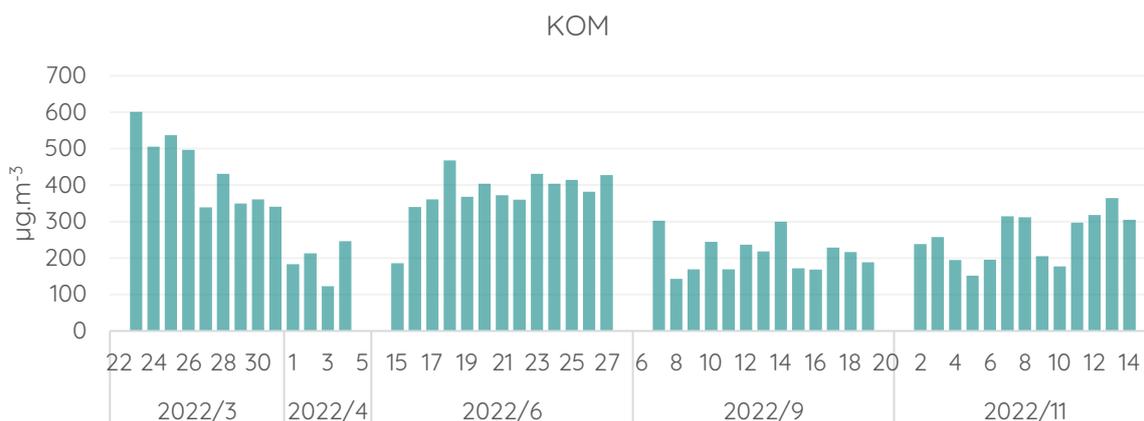
Obrázek 280 - průměrné denní koncentrace CO za všechny dny měření v lokalitě Klajdovka, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



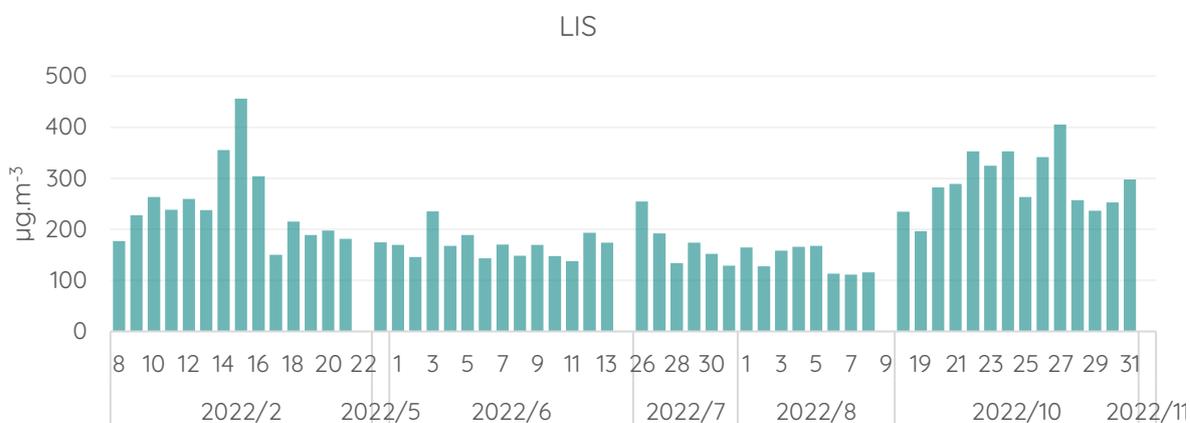
Obrázek 281 - průměrné denní koncentrace CO za všechny dny měření v lokalitě Kníničky, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



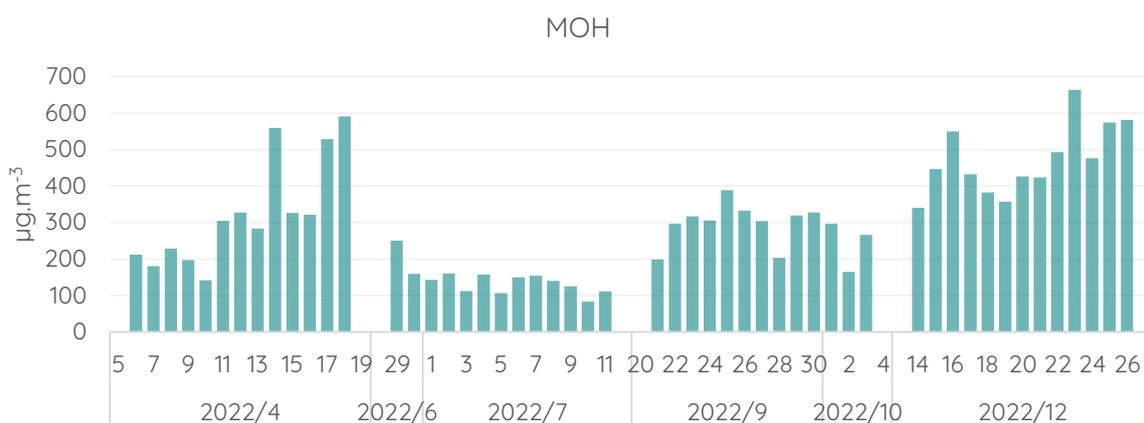
Obrázek 282 - průměrné denní koncentrace CO za všechny dny měření v lokalitě Kohoutovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



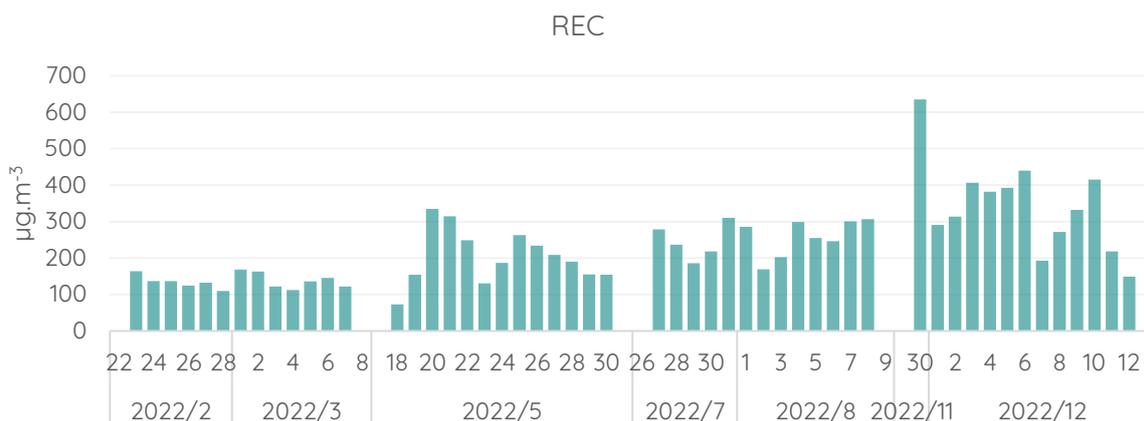
Obrázek 283 - průměrné denní koncentrace CO za všechny dny měření v lokalitě Komín, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 284 - průměrné denní koncentrace CO za všechny dny měření v lokalitě Líšeň, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



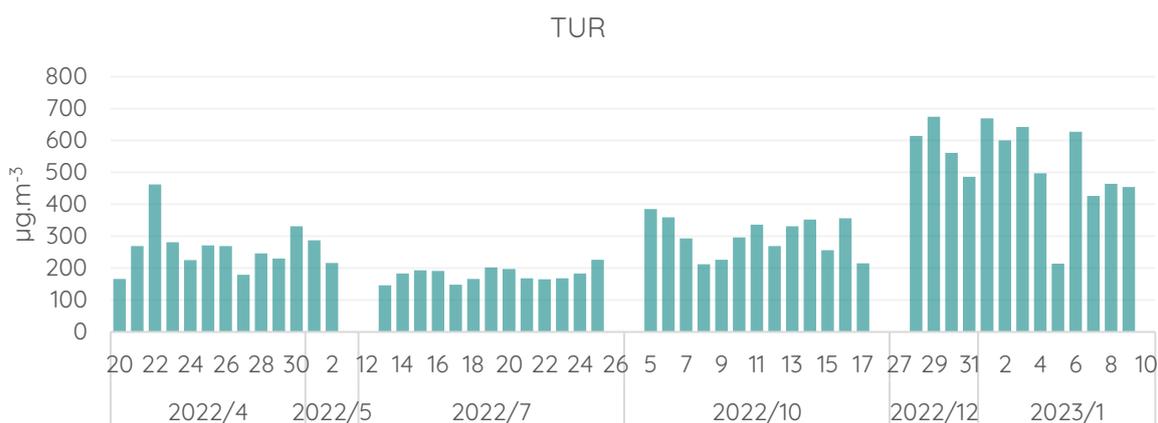
Obrázek 285 - průměrné denní koncentrace CO za všechny dny měření v lokalitě Mokrá Hora, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



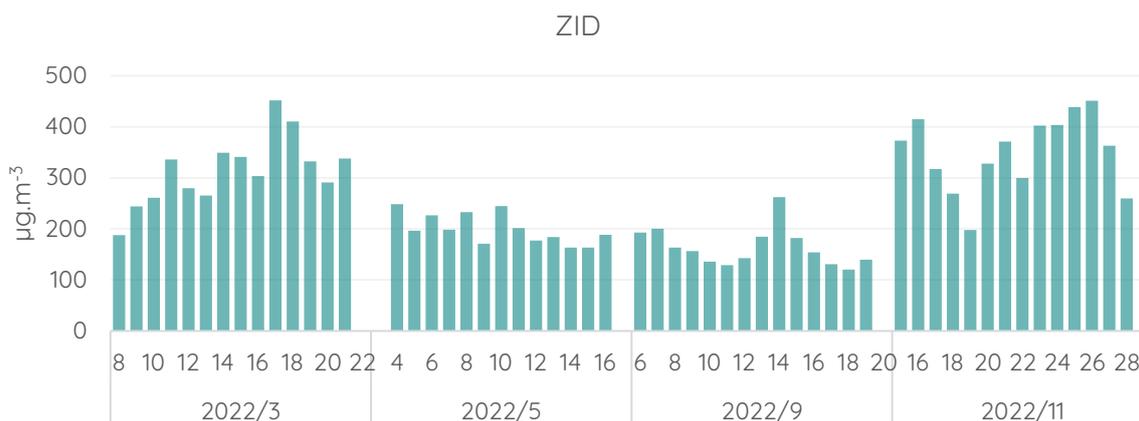
Obrázek 286 - průměrné denní koncentrace CO za všechny dny měření v lokalitě Řečkovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 287 - průměrné denní koncentrace CO za všechny dny měření v lokalitě Štýřice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 288 - průměrné denní koncentrace CO za všechny dny měření v lokalitě Tuřany, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 289 - průměrné denní koncentrace CO za všechny dny měření v lokalitě Židenice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.

## Přízemní ozon

Za normálních podmínek se v případě ozónu jedná o vysoce reaktivní plyn, jenž charakteristicky zapáchá a má silné oxidační vlastnosti. Zvýšené koncentrace ozónu se vyskytují v tzv. ozónové vrstvě (20-40 km nad zemským povrchem), jež se nachází ve stratosféře, kde plní funkci ochranné vrstvy před ultrafialovým zářením. Vlivem lidské činnosti však dochází ke ztenčování ozónové vrstvy a vzniku ozónových děr. Významnou roli zde hrají tzv. freony, halogenované uhlovodíky, z nichž se odštěpuje velmi reaktivní chlórový radikál, který se podílí na katalytickém rozkladu ozónu a snižuje tak jeho obsah ve stratosféře. V roce 1987 byl vydán Montrealský protokol, který používání freonů zakazuje. Od roku 1998 i díky tomuto opatření pomalu ale jistě dochází k postupnému brždění úbytku ozónové vrstvy. (Ball, 2018).

Na rozdíl od ozónu vyskytujícího se ve stratosféře je přízemní ozon považován za látku znečišťující ovzduší. Jedná se o tzv. sekundární polutant, jelikož nemá vlastní významný zdroj emisí a vzniká sekundárními fotochemickými reakcemi v ovzduší, primárně reakcemi oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>) a těkavých organických látek (VOC) za účinku slunečního záření. Současně probíhá titrace O<sub>3</sub> oxidem dusnatým za vzniku NO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>. Pokud je při této reakci přízemní O<sub>3</sub> nahrazen radikály, jeho koncentrace v atmosféře rostou. Důležitou úlohu při těchto reakcích hraje zejména radikál OH (Hůnová, 2018). NO<sub>x</sub> vznikají při veškerých spalovacích procesech. VOC 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). Velký význam zde však mají také meteorologické podmínky. Dá se říci, že koncentrace přízemního ozónu narůstají se vzrůstající teplotou a množstvím UV záření, a naopak klesají se zvyšující se relativní vlhkostí

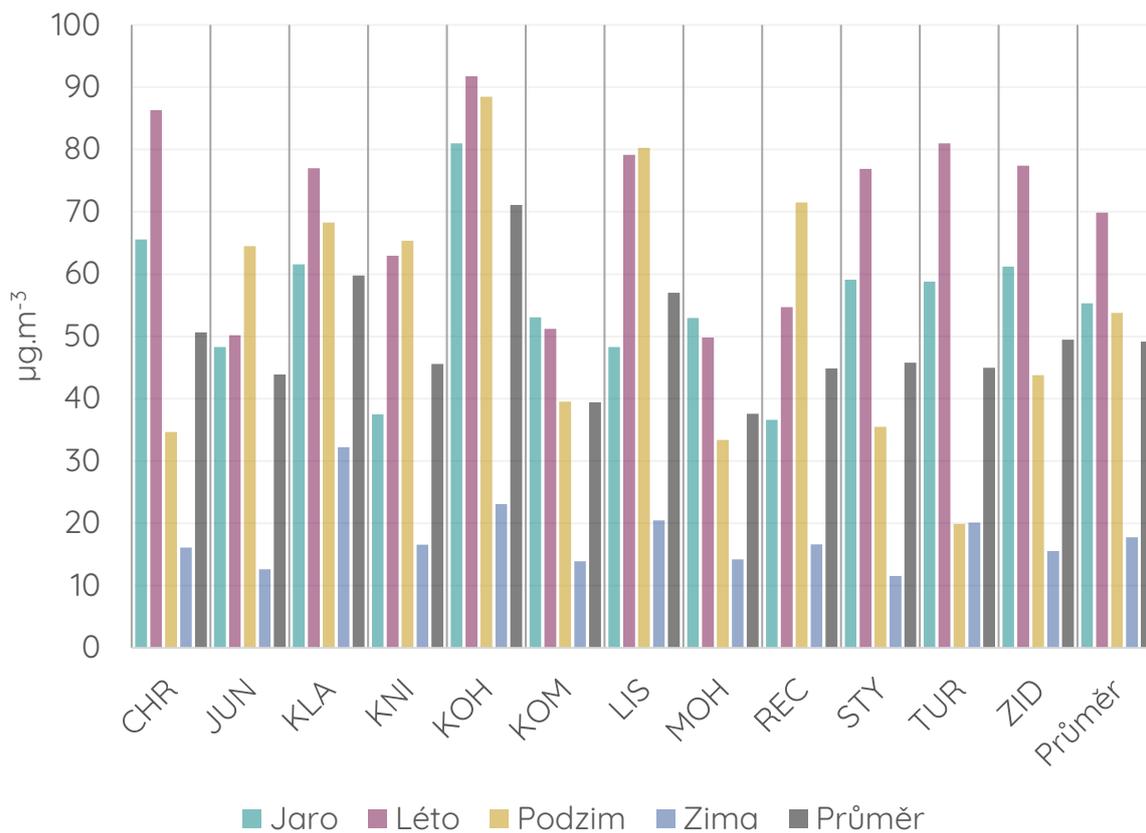
vzduchu. Celkově zastupuje přízemní ozon přibližně 10 % celkového ozonu v zemské atmosféře, zbylých 90 % připadá na ozon stratosférický.

Zvýšené koncentrace přízemního ozonu mají nežádoucí účinky na lidské zdraví. Můžou způsobovat různá onemocnění dýchací soustavy a mají silně dráždivé účinky na oční spojivky. Krátkodobá expozice znečištění ozonem vede především k riziku tracheitidy, bronchitidy a glaukomu. (Kong, 2022). Náchylnější jsou především osoby s chronickými obstrukčními onemocněními a malé děti.

Měření koncentrace přízemního ozónu probíhá spektrofotometricky. Intenzita ultrafialového světla je měřena po jeho průchodu měřicí komorou (kyvetou), která obsahuje měřený vzorek. Zde dochází k absorpci ultrafialového světla v závislosti na koncentraci přítomného ozónu. Na základě takto naměřených hodnot a Beer-Lambertovy rovnice je vypočítáno okamžité množství  $O_3$  v měřeném vzorku.

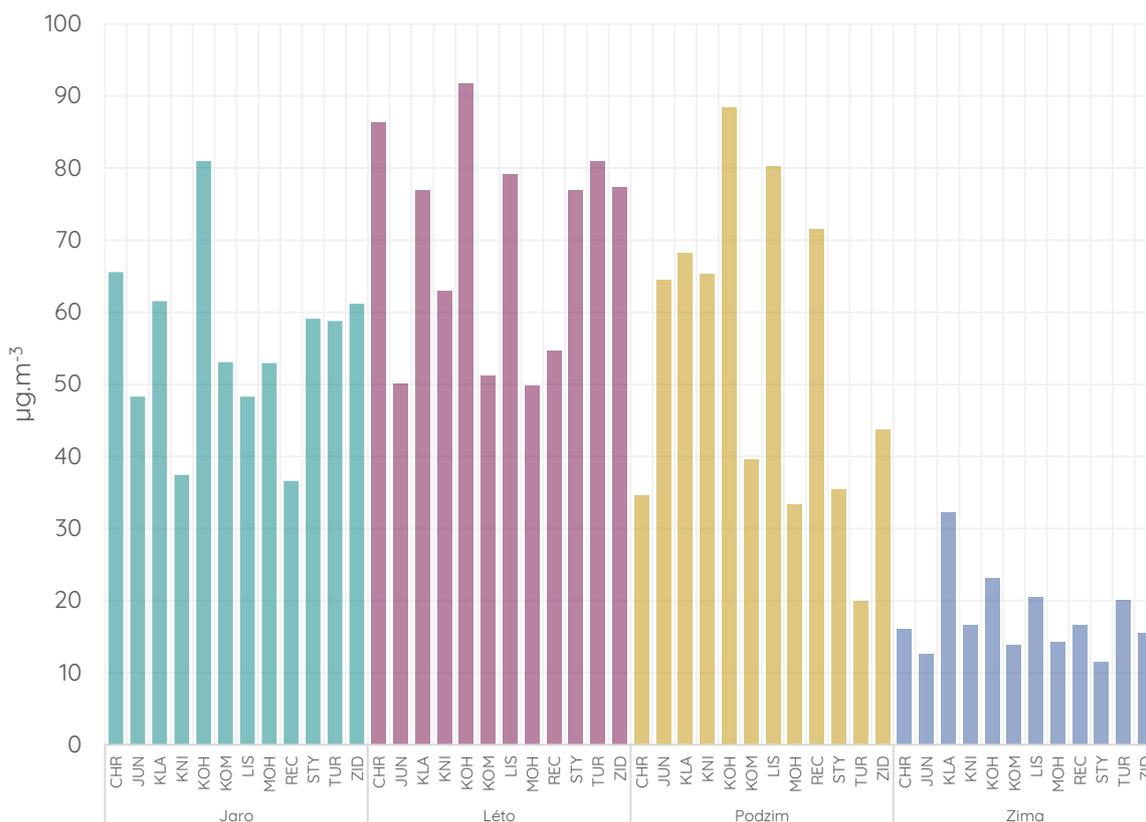
V Zákoně o ochraně ovzduší je pro přízemní ozón stanoven imisní limit, který má hodnotu  $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  jako maximální denní 8h klouzavý průměr a maximální povolený počet překročení za 3 po sobě jdoucí roky je 25 – v opačném případě mluvíme o překročení imisního limitu pro přízemní ozon. Dále se počítá index AOT40, ten bere v potaz pouze koncentrace v denní dobu (8-20 SEČ) a letní období.

Následující graf ukazuje průměrné koncentrace  $O_3$  pro jednotlivé kampaně a celkově.



Obrázek 290 - průměrné koncentrace O<sub>3</sub> v jednotlivých měřicích kampaních a lokalitách a celkový průměr.

Následující graf ukazuje totožné koncentrace, tentokrát seřazené podle jednotlivých měřicích kampaní.

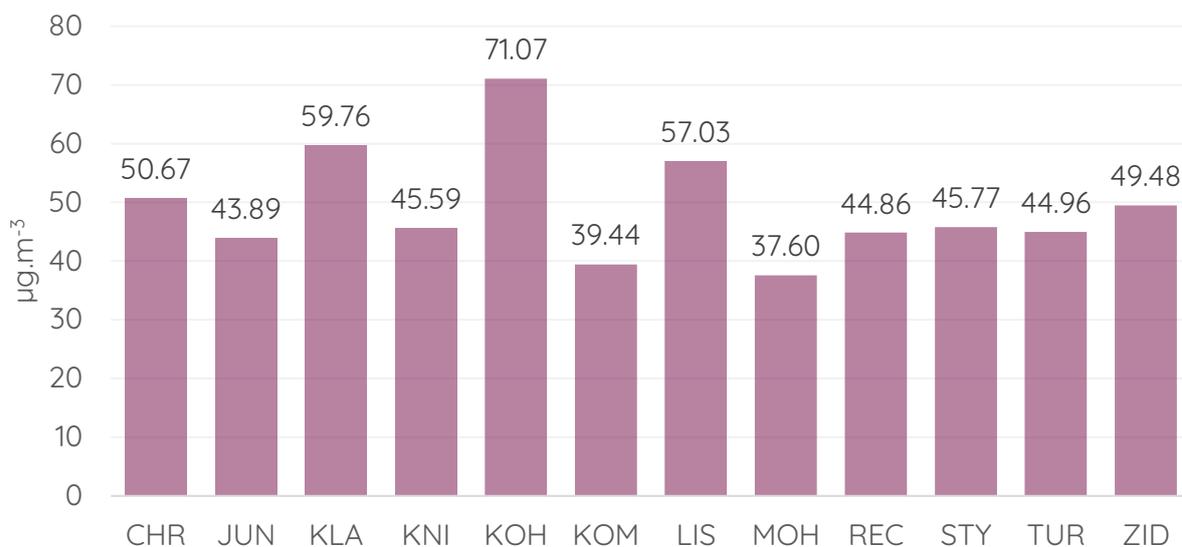


Obrázek 291 - průměrné koncentrace O<sub>3</sub> v jednotlivých měřicích kampaních.

V případě přízemního ozonu je typický roční chod s maximem v létě a minimem v zimním období. To souvisí s faktem, že reakce dávající vznik ozonu je katalyzována slunečním zářením a koncentrace ozonu jsou tak nejvyšší za horkých, jasných letních dní. Navíc s ohledem na reakční mechanismus bývají koncentrace přízemního ozonu nižší v lokalitách s vysokými koncentracemi oxidů dusíku, tedy například na dopravních stanicích.

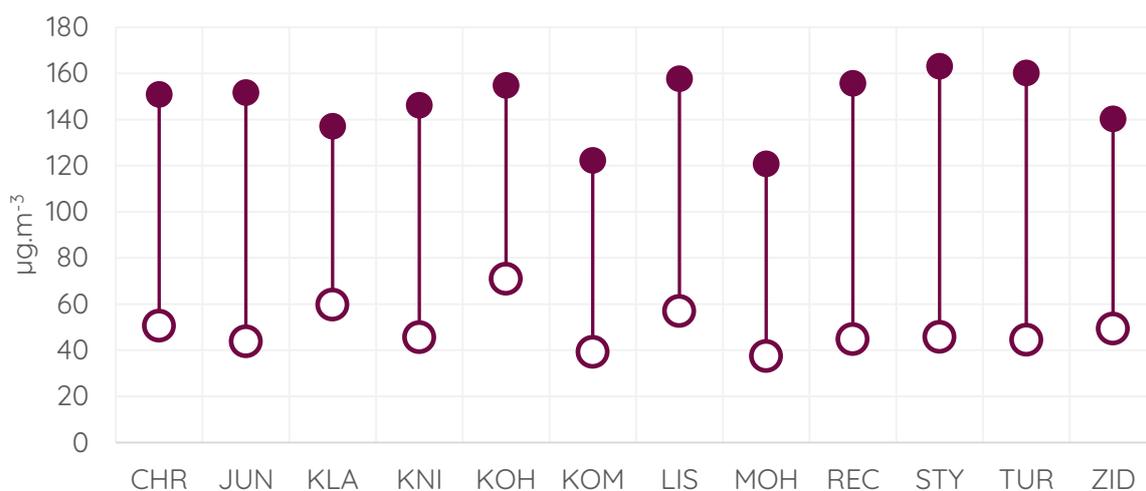
V grafech výše je dobře patrné, že v letní kampani byly koncentrace přízemního ozonu nejvyšší, vysoké byly také v podzimní kampani na některých lokalitách – zde je ale nutné připomenout, že podzimní monitoring probíhal na některých lokalitách ještě v letním období.

Celkové průměrné koncentrace přízemního ozonu za všechny čtyři měřicí kampaně na všech lokalitách ukazuje následující graf.



Obrázek 292 - průměrné koncentrace O<sub>3</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny měřicí kampaně.

Graf níže ukazuje průměrnou koncentraci (bílý bod) a maximální naměřenou hodinovou koncentraci O<sub>3</sub> za celé období monitoringu pro jednotlivé lokality.

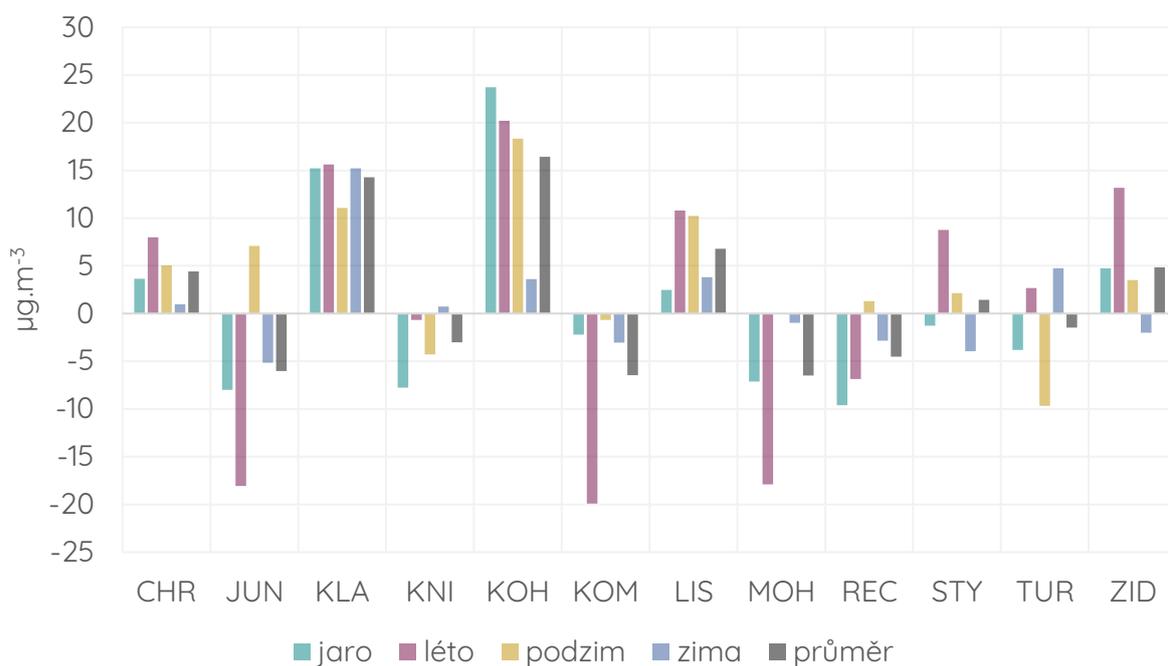


Obrázek 293 - průměrné a nejvyšší hodinové koncentrace O<sub>3</sub> pro jednotlivé lokality měření za všechny měřicí kampaně.

Nejvyšší hodinové průměrné koncentrace O<sub>3</sub> naměřené během všech monitorovacích kampaní byly 163,1 µg.m<sup>-3</sup> (lokality Štýřice, 30. 6. 2022, 12 h UTC) a 160,2 µg.m<sup>-3</sup> (lokality Tuřany, 21. 7. 2022, 14 h UTC).

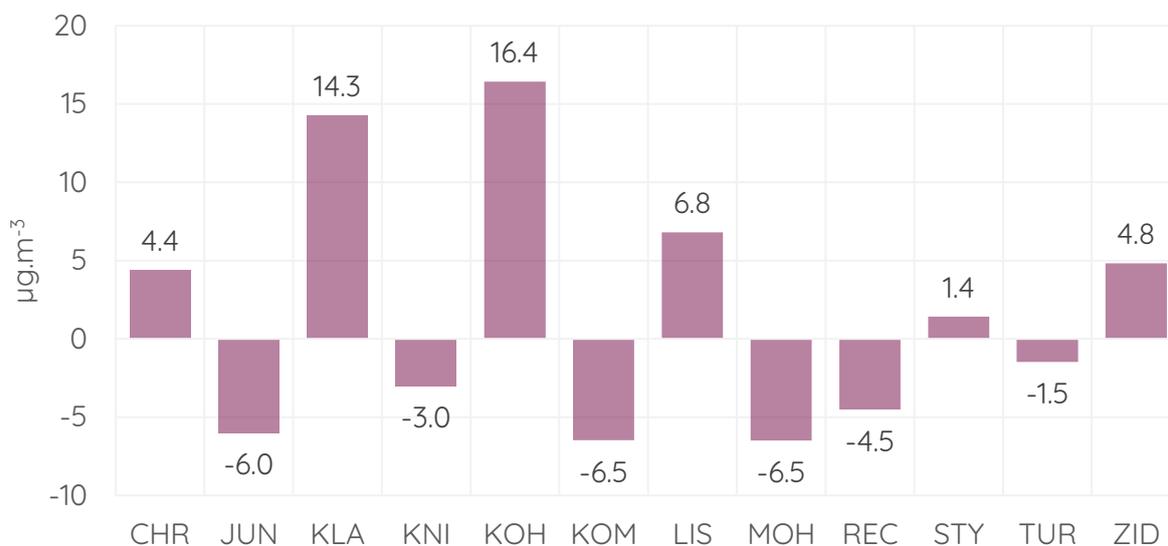
Jak bylo popsáno v textu výše, vyšší vypovídající hodnotu než absolutní hodnoty, má srovnání s hodnotami naměřenými ve stejném čase na ostatních brněnských stanicích v rámci SSIM. V případě přízemního ozonu jsou koncentrace v Brně monitorovány pouze

na pozad'ových stanicích, proto jsou uvedeny rozdíly pouze pro pozad'ové stanice a srovnání s dopravními není možné.



Obrázek 294 - rozdíl průměrné koncentrace O<sub>3</sub> v jednotlivých měřicích lokalitách a kampaních z průměrné koncentrace z brněnských pozad'ových stanic SSIM v příslušném období.

Graf níže pak ukazuje totéž, tentokrát však přehledněji pouze pro průměrný rozdíl za všechny čtyři měřicí kampaně.



Obrázek 295 - rozdíl průměrné koncentrace O<sub>3</sub> v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím O<sub>3</sub> v totožném období z pozad'ových stanic státní sítě imisního monitoringu v Brně.

Výše uvedená data ukazují, že výrazně nadprůměrné byly koncentrace přízemního ozonu zejména v lokalitě Kohoutovice a Klajdovka. Jedná se o lokality okraji Brna, s vysokým podílem zeleně v okolí a na vyvýšeném místě. Vyšší než brněnský průměr, byly také koncentrace v lokalitě Líšeň, která není vzdálená lokalitě Klajdovka, ale je více dopravně zatížená a blíže centru, proto zde pravděpodobně byly koncentrace O<sub>3</sub> nižší. Naopak na dopravně zatížených lokalitách byly koncentrace ozonu nižší – např. v lokalitě Jundrov, Komín, Řečkovice). V případě okrajové lokality Mokrá Hora vidíme naopak koncentrace ozonu nižší – tento fakt pravděpodobně souvisí se skutečností, že v lokalitě Mokrá Hora byly zaznamenány vyšší koncentrace oxidů dusíku (viz kapitola oxidy dusíku) a v lokalitách s vyššími koncentracemi této látky bývá s ohledem na reakční mechanismus vzniku ozonu jeho koncentrace nižší.

Můžeme dále hodnoty srovnat s regionální pozadřovou stanicí Mikulov-Sedlec. V této odlehle lokalitě bývají koncentrace ozonu rovněž zvýšené.

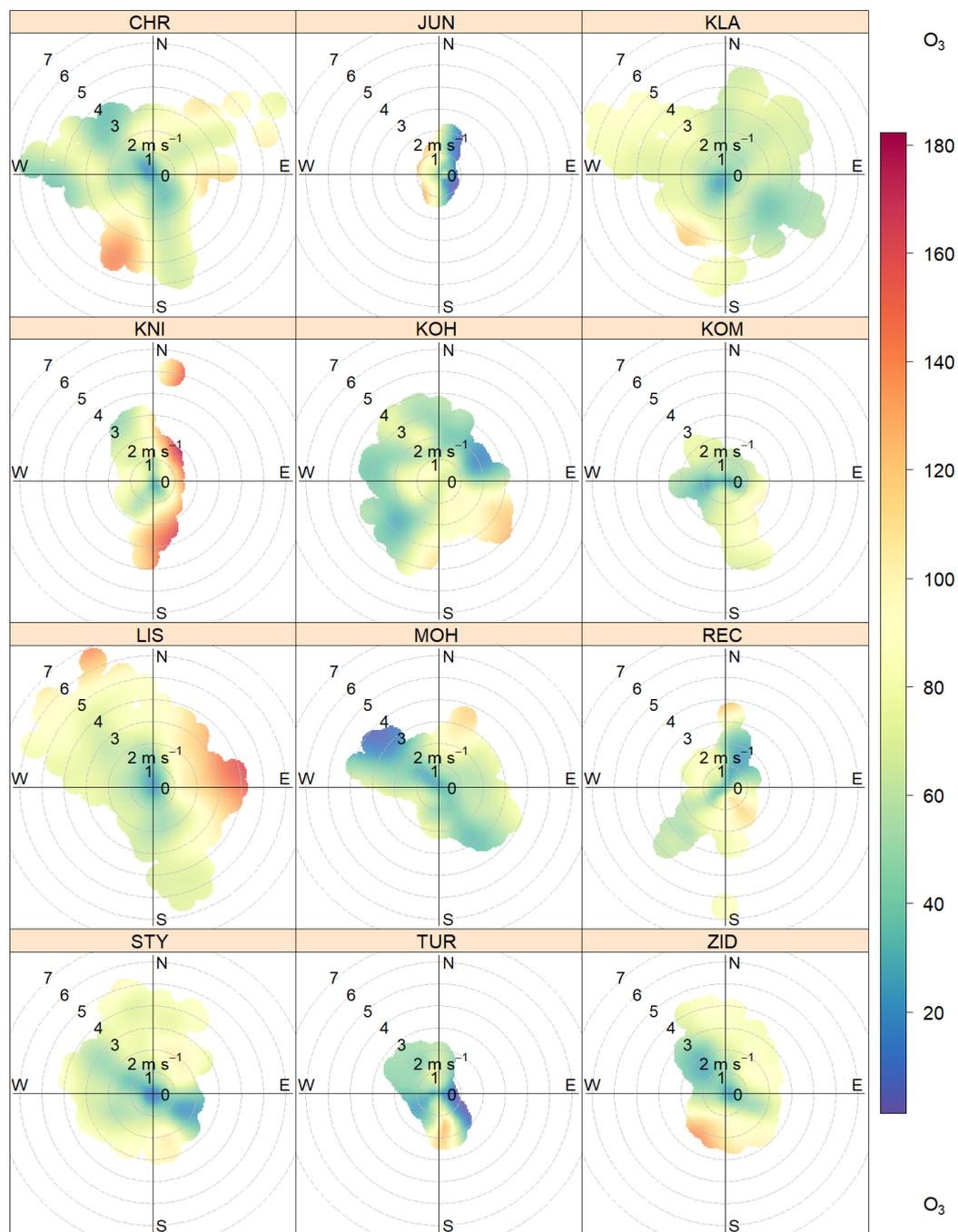


Obrázek 296 - rozdíl průměrné koncentrace O<sub>3</sub> v dané lokalitě za všechny čtyři měřicí kampaně a průměrným koncentracím O<sub>3</sub> v totožném období z pozadřových stanic státní sítě imisního monitoringu v Brně.

Z grafu je patrné, že na převážné většině lokalit byly koncentrace ve srovnání s regionální pozadřovou stanicí Mikulov-Sedlec podprůměrné, což souvisí právě s ohledem na výše popsané faktory ovlivňující koncentrace přízemního ozonu v ovzduší.

Koncentrační růžice vyjadřují vztah mezi rychlostí větru, směrem větru a koncentracemi konkrétní znečišťující látky. Umožňují tedy například hodnotit, ze kterého směru přicházelo znečištění při nejvyšších hodnotách. Princip a způsob interpretace koncentračních růžic ukazuje Obrázek 15.

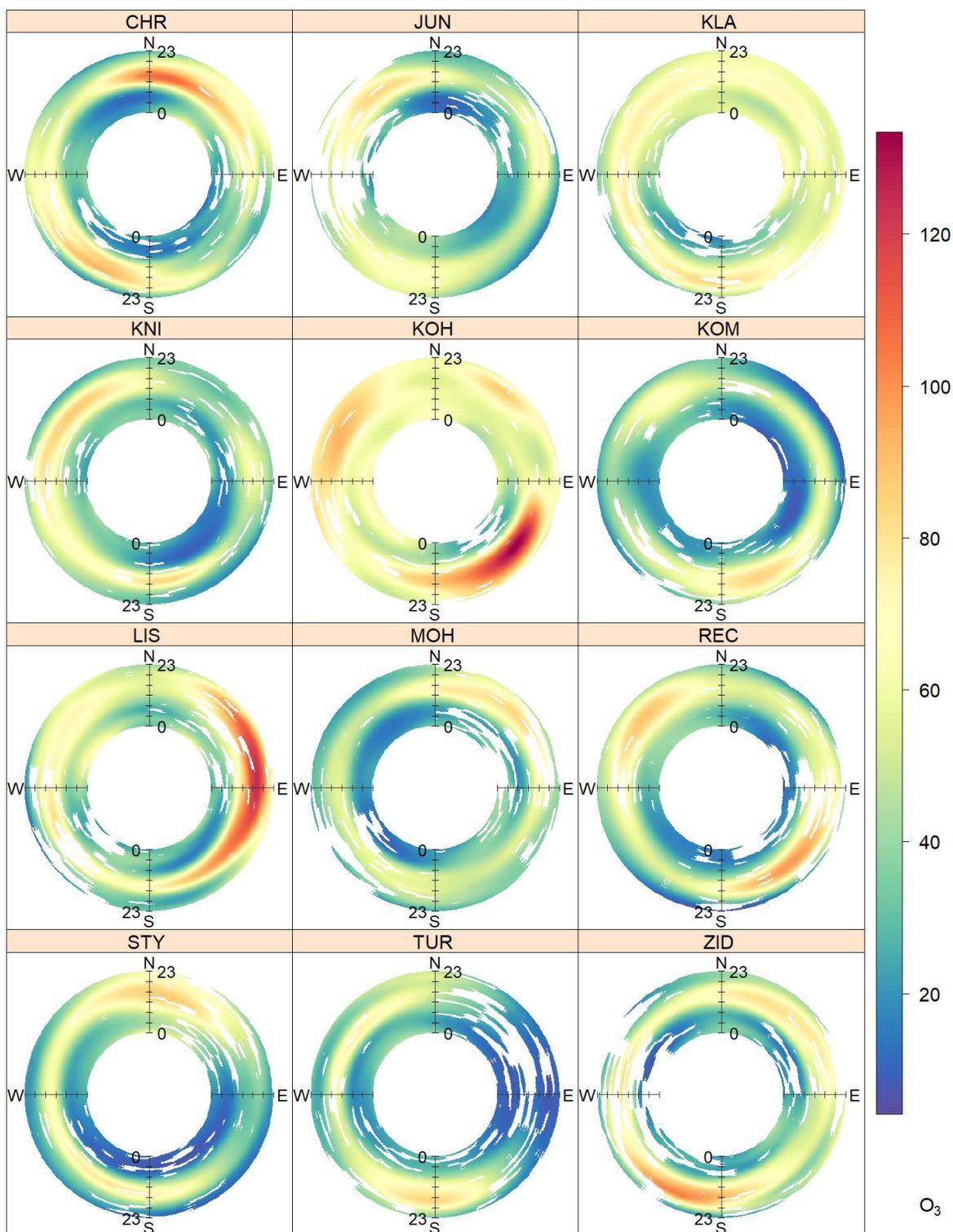
Následující přehled ukazuje koncentrační růžice pro všechny lokality za všechny měřicí kampaně se sjednocenou škálou pro možnost srovnání.



Obrázek 297 - koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentracemi  $O_3$  pro jednotlivé lokality měření za všechny čtyři měřicí kampaně.

V případě přízemního ozonu, který nemá primární zdroj (není přímo emitován nějakým zdrojem), jsou koncentrační růžice ovlivněny například i směrem větru, který byl pozorován při periodách vysokých teplot a jasného počasí.

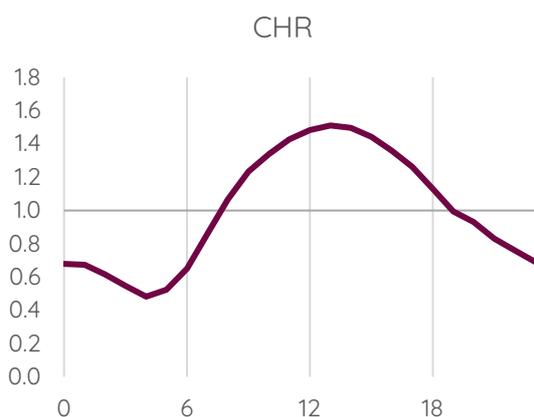
Vztah mezi směrem větru, koncentrací znečišťující látky a hodinou dne ukazují tzv. anulární koncentrační růžice. Jejich interpretace je blíže popsána v grafice výše (Obrázek 16). Následující přehled anulárních koncentračních růžic ukazuje tento vztah pro přízemní ozon jako souhrn ze všech měřících kampaní pro jednotlivé lokality.



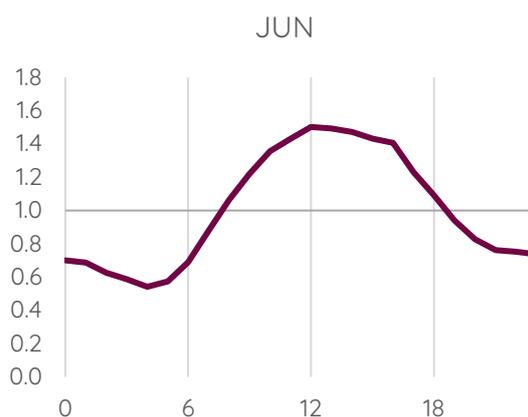
Obrázek 298 - anulární koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi směrem větru, koncentracemi O<sub>3</sub> a hodinou dne (UTC) pro jednotlivé lokality za všechny měřící kampaně.

V anulárních koncentračních růžicích je dobře vidět typický denní chod koncentrací přízemního ozonu s maximy v odpoledních hodinách. Naopak v brzkých ranních hodinách bývají koncentrace nejnižší.

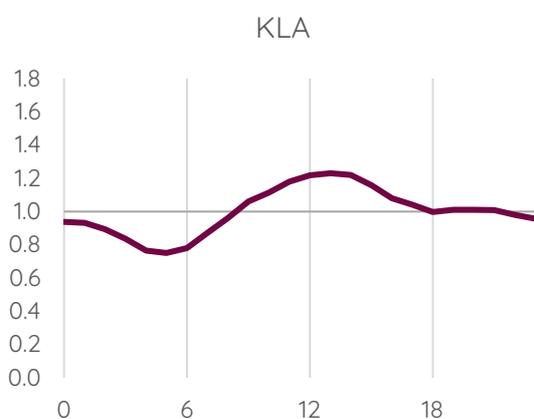
Následující grafy ukazují průměrný denní chod koncentrací přízemního ozonu. V tomto případě je cílem zobrazit průměrný denní chod, nikoliv absolutní hodnoty koncentrací. Hodnoty tedy byly normalizovány – každá z průměrných koncentrací pro konkrétní hodinu a lokalitu byla srovnána s celkovým průměrem pro danou lokalitu. Hodnota pro každou hodinu tedy ukazuje podíl průměrné koncentrace v danou hodinu dne oproti celkovému průměru. Například hodnota 2 ukazuje, že v danou hodinu dne byly koncentrace v průměru dvojnásobné oproti průměru pro danou lokalitu. Pro všechny grafy byla použita totožná škála, aby bylo možné srovnávat variabilitu denního chodu koncentrací. Všechny hodiny dne jsou v čase UTC (v případě letního času -2 hodiny oproti občanskému času, v případě zimního času -1 hodina oproti občanskému času).



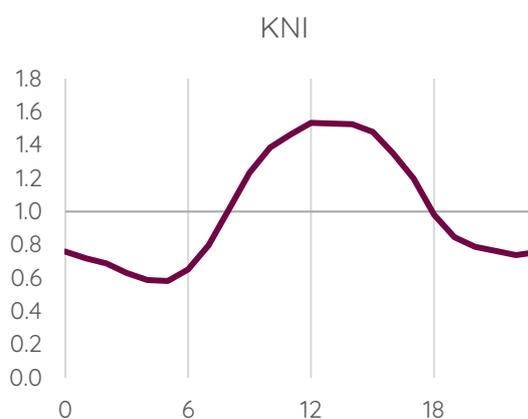
Obrázek 299 - průměrný denní chod  $O_3$  v lokalitě Chrlice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



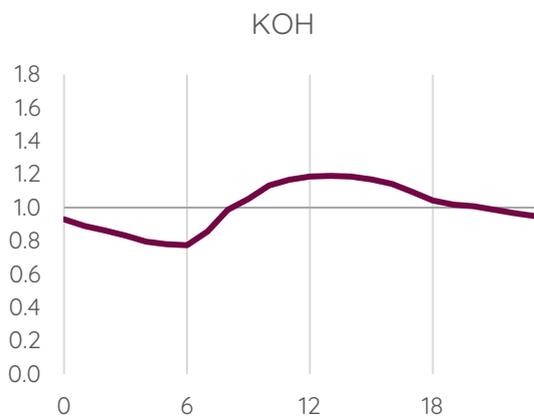
Obrázek 300 - průměrný denní chod koncentrací  $O_3$  v lokalitě Jundrov. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



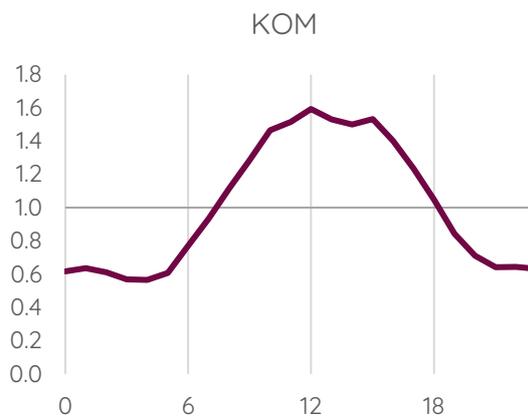
Obrázek 301 - průměrný denní chod koncentrací  $O_3$  v lokalitě Klajdovka. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



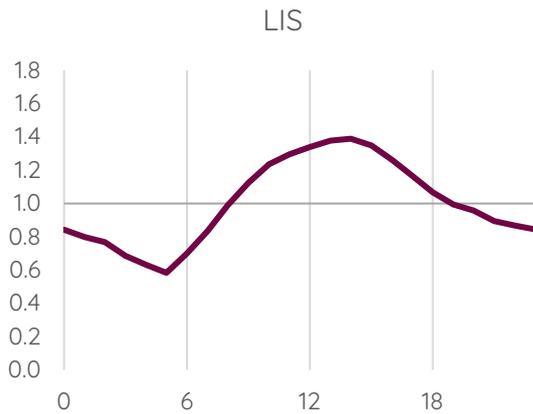
Obrázek 302 - průměrný denní chod koncentrací  $O_3$  v lokalitě Kníničky. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



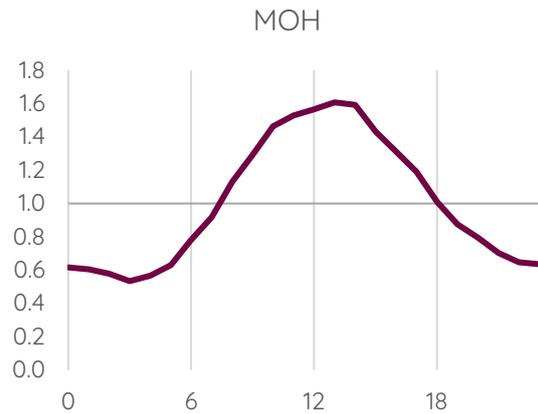
Obrázek 303 - průměrný denní chod koncentrací  $O_3$  v lokalitě Kohoutovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



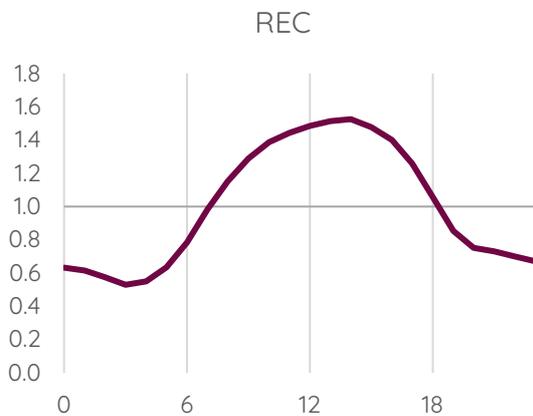
Obrázek 304 - průměrný denní chod koncentrací  $o_3$  v lokalitě Komín. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



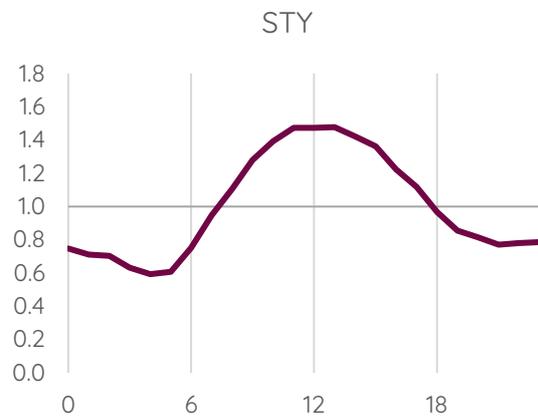
Obrázek 305 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Líšeň. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



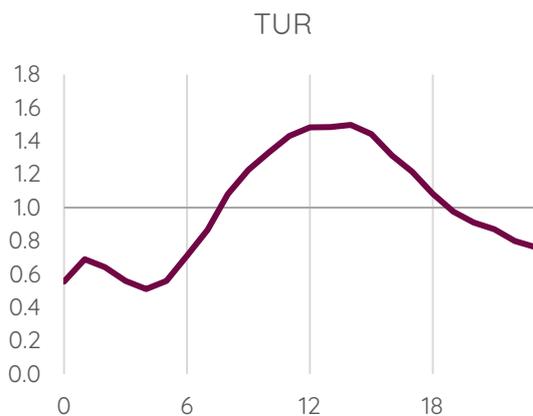
Obrázek 306 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Mokrá Hora. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



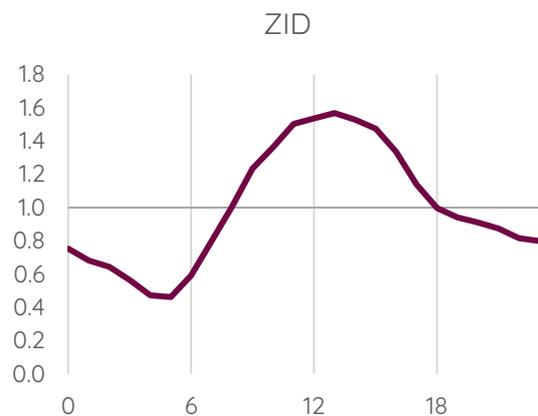
Obrázek 307 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Řečkovice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



Obrázek 308 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Štýřice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



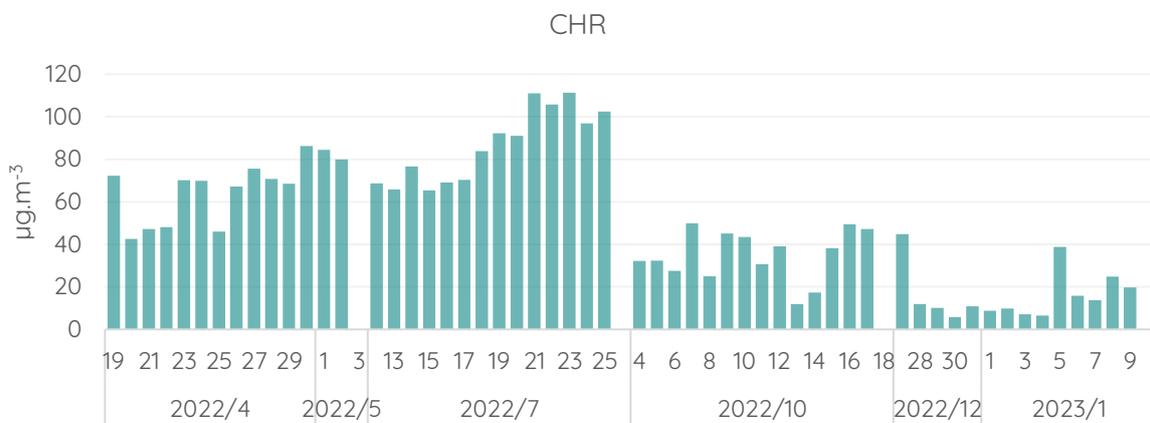
Obrázek 309 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Tuřany. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.



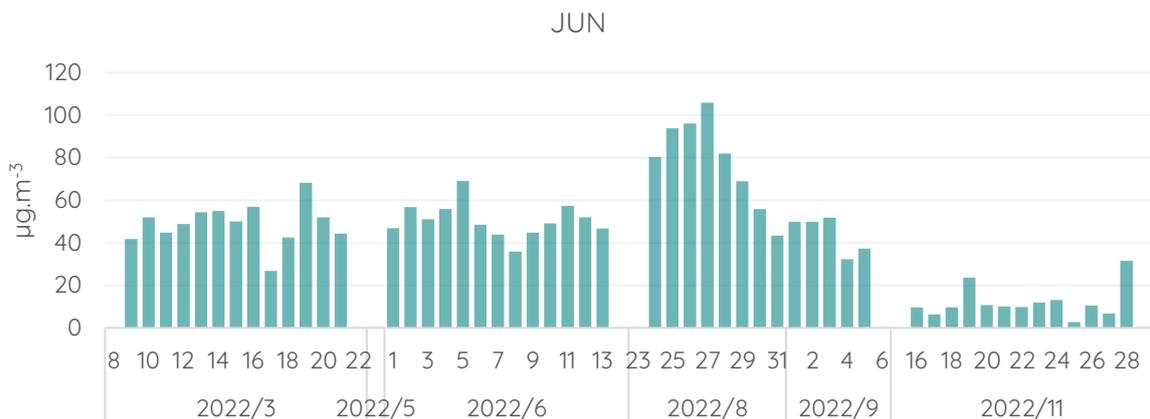
Obrázek 310 - průměrný denní chod koncentrací částic PM<sub>10</sub> v lokalitě Židenice. Hodnoty vyjadřují podíl průměru v danou hodinu dne z celkové průměrné koncentrace pro danou lokalitu.

Graf průměrného denního chodu přízemního ozonu jasně ukazuje maximální koncentrace v průběhu dne, většinou v odpoledních hodinách, naopak minimum v brzkých ranních při východu slunce. Zároveň jsou si chody na všech stanicích velmi podobné, protože tento chod souvisí s reakcí, která dává vznik přízemního ozonu v troposféře a je stejná nezávisle na dané lokalitě. Rozdíly jsou patrné pouze ve výraznosti tohoto chodu, který ovlivňují další faktory, jako například intenzita dopravy, jak bylo popsáno výše.

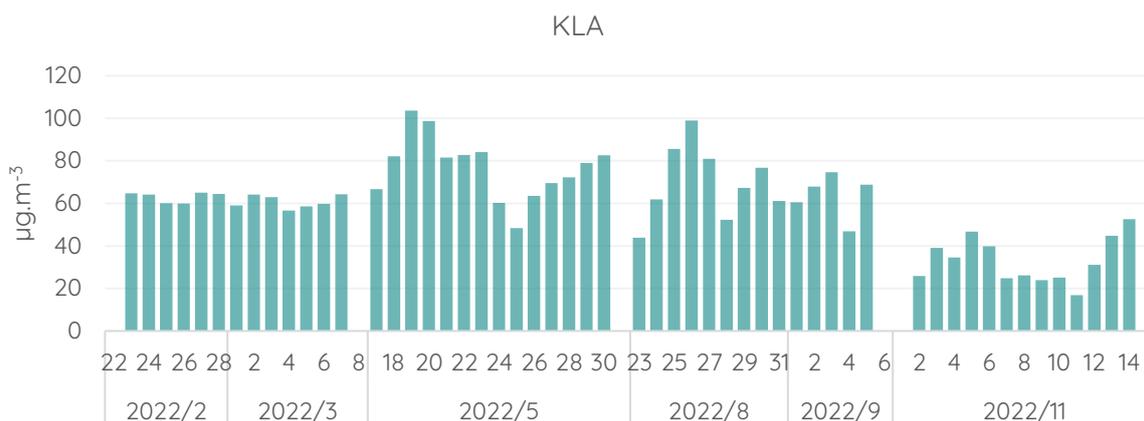
Následující sloupcové grafy ukazují průměrné denní koncentrace  $O_3$ . Denní průměrné koncentrace byly spočítány pouze pro ty dny, pro které byla dostupná data pro alespoň 75 % (16) hodin dne.



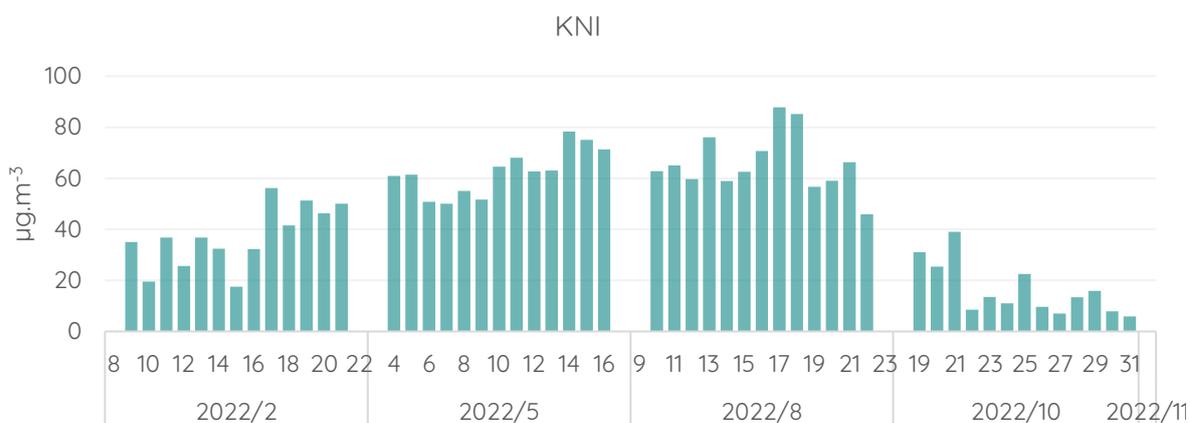
Obrázek 311 - průměrné denní koncentrace  $O_3$  za všechny dny měření v lokalitě Chrlice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



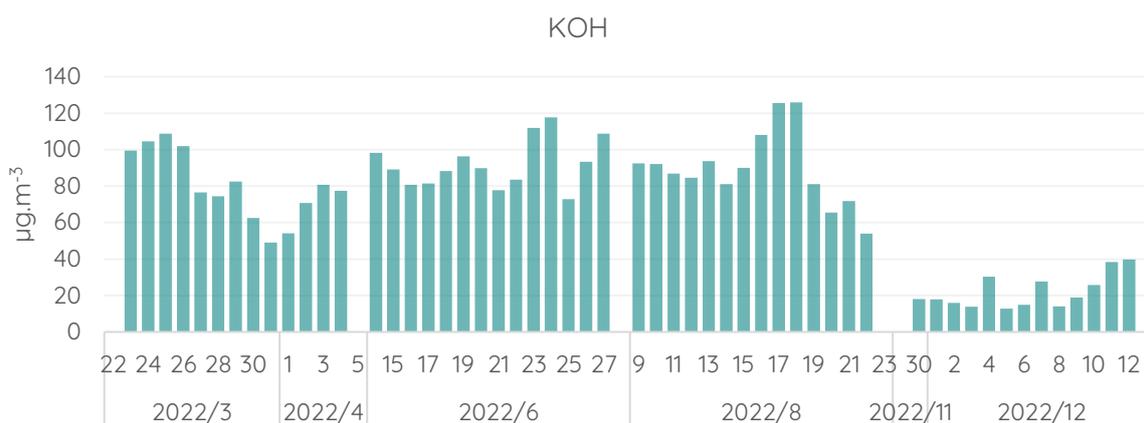
Obrázek 312 - průměrné denní koncentrace  $O_3$  za všechny dny měření v lokalitě Jundrov, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



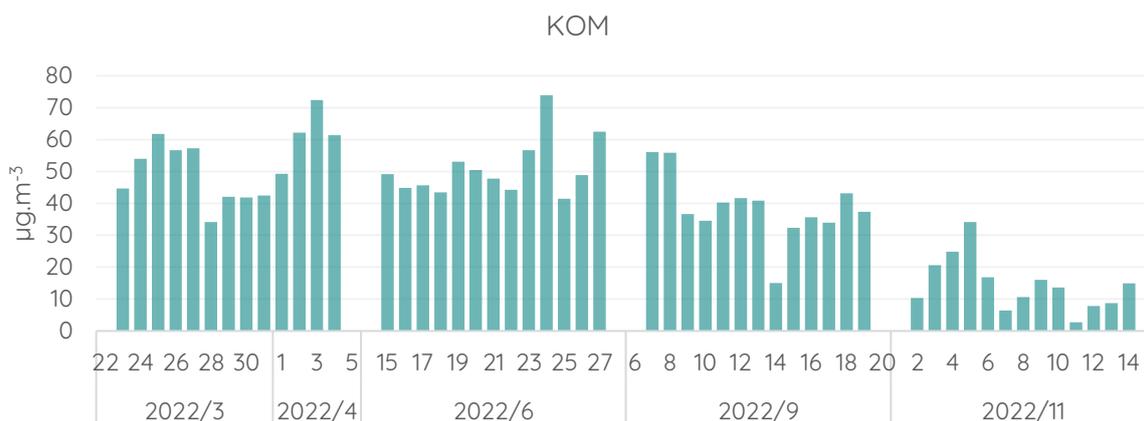
Obrázek 313 - průměrné denní koncentrace O<sub>3</sub> za všechny dny měření v lokalitě Klajdovka, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 314 - průměrné denní koncentrace O<sub>3</sub> za všechny dny měření v lokalitě Kníničky, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



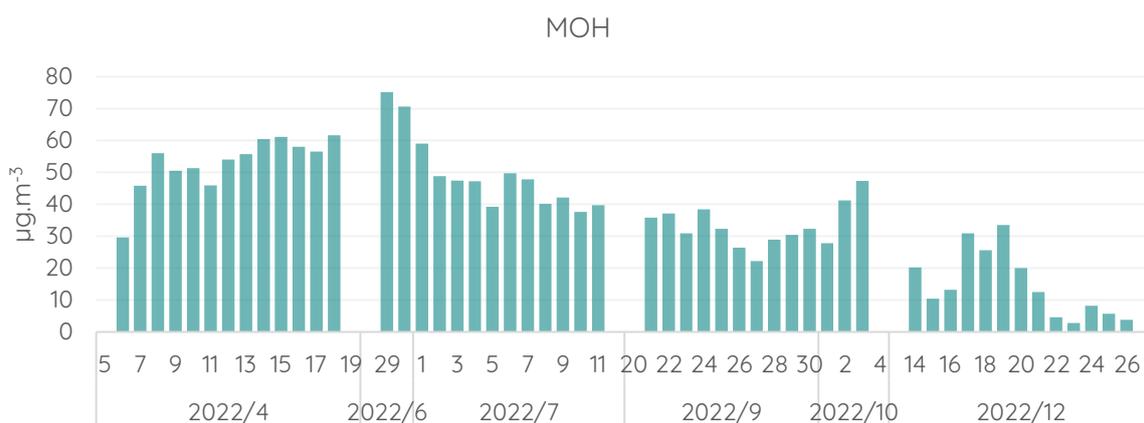
Obrázek 315 - průměrné denní koncentrace O<sub>3</sub> za všechny dny měření v lokalitě Kohoutovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



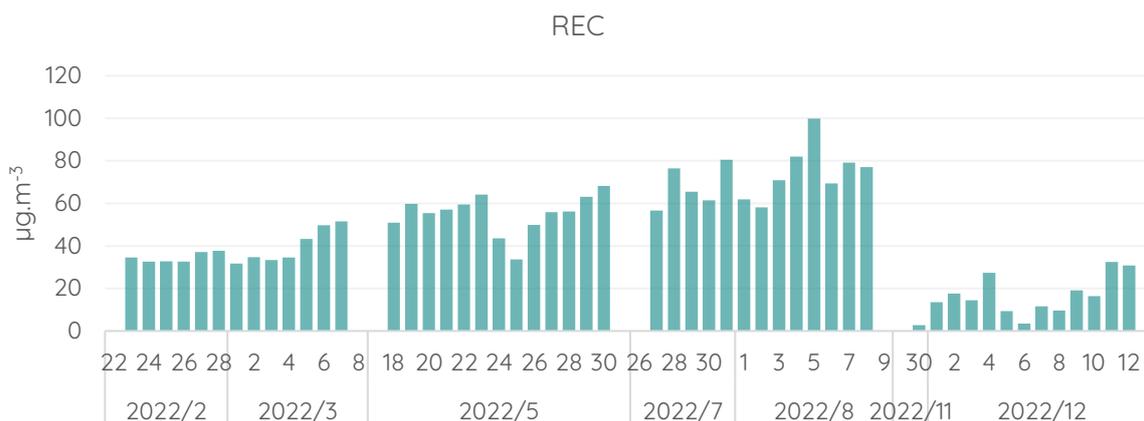
Obrázek 316 - průměrné denní koncentrace O<sub>3</sub> za všechny dny měření v lokalitě Komín, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 317 - průměrné denní koncentrace O<sub>3</sub> za všechny dny měření v lokalitě Líšeň, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



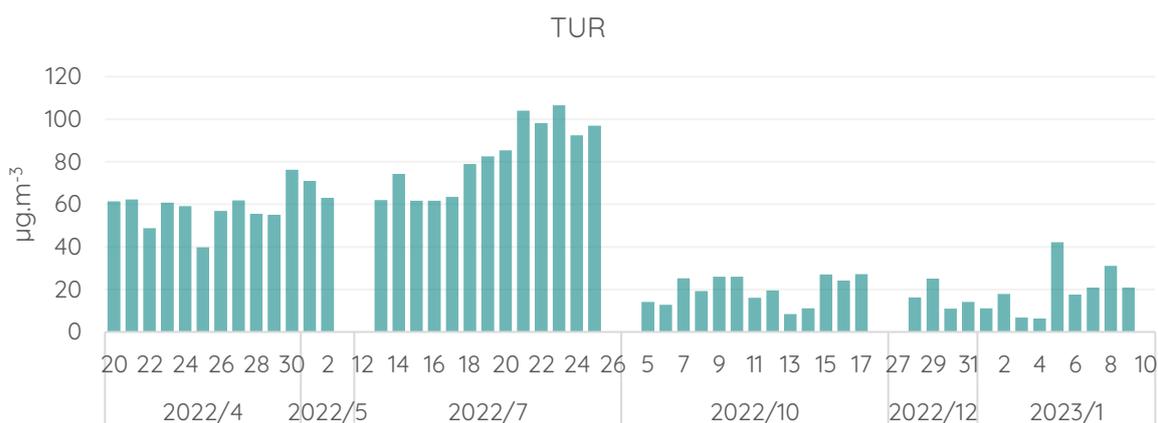
Obrázek 318 - průměrné denní koncentrace O<sub>3</sub> za všechny dny měření v lokalitě Mokrá Hora, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



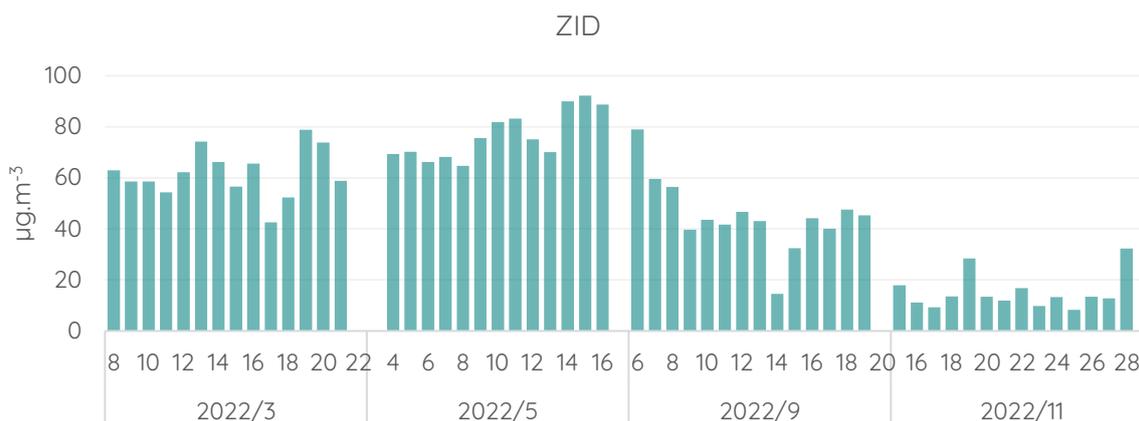
Obrázek 319 - průměrné denní koncentrace O<sub>3</sub> za všechny dny měření v lokalitě Řečkovice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 320 - průměrné denní koncentrace O<sub>3</sub> za všechny dny měření v lokalitě Štýřice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 321 - průměrné denní koncentrace O<sub>3</sub> za všechny dny měření v lokalitě Tuřany, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.



Obrázek 322 - průměrné denní koncentrace O<sub>3</sub> za všechny dny měření v lokalitě Židenice, pro které jsou k dispozici data alespoň za 16 hodin.

Grafy průměrných denních koncentrací přízemního ozonu většinou dobře korelují s teplotou – nejvyšší denní koncentrace byly pozorovány v nejteplejší dny monitoringu, nejnižší v nejchladnější.

## Těžké kovy

Těžké kovy obecně představují skupinu kovů a polokovů s relativně vysokou hustotou a atomovou hmotností (většinou se uvádí  $> 4 \text{ g.cm}^{-3}$ , ale přesná definice není jednotná). Některé z těžkých kovů jsou pro lidské tělo esenciální a je potřeba je v malých nebo stopových množstvích přijímat. Na druhou stranu jejich vysoké koncentrace mohou být vysoce toxické, a proto jsou sledovány nejen v ovzduší, ale i ve vodních a suchozemských ekosystémech a potravinách (Jaishankar, 2014).

Expozice některým kovům může mít řadu negativních zdravotních účinků – mohou být karcinogenní, způsobovat poruchy nervové soustavy nebo poškozovat oběhovou soustavu apod. (Jaishankar, 2014). Koncentrace vybraných kovů jsou proto pravidelně monitorovány a jsou pro ně dané imisní limity.

V současnosti jsou v Zákoně o ochraně ovzduší definovány imisní limity pro ochranu zdraví pro celkem čtyři těžké kovy. Tyto limity jsou platné pro roční průměrné koncentrace v suspendovaných částicích frakce PM<sub>10</sub>.

Z důvodu technických problémů s měřicí technikou na straně ČHMÚ, nebyla v době psaní této zprávy k dispozici kompletní data o koncentracích těžkých kovů ze stanice SSIM Brno-Líšeň. Koncentrace těžkých kovů tedy nejsou srovnávány s touto stanicí, ale pouze jednotlivé lokality navzájem. S ohledem na velmi nízké koncentrace těžkých kovů v České

republiky obecně, ale nelze předpokládat, že by například mohlo docházet k překročení emisního limitu.

## Arzen

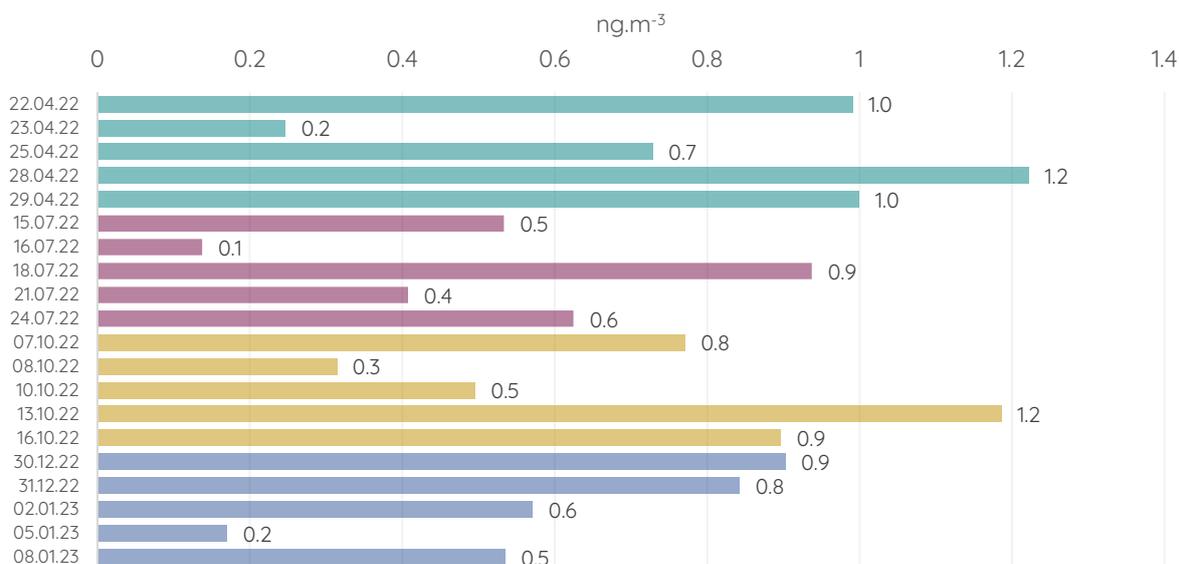
Arzen představuje toxický kov přítomný v řadě organických i anorganických látek. Přírodními zdroji arsenu jsou například vulkanický popel, vymývání hornin nebo mineralizovaná podzemní voda (Keshavarzi, 2011). Pokud se arzen vyskytuje v půdě, dostává se do rostlinných těl a jejich konzumace pak může být velmi nebezpečná (Zhao, 2010). Stejně tak byly zaznamenány případy, kdy byly vysoké koncentrace arsenu ve vodě (atmosférickým spadem), a tím došlo k otravě osob (Uddin, 2011). Toxicita závisí do velké míry na oxidačním čísle arsenu ve sloučenině. Sloučeniny  $As^{3+}$  jsou asi 60× jedovatější než  $As^{5+}$  (Ratnaike, 2003). Na lidský organismus působí arzen jako karcinogen, vyvolává rakovinu plic a kůže a může zvyšovat pravděpodobnost vzniku nádorů jater, ledvin a močového měchýře (Tokar, 2010; Hosseini, 2013). Sloučeniny arsenu mají vysokou schopnost kumulace v organismu, akumuluje se i ve vlasech, nehtech a kůži.

Do ovzduší se arzen dostává spalováním fosilních paliv nebo dřeva konzervovaného přípravky obsahujícími arzen. Vyšší koncentrace se můžou vyskytovat i v okolí metalurgických závodů, které zpracovávají například měď nebo olovo (Yang, 2013).

V roce 2020 nebyl imisní limit pro As ( $6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ) překročen na žádné z 62 stanic s platným ročním průměrem. Nejvyšší roční průměrná koncentrace byla v tomto roce pozorována na městské pozad'ové stanici Kladno-Švermov a na předměstské pozad'ové stanici Kladno-Vrapice ( $2,7 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Roční průměrné koncentrace As jsou v současnosti celorepublikově nízké a pod dolní mezí posuzování ( $2,4 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

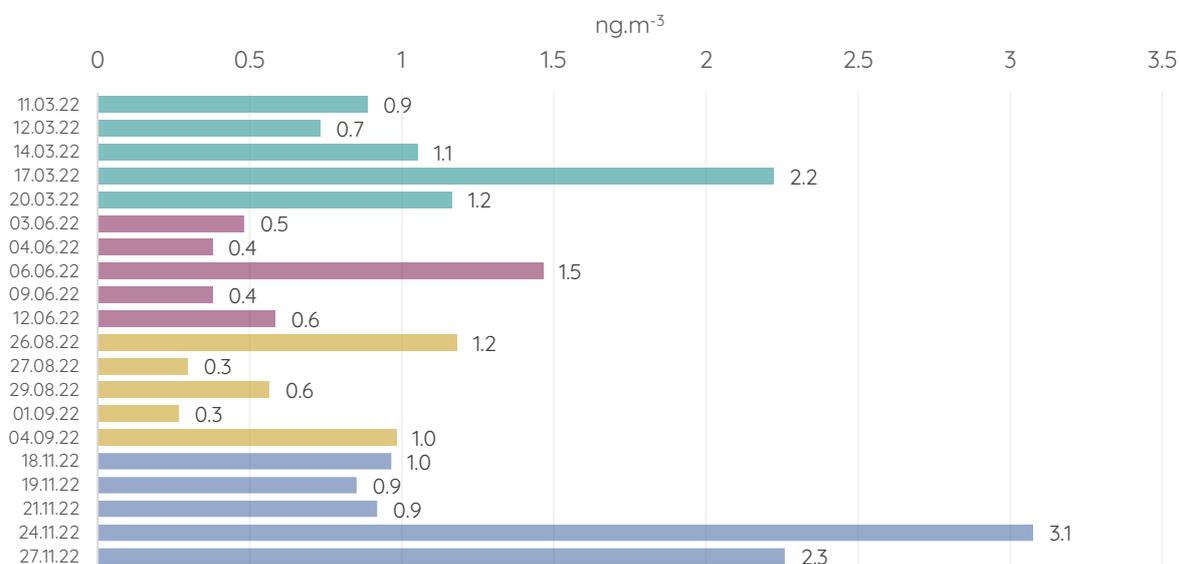
V každé ze čtyř měřících kampaní bylo odebráno pět vzorků arsenu. Graf níže ukazuje průměrné denní koncentrace arsenu z pěti vzorků z každé ze čtyř kampaní (celkem 20 vzorků) pro jednotlivé.

## CHR



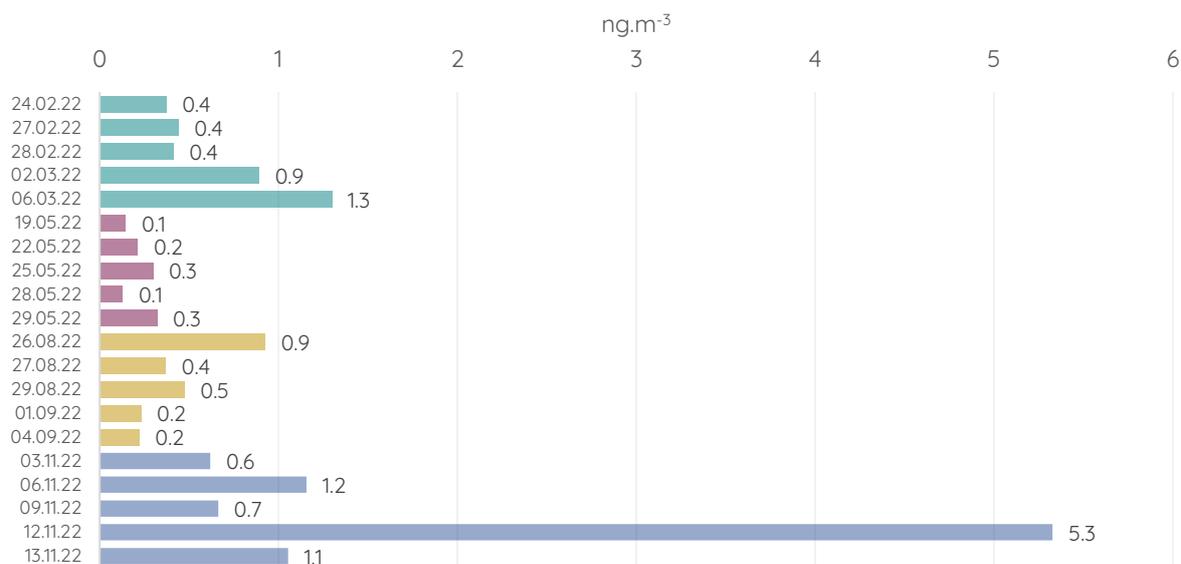
Obrázek 323 - průměrné denní koncentrace arzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Chrlice.

## JUN



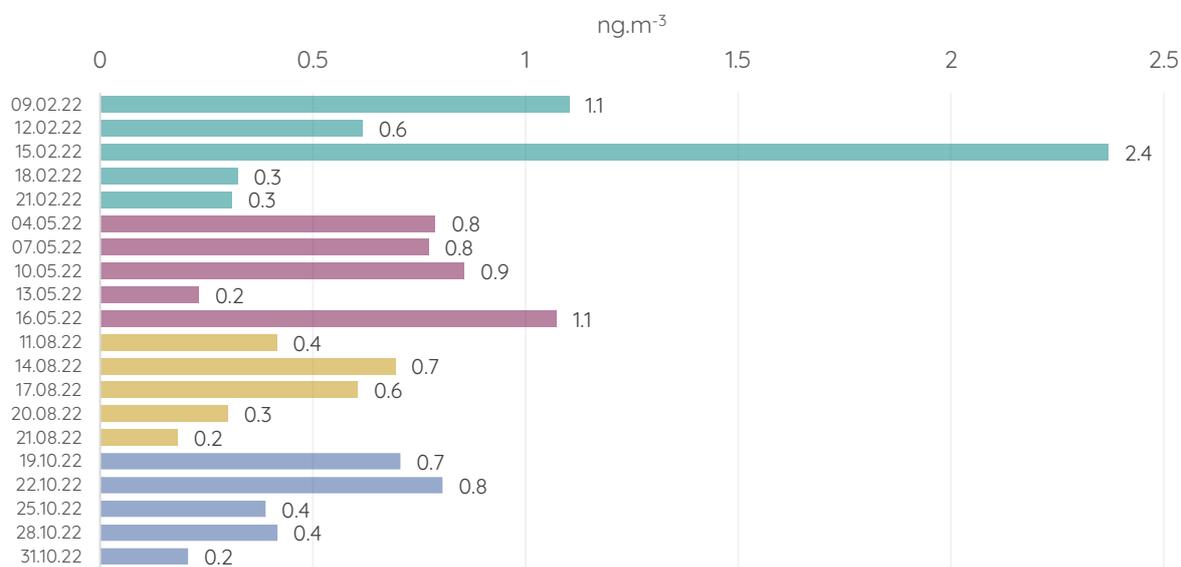
Obrázek 324 - průměrné denní koncentrace arzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Jundrov.

## KLA

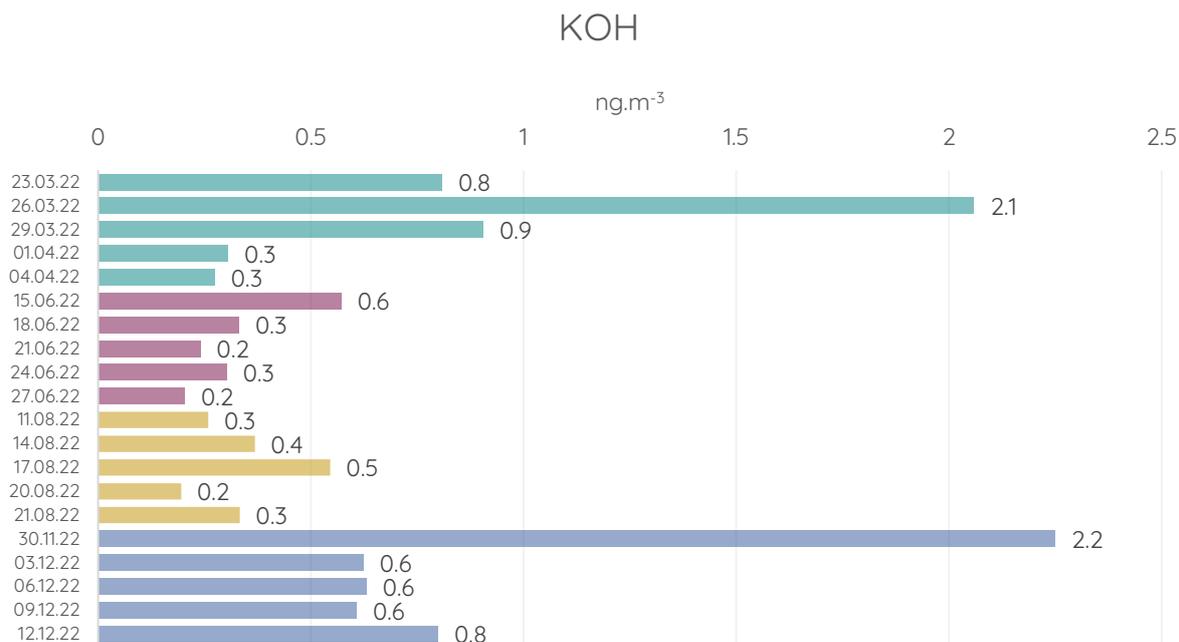


Obrázek 325 - průměrné denní koncentrace arzeny v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Klajdovka.

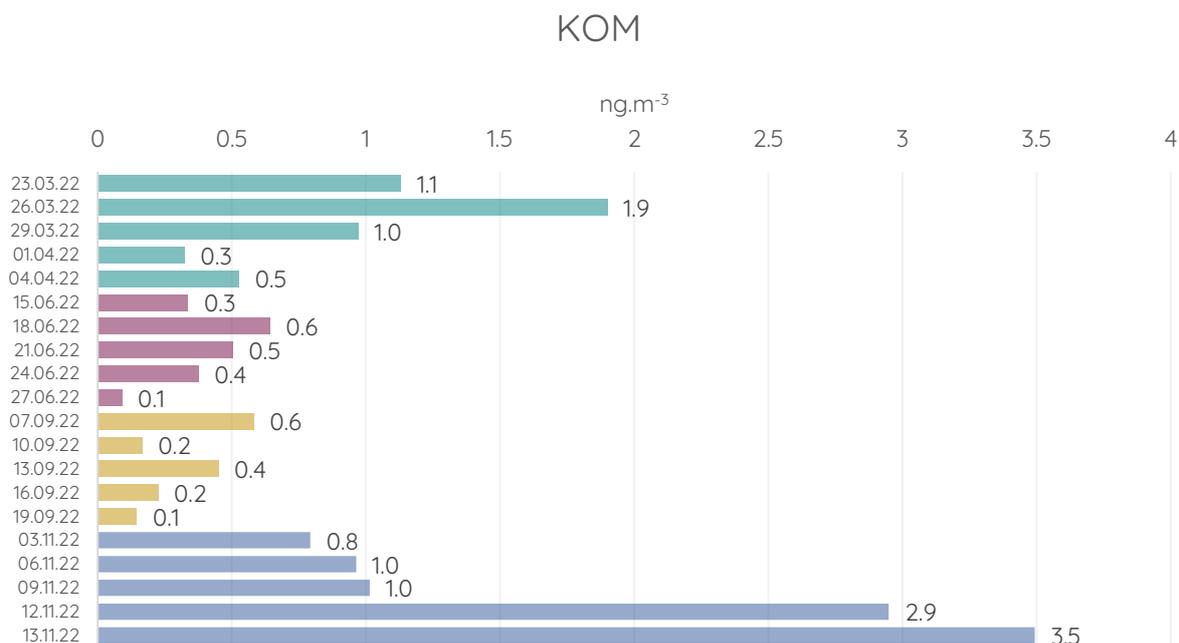
## KNI



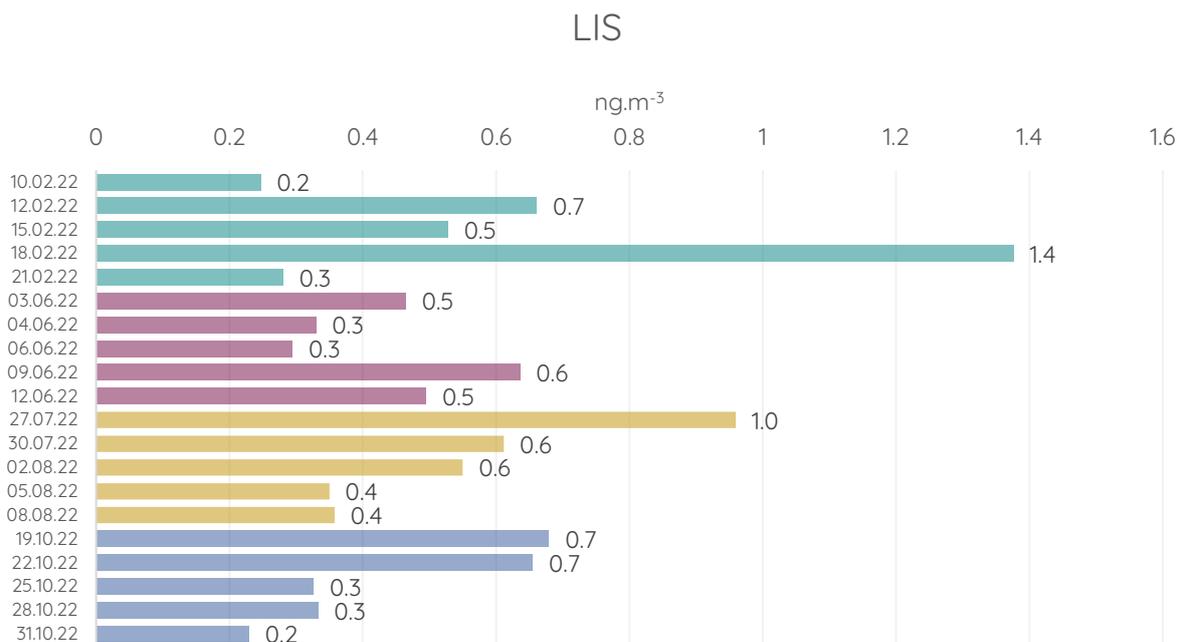
Obrázek 326 - průměrné denní koncentrace arzeny v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kníničky.



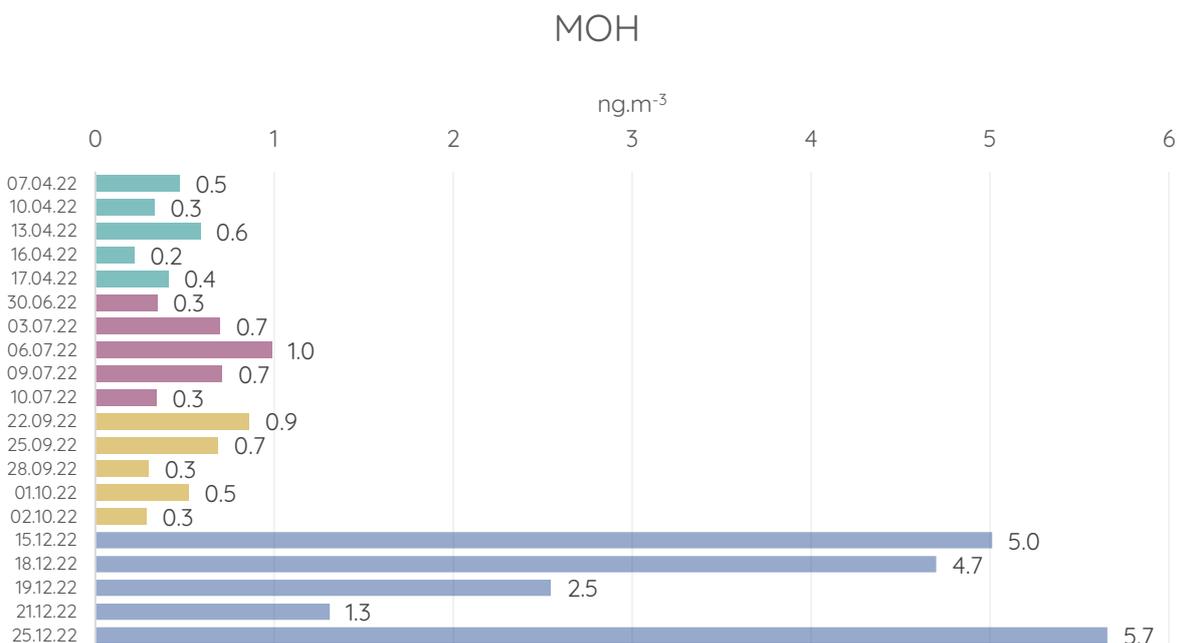
Obrázek 327 - průměrné denní koncentrace arzeny v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kohoutovice.



Obrázek 328 - průměrné denní koncentrace arzeny v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Komín.

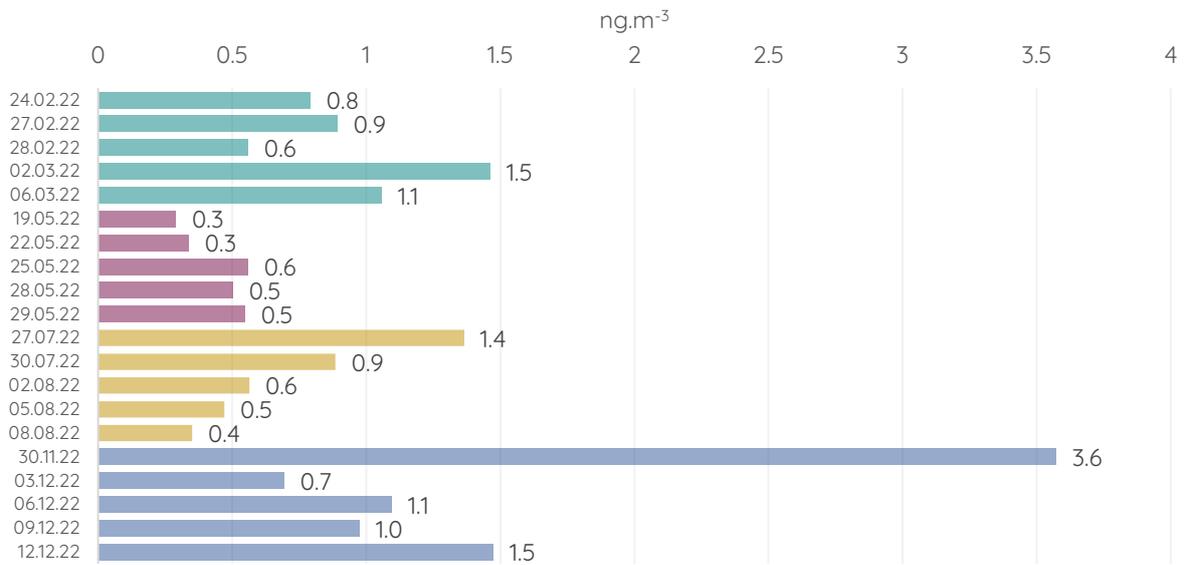


Obrázek 329 - průměrné denní koncentrace arzenů v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Líšeň.



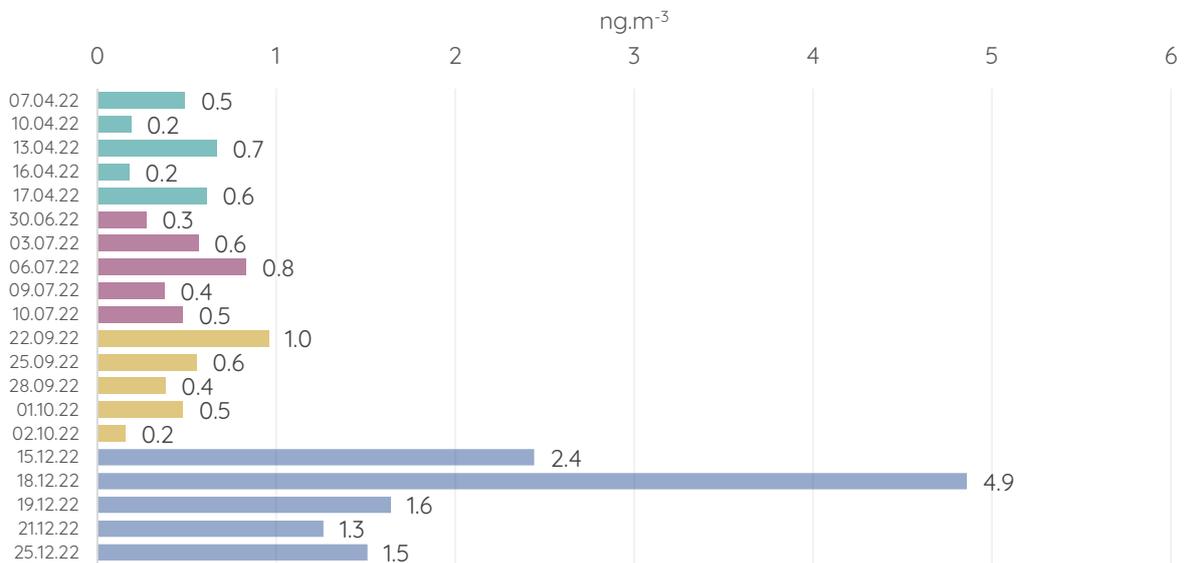
Obrázek 330 - průměrné denní koncentrace arzenů v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Mokrá Hora.

## REC



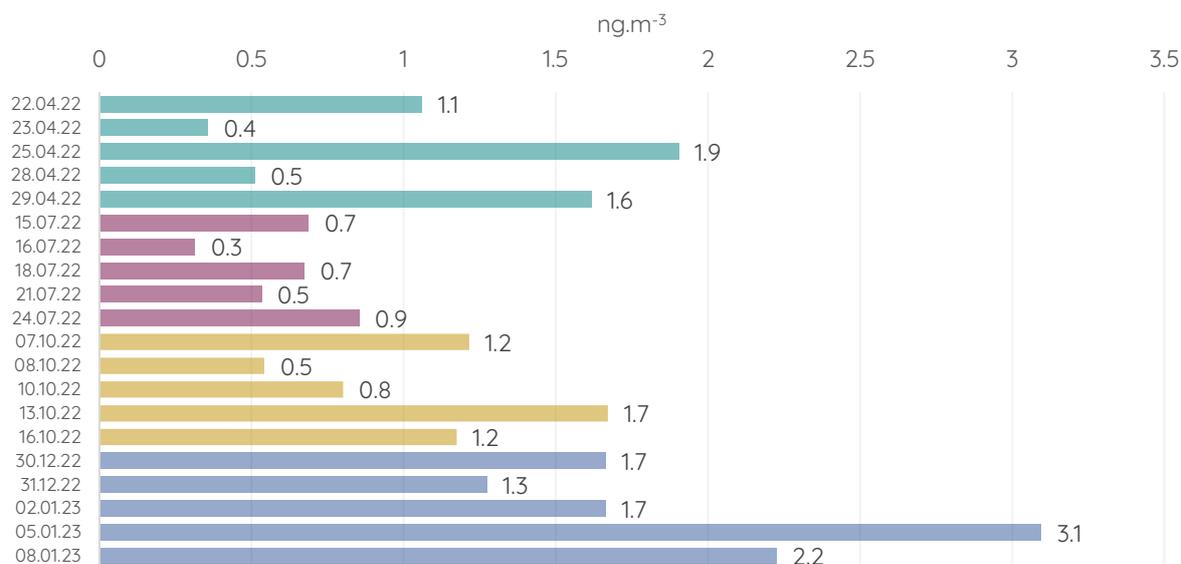
Obrázek 331 - průměrné denní koncentrace arzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Řečkovice.

## STY



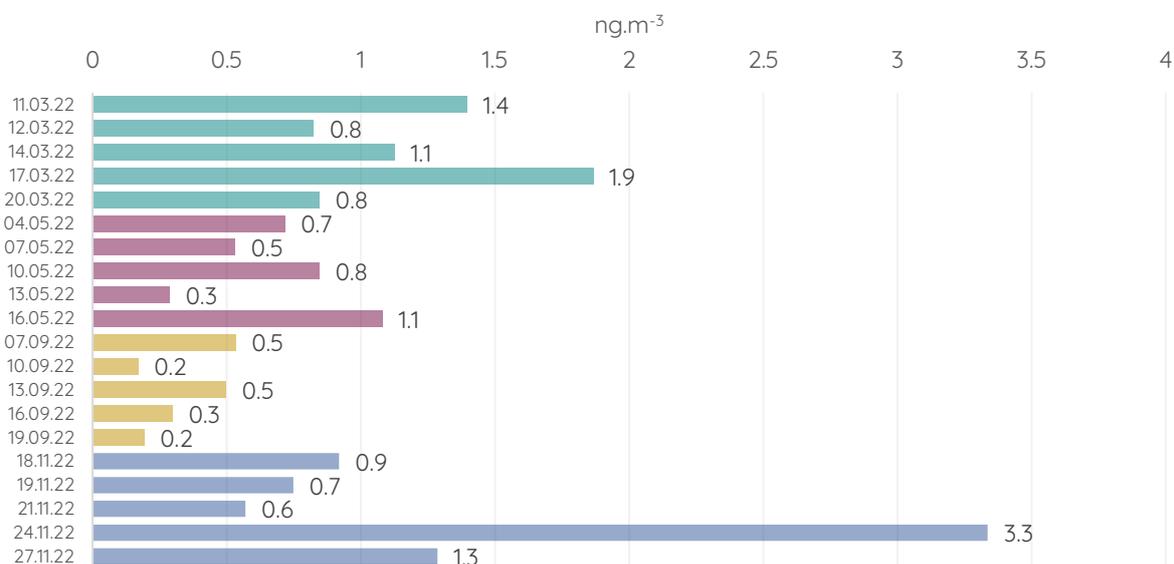
Obrázek 332 - průměrné denní koncentrace arzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Štýřice.

## TUR



Obrázek 333 - průměrné denní koncentrace arzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Tuřany.

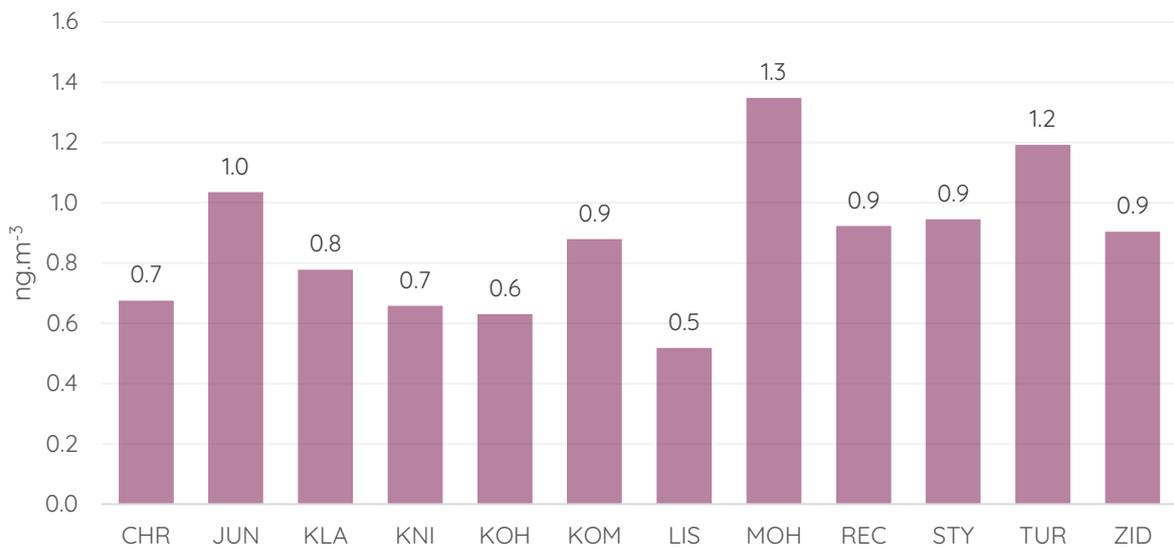
## ZID



Obrázek 334 - průměrné denní koncentrace arzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Židenice.

Absolutně nejvyšší průměrná denní koncentrace arzenu byla naměřena 25. 12. 2022 v lokalitě Mokrá Hora (5,7 ng.m<sup>-3</sup>).

Následující sloupcový graf ukazuje průměrné koncentrace arzenu ze všech lokalit za všechny měřicí kampaně.



Obrázek 335 – průměrné koncentrace arzenu v jednotlivých lokalitách, vypočítané ze všech 20 vzorků odebraných v jednotlivých lokalitách.

Nejvyšší průměrná koncentrace arzenu byla zaznamenána v lokalitě Mokrá Hora. V tomto případě se pravděpodobně jednalo o vliv lokálního vytápění, o čemž svědčí i zvýšené koncentrace BaP (viz text níže). Naopak nejnižší byly koncentrace arzenu v lokalitě Líšeň.

Imisní limit pro arzen je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven pouze pro roční průměrné koncentrace (6 ng.m<sup>-3</sup>). Výše uvedené průměrné hodnoty tedy nelze s imisním limitem srovnávat, nicméně tyto hodnoty potvrzují, že jsou koncentrace arzenu dlouhodobě v celé České republice výrazně podlimitní a je téměř vyloučené, že by v některé z výše uvedených lokalit byl roční průměr vyšší než 6 ng.m<sup>-3</sup>.

### Nikl

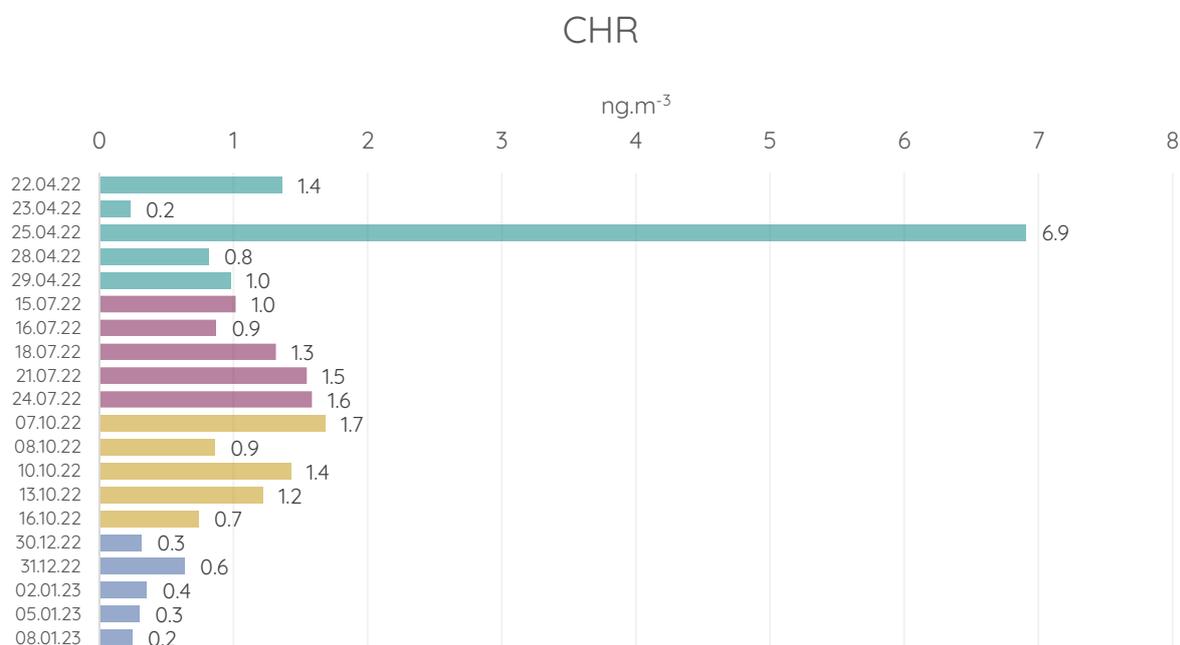
Nikl je stříbrobílý lesklý kov patřící do přechodných kovů, pátý nejhojněji zastoupený prvek na Zemi (po železu, kyslíku, silikonu a hořčíku). Téměř 70 % se používá do nerezové oceli a ocelářský průmysl je jeho největším odběratelem (Reck, 2012). Je odolný vůči korozi, proto se často v jemné vrstvičce nanáší na méně odolné kovy, jako je například železo.

V lidském těle je nikl součástí několika metaloenzymů, včetně ureázy, je důležitou součástí metabolismu lidského těla i rostlin (Yusuf, 2011). Ve vyšších koncentracích je však toxický jak pro lidi, tak pro ostatní organizmy, a jedná se o karcinogen (Chervona, 2012). Do

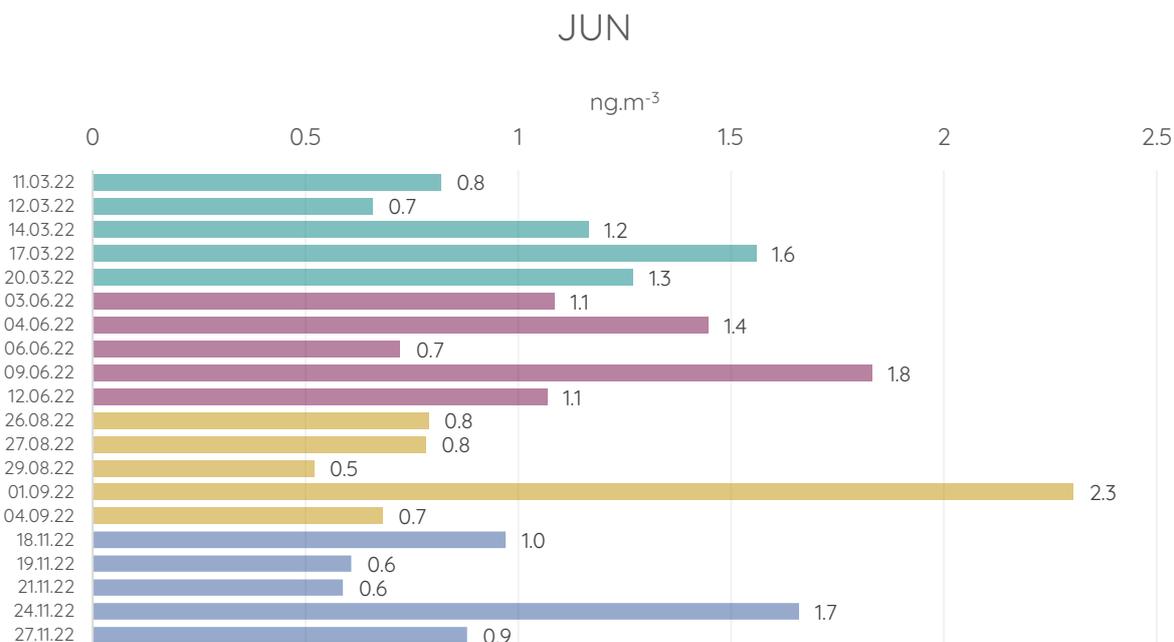
prostředí se dostává jak z přírodních, tak antropogenních zdrojů – jedná se například o dopravu, průmysl, fosilní paliva či odpady (Harasim, 2015).

Roční imisní limit niklu (IL = 20 ng.m<sup>-3</sup>) nebyl v roce 2020 překročen na žádné z 62 stanic s platným ročním průměrem. Nejvyšší roční průměr byl naměřen na předměstské pozad'ové stanici Ostrava-Hošťalkovice (4,5 ng.m<sup>-3</sup>). Dlouhodobě jsou koncentrace Ni velmi nízké na celém území České republiky.

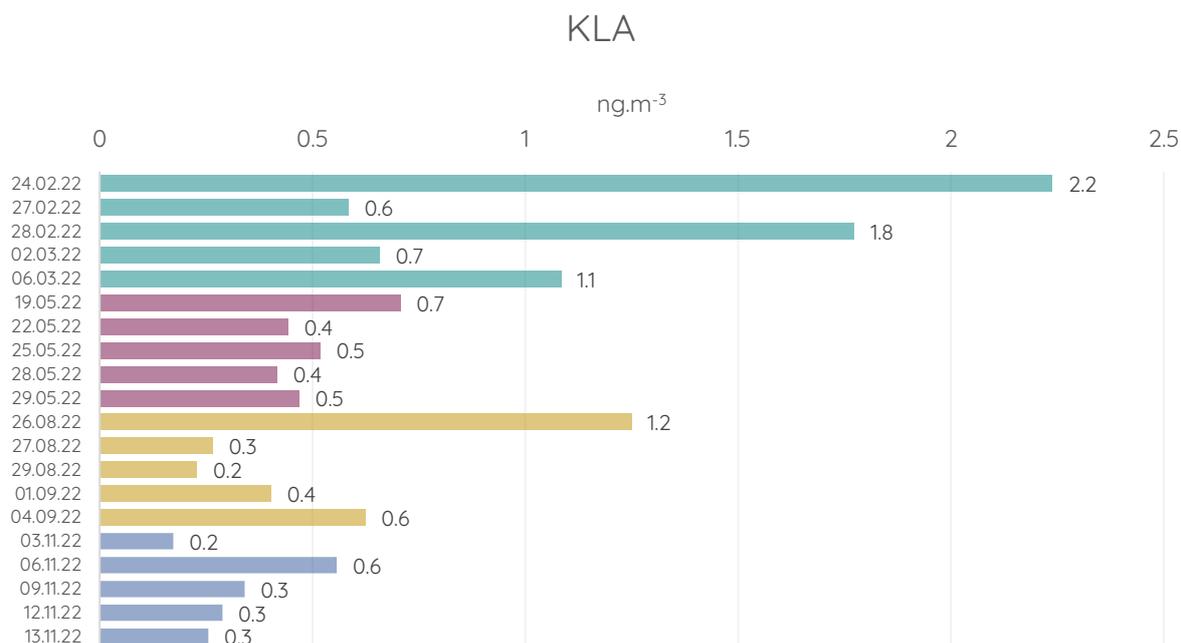
V každé ze čtyř měřících kampaní bylo odebráno pět vzorků niklu. Graf níže ukazuje průměrné denní koncentrace niklu z pěti vzorků z každé ze čtyř kampaní (celkem 20 vzorků) pro jednotlivé.



Obrázek 336 - průměrné denní koncentrace niklu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Chrlice.

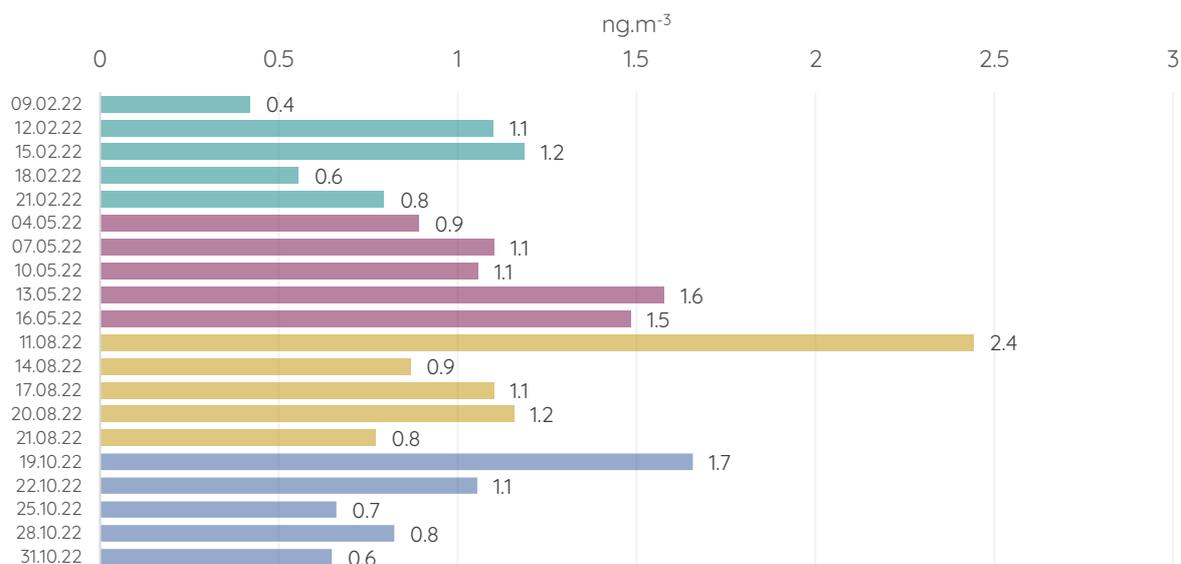


Obrázek 337 - průměrné denní koncentrace niklu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Jundrov.



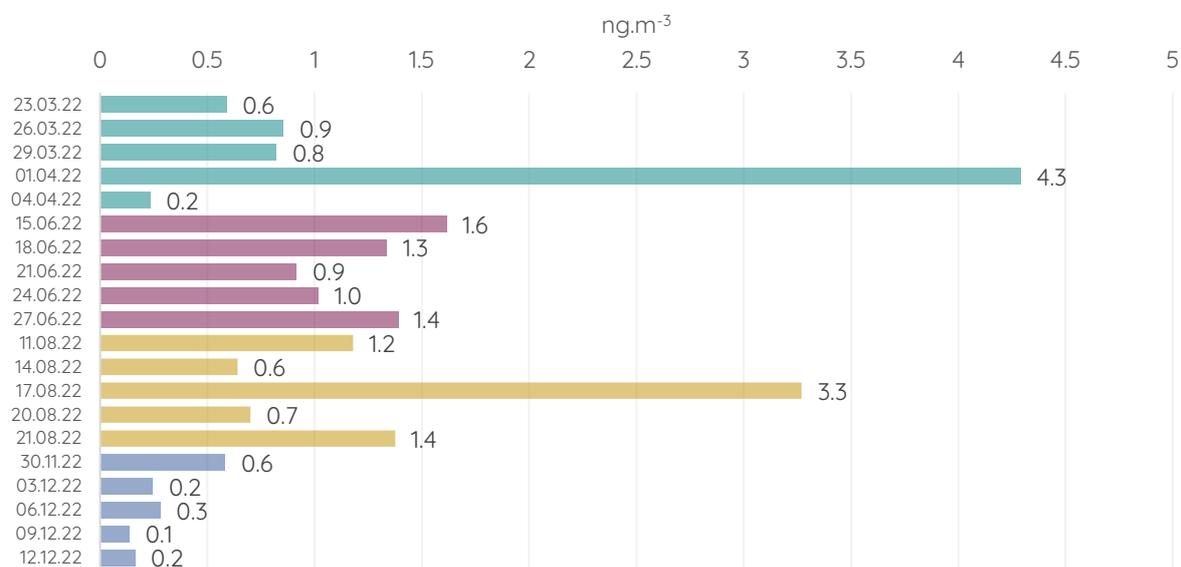
Obrázek 338 - průměrné denní koncentrace niklu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Klajdovka.

## KNI

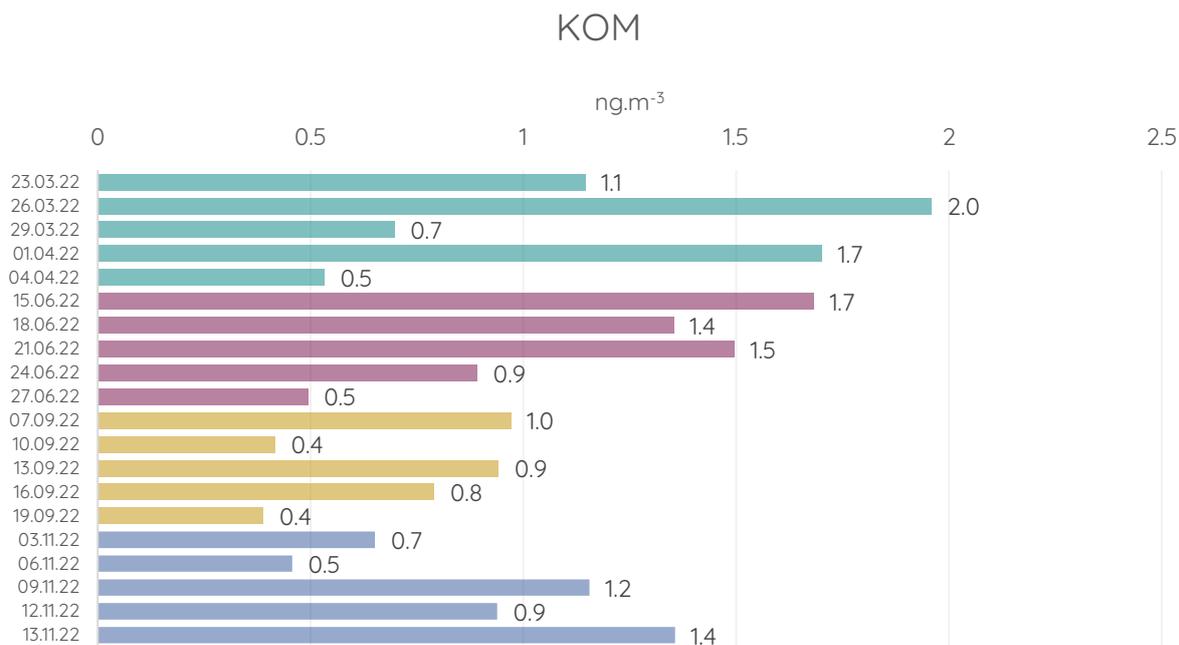


Obrázek 339 - průměrné denní koncentrace niklu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kníničky.

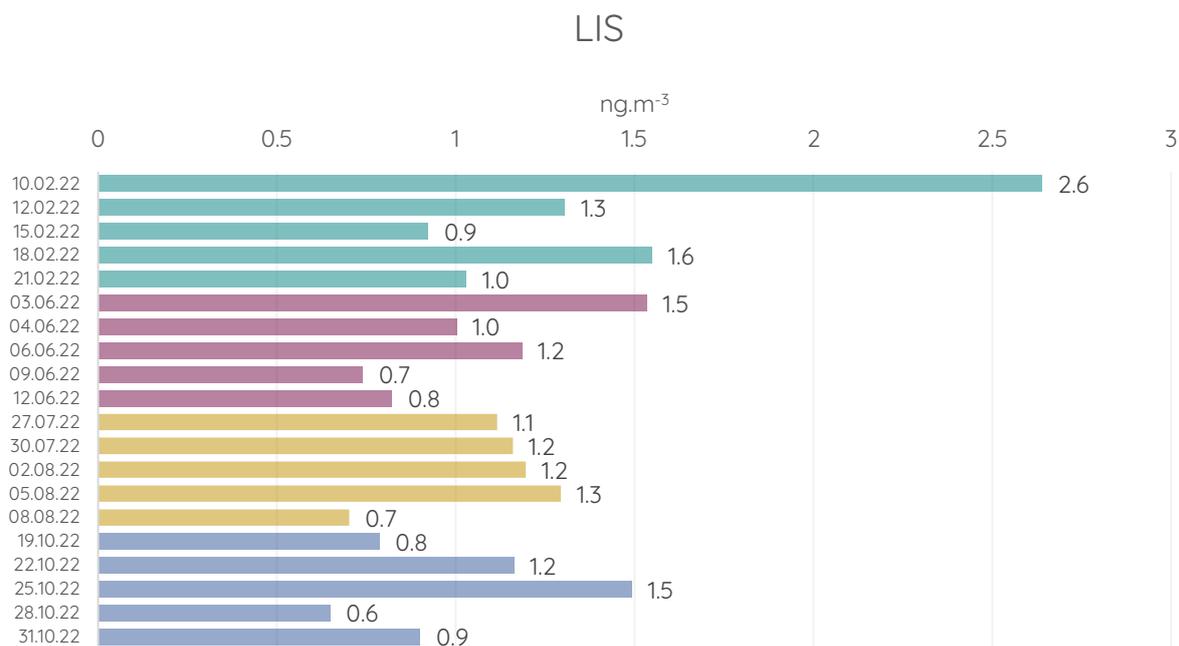
## KOH



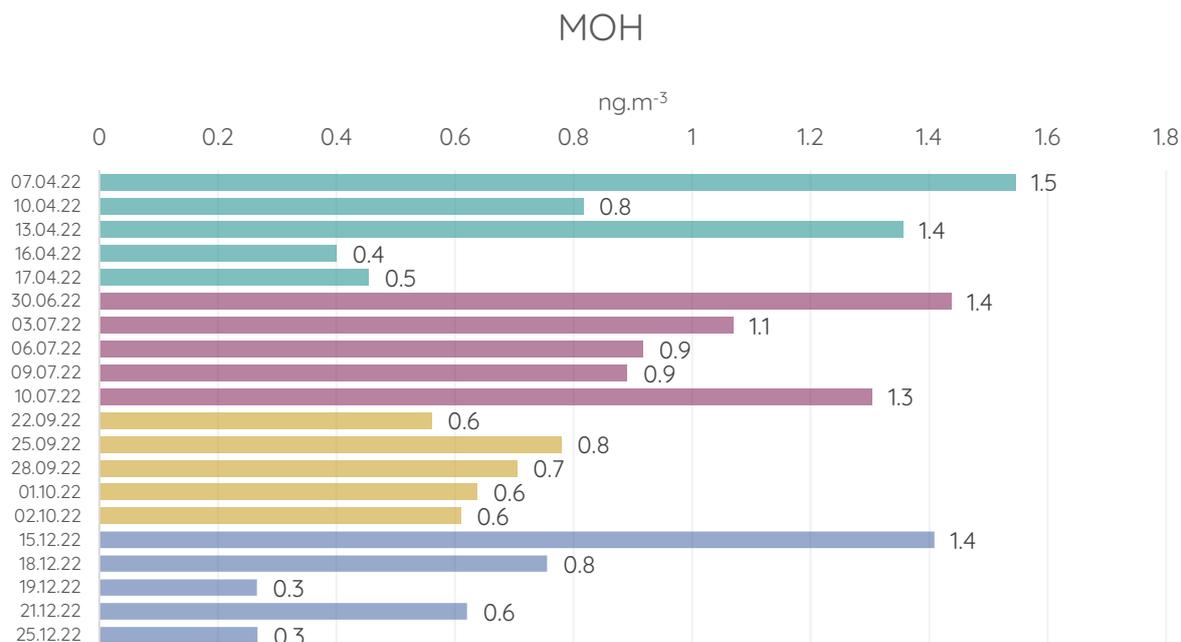
Obrázek 340 - průměrné denní koncentrace niklu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kohoutovice.



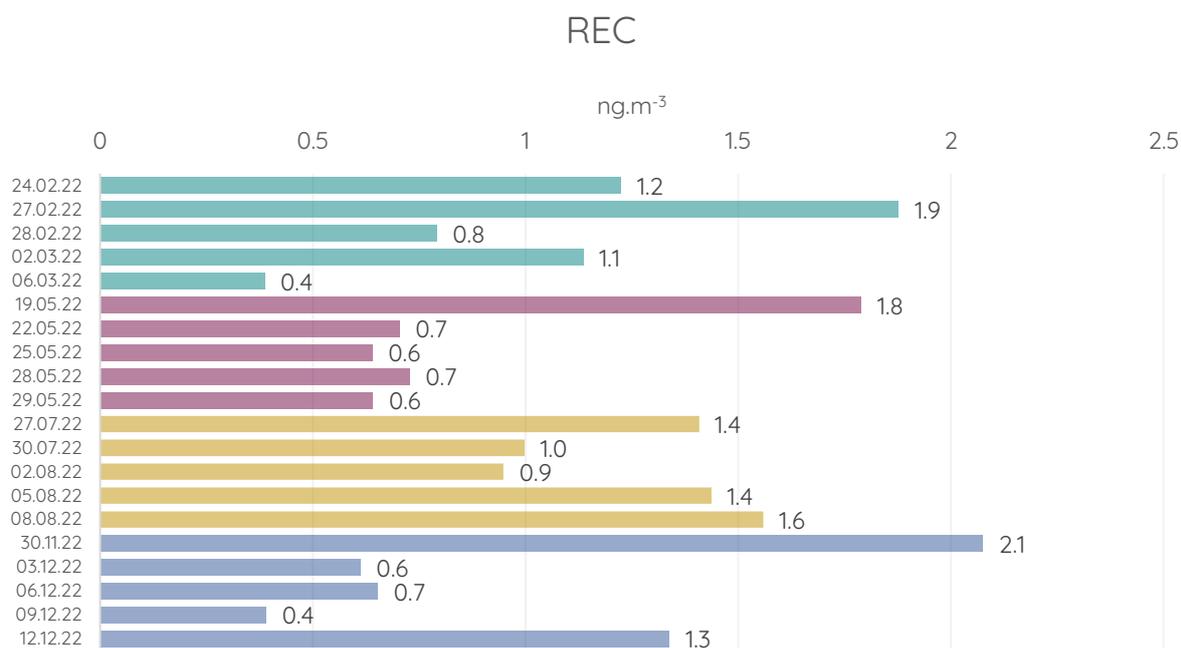
Obrázek 341 - průměrné denní koncentrace niklu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Komín.



Obrázek 342 - průměrné denní koncentrace niklu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Líšeň.

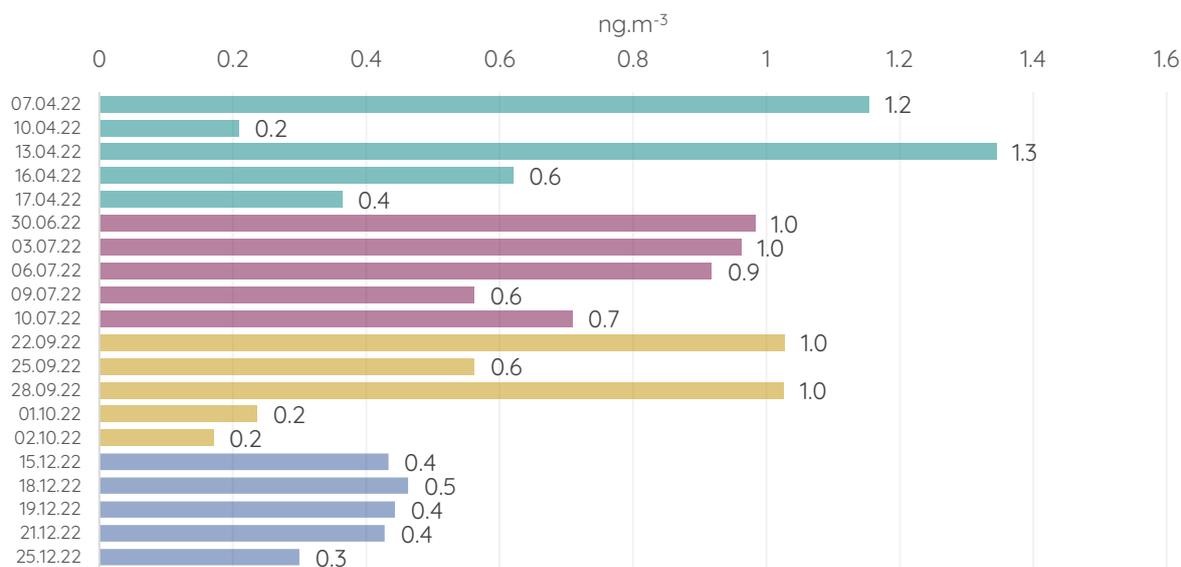


Obrázek 343 - průměrné denní koncentrace niklu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Mokrá Hora.



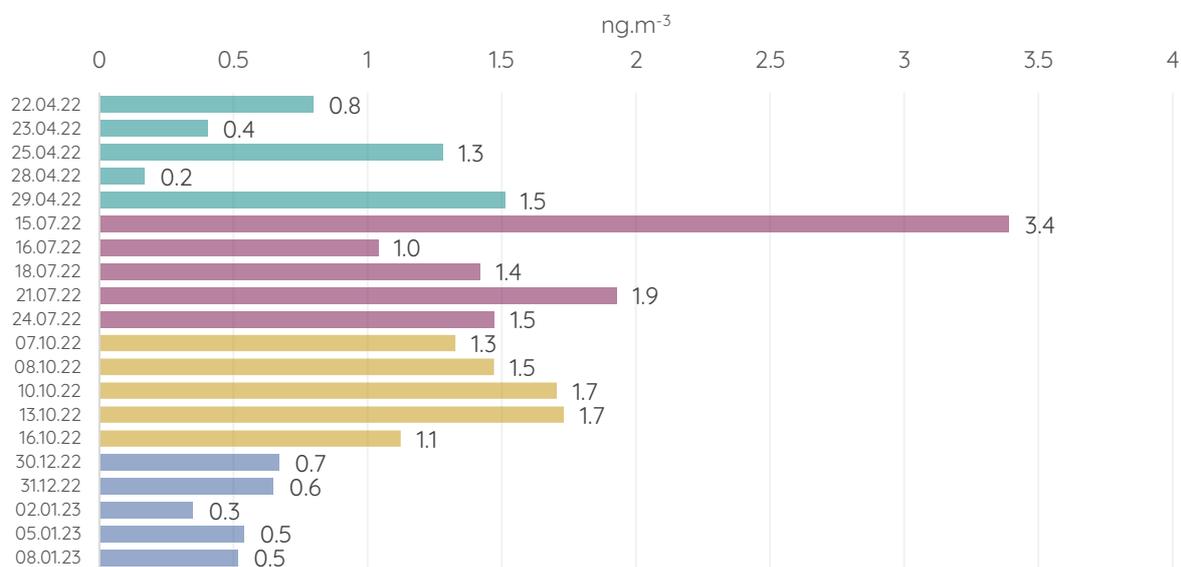
Obrázek 344 - průměrné denní koncentrace niklu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Řečkovice.

## STY

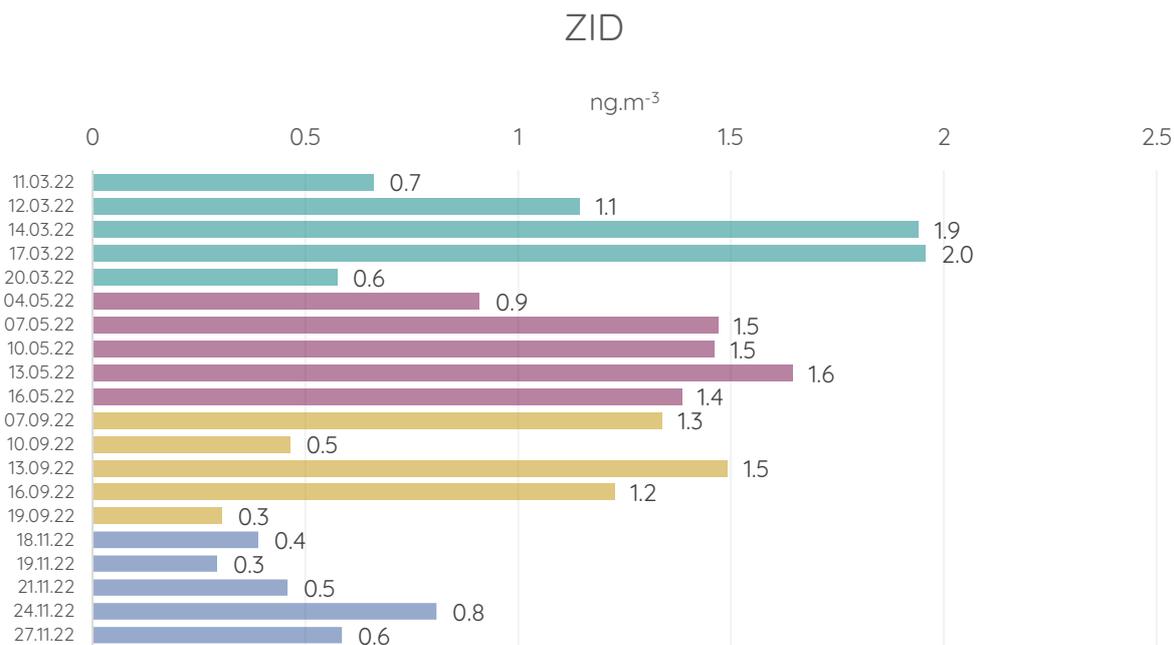


Obrázek 345 - průměrné denní koncentrace niklu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Štýřice.

## TUR



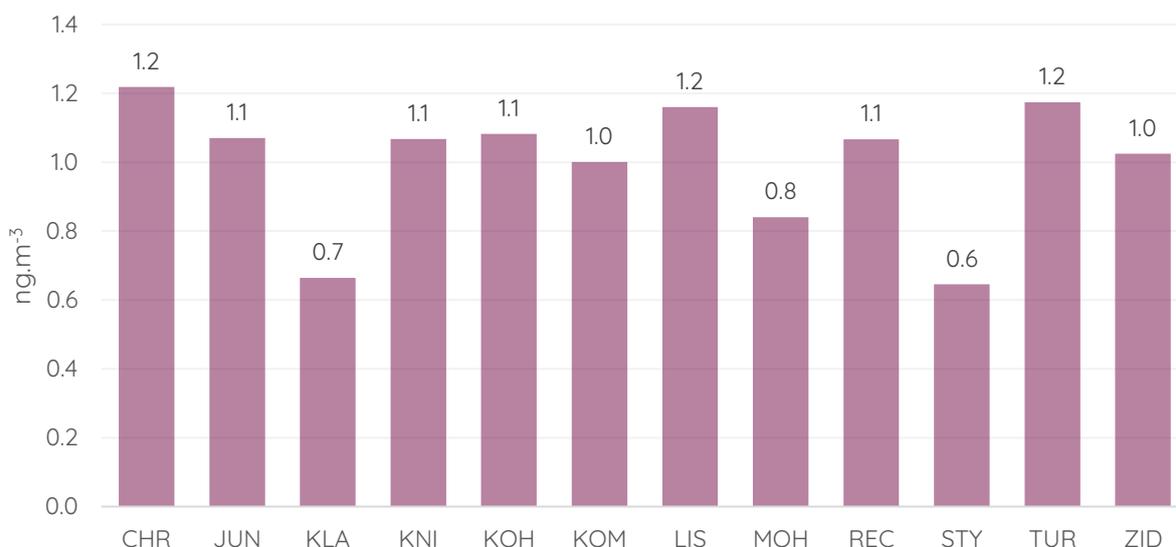
Obrázek 346 - průměrné denní koncentrace niklu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Tuřany.



Obrázek 347 - průměrné denní koncentrace niklu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Židenice.

Nejvyšší průměrná denní koncentrace niklu byla zaznamenána v lokalitě Chrlice, konkrétně 25. 4. 2022 (6,9 ng.m<sup>-3</sup>).

Následující sloupcový graf ukazuje průměrné koncentrace niklu ze všech lokalit za všechny měřicí kampaně.



Obrázek 348 - průměrné koncentrace niklu v jednotlivých lokalitách, vypočítané ze všech 20 vzorků odebraných v jednotlivých lokalitách.

Rozdíly mezi průměrnými koncentracemi niklu jsou mezi jednotlivými lokalitami téměř zanedbatelné. Nejvyšší průměrná koncentrace ( $1,2 \text{ ng.m}^{-3}$ ) byla shodně pozorována na lokalitách Tuřany, Chrlice a Líšeň. Nejnižší byly koncentrace v lokalitě Štýřice. S ohledem na hodnotu imisního limitu nejsou tyto rozdíly významné.

Imisní limit pro nikl je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven pouze pro roční průměrné koncentrace ( $20 \text{ ng.m}^{-3}$ ). Výše uvedené průměrné hodnoty tedy nelze s imisním limitem srovnávat, nicméně tyto hodnoty potvrzují, že jsou koncentrace niklu dlouhodobě v celé České republice výrazně podlimitní a na základě výše uvedených hodnot je vyloučené, že by v některé z výše uvedených lokalit byl roční průměr vyšší než  $20 \text{ ng.m}^{-3}$ .

### Kadmium

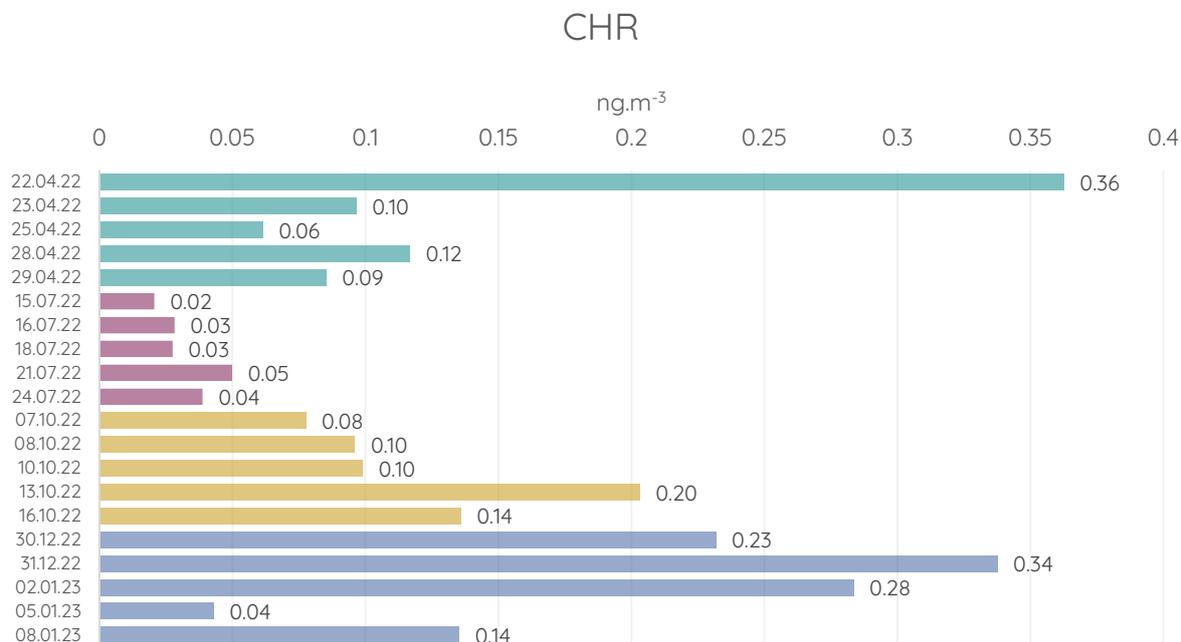
Kadmium je měkký modrobílý kov nepodléhající korozi. Běžně se používá jako součást baterií, pigmentů nebo například při výrobě televizorů (Linden, 1984; Nordberg, 2015). V lidském těle nemá kadmium žádnou známou funkci (Takeuchi, 2011). Jeho inhalace však může být velmi nebezpečná.

Přírodním zdrojem kadmia v ovzduší je především vulkanická činnost, avšak přibližně 90 % tvoří zdroje antropogenní (Lane, 2015). Hlavními zdroji kadmia v ovzduší je těžba, metalurgie, spalování fosilních paliv a odpadů nebo například využívání hnojiv na fosfátové bázi. Kadmium se váže na částice v ovzduší a dálkovým přenosem se může přenášet na velké vzdálenosti, kde se následně vyskytuje nejen v ovzduší, ale depozicí se dostává i do vody a půdy.

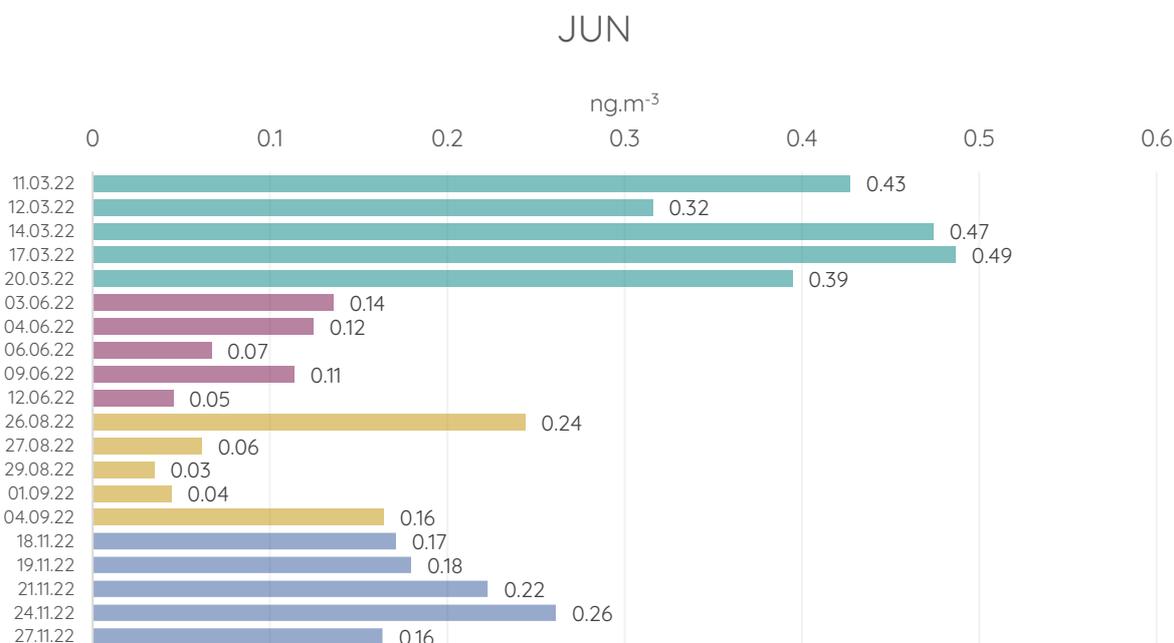
Jedná se o velmi toxický prvek, který v největší míře poškozuje ledviny, kde dochází k jeho nejvýraznější akumulaci. Podle EPA se jedná o pravděpodobný lidský karcinogen a teratogen. Kromě ledvin vede i k poškození jater, kostí, plic, kardiovaskulárního systému a gastrointestinálního traktu (Friberg, 2017).

Roční imisní limit kadmia ( $IL = 5 \text{ ng.m}^{-3}$ ) nebyl v roce 2020 překročen na žádné ze 63 stanic s platným ročním průměrem. Nejvyšší roční průměr byl naměřen na městské pozad'ové stanici Tanvald-školka ( $2,9 \text{ ng.m}^{-3}$ ). Roční průměrné koncentrace Cd v roce 2020 se v České republice obecně pohybovaly pod dolní mezí posuzování ( $2 \text{ ng.m}^{-3}$ ). Výjimkou je pouze oblast okolí Jablonce nad Nisou, kde jsou koncentrace nad hranicí dolní meze posuzování, ale pod hranicí horní.

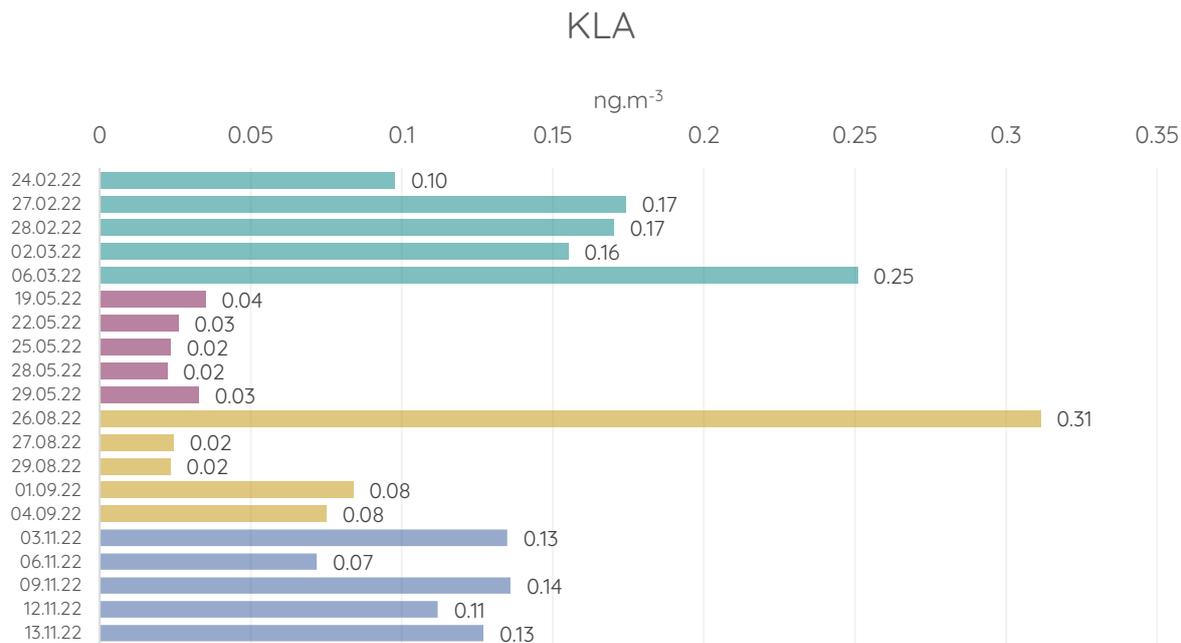
V každé ze čtyř měřících kampaní bylo odebráno pět vzorků kadmia. Graf níže ukazuje průměrné denní koncentrace kadmia z pěti vzorků z každé ze čtyř kampaní (celkem 20 vzorků) pro jednotlivé.



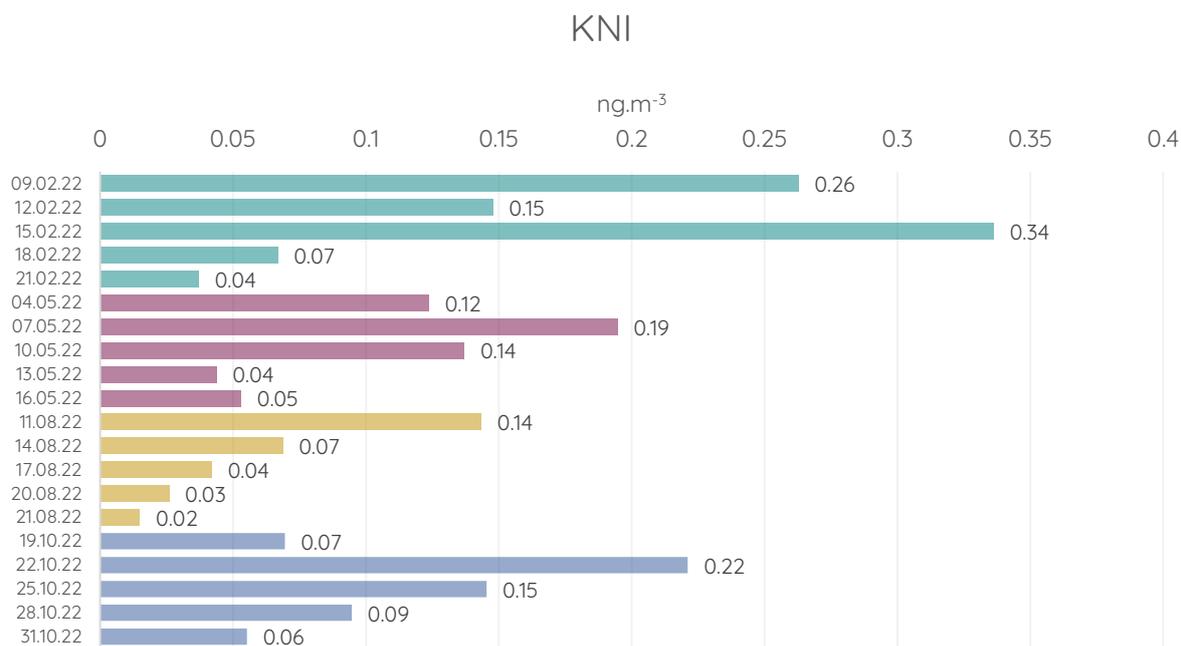
Obrázek 349 - průměrné denní koncentrace kadmia v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Chrlice.



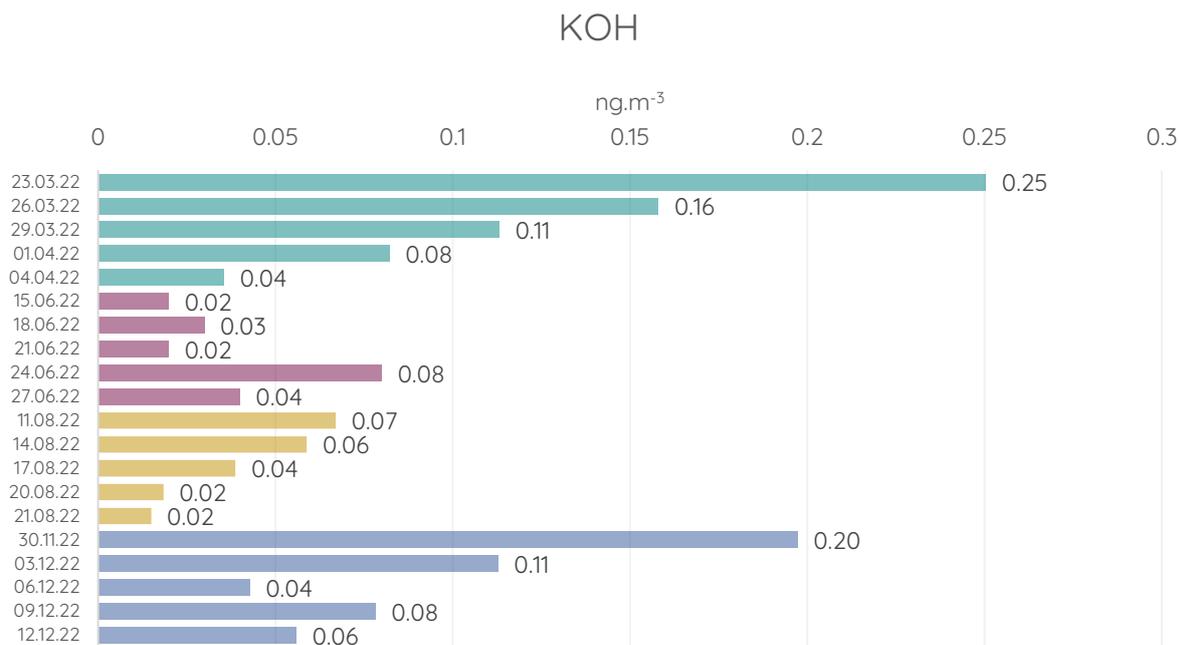
Obrázek 350 - průměrné denní koncentrace kadmia v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Jundrov.



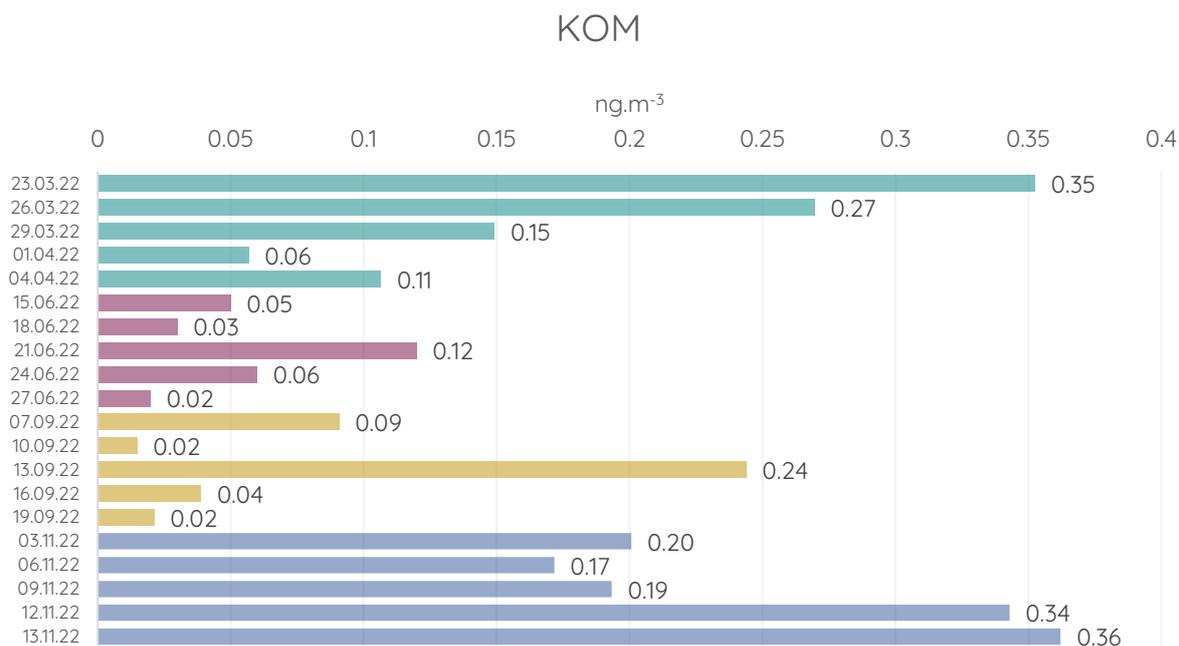
Obrázek 351 - průměrné denní koncentrace kadmia v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Klajdovka.



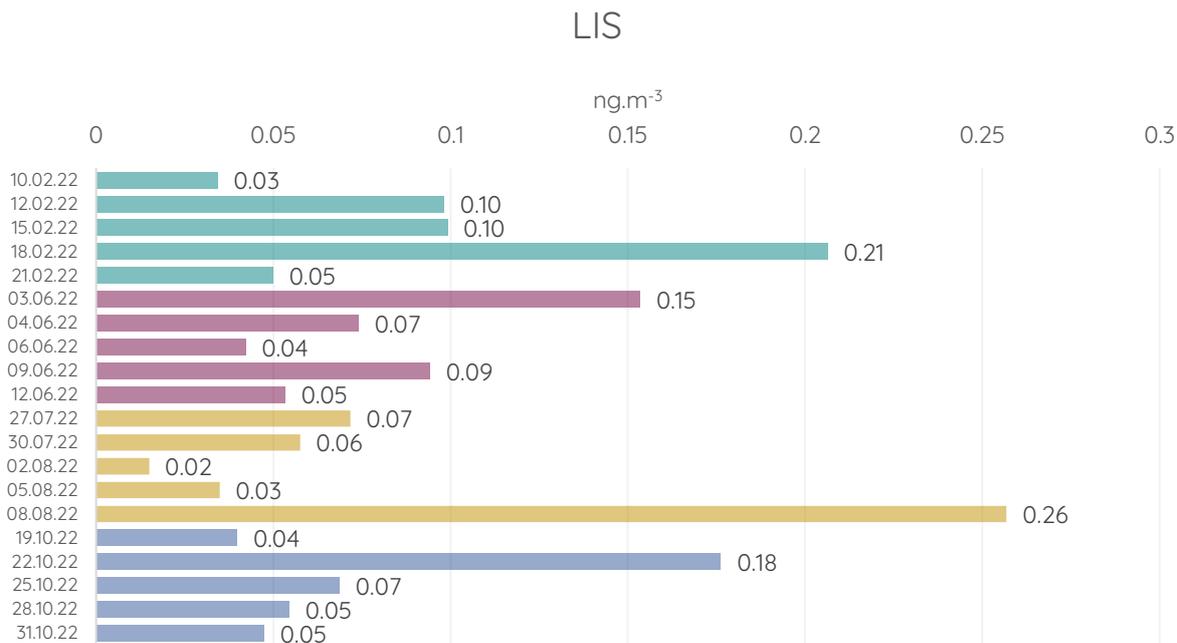
Obrázek 352 - průměrné denní koncentrace kadmia v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kníničky.



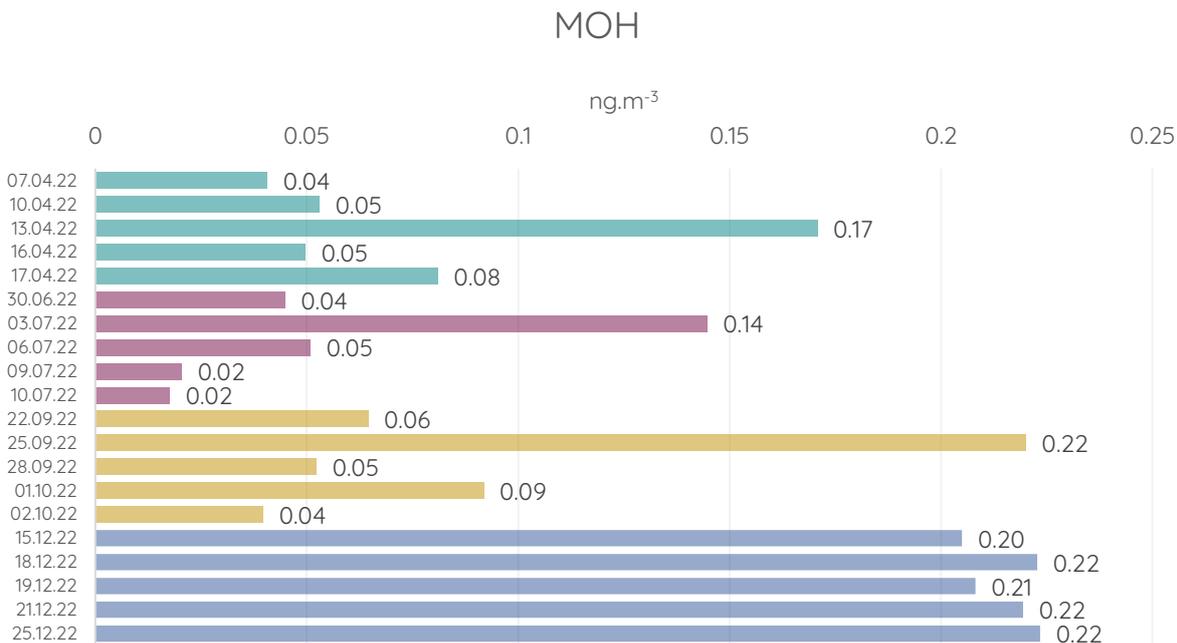
Obrázek 353 - průměrné denní koncentrace kadmia v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kohoutovice.



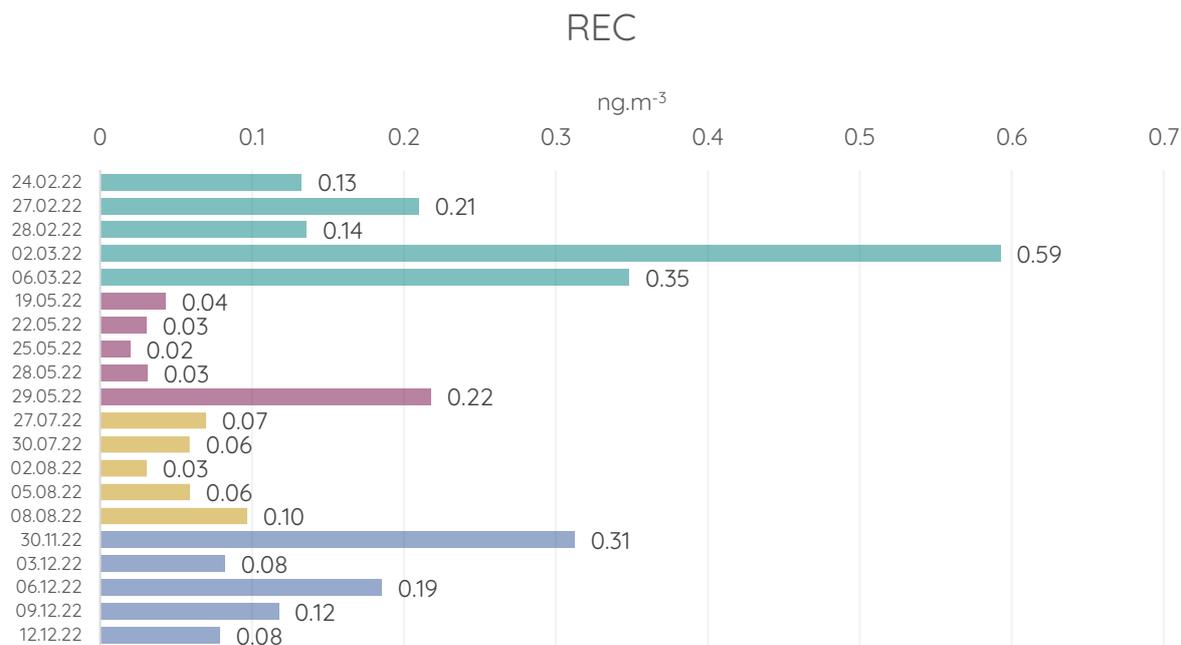
Obrázek 354 - průměrné denní koncentrace kadmia v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Komín.



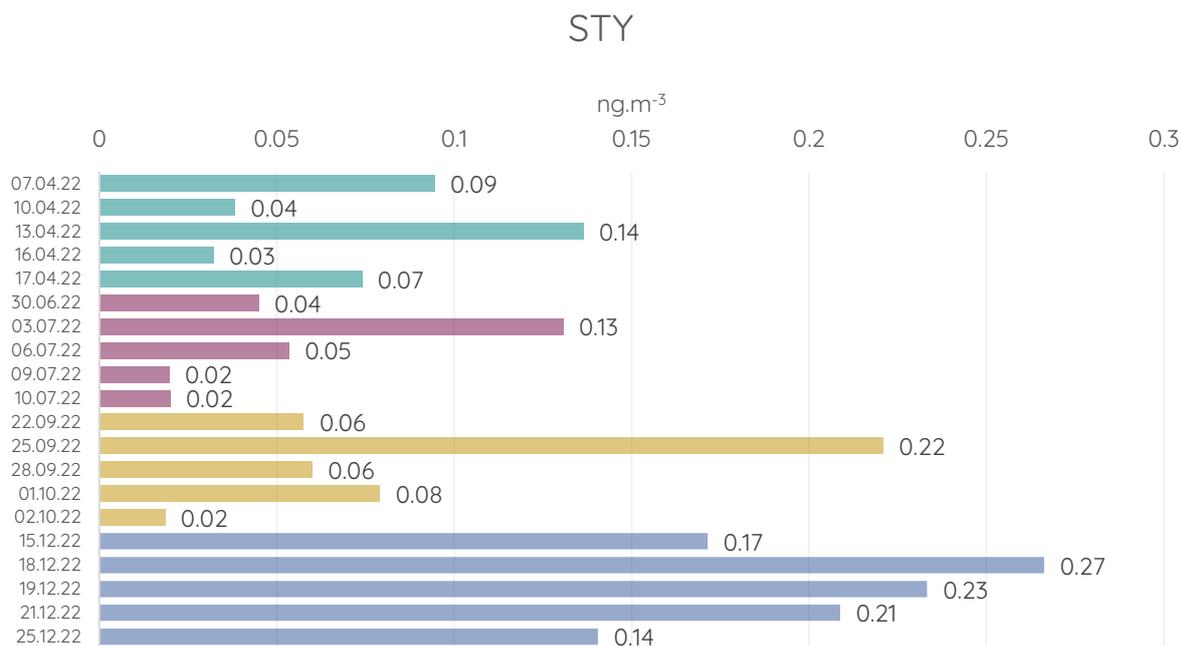
Obrázek 355 - průměrné denní koncentrace kadmia v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Líšeň.



Obrázek 356 - průměrné denní koncentrace kadmia v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Mokrá Hora.

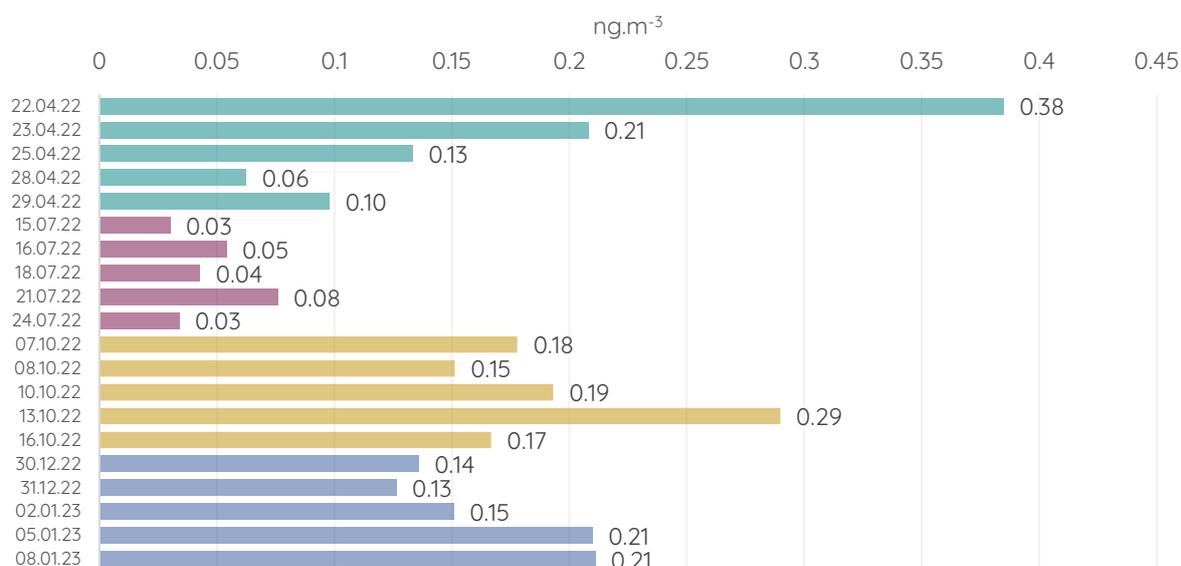


Obrázek 357 - průměrné denní koncentrace kadmia v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Řečkovice.



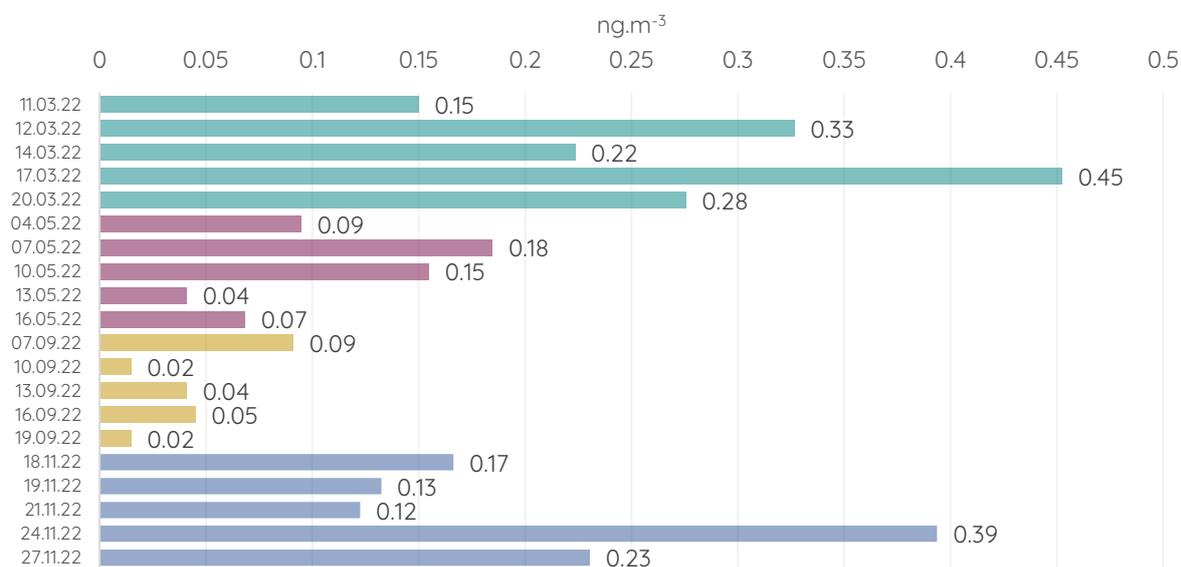
Obrázek 358 - průměrné denní koncentrace kadmia v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Štýřice.

## TUR



Obrázek 359 - průměrné denní koncentrace kadmia v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Tuřany.

## ZID



Obrázek 360 - průměrné denní koncentrace kadmia v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Židenice.

Nejvyšší průměrná denní koncentrace kadmia byla naměřena 2. 3. 2022 v lokalitě Řečkovice (0,59 ng.m<sup>-3</sup>).

Následující sloupcový graf ukazuje průměrné koncentrace kadmia ze všech lokalit za všechny měřicí kampaně.



Obrázek 361 - průměrné koncentrace kadmia v jednotlivých lokalitách, vypočítané ze všech 20 vzorků odebraných v jednotlivých lokalitách.

V průměru byly nejvyšší koncentrace kadmia naměřeny v lokalitě Jundrov (0,21 ng.m<sup>-3</sup>) a dále Židenice (0,16 ng.m<sup>-3</sup>).

Imisní limit pro kadmium je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven pouze pro roční průměrné koncentrace (5 ng.m<sup>-3</sup>). Výše uvedené průměrné hodnoty tedy nelze s imisním limitem srovnávat, nicméně tyto hodnoty potvrzují, že jsou koncentrace kadmia dlouhodobě v celé České republice výrazně podlimitní a na základě výše uvedených hodnot je vyloučené, že by v některé z výše uvedených lokalit byl roční průměr vyšší než 5 ng.m<sup>-3</sup>.

## Olovo

Olovo je kujný, měkký a velmi těžký kov. Díky svým mechanickým vlastnostem (nízký bod tání, duktilita, vysoká hustota, vysoká stálost) má olovo široké využití. Používá se ve stavebním průmyslu, je součástí řady slitin, nachází se v protihlukových stěnách a ve 21. století se používá především při výrobě akumulátorů (Pavlov, 2011).

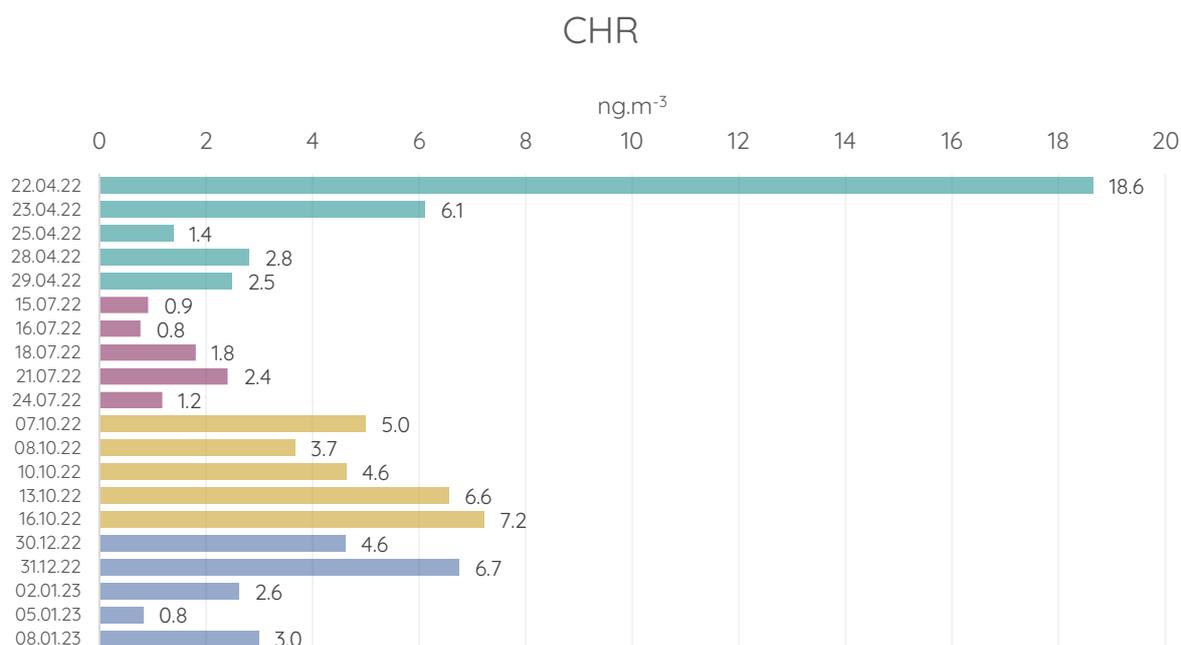
Není známo, že by olovo plnilo nějakou biologickou funkci, naopak se jedná o toxický prvek (Alizadeh, 2011). Pro lidský organismus je jedovatý jak při inhalaci, tak při požití a nežádoucí účinky se můžou projevit téměř ve všech orgánech – způsobuje mj. poruchy

nervové soustavy, reprodukční soustavy, vývoje, imunitního systému, kardiovaskulárního systému, poruchy ledvin (US Food and Drug Administration, 2015).

Na přelomu tisíciletí došlo k výraznému snížení koncentrací olova v ovzduší, mj. díky zákazu používání olovnatého benzínu (v EU od roku 2000) (O'Brien, 2011). Imisní limit pro ochranu zdraví pro roční průměrnou koncentraci olova byl stanoven na  $500 \text{ ng.m}^{-3}$  ( $0,5 \text{ } \mu\text{gm}^{-3}$ ).

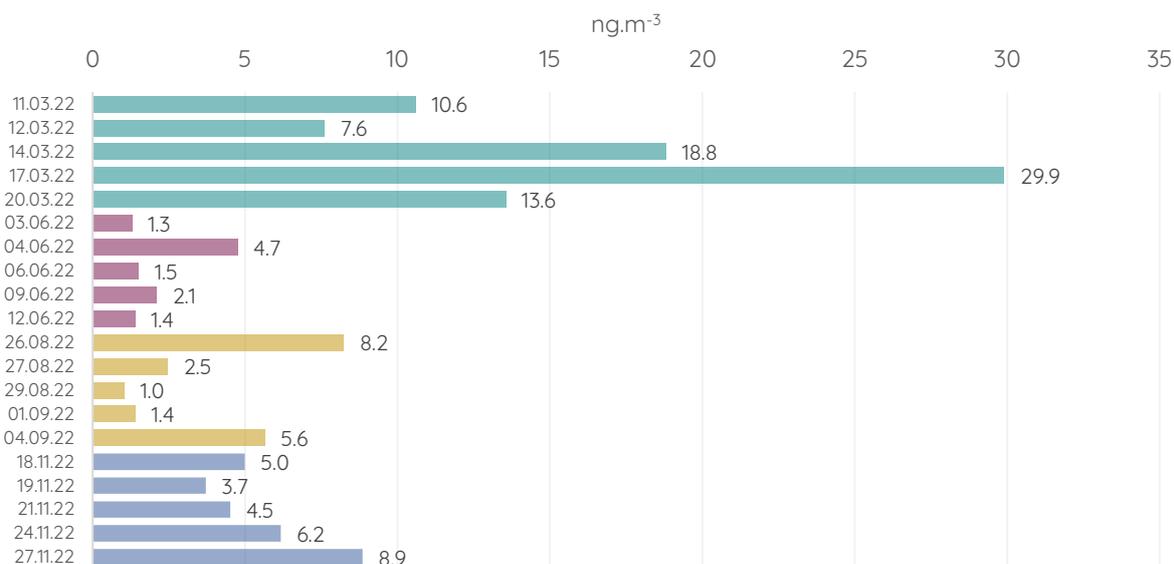
Roční imisní limit olova nebyl v roce 2020 překročen na žádné z 63 stanic s platným ročním průměrem. Nejvyšší roční průměr byl naměřen na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ ( $52 \text{ ng.m}^{-3}$ ). Dlouhodobě jsou koncentrace olova na celém území České republiky velmi nízké.

V každé ze čtyř měřících kampaní bylo odebráno pět vzorků olova. Graf níže ukazuje průměrné denní koncentrace olova z pěti vzorků z každé ze čtyř kampaní (celkem 20 vzorků) pro jednotlivé.



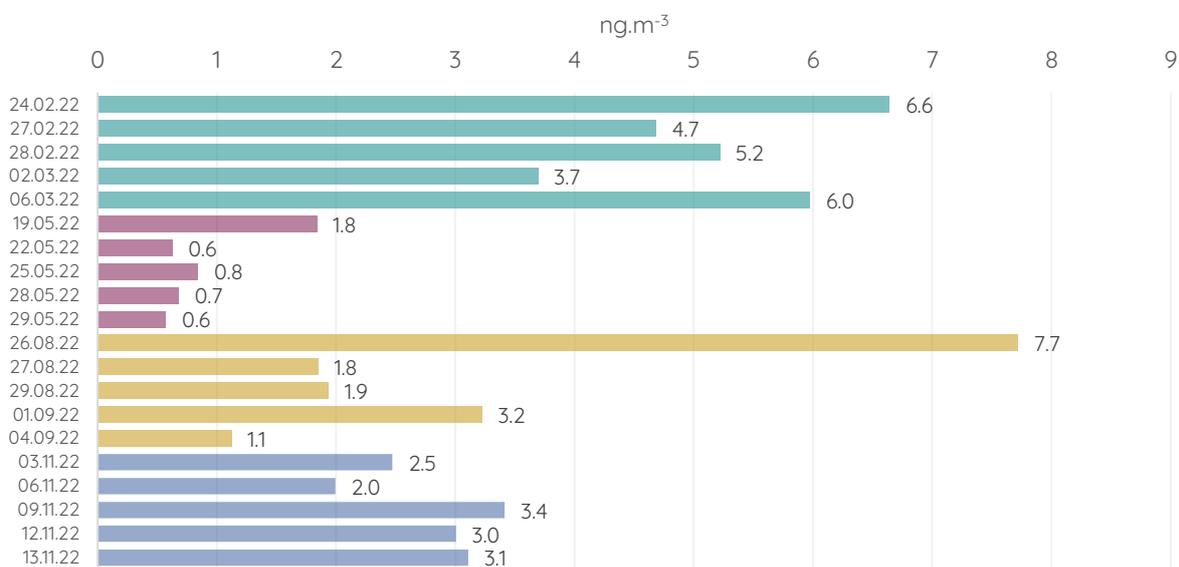
Obrázek 362 - průměrné denní koncentrace olova v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Chrlice.

## JUN



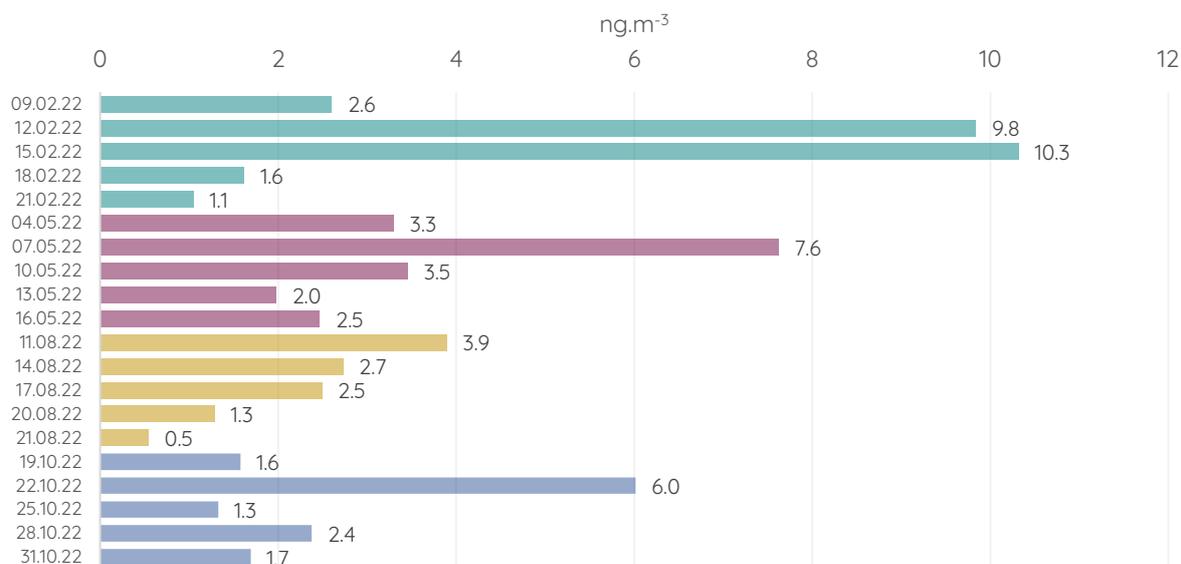
Obrázek 363 - průměrné denní koncentrace olova v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Jundrov.

## KLA



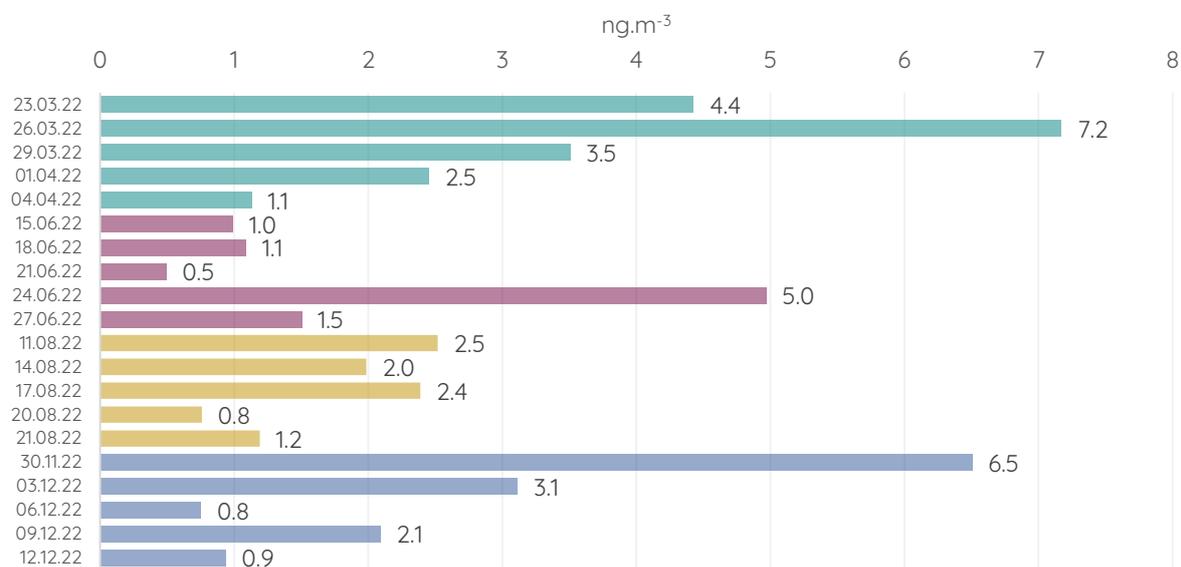
Obrázek 364 - průměrné denní koncentrace olova v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Klajdovka.

## KNI

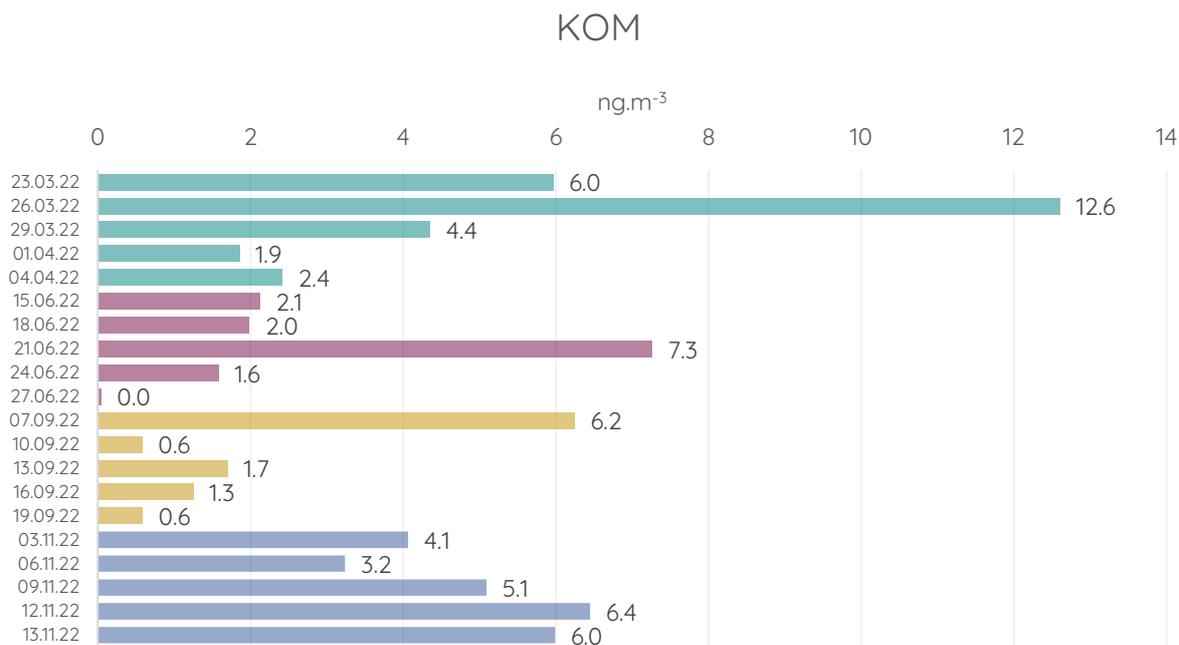


Obrázek 365 - průměrné denní koncentrace olova v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kníničky.

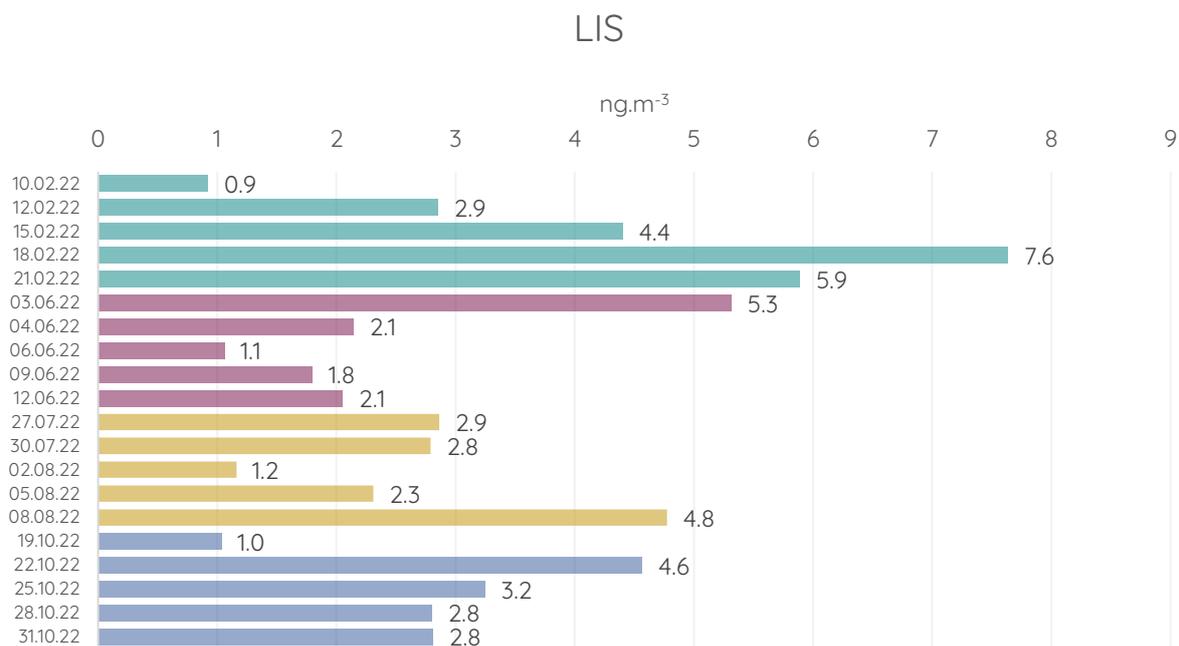
## KOH



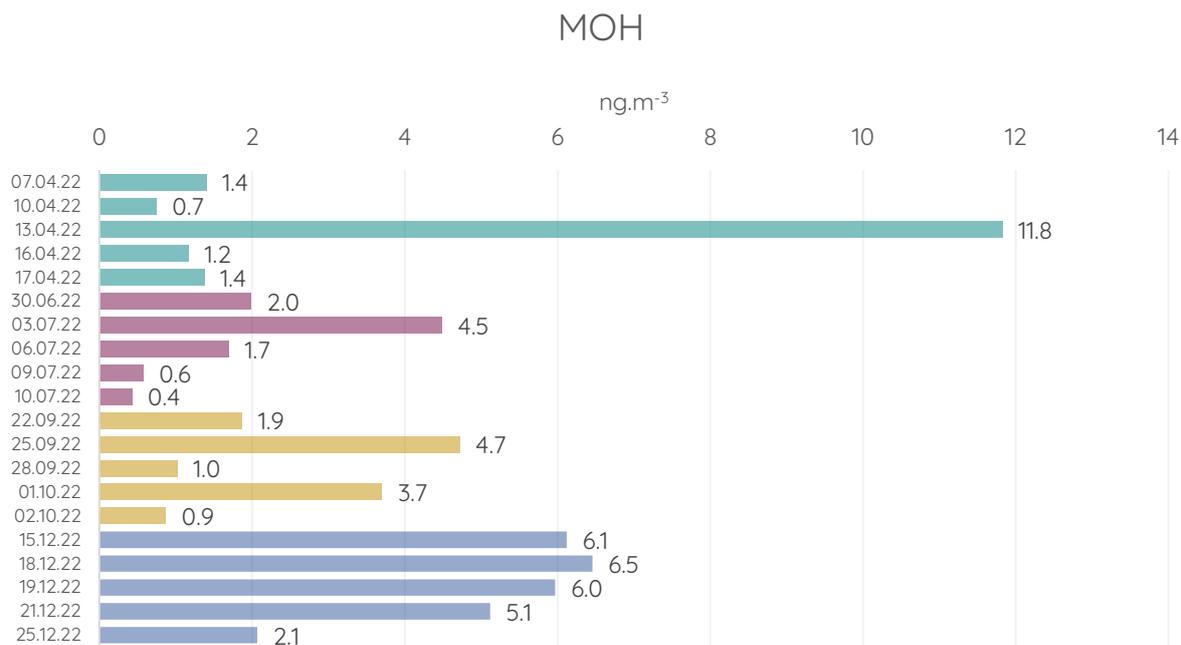
Obrázek 366 - průměrné denní koncentrace olova v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kohoutovice.



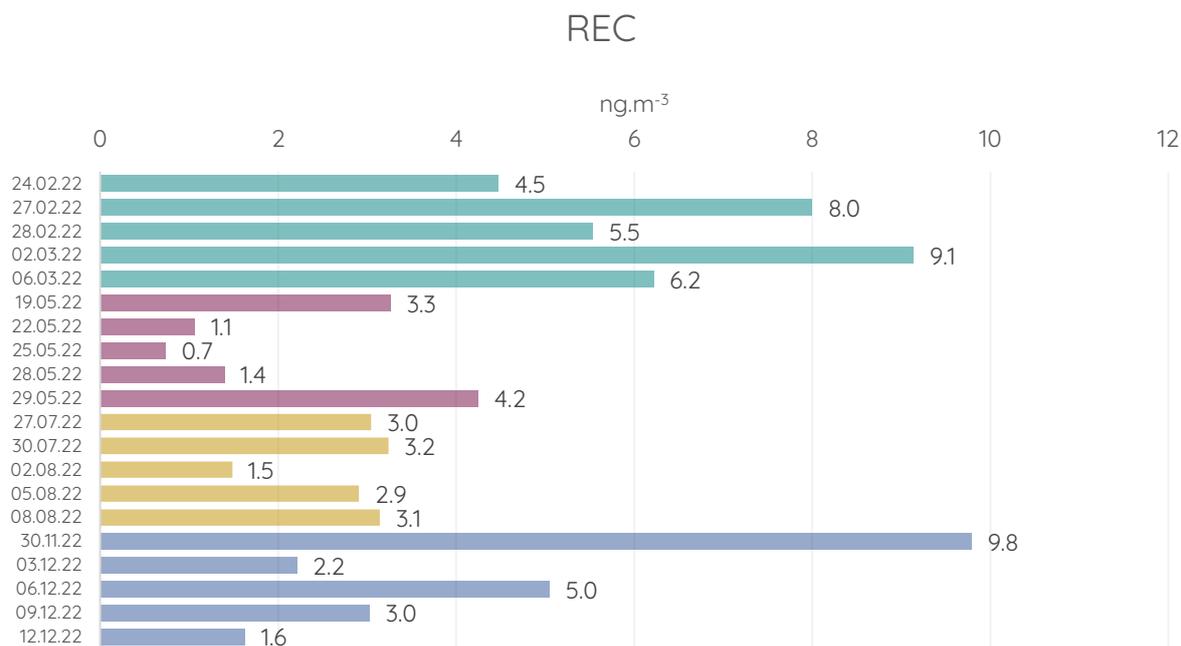
Obrázek 367 - průměrné denní koncentrace olova v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Komín.



Obrázek 368 - průměrné denní koncentrace olova v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Líšeň.

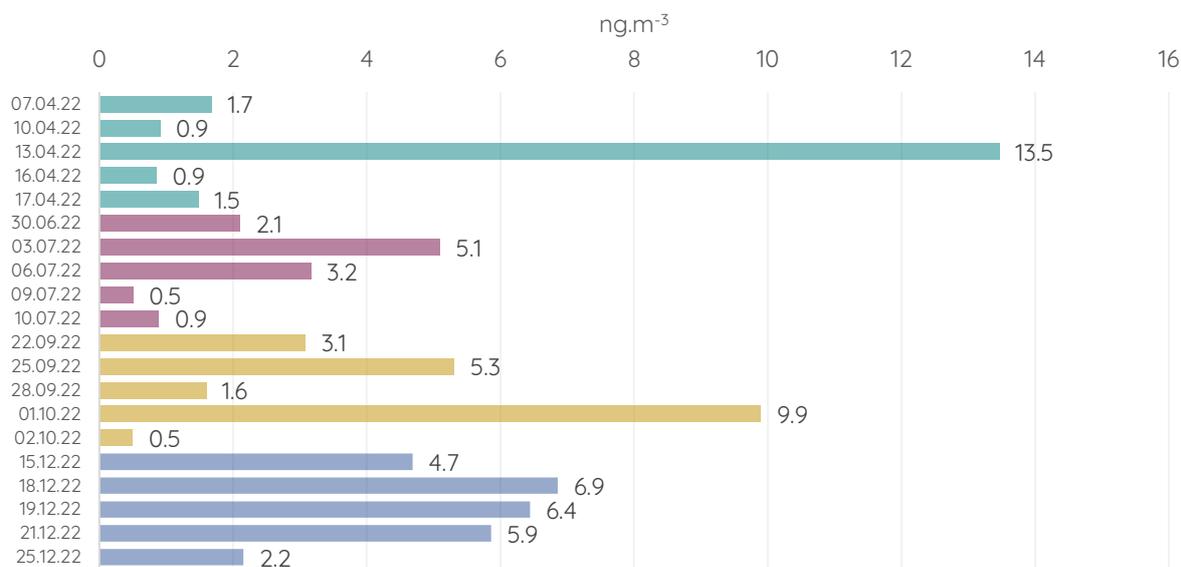


Obrázek 369 - průměrné denní koncentrace olova v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Mokrá Hora.



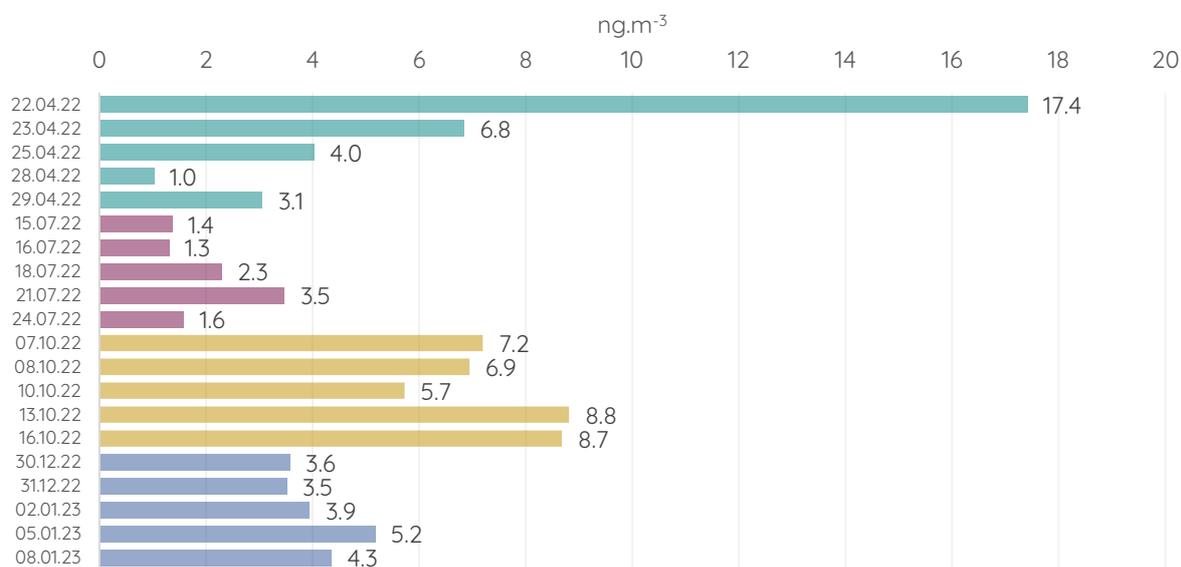
Obrázek 370 - průměrné denní koncentrace olova v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Řečkovice.

## STY

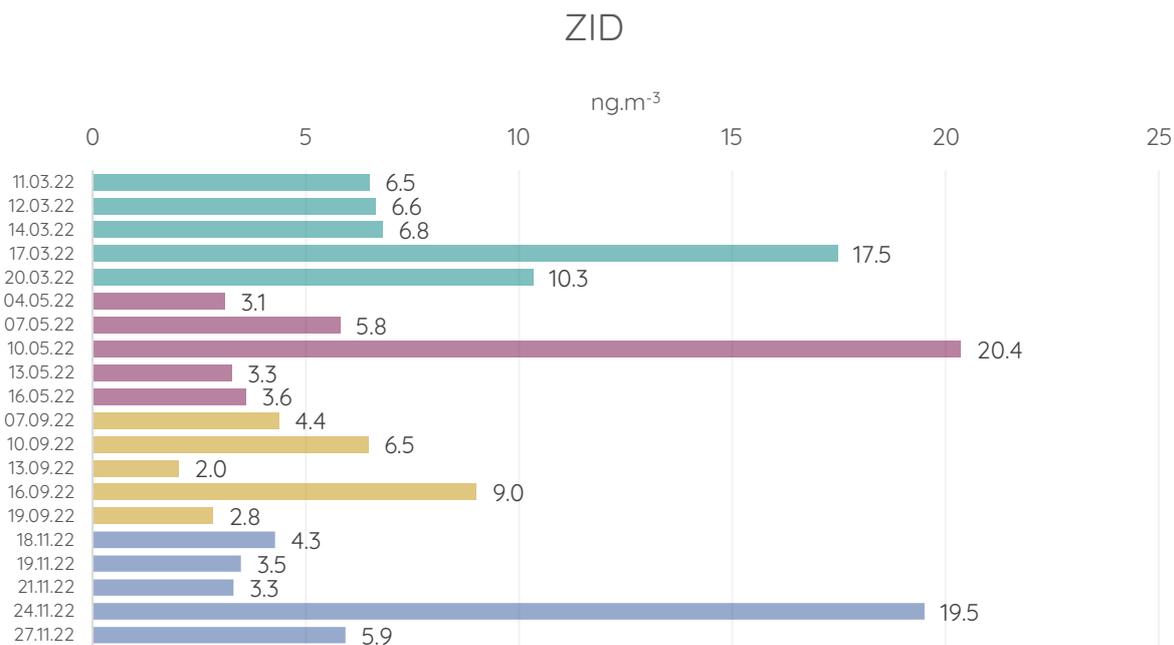


Obrázek 371 - průměrné denní koncentrace olova v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Štýřice.

## TUR



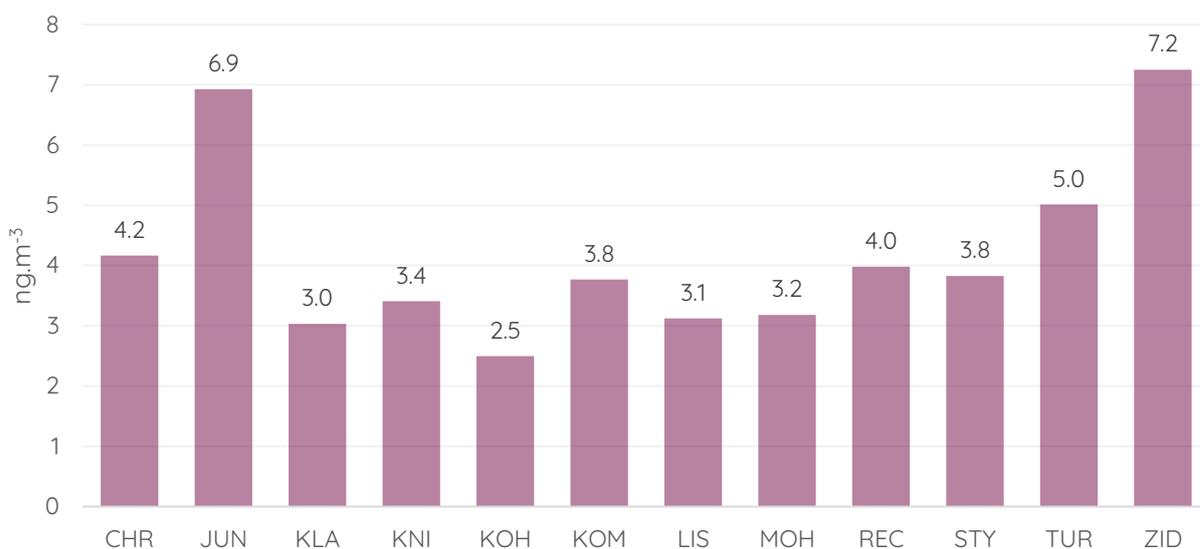
Obrázek 372 - průměrné denní koncentrace olova v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Tuřany.



Obrázek 373 - průměrné denní koncentrace olova v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Židenice.

Nejvyšší průměrná denní koncentrace olova byla naměřena v lokalitě Jundrov, a to 17. 3. 2022 (29,9 ng.m<sup>-3</sup>).

Následující sloupcový graf ukazuje průměrné koncentrace olova ze všech lokalit za všechny měřicí kampaně.



Obrázek 374 - průměrné koncentrace olova v jednotlivých lokalitách, vypočítané ze všech 20 vzorků odebraných v jednotlivých lokalitách.

Nejvyšší průměrná koncentrace olova za všechna vzorkování je v lokalitě Židenice a Jundrov.

Imisní limit pro olovo je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven pouze pro roční průměrné koncentrace ( $500 \text{ ng.m}^{-3}$ ). Výše uvedené průměrné hodnoty tedy nelze s imisním limitem srovnávat, nicméně tyto hodnoty potvrzují, že jsou koncentrace olova dlouhodobě v celé České republice výrazně podlimitní a na základě výše uvedených hodnot je vyloučené, že by v některé z výše uvedených lokalit byl roční průměr vyšší než  $500 \text{ ng.m}^{-3}$ .

## Polycyklické aromatické uhlovodíky (benzo[*a*]pyren)

Uhlovodíky obecně jsou organické látky obsahující ve své struktuře pouze atomy uhlíku a vodíku spojených navzájem kovalentními vazbami. Polycyklické aromatické uhlovodíky (zkratka PAU nebo anglicky PAH – Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) jsou rozsáhlou skupinou organických sloučenin a vyznačují se dvěma nebo více kondenzovanými aromatickými jádry v molekule. Jedná se o bílé nebo nažloutlé krystalické pevné látky velmi málo rozpustné ve vodě, a naopak snadno se rozpouštějící v olejích a tucích. Obvykle se vyskytují ve složitých směsích. Do skupiny polycyklických aromatických uhlovodíků patří celá řada látek. Nejedná se o polutanty vyskytující se pouze v ovzduší, ale také ve vodě a v půdě.

Polycyklické aromatické uhlovodíky mohou mít přírodní i antropogenní zdroj emisí. Přírodním zdrojem PAH jsou například vulkanické erupce, lesní či stepní požáry, ve srovnání se zdroji antropogenními se ovšem jedná o zdroj minoritní. Rozhodující množství PAH vzniká antropogenní činností, tvoří se hlavně v domácích a průmyslových topeništích, ve spalovnách a v dopravě. PAH se také často uvolňují z materiálů, které vznikají zpracováním ropy či uhlí (dehty, asfalty). Mezi další antropogenní zdroje PAH se řadí například výroba hliníku a cementu.

PAH tedy vznikají zejména během nedokonalého spalování organické hmoty (Abdel-Shafy, 2016). Tvoří se za nedostatečného přístupu kyslíku z nasycených uhlovodíků při vysokých teplotách spalovacího procesu. Emitovány jsou primárně jako plynné látky, které následně při ochlazení kondenzují a sorbují se na částice (saze, jiné pevné částice).

V zákoně o ochraně ovzduší reprezentuje tuto skupinu látek polycyklický aromatický uhlovodík s označením benzo[*a*]pyren (BaP), který má v zákoně stanoven imisní limit pro ochranu zdraví pro roční průměrnou hodnotu.

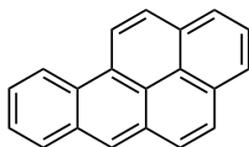
Kromě benzo[*a*]pyrenu ale můžeme měřit koncentrace celé řady dalších PAH. Tato informace nám může pomoci například v hodnocení potenciálních zdrojů tohoto znečištění. Je možné srovnávat, které konkrétní PAH se v daném místě vyskytují, v jakých koncentracích a důležitou informaci představuje i poměr mezi koncentracemi jednotlivých PAH (diagnostické poměry). Pomocí diagnostických poměrů lze rozlišit různé zdroje emisí (z automobilů, průmyslu, ze spalování uhlí a dřeva atd.). Pro rozlišení zdrojů aerosolu by však měly být diagnostické poměry užívány s opatrností, neboť jejich výsledné hodnoty

mohou být ovlivněny celou řadou faktorů, jako například reaktivitou PAH v atmosféře (Tobiszewski, 2012).

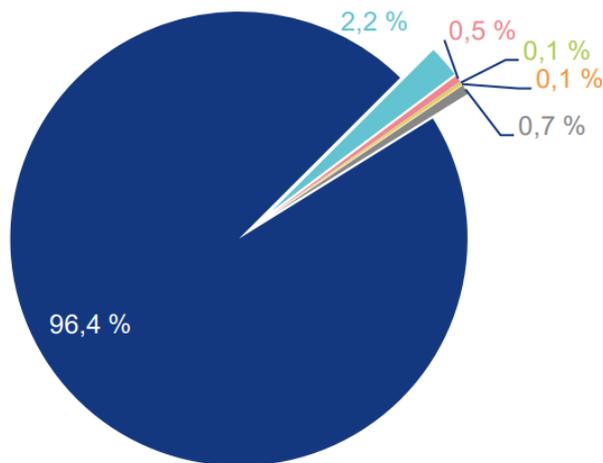
Řada PAH má toxické, mutagenní a/nebo karcinogenní vlastnosti. Jedná se o látky biochemicky rezistentní a velmi dobře rozpustné v tucích, proto jsou u savců hojně absorbovány v trávicí soustavě a následně jsou přenášeny v těle. Hovoří se také o jejich potenciální teratogenitě (tj. mohou způsobit vrozené vývojové vady).

Benzo[*a*]pyren v současnosti představuje nejproblematictější znečišťující látku v České republice, neboť jsou její koncentrace překračovány na významné části našeho území, a to místy i několikanásobně. Nutno dodat, že k překračování průměrného ročního koncentračního limitu nedochází jen u nás, ale i v jiných státech Evropy, například v Polsku, Maďarsku, Slovensku či v Itálii. Platí, že zdrojem emisí benzo[*a*]pyrenu v České republice je takřka výhradně lokální vytápění domácností. V létě jsou tedy koncentrace většinou pod limitem detekce. Pouze ve vybraných lokalitách, například poblíž koksoven, mohou být emise benzo[*a*]pyrenu ve významnější míře také z průmyslu. Nejhorší je v tomto směru vytápění ve starých kotlech na tuhá paliva (uhlí, dřevo apod.), které produkují řádově více znečišťujících látek než kotle nové (automatické). BaP se často váže na jemnou frakci suspendovaných částic, tedy PM<sub>2,5</sub>.

Jedná se o vysoce karcinogenní PAH vyskytující se v emisních zplodinách, v grilovaných potravinách a v cigaretovém kouři. BaP má mimo jiné negativní účinky na nervový a imunitní systém, inhibuje například tvorbu makrofágů, což jsou bílé krvinky odpovědné za likvidaci bakterií, virů a cizorodých látek v našem těle. Je to též látka, jejíž expozice lidskému organismu je spjatá s incidencí rakoviny plic (Guerreiro, 2016).



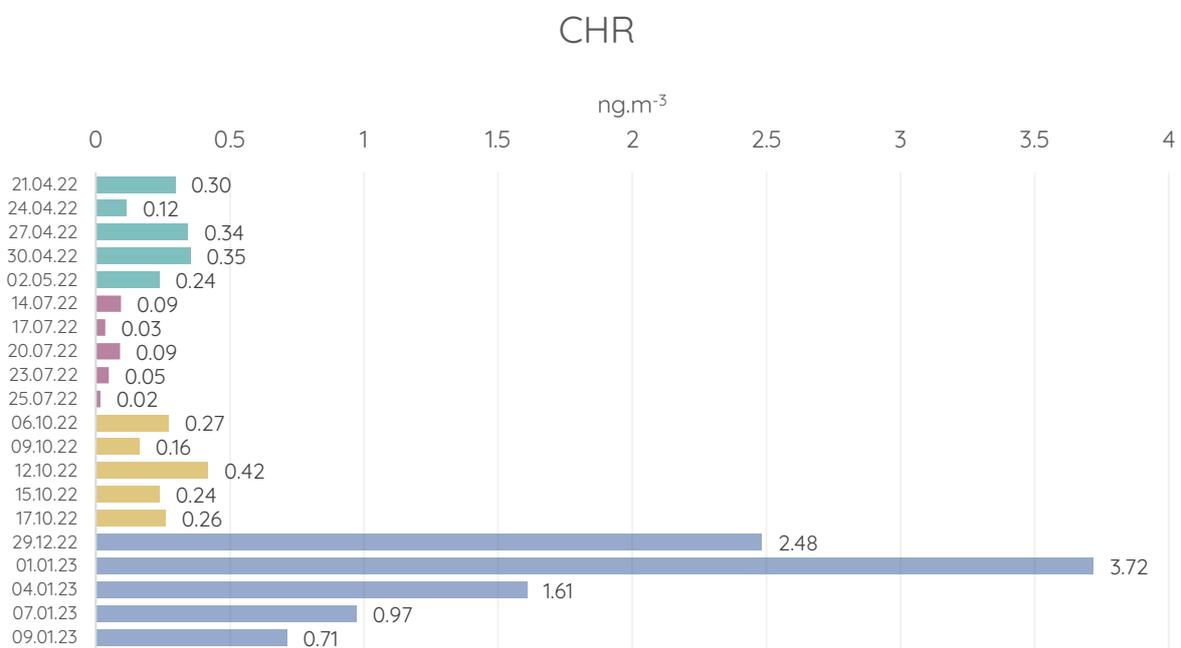
Podíl jednotlivých kategorií zdrojů na celkových emisích benzo[*a*]pyrenu v České republice jako celku ukazuje následující koláčový graf z nejnovějších dostupných dat (2019).



- 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření
- 1B1b – Fugitivní emise z pevných paliv: Transformace
- 5C2 - Spalování rostlinného materiálu
- 1A3bii – Silniční doprava: Lehká užitková vozidla
- 1A3bi – Silniční doprava: Osobní automobily
- Ostatní

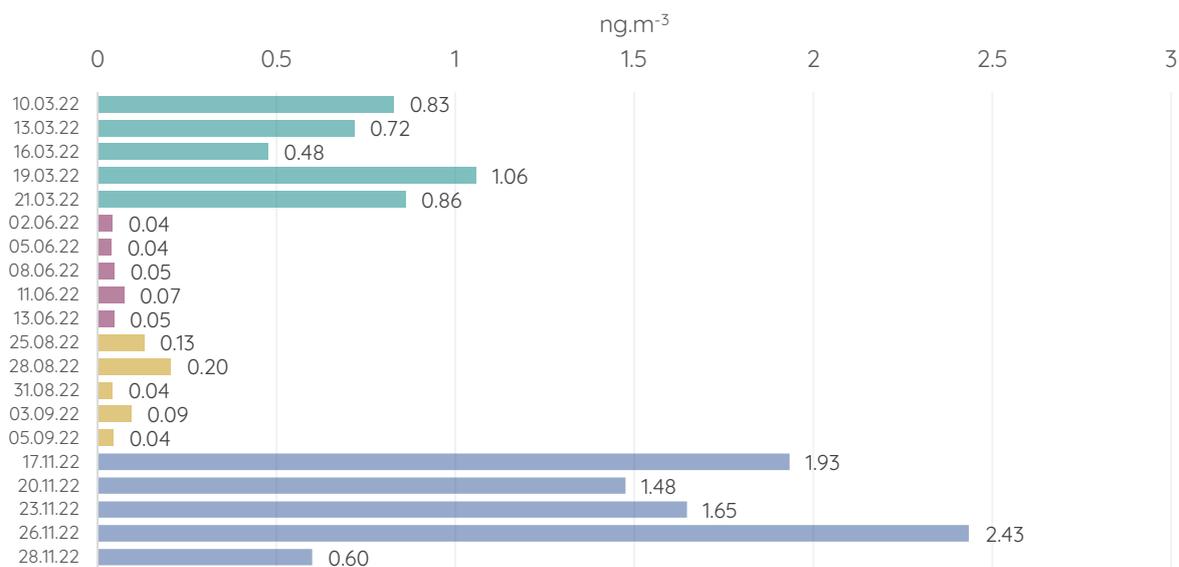
Obrázek 375 - emisní zdroje benzo[*a*]pyrenu v České republice (emisní bilance 2019)

V každé ze čtyř měřících kampaní bylo odebráno pět vzorků BaP. Graf níže ukazuje průměrné denní koncentrace BaP z pěti vzorků z každé ze čtyř kampaní (celkem 20 vzorků) pro jednotlivé.



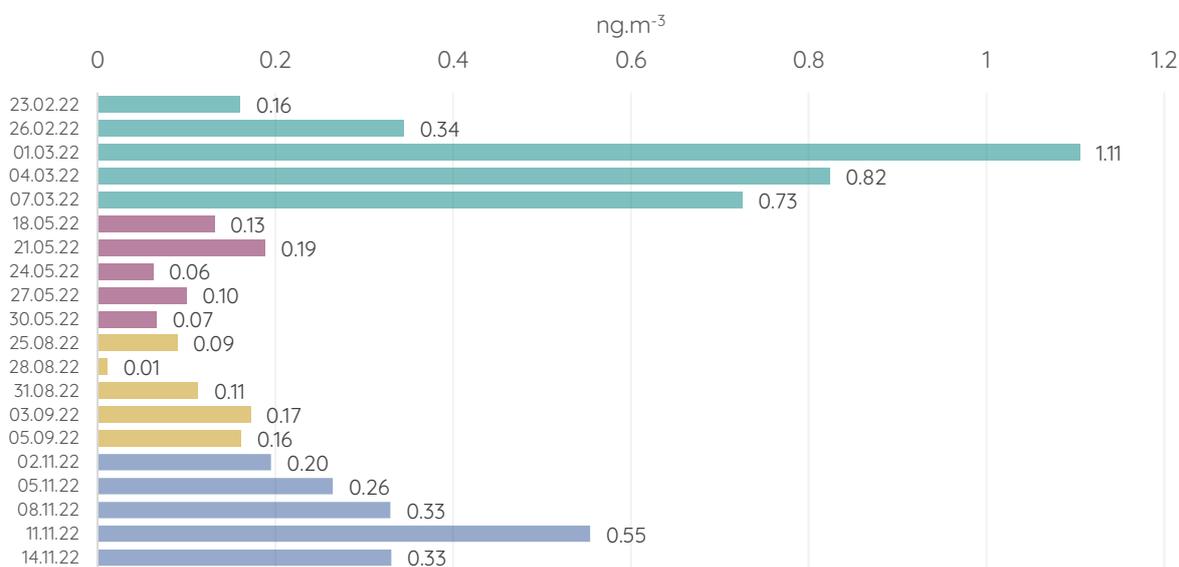
Obrázek 376 - průměrné denní koncentrace BaP v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Chrlice.

## JUN

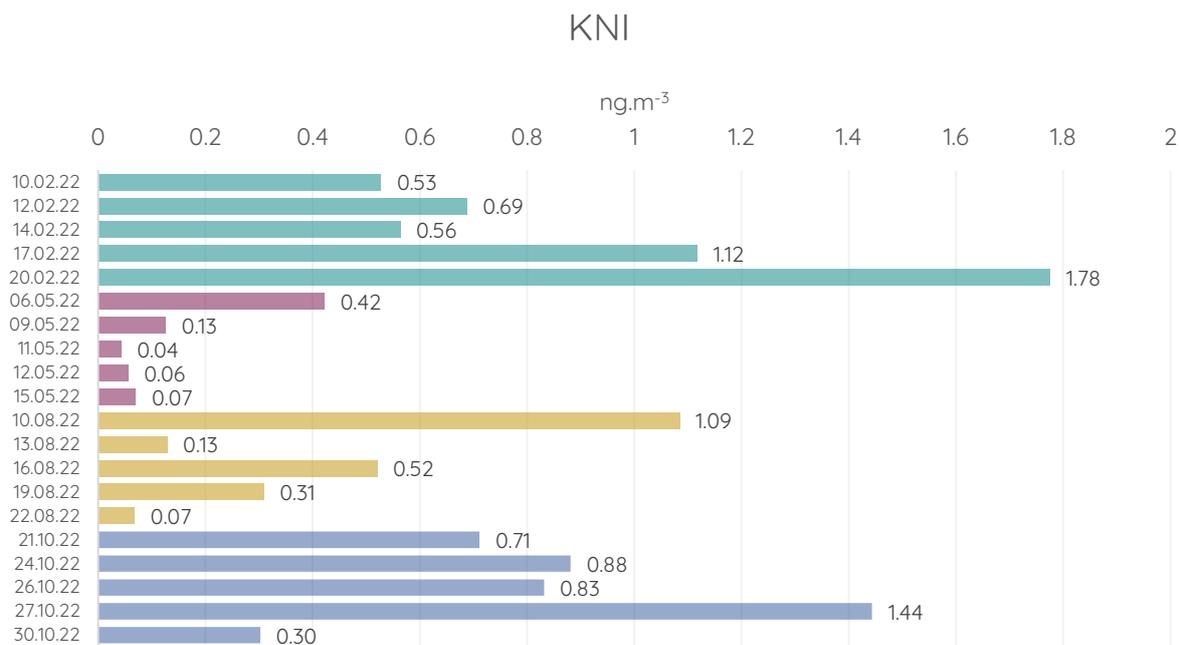


Obrázek 377 - průměrné denní koncentrace BaP v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Jundrov.

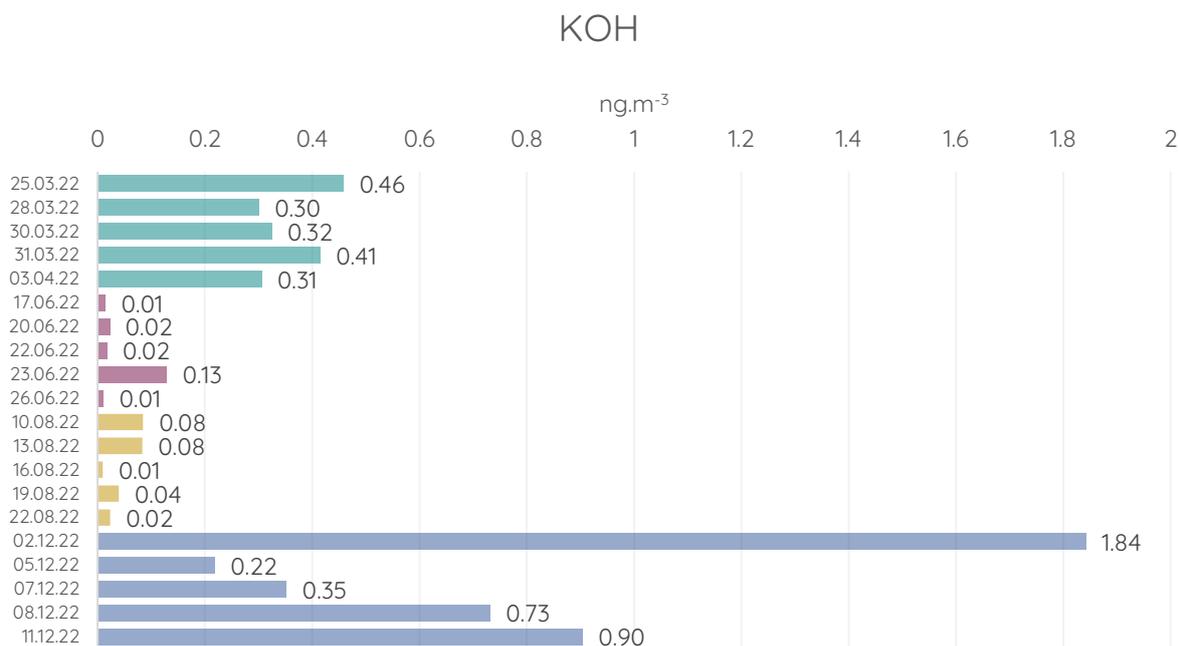
## KLA



Obrázek 378 - průměrné denní koncentrace BaP v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Klajdovka.

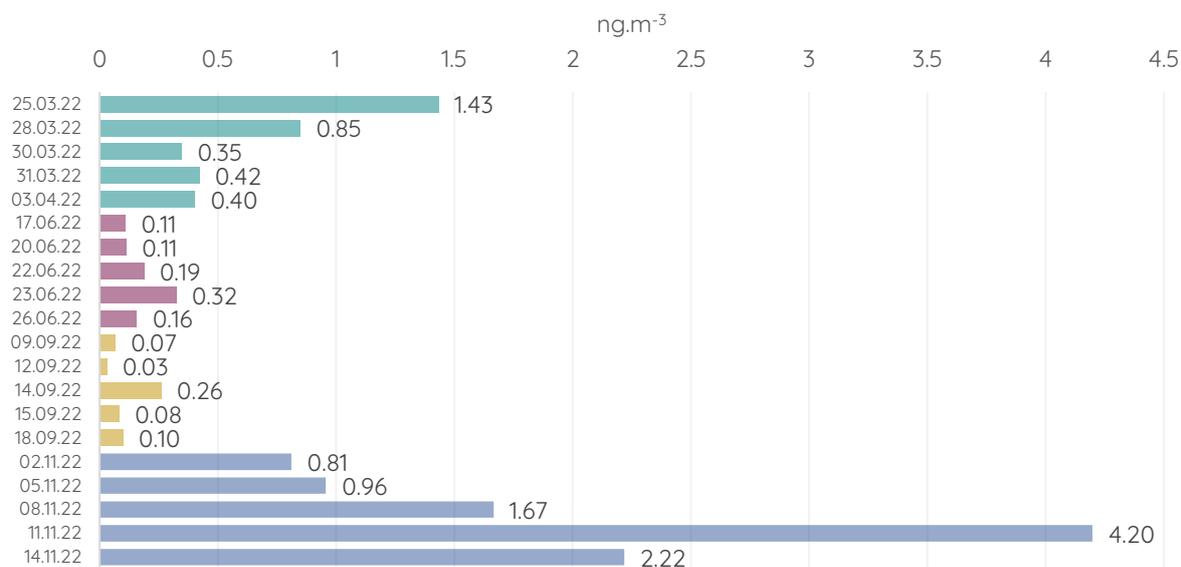


Obrázek 379 - průměrné denní koncentrace BaP v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kníničky.



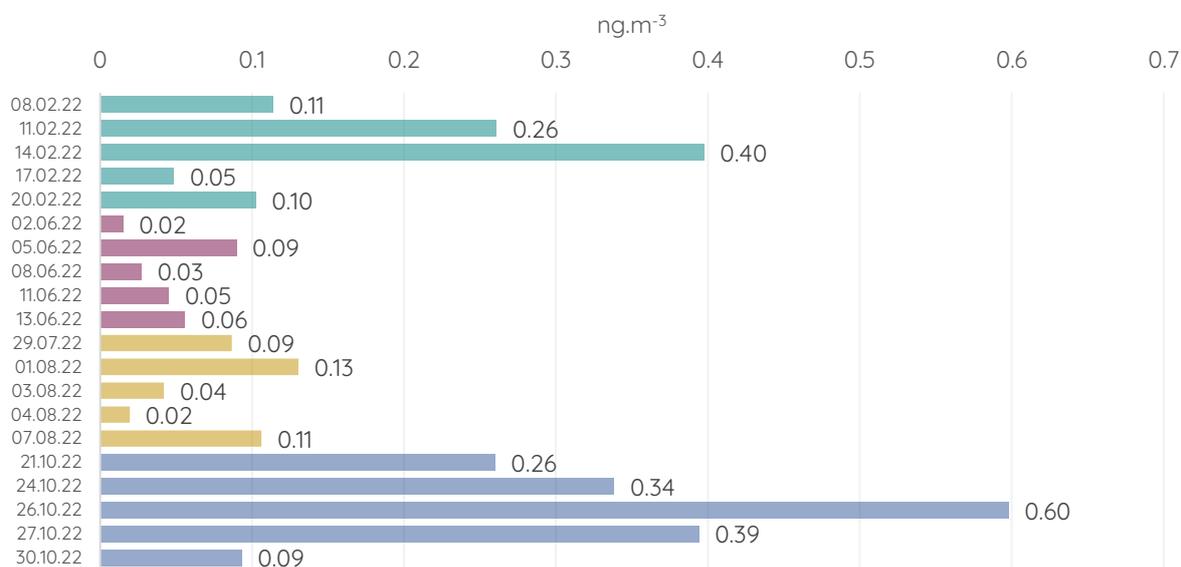
Obrázek 380 - průměrné denní koncentrace BaP v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kohoutovice.

## KOM

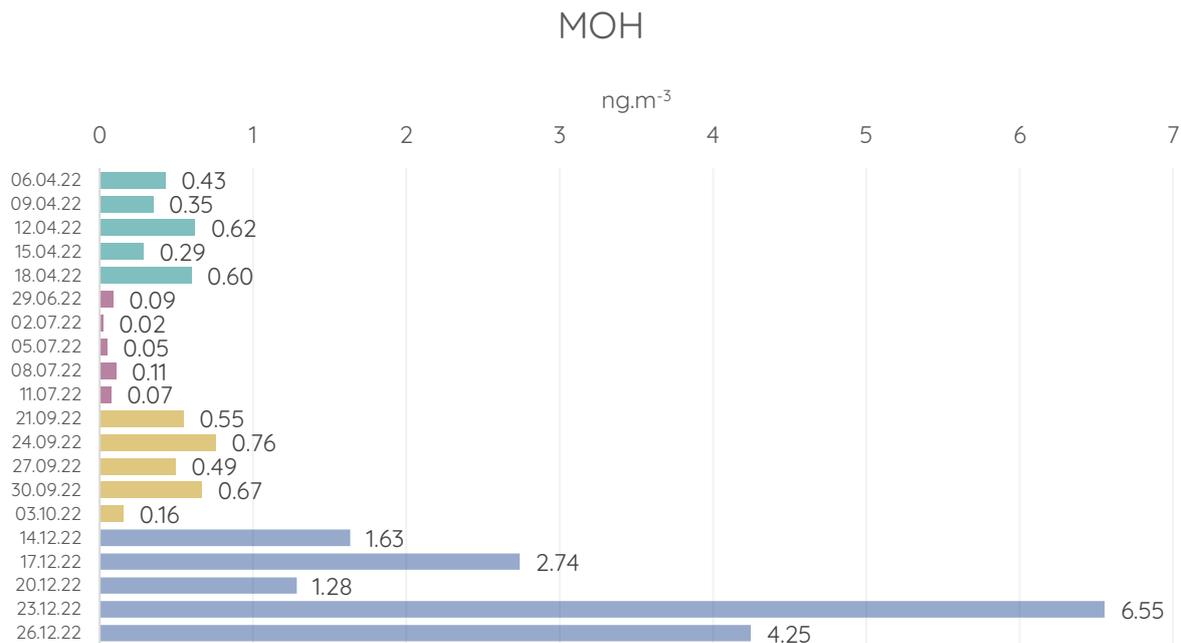


Obrázek 381 - průměrné denní koncentrace BaP v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Komín.

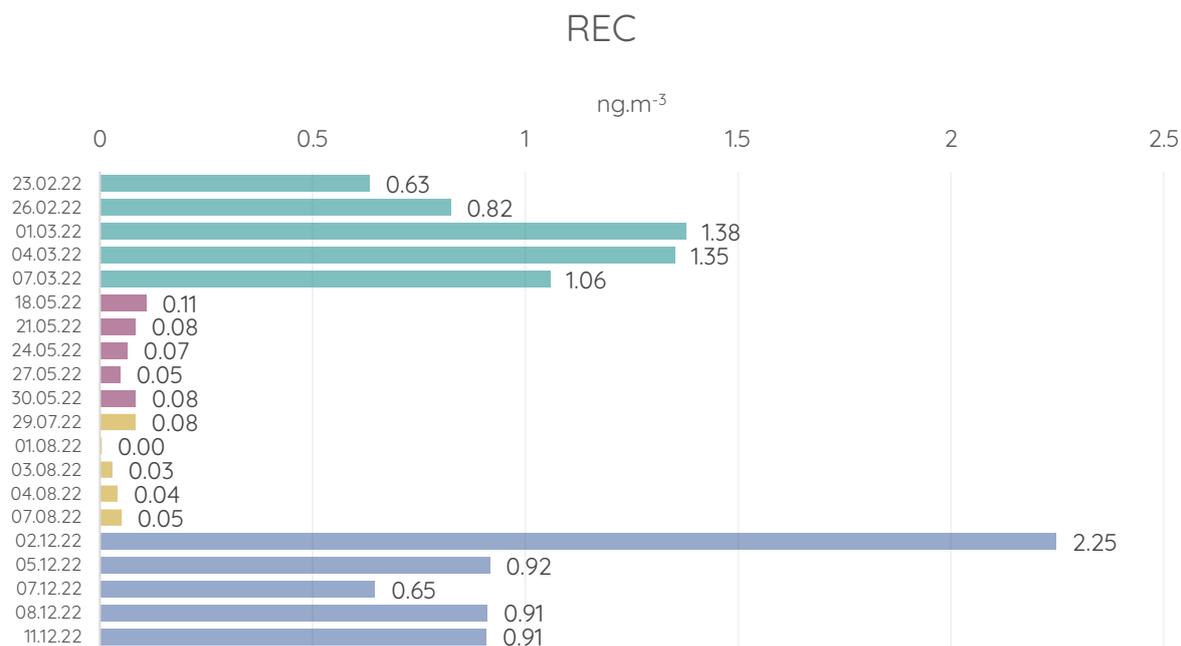
## LIS



Obrázek 382 - průměrné denní koncentrace BaP v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Líšeň.

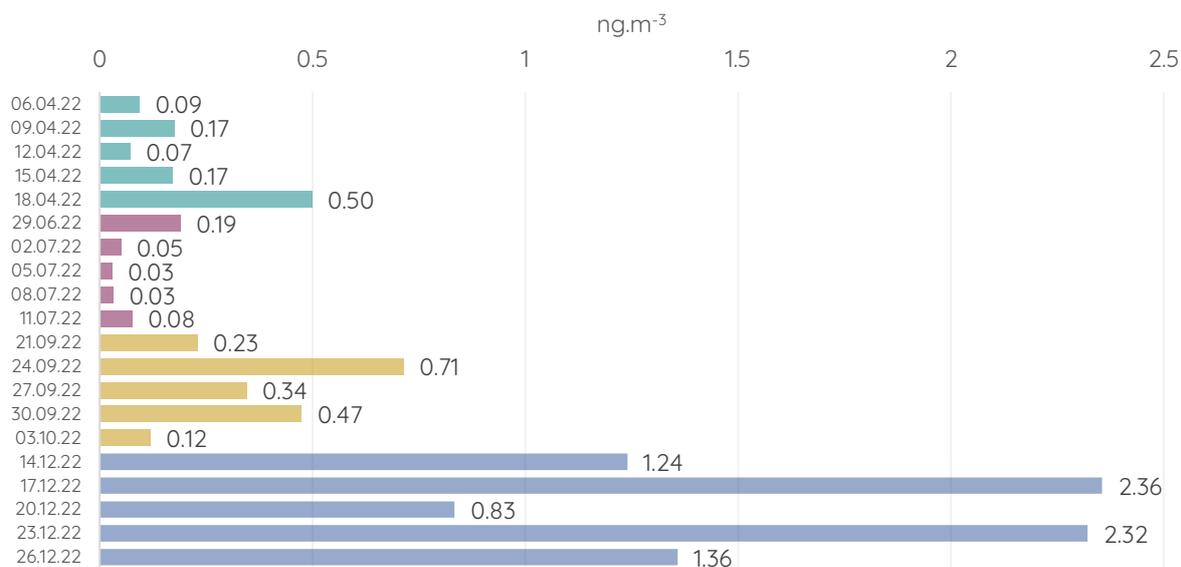


Obrázek 383 - průměrné denní koncentrace BaP v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Mokrá Hora.



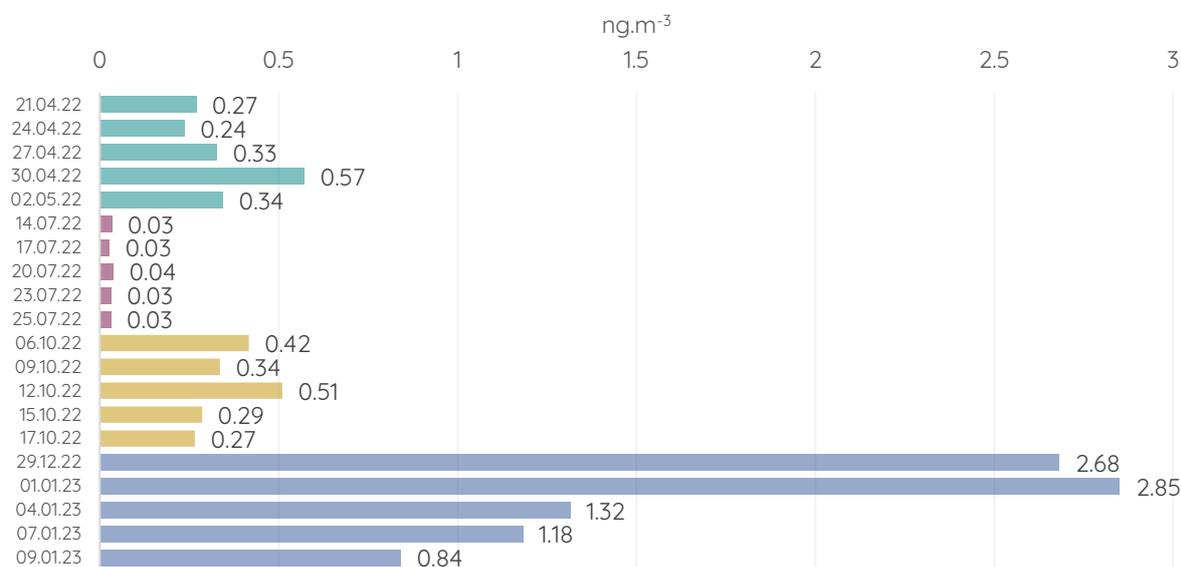
Obrázek 384 - průměrné denní koncentrace BaP v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Řečkovice.

## STY



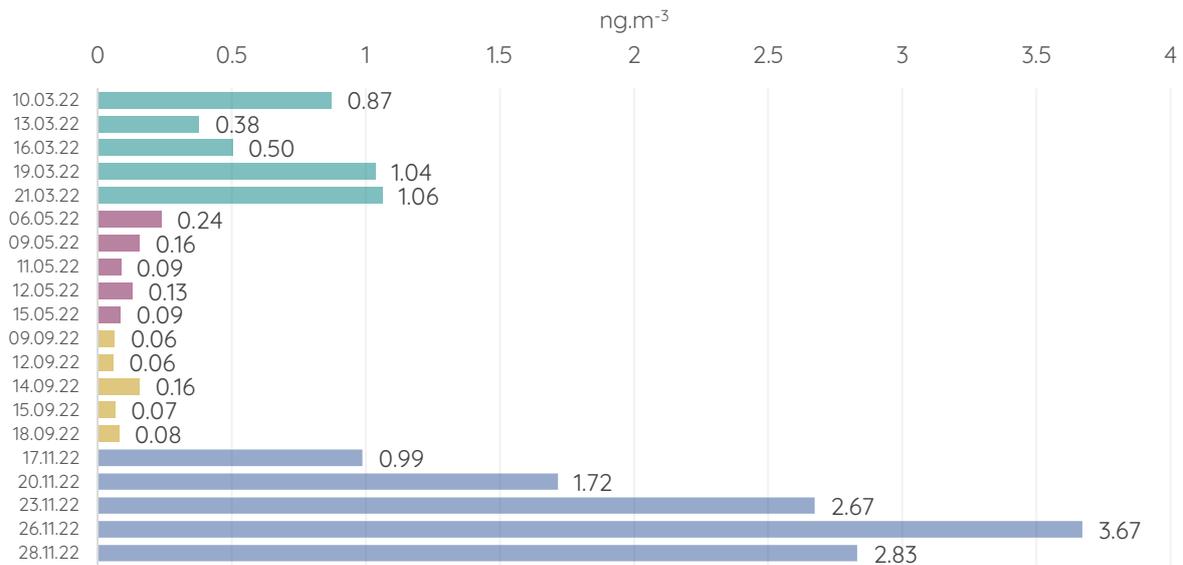
Obrázek 385 - průměrné denní koncentrace BaP v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Štýřice.

## TUR



Obrázek 386 - průměrné denní koncentrace BaP v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Tuřany.

## ZID

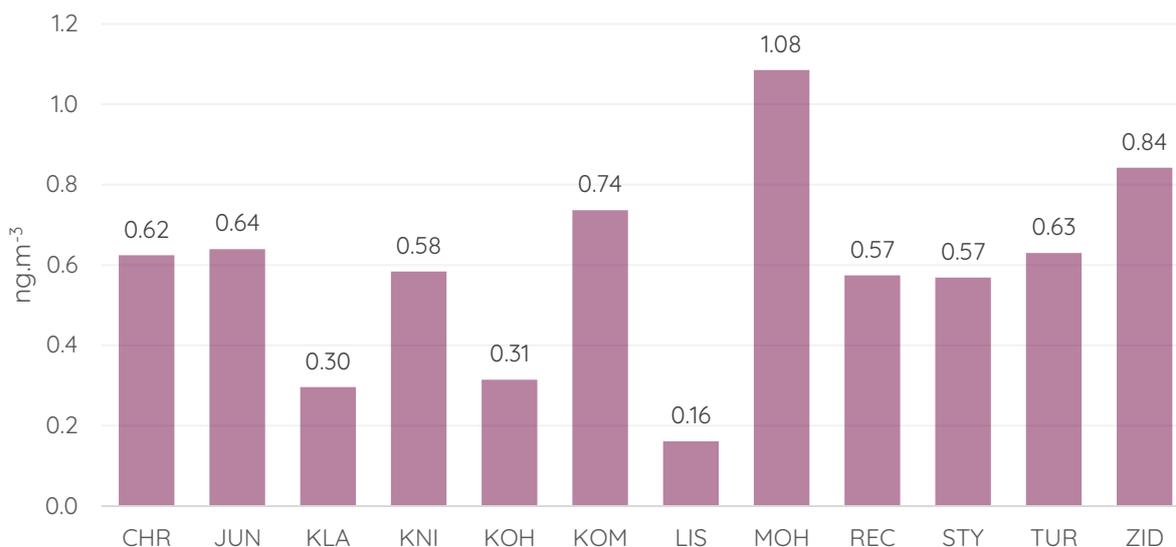


Obrázek 387 - průměrné denní koncentrace BaP v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Židenice.

V případě všech monitorovaných lokalit je dobře patrný velmi výrazný typický roční chod koncentrací BaP, s minimy v nejchladnější a maximy v nejteplejší části roku. Nejvyšší koncentrace byly obecně pozorovány během zimní kampaně, v některých případech byly koncentrace vyšší i během jarní kampaně, což souvisí s faktem, že jarní kampaň probíhala na některých lokalitách ještě v zimním období, popř. v chladnějším období na začátku jara (během topné sezóny).

V absolutních hodnotách byla nejvyšší průměrná denní koncentrace BaP naměřena 23. 12. 2022 v lokalitě Mokrý Hora, konkrétně 6,55 ng.m<sup>-3</sup>. Mokrý Hora představuje okrajovější část Brna, kde se může výrazněji projevit vliv lokálního vytápění než například v centru Brna (více lokálních topenišť a kotlů na pevná paliva). Obecně v letní kampani byly koncentrace BaP v naprosté většině případů velmi nízké.

Následující sloupcový graf ukazuje průměrné koncentrace BaP ze všech lokalit za všechny měřící kampaně.



Obrázek 388 - průměrné koncentrace BaP v jednotlivých lokalitách, vypočítané ze všech 20 vzorků odebraných v jednotlivých lokalitách.

Výše uvedený graf ukazuje, že v průměru byly nejvyšší průměrné koncentrace BaP v lokalitě Mokrá Hora. Jak bylo popsáno v předchozím textu, v této lokalitě se pravděpodobně projevuje více vliv lokálních topenišť (kromě vyšších koncentrací BaP o tom svědčí i oproti ostatním lokalitám vyšší koncentrace arzenů).

Naopak nejnižší byly koncentrace BaP v lokalitě Líšeň. V tomto případě se jedná o lokalitu na vyvýšeném a dobře provětrávaném místě, navíc se jedná o čtvrť s vysokým podílem panelových budov a obecně budov s centrálním vytápěním. Pravděpodobně se zde tedy lokální topeniště projevují výrazně méně.

Právě v Líšni se nachází jedna ze dvou stanic SSIM, které na území Brna dlouhodobě monitorují průměrné koncentrace BaP. Kromě stanice v Líšni je BaP v Brně sledován ještě v lokalitě Masná, blízko centra města. V dlouhodobém pohledu jsou na obou brněnských stanicích koncentrace BaP podlimitní.

Imisní limit pro BaP je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven pro roční průměr a má hodnotu 1 ng.m<sup>-3</sup>. Celková průměrná koncentrace v lokalitě Mokrá hora je o 8 % vyšší (1,08 ng.m<sup>-3</sup>). Zda je však v této lokalitě překračován imisní limit je komplikované posoudit. Rozdíl není výrazný a monitoring neprobíhal po celý rok, proto hodnotu 1,08 ve srovnání s imisním limitem nelze považovat za reprezentativní.

Průměrná roční koncentrace BaP v Líšni za rok 2022 činí 0,4 ng.m<sup>-3</sup>. Stejně jako v případě jiných znečišťujících látek, byl i v tomto případě vypočítán průměrný rozdíl mezi

koncentracemi BaP v lokalitách monitorovaných v rámci této kampaně a koncentrací ze stanice Brno-Líšeň v rámci SSIM. Do průměru byly započítány pro jednotlivé lokality dny, kdy probíhalo vzorkování paralelně v dané lokalitě i na stanici Brno-Líšeň. Tato metoda umožňuje učinit odhad roční průměrné koncentrace BaP v dané lokalitě.

Sloupcový graf níže ukazuje průměrný rozdíl koncentrace BaP v dané lokalitě oproti stanici Brno-Líšeň, vypočítaný ze všech paralelních vzorkování ve stejný den v rámci celého projektového monitoringu (monitoring v lokalitě Brno-Líšeň probíhá v režimu 1d/3d, tedy denní průměr z každého třetího dne).

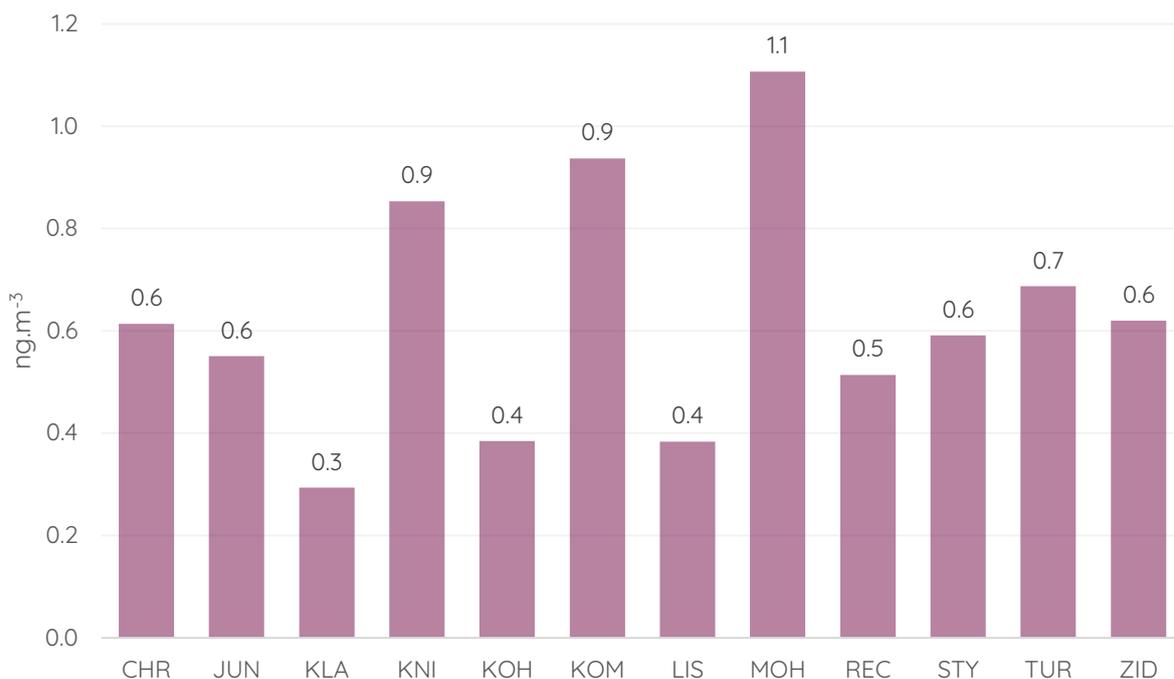


Obrázek 389 – průměrný rozdíl koncentrace BaP v dané lokalitě oproti průměru ze stanice SSIM Brno-Líšeň, vypočítaný ze všech dní, kdy se v dané lokalitě vzorkovalo paralelně se vzorkováním v Brně-Lišni.

Jedinou lokalitou se zápornou odchylkou je lokalita Klajdovka. Tato lokalita je velmi blízko měřicí stanice Brno-Líšeň, leží však ještě více směrem od Brna a výše. Nižší koncentrace zde tedy může být dána velmi podobnou skladbou zdrojů v okolí a zároveň lepším provětráváním.

Ve srovnání s lokalitou Líšeň je rozdíl v průměru 0 – to svědčí o velmi dobré shodě a dobré metrologické návaznosti.

Pokud výše uvedený rozdíl připočteme k průměrné roční koncentraci BaP v Brně-Lišni v roce 2022 (0,4 ng.m<sup>-3</sup>), získáme orientační odhad průměrné roční koncentrace BaP v dané lokalitě.



Obrázek 390 – odhad průměrné roční koncentrace BaP v jednotlivých lokalitách, vypočítaný na základě provedených vzorkování a srovnání s referenčními hodnotami ze stanice Brno-Líšeň.

## BTXE

### Benzen



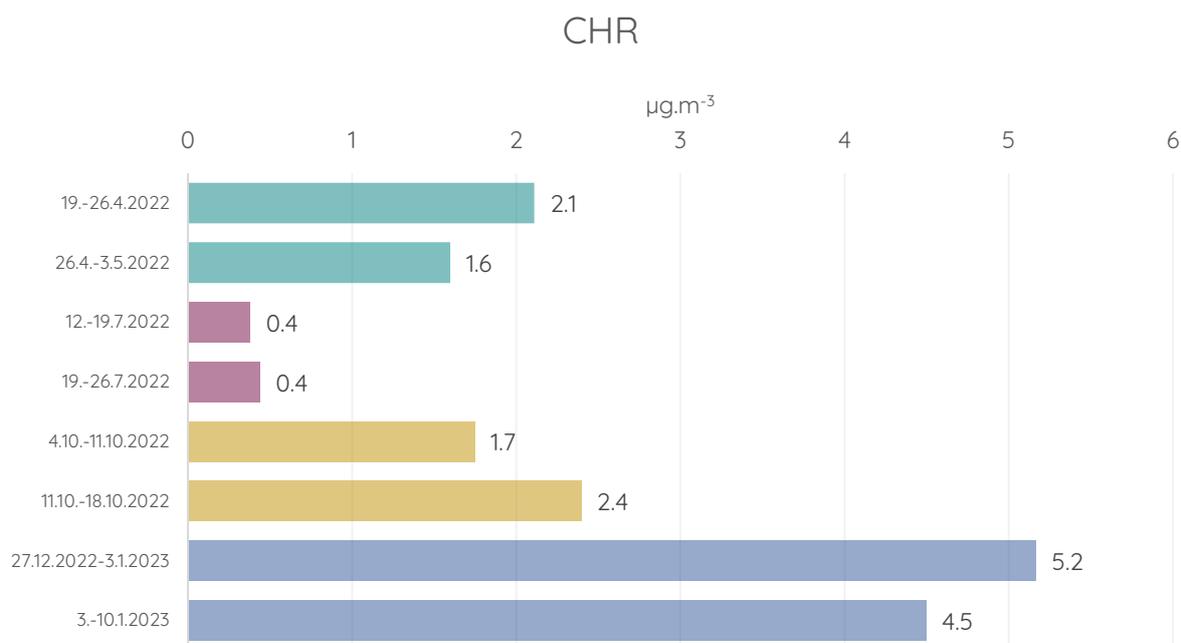
Za pokojové teploty se jedná v případě tohoto aromatického uhlovodíku o bezbarvou, hořlavou a toxickou kapalinu charakteristickou svým sladkým zápachem. Řadí se do skupiny těkavých organických látek (VOC – volatile organic compound). U této látky byl prokázán karcinogenní účinek na člověka – může způsobit leukémii a další vážné hematologické choroby (Aksoy, 1985).

V průmyslu je benzen hojně využíván jako rozpouštědlo, taktéž slouží jako výchozí látka pro syntézu mnohých složitějších chemických sloučenin (léčiv, plastů, výbušnin atp.). Benzen je složkou cigaretového kouře a taktéž surové ropy, ze které se získává.

Data ukazují, že obsah benzenu v benzínu je kolem 1,5 %, zatímco paliva dieselových motorů obsahují jeho relativně zanedbatelné koncentrace. Benzen obsažený ve

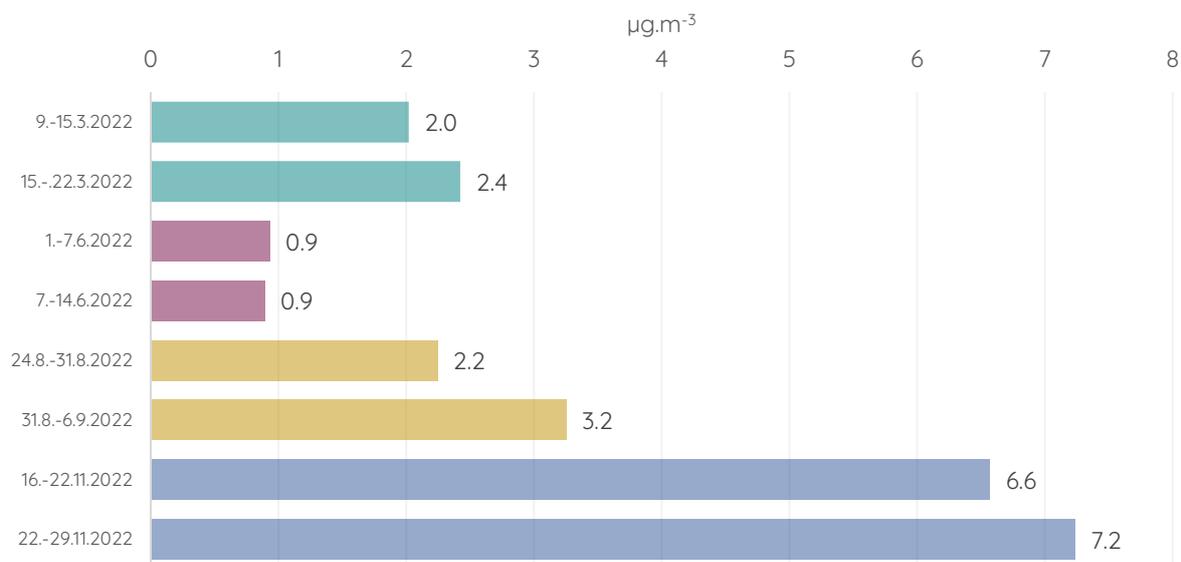
výfukových plynech je především nespálený benzen z paliva. Dalším příspěvkem emisí benzenu z výfukových plynů je benzen vzniklý z nebenzenových aromatických uhlovodíků obsažených v palivu (70–80 % benzenu v emisích). Částečně je benzen ve výfukových plynech tvořen také z nearomatických uhlovodíků. Významným zdrojem benzenu jsou tedy emise z dopravních prostředků a vypařování paliva během manipulace, distribuce a skladování, ale obecně se mezi zdroje zařazuje nedokonalé spalování. Pro benzen platí dle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb. imisní limit pro ochranu zdraví – roční imisní limit má hodnotu  $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Benzen byl v rámci tohoto projektu monitorován v týdenním průměru. V každém ročním období tedy v rámci dvoutýdenního monitoringu jsou k dispozici dva týdenní průměry. Sloupcové grafy níže ukazují průměrné týdenní průměry benzenu v jednotlivé kampaně rozlišené barevně.



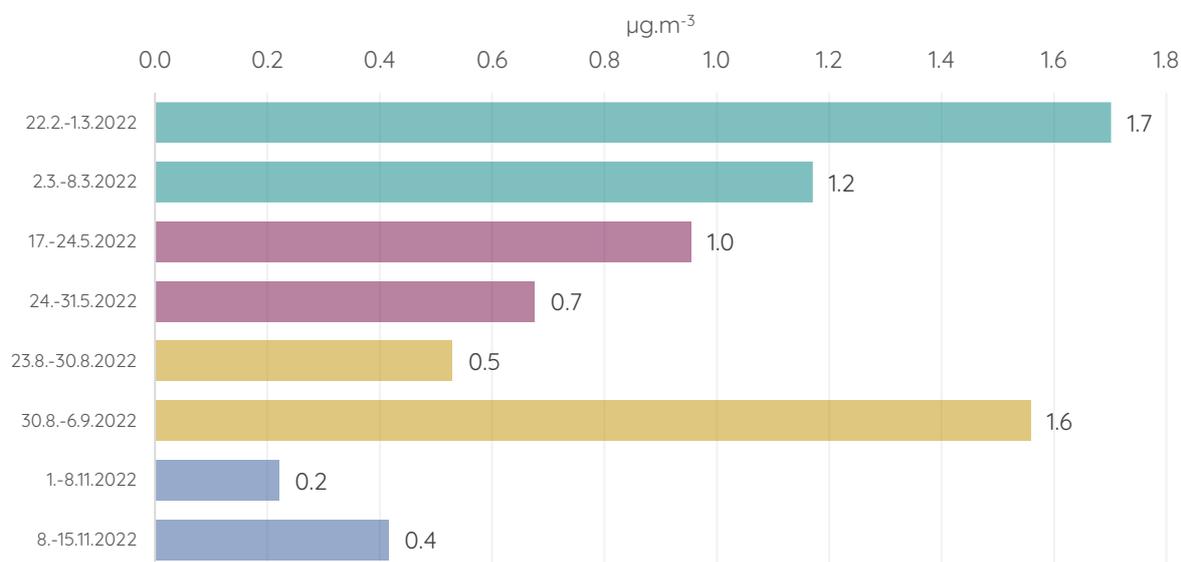
Obrázek 391 - průměrné týdenní koncentrace benzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Chrlice.

## JUN

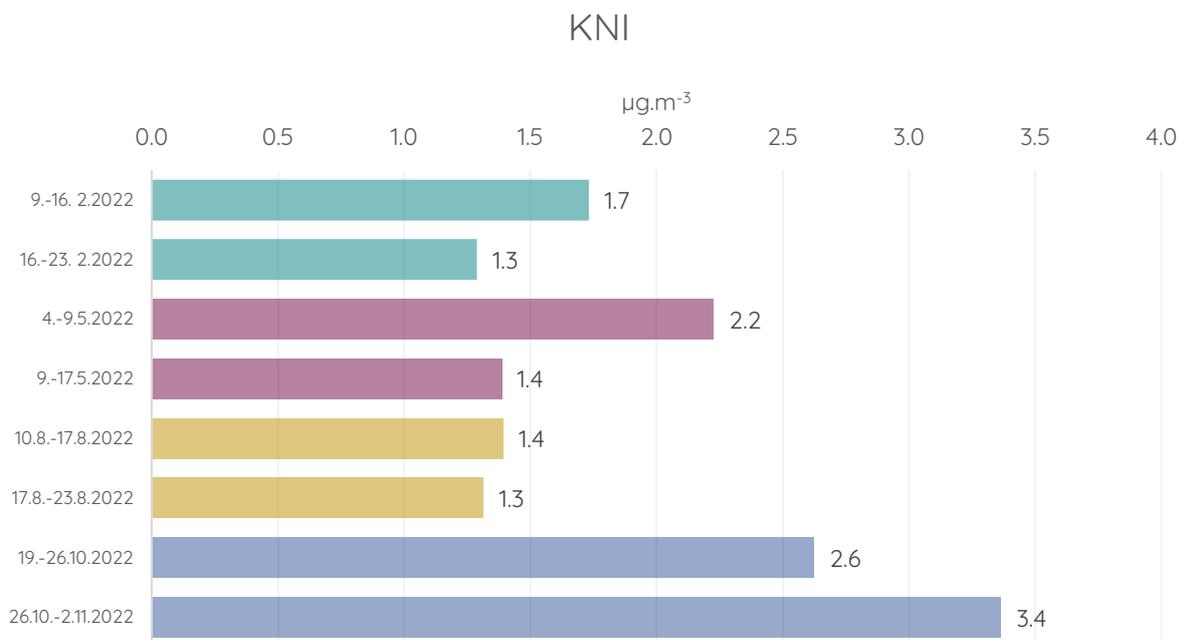


Obrázek 392 - průměrné týdenní koncentrace benzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Jundrov.

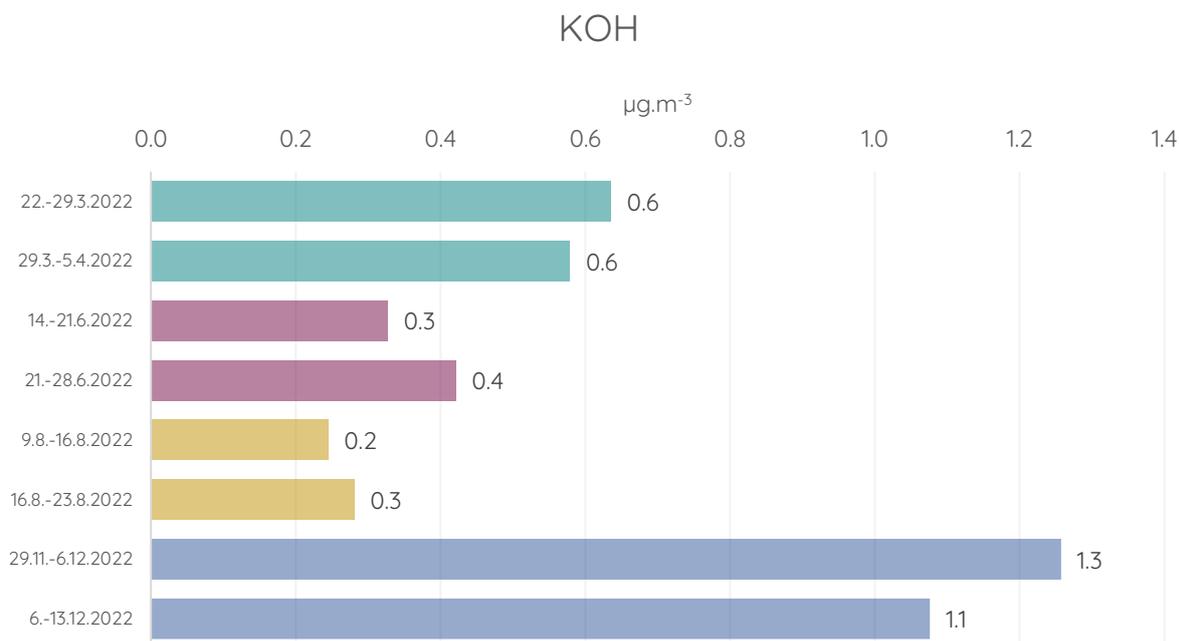
## KLA



Obrázek 393 - průměrné týdenní koncentrace benzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Klajdovka.

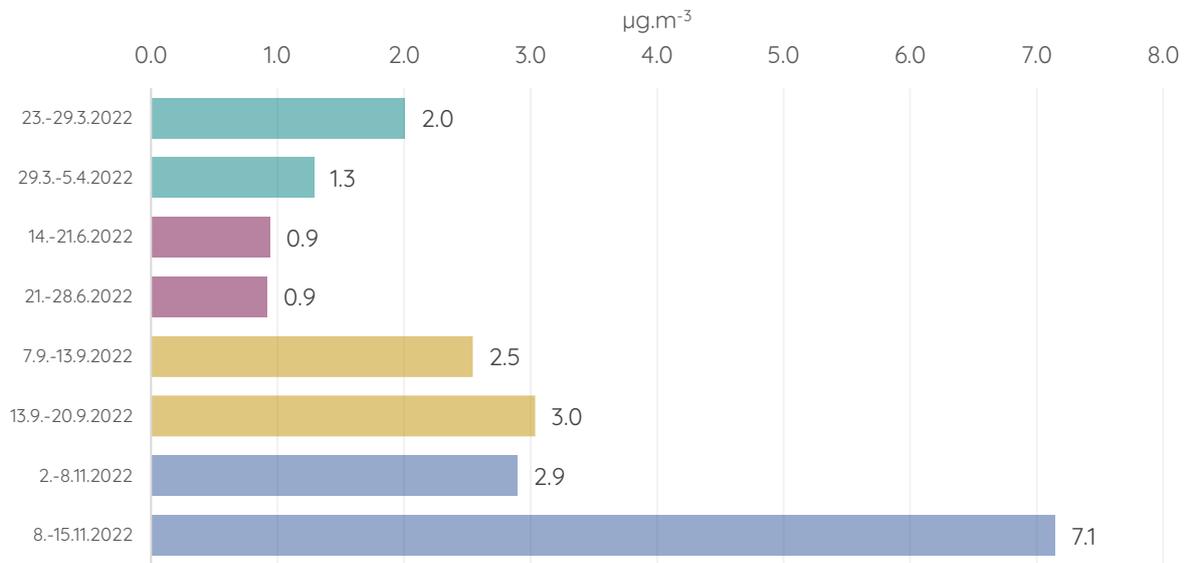


Obrázek 394 - průměrné týdenní koncentrace benzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Knižičky.



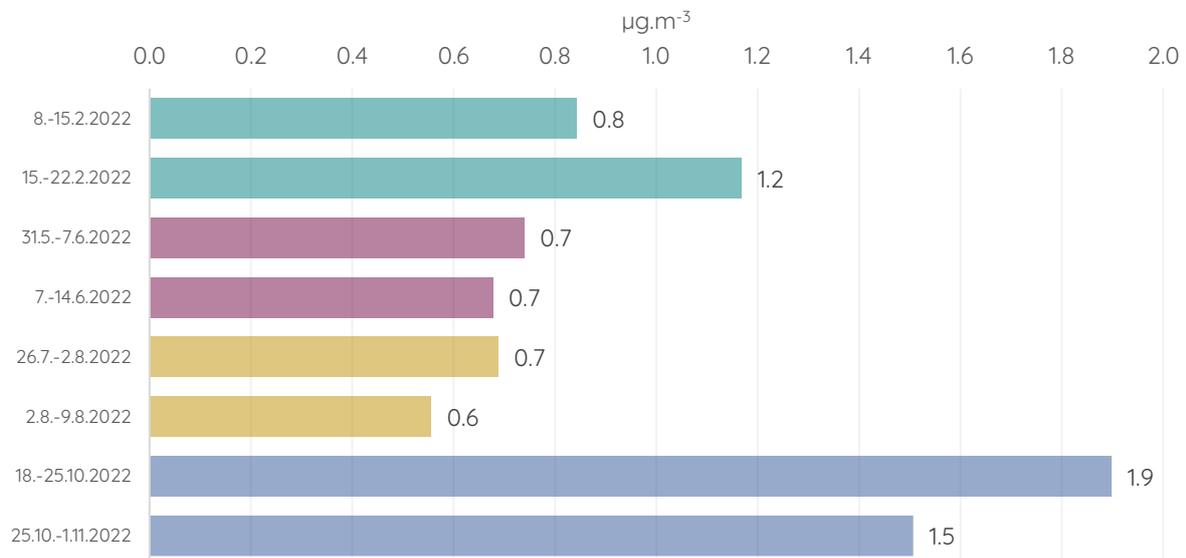
Obrázek 395 - průměrné týdenní koncentrace benzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kohoutovice.

## KOM

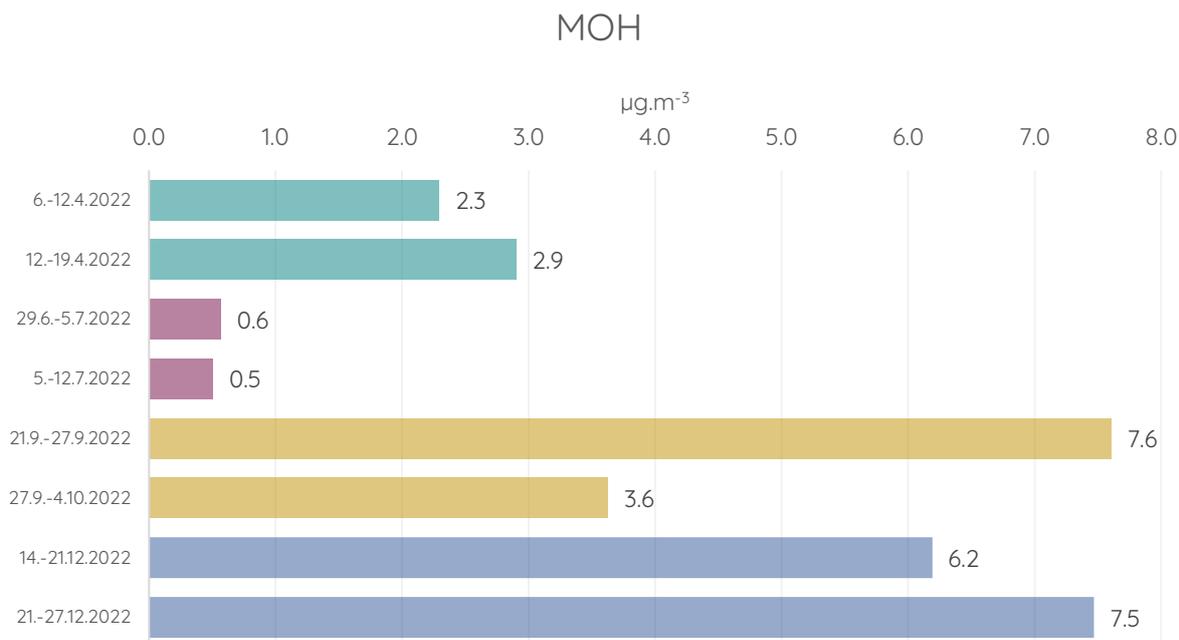


Obrázek 396 - průměrné týdenní koncentrace benzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Komín.

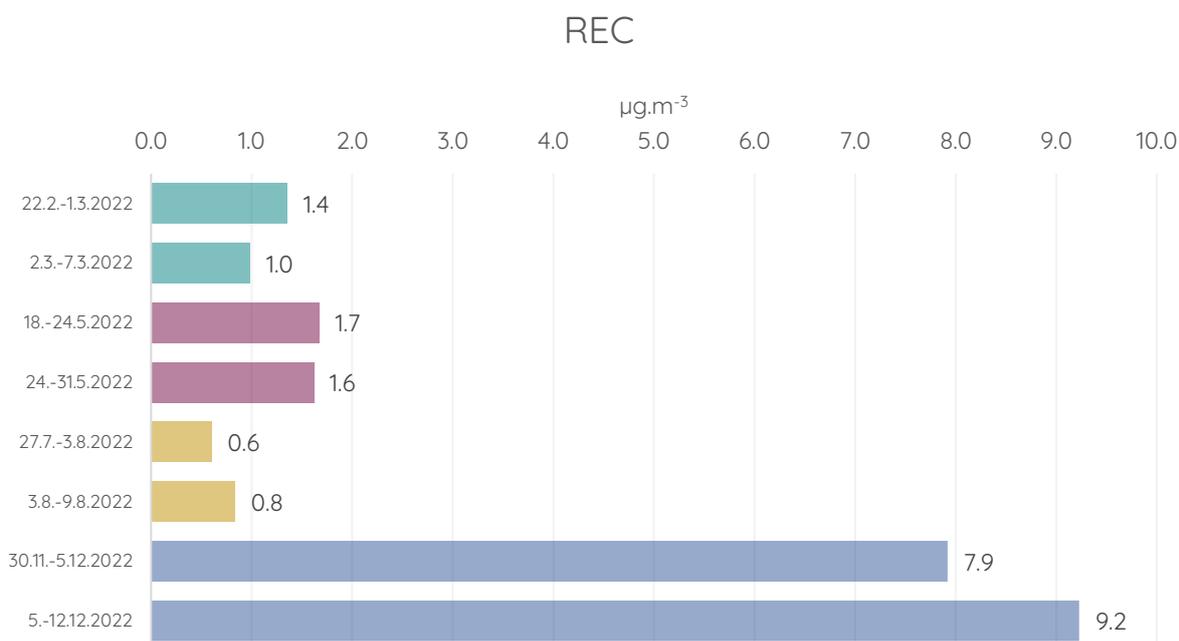
## LIS



Obrázek 397 - průměrné týdenní koncentrace benzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Líšeň.

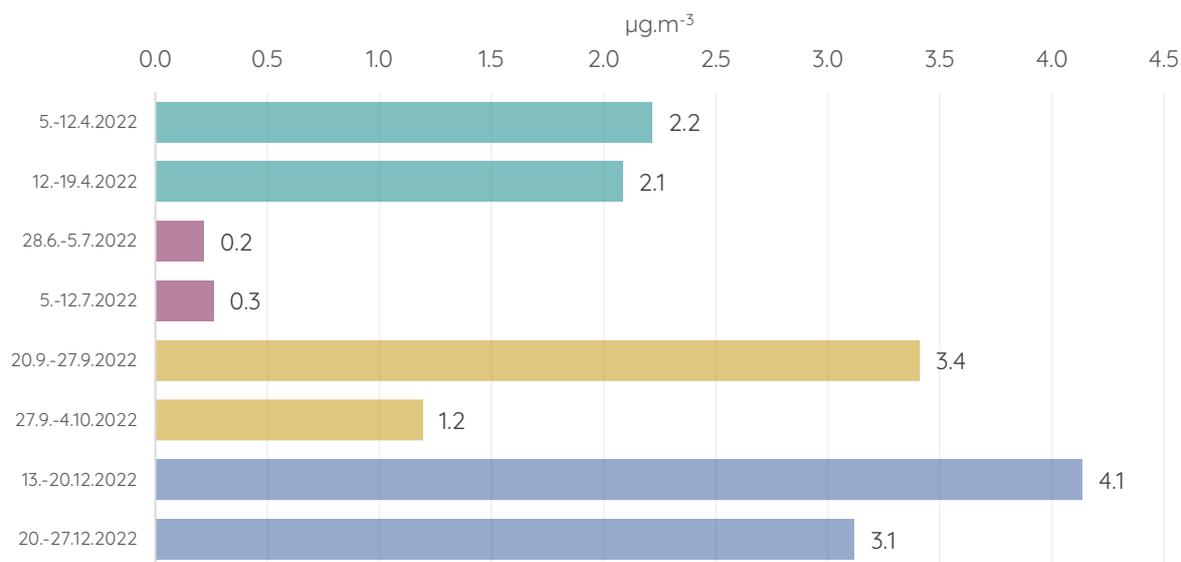


Obrázek 398 - průměrné týdenní koncentrace benzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Mokrá Hora.



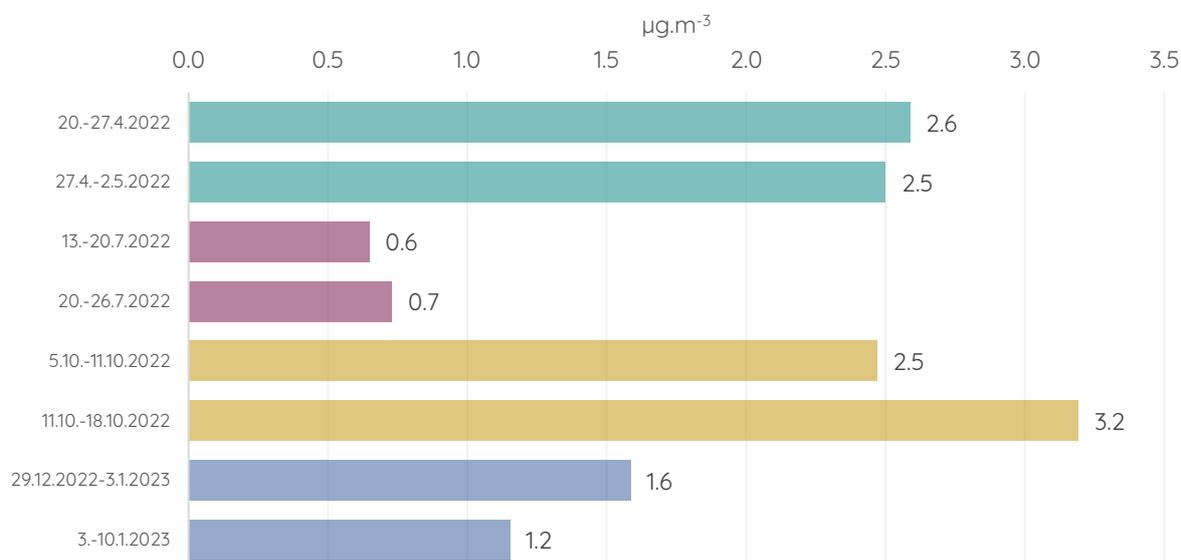
Obrázek 399 - průměrné týdenní koncentrace benzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Řečkovice.

## STY

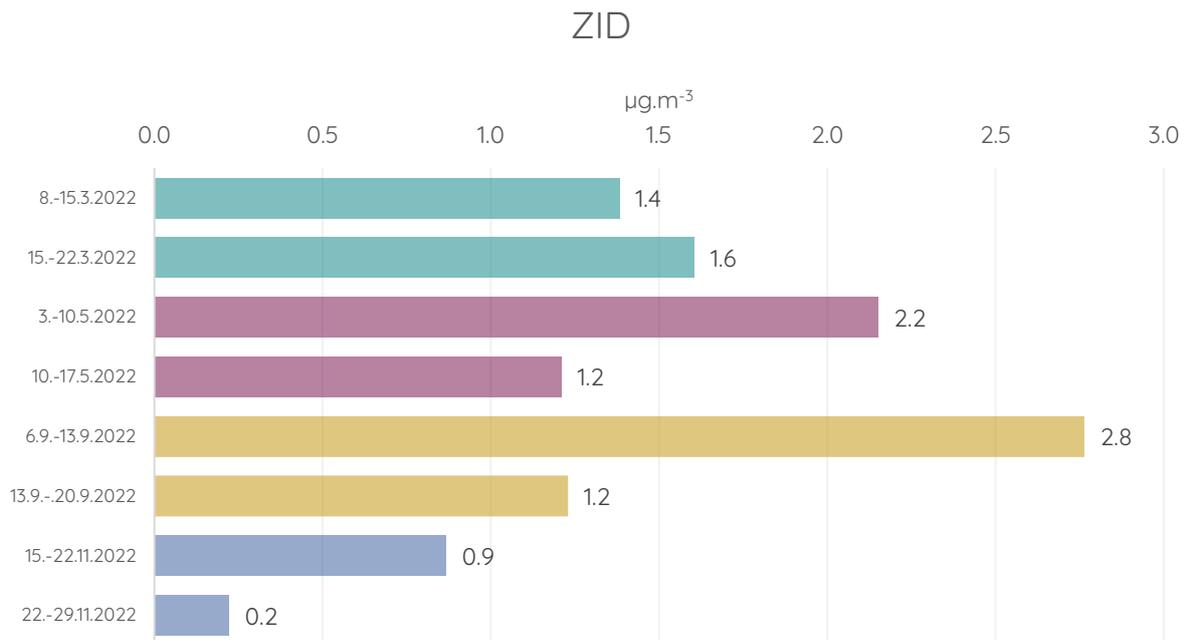


Obrázek 400 - průměrné týdenní koncentrace benzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Štýřice.

## TUR



Obrázek 401 - průměrné týdenní koncentrace benzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Tuřany.



Obrázek 402 - průměrné týdenní koncentrace benzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Židenice.

Z výše grafů je patrné, že v některých lokalitách byly zejména v zimní kampani naměřeny velmi vysoké koncentrace.

Hlavním zdrojem benzenu je na území města Brna doprava. Pokud se podíváme na koncentrace benzenu z dopravně velmi zatížené stanice Brno-Úvoz (hot spot), hodnoty se zde běžně pohybují kolem 2 až 3 µg.m<sup>-3</sup>. Například v lokalitě Řečkovice byly v zimní kampani pozorovány týdenní průměry až více než 9 µg.m<sup>-3</sup>. Vyšší hodnoty byly v některých lokalitách a kampaních naměřeny i u dalších látek vzorkovaných paralelně, například u toluenu nebo xylenů (viz níže). Bohužel na základě dat z tohoto projektu se nepodařilo identifikovat, co mohlo být příčinou takto vysokých koncentrací – mohlo se jednat o nějaký neidentifikovaný, ale velmi významný zdroj, o problém se vzorkováním nebo problém s transportem vzorku a následnou analýzou. Kontrola základních parametrů vzorkování nepotvrdila žádný problém se vzorkováním.

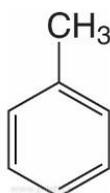
Následující graf ukazuje průměrné koncentrace benzenu za všechny měřicí kampaně pro jednotlivé lokality.



Obrázek 403 – průměrné koncentrace benzenu ze všech měřicích kampaní pro jednotlivé lokality.

Z výše uvedeného grafu je patrné, že nejvyšší byla průměrná koncentrace benzenu v lokalitě Mokrá Hora. Této lokalitě se v tomto směru blíže věnuje závěr kapitoly NO<sub>x</sub>. Nejnižší průměrné koncentrace benzenu byly pozorovány v lokalitě Kohoutovice, která byla odlehlejší lokalitou uprostřed hustší zeleně a lokalitách Klajdovka a Líšeň.

## Toluen



Jedná se o čirou těkavou kapalinu ze skupiny aromatických uhlovodíků, páry této látky jsou těžší nežli vzduch a vzhledem ke své vysoké reaktivitě mohou se vzduchem tvořit výbušnou směs.

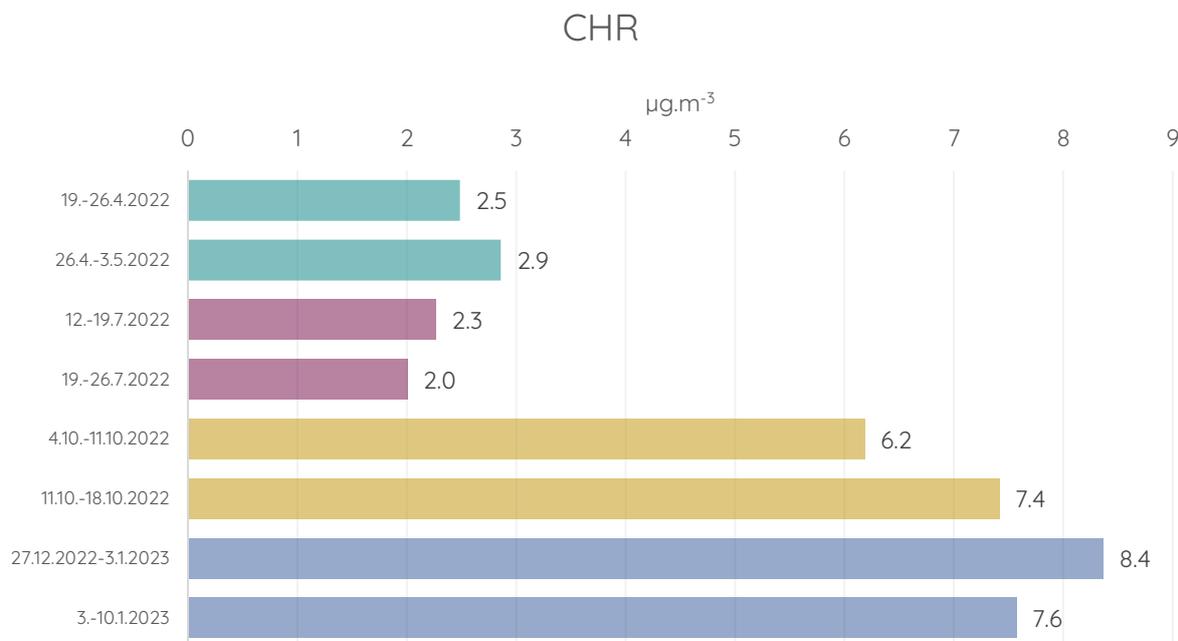
Karcinogenní účinek toluenu na člověka prozatím nebyl prokázán, jedná se ovšem o látku zdraví škodlivou – dráždí dýchací cesty a oči, utlumuje kardiovaskulární a centrální nervový systém. Pro své narkotické účinky je často zneužíván narkomany, kteří inhalují jeho těkavé páry, přičemž jeho pravidelné užívání může vést až ke vzniku demence (Filley et al., 2004).

Toluen je hojně používán jako průmyslové rozpouštědlo, a tak jej najdeme v barvách a nátěrech, lepidlech, syntetických vůních, čisticích prostředcích apod., používá se též při výrobě léčiv a polymerů. Dále je používán ve směsích s benzenem a xylenem jako příměs

pro zvyšování oktanového čísla automobilových benzinů. Do životního prostředí se tedy toluen může dostat z benzínu – uvolňuje se během jeho výroby, transportu a spalování. Vzniká taktéž při výrobě styrenu, koksu a jiných chemikálií. Uvolňuje se při používání a zneškodňování průmyslových i domácích produktů obsahujících toluen, jako jsou zmiňované nátěry, laky, lepidla, ředidla či pryskyřice. Do prostředí se toluen může dostat také ze skládek odpadů. Zdrojem toluenu je taktéž cigaretový kouř. (EPAa, 2016).

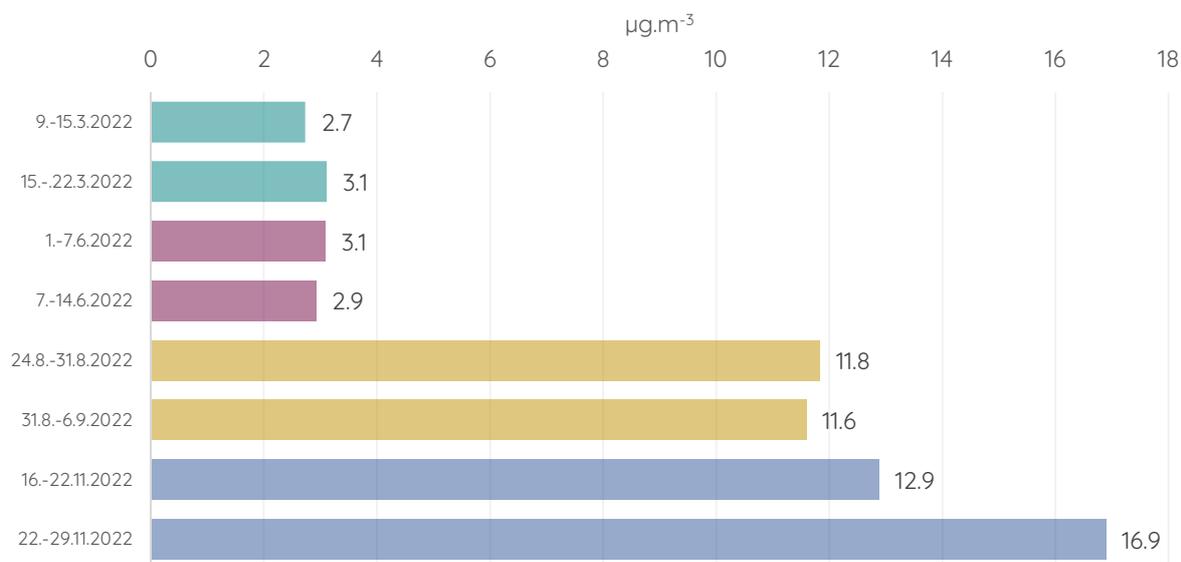
Zákon o ochraně ovzduší pro toluen neurčuje imisní limit.

Toluen byl v rámci tohoto projektu monitorován v týdenním průměru. V každém ročním období tedy v rámci dvoutýdenního monitoringu jsou k dispozici dva týdenní průměry. Sloupcové grafy níže ukazují průměrné týdenní průměry toluenu v jednotlivé kampaně rozlišené barevně.



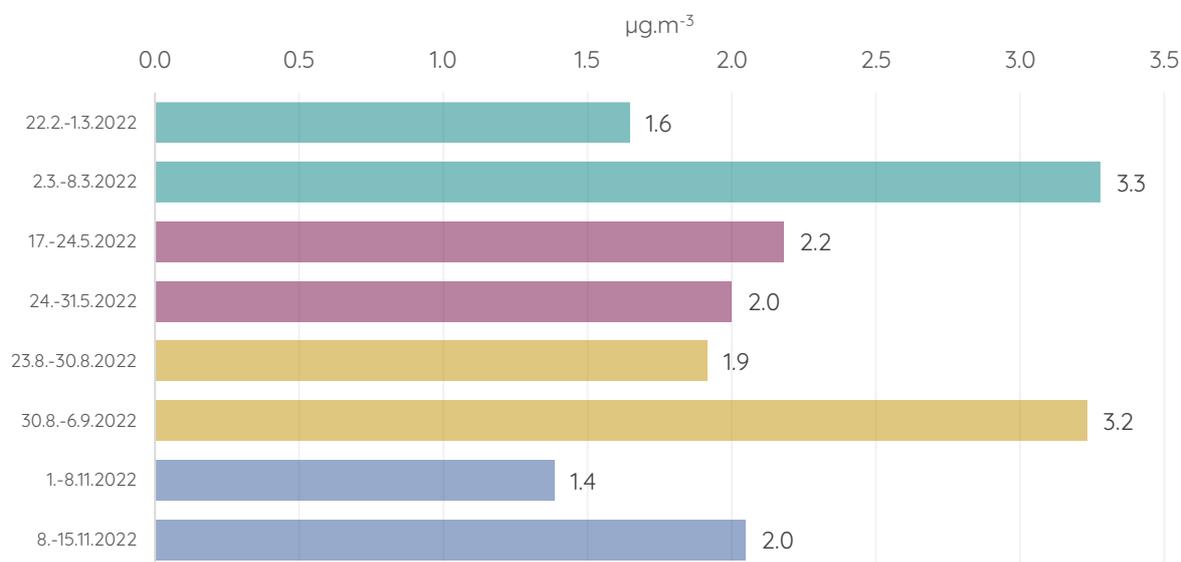
Obrázek 404 - průměrné týdenní koncentrace toluenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Chrlice.

## JUN

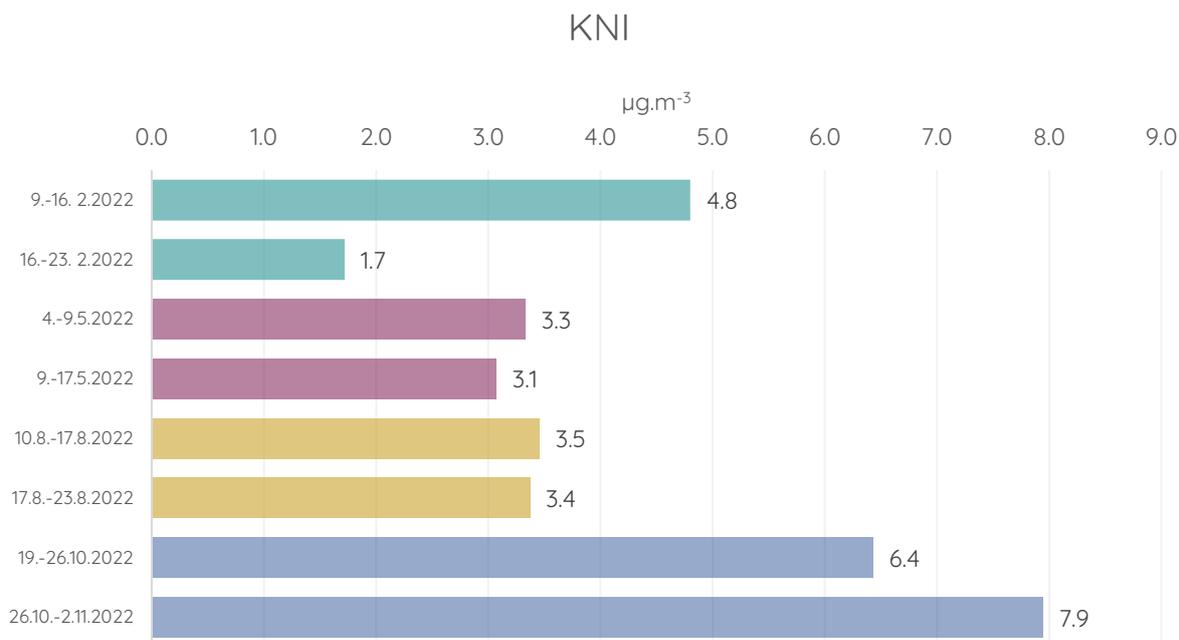


Obrázek 405 - průměrné týdenní koncentrace toluenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Jundrov.

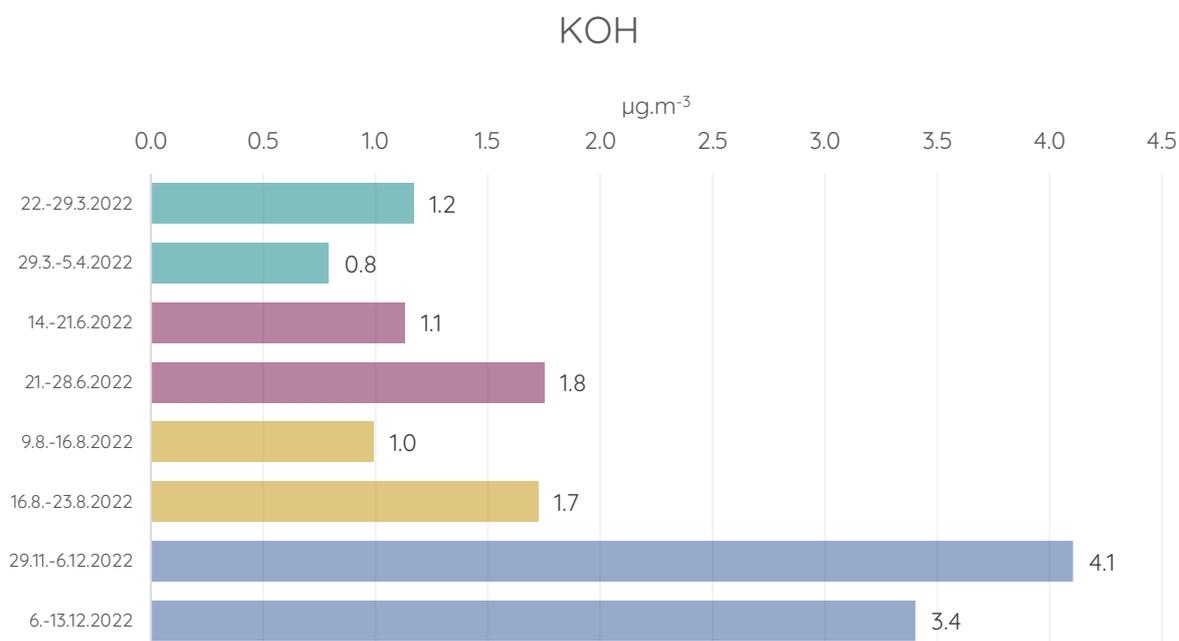
## KLA



Obrázek 406 - průměrné týdenní koncentrace toluenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Klajdovka.

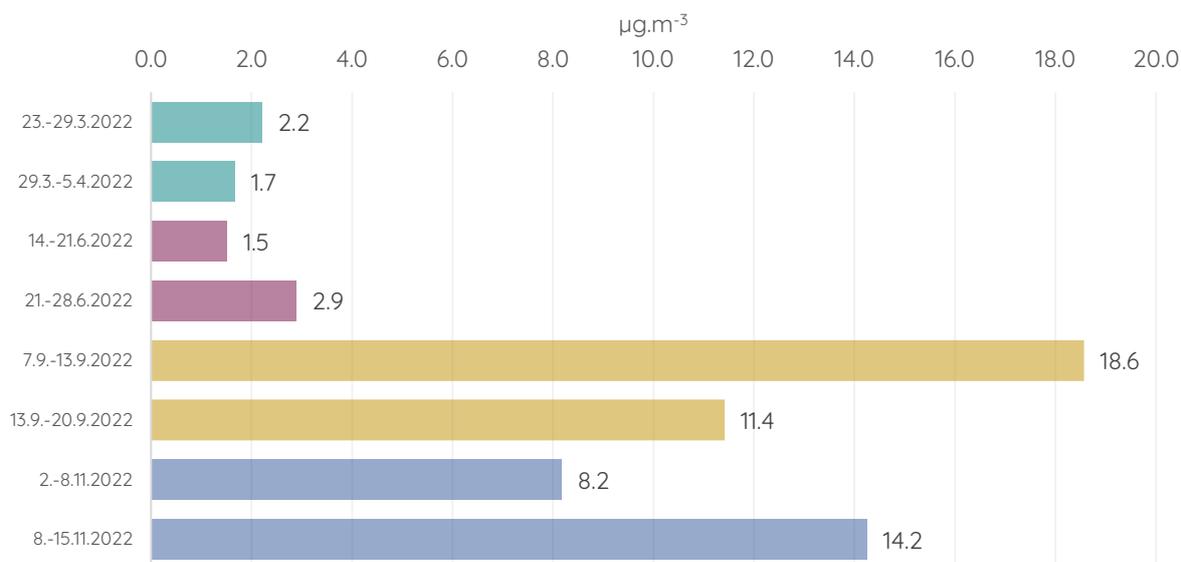


Obrázek 407 - průměrné týdenní koncentrace toluenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Knižičky.



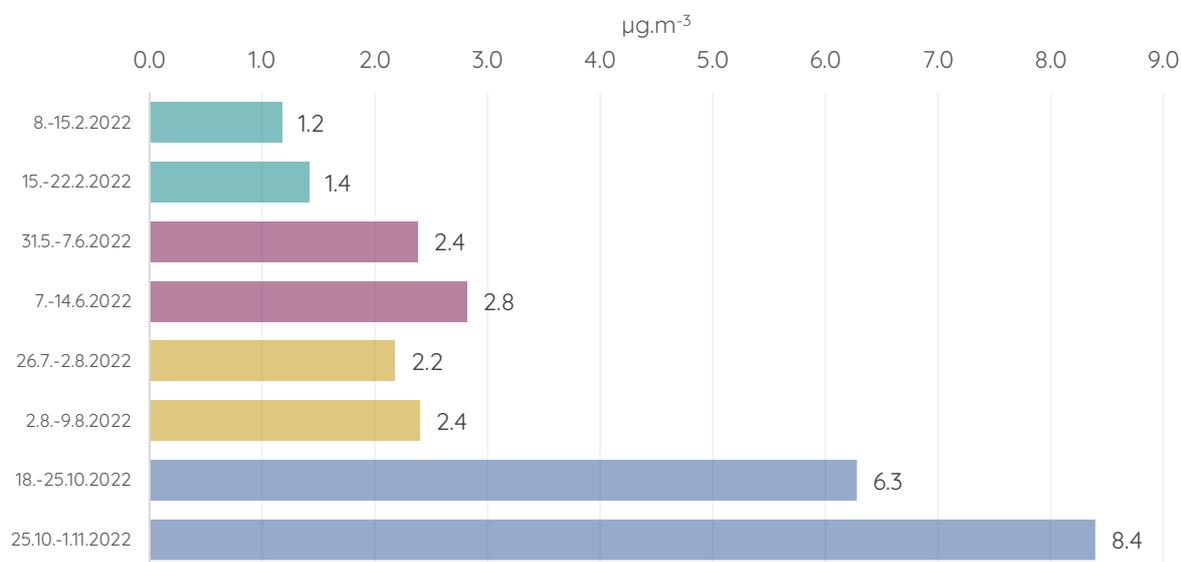
Obrázek 408 - průměrné týdenní koncentrace toluenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kohoutovice.

## KOM



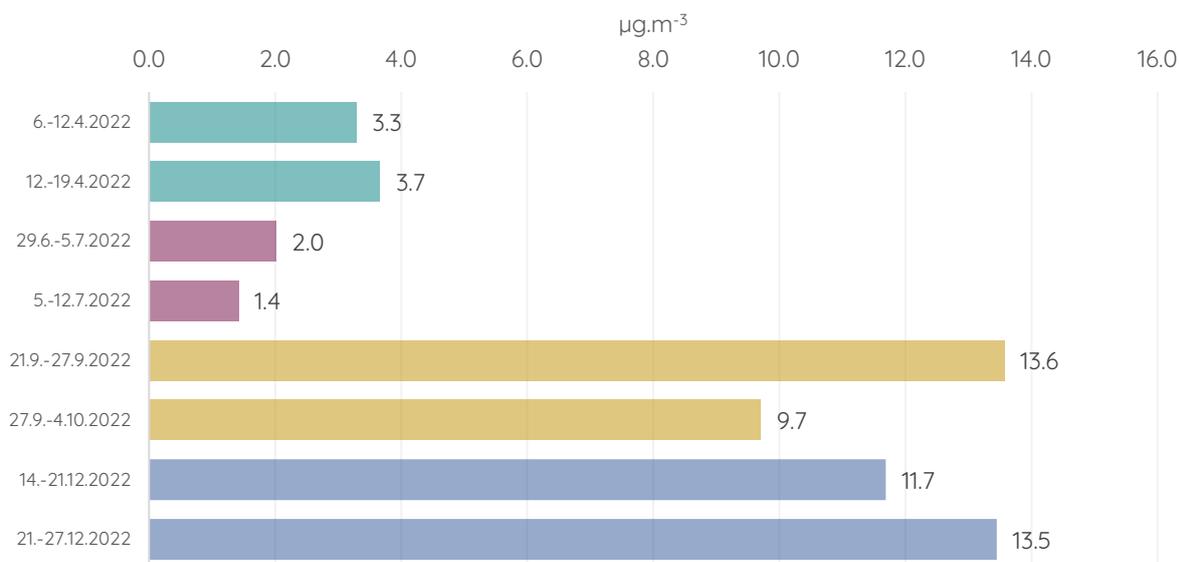
Obrázek 409 - průměrné týdenní koncentrace toluenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Komín.

## LIS



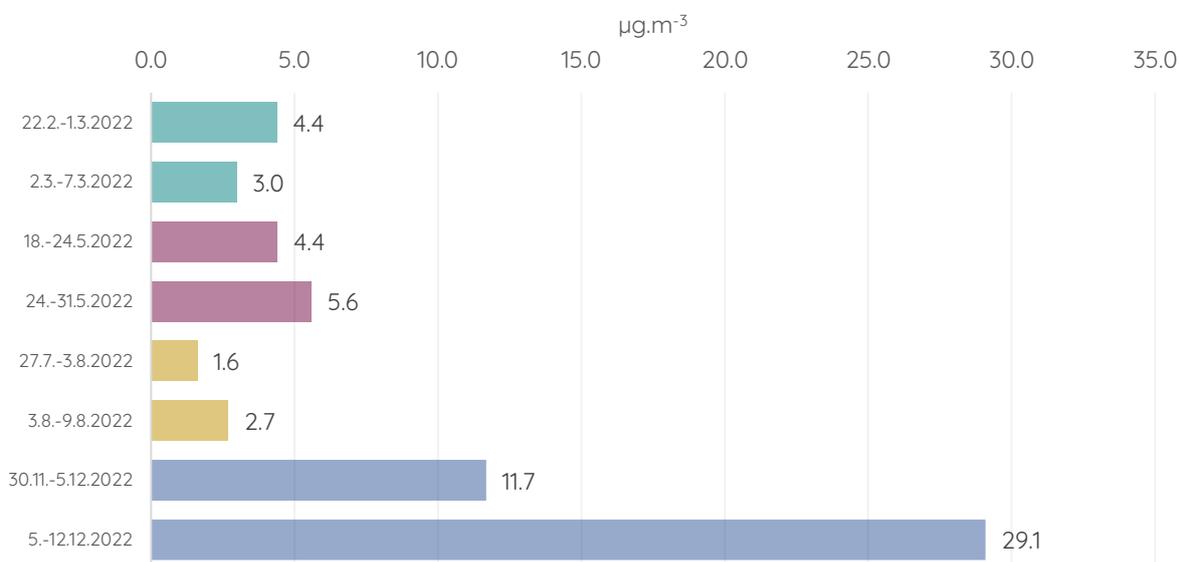
Obrázek 410 - průměrné týdenní koncentrace toluenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Líšeň.

## MOH



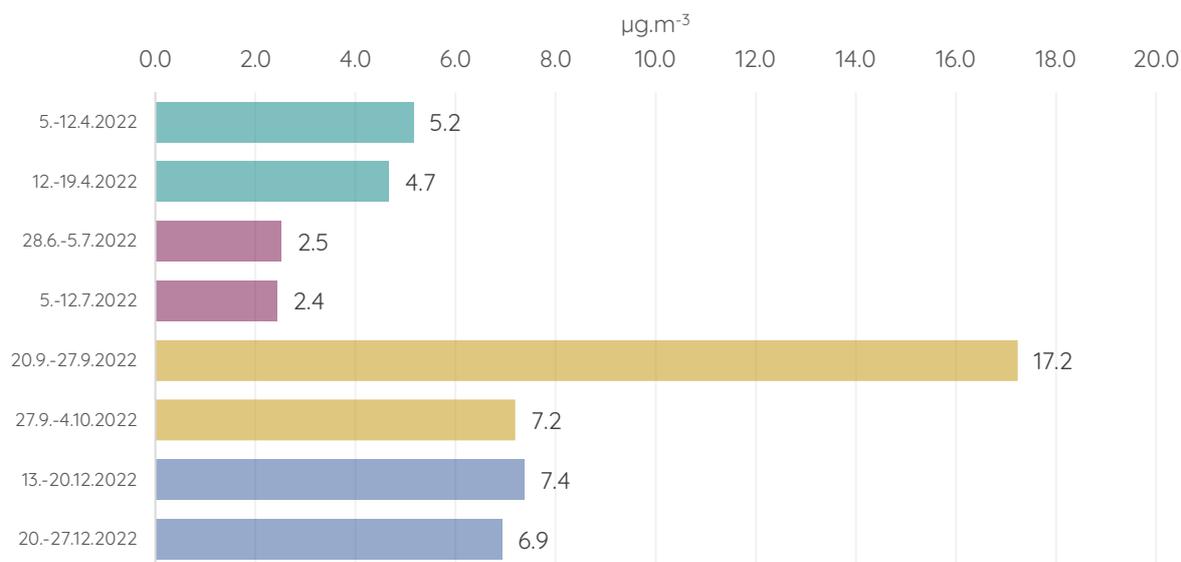
Obrázek 411 - průměrné týdenní koncentrace toluenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Mokrá Hora.

## REC



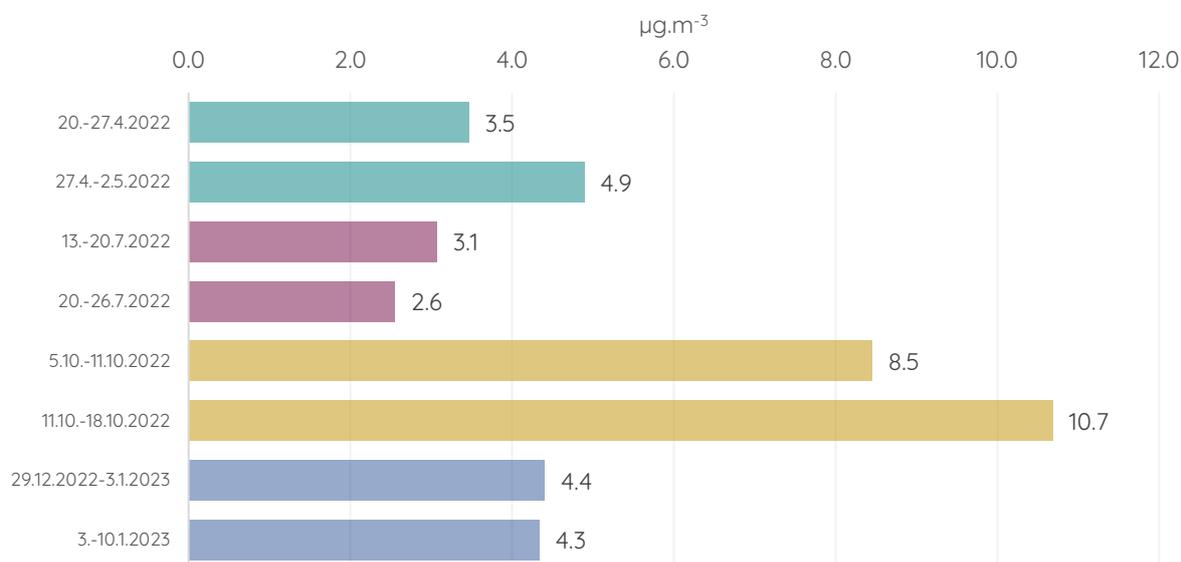
Obrázek 412 - průměrné týdenní koncentrace toluenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Řečkovice.

## STY



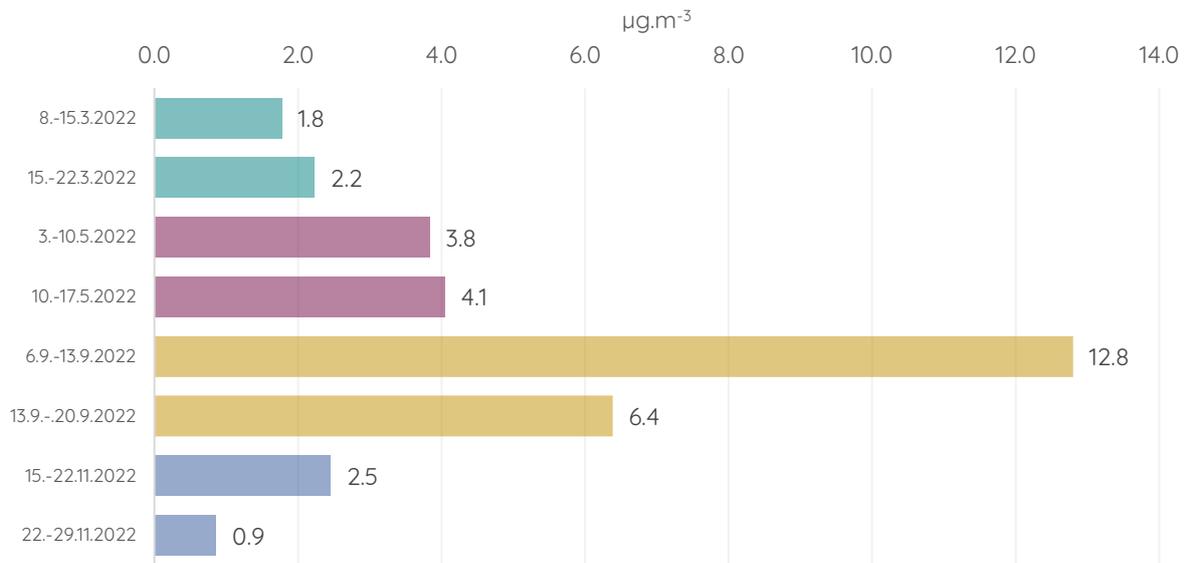
Obrázek 413 - průměrné týdenní koncentrace toluenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Štůřice.

## TUR



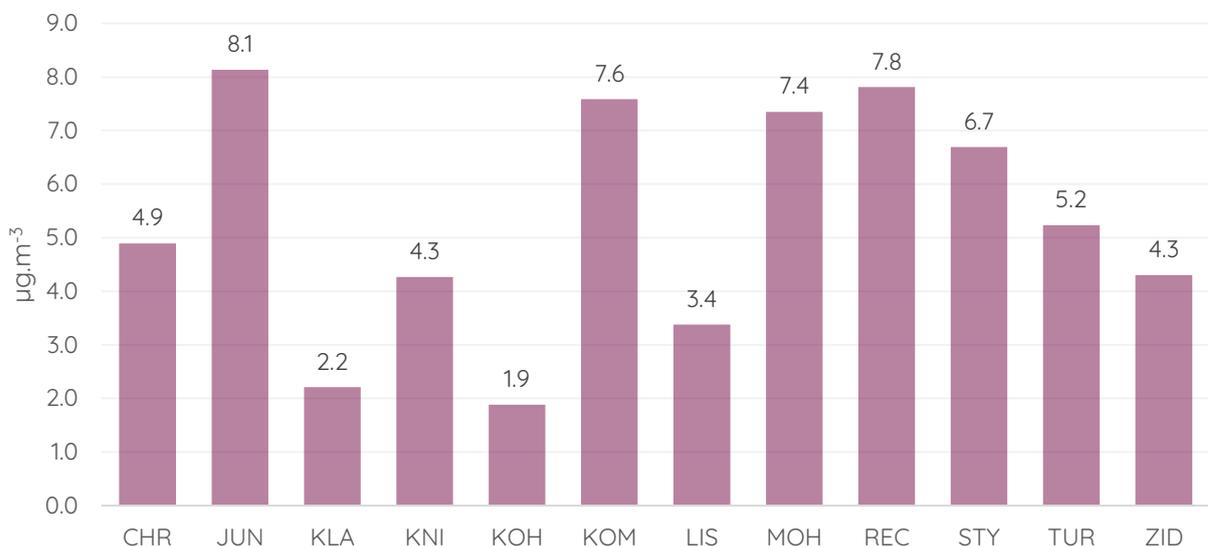
Obrázek 414 - průměrné týdenní koncentrace toluenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Tuřany.

## ZID



Obrázek 415 - průměrné týdenní koncentrace toluenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Židenice.

Následující graf ukazuje průměrné koncentrace toluenu za všechny měřicí kampaně pro jednotlivé lokality.

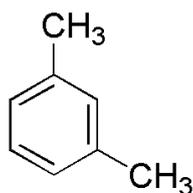


Obrázek 416 - průměrné koncentrace toluenu ze všech měřících kampaní pro jednotlivé lokality.

Nejvyšší průměrné koncentrace toluenu byly pozorovány v dopravně zatíženějších lokalitách Jundrov, Komín a Štýřice.

m,p-xylen

m-xylen



Jedná se o další izomer xylenu, přičemž methylové skupiny se zde nacházejí v polohách 1 a 3 na benzenovém kruhu. Stejně jako o-xylen a p-xylen se řadí tato látka k organickým těkavým látkám (VOC) a taktéž se jedná o čirou, bezbarvou a hořlavou kapalinu. Ze všech tří zmíněných izomerů je ovšem nejméně toxický.

Slouží jako výchozí látka při výrobě kyseliny isoftalové, která se používá jako prekursor při výrobě mnoha polymerů, a to včetně některých nehořlavých materiálů (Franck et al., 1988).

### **p-xylen**

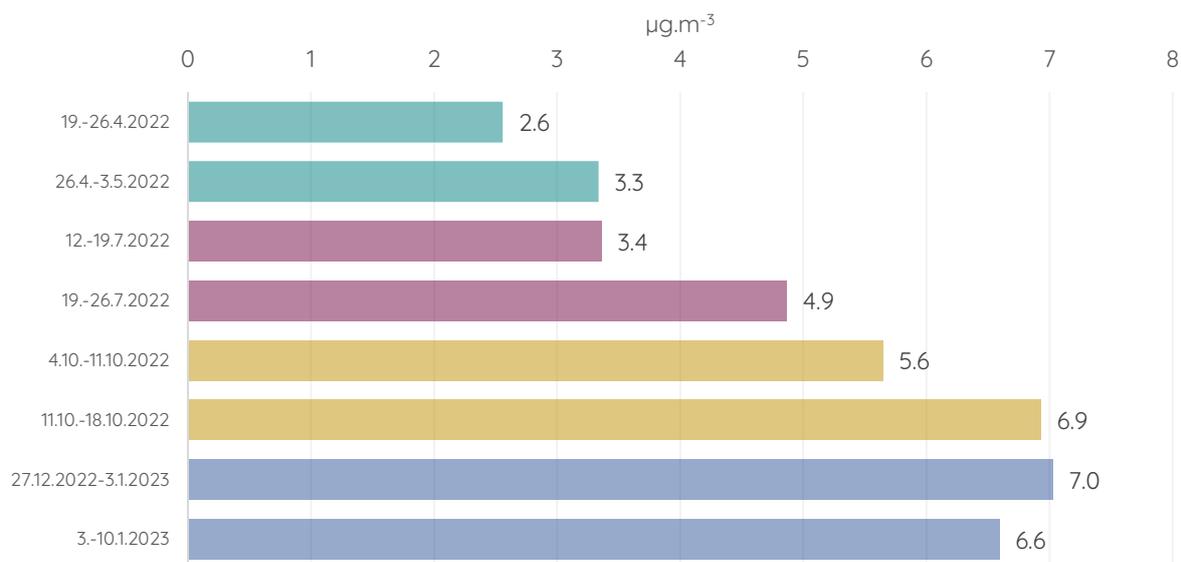


Jedná se o posledního zástupce ze skupiny izomerů xylenu, přičemž methylové skupiny se v tomto případě nacházejí v polohách 1 a 4 benzenového kruhu. p-xylen se používá jako výchozí látka při výrobě kyseliny tereftalové, látky, ze které se vyrábí známý polyethylentereftalát (PET).

p-xylen emitují zdroje spalování, včetně výfuků automobilů, nachází se i v tabákovém kouři (Jain et al., 2016).

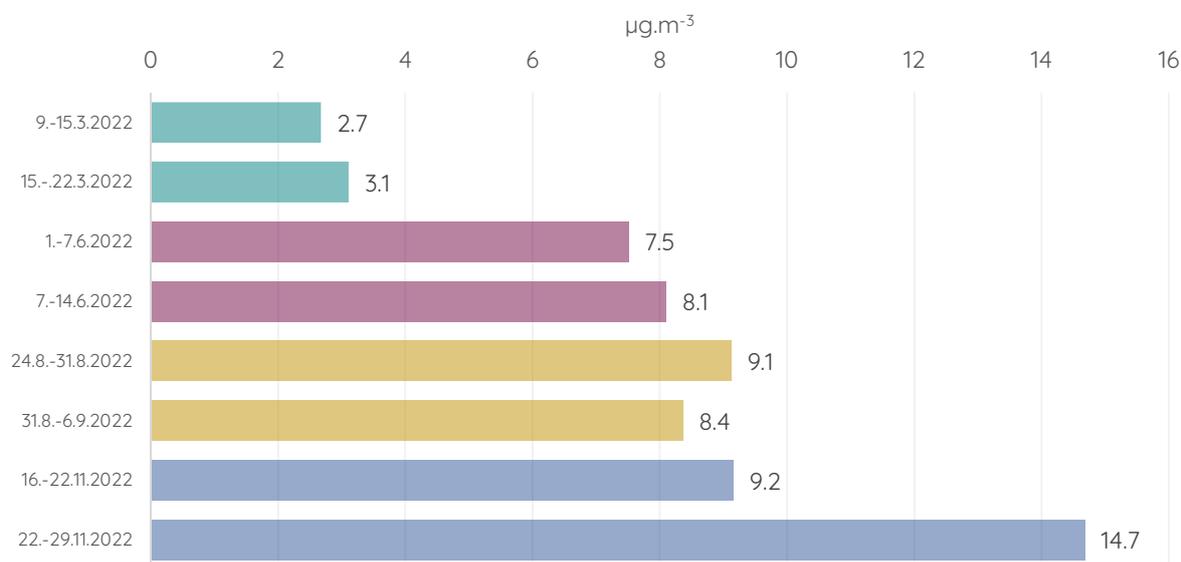
M,p-xylen byl v rámci tohoto projektu monitorován v týdenním průměru. V každém ročním období tedy v rámci dvoutýdenního monitoringu jsou k dispozici dva týdenní průměry. Sloupcové grafy níže ukazují průměrné týdenní průměry m,p-xylenu v jednotlivé kampaně rozlišené barevně.

## CHR

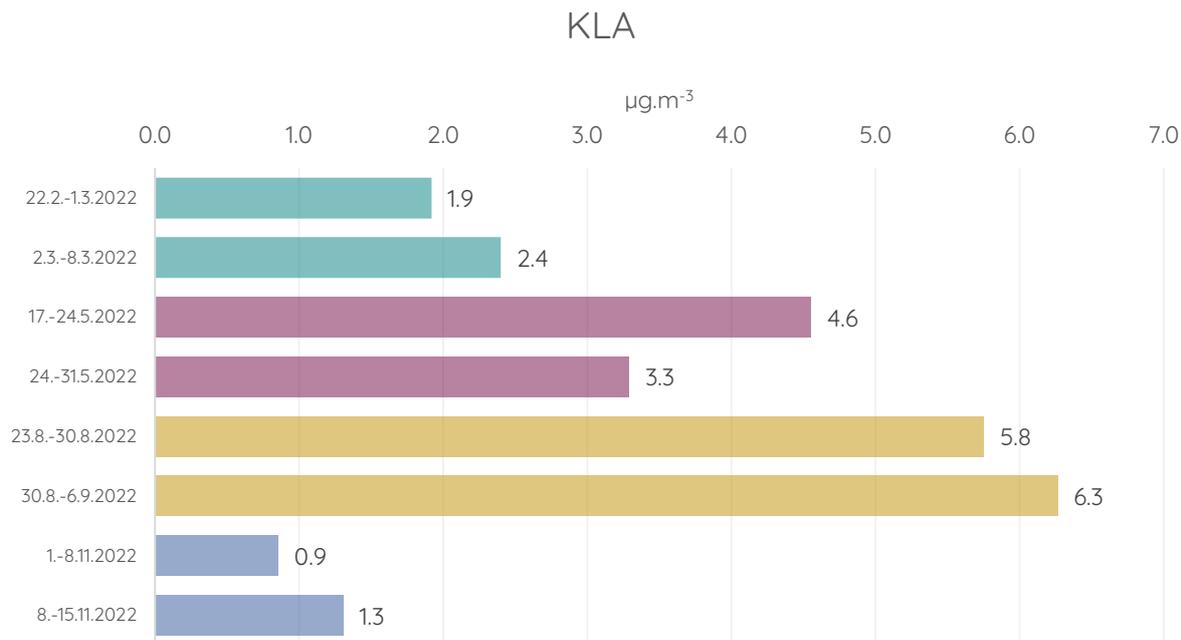


Obrázek 417 - průměrné týdenní koncentrace m,p-xylenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Chrlice.

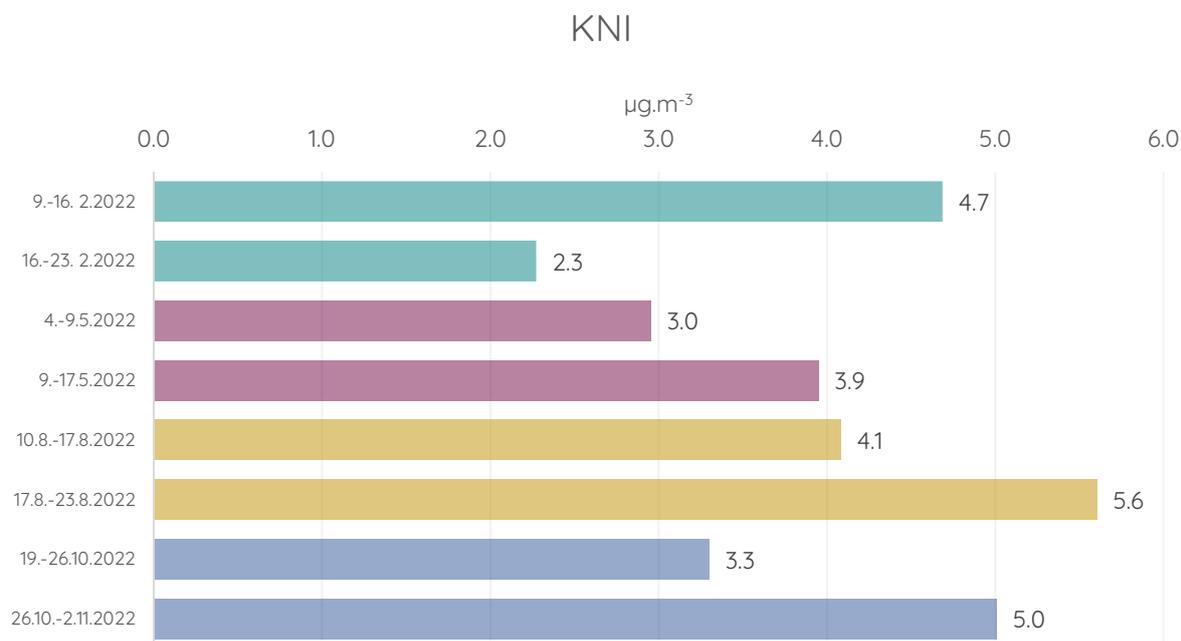
## JUN



Obrázek 418 - průměrné týdenní koncentrace m,p-xylenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Jundrov.

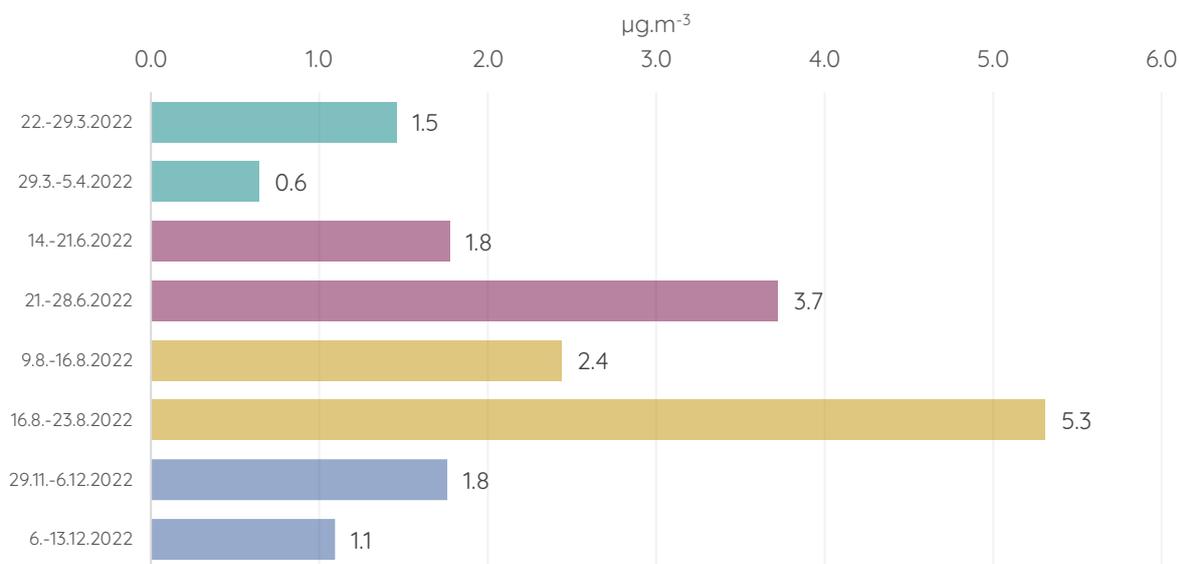


Obrázek 419 - průměrné týdenní koncentrace m,p-xylenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Klajdovka.



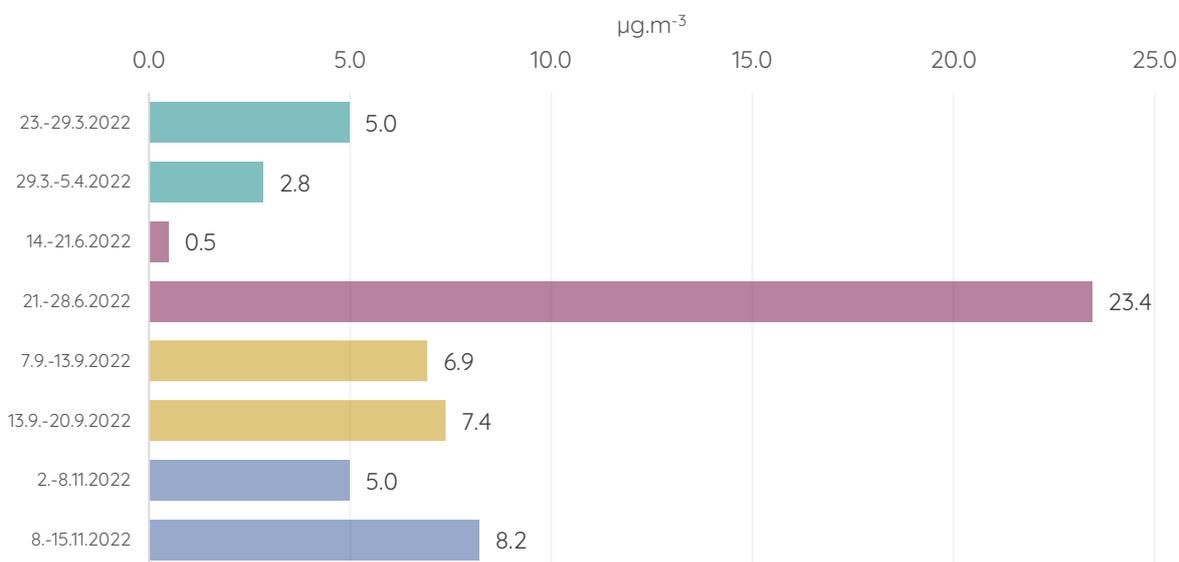
Obrázek 420 - průměrné týdenní koncentrace m,p-xylenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kníničky.

## KOH



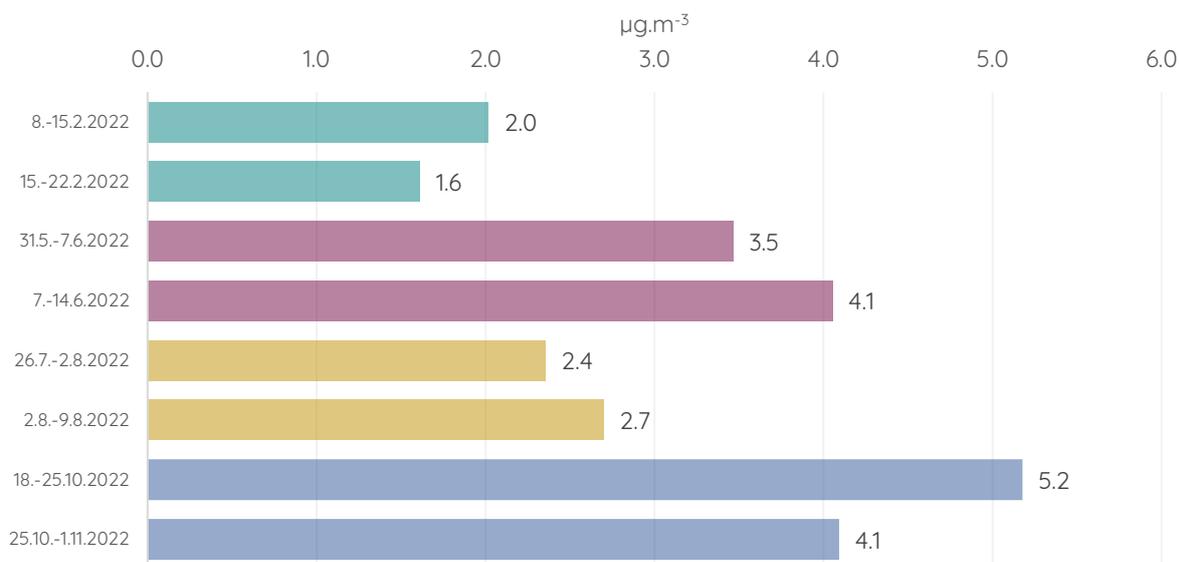
Obrázek 421 - průměrné týdenní koncentrace m,p-xylenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kohoutovice.

## KOM



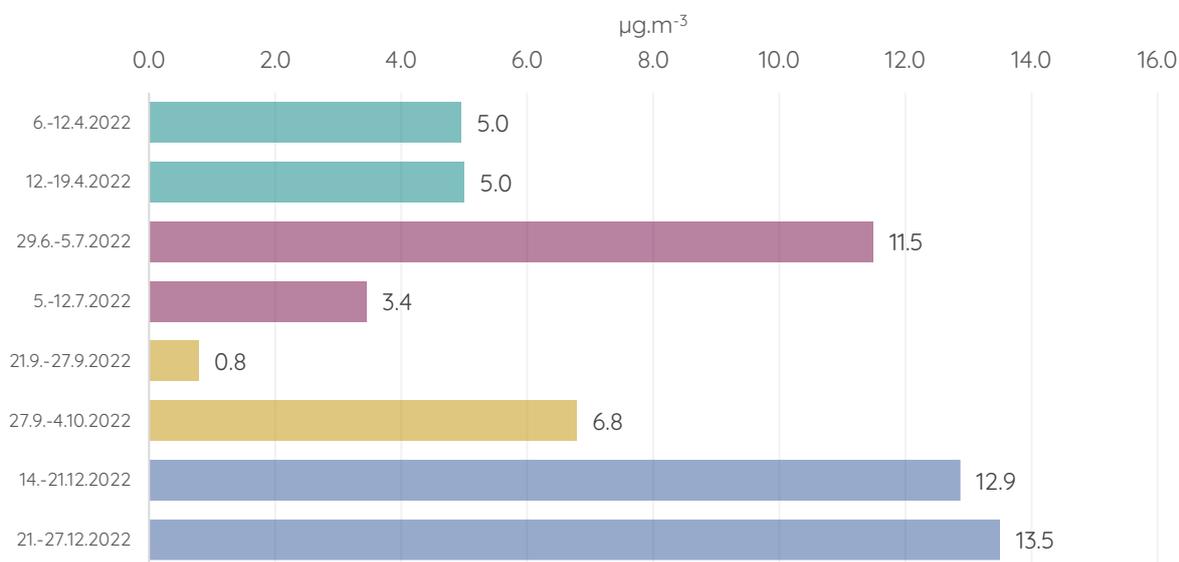
Obrázek 422 - průměrné týdenní koncentrace m,p-xylenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Komín.

## LIS



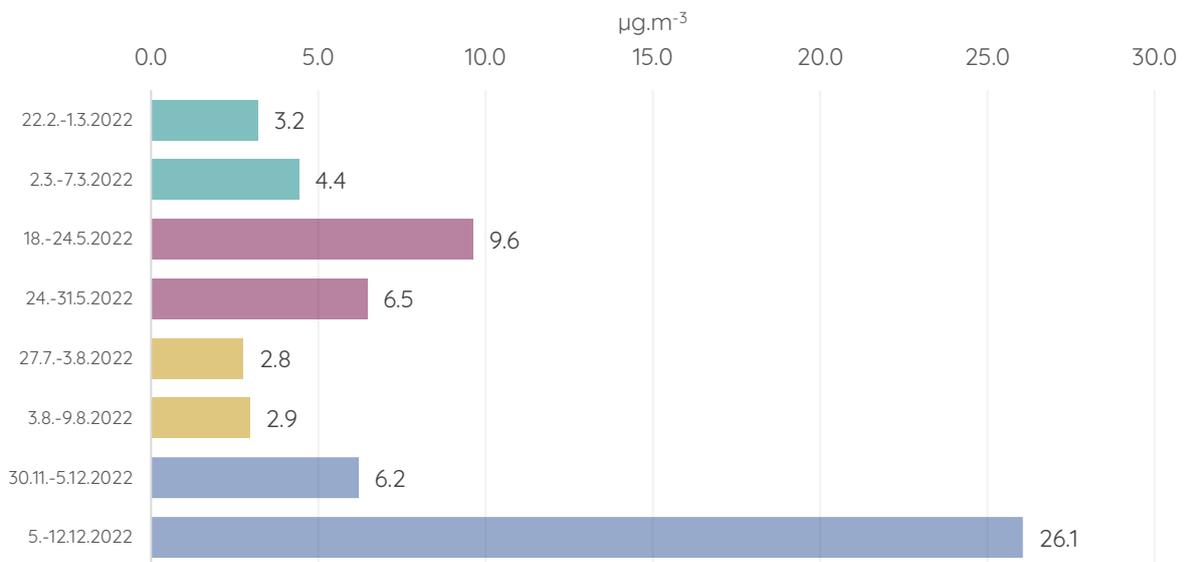
Obrázek 423 - průměrné týdenní koncentrace m,p-xylenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Líšeň.

## MOH



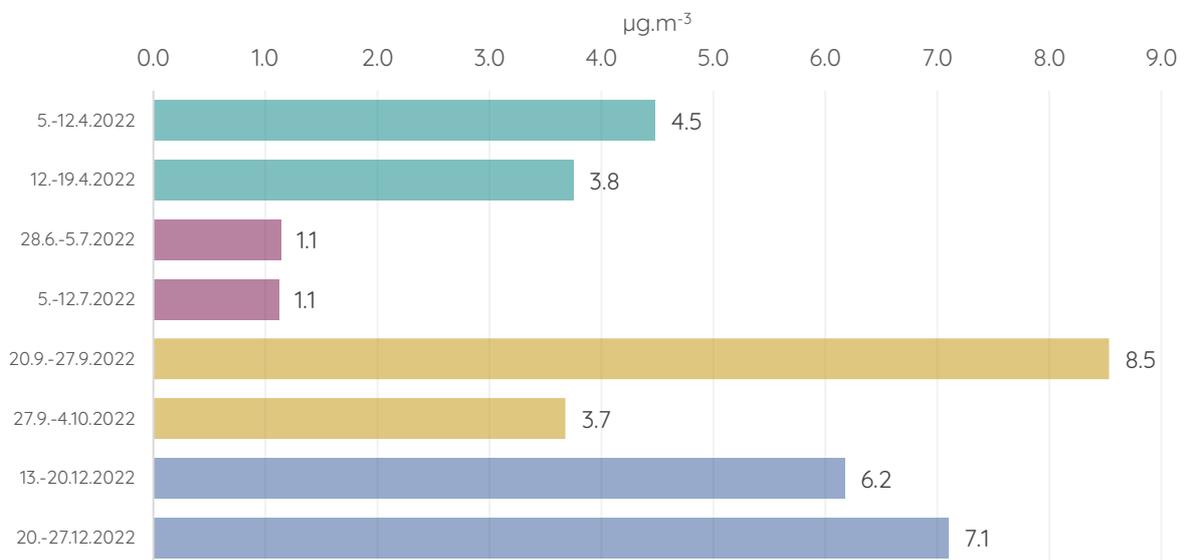
Obrázek 424 - průměrné týdenní koncentrace m,p-xylenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Mokrá Hora.

## REC



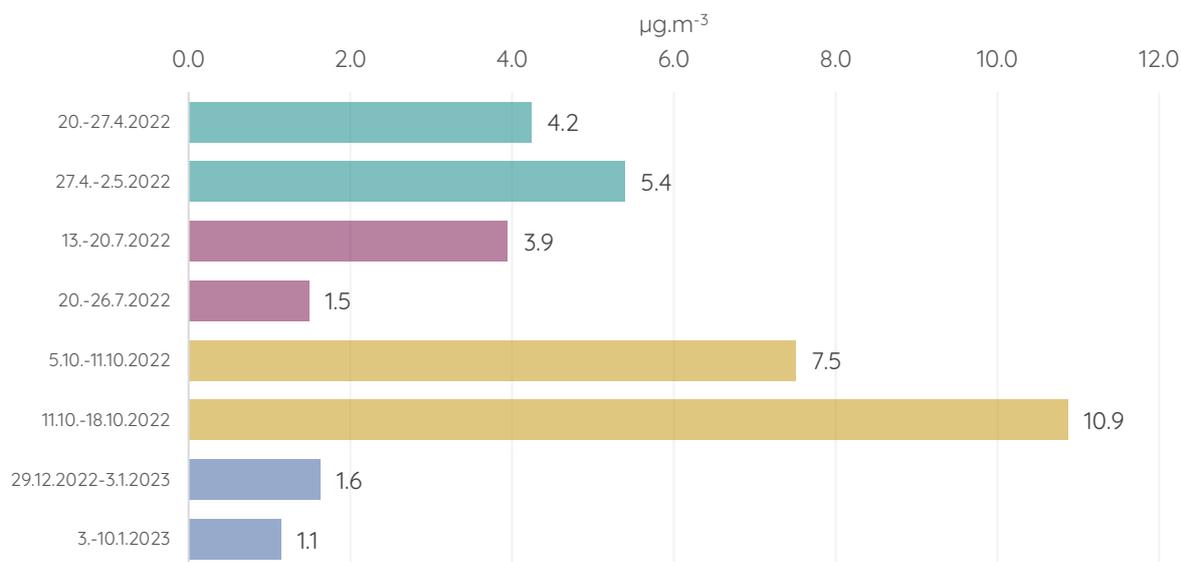
Obrázek 425 - průměrné týdenní koncentrace m,p-xylenů v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Řečkovice.

## STY



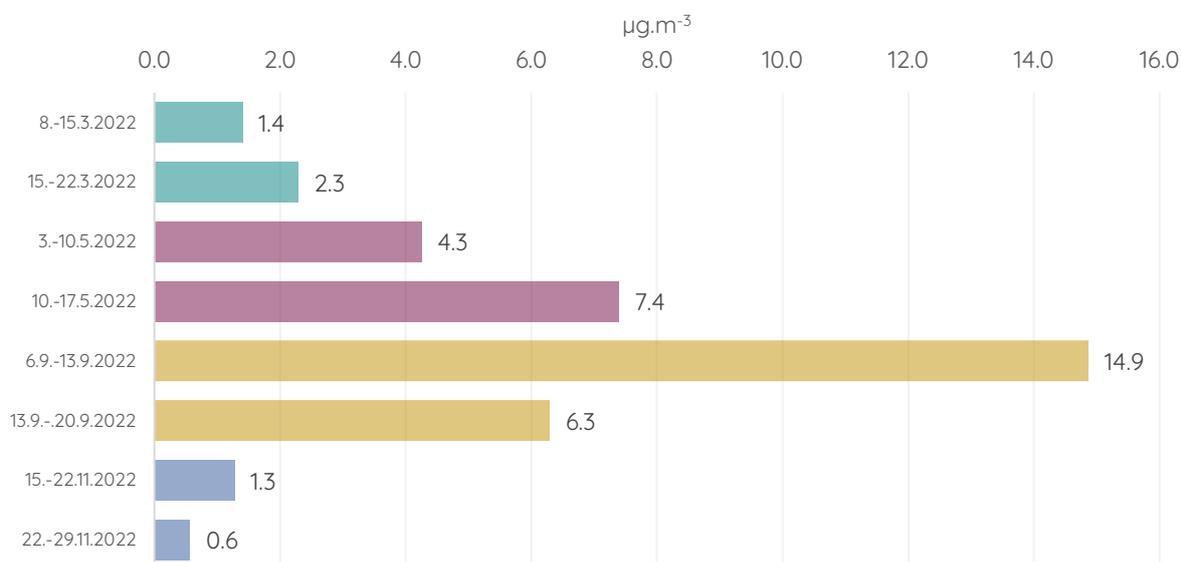
Obrázek 426 - průměrné týdenní koncentrace m,p-xylenů v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Štýřice.

## TUR



Obrázek 427 - průměrné týdenní koncentrace m,p-xylynu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Tuřany.

## ZID



Obrázek 428 - průměrné týdenní koncentrace m,p-xylynu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Židenice.

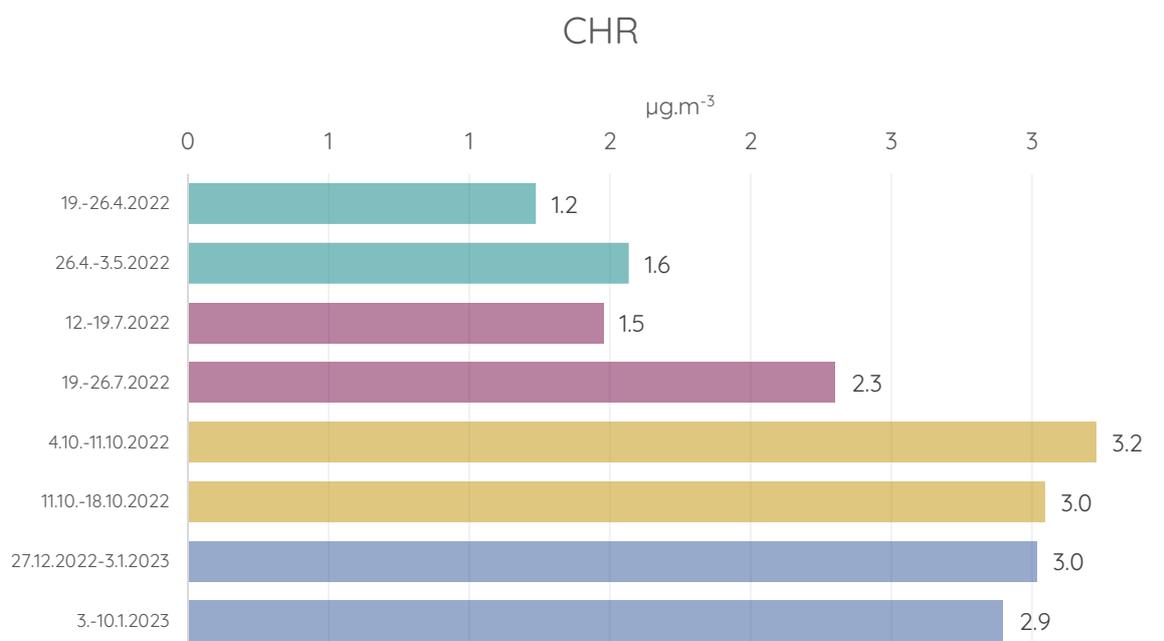
Následující graf ukazuje průměrné koncentrace m,p-xylynu za všechny měřicí kampaně pro jednotlivé lokality.



Obrázek 429 - průměrné koncentrace m,p-xyleny ze všech měřících kampaní pro jednotlivé lokality.

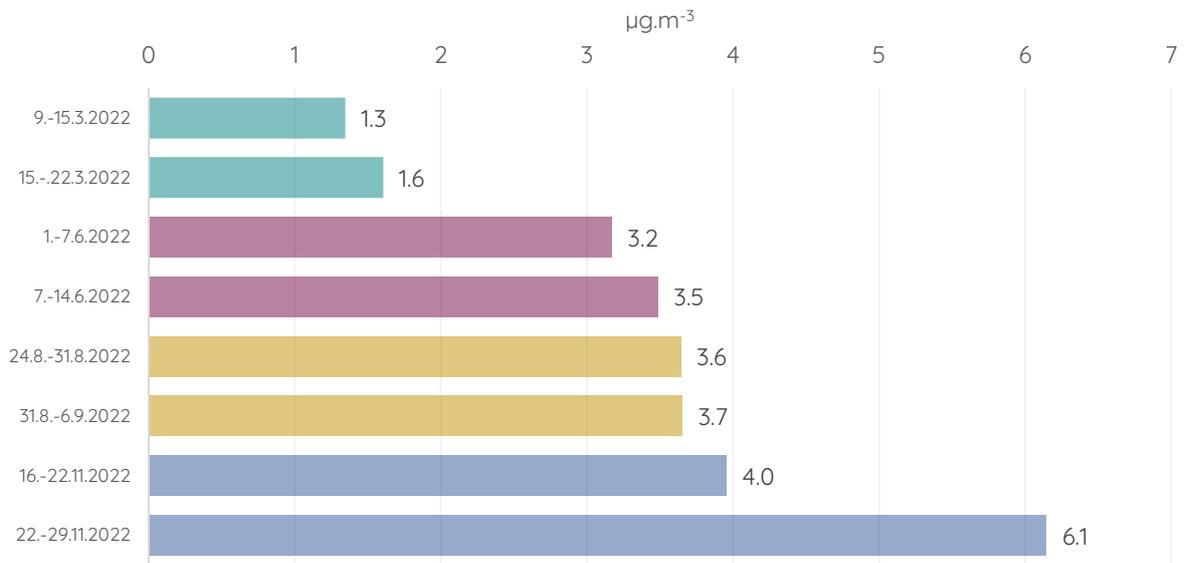
### o-xylen

O-xylen byl v rámci tohoto projektu monitorován v týdenním průměru. V každém ročním období tedy v rámci dvoutýdenního monitoringu jsou k dispozici dva týdenní průměry. Sloupcové grafy níže ukazují průměrné týdenní průměry o-xyleny v jednotlivé kampaně rozlišené barevně.



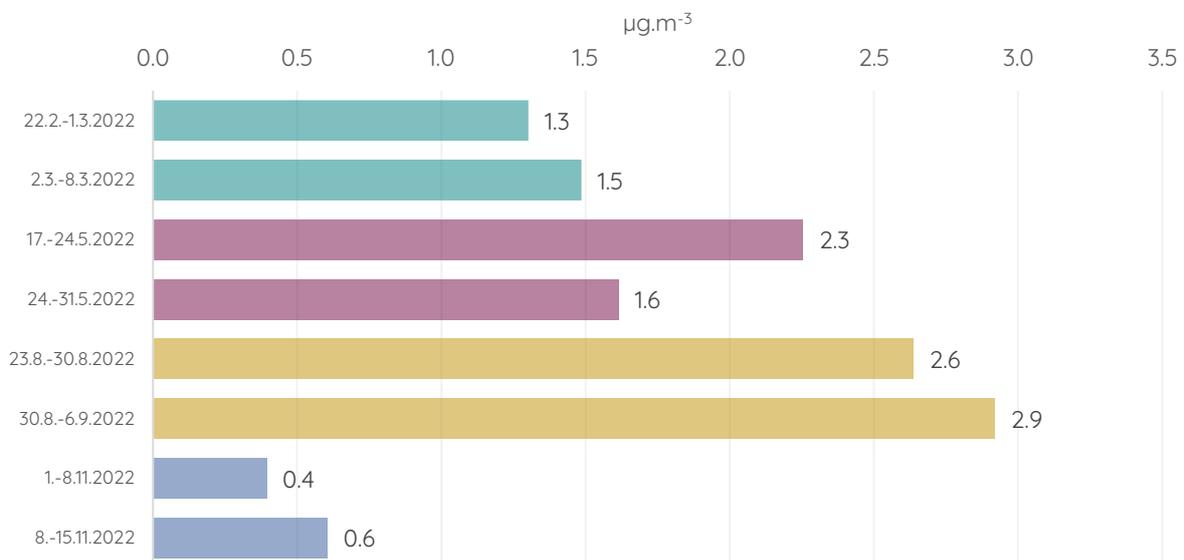
Obrázek 430 - průměrné týdenní koncentrace o-xyleny v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Chrlice.

## JUN



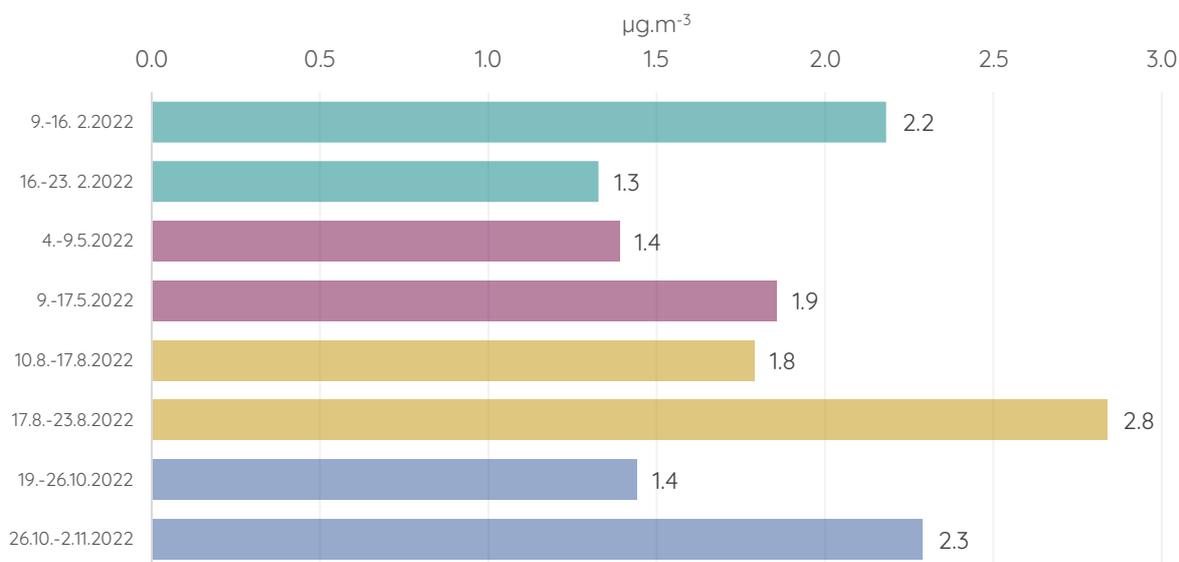
Obrázek 431 - průměrné týdenní koncentrace o-xylenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Jundrov.

## KLA



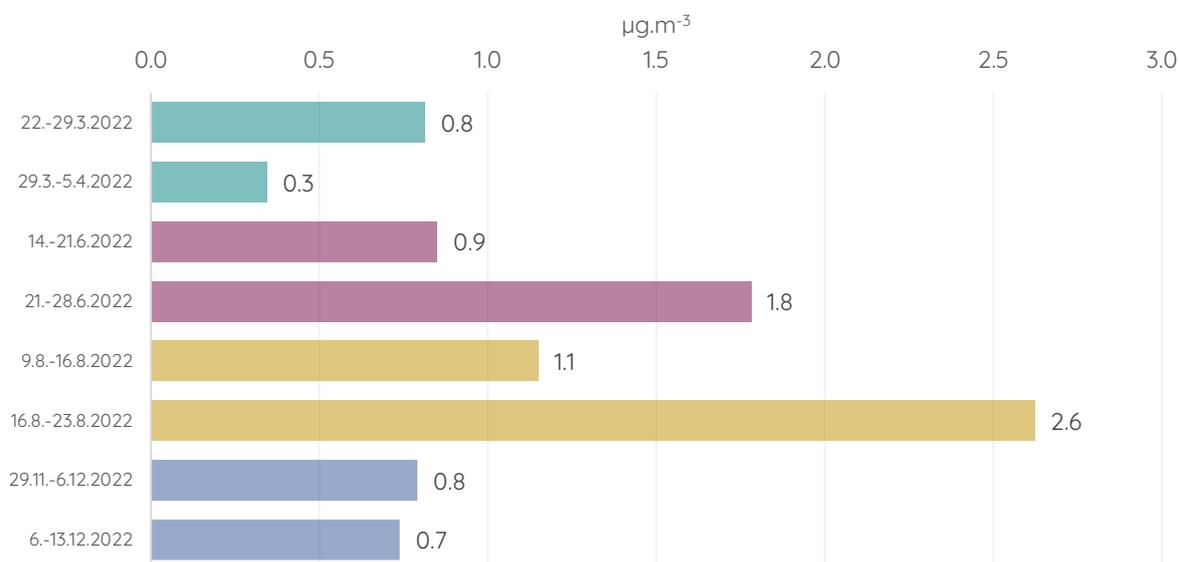
Obrázek 432 - průměrné týdenní koncentrace o-xylenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Klajdovka.

## KNI



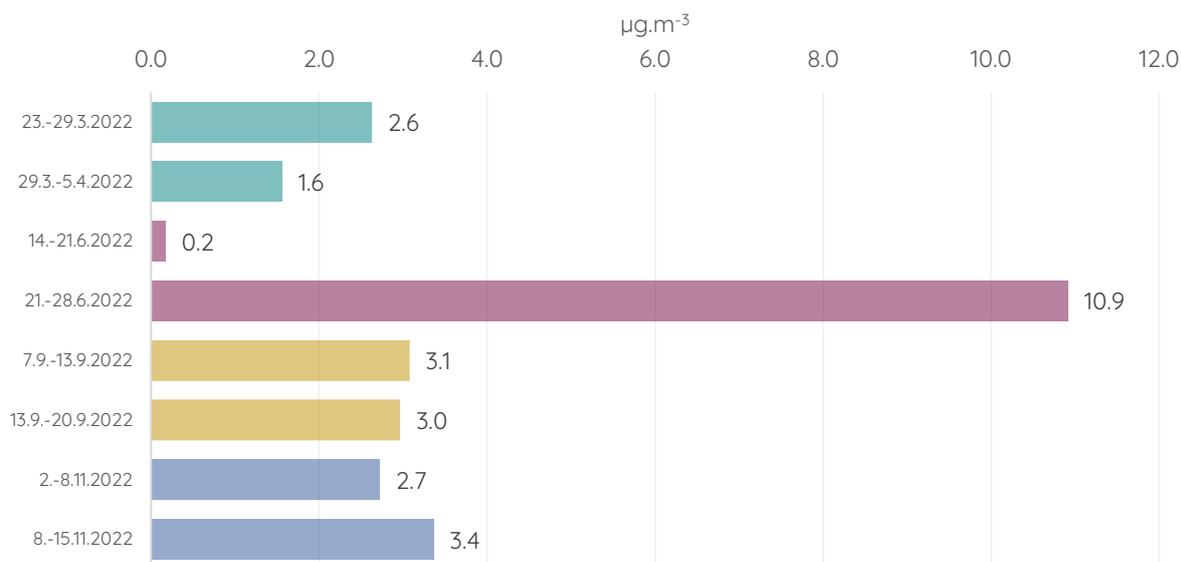
Obrázek 433 - průměrné týdenní koncentrace o-xylynu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kníničky.

## KOH



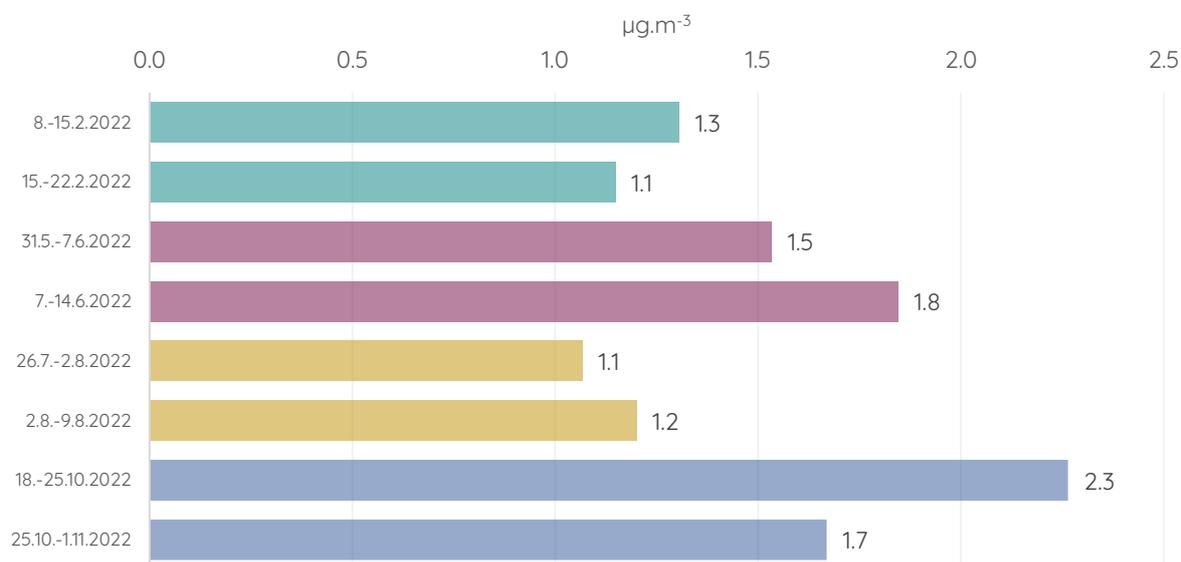
Obrázek 434 - průměrné týdenní koncentrace o-xylynu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kohoutovice.

## KOM

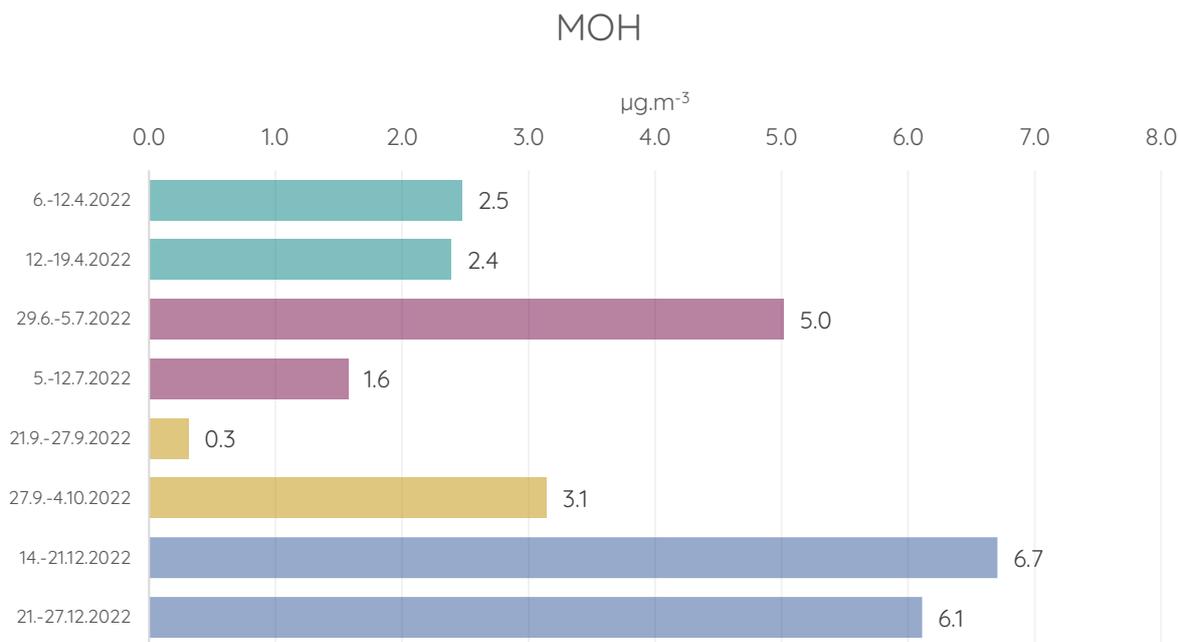


Obrázek 435 - průměrné týdenní koncentrace o-xyleny v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Komín.

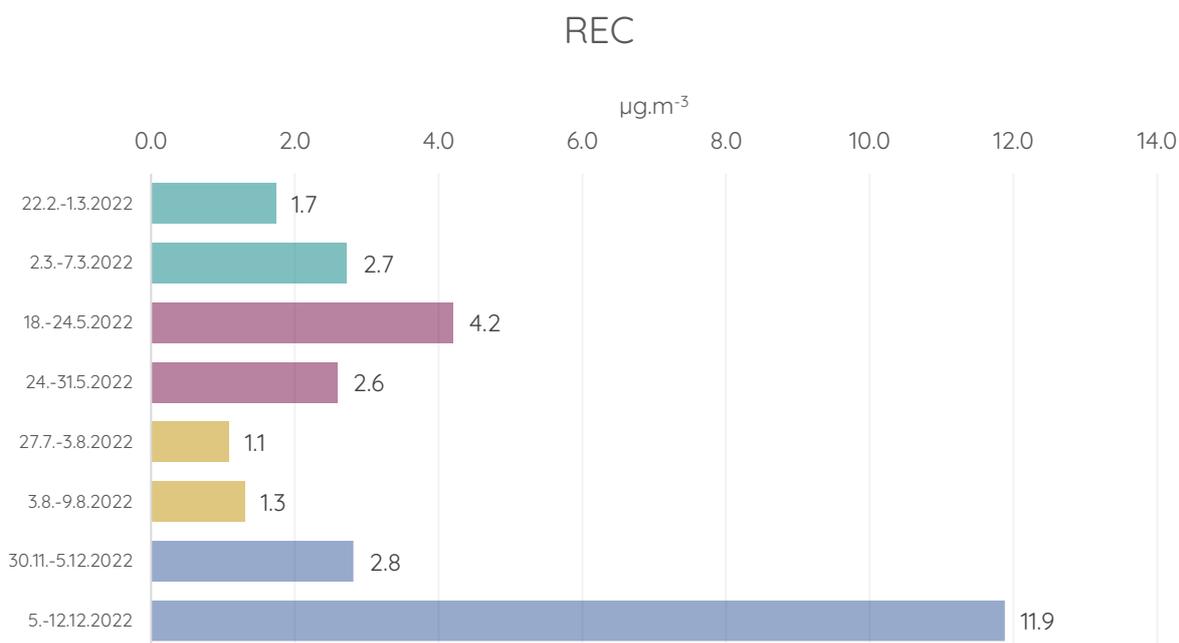
## LIS



Obrázek 436 - průměrné týdenní koncentrace o-xyleny v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Líšeň.

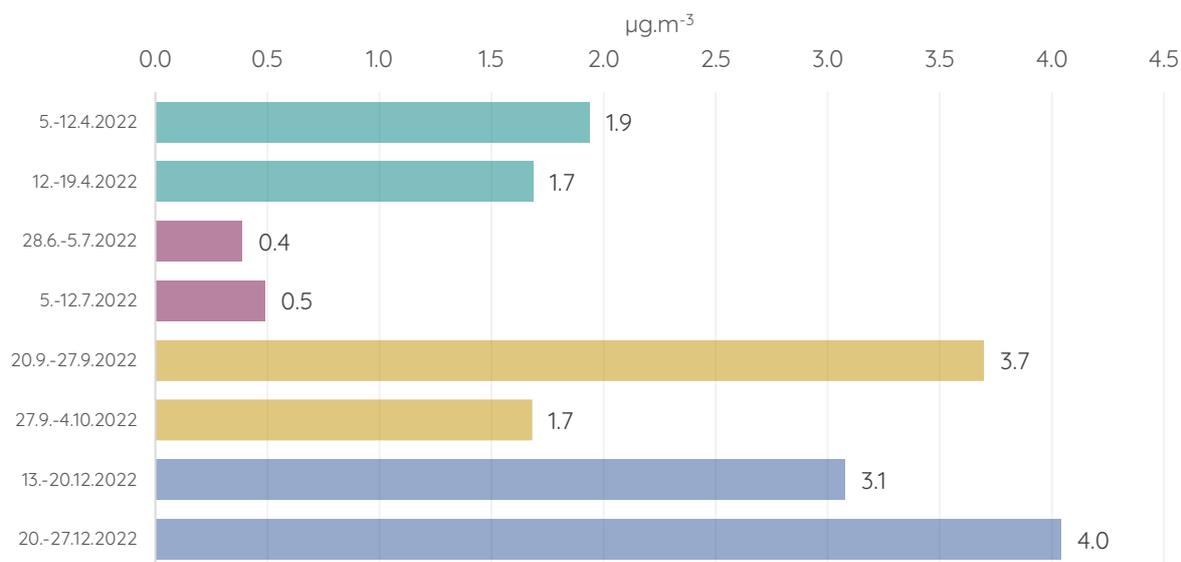


Obrázek 437 - průměrné týdenní koncentrace o-xylynu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Mokrý Hora.



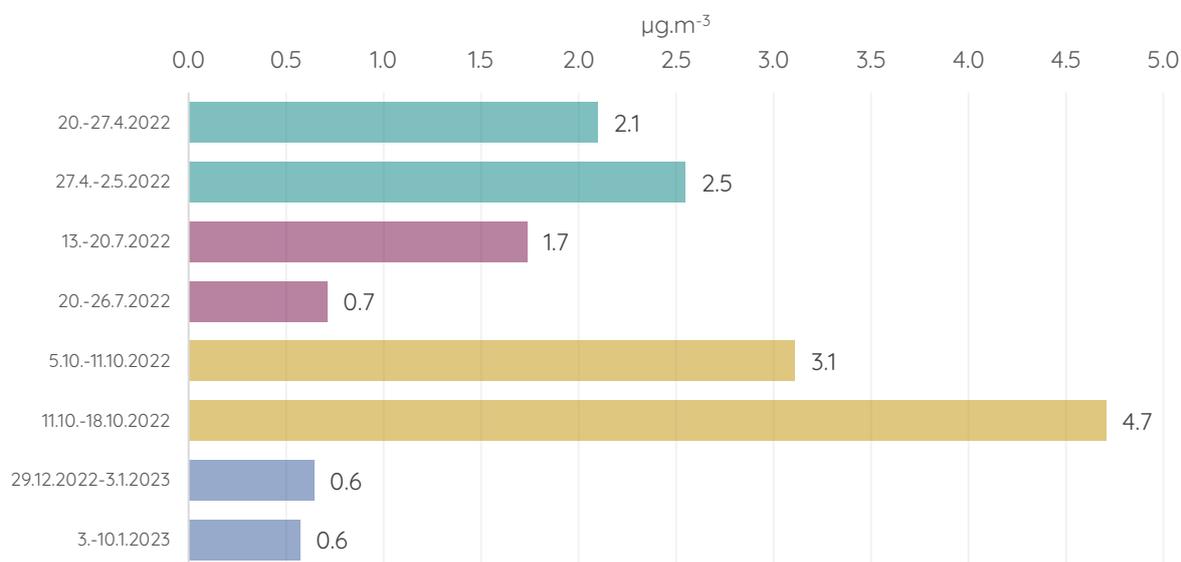
Obrázek 438 - průměrné týdenní koncentrace o-xylynu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Řečkovice.

## STY

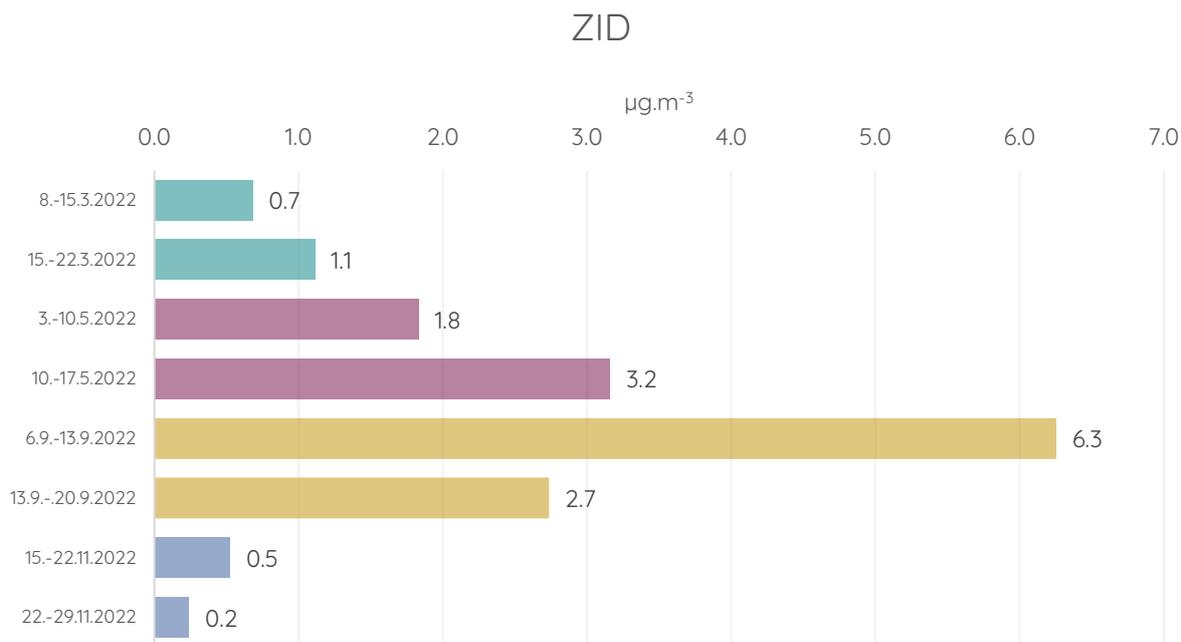


Obrázek 439 - průměrné týdenní koncentrace o-xylenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Štýřice.

## TUR

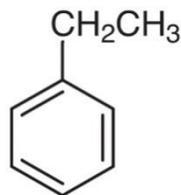


Obrázek 440 - průměrné týdenní koncentrace o-xylenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Tuřany.



Obrázek 441 - průměrné týdenní koncentrace o-xylenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Židenice.

## Etylbenzen



Jedná se o aromatický uhlovodík, který charakterizuje jeho zápach podobný benzínu. Je to hořlavá a bezbarvá kapalina, přičemž na rozdíl od benzenu karcinogenní účinky na lidské zdraví zatím nebyly jednoznačně prokázány – hovoří se o něm jako o potenciálním karcinogenu. V případě akutní expozice vyvolává podráždění hrdla, očí či závratě (EPAb, 2016).

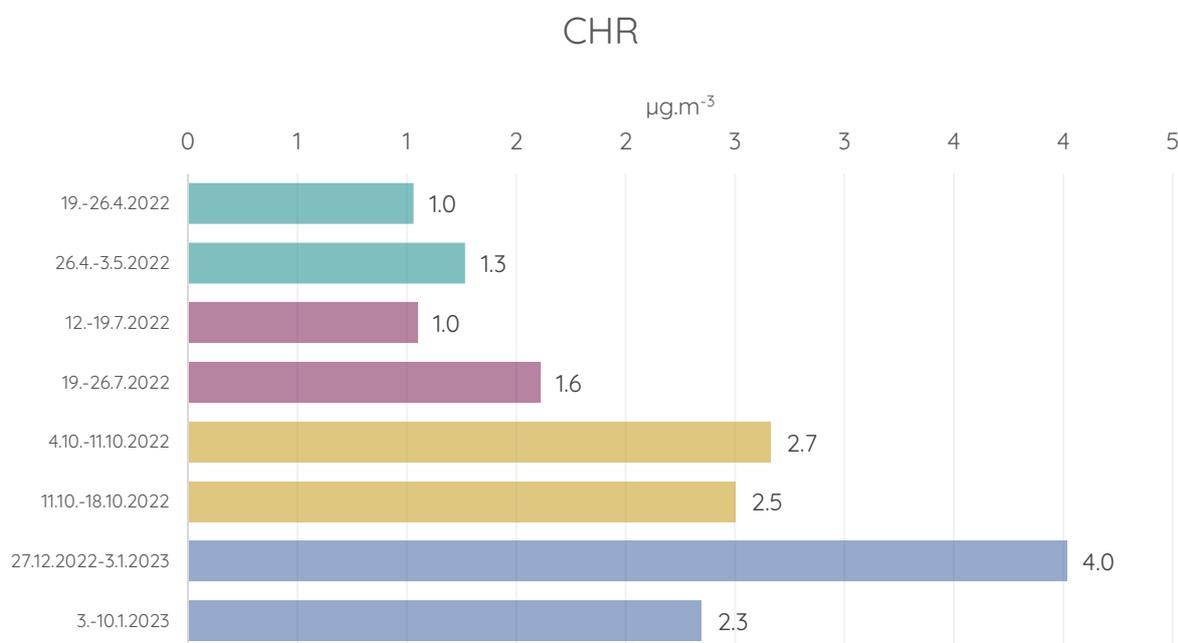
Tato látka se běžně vyskytuje v ropě a kamenouhelném dehtu. Etylbenzen se používá především při výrobě styrenu (a následně polystyrenu). Používá se také jako rozpouštědlo a slouží k výrobě dalších chemických látek (acetofenon, plasty atp.), přidává se též do paliv a asfaltů. Do životního prostředí se dostává kupříkladu během spalování organického materiálu (benzín aj.), hlavními dalšími zdroji jsou chemický průmysl a těžba a zpracování ropy (Yang et al., 2016).

Etylbenzen se řadí stejně jako benzen do skupiny těkavých organických látek (VOC), ovšem vzhledem k širokému spektru a rozdílné reaktivitě jednotlivých látek spadající do

této skupiny nebyl konkrétně pro tuto látku stanoven v zákoně o ochraně ovzduší imisní limit.

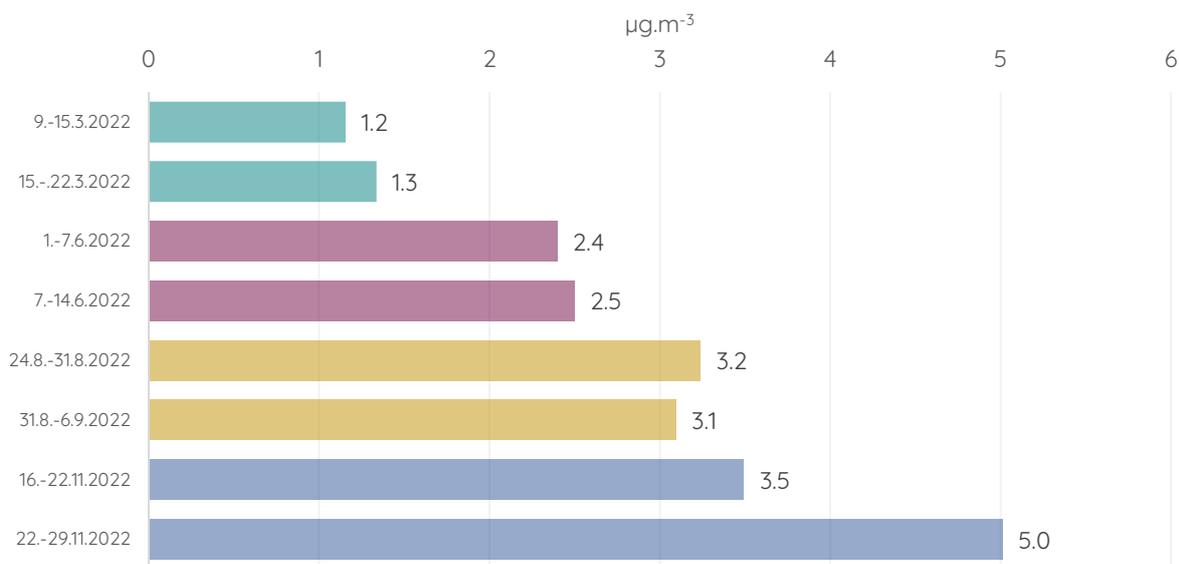
Etylbenzen byl v rámci tohoto projektu monitorován v týdenním průměru. V každém ročním období tedy v rámci dvoutýdenního monitoringu jsou k dispozici dva týdenní průměry. Sloupcové grafy níže ukazují průměrné týdenní průměry etylbenzenu v jednotlivé kampaně rozlišené barevně.

Etylbenzen byl v rámci tohoto projektu monitorován v týdenním průměru. V každém ročním období tedy v rámci dvoutýdenního monitoringu jsou k dispozici dva týdenní průměry. Sloupcové grafy níže ukazují průměrné týdenní průměry etylbenzenu v jednotlivé kampaně rozlišené barevně.



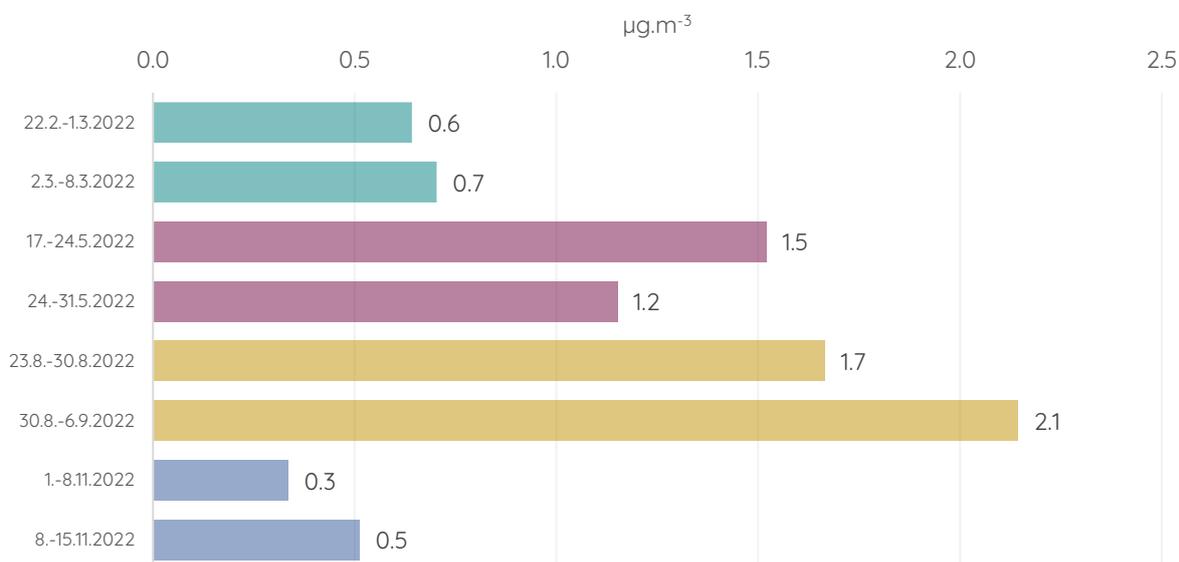
Obrázek 442 - průměrné týdenní koncentrace etylbenzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Chrlice.

## JUN



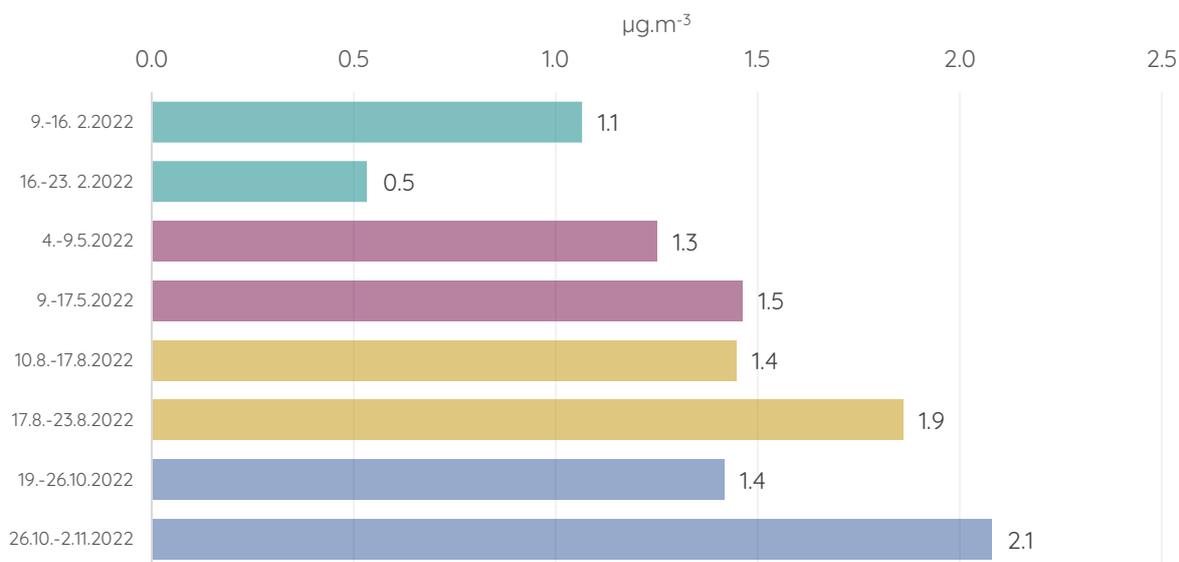
Obrázek 443 - průměrné týdenní koncentrace etylbenzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Jundrov.

## KLA



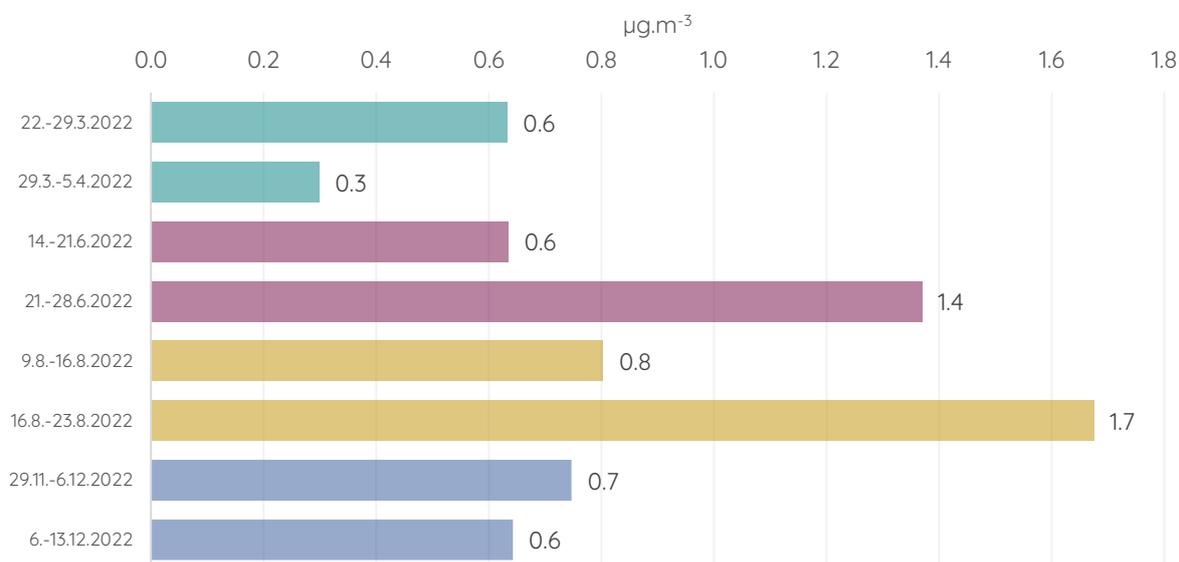
Obrázek 444 - průměrné týdenní koncentrace etylbenzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Klajdovka.

## KNI



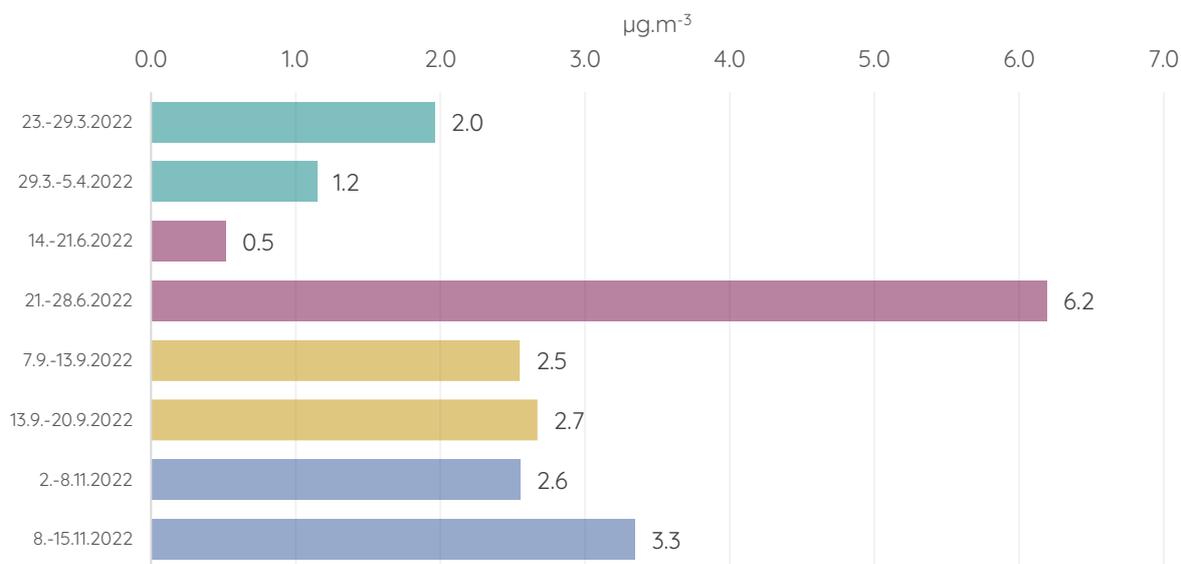
Obrázek 445 - průměrné týdenní koncentrace etylbenzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Knínice.

## KOH



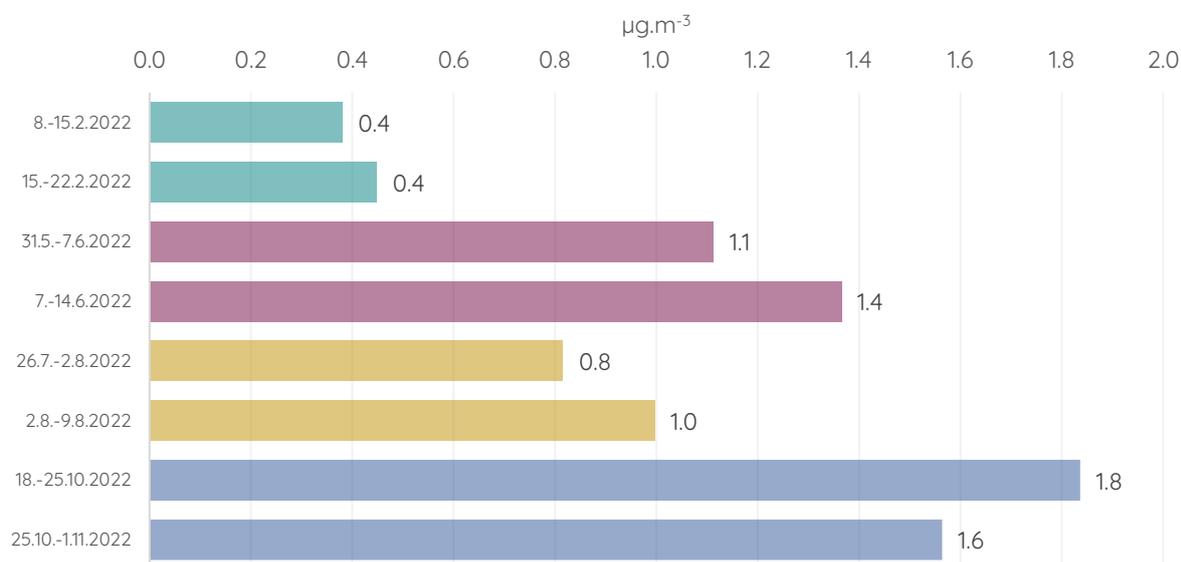
Obrázek 446 - průměrné týdenní koncentrace etylbenzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Kohoutovice.

## KOM



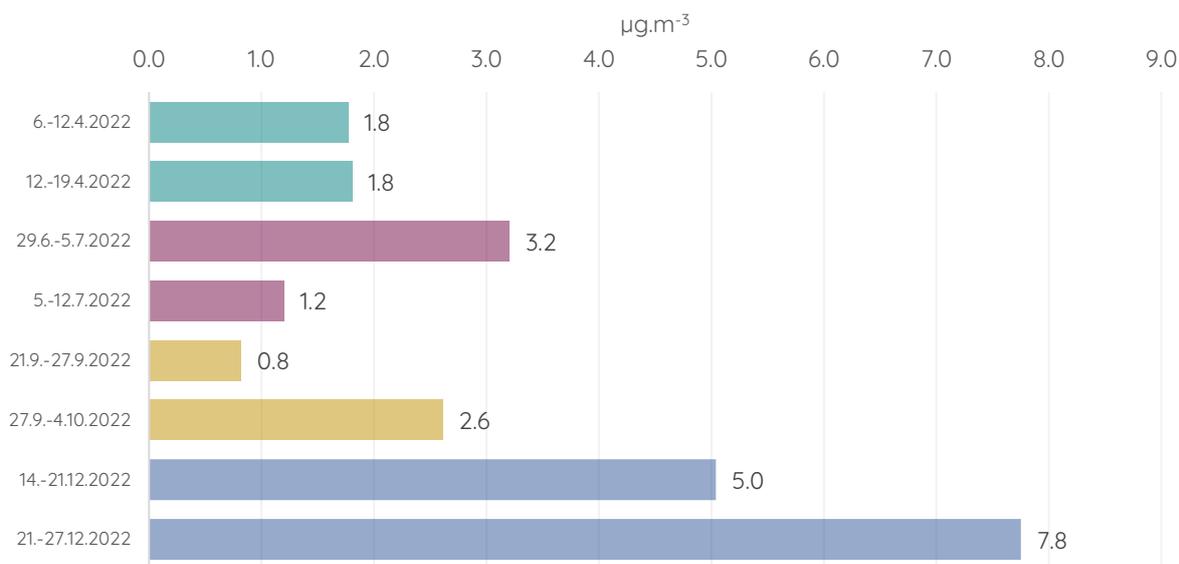
Obrázek 447 - průměrné týdenní koncentrace etylbenzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Komín.

## LIS



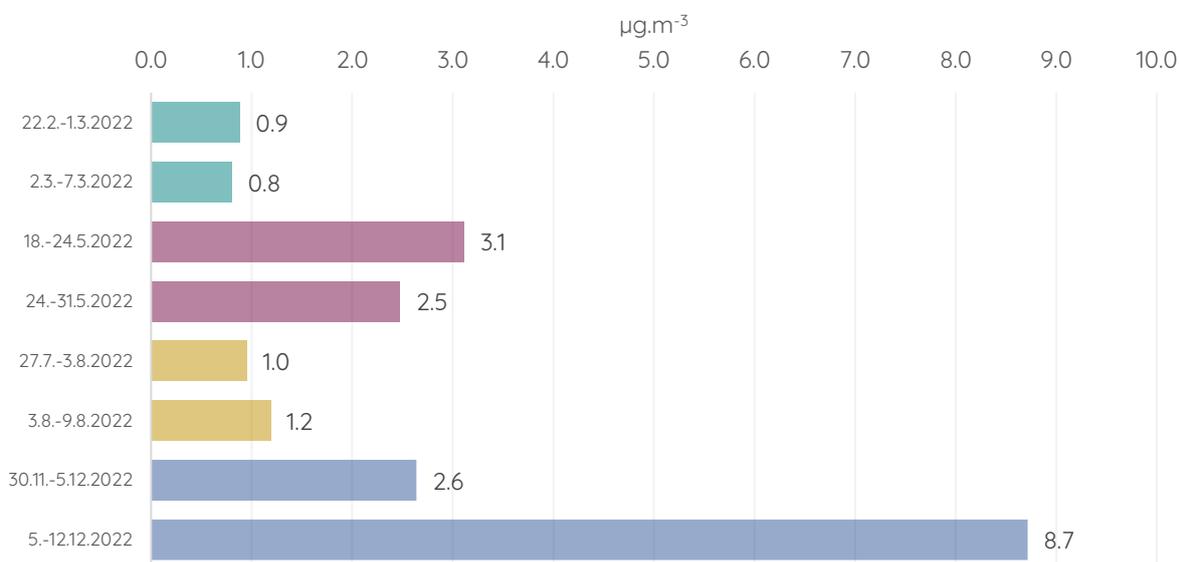
Obrázek 448 - průměrné týdenní koncentrace etylbenzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Líšeň.

## MOH



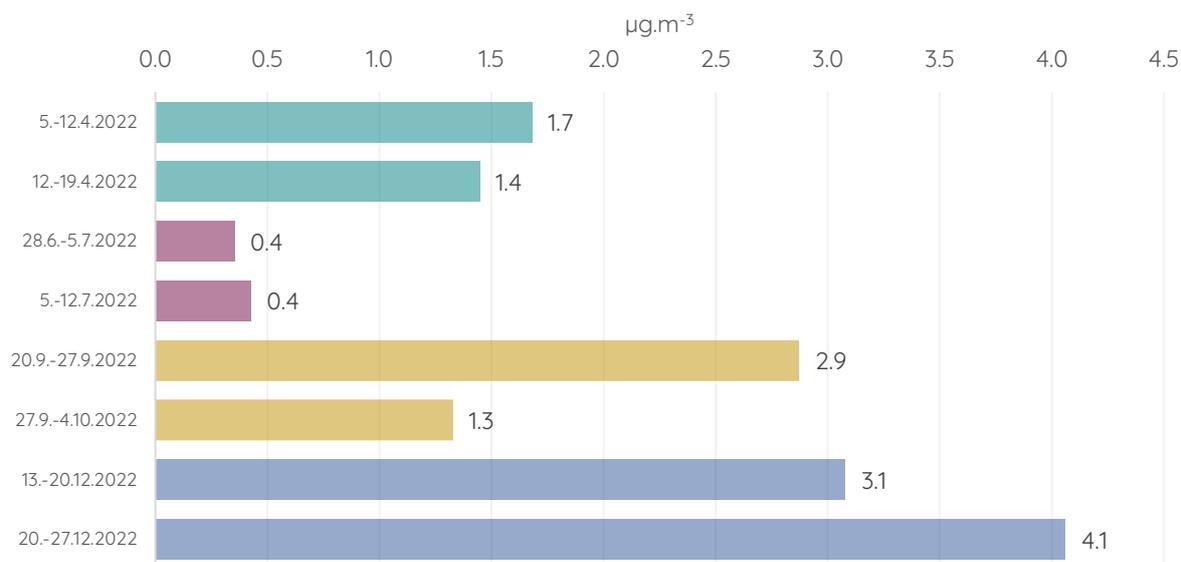
Obrázek 449 - průměrné týdenní koncentrace etylbenzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Mokrá Hora.

## REC



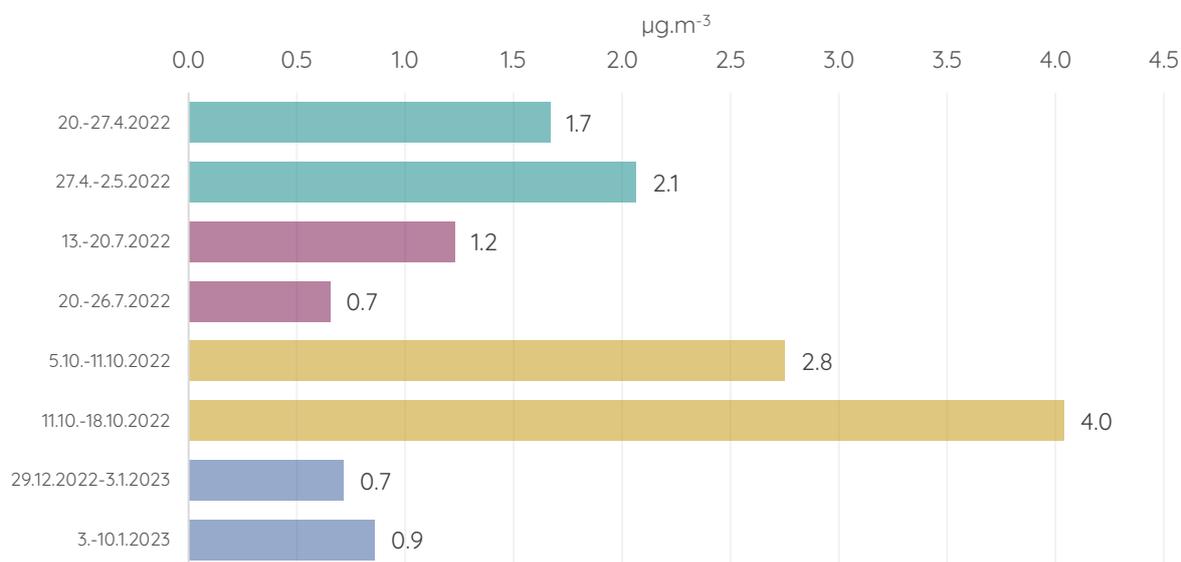
Obrázek 450 - průměrné týdenní koncentrace etylbenzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Řečkovice.

## STY



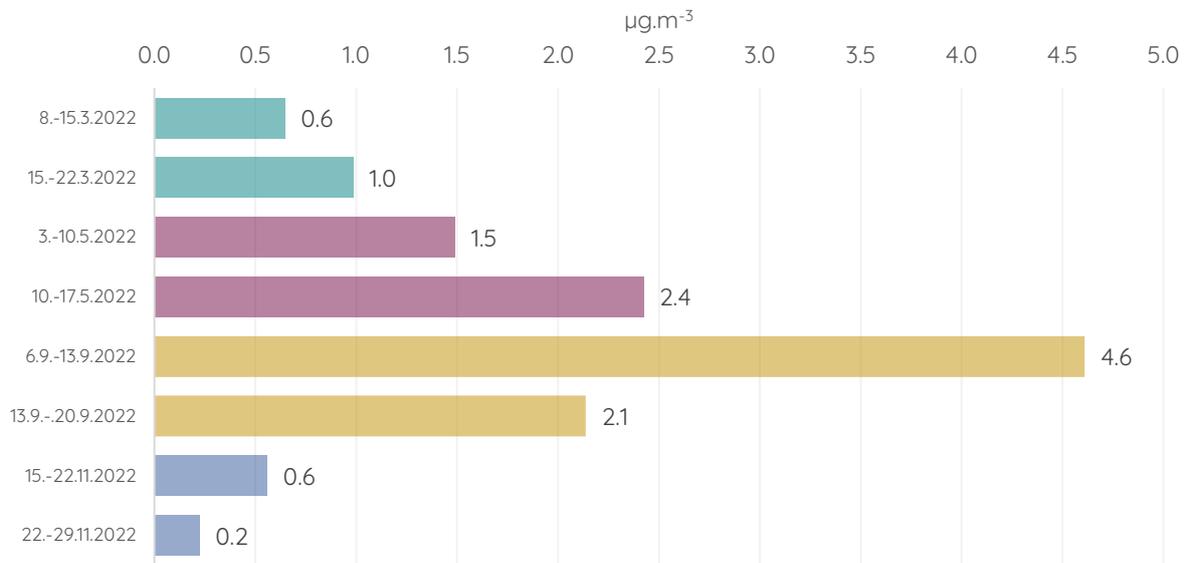
Obrázek 451 - průměrné týdenní koncentrace etylbenzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Štýřice.

## TUR



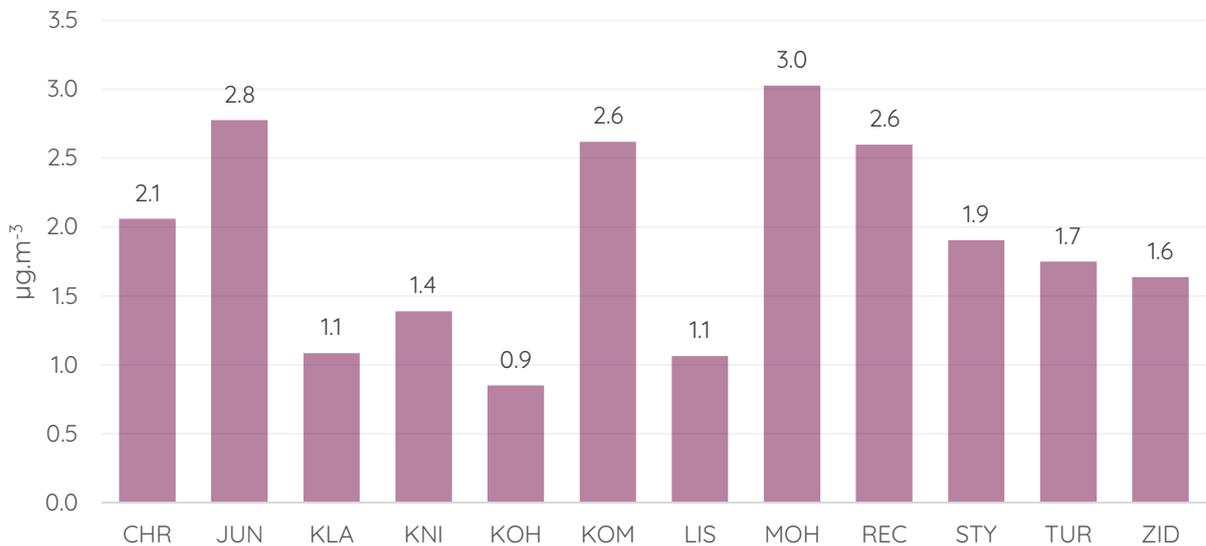
Obrázek 452 - průměrné týdenní koncentrace etylbenzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Tuřany.

## ZID



Obrázek 453 - průměrné týdenní koncentrace etylbenzenu v průběhu jarní (zeleně), letní (vínově), podzimní (hnědě) a zimní (modře) kampaně v lokalitě Židenice.

Následující graf ukazuje průměrné koncentrace etylbenzenu za všechny měřicí kampaně pro jednotlivé lokality.



Obrázek 454 - průměrné koncentrace etylbenzenu ze všech měřících kampaní pro jednotlivé lokality.

## Imisní limity

V celkovém součtu probíhal v rámci tohoto projektu monitoring v každé lokalitě celkem 2 měsíce (dva týdny v každém ročním období). S ohledem na to, jakým způsobem jsou nastaveny imisní limity v České republice, nelze naměřené hodnoty s těmito limity srovnávat, protože 2měsíční období není dostatečně reprezentativní. I v případě limitů kratších, než je roční (24hodinový, hodinový apod.) nelze překročení přímo hodnotit, protože jsou pro tyto limity většinou stanoveny maximální povolené počty překročení, které se opět hodnotí v součtu za kalendářní rok.

Lze hodnotit pouze překročení hodnoty limitu, který je nastavený pro kratší období (24 hodin, 8 hodin, hodina), aby však byl daný limit překročen, muselo by dojít k určitému minimálnímu počtu překročení této hodnoty, což už s ohledem na 2měsíční období nelze za kalendářní rok stanovit.

Lze také učinit určitý odhad možného překročení, a to na základě srovnání se stanicemi SSIM, které měřily po celý rok. Při srovnání hodnot naměřených na jednotlivých lokalitách v rámci tohoto projektu, lze určit odhad poměru koncentrací a z toho následně extrapolovat na možnou hodnotu ročního průměru apod. Tato metoda však je pouhým odhadem a nelze ji proto brát jako závaznou při hodnocení překračování imisních limitů. Může však sloužit jako podklad pro případné další analýzy v dané lokalitě.

## Suspendované částice PM<sub>10</sub>

Pro suspendované částice PM<sub>10</sub> jsou v zákoně o ochraně ovzduší stanoveny dva imisní limity pro ochranu lidského zdraví – roční imisní limit (40  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) a 24h imisní limit (50  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , maximálně 35 překročení za kalendářní rok).

### Roční imisní limit

Graf průměrných koncentrací částic PM<sub>10</sub> za všechny měřicí kampaně (Obrázek 40) ukazuje, že koncentrace byly v průměru do 25  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , tedy výrazně pod hodnotou ročního imisního limitu. V průměru navíc byly koncentrace ve všech lokalitách nižší, než je průměrná koncentrace částic PM<sub>10</sub> z dopravních stanic v Brně.

Dlouhodobě není v Brně na žádné stanici imisního monitoringu roční imisní limit pro částice PM<sub>10</sub> překračován, proto je téměř jisté, že ani na žádné z v tomto projektu měřených lokalit k překročení nedochází.

### 24h imisní limit

Hodnota 24h imisního limitu ( $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) byla na některých lokalitách v průběhu monitoringu překročena. Konkrétně se tak stalo v lokalitě Chrlice (3×) a Jundrov (2×). V případě všech dalších deseti lokalit nedošlo ani k jednomu překročení 24h limitu. Přestože jsou tyto počty překročení výrazně nižší, než je maximální povolený počet překročení (35), nelze říci, zda je imisní limit překračován či nikoliv. Vysoké koncentrace částic  $\text{PM}_{10}$  a jejich denních průměrů jsou typické pro zimní období při nízkých teplotách, inverzních situacích, nízké rychlosti větru apod. Pokud taková situace trvá déle, může být 24h imisní limit překročen několik dní po sobě. Na základě 2měsíčního celkového monitoringu tedy nelze stanovit celkový počet překročení prostou extrapolací (vynásobením šesti). Záleží na rozptylových a meteorologických podmínkách, které se nestřídají pravidelně.

### Suspendované částice $\text{PM}_{2,5}$

V zákoně o ochraně ovzduší je pro částice frakce  $\text{PM}_{2,5}$  stanoven imisní limit pro ochranu zdraví pouze pro roční průměrnou koncentraci. V roce 2020 byl tento limit snížen na hodnotu  $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  z původních  $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Graf celkových průměrných koncentrací částic  $\text{PM}_{2,5}$  ze všech lokalit za všechny měřicí kampaně v tomto projektu (Obrázek 77) ukazuje, že se tyto průměrné koncentrace pohybovaly od  $10,4$  do  $17,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Nejvyšší průměrná roční koncentrace částic  $\text{PM}_{2,5}$  v Brně byla v roce 2022 naměřena na dopravní městské stanici Brno-Svatoplukova, a to  $17,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Graf ukazující srovnání s průměrem z dopravních stanic (Obrázek 80) ukazuje, že na všech lokalitách monitorovaných v rámci tohoto projektu byly průměrné koncentrace částic  $\text{PM}_{2,5}$  nižší nebo shodné. Můžeme tedy říci, že překročení ročního imisního limitu pro částice  $\text{PM}_{2,5}$  v kterékoliv z monitorovaných lokalit je nepravděpodobné.

### Oxid dusičitý

Pro oxid dusičitý je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven imisní limit pro ochranu zdraví pro roční průměrnou koncentraci ( $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) a hodinovou průměrnou koncentraci ( $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , maximálně 18 překročení za kalendářní rok).

### Roční imisní limit

Průměrné koncentrace oxidu dusičitého za všechny měřicí kampaně pro jednotlivé lokality ukazuje graf v kapitole o oxidu dusičitém (Obrázek 114). Z toho je patrné, že se průměrné hodnoty pohybovaly od  $10,6$  do  $23,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , tedy výrazně pod hodnotou ročního imisního limitu.

Dále můžeme říci, že nikde v Brně nebyl limit pro NO<sub>2</sub> v roce 2022 překročen – nejvyšší byla průměrná roční koncentrace NO<sub>2</sub> na stanici Brno-Svatoplukova, a to 32,3 µg.m<sup>-3</sup>. Graf srovnání průměrných hodnot ze sledovaných lokalit s dopravními stanicemi v Brně (Obrázek 117) ukazuje, že hodnoty koncentrací NO<sub>2</sub> byly ve všech lokalitách nižší než na dopravních stanicích v Brně. V lokalitách měření v rámci tohoto projektu je tedy překročení ročního imisního limitu pro NO<sub>2</sub> téměř jistě vyloučené.

### Hodinový imisní limit

Hodnota hodinového imisního limitu pro NO<sub>2</sub> nebyla překročena ani jednou na žádné z lokalit v žádné z měřicích kampaní. Absolutně nejvyšší hodinová průměrná koncentrace NO<sub>2</sub> byla zaznamenána v lokalitě Štýřice 14. dubna 2022 ve večerních hodinách, a to 115,2 µg.m<sup>-3</sup>. Jedná se tedy o něco málo více, než je polovina imisního limitu.

Maximální průměrná hodinová koncentrace NO<sub>2</sub> v Brně byla na stanicích SSIM naměřena na dopravní městské stanici Brno-Svatoplukova o hodnotě 120 µg.m<sup>-3</sup>.

Hodinový imisní limit NO<sub>2</sub> nebyl v roce 2022 překročen na žádné stanici v České republice ani jednou, navíc je maximální počet překročení hodnoty imisního limitu 18. Lze tedy říci, že překročení hodinového imisního limitu je v kterékoliv z 12 monitorovaných lokalit prakticky vyloučené.

### Oxid siřičitý

Pro oxid siřičitý je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven imisní limit pro ochranu zdraví pro hodinovou (350 µg.m<sup>-3</sup>, max. 24 překročení za kalendářní rok) a 24hodinovou (125 µg.m<sup>-3</sup>, max. 3 překročení za kalendářní rok) průměrnou koncentraci.

### 24h imisní limit

Nejvyšší naměřená hodnota denního průměru koncentrací SO<sub>2</sub> během tohoto projektu byla 23,7 µg.m<sup>-3</sup> (Tuřany, 22. 4. 2023). Celkově můžeme říci, že koncentrace oxidu siřičitého jsou v Brně, ale i Jihomoravském kraji a celé České republice výrazně podlimitní. Překročení 24h imisního limitu v kterékoliv z monitorovaných lokalit lze označit za víceméně vyloučené.

### Hodinový imisní limit

Také v případě hodinového imisního limitu platí, že tento limit není překračován nikde v České republice. Průměrné hodinové koncentrace SO<sub>2</sub> se v Brně pohybují v naprosté

většinou případů do  $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Výjimečně může dojít k nárůstu koncentrací, které se však v hodinových průměrech stále pohybují velmi hluboko pod hodnotou imisního limitu.

Nejvyšší průměrná hodinová koncentrace  $\text{SO}_2$  naměřená během tohoto projektu byla  $79,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Tato hodnota je více než čtyřnásobně pod hodnotou imisního limitu. S ohledem na dlouhodobé hodnoty koncentrací  $\text{SO}_2$  v Jihomoravském kraji můžeme říci, že překročení tohoto imisního limitu v kterékoliv monitorované lokalitě je víceméně vyloučené.

## Oxid uhelnatý

Pro oxid uhelnatý je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven imisní limit pro ochranu zdraví pro 8h maximální klouzavou průměrnou koncentraci, s hodnotou  $10\,000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Dlouhodobě jsou celorepublikové koncentrace CO výrazně podlimitní. Maximální naměřená průměrná hodinová koncentrace CO v rámci monitoringu v tomto projektu byla  $1496 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Nejvyšší 8h klouzavý průměr je pak ještě nižší. S ohledem na dlouhodobé hodnoty koncentrací CO v Jihomoravském kraji můžeme říci, že překročení tohoto imisního limitu v kterékoliv monitorované lokalitě je víceméně vyloučené.

## Přízemní ozon

Imisní limit pro přízemní ozon má hodnotu  $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  v maximálním 8h klouzavém průměru. Tento limit se považuje za překročený, pokud je počet překročení vyšší než 25 v 3letém průměru překročení za kalendářní rok.

V některých lokalitách během měřících kampaní došlo k překročení 8h klouzavého průměru  $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Jak bylo popsáno v kapitole o přízemním ozonu, jeho koncentrace zásadně ovlivňuje počasí a roční doba. Nejvyšší jsou koncentrace v horkých, jasných letních dnech, a to zejména v lokalitách s nižším dopravním zatížením. Vzájemné srovnání počtu překročení na jednotlivých lokalitách monitorovaných v rámci tohoto projektu je velmi obtížné, protože se paralelně měřilo pouze na dvou lokalitách. V období velmi vysokých teplot a jasných dní bývají koncentrace přízemního ozonu zvýšeny plošně, naměřeny však byly pouze na v tu chvíli monitorovaných dvou lokalitách. Výše uvedený fakt také potvrzuje skutečnost, že během zimní měřící kampaně nebyla hodnota imisního limitu překročena ani jednou na ani jedné lokalitě.

Nejvíce krát byla hodnota imisního limitu překročena v lokalitách Chrlice, Kohoutovice a Tuřany (shodně 8×). Na základě dostupných dat nelze ani odhadovat, zda je v dané lokalitě

imisní limit překročen – počty překročení nejsou v průběhu roku rovnoměrně rozložené, navíc překročení limitu vychází z průměru za poslední 3 kalendářní roky.

## Arzen

V zákoně o ochraně ovzduší je stanoven imisní limit pro ochranu zdraví pro arzen pouze pro roční průměrnou koncentraci, s hodnotou  $6 \text{ ng.m}^{-3}$ . Nejvyšší průměrná koncentrace arzenu v rámci tohoto monitoringu byla pouze  $1,3 \text{ ng.m}^{-3}$ . Nejvyšší průměrná roční koncentrace arzenu roce 2022 byla v České republice naměřena na stanici Kladno-Vrapice  $5,5 \text{ ng.m}^{-3}$ . Z výše uvedených skutečností lze usuzovat, že překročení imisního limitu pro arzen je v monitorovaných lokalitách víceméně vyloučeno.

## Kadmium

V zákoně o ochraně ovzduší je stanoven imisní limit pro ochranu zdraví pro kadmium pouze pro roční průměrnou koncentraci, s hodnotou  $5 \text{ ng.m}^{-3}$ . Nejvyšší průměrná koncentrace kadmia v rámci tohoto monitoringu byla pouze  $0,2 \text{ ng.m}^{-3}$ . Nejvyšší průměrná roční koncentrace kadmia roce 2022 byla v České republice naměřena na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ  $1,1 \text{ ng.m}^{-3}$ , tedy přibližně 20 % hodnoty imisního limitu. Z výše uvedených skutečností lze usuzovat, že překročení imisního limitu pro kadmium je v monitorovaných lokalitách víceméně vyloučeno.

## Nikl

V zákoně o ochraně ovzduší je stanoven imisní limit pro ochranu zdraví pro nikl pouze pro roční průměrnou koncentraci, s hodnotou  $20 \text{ ng.m}^{-3}$ . Nejvyšší průměrná koncentrace niklu v rámci tohoto monitoringu byla pouze  $1,2 \text{ ng.m}^{-3}$ . Nejvyšší průměrná roční koncentrace niklu roce 2022 byla v České republice naměřena na stanici Ostrava-Heřmanice  $6,6 \text{ ng.m}^{-3}$ , tedy přibližně třetina hodnoty imisního limitu. Z výše uvedených skutečností lze usuzovat, že překročení imisního limitu pro nikl je v monitorovaných lokalitách víceméně vyloučeno.

## Olovo

V zákoně o ochraně ovzduší je stanoven imisní limit pro ochranu zdraví pro olovo pouze pro roční průměrnou koncentraci, s hodnotou  $500 \text{ ng.m}^{-3}$ . Nejvyšší průměrná koncentrace olova v rámci tohoto monitoringu byla pouze  $7,2 \text{ ng.m}^{-3}$ . Nejvyšší průměrná roční koncentrace olova roce 2022 byla v České republice naměřena na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ  $56,5 \text{ ng.m}^{-3}$ , tedy přibližně 10 % hodnoty imisního limitu. Z výše uvedených

skutečností lze usuzovat, že překročení imisního limitu pro olovo je v monitorovaných lokalitách víceméně vyloučeno.

## Benzo[*a*]pyren

V zákoně o ochraně ovzduší je imisní limit pro benzo[*a*]pyren stanoven pouze pro roční průměrnou koncentraci ( $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Hodnoty benzo[*a*]pyrenu vykazují v průběhu roku velmi výrazný roční chod s maximem v nejchladnější období roku a téměř nulovými hodnotami mimo topnou sezónu, protože je téměř výhradním zdrojem benzo[*a*]pyrenu lokální vytápění domácností.

V jedné z monitorovaných lokalit (Mokrá Hora) byla naměřena celková průměrná koncentrace benzo[*a*]pyrenu ze všech 20 odebraných vzorků  $1,1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ . Na základě hodnot z trvale měřící stanice SSIM Brno-Líšeň byl také proveden odhad průměrné roční koncentrace ve všech lokalitách na základě poměru koncentrací v dané lokalitě a na stanici Brno-Líšeň. Odhad průměrné roční koncentrace v lokalitě Mokrá Hora vyšel zcela totožně jako absolutní hodnota průměru, tedy  $1,1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Ve srovnání s hodnotami dlouhodobě měřenými stanicí Brno-Líšeň byly hodnoty koncentrace ve 12 monitorovaných lokalitách buď vyšší nebo přibližně stejné. V lokalitě Mokrá Hora nelze vyloučit, ale ani potvrdit překročení imisního limitu, a to stejné platí pro některé další lokality, kde byly koncentrace benzo[*a*]pyrenu vyšší než na stanici Brno-Líšeň. Potvrdit příp. překročení je však možné pouze dalšími a dlouhodobějšími či opakovanými měřeními v této lokalitě.

Nejvyšší průměrná roční koncentrace BaP byla v České republice v roce 2022 naměřena v lokalitě Ostrava-Radvanice ZÚ ( $6,0 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

## Benzen

V zákoně o ochraně ovzduší je imisní limit pro benzen stanoven pouze pro roční průměrnou koncentraci ( $5 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

Na žádné z monitorovaných lokalit nebyla celková průměrná koncentrace benzenu z odebraných vzorků vyšší než  $3,9 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . V roce 2022 byla nejvyšší průměrná roční koncentrace benzenu v České republice naměřena na stanici Ostrava-Přívóz ( $4,6 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Během monitoringu na některých lokalitách v rámci tohoto projektu byly zejména v zimní kampani naměřeny velmi vysoké hodnoty, které nejsou zcela důvěryhodné. Na základě dostupných informací (výsledků koncentrací), kontroly měřící techniky i následných analýz

se však nepodařilo identifikovat příčinu těchto velmi zvýšených koncentrací benzenu a nelze vyloučit nějaký technický problém, ať už během vzorkování, transportu vzorků nebo následných analýz.

Pro konkrétnější závěry by bylo potřeba provést další vzorkování a analýzy koncentrací benzenu v těchto lokalitách. Přesto lze říci, že překročení imisního limitu pro benzen je ve všech monitorovaných lokalitách téměř vyloučeno.

# Zdroje znečišťování

Zdroje byly dále vyhodnoceny s využitím faktorové analýzy.

K hodnocení byly použity následující datové soubory:

- **Soubor 1:** hodinové průměry koncentrací NO, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>
- **Soubor 2:** denní průměry NO, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> a benzo[*a*]pyrenu
- **Soubor 3:** denní průměry NO, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, Ni, As, Cd a Pb

První soubor zahrnuje látky monitorované kontinuálně měřicím vozem v hodinovém intervalu. Druhý soubor zahrnuje vypočítané denní průměry látek měřených v hodinovém intervalu a denní průměrné koncentrace ze vzorkování benzo[*a*]pyrenu. Třetí soubor zahrnuje rovněž vypočítané denní průměry látek měřených v hodinovém intervalu a denní průměrné koncentrace těžkých kovů, které byly vzorkovány v odlišné dny než benzo[*a*]pyren, proto nelze soubor 2 a 3 hodnotit společně.

Na základě provedených statistických testů byly vyloučeny proměnné nevhodné pro faktorovou analýzu Kaiser-Meyer-Olkinovým testem.

## Kaiser-Meyer-Olkinův (KMO) test adekvátnosti odběru vzorků (MSA)

Test měří přiměřenost vzorkování pro každou proměnnou v modelu a pro celý model. Statistika je mírou podílu rozptylu mezi proměnnými, které mohou být společným rozptylem. Čím nižší je podíl, tím vhodnější jsou vaše data pro analýzu faktorů. Test KMO vrací hodnoty mezi 0 a 1.

Základní pravidlo pro interpretaci statistik:

- Hodnoty MSA mezi 0,8 a 1 naznačují, že odběr vzorků je dostatečný.
- Hodnoty MSA nižší než 0,6 naznačují, že odběr vzorků není dostatečný a že by měla být přijata nápravná opatření.

Někteří autoři uvádějí tuto hodnotu na 0,5. V tomto hodnocení nebyly použity proměnné nižší než 0,5. Hodnoty MSA blízké nule znamenají, že existují velké dílčí korelace ve srovnání se součtem korelací. Jinými slovy, existují rozšířené korelace, které jsou velkým problémem pro faktorovou analýzu.

Označení výsledného hodnocení MSA dle Kaisera:

0,00 až 0,49	nepřijatelné
0,50 až 0,59	mizerné
0,60 až 0,69	průměrné
0,70 až 0,79	střední
0,80 až 0,89	záslužné
0,90 až 1,00	úžasné

Vzorek pro test MSA:

$$MSA_j = \frac{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} u_{ij}^2}$$

kde:

R = [r<sub>ij</sub>] je korelační matice,

U = [u<sub>ij</sub>] je parciální kovarianční matice

Jako kritérium pro určení počtu faktorů byla stanovena vlastní hodnota 0,7 z analýzy hlavních komponent (PCA). Do výpočtu byl zahrnut stejný počet faktorů, jako byl počet hlavních komponent s vlastními hodnotami vyššími než 0,7.

## Výsledky statistické analýzy

MSA pro Soubor 1:

PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	CO
0.62	0.61	0.69	0.77	0.78	0.91	0.74

MSA pro Soubor 2:

BaP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	CO
0.90	0.67	0.68	0.72	0.87	0.88	0.90	0.78

MSA pro Soubor 3:

Ni	As	Cd	Pb	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	CO
0.79	0.45	0.86	0.84	0.76	0.74	0.74	0.87	0.80	0.86	0.84

Hodnota MSA arzenu je tedy příliš nízká, proto byl z dalších výpočtů vynechán. Po vynechání arzenu byly všechny hodnoty v Souboru 3 vyhovující:

Ni	Cd	Pb	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	CO
0.81	0.87	0.85	0.75	0.74	0.74	0.87	0.79	0.85	0.83

Faktorovou analýzou byly spočteny faktorové zátěže příslušné jednotlivým znečišťujícím látkám. Zvýrazněny jsou faktorové zátěže pro polutanty, které jsou těmito zátěžemi reprezentovány v jednotlivých faktorech.

Soubor 1	faktor 1	faktor 2	faktor 3
PM <sub>10</sub>	<b>0.936</b>	0.291	0.122
PM <sub>2.5</sub>	<b>0.834</b>	0.121	0.514
NO		<b>0.732</b>	0.325
NO <sub>2</sub>	0.267	<b>0.617</b>	0.219
O <sub>3</sub>	-0.107	-0.314	<b>-0.556</b>
SO <sub>2</sub>	0.235	0.184	<b>0.390</b>
CO	0.388	0.586	<b>0.653</b>

Soubor 2	faktor 1	faktor 2	faktor 3
BaP	0.274	<b>0.543</b>	<b>0.546</b>
PM <sub>10</sub>	<b>0.960</b>	0.196	0.125
PM <sub>2.5</sub>	<b>0.827</b>	0.209	0.451
NO	0.143	<b>0.942</b>	0.259
NO <sub>2</sub>	0.351	<b>0.466</b>	0.332
O <sub>3</sub>		-0.345	<b>-0.661</b>
SO <sub>2</sub>	0.320	0.154	<b>0.617</b>
CO	0.470	0.593	<b>0.621</b>

Soubor 3	faktor 1	faktor 2	faktor 3
Ni		<b>0.929</b>	0.294
Cd	<b>0.459</b>	0.227	0.355
Pb	0.250	<b>0.741</b>	0.275
PM <sub>10</sub>	0.309	0.473	<b>0.754</b>
PM <sub>2,5</sub>	0.441	0.399	<b>0.789</b>
NO	<b>0.803</b>		0.172
NO <sub>2</sub>	<b>0.620</b>	0.415	0.168
O <sub>3</sub>	<b>-0.704</b>		-0.181
SO <sub>2</sub>	<b>0.454</b>	0.301	0.243
CO	<b>0.789</b>	0.341	0.467

Jak ukazují jednotlivé tabulky, ve všech případech se jednalo o tři faktory.

Z analýzy prvního souboru je první faktor reprezentován aerosolovými částicemi, druhý faktor oxidy dusíku a třetí faktor ozónem, oxidem siřičitým a oxidem uhelnatým.

Druhý soubor má obdobnou reprezentaci faktorů, BaP je obsažen prakticky stejně ve faktoru s oxidy dusíku a ve faktoru s ozónem a oxidy uhelnatým a siřičitým.

U třetího souboru došlo ke spojení reprezentací faktoru s oxidy dusíku, faktoru s ozónem a zbývajícími oxidy, navíc přistupuje kadmium. Zachován zůstává faktor s aerosolovými částicemi, navíc přistupuje faktor s olovem a niklem.

## Hodnocení

Lze tedy předpokládat, že na měřených lokalitách působí přibližně skupiny zdrojů reprezentované jednotlivými faktory. Faktor s oxidy dusíku pravděpodobně reprezentuje dopravní zdroje. Faktor obsahující CO a SO<sub>2</sub> může reprezentovat spalovací zdroje. Přítomnost BaP v obou skupinách potvrzuje spalovací charakter zdrojů. Faktor s aerosolovými částicemi pravděpodobně reprezentuje skupinu zdrojů zahrnující nespalovací zdroje (může se jednat i o dálkový transport). Faktor obsahující Ni a Pb může reprezentovat blíže nespécifikované zdroje s produkcí těchto kovů (obrábění kovů, otěry z ložisek atd.).

K bližší specifikaci zdrojů metodou FA by bylo nutné sledovat mnohem širší spektrum polutantů tak, aby tvořily podstatnou část složení aerosolových částic. Pak by bylo možné použít i metodu PMF (Positive Matrix Factorization), která má vyšší vypovídací hodnotu.

# Závěr

## Monitoring

V rámci tohoto projektu byl proveden monitoring na celkem 12 lokalitách na území města Brna. Monitoring probíhal na každé z lokalit vždy po dobu 2 týdnů v každé ze 4 měřicích kampaní (jaro, léto, podzim, zima). Paralelně byly monitorovány vždy dvě lokality.

Monitorovány byly všechny znečišťující látky, pro které je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven imisní limit pro ochranu lidského zdraví, nad rámec těchto látek pak byly vyhodnoceny koncentrace ještě některých dalších těkavých organických látek.

Pro částice PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO a O<sub>3</sub> byl proveden kontinuální monitoring měřicím vozem a k dispozici jsou tak hodinové průměry koncentrací těchto znečišťujících látek. V případě těžkých kovů a benzo[*a*]pyrenu byl monitoring proveden prostřednictvím vzorkovačů na filtry v denním kroku a koncentrace stanoveny následně v laboratoři. V případě benzenu, toluenu, etylbenzenu a xylenů byl odběr proveden v týdenním kroku a koncentrace rovněž stanoveny následně v laboratoři.

Kromě koncentrací znečišťujících látek byly kontinuálně v hodinovém kroku měřicím vozem sledovány také meteorologické parametry (teplota vzduchu, rychlost a směr větru atd.), které napomáhají při hodnocení i vzájemném srovnávání.

Imisní limity dle zákona o ochraně ovzduší jsou definovány vždy pro určité průměrovací období. S ohledem na délku výše uvedeného monitoringu (celkem 4 × 2 týdny) však nelze naměřené hodnoty přímo srovnávat s těmito imisními limity právě z důvodu průměrovacího období. Ve většině případů je limit stanoven pro roční průměr, u některých látek jsou limity stanoveny pro kratší období, ale hodnoceny jsou také s ohledem na data za celý kalendářní rok. Můžeme tedy pouze vyhodnotit počet překročení hodnoty imisního limitu, ale pro daný limit je v řadě případů v zákoně definován maximální povolený počet překročení za kalendářní rok, což opět vyžaduje hodnotit překročení tohoto limitu z dat za celý kalendářní rok.

Pro možnost alespoň částečného srovnání tak byla tato data srovnána s hodnotami naměřenými ve shodném období stanicemi imisního monitoringu v rámci informačního systému kvality ovzduší na území Brna, které mají k dispozici data za celý kalendářní rok. Toto srovnání navíc bylo nutné i z toho důvodu, že bylo měření paralelně prováděno pouze na dvou lokalitách. Kvalitu ovzduší obecně velmi výrazně ovlivňují meteorologické a

rozptylové podmínky – to znamená, že srovnávat hodnoty koncentrací naměřené v odlišná období mezi sebou může být zavádějící. Například pokud v jedné lokalitě probíhal monitoring při výrazně nižších teplotách, budou koncentrace ovlivněny emisemi z vytápění, vyššími emisemi ze studených startů apod., stejně tak při zhoršených rozptylových podmínkách, budou koncentrace zvýšené u všech znečišťujících látek. Projeví se to ale v rámci zde monitorovaných lokalit pouze u těch, kde zrovna v tu dobu probíhal monitoring. Srovnáním se stanicemi imisního monitoringu v rámci informačního systému kvality ovzduší lze učinit alespoň odhad dlouhodobých koncentrací znečišťujících látek v rámci dané lokality.

Na závěr je třeba zdůraznit, že jednotlivé lokality v této zprávě byly označeny na základě názvu městské části, ve které se nachází pro snadnější popis, to však v žádném případě neznámá, že jsou hodnoty na těchto lokalitách naměřené reprezentativní pro danou městskou část a že lze tímto způsobem tyto městské části vzájemně srovnávat. Tyto hodnoty jsou místo toho reprezentativní pro danou lokalitu měření, popř. mohou být indicií o koncentracích v lokalitách s podobnou charakteristikou zdrojů v okolí.

## Výsledky

V rámci této zprávy jsou detailně popsána naměřená data pro jednotlivé lokality, měřicí kampaně a znečišťující látky.

### Meteorologické parametry

Hodnocení meteorologických parametrů ukázalo, že v rámci stejných měřicích kampaní byly v řadě případů meteorologické podmínky velmi odlišné, což potvrzuje výše uvedenou skutečnost, že srovnávání absolutních hodnot koncentrací je problematické a může vést k zavádějícím interpretacím.

V tomto ohledu problematické jsou zejména měření prováděná v jarní a podzimní období, kdy je typický postupný nárůst, respektive pokles teplot vzduchu. V rámci shodné měřicí kampaně byly rozdíly průměrné teploty vzduchu za celou tuto kampaň až 10 °C.

Na základě dat o směru a rychlosti větru byly zkonstruovány větrné růžice. Ty kromě procentuálního zastoupení jednotlivých směrů ukazují také na celkové rychlosti větru, které v městském prostředí do značné míry vychází z otevřenosti dané lokality (překážek v blízkém okolí). Lokality více otevřené jsou lépe provětrávané, což je obecně pro kvalitu ovzduší příznivě působící faktor. Příkladem dobře provětrávané lokality v rámci tohoto

konkrétního projektu byla například lokalita Líšeň nebo Kohoutovice. Naopak příkladem lokality velmi uzavřené s jen velmi nízkými rychlostmi větru byla lokalita Jundrov.

## Suspendované částice PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>

V celkovém součtu je v České republice jednoznačně dominantním zdrojem částic PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub> lokální vytápění domácností. Městské oblasti jsou typické vyšším podílem dopravy na emisích PM a naopak zejména ve větších městech nižším podílem lokálního vytápění, které zahrnuje zejména vytápění ve starých kotlech na pevná paliva (dřevo, uhlí), což je ve městech méně častý způsob vytápění než například v malých sídlech. Dalšími zdroji částic PM mohou ve městě být například stavební práce (což se v Brně velmi výrazně projevilo například v roce 2018/19 v lokalitě Zvonařka (Brzezina, 2019)) nebo pálení rostlinného materiálu, a to zejména v blízkosti různých zahrádkářských kolonií.

Podíly zdrojů částic PM se v jednotlivých městských částech mohou odlišovat. Okrajové městské části mohou více připomínat malá sídla a může zde být vyšší podíl vytápění pevnými palivy, naopak v centru města se může více projevovat doprava. Roli zde také hraje typ zástavby – lokální vytápění se více projevuje v částech s malými domky, naopak na sídlišťích s panelovou výstavbou je vytápění pevnými palivy výrazně méně časté. Lepší kvalita ovzduší bude také pozorována ve vyvýšených, lépe provětrávaných lokalitách než v údolích s uzavřenějším charakterem.

Pro částice PM jsou v zákoně o ochraně ovzduší definovány tři imisní limity – roční průměrná koncentrace částic PM<sub>10</sub>, roční průměrná koncentrace částic PM<sub>2,5</sub> a 24h koncentrace částic PM<sub>10</sub>. V roce 2022 nebyl ani jeden z těchto tří limitů překročen na ani jedné stanici imisního monitoringu v rámci ISKO. Srovnání koncentrací z lokalit monitorovaných v rámci tohoto projektu právě s těmito stanicemi ukázalo, že u většiny lokalit byly koncentrace částic PM nižší, u některých podobné jako je průměr ze stanic ISKO, proto tyto výsledky nenaznačují, že by ve kterékoliv sledované lokalitě docházelo k překročení imisního limitu pro částice PM<sub>10</sub> nebo PM<sub>2,5</sub>. Z monitorovaných lokalit byly koncentrace částic PM vyšší zejména v lokalitách, které byly umístěny blíže nějaké významné dopravní komunikaci, například se to týkalo lokality Štýřice, Chrlice nebo Tuřany. Vliv dopravy u těchto lokalit potvrdila také analýza průměrného denního chodu koncentrací, kde byly patrné špičky korelující s ranní a odpolední dopravní špičkou. Naopak například v lokalitě Kohoutovice, která byla spíše odlehlá, je denní chod

koncentrací výrazně méně patrný a koncentrace jsou zde v průběhu dne spíše konstantní, ovlivňované městským pozadím.

Hodnota imisního limitu pro průměrnou 24h koncentraci částic  $PM_{10}$  byla v průběhu tohoto monitoringu překročena celkem 5x, a to 3x v lokalitě Chrlice a 2x v lokalitě Jundrov. K této skutečnosti je však třeba dodat dvě zásadní skutečnosti. Zaprvé, jedná se pouze o překročení hodnoty imisního limitu, nikoliv k překročení imisního limitu jako takového. Zákon o ochraně ovzduší definuje jako překročení 24h imisního limitu situaci, kdy v průběhu kalendářního roku dojde k více než 35 překročením této hodnoty. Zadruhé, fakt, že tato hodnota byla překročena zrovna v lokalitách Chrlice a Jundrov neznamena, že jsou koncentrace v těchto lokalitách nejvyšší, ale může souviset s obdobím, kdy byl monitoring v těchto lokalitách prováděn – k překročení došlo vždy v chladnou část roku, a právě teplota vzduchu (a s ní související intenzita vytápění a vliv na další emisní zdroje) a rozptylová situace (která bývá v chladnou část roku častěji zhoršená) mohou tyto hodnoty ovlivňovat. Jak již bylo popsáno výše, na žádné stanici trvalého imisního monitoringu v Brně nedošlo v roce 2022 k překročení 24h limitu pro částice  $PM_{10}$ . Nejvyšší počet překročení byl v roce 2022 zaznamenán na stanici Brno-Svatoplukova, kde byla hodnota překročena 16x, což není ani polovina maximálního počtu překročení této hodnoty.

## Oxidy dusíku

Oxidy dusíku byly v rámci projektu měřeny zvlášť jako koncentrace oxidu dusičitého a oxidu dusnatého a následně agregovány jako oxidy dusíku. Hlavním zdrojem oxidů dusíku je v České republice doprava, a tedy právě ve velkoměstech, jako je i Brno, jsou koncentrace  $NO_x$  zvýšené. Ve velmi blízké vzdálenosti od dopravních zdrojů bývají vysoké koncentrace oxidu dusnatého ( $NO$ ), který následně na vzduchu oxiduje na oxid dusičitý ( $NO_2$ ), který se častěji šíří na větší vzdálenosti.

Pro oxidy dusíku je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven pro ochranu zdraví imisní limit pro roční průměrnou koncentraci oxidu dusičitého a hodinovou průměrnou koncentraci oxidu dusičitého. Ani jeden z těchto imisních limitů nebyl v roce 2022 překročen nejen na brněnských stanicích, ale ani nikde v České republice.

Vyšší koncentrace oxidů dusíku byly v rámci měření v tomto projektu pozorovány právě u lokalit s vyšším dopravním zatížením – konkrétně například v lokalitě Štýřice, Tuřany nebo Jundrov. Určitým překvapením byly nejvyšší koncentrace oxidů dusíku v lokalitě Mokrá Hora. Jedná se o lokalitu, u které nebyly tyto vyšší koncentrace předpokládány. Nebyly

zde ani zvýšené koncentrace částic PM. Naopak zde však byly pozorovány nižší koncentrace přízemního ozonu, který právě v lokalitách s vyššími koncentracemi oxidů dusíku bývají nižší. To potvrzuje, že je nepravděpodobný problém s měřicí technikou a že jsou tato data naměřena správně.

Bohužel na základě dostupných dat nelze říci, co mohlo být zdrojem emisí oxidů dusíku a stanovit, proč byly zrovna v této lokalitě vyšší. Bližší zkoumání ukázalo, že koncentrace oxidů dusíku zde rostly v ranních hodinách a držely se na vyšších hodnotách až do večerních hodin, kdy začaly klesat. Zároveň zde například v letním období byly v prvním týdnu dvoutýdenní kampaně pozorovány výrazně vyšší koncentrace oxidů dusíku než v následujícím týdnu. Tedy by se mohlo jednat o zdroj, který emituje v průběhu denní doby a byl aktivní jen v některé týdny. Nelze tedy ani určit, jak se daný zdroj projevuje celkově v ročních průměrných hodnotách. V tomto případě by pro konkrétnější vyhodnocení bylo potřeba provést další měření v dané lokalitě, ideálně po delší dobu, příp. na více lokalitách v okolí, aby bylo možné využít analýzy koncentračních růžic k přibližnému stanovení místa zdroje.

Na základě srovnání se stanicemi imisního monitoringu není předpoklad, že by v kterékoliv pozorované lokalitě docházelo k překročení imisního limitu pro oxid dusičitý (roční i hodinový).

## Oxid siřičitý

Koncentrace oxidu siřičitého byly problémem zejména v minulosti, od 90. let 20. století se však situace se změnou legislativy výrazně zlepšila. V současnosti jsou koncentrace celorepublikově výrazně podlimitní a měřené hodnoty jsou často tak nízké, že už naráží na možnosti analyzátorů takto nízké koncentrace změřit.

V zákoně o ochraně ovzduší jsou pro oxid siřičitý stanoveny dva imisní limity, a to pro 24hodinovou a hodinovou průměrnou koncentraci.

V průběhu tohoto projektu bylo zaznamenáno jedno zvýšení koncentrací SO<sub>2</sub>, které bylo pozorováno na obou v tu chvíli monitorovaných lokalitách (Tuřany, Chrlice), ale i na dalších místech v rámci stanic imisního monitoringu. To potvrzuje plošný charakter tohoto zvýšení. Stále se však jednalo o hodnoty několikanásobně podlimitní.

Celkové průměrné hodnoty koncentrací oxidu siřičitého se pohybovaly kolem 4 až 5  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Podobné hodnoty pozorujeme dlouhodobě i na ostatních brněnských stanicích a jedná se o hodnoty mnohonásobně nižší, než kolik činí imisní limity pro oxid siřičitý.

S ohledem na hodnoty naměřené v tomto projektu, na srovnání s ostatními stanicemi, znalost zdrojů znečišťování a na celkovou situaci ohledně koncentrací  $\text{SO}_2$  v Jihomoravském kraji lze říci, že překročení imisního limitu pro oxid siřičitý v kterékoliv monitorované lokalitě je prakticky vyloučené. Rozdíly mezi jednotlivými lokalitami jsou právě s ohledem na hodnoty imisních limitů zanedbatelné.

## Oxid uhelnatý

Zdrojem oxidu uhelnatého je v České republice zejména lokální vytápění domácností. Dále se také na emisích této látky podílí doprava. Ve městech jsou tedy vyšší koncentrace pozorovány zejména na místech s vyšším dopravním zatížením.

V zákoně o ochraně ovzduší je pro oxid uhelnatý stanoven imisní limit pro max. 8h klouzavou koncentraci. Tento imisní limit není překračován dlouhodobě nikde v České republice a koncentrace jsou hluboko pod hodnotou tohoto imisního limitu i na dopravních stanicích.

V rámci tohoto projektu byly vyšší koncentrace CO pozorovány právě na lokalitách blízko nějaké dopravní komunikace (např. Komín, Tuřany), ale také v lokalitě Mokrá Hora. Zde byly kromě vyšších koncentrací CO pozorovány také vyšší koncentrace oxidů dusíku. Jak bylo popsáno výše v kapitole závěru o oxidech dusíku, tento zdroj se na základě dostupných dat nepodařilo identifikovat a jeho významnost, příp. bližší specifikaci by vyžadovalo další bližší analýzy.

Hodnoty se v průběhu všech měřících kampaní na všech lokalitách pohybovaly téměř pořád řádově níže, než je hodnota imisního limitu a lze říci, že překročení imisního limitu pro oxid uhelnatý v kterékoliv monitorované lokalitě je prakticky vyloučené.

## Přízemní ozon

Přízemní ozon je specifickou znečišťující látkou, jejíž koncentrace jsou dominantně ovlivňovány meteorologickými parametry. Nejvyšší bývají, na rozdíl od ostatních látek, koncentrace v nejteplejší část roku, a to zejména v horké, jasné dny. V tomto směru je tedy velmi problematické lokality navzájem srovnávat.

V zákoně o ochraně ovzduší je imisní limit pro ochranu zdraví pro přízemní ozon definován max. 8h klouzavým průměrem, a jeho hodnota může být překročena maximálně 25x za rok. Tento počet překročení je však definován jako průměrný počet překročení za rok ve tříletém klouzavém období.

Na základě výše uvedeného není možné ani odhadovat, zda v dané lokalitě může docházet k překročení tohoto limitu, protože je vyžadováno tříleté období dat. Obecně můžeme říci, že jsou koncentrace ozonu vyšší na pozadových lokalitách s nižším dopravním zatížením a také to, že překročení imisního limitu do značné míry předurčuje charakter počasí v létě (počet horkých jasných letních dní).

V rámci tohoto projektu byly pozorovány nejvyšší koncentrace  $O_3$  v lokalitách Kohoutovice a Klajdovka, tedy právě v odlehlejších, výše položených lokalitách, což odpovídá teoretickým předpokladům.

## Těžké kovy

V zákoně o ochraně ovzduší jsou imisní limity pro čtyři konkrétní těžké kovy, a to arzen, kadmium, nikl a olovo, ve všech případech pro roční průměrnou koncentraci.

V roce 2022 nebyl imisní limit pro arzen, kadmium, nikl a olovo překročen nikde v České republice. Data z brněnských stanic imisního monitoringu ukazují, že nejsou tyto limity překračovány dlouhodobě.

Naměřené koncentrace těchto kovů v rámci tohoto projektu potvrdily nízké koncentrace těchto látek na území města Brna a průměrné koncentrace byly hluboko pod hodnotou příslušného imisního limitu.

S ohledem na hodnoty naměřené v tomto projektu, na srovnání s ostatními stanicemi, znalost zdrojů znečišťování ovzduší a na celkovou situaci ohledně koncentrací těchto kovů v Jihomoravském kraji lze říci, že překročení imisního limitu pro arzen, nikl, kadmium a olovo v kterékoliv monitorované lokalitě je prakticky vyloučené.

## Benzo[*a*]pyren

Polycyklický aromatický uhlovodík benzo[*a*]pyren je znečišťující látkou, jejíž téměř výhradní zdroj emisí je lokální vytápění domácností, konkrétně vytápění ve starých kotlech na tuhá paliva (dřevo, uhlí). Jedná se o látku, jejíž koncentrace jsou na významné části České republiky nadlimitní, a to místy i několikanásobně.

Ve městech jsou obecně koncentrace BaP nižší než v malých sídlech, kde je podíl vytápění pevnými palivy vyšší. Ve městech jsou pak koncentrace často vyšší v okrajových částech města, které více připomínají malá sídla, popř. v částech města s vyšším podílem domků vytápěných pevnými palivy, obzvláště pokud je daná lokalita špatně provětrávaná.

Na území Brna jsou koncentrace BaP monitorovány na stanici Brno-Líšeň a Brno-Masná. Dlouhodobě se zde koncentrace BaP pohybují velmi nízko a jsou přibližně o 50 % nižší, než je hodnota příslušného imisního limitu, který je stanoven pro roční průměrnou koncentraci.

V rámci tohoto projektu byla získána zajímavá data o koncentracích BaP v dalších městských částech. Problematické je, že jsou koncentrace této látky úzce vázané na aktuální intenzitu vytápění (odvíjející se od teploty vzduchu) a rozptylových podmínkách. Bylo také provedeno srovnání se stanicí Brno-Líšeň a učiněn odhad průměrné roční koncentrace BaP na základě průměrného rozdílu koncentrací v dané lokalitě a na stanici Brno-Líšeň.

Nejvyšší byly průměrné koncentrace BaP pozorovány v lokalitě Mokrý Hora. Jedná se o městskou část na okraji města s malými domky, a tedy potenciálně vyšším podílem lokálního vytápění. Na základě odhadu průměrné roční koncentrace jsou zde koncentrace BaP velmi mírně nadlimitní, avšak jedná se pouze o orientační odhad, který nelze brát jako závazné překročení imisního limitu. Vyšší koncentrace BaP byly dále pozorovány například v lokalitě Komín, kde by mohlo být zdrojem lokální vytápění a lokalitě Jundrov, kde může být zdrojem také spalování rostlinného materiálu v blízké zahrádkářské kolonii, popř. lokální vytápění domácností. Naopak nejnižší byly koncentrace BaP v lokalitě Líšeň, která se nachází nedaleko stanice imisního monitoringu Brno-Líšeň. Tato městská část je vyvýšená a dobře provětrávaná, navíc je zde vysoký podíl domů vytápěných centrálně a koncentrace BaP jsou zde tedy nízké. Nízké koncentrace BaP byly pozorovány také v odlehlejších lokalitách, jako byly Kohoutovice nebo Klajdovka, které jsou dobře provětrávané a nejsou v blízkosti většího počtu domků vytápěných na tuhá paliva.

## BTEX (benzen, toluen, etylbenzen, xyleny)

V zákoně o ochraně ovzduší je definován imisní limit pro benzen, a to pro roční průměrnou koncentraci. V rámci tohoto projektu byly vyhodnoceny i koncentrace dalších látek, jako je toluen, o-xylen, m,p-xylen a etylbenzen.

Imisní limit pro benzen není překračován nikde v České republice, vyšší koncentrace bývají zejména na dopravních stanicích.

V rámci této kampaně byly koncentrace benzenu na hodnotách, které nenaznačují, že by mělo na kterékoliv z lokalit docházet k překročení imisního limitu.

V některých případech byly však pozorovány velmi vysoké týdenní průměrné koncentrace některých z těchto látek včetně benzenu. Z dostupných dat se bohužel nepodařilo identifikovat příčinu těchto zvýšených koncentrací.

## Doporučení

Z výše uvedeného hodnocení vyplynulo několik potenciálních doporučení pro další zkoumání.

U naprosté většiny znečišťujících látek je vysoce pravděpodobné, že na monitorovaných lokalitách v rámci tohoto projektu nedochází k překročení imisního limitu pro tyto látky. Potenciálně však je možné překročení koncentrací imisního limitu pro benzo[*a*]pyren, a to zejména v městských částech na okraji města s domky vytápěnými pevnými palivy. V rámci tohoto projektu se jako jedna z potenciálních lokalit s možností překročení imisního limitu ukázala lokalita Mokrá Hora. Vyšší byly koncentrace BaP ale například také v lokalitě Židenice a Komín.

Dále byly zjištěny překvapivě vyšší koncentrace oxidů dusíku a oxidu uhelnatého v lokalitě Mokrá Hora, kde pro tyto vyšší hodnoty není známá konkrétní příčina. K bližší specifikaci potenciálního zdroje a jeho významnosti by tedy bylo potřeba provést detailnější měření, ideálně i na dalších lokalitách v blízkém okolí.

Některé ze vzorků BTEX vykazovaly abnormálně vysoké hodnoty koncentrací, které s ohledem na znalost zdrojů a hodnot koncentrací na jiných lokalitách v České republice, nepůsobí věrohodně. Zde by bylo vhodné provést opakované odběry, aby se ukázalo, zda se jednalo o náhodně zvýšené koncentrace nebo dlouhodobý problém.

## Použitá literatura

Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. (2016). A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian journal of petroleum*, 25(1), 107-123.

Aksoy, M. (1985). Benzene as a leukemogenic and carcinogenic agent. *American journal of industrial medicine*, 8(1), 9-20.

Alizadeh T, Amjadi S. Preparation of nano-sized Pb<sup>2+</sup> imprinted polymer and its application as the chemical interface of an electrochemical sensor for toxic lead determination in different real samples. *Journal of hazardous materials*. 2011 Jun 15;190(1-3):451-9.

Badr, O., & Probert, S. D. (1994). Sources of atmospheric carbon monoxide. *Applied energy*, 49(2), 145-195.

Ball, W. T., Alsing, J., Mortlock, D. J., Staehelin, J., Haigh, J. D., Peter, T., ... & Rozanov, E. V. (2018). Evidence for a continuous decline in lower stratospheric ozone offsetting ozone layer recovery. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(2), 1379-1394.

Brzezina J. 2019. Brno-Zvonařka – výsledky rozsáhlé odborné analýzy příčin zhoršení kvality ovzduší na stanici. Dostupné online z: <https://chmibrno.org/blog/2019/05/01/brno-zvonarka-vysledky-rozsahle-odborne-analyzy-pricin-zhorseni-kvality-ovzdusi-na-stanici/>

Brzezina J., Antošová Š., Jurnečková P. 2020. Vliv odpalování zábavní pyrotechniky na koncentrace suspendovaných částic PM<sub>10</sub> v České republice. *Meteorologické zprávy*. 73-2020.

Brzezina J. 2022. Vliv ohňostrojů na kvalitu ovzduší. Dostupné online z: <https://www.infoviz.cz/graphic.php?ID=113>

Costa, S., Ferreira, J., Silveira, C., Costa, C., Lopes, D., Relvas, H., ... & Paulo Teixeira, J. (2014). Integrating health on air quality assessment—review report on health risks of two major European outdoor air pollutants: PM and NO<sub>2</sub>. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 17(6), 307-340.

EPA, 2016a. Environmental Protection Agency, Dostupné online z: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-09/documents/toluene.pdf>.

EPA, 2016b. Environmental Protection Agency, Dostupné online z: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-09/documents/ethylbenzene.pdf>.

Filley, C. M., Halliday, W., & Kleinschmidt-DeMasters, B. K. (2004). The effects of toluene on the central nervous system. *Journal of Neuropathology & Experimental Neurology*, 63(1), 1-12.

Franck, H. G., & Stadelhofer, J. W. (1988). Production and uses of xylene derivatives. In *Industrial Aromatic Chemistry* (pp. 265-290). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Friberg L. Cadmium in the Environment: 0. CRC press; 2017 Dec 22.
- Grant, L., & Schneider, T. (Eds.). (2013). Air pollution by nitrogen oxides. Elsevier.
- Harasim P, Filipek T. Nickel in the environment. *Journal of Elementology*. 2015;20(2).
- Heaviside, C., Witham, C., & Vardoulakis, S. (2021). Potential health impacts from sulphur dioxide and sulphate exposure in the UK resulting from an Icelandic effusive volcanic eruption. *Science of the Total Environment*, 774, 145549.
- Hetem IG, Andrade MD. Characterization of fine particulate matter emitted from the resuspension of road and pavement dust in the metropolitan area of São Paulo, Brazil. *Atmosphere*. 2016 Feb 23;7(3):31.
- Hosseini MJ, Shaki F, Ghazi-Khansari M, Pourahmad J. Toxicity of arsenic (III) on isolated liver mitochondria: a new mechanistic approach. *Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR*. 2013;12(Suppl):121.
- Hůnová, I., Baumelt, V., 2018. Observation-based trends in ambient ozone in the Czech Republic over the past two decades. *Atmospheric Environment*, Vol. 172, p. 157–167. [online].[cit. 10. 9. 2019]. Dostupné z WWW: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.10.039>.
- Chervona Y, Arita A, Costa M. Carcinogenic metals and the epigenome: understanding the effect of nickel, arsenic, and chromium. *Metallomics*. 2012;4(7):619-27.
- Choi, D., Toda, H., & Kim, Y. (2014). Effect of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) on growth and physiological activity in *Alnus sieboldiana* at Miyakejima Island in Japan. *Ecological research*, 29(1), 103-110.
- Jain, R. B. (2016). Selected volatile organic compounds as biomarkers for exposure to tobacco smoke. *Biomarkers*, 21(4), 342-346.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary toxicology*, 7(2), 60-72.
- Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental pollution*, 151(2), 362-367.
- Kandyala, R., Raghavendra, S. P. C., & Rajasekharan, S. T. (2010). Xylene: An overview of its health hazards and preventive measures. *Journal of oral and maxillofacial pathology: JOMFP*, 14(1), 1.
- Keshavarzi B, Moore F, Mosaferi M, Rahmani F. The source of natural arsenic contamination in groundwater, west of Iran. *Water Quality, Exposure and Health*. 2011 Dec 1;3(3-4):135-47.
- Khaniabadi, Y. O., Goudarzi, G., Daryanoosh, S. M., Borgini, A., Tittarelli, A., & De Marco, A. (2017). Exposure to PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub> and impacts on human health. *Environmental science and pollution research*, 24(3), 2781-2789.

Kong, D., Liang, J., & Liu, C. (2022). Invisible enemy: The health impact of ozone. *China Economic Review*, 101760.

Kumar, S. (2017). Acid rain-the major cause of pollution: Its causes, effects. *Int. J. Appl. Chem*, 13(1), 53-58.

Lane EA, Canty MJ, More SJ. Cadmium exposure and consequence for the health and productivity of farmed ruminants. *Research in veterinary science*. 2015 Aug 1;101:132-9.

Li, C., McLinden, C., Fioletov, V., Krotkov, N., Carn, S., Joiner, J., ... & Dickerson, R. R. (2017). India is overtaking China as the world's largest emitter of anthropogenic sulfur dioxide. *Scientific reports*, 7(1), 1-7.

Linden D. *Handbook of batteries and fuel cells*. New York, McGraw-Hill Book Co., 1984, 1075 p.

Mohajan, H. (2018). Acid rain is a local environment pollution but global concern.

Nordberg GF, Nogawa K, Nordberg M. Cadmium. In *Handbook on the Toxicology of Metals (Fourth Edition)* 2015 (pp. 667-716).

O'Brien E, Partner UN. Chronology of leaded gasoline/leaded petrol history. Lead Education and Abatement Design Group. 2011 Dec 23.

Pavlov, D. (2011). *Lead-acid batteries: science and technology*. Elsevier.

Ratnaike RN Acute and chronic arsenic toxicity *Postgraduate Medical Journal* 2003;79:391-396.

Reck BK, Rotter VS. Comparing growth rates of nickel and stainless steel use in the early 2000s. *Journal of Industrial Ecology*. 2012 Aug 1;16(4):518-28

Rose, J. J., Wang, L., Xu, Q., McTiernan, C. F., Shiva, S., Tejero, J., & Gladwin, M. T. (2017). Carbon monoxide poisoning: pathogenesis, management, and future directions of therapy. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 195(5), 596-606.

Santis, D., Petracca, I., Corradini, S., Guerrieri, L., Picchiani, M., Merucci, L., ... & Schiavon, G. (2021, July). Volcanic SO<sub>2</sub> Near-Real Time Retrieval Using Tropomi Data and Neural Networks: The December 2018 Etna Test Case. In *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS* (pp. 8480-8483). IEEE.

Tadic, I., Nussbaumer, C. M., Bohn, B., Harder, H., Marno, D., Martinez, M., ... & Fischer, H. (2021). Central role of nitric oxide in ozone production in the upper tropical troposphere over the Atlantic Ocean and western Africa. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(10), 8195-8211.

Takeuchi CY, Corrêa-Afonso AM, Pedrazzi H, Dinelli W, Palma-Dibb RG. Deposition of lead and cadmium released by cigarette smoke in dental structures and resin composite. *Microscopy Research and Technique*. 2011 Mar 1;74(3):287-91.

Tobiszewski M., Namieśnik J. PAH diagnostic ratios for the identification of pollution emission sources. *Environmental Pollution*. 2012 March, 162: 110-119.

Tokar EJ, Diwan BA, Ward JM, Delker DA, Waalkes MP. Carcinogenic effects of “whole-life” exposure to inorganic arsenic in CD1 mice. *Toxicological sciences*. 2010 Oct 11;119(1):73-83.

Trasande L, Malecha P, Attina TM. Particulate matter exposure and preterm birth: estimates of US attributable burden and economic costs. *Environmental health perspectives*. 2016 Dec;124(12):1913.

Uddin R, Huda NH. Arsenic poisoning in Bangladesh. *Oman medical journal*. 2011 May;26(3):207.

US Food and Drug Administration. Q3D Elemental Impurities Guidance for Industry. US Department of Health and Human Services. 2015:41.

Vierkötter A, Krutmann J, Schikowski T. 9.1 Ambient Particulate Matter and Its Health Effects. *Environment and Skin*. 2017 Nov 20:105.

Wang, X., Xu, Z., Su, H., Ho, H. C., Song, Y., Zheng, H., ... & Cheng, J. (2021). Ambient particulate matter (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) and childhood pneumonia: the smaller particle, the greater short-term impact?. *Science of The Total Environment*, 772, 145509.

WHO, 2016; Air Quality Guidelines, Global Update 2005; World Health Organization, 2006

Yang, B., Zhang, G. L., Deng, W., & Ma, J. (2013). Review of arsenic pollution and treatment progress in nonferrous metallurgy industry. In *Advanced Materials Research* (Vol. 634, pp. 3239-3243). Trans Tech Publications Ltd.

Yang, W., Wang, Z., Sun, H., & Zhang, B. (2016). Advances in development and industrial applications of ethylbenzene processes. *Chinese Journal of Catalysis*, 37(1), 16-26.

Yusuf M, Fariduddin Q, Hayat S, Ahmad A. Nickel: an overview of uptake, essentiality and toxicity in plants. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2011 Jan 1;86(1):1-7.

Zhao FJ, McGrath SP, Meharg AA. Arsenic as a food chain contaminant: mechanisms of plant uptake and metabolism and mitigation strategies. *Annual review of plant biology*. 2010 Jun 2;61:535-59.